

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6477433号  
(P6477433)

(45) 発行日 平成31年3月6日(2019.3.6)

(24) 登録日 平成31年2月15日(2019.2.15)

(51) Int.Cl.

F 1

**F O 2 D 41/38 (2006.01)**

F O 2 D 41/38 B

**F O 2 D 45/00 (2006.01)**

F O 2 D 45/00 3 7 0 B

請求項の数 8 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2015-222313 (P2015-222313)  
 (22) 出願日 平成27年11月12日 (2015.11.12)  
 (65) 公開番号 特開2017-89545 (P2017-89545A)  
 (43) 公開日 平成29年5月25日 (2017.5.25)  
 審査請求日 平成29年7月27日 (2017.7.27)

(73) 特許権者 000004260  
 株式会社デンソー  
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地  
 (74) 代理人 100106149  
 弁理士 矢作 和行  
 (74) 代理人 100121991  
 弁理士 野々部 泰平  
 (74) 代理人 100145595  
 弁理士 久保 貴則  
 (72) 発明者 星 真弥  
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会  
 社デンソー内  
 (72) 発明者 岡林 篤紀  
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会  
 社デンソー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃焼システムの推定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

内燃機関(10)を有する燃焼システムに適用された推定装置(80)であって、  
 前記内燃機関での燃焼に用いる燃料に含まれた各種成分の混合割合を取得する混合取得部(S101, S401)と、

前記燃料がメイン噴射により前記内燃機関の燃焼室(11a)に噴射されることで発生するメイン燃焼について、前記燃料の燃焼領域をメイン燃焼領域として、前記混合取得部により取得された前記混合割合に基づいて推定するメイン領域推定部(S206)と、

1 燃焼サイクル中の前記メイン噴射の後において、前記燃料がアフター噴射により前記燃焼室に噴射されることで発生するアフター燃焼について、前記燃料の噴射領域をアフター燃焼領域として、前記混合割合に基づいて推定するアフター領域推定部(S306)と

、  
 前記メイン燃焼領域及び前記アフター燃焼領域の位置を取得するための燃料座標系を、前記混合割合に基づいて設定する座標設定部(S207)と、

前記座標設定部により設定された前記燃料座標系において、前記メイン燃焼領域の所定の代表位置(F1)を取得するメイン位置取得部(S208)と、

前記燃料座標系において、前記アフター燃焼領域の所定の代表位置(G1)を取得するアフター位置取得部(S307)と、

を備えている燃焼システムの推定装置。

【請求項2】

10

20

前記混合取得部は、前記内燃機関での燃焼に用いる燃料に含まれた複数種類の分子構造の各々の混合割合を取得する請求項 1 に記載の燃焼システムの推定装置。

【請求項 3】

前記燃料座標系において、前記メイン位置取得部により取得された前記メイン燃焼領域の代表位置と、前記アフター位置取得部により取得された前記アフター燃焼領域の代表位置との離間距離を取得する距離取得部 ( S 1 0 7 ) を備えている請求項 1 又は 2 に記載の燃焼システムの推定装置。

【請求項 4】

前記メイン位置取得部は、前記メイン噴射の終了からあらかじめ定められた所定時間 ( t ) だけ経過した第 1 タイミング ( t a ) での前記メイン燃焼領域の代表位置を取得するものであり、

前記アフター位置取得部は、前記アフター噴射の終了から前記所定時間だけ経過した第 2 タイミング ( t b ) での前記アフター燃焼領域の代表位置を取得するものである請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載の燃焼システムの推定装置。

【請求項 5】

前記メイン噴射による噴射量を、前記混合割合に基づいて推定するメイン噴射量推定部 ( S 2 0 1 ) と、

前記メイン燃焼における前記燃料の発熱量を、前記混合割合に基づいて推定するメイン発熱量推定部 ( S 2 0 2 ) と、

前記メイン噴射による前記燃料の貫徹力を、前記混合割合に基づいて推定するメイン貫徹力推定部 ( S 2 0 3 ) と、

前記メイン噴射による前記燃料の拡散状態を、前記混合割合に基づいて推定するメイン拡散推定部 ( S 2 0 4 ) と、  
の少なくとも 1 つを備え、

前記メイン領域推定部は、前記メイン噴射についての前記噴射量、前記発熱量、前記貫徹力及び前記拡散状態の少なくとも 1 つに基づいて、前記メイン燃焼領域を推定する請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 つに記載の燃焼システムの推定装置。

【請求項 6】

前記アフター噴射による噴射量を、前記混合割合に基づいて推定するアフター噴射量推定部 ( S 3 0 1 ) と、

前記アフター燃焼における前記燃料の発熱量を、前記混合割合に基づいて推定するアフター発熱量推定部 ( S 3 0 2 ) と、

前記アフター噴射による前記燃料の貫徹力を、前記混合割合に基づいて推定するアフター貫徹力推定部 ( S 3 0 3 ) と、

前記アフター噴射による前記燃料の拡散状態を、前記混合割合に基づいて推定するアフター拡散推定部 ( S 3 0 4 ) と、  
の少なくとも 1 つを備え、

前記アフター領域推定部は、前記アフター噴射についての前記噴射量、前記発熱量、前記貫徹力及び前記拡散状態の少なくとも 1 つに基づいて、前記アフター燃焼領域を推定する請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 つに記載の燃焼システムの推定装置。

【請求項 7】

前記メイン領域推定部及び前記アフター領域推定部の各推定結果に基づいて、前記燃焼システムの制御を行う燃焼制御部 ( S 1 0 9 , S 1 1 1 , S 4 0 9 ) を備えている請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 つに記載の燃焼システムの推定装置。

【請求項 8】

前記燃焼制御部は、前記メイン領域推定部及び前記アフター領域推定部の各推定結果に加えて、前記混合割合に基づいて、前記燃焼システムの制御を行うものである請求項 7 に記載の燃焼システムの推定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 1 】

本発明は、燃焼システムでの燃料噴射について推定を行う推定装置に関する。

## 【 背景技術 】

## 【 0 0 0 2 】

従来より、内燃機関を有する燃焼システムにおいて、燃焼室に対して1燃焼サイクル中に燃料を複数回噴射する多段噴射という技術が知られている。多段噴射にメイン噴射及びアフター噴射が含まれている場合、メイン噴射によるメイン燃焼により発生したSoot等のスモークが、アフター噴射によるアフター燃焼により酸化される。例えば特許文献1では、メイン噴射により発生した燃焼の火炎にアフター噴射の燃料が突入しないように、アフター噴射について燃料の噴射率や噴射時期が変更される。これにより、アフター噴射の燃料の不完全燃焼が抑制される。

10

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 3 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 2 - 2 4 1 6 3 8 号 公 報

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 4 】

しかしながら、内燃機関での燃焼に用いられる燃料としては、様々な性状を有する燃料が存在する。このため、燃料に含まれている成分が異なっていたり成分の混合割合が異なっていたりした場合、上記特許文献1のように燃料の噴射時期等が変更されても、メイン噴射による燃焼領域とアフター噴射により噴射された燃料との位置関係が適正になるとは限らない。

20

## 【 0 0 0 5 】

例えば、燃料の性状に起因してアフター噴射のペネトレーションが長くなった場合、メイン噴射による燃焼領域にアフター噴射の燃料が突入しやすくなる。この場合、アフター噴射の燃料の不完全燃焼が発生し、アフター噴射によるスモークの発生量が増加することが懸念される。また、燃料の性状に起因してアフター噴射のペネトレーションが短くなった場合、アフター噴射による燃焼領域がメイン噴射による燃焼領域から離れ過ぎ、メイン燃焼により生じたスモークがアフター燃焼によっては酸化されにくくなる。この場合、メイン噴射の燃料による燃焼量が低下し、内燃機関の出力が低下することが懸念される。

30

## 【 0 0 0 6 】

本発明は、上記問題を鑑みてなされたもので、その目的は、アフター噴射により排気エミッションや内燃機関の出力を適正化できる燃焼システムの推定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 0 7 】

以下、課題を達成するための発明の技術的手段について、説明する。なお、発明の技術的手段を開示する特許請求の範囲及び本欄に記載された括弧内の符号は、後に詳述する実施形態に記載された具体的手段との対応関係を示すものであり、発明の技術的範囲を限定するものではない。

40

## 【 0 0 0 8 】

上述の課題を解決するために開示された第1の発明は、

内燃機関(10)を有する燃焼システムに適用された推定装置(80)であって、

内燃機関での燃焼に用いる燃料に含まれた各種成分の混合割合を取得する混合取得部(S101, S401)と、

燃料がメイン噴射により内燃機関の燃焼室(11a)に噴射されることで発生するメイン燃焼について、燃料の燃焼領域をメイン燃焼領域として、混合取得部により取得された混合割合に基づいて推定するメイン領域推定部(S206)と、

1燃焼サイクル中のメイン噴射の後において、燃料がアフター噴射により燃焼室に噴射

50

されることで発生するアフター燃焼について、燃料の噴射領域をアフター燃焼領域として、混合割合に基づいて推定するアフター領域推定部（S306）と、

メイン燃焼領域及びアフター燃焼領域の位置を取得するための燃料座標系を、混合割合に基づいて設定する座標設定部（S207）と、

座標設定部により設定された燃料座標系において、メイン燃焼領域の所定の代表位置（F1）を取得するメイン位置取得部（S208）と、

燃料座標系において、アフター燃焼領域の所定の代表位置（G1）を取得するアフター位置取得部（S307）と、

を備えている。

【0009】

第1の発明によれば、メイン燃焼領域及びアフター燃焼領域が推定されるため、これら燃焼領域の位置関係を把握することができる。この場合、メイン燃焼領域に対するアフター燃焼領域の相対的な位置を適正に管理することが可能になるため、アフター噴射の燃料によってスモークの発生量が増加することや、メイン噴射の燃料の燃焼量が低下することを抑制できる。

【0010】

しかも、メイン燃焼領域及びアフター燃焼領域の両方が、燃料に含まれた各種成分の混合割合に基づいて推定される。このため、燃料に含まれている成分が異なっていたり成分の混合割合が異なっていたりしても、メイン燃焼領域に対するアフター燃焼領域の相対的な位置を精度良く管理できる。したがって、様々な性状を有する燃料のいずれが使用された場合でも、アフター噴射により排気エミッションや内燃機関の出力を適正化することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】第1実施形態における燃焼システムの概略図。

【図2】着火遅れ時間の説明図。

【図3】複数の着火遅れ時間、燃えやすさを表わすパラメータ、および各種成分の混合量の関係を説明する図。

【図4】筒内酸素濃度に起因して生じる着火遅れ時間の変化を表す特性線と、燃料の分子構造種との関係を示す図。

【図5】筒内温度に起因して生じる着火遅れ時間の変化を表す特性線と、燃料の分子構造種との関係を示す図。

【図6】着火遅れ時間に基づき特定される特性線と、分子構造種の混合割合との関係を示す図。

【図7】アフター制御処理の手順を示すフローチャート。

【図8】メイン推定処理の手順を示すフローチャート。

【図9】噴射パラメータとしての噴射量の推定について説明するための図。

【図10】噴射パラメータとしての低位発熱量の推定について説明するための図。

【図11】蒸留性状について説明するための図。

【図12】噴射パラメータとしてのペネトレーションの推定について説明するための図。

【図13】ペネトレーションを推定するための数式を示す図。

【図14】噴射パラメータとしての拡散状態の推定について説明するための図。

【図15】拡散状態を推定するための数式を示す図。

【図16】燃焼パラメータとしての燃焼量を推定するための数式を示す図。

【図17】燃焼率を推定するための数式を示す図。

【図18】燃料座標系を示す図。

【図19】アフター推定処理の手順を示すフローチャート。

【図20】メイン噴霧体F<sub>a</sub>とアフター噴霧体G<sub>a</sub>との位置関係を示す図。

【図21】タイミングt<sub>b</sub>でのメイン噴霧体F<sub>b</sub>とアフター噴霧体G<sub>a</sub>との位置関係を示す図。

10

20

30

40

50

【図 2 2】タイミング  $t_c$  でのメイン噴霧体  $F_c$  とアフター噴霧体  $G_b$  との位置関係を示す図。

【図 2 3】メイン噴射とアフター噴射との燃料の進行距離の関係を示す図。

【図 2 4】酸化指標とスモーク低減率との関係を示す図。

【図 2 5】OHラジカルの生成量について説明するための図。

【図 2 6】第 2 実施形態におけるアフター制御処理の手順を示すフローチャート。

【図 2 7】メイン推定処理の手順を示すフローチャート。

【図 2 8】アフター推定処理の手順を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0017】

10

以下、図面を参照しながら発明を実施するための複数の形態を説明する。各形態において、先行する形態で説明した事項に対応する部分には同一の参照符号を付して重複する説明を省略する場合がある。各形態において、構成の一部のみを説明している場合は、構成の他の部分については先行して説明した他の形態を参照し適用することができる。

【0018】

(第 1 実施形態)

本実施形態に係る燃焼システムの推定装置及び制御装置は、図 1 に示す電子制御装置 (ECU 80) により提供される。ECU 80 は、マイクロコンピュータ (マイコン 80 a) や、図示しない入力処理回路および出力処理回路等を備える。マイコン 80 a は、図示しない中央処理装置 (CPU) およびメモリ 80 b を備える。メモリ 80 b に記憶された  
20  
所定のプログラムを CPU が実行することで、マイコン 80 a は、燃焼システムが備える燃料噴射弁 15、燃料ポンプ 15 p、EGR バルブ 17 a、調温バルブ 17 d、および過給調圧機器 26 等の作動を制御する。これらの制御により、燃焼システムが備える内燃機関 10 での燃焼状態は、所望の状態に制御される。燃焼システムおよび ECU 80 は車両に搭載されたものであり、当該車両は、内燃機関 10 の出力を駆動源として走行する。

【0019】

内燃機関 10 は、シリンダブロック 11、シリンダヘッド 12 およびピストン 13 等を備える。シリンダヘッド 12 には、吸気バルブ 14 in、排気バルブ 14 ex、燃料噴射弁 15 および筒内圧センサ 21 が取り付けられている。

【0020】

30

燃料ポンプ 15 p は、燃料タンク内の燃料をコモンレール 15 c へ圧送する。ECU 80 が燃料ポンプ 15 p の作動を制御することで、コモンレール 15 c 内の燃料は、目標圧力  $P_{trg}$  に維持された状態でコモンレール 15 c に蓄えられる。コモンレール 15 c は、蓄圧された燃料を各気筒の燃料噴射弁 15 へ分配する。燃料噴射弁 15 から噴射された燃料は、燃焼室 11 a で吸気と混合して混合気を形成し、混合気はピストン 13 により圧縮されて自着火する。要するに、内燃機関 10 は圧縮自着火式のディーゼルエンジンであり、燃料には軽油が用いられている。なお、燃料噴射弁 15 による燃料の噴射としては、燃料を霧状に噴く噴霧が挙げられる。

【0021】

燃料噴射弁 15 は、電磁アクチュエータおよび弁体をボデー内部に收容して構成されている。電磁アクチュエータへの通電を ECU 80 がオンさせると、電磁アクチュエータの電磁吸引力により図示しない背圧室のリーク通路が開弁し、背圧低下に伴い弁体が開弁作動し、ボデーに形成されている噴孔が開弁されて噴孔から燃料が噴射される。上記通電をオフさせると、弁体が閉弁作動して燃料噴射が停止される。

40

【0022】

シリンダヘッド 12 に形成されている吸気ポート 12 in および排気ポート 12 ex には、吸気管 16 in および排気管 16 ex が接続されている。吸気管 16 in および排気管 16 ex には EGR 管 17 が接続されており、排気の一部 (EGR ガス) が EGR 管 17 を通じて吸気管 16 in へ流入 (還流) する。EGR 管 17 には EGR バルブ 17 a が取り付けられている。ECU 80 が EGR バルブ 17 a の作動を制御することで、EGR  
50

管 17 の開度が制御され、EGR ガスの流量が制御される。

【0023】

さらに、EGR 管 17 のうち EGR バルブ 17 a の上流部分には、EGR ガスを冷却する EGR クーラ 17 b、バイパス管 17 c および調温バルブ 17 d が取り付けられている。バイパス管 17 c は、EGR ガスが EGR クーラ 17 b をバイパスするバイパス流路を形成する。調温バルブ 17 d は、バイパス流路の開度を調整することで、EGR クーラ 17 b を流れる EGR ガスと、バイパス流路を流れる EGR ガスとの割合を調整し、ひいては、吸気管 16 in へ流入する EGR ガスの温度を調整する。ここで、吸気ポート 12 in へ流入する吸気には、吸気管 16 in から流入する外部空気（新気）および EGR ガスが含まれる。したがって、調温バルブ 17 d により EGR ガスの温度を調整することは、吸気ポート 12 in へ流入する吸気の温度（インマニ温度）を調整することを意味する。

10

【0024】

燃焼システムは図示しない過給機を備える。過給機は、排気管 16 ex に取り付けられるタービン、および吸気管 16 in に取り付けられるコンプレッサを有する。排気の流速エネルギーによりタービンが回転すると、タービンの回転力によりコンプレッサが回転し、コンプレッサにより新気が圧縮（過給）される。先述した過給調圧機器 26 は、タービンの容量を変化させる機器であり、ECU 80 が過給調圧機器 26 の作動を制御することで、タービン容量が調整され、これにより、コンプレッサによる過給圧が制御される。

【0025】

また、燃焼システムは、NO<sub>x</sub> 浄化触媒 31、DPF 32 を備えている。NO<sub>x</sub> 浄化触媒 31 は、排気中の窒素酸化物 NO<sub>x</sub> を吸着する吸着触媒や、NO<sub>x</sub> を窒素 N<sub>2</sub> に還元する還元触媒などを有しており、排気管 16 ex においてタービンの下流側に配置されている。DPF 32（Diesel Particulate Filter）は、NO<sub>x</sub> 浄化触媒 31 の更に下流側に配置されており、排気に含まれている微粒子を捕集する微粒子捕集装置である。排気管 16 ex を流れる排気は、NO<sub>x</sub> 浄化触媒 31 及び DPF 32 の両方を通過した後に、排気管 16 ex の下流端部から放出される。なお、燃焼システムにおいては、NO<sub>x</sub> 浄化触媒 31 及び DPF 32 が排気浄化装置を構成している。

20

【0026】

ECU 80 には、筒内圧センサ 21、酸素濃度センサ 22、レール圧センサ 23、クランク角センサ 24、アクセルペダルセンサ 25、排気温度センサ 33、排気圧センサ 34 および触媒温度センサ 35 等、各種センサによる検出信号が入力される。

30

【0027】

筒内圧センサ 21 は、燃焼室 11 a の圧力（筒内圧）に応じた検出信号を出力する。筒内圧センサ 21 は、圧力検出素子に加えて温度検出素子 21 a を有しており、燃焼室 11 a の温度（筒内温度）に応じた検出信号を出力する。酸素濃度センサ 22 は、吸気管 16 in に取り付けられ、吸気中の酸素濃度に応じた検出信号を出力する。検出対象となる吸気は、新気と EGR ガスが混合したものである。レール圧センサ 23 はコモンレール 15 c に取り付けられており、蓄圧されている燃料の圧力（レール圧）に応じた検出信号を出力する。クランク角センサ 24 は、ピストン 13 により回転駆動するクランク軸の回転速度（エンジン回転数）に応じた検出信号を出力する。アクセルペダルセンサ 25 は、車両運転者により踏み込み操作されるアクセルペダルの踏込量（エンジン負荷）に応じた検出信号を出力する。

40

【0028】

排気温度センサ 33 は、排気管 16 ex に取り付けられて排気温度を検出する。排気圧センサ 34 は、排気管 16 ex に取り付けられて排気圧を検出する。排気温度センサ 33 及び排気圧センサ 34 は、排気管 16 ex において NO<sub>x</sub> 浄化触媒 31 とタービンとの間に配置されている。

【0029】

触媒温度センサ 35 は、排気管 16 ex において NO<sub>x</sub> 浄化触媒 31 と DPF 32 との間に設けられており、NO<sub>x</sub> 浄化触媒 31 を通過した排気の温度を検出することで NO<sub>x</sub>

50

浄化触媒 31 の内部温度を検出する。なお、触媒温度センサ 35 は、NOx 浄化触媒 31 に取り付けられていてもよい。

【0030】

ECU80 は、センサ 21 ~ 25, 33 ~ 35 の各検出信号に基づき、燃料噴射弁 15、燃料ポンプ 15p、EGRバルブ 17a、調温バルブ 17d および過給調圧機器 26 の作動を制御する。これにより、燃料の噴射開始時期、噴射量、噴射圧、EGR ガス流量、インマニ温度および過給圧が制御される。

【0031】

燃料噴射弁 15 の作動を制御している時のマイコン 80a は、燃料の噴射開始時期、噴射量、および多段噴射に係る噴射段数を制御する噴射制御部 83 として機能する。1 燃焼サイクル中に同一の燃料噴射弁 15 から複数回噴射（多段噴射）させるように噴射制御する場合がある。これら複数回の噴射には、最も噴射量が多く設定されたメイン噴射と、メイン噴射の前のタイミングで行われるパイロット噴射と、メイン噴射の後のタイミングで行われるアフター噴射と、アフター噴射の後のタイミングで行われるポスト噴射とが含まれている。

10

【0032】

燃料ポンプ 15p の作動を制御している時のマイコン 80a は、噴射圧を制御する燃圧制御部 84 として機能する。EGRバルブ 17a の作動を制御している時のマイコン 80a は、EGR ガス流量を制御する EGR 制御部 85 として機能する。調温バルブ 17d の作動を制御している時のマイコン 80a は、インマニ温度を制御するインマニ温度制御部 87 として機能する。過給調圧機器 26 の作動を制御している時のマイコン 80a は、過給圧を制御する過給圧制御部 86 として機能する。

20

【0033】

マイコン 80a は、燃焼に関する物理量の検出値（燃焼特性値）を取得する燃焼特性取得部 81 としても機能する。本実施形態に係る燃焼特性値とは、図 2 に示す着火遅れ時間 TD のことである。図 2 の上段は、マイコン 80a から出力されるパルス信号を示す。パルス信号にしたがって燃料噴射弁 15 への通電が制御される。具体的には、パルスオンの t1 時点で通電が開始され、パルスオン期間 Tq に通電オンが継続される。要するに、パルスオンのタイミングにより噴射開始時期が制御される。また、パルスオン期間 Tq により噴射期間が制御され、ひいては噴射量が制御される。

30

【0034】

図 2 の中段は、パルス信号にしたがって弁体が開弁作動および閉弁作動した結果生じる、噴孔からの燃料の噴射状態の変化を示す。具体的には、単位時間あたりに噴射される燃料の噴射量（噴射率）の変化を示す。図示されるように、通電開始の t1 時点から、実際に噴射が開始される t2 時点までにはタイムラグが存在する。また、通電終了時点から実際に噴射が停止されるまでにもタイムラグが存在する。実際に噴射が為されている期間 Tq1 は、パルスオン期間 Tq で制御される。

【0035】

図 2 の下段は、噴射された燃料の、燃焼室 11a での燃焼状態の変化を示す。具体的には、噴射された燃料と吸気の混合気が自着火燃焼することに伴い生じる、単位時間あたりの熱量（熱発生率）の変化を示す。図示されるように、噴射開始の t2 時点から、実際に燃焼が開始される t3 時点までにはタイムラグが存在する。本実施形態では、通電開始の t1 時点から燃焼開始の t3 時点までの時間を着火遅れ時間 TD と定義する。

40

【0036】

燃焼特性取得部 81 は、筒内圧センサ 21 で検出される筒内圧の変化に基づき、燃焼開始の t3 時点をも推定する。具体的には、ピストン 13 が上死点に達してからクランク角が所定量だけ回転する期間において、筒内圧が急上昇した時期を燃焼開始時期（t3 時点）と推定する。この推定結果に基づき、着火遅れ時間 TD は燃焼特性取得部 81 により算出される。さらに燃焼特性取得部 81 は、燃焼時の各種状態（燃焼条件）を、燃焼毎に取得する。具体的には、筒内圧、筒内温度、吸気酸素濃度および噴射圧力を、燃焼条件として

50

取得する。

【0037】

これらの燃焼条件は、燃料の燃えやすさを表わすパラメータであり、燃焼直前での筒内圧が高いほど、燃焼直前での筒内温度が高いほど、吸気酸素濃度が高いほど、噴射圧力が高いほど、混合気が自着火しやすく燃えやすいと言える。燃焼直前での筒内圧および筒内温度として、例えば、燃料噴射弁15への通電を開始するt1時点で検出された値を用いればよい。筒内圧は筒内圧センサ21により検出され、筒内温度は温度検出素子21aにより検出され、吸気酸素濃度は酸素濃度センサ22により検出され、噴射圧力はレール圧センサ23により検出される。燃焼特性取得部81は、取得した着火遅れ時間TDを、その燃焼に係る上記パラメータ（燃焼条件）と関連付けてメモリ80bに記憶させる。

10

【0038】

マイコン80aは、異なる燃焼条件で検出された複数の燃焼特性値に基づき、燃料に含まれている分子構造種の混合割合を推定する、混合割合推定部82としても機能する。例えば、異なる燃焼条件毎の着火遅れ時間TDを図3に示す行列式に代入することで、分子構造種の混合量を算出する。なお、算出された各々の混合量を総量で除算することで、分子構造種の混合割合が算出される。

【0039】

図3の左辺にある行列は、x行1列でありx個の数値から構成される。これらの数値は、各種成分の混合量を表わす。各種成分とは、分子構造の種類の違いにより分類される成分である。分子構造の種類には、直鎖パラフィン類、側鎖パラフィン類、ナフテン類および芳香族類が含まれている。

20

【0040】

右辺の左側にある行列は、x行y列であり、例えばa00... aXYという数値から構成される。これらの数値は、予め実施した試験に基づき定められた定数である。右辺の右側にある行列は、y行1列でありy個の数値から構成される。これらの数値は、燃焼特性取得部81により取得された着火遅れ時間TDである。例えば、1行1列目の数値は、パラメータの所定の組み合わせからなる燃焼条件iの時に取得された着火遅れ時間TD(i)であり、2行1列目の数値は、燃焼条件jの時に取得された着火遅れ時間TD(j)である。燃焼条件iと燃焼条件jとでは、全てのパラメータが異なる値に設定されている。なお、図3中の符号P(i)、T(i)、O2(i)、Pc(i)の各々は、燃焼条件iに係る筒内圧、筒内温度、吸気酸素濃度および噴射圧力を示し、符号P(j)、T(j)、O2(j)、Pc(j)の各々は、燃焼条件jに係る各パラメータを示す。

30

【0041】

次に、図4、図5および図6を用いて、図3の行列式に燃焼条件毎の着火遅れ時間TDを代入することで分子構造種の混合量が算出できる理屈を説明する。

【0042】

図4に示すように、燃焼に係る混合気に含まれる酸素の濃度（筒内酸素濃度）が高いほど自着火しやすくなるので、着火遅れ時間TDが短くなる。図中の3本の実線(1)(2)(3)は、筒内酸素濃度と着火遅れ時間TDとの関係を示す特性線である。但し、この特性線は燃料に応じて異なる。厳密には、燃料に含まれている各々の分子構造種の混合割合に応じて異なる。したがって、筒内酸素濃度がO2(i)の場合の着火遅れ時間TDを検出すれば、いずれの分子構造種であるかを推測できる。特に、筒内酸素濃度がO2(i)の場合とO2(j)の場合とで着火遅れ時間TDを比較すれば、より高精度で混合割合を推定できる。

40

【0043】

同様にして、図5に示すように、筒内温度が高いほど自着火しやすくなるので、着火遅れ時間TDが短くなる。図中の3本の実線(1)(2)(3)は、筒内温度と着火遅れ時間TDとの関係を示す特性線である。但し、この特性線は燃料に応じて異なる。厳密には、燃料に含まれている各々の分子構造種の混合割合に応じて異なる。したがって、筒内温度がB1の場合の着火遅れ時間TDを検出すれば、いずれの分子構造種であるかを推測で

50

きる。特に、筒内温度が $T(i)$ の場合と $T(j)$ の場合とで着火遅れ時間 $T_D$ を比較すれば、より高精度で混合割合を推定できる。

【0044】

また、筒内酸素濃度に係る特性線（図4参照）に対する影響度の高い分子構造種と、筒内温度に係る特性線（図5参照）に対する影響度の高い分子構造種とは異なる。このように、複数の燃焼条件の各々に係る特性線に対して影響度の高い分子構造種は異なる。したがって、複数のパラメータ（燃焼条件）を異なる値にして取得された着火遅れ時間 $T_D$ の組み合わせに基づけば、例えば図6の如くいずれの分子構造種の混合割合が多いのかを高精度で推定できる。

【0045】

図6に例示する分子構造種Aは、筒内酸素濃度（第1パラメータ）に係る特性線（第1特性線）に対する影響度が高い分子構造種である。また、分子構造種Bは、筒内温度（第2パラメータ）に係る特性線（第2特性線）に対する影響度が高い分子構造種であり、分子構造種Cは、第3パラメータに係る特性線（第3特性線）に対する影響度が高い分子構造種である。第1パラメータの変化に対して着火遅れ時間 $T_D$ の変化が大きく現れるほど、分子構造種Aが多く混合していると言える。同様にして、第2パラメータの変化に対して着火遅れ時間 $T_D$ の変化が大きく現れるほど分子構造種Bが多く混合しており、第3パラメータの変化に対して着火遅れ時間 $T_D$ の変化が大きく現れるほど分子構造種Cが多く混合していると言える。したがって、異なる燃料（1）（2）（3）の各々に対し、分子構造種A、B、Cの混合割合を推定できる。

【0046】

次に、燃焼特性取得部81が実行するプログラムの処理について説明する。この処理は、パイロット噴射が指令される毎に実行される。

【0047】

先ず、燃焼特性取得部81は、上述した通り筒内圧センサ21の検出値に基づき燃焼開始の $t_3$ 時点を推定して、パイロット噴射に係る着火遅れ時間 $T_D$ を算出する。次に、複数のパラメータ（燃焼条件）と関連付けて、着火遅れ時間 $T_D$ をメモリ80bに記憶させる。

【0048】

具体的には、各パラメータが取り得る数値範囲を複数の領域に区分けしておき、複数のパラメータの領域の組み合わせ予め設定しておく。例えば図3に示す着火遅れ時間 $T_D(i)$ は、 $P(i)$ 、 $T(i)$ 、 $O_2(i)$ 、 $P_c(i)$ の領域の組み合わせ時に取得された着火遅れ時間 $T_D$ を表わす。同様に、着火遅れ時間 $T_D(j)$ は、 $P(j)$ 、 $T(j)$ 、 $O_2(j)$ 、 $P_c(j)$ の領域の組み合わせ時に取得された着火遅れ時間 $T_D$ を表わす。

【0049】

なお、ユーザが給油することに起因して、燃料タンクに貯留されている燃料に別の燃料が混合した可能性が高い場合に、分子構造種の混合割合が変化したとみなし、推定されていた混合量の値をリセットする。例えば、内燃機関10の運転停止時に、燃料タンクの燃料残量を検出するセンサにより燃料残量の増大が検出された場合にリセットする。

【0050】

燃焼特性取得部81は、着火遅れ時間 $T_D$ を図3の行列式に代入して、分子構造種毎の混合量を算出する。なお、サンプリング数、つまり行列式の右辺右側の行列の行数に応じて、定数を表わす行列の列数を変更する。或いは、取得されていない着火遅れ時間 $T_D$ については、予め設定しておいたノミナル値を着火遅れ時間 $T_D$ の行列に代入する。このように算出された分子構造種毎の混合量に基づき、分子構造種毎の混合割合を算出する。

【0051】

先述した通り、マイコン80aは、噴射制御部83、燃圧制御部84、EGR制御部85、過給圧制御部86およびインマニ温度制御部87としても機能する。これらの制御手段は、エンジン回転数、エンジン負荷およびエンジン冷却水温度等に基づき目標値を設定

10

20

30

40

50

し、制御対象が目標値となるようにフィードバック制御する。或いは、目標値に対応する内容でオープン制御する。

【 0 0 5 2 】

噴射制御部 8 3 は、噴射開始時期、噴射量および噴射段数が目標値となるように図 2 のパルス信号を設定することで、噴射開始時期、噴射量および噴射段数を制御（噴射制御）する。上記噴射段数とは、先述した多段噴射に係る噴射回数のことである。具体的には、上記目標値に対応するパルス信号のオン時間（通電時間）およびパルスオン立ち上がり時期（通電開始時期）を、マップ上に予め記憶させておく。そして、目標値に対応する通電時間および通電開始時期をマップから取得してパルス信号を設定する。

【 0 0 5 3 】

また、噴射により得られた出力トルクや、NOx 量および PM 量等のエミッション状態値を記憶しておく。そして、次回以降の噴射において、エンジン回転数およびエンジン負荷等に基づき目標値を設定するにあたり、上述の如く記憶された値に基づき、目標値を補正する。要するに、実際の出力トルクやエミッション状態値と、所望する出力トルクやエミッション状態値との偏差をゼロにするよう、目標値を補正してフィードバック制御する。

【 0 0 5 4 】

燃圧制御部 8 4 は、燃料ポンプ 1 5 p に吸入される燃料の流量を制御する調量弁の作動を制御する。具体的には、レール圧センサ 2 3 で検出された実レール圧と目標圧力  $P_{trg}$ （目標値）との偏差に基づき、調量弁の作動をフィードバック制御する。その結果、燃料ポンプ 1 5 p による単位時間当りの吐出量が制御され、実レール圧が目標値となるように制御（燃圧制御）される。

【 0 0 5 5 】

EGR 制御部 8 5 は、エンジン回転数およびエンジン負荷等に基づき、EGR 量の目標値を設定する。そして、この目標値に基づき、EGR バルブ 1 7 a のバルブ開度を制御（EGR 制御）して EGR 量を制御する。過給圧制御部 8 6 は、エンジン回転数およびエンジン負荷等に基づき、過給圧の目標値を設定する。そして、この目標値に基づき、過給調圧機器 2 6 の作動を制御（過給圧制御）して過給圧を制御する。インマニ温度制御部 8 7 は、外気温度、エンジン回転数およびエンジン負荷等に基づき、インマニ温度の目標値を設定する。そして、この目標値に基づき、調温バルブ 1 7 d のバルブ開度を制御（インマニ温度制御）してインマニ温度を制御する。

【 0 0 5 6 】

ここで、マイコン 8 0 a は、噴射制御部 8 3 として機能することで、アフター噴射についての制御を行うアフター制御処理を実行する。ここでは、アフター制御処理について図 7 のフローチャートを参照しつつ説明する。この処理は、内燃機関 1 0 の運転期間中、所定周期で繰返し実行される。

【 0 0 5 7 】

まず、図 7 のステップ S 1 0 1 において、混合割合推定部 8 2 により推定された混合割合（実混合割合）を取得する。つまり、図 3 の左辺に示す分子構造種の各々についての混合割合を取得する。一方、分子構造種の各々に対する混合割合の基準値（基準混合割合）が、予め設定されてメモリ 8 0 b に記憶されている。これらの基準混合割合は、車両の使用が装置される国や地域で流通している燃料を鑑みて設定されている。なお、ステップ S 1 0 1 が混合取得部に対応する。続くステップ S 1 0 2 では、基準混合割合をメモリ 8 0 b から読み込んで取得する。

【 0 0 5 8 】

ステップ S 1 0 3 では、メイン噴射及びアフター噴射を対象として、燃料噴射についての噴射条件を取得する。噴射条件としては、コモンレール 1 5 c 内の燃料圧力であるレール圧や、噴射量の目標値である目標噴射量、燃料噴射弁 1 5 への通電期間、燃料噴射弁 1 5 のニードルリフト量などが挙げられる。なお、レール圧は、燃焼条件の噴射圧力である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 9 】

ステップ S 1 0 4 では、メイン噴射及びアフター噴射を対象として、燃料噴射が行われる場合の筒内環境条件を取得する。筒内環境条件としては、燃焼室 1 1 a の温度である筒内温度や、燃焼室 1 1 a の酸素濃度である筒内酸素濃度、燃焼室 1 1 a での混合気の流速である筒内流速などが挙げられる。なお、筒内温度は、燃焼条件にも含まれている。また、筒内酸素濃度は、燃焼条件に含まれている吸気酸素濃度に基づいて取得される。

## 【 0 0 6 0 】

ステップ S 1 0 5 では、メイン噴射を対象としたメイン推定処理を行う。ステップ S 1 0 5 のメイン推定処理については、図 8 のフローチャートを参照しつつ説明する。ここで、メイン噴射による燃料の燃焼をメイン燃焼と称し、その状態をメイン燃焼状態と称する。この場合、セタン価等の燃料性状が同一の燃料であっても、その燃料に含まれている分子構造種の混合割合が異なれば、メイン燃焼状態が異なってくる。燃焼室 1 1 a においては、Soot 等を含んだスモークがメイン燃焼により発生した場合、そのスモークの発生量が多いほど排気エミッションが悪化しやすい。また、スモーク発生量が多い場合は、燃料が十分に燃焼し切っていないため、内燃機関 1 0 の出力が低下しやすい。なお、パイロット噴射に伴う燃焼でスモークが発生した場合は、そのスモークがメイン燃焼後にも残ることがある。

## 【 0 0 6 1 】

図 8 において、ステップ S 2 0 1 ~ S 2 0 4 では、ステップ S 1 0 1 にて取得した分子構造種の実混合割合に基づいて、メイン噴射の噴射状態を推定する。メイン噴射の噴射状態を示す噴射パラメータとしては、噴射量、低位発熱量、ペネトレーション及び拡散状態の 4 つが挙げられる。ここで、基準混合割合を有する基準燃料については、メイン噴射に関して筒内環境に応じた各噴射パラメータの値が試験等によりあらかじめ取得されており、これら取得データが基準データとしてメモリ 8 0 b に記憶されている。そして、実混合割合を有する実燃料については、メイン噴射に関して基準データと比較することで各噴射パラメータの値を推定する。

## 【 0 0 6 2 】

ステップ S 2 0 1 では、実混合割合に基づいて、メイン噴射の噴射量を推定する。ここでは、図 9 に示すように、実混合割合に基づいて、燃料の一般性状のうち動粘度及び密度を推定し、これら動粘度及び密度と噴射条件の噴射圧力及び噴射期間とに対して所定の関数  $f_1()$  を用いることで、噴射量を推定する。この場合、動粘度や密度は、化学的な影響を受ける燃料特性の一部であり、噴射圧力や噴射期間は、物理的な影響を受ける使用条件や環境条件の一部である。なお、噴射量を推定する場合、関数  $f_1()$  に代えて、重回帰モデル等の推定モデルやマップなどを用いてもよい。また、噴射期間として、パルスオン期間  $T_q$  を用いてもよい。なお、ステップ S 2 0 1 がメイン噴射量推定部に対応する。

## 【 0 0 6 3 】

ステップ S 2 0 2 では、実混合割合に基づいて、燃料の低位発熱量を推定する。ここでは、図 1 0 に示すように、実混合割合に基づいて、燃料の平均炭素数及び平均水素数を推定し、これら平均炭素数及び平均水素数に対して所定の関数  $f_2()$  を用いることで、低位発熱量を推定する。この場合、平均炭素数及び平均水素数は、化学的な影響を受ける燃料特性により定められるものである。なお、低位発熱量を推定する場合、関数  $f_2()$  に代えて、推定モデルやマップなどを用いてもよい。なお、ステップ S 2 0 2 がメイン発熱量推定部に対応する。

## 【 0 0 6 4 】

ステップ S 2 0 3 では、実混合割合に基づいて、メイン噴射による燃料のペネトレーションを推定する。ペネトレーションは、燃料噴射弁 1 5 から噴射された燃料が燃焼室 1 1 a を直進する力を示す貫徹力である。噴射された燃料については、燃焼室 1 1 a での蒸発量が多いほどペネトレーションが低下しやすい。そこで、複数の蒸留性状に基づいて燃料の揮発性を推定することで、その燃料のペネトレーションを推定する。なお、ステップ S 2 0 3 がメイン貫徹力推定部に対応する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 5 】

図 1 1 に示すように、基準混合割合を有する基準燃料と、実混合割合を有する実燃料とを比較した場合、50%が蒸発する蒸留性状 T 5 0 が基準燃料と実燃料とで同じであったとしても、蒸留性状 T 1 0 , T 9 0 が基準燃料と実燃料とで異なることがある。この場合、複数の蒸留性状に基づいて燃料のペネトレーションを推定することで、その推定精度が高められる。

## 【 0 0 6 6 】

噴射されることで燃焼室 1 1 a において拡散した燃料については、粒子の質量が大きいほど運動量が大きくなり、ペネトレーションが大きくなりやすい。この場合、動粘度が大きくて微粒子化しにくい燃料ほど密度が大きくなり、粒子の質量が大きくなりやすい。また、揮発性が高いほど粒子は質量を失い、運動量が小さくなる。例えば、蒸留性状の初留点 ~ T 5 0 までの温度が低い燃料は、比較的気化しやすく、ペネトレーションが小さくなりやすい。

10

## 【 0 0 6 7 】

上記ステップ S 2 0 3 では、図 1 2 に示すように、密度、動粘度及び複数の蒸留性状を含む燃料特性と、筒内温度及び筒内流速を含む筒内環境と、ステップ S 2 0 1 にて推定した噴射量と、に基づいてペネトレーションを推定する。ペネトレーションは、筒内環境条件や噴射条件によって左右されるものであり、図 1 3 に示すような数式によっても推定可能になっている。この数式においては、筒内環境条件や噴射条件に応じたペネトレーション  $P_1, P_2, P_3 \dots$  が、あらかじめ定められた定数  $b$  及び動粘度等の燃料特性に基づいて推定される。定数  $b$  は、 $x$  行  $y$  列であり、例えば  $b_{00} \dots b_{XY}$  という数値を有する行列になっている。

20

## 【 0 0 6 8 】

なお、蒸留性状は、燃料に含まれた実混合割合に基づいて推定される。このため、燃料特性には、密度、動粘度及び蒸留性状といった一般性状に加えて、実混合割合の要素も含まれていることになる。

## 【 0 0 6 9 】

図 8 に戻り、ステップ S 2 0 4 では、実混合割合に基づいて、メイン噴射による噴射される燃料の拡散状態を推定する。拡散状態は、噴射された燃料がどの程度拡散するのかわを示す拡散度合いである。噴射された燃料については、燃焼室 1 1 a での蒸発量が多いほど拡散しやすい。そこで、ペネトレーションと同様に、複数の蒸留性状に基づいて燃焼の揮発性を推定することで、その燃料の拡散状態を推定する。なお、ステップ S 2 0 4 がメイン拡散推定部に対応する。

30

## 【 0 0 7 0 】

このステップ S 2 0 4 では、図 1 4 に示すように、密度、動粘度及び複数の蒸留性状を含む燃料特性と、筒内温度及び筒内流速を含む筒内環境と、ステップ S 2 0 1 にて推定した噴射量と、に基づいて拡散状態を推定する。拡散状態は、筒内環境条件や噴射条件によって左右されるものであり、図 1 5 に示すような数式によっても推定可能になっている。この数式においては、筒内環境条件や噴射条件に応じた拡散状態  $D_1, D_2, D_3 \dots$  が、あらかじめ定められた定数  $c$  及び動粘度等の燃料特性に基づいて推定される。定数  $c$  は、 $x$  行  $y$  列であり、例えば  $c_{00} \dots c_{XY}$  という数値を有する行列になっている。

40

## 【 0 0 7 1 】

なお、拡散状態は、噴霧の運動量理論を示す周知の数式を用いて算出することも可能になっている。

## 【 0 0 7 2 】

ステップ S 2 0 5 , S 2 0 6 では、ステップ S 2 0 1 ~ S 2 0 4 にて推定した各噴射パラメータを用いて、メイン燃焼状態を推定する。この燃焼状態を示す燃焼パラメータとしては、燃焼量、燃焼領域の 2 つが挙げられる。ここで、基準燃料については、メイン噴射に関して筒内環境に応じた各燃焼パラメータの値が試験等によりあらかじめ取得されており、噴射パラメータと同様に、これら取得データが基準データとしてメモリ 8 0 b に記憶

50

されている。そして、実燃料については、メイン噴射に関して基準データと比較することで各燃焼パラメータの値を推定する。

#### 【0073】

ステップS205では、メイン噴射による燃焼量を推定する。燃焼量の推定には、噴射量、低位発熱量、ペネトレーション及び拡散状態の4つの噴射パラメータの全てを用いる。例えば、燃焼量は、図16に示す数式を用いて算出される。この数式においては、 $Q_{burn}$ が燃焼量、 $\eta$ が燃焼率、 $\eta \times Q_{inj}$ がステップS201にて推定した噴射量、 $A$ がステップS202にて推定した低位発熱量である。図17に示すように、燃焼率 $\eta$ は、ステップS203にて推定したペネトレーションと、ステップS204にて推定した拡散状態と、に対して所定の関数 $f_3(\ )$ を用いることで推定される。なお、メイン噴射の噴霧体積も、ペネトレーション及び拡散状態を用いて推定される。また、ステップS205がメイン燃焼量推定部に対応する。また、メイン燃焼の燃焼量をメイン燃焼量と称する。

10

#### 【0074】

ステップS206では、メイン噴射による燃焼領域を推定する。燃焼領域は、燃料による燃焼が発生した位置や範囲であり、燃焼領域の推定には、4つの噴射パラメータのうち噴射量、ペネトレーション及び拡散状態の3つを用いる。例えば、噴射量、ペネトレーション及び拡散状態に対して所定の関数やマップ、モデルなどを用いることで燃焼領域を推定する。なお、ステップS206がメイン領域推定部に対応する。また、メイン燃焼の燃焼領域をメイン燃焼領域と称する。

#### 【0075】

20

ステップS207では、燃料噴射弁15から噴射された燃料の位置を示す座標系として燃料座標系を、実混合割合に基づいて設定する。この場合、ステップS207が座標設定部に対応する。図18に示すように、ピストン13の上端面13aには、凹部としてのキャビティ13bが設けられている。燃焼室11aは、キャビティ13bの内部空間を含んで形成されており、燃料噴射弁15は、ピストン13の幅方向において中心位置に配置されている。この場合、ピストン13の幅方向において、燃料噴射弁15の中心線Oとシリンダ19の内周面との離間距離は、ピストン13のボア半径のほぼ1/2になっている。

#### 【0076】

燃料座標系は、燃料噴射弁15から噴射された燃料の進行方向に延びた進行軸Nを有している。燃料噴射弁15から噴射された燃料は、燃焼室11aにおいて霧状の噴霧体になり、進行軸Nは、噴霧体が進む向きにおいてその噴霧体の前端部が通ると想定される位置に設定されている。ここで、メイン噴射が行われるタイミングにおいては、筒内温度が十分に高くなっていることに起因して着火遅れが生じにくくなっている。この場合、メイン噴射による噴霧体をメイン噴霧体Fと称すると、メイン噴霧体Fのほぼ全体がメイン燃焼領域を形成しており、メイン燃焼領域を推定することがメイン噴霧体Fの形状や位置を推定することになる。

30

#### 【0077】

ここでは、噴射量、低位発熱量、ペネトレーション及び拡散状態に基づいて進行軸Nを設定する。特に、燃焼室11aにおいては、燃料の動粘度や密度などが筒内環境に依存しやすく、その依存度合いは実混合割合によって決まってくる。このため、燃焼室11aでの動粘度や密度を実混合割合に基づいて取得し、この取得結果を考慮して進行軸Nを設定することが、メイン噴霧体Fやアフター噴霧体Gの挙動を考慮して進行軸Nを設定することになる。

40

#### 【0078】

進行軸Nは、燃料噴射弁15の中心線Oから噴孔の軸線に沿って延びた直線軸部N1と、キャビティ13bの内周面に沿って曲がった曲線軸部N2とを有している。メイン噴射及びアフター噴射が行われるタイミングでは、ピストン13が上死点TDC付近に存在しており、直線軸部N1はキャビティ13bの内周面に向けて延びている。曲線軸部N2は、キャビティ13bの内周面から内側に離間しており、進行軸Nにおいては、直線軸部N1と曲線軸部N2とが互いに交差する部分で接続されている。この場合、進行軸Nは、直

50

線軸部 N 1 が燃料噴射弁 1 5 から遠ざかり、曲線軸部 N 2 が燃料噴射弁 1 5 に向けて近づく形状になっている。

【 0 0 7 9 】

メイン噴射により燃料が噴射された場合、メイン噴霧体 F は、直線軸部 N 1 に沿って燃料噴射弁 1 5 から離れる向きに進んだ後、キャビティ 1 3 b の内周面に跳ね返されるように曲線軸部 N 2 に沿って燃料噴射弁 1 5 に近づく向きに戻る（図 2 1、図 2 2 参照）。ここで、メイン噴霧体 F の挙動は、キャビティ 1 3 b の内周面の形状や筒内流速、噴射圧力、噴射量などから影響を受ける。

【 0 0 8 0 】

ここで、メイン噴霧体 F やアフター噴霧体 G の挙動は、キャビティ 1 3 b の形状や筒内環境によって変わることはもちろんのこと、実混合割合によっても変わる。例えば、燃料噴射弁 1 5 から噴射された後の燃料の運動量は、動粘度や密度が大きい燃料ほど大きくなる。運動量が大きいほどキャビティ 1 3 b の内周面に到達したメイン噴霧体 F a の拡散範囲が大きくなりやすく、メイン噴霧体 F やアフター噴霧体 G の前端部がキャビティ 1 3 b の内周面に接近しやすい。この場合の進行軸 N を進行軸 N a と称すれば、この進行軸 N a は、進行軸 N よりもキャビティ 1 3 b の内周面に近い位置に配置される。一方、運動量が小さい燃料についての進行軸 N を進行軸 N b と称すれば、この進行軸 N b は、進行軸 N よりもキャビティ 1 3 b の内周面から遠い位置に配置される。

【 0 0 8 1 】

上記ステップ S 2 0 7 では、キャビティ 1 3 b の形状に応じたメイン噴霧体 F a の挙動を考慮して、メイン噴霧体 F a の前端部が通ると想定される経路に進行軸 N を設定する。

【 0 0 8 2 】

ステップ S 2 0 8 では、メイン噴霧体 F a の代表位置 F 1 を取得する。ここでは、メイン噴霧体 F a の進む向きにおいて、進行軸 N 上に存在するメイン噴霧体 F a の前側端部を代表位置 F 1 とする。このため、メイン噴霧体 F a の前端部が進行軸 N 上に存在している場合には、その前端部が代表位置 F 1 になる。なお、ステップ S 2 0 8 がメイン位置取得部に対応する。

【 0 0 8 3 】

ステップ S 2 0 9 では、メイン燃焼後に存在するスモーク量を推定する。スモーク量の推定には、メイン噴射について噴射量、低位発熱量、ペネトレーション及び拡散状態の 4 つの噴射パラメータを用いる。例えば、噴射量、低位発熱量、ペネトレーション及び拡散状態に対して所定の関数やマップ、モデルなどを用いることで燃焼領域を推定する。

【 0 0 8 4 】

なお、この処理で推定するスモーク量には、パイロット噴射に伴って発生するスモーク量が含まれていてもよい。この場合は、パイロット噴射について、噴射量、低位発熱量、ペネトレーション及び拡散状態に基づいてスモーク量を推定する。

【 0 0 8 5 】

図 7 に戻り、メイン推定処理の後、ステップ S 1 0 6 に進み、アフター噴射を対象としたアフター推定処理を行う。アフター推定処理については、図 1 9 を参照しつつ説明する。ここで、アフター噴射による燃料の燃焼をアフター燃焼と称し、その状態をアフター燃焼状態と称する。この場合、燃料の性状（例えばセタン価）が同一の燃料であっても、その燃料に含まれている分子構造種の混合割合が異なれば、アフター燃焼状態が異なってくる。アフター燃焼が適正に行われることで筒内温度が上昇した場合、メイン燃焼により発生したスモークが酸化しやすくなり、酸化したスモークが燃焼することで内燃機関 1 0 の出力が増加する。

【 0 0 8 6 】

図 1 9 において、ステップ 3 0 1 ~ S 3 0 4 では、実混合割合に基づいてアフター噴射の噴射状態を推定する。アフター噴射の噴射状態を示す噴射パラメータとしては、メイン噴射の噴射パラメータと同様に、噴射量、低位発熱量、ペネトレーション及び拡散状態の 4 つが挙げられる。基準混合割合を有する基準燃料については、メイン噴射と同様に、ア

10

20

30

40

50

フター噴射に関して筒内環境に応じた各噴射パラメータの値が試験等によりあらかじめ取得されており、これら取得データが基準データとしてメモリ80bに記憶されている。そして、実混合割合を有する実燃料については、アフター噴射に関して基準データと比較することで各噴射パラメータの値を推定する。なお、実燃料についての各噴射パラメータを、基準燃料についての各噴射パラメータとのずれ量に基づいて推定してもよく、実混合割合から直接的に絶対値を算出することで推定してもよい。

【0087】

ステップS301～S304では、ステップS201～S204でのメイン噴射についての各噴射パラメータの推定処理と同様に、アフター噴射についての各噴射パラメータを推定する。この場合、ステップS301がアフター噴射量推定部に対応し、ステップS302がアフター発熱量推定部に対応し、ステップS303がアフター貫徹力推定部に対応し、ステップS304がアフター拡散推定部に対応する。

10

【0088】

ステップS305、S306では、ステップS301～S304にて推定した各噴射パラメータを用いて、アフター燃焼状態を推定する。この燃焼状態を示す燃焼パラメータとしては、メイン燃焼の燃焼パラメータと同様に、燃焼量及び燃焼領域の2つが挙げられる。ここで、基準燃料については、アフター噴射に関して筒内環境に応じた各燃焼パラメータの値が試験等によりあらかじめ取得されており、噴射パラメータと同様に、これら取得データが基準データとしてメモリ80bに記憶されている。そして、実燃料については、アフター噴射に関して基準データと比較することで各燃焼パラメータの値を推定する。なお、実燃料についての各燃焼パラメータを、基準燃料についての各燃焼パラメータとのずれ量に基づいて推定してもよく、実混合割合から直接的に絶対値を算出することで推定してもよい。

20

【0089】

ステップS305、S306では、ステップS205、S206でのメイン噴射についての各燃焼パラメータの推定処理と同様に、アフター噴射についての各燃焼パラメータを推定する。この場合、ステップS305がアフター燃焼量推定部に対応し、ステップS306がアフター領域推定部に対応する。また、アフター燃焼の燃焼量をアフター燃焼量と称し、燃焼領域をアフター燃焼領域と称する。

【0090】

ここで、アフター噴射が行われるタイミングにおいては、メイン噴射が行われるタイミングと同様に、筒内温度が十分に高くなっていることに起因して着火遅れが生じにくくなっている。この場合、アフター噴射による噴霧体をアフター噴霧体Gと称すると、アフター噴霧体Gのほぼ全体がアフター燃焼領域を形成しており、アフター燃焼領域を推定することがアフター噴霧体Fの形状や位置を推定することになる。

30

【0091】

ステップS307では、アフター噴霧体Gの代表位置G1を取得する。ここでは、アフター噴霧体Gの進む向きにおいて、進行軸N上に存在するアフター噴霧体Gの前側端部を代表位置G1とする。このため、アフター噴霧体Gの前端部が進行軸N上に存在している場合には、その前端部が代表位置G1になる。なお、ステップS307がアフター位置取得部に対応する。

40

【0092】

図7に戻り、アフター推定処理の後、ステップS107に進み、メイン燃焼領域とアフター燃焼領域との離間距離を燃焼距離L1として算出する。この場合、ステップS107が、メイン燃焼領域とアフター燃焼領域との位置関係を取得する位置取得部、及び代表位置F1、G1の離間距離を取得する距離取得部に対応する。

【0093】

ここでは、メイン噴射及びアフター噴射のそれぞれについて、燃料噴射弁15への通電終了から所定時間tだけ経過したそれぞれのタイミングta、tbにて、メイン噴霧体Fa及びアフター噴霧体Gaが存在する場合を想定する。タイミングtaでは、図18に

50

示すようにメイン噴霧体 F a が存在し、タイミング t b では、図 20 に示すようにアフター噴霧体 G a が存在する。この場合、タイミング t b はタイミング t a より後のタイミングになっており（図 23 参照）、タイミング t a が第 1 タイミングに相当し、タイミング t b が第 2 タイミングに相当する。

【 0 0 9 4 】

図 20 に示すように、進行軸 N 上においてメイン噴霧体 F a の代表位置 F 1 とアフター噴霧体 G a の代表位置 G 1 との離間距離を燃焼距離 L 1 としている。燃焼距離 L 1 は、メイン燃焼領域とアフター燃焼領域との離間距離を示すことになる。

【 0 0 9 5 】

ステップ S 108 では、実燃料の燃焼距離 L 1 が適正であるか否かを判定する。ここで、基準燃料について、筒内環境に応じた燃焼距離のデータが試験等によりあらかじめ取得されており、このデータがメモリ 80b に記憶されている。ここでは、メモリ 80b から基準燃料の燃焼距離を読み込み、この基準燃料の燃焼距離と実燃料の燃焼距離 L 1 との「ずれ」を差分として算出し、この差分が基準距離より小さいか否かを判定する。差分が基準距離より小さくない場合、実燃料の燃焼距離 L 1 が適正でないとして、ステップ S 109 に進む。

【 0 0 9 6 】

ステップ S 109 では、燃焼距離 L 1 の差分が基準距離より小さくなるように、アフター燃焼領域の調整処理を行う。ここでは、実燃料のアフター噴霧体 G a の代表位置 G 1 が基準燃料の代表位置 G 1 よりメイン噴霧体 F a の代表位置 F 1 に近い場合に、代表位置 G 1 を進行軸 N 上において代表位置 F 1 から遠ざける離間処理を行う。また、実燃料の代表位置 G 1 が基準燃料の代表位置 G 1 より代表位置 F 1 から遠い場合に、代表位置 G 1 を代表位置 F 1 に近付ける接近処理を行う。離間処理は、アフター噴霧体 F b の代表位置 G 1 を燃料噴射弁 15 に近付けるために噴射圧力を小さくする処理や、アフター噴射の時期を TDC 側にずらす処理が挙げられる。接近処理としては、アフター噴霧体 F b の代表位置 G 1 を燃料噴射弁 15 から遠ざけるために噴射圧力を大きくする処理や、アフター噴射の時期を BDC 側にずらす処理が挙げられる。

【 0 0 9 7 】

アフター燃焼領域の調整処理においては、燃焼距離 L の差分を基準距離より小さくするための目標値を実混合割合に基づいて設定する。この場合、暫定の目標値を基準混合割合に基づいて取得し、この暫定の目標値を実混合割合を用いて補正することで目標値を算出する。例えば、噴射圧力を小さくする処理においては、噴射圧力の暫定の目標値を、基準混合割合を用いて且つ燃焼距離の差分に基づいて取得し、この暫定の目標値を実混合割合を用いて補正して目標値を算出する。これにより、噴射圧力を大きくする処理を行ったにもかかわらず、実混合割合に起因して噴射量が不足していたということが抑制される。

【 0 0 9 8 】

ここで、アフター燃焼によるスモークの酸化について、図 21 ~ 図 24 を参照しつつ説明する。図 21 に示すように、メイン噴射及びアフター噴射の両方が行われた後、アフター噴霧体 G a が存在しているタイミング t b では、メイン噴霧体 F a を形成していた燃料が時間の経過と共に進行軸 N に沿って移動することでメイン噴霧体 F b が存在している。進行軸 N において、アフター噴霧体 G a とメイン噴霧体 F b との離間距離を燃焼距離 L 2 と称すれば、この燃焼距離 L 2 は燃焼距離 L 1 より大きくなっている。

【 0 0 9 9 】

図 22 に示すように、タイミング t b から所定期間だけ経過したタイミング t c（図 23 参照）では、メイン噴霧体 F b 及びアフター噴霧体 G a を形成していた各燃料が進行軸 N に沿って移動することで、メイン噴霧体 F c 及びアフター噴霧体 G b を形成している。このタイミング t c では、アフター噴霧体 G a が燃焼領域を形成していることで筒内温度が上昇し、メイン噴霧体 F c に含まれたスモークが酸化しやすくなっている。

【 0 1 0 0 】

図 23 に示すように、パイロット噴射、メイン噴射及びアフター噴射が行われるたびに

10

20

30

40

50

熱発生率が上昇し、それぞれの噴射の実行に伴って筒内温度が上昇する。また、メイン噴霧体 F の代表位置 F 1 及びアフター噴霧体 G の代表位置 G 1 は、それぞれ時間の経過と共に進行軸 N に沿って進む。

【 0 1 0 1 】

図 2 3 において、メイン噴霧体 F の代表位置 F 1 については進行軸 N が上方を向いており、アフター噴霧体 G の代表位置 G 1 については進行軸 N が下方を向いている。これら代表位置 F 1 , G 1 の進行距離を示す線が、タイミング  $t_b$  ,  $t_c$  の間にて交差している。この交差部分 S a は、メイン噴霧体 F とアフター噴霧体 G との位置関係が、アフター噴霧体 G の燃焼により燃焼室 1 1 a 中のスモークを酸化させやすい関係になったことを示している。この場合、交差部分 S a よりもタイミング  $t_c$  側において、代表位置 F 1 , G 1 の進行距離を示す線の間の面積を酸化指標 S と称する。

10

【 0 1 0 2 】

酸化指標 S は、アフター燃焼によるスモークの酸化度合いを示す値である。図 2 4 に示すように、燃焼室 1 1 a 中のスモークがアフター燃焼により低減する度合いを低減率とした場合、このスモーク低減率は、酸化指標 S が大き過ぎても小さ過ぎても低減する。例えば、基準燃料が使用された場合の酸化指標が、スモーク低減率の最も大きくなる酸化指標になっている。

【 0 1 0 3 】

図 7 に戻り、ステップ S 1 1 0 では、メモリ 8 0 b から基準燃料の燃焼量を読み込み、この基準燃料の燃焼量と実燃料の燃焼量との「ずれ」を差分として算出し、この差分があらかじめ定められた基準量より小さいか否かを判定する。この場合の差分は、基準燃料の燃焼量と実燃料の燃焼量との差の絶対値である。

20

【 0 1 0 4 】

ここで、アフター噴射による燃焼量の目標値は、ステップ S 2 0 9 にて推定されたメイン燃焼後のスモーク量に応じて設定され、差分の判定基準は燃焼量の目標値に応じて設定される。例えば、スモーク量が多いほど燃焼量の目標値が大きい値に設定される。この場合、差分の基準量が目標値の所定率に設定されると、この目標値が大きいほど差分の基準量が大きい値に設定されることになる。

【 0 1 0 5 】

燃焼量の差分が基準量より小さくない場合、ステップ S 1 1 1 に進み、燃焼量の差分が基準量より小さくなるように、アフター燃焼量の調整処理を行う。ここでは、実燃料のアフター燃焼量が基準アフター燃焼量より小さい場合に、燃焼量を増加させるための増加処理を行い、実燃料のアフター燃焼量が基準燃料のアフター燃焼量より大きい場合に、アフター燃焼量を減少させるための減少処理を行う。増加処理としては、アフター噴射について、噴射量を増加させる処理や、噴射圧を上昇させる処理、噴射時期をピストン 1 3 の上死点 T D C 側にずらす処理、E G R 率を低下させる処理などが挙げられる。減少処理としては、アフター噴射について、噴射量を減少させる処理や、噴射圧を低下させる処理、噴射時期をピストン 1 3 の化死点 B D C 側にずらす処理、E G R 率を増加させる処理などが挙げられる。

30

【 0 1 0 6 】

燃焼量の調整処理においては、燃焼量の差分を基準量より小さくするための目標値を実混合割合に基づいて設定する。この場合、暫定の目標値を基準混合割合に基づいて取得し、この暫定の目標値を実混合割合を用いて補正することで、目標値を算出する。例えば、噴射量を増加させる処理においては、噴射量の暫定の目標値を、基準混合割合を用いて且つ燃焼量の差分に基づいて取得し、この暫定の目標値を実混合割合を用いて補正することで目標値を算出する。これにより、噴射量を増加させる処理を行ったにもかかわらず、実混合割合に起因して噴射量が不足していたということが抑制される。

40

【 0 1 0 7 】

なお、ステップ S 1 0 9 , S 1 1 1 が燃焼制御部に対応する。

【 0 1 0 8 】

50

ここで、1 燃焼サイクルにおいては、筒内温度の上昇中に行われるパイロット噴射、メイン噴射、アフター噴射、筒内温度の低下中に行われるポスト噴射が、この順番で行われる。筒内酸素濃度は、パイロット噴射が行われるタイミングが最も大きく、メイン噴射、アフター噴射の順で小さくなり、ポスト噴射が行われるタイミングが最も小さくなる。

#### 【0109】

筒内温度は、吸気開始後のパイロット噴射が行われるタイミングが最も低い低温であり、メイン噴射及びアフター噴射が行われるタイミングで十分に高い高温に上昇する。その後、筒内温度は、ピストンの膨張行程においてシリンダ容積の増加に伴って低下するが、ポスト噴射が行われるタイミングではパイロット噴射が行われるタイミングよりも高い中温になっている。燃焼室 11a においては、例えば低温域を 900 K 以下とし、中温域を 900 K ~ 1100 K とし、高温域が 1100 K 以上とする。

10

#### 【0110】

1 燃焼サイクルにおいては、燃料の噴射に伴って OH ラジカルが発生することで、ケトンやアルデヒド等の燃焼性分子の酸化により化学的な燃焼が開始される。OH ラジカルを発生させる反応としては、不活性  $\text{H}_2\text{O}_2$  ラジカルとアルケンから生成された過酸化水素  $\text{H}_2\text{O}_2$  が OH ラジカルに分解される分解反応と、炭化水素に酸素が付与され、燃焼性分子が生成される過程で OH ラジカルの生成及び消費を繰り返す連鎖分岐反応とが挙げられる。連鎖分岐反応については、OH ラジカルの生成量と消費量とがほぼ同じであり、OH ラジカルに寄与する成分を推定することは、燃焼性分子の生成量を推定することと同義である。

20

#### 【0111】

燃料の各分子構造種には、連鎖分岐反応の過程で OH ラジカルを生成しやすい生成分子と、OH ラジカルを生成しにくいインヒビター分子とが含まれている。生成分子としては直鎖パラフィン類があり、インヒビター分子としては芳香族類がある。燃料においては、連鎖分岐反応だけでなくどの場合でも、生成分子とインヒビター分子との密度分布に応じて着火のしやすさが異なる。ただし、高温域において  $\text{H}_2\text{O}_2$  の分解が過剰の場合は、OH ラジカルの生成状態と噴霧内外の流体的な乱れとに応じて着火時期が変化する。生成分子とインヒビター分子との密度分布は、連鎖分岐反応により生成される OH ラジカル分布の時系列に沿った発生位置に影響を与えるものであり、連鎖分岐反応の発生態様は燃料成分に相関しているといえる。

30

#### 【0112】

燃料の噴射に伴う着火の生じやすさは、その時の筒内温度がどの温度域にあるのかによって変わる。図 25 に示すように、筒内温度が 900 K 以下の低温域においては、 $\text{H}_2\text{O}_2$  が分解されにくく、 $\text{H}_2\text{O}_2$  の分解反応による OH ラジカルの生成量が非常に少ない。その一方で、燃料成分のうち、分子内異性化により水素を引き抜き歪エネルギーの小さい構造を持つことができる成分による連鎖分岐反応が発生しやすく、この連鎖分岐反応に関わる OH ラジカルの生成量が比較的多くなっている。この場合、生成分子が数多く存在していることで連鎖分岐反応が発生しやすく、 $\text{H}_2\text{O}_2$  の分解反応は発生しにくい。

#### 【0113】

これに対して、発明者らは、パイロット噴射が行われる温度域である低温域では、燃料成分に対する着火時期の依存度が高いという知見を得た。この場合、実混合割合によっては、高温時の  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解に伴う OH ラジカル生成と 開裂により炭素数が 1 ~ 3 個 (C1 ~ C3) のケトンやアルデヒド等の燃焼性分子に強制的に分解されて着火が行われる場合に比べて、着火遅れが生じやすくなる。

40

#### 【0114】

低温域から筒内温度が高くなるにつれて、連鎖分岐反応による OH ラジカルの生成量が徐々に減少するとともに、 $\text{H}_2\text{O}_2$  の分解反応による OH ラジカルの生成量が急激に増加する。

#### 【0115】

例えば、筒内温度が 900 K ~ 1100 K の中温域においては、 $\text{H}_2\text{O}_2$  が分解しやす

50

くなっているものの、 $H_2O_2$ の分解反応によるOHラジカルの生成量が温度上昇に伴っても急増はしていない。この場合、燃料成分による連鎖分岐反応によって生成するOHラジカルに比べ、 $H_2O_2$ の分解反応によるOHラジカルの生成量が多くなる。そして、連鎖分岐反応が起こる歪エネルギーの小さい構造を形成する前に炭素数1～3個の構造を持つ分子が増加し、連鎖分岐反応は徐々に減少する。

【0116】

これに対して、発明者らは、ポスト噴射が行われる温度域である中温域での着火時期について、連鎖分岐反応を起こす燃料成分としての生成分子に依存する着火遅れと、生成分子等の燃料成分に感度を持たない $H_2O_2$ の分解反応による着火遅れとを考慮する必要がある、という知見を得た。このため、中温域においては、燃料成分に対する着火時期の依存度がパイロット噴射の行われる低温域に比べて低く、実混合割合によっては、ポスト噴射の方がパイロット噴射に比べて着火遅れが生じにくくなる。

10

【0117】

また、筒内温度が1100K以上の高温域においては、 $H_2O_2$ が分解しやすく、 $H_2O_2$ の分解反応によるOHラジカルの生成量が温度上昇に伴って急激に増加している。その一方で、燃料成分による連鎖分岐反応を起こす分子が減少し、連鎖分岐反応によるOHラジカルの生成量が非常に少なくなっている。これに対して、発明者らは、メイン噴射やアフター噴射が行われる温度域である高温域では、着火時期が燃料の化学的な燃焼に影響されることがほぼない、という知見を得た。このため、実混合割合によっては、メイン噴射やアフター噴射の方がポスト噴射に比べて着火遅れが生じにくくなる。

20

【0118】

ここまで説明した第1実施形態の作用効果を、以下に説明する。

【0119】

第1実施形態によれば、実燃料のメイン燃焼領域及びアフター燃焼領域が実混合割合に基づいて個別に推定される。このため、メイン噴射とアフター噴射とで筒内環境等が異なっていることに起因して、メイン燃焼領域とアフター燃焼領域とで実混合割合から受ける影響が異なっていたとしても、これら燃焼領域の相対的な位置関係を適正に管理できる。この場合、メイン燃焼領域とアフター燃焼領域とが互いに近いことでアフター燃焼が不完全燃焼になってスモークの発生量が増加するということや、これら燃焼領域が互いに遠いことでアフター燃焼によるスモークの酸化率が低下するというのを抑制できる。したがって、様々な性状を有する燃料のいずれが使用された場合でも、アフター噴射により排気エミッションや内燃機関10の出力を適正化できる。

30

【0120】

第1実施形態によれば、メイン噴射及びアフター噴射のそれぞれについて、噴射量、低位発熱量、ペネトレーション及び拡散状態という4つの噴射パラメータを用いてメイン燃焼状態及びアフター燃焼状態が推定されている。この場合、例えば、実混合割合に対して関数やマップ、モデルを用いてメイン燃焼状態が直接的に推定される構成に比べて、関数やマップ、モデルに関する推定結果の依存度を低くすることや、関数やマップ、モデルの作成難易度を下げることが可能になる。このため、メイン燃焼状態やアフター燃焼状態の推定精度を高めることができる。

40

【0121】

第1実施形態によれば、アフター燃焼領域やアフター燃焼量の調整処理が実混合割合に基づいて行われるため、これら調整処理を行ったにもかかわらず燃焼距離Lや燃焼量の「ずれ」が基準距離や基準量内に含まれない、という事態の発生を抑制できる。このため、実混合割合を用いることでメイン噴射及びアフター噴射についての燃焼量や燃焼領域の推定精度を高めた構成において、その高い推定精度を内燃機関10の制御に有効に活用できる。

【0122】

第1実施形態によれば、燃料座標系の座標軸として進行軸Nが実混合割合に基づいて設定されているため、実混合割合に関係なく1つの座標軸が設定された構成に比べて、代表

50

位置 F 1 , G 1 の取得精度を高めることができる。これは、メイン噴霧体 F 及びアフター噴霧体 G について、それぞれの前端部が代表位置 F 1 , G 1 になるように進行軸 N が設定されていることで、噴霧体における相対的な位置をメイン噴霧体 F とアフター噴霧体 G とでほぼ同じにできるためである。

【 0 1 2 3 】

第 1 実施形態によれば、メイン噴霧体 F の代表位置 F 1 及びアフター噴霧体 G の代表位置 G 1 が個別に取得されるため、メイン燃焼領域とアフター燃焼領域との相対的な位置関係を数値化することができる。したがって、これら燃焼領域の位置関係を管理する上で処理負担を低減することが可能になる。

【 0 1 2 4 】

第 1 実施形態によれば、メイン噴射及びアフター噴射から所定時間  $t$  だけ経過したタイミング  $t_a$  ,  $t_b$  にて、メイン噴霧体 F a の代表位置 F 1 及びアフター噴霧体 G a の代表値 G 1 が取得される。この場合、メイン噴射及びアフター噴射のそれぞれが受ける筒内環境の影響が極力小さい段階で代表位置 F 1 , G 1 が取得されるため、取得精度を高めることができる。例えば、タイミング  $t_b$  にて代表位置 F 1 , G 1 の両方が取得される構成では、タイミング  $t_b$  でのメイン噴霧体 F b が筒内流速など筒内環境の影響を大きく受けていると考えられ、このメイン噴霧体 F b の代表位置 F 1 の取得精度が低下しやすい。

【 0 1 2 5 】

( 第 2 実施形態 )

上記第 1 実施形態では、メイン噴射及びアフター噴射について、代表位置 F 1 , G 1 がそれぞれの燃焼領域を用いて取得されていたが、第 2 実施形態では、代表位置 F 1 , G 1 がそれぞれのペネトレーション及び拡散状態を用いて取得される。ここでは、本実施形態のアフター制御処理について図 2 6 ~ 図 2 8 のフローチャートを参照しつつ説明する。

【 0 1 2 6 】

図 2 6 において、ステップ S 4 0 1 ~ S 4 0 6 では、上記第 1 実施形態のステップ S 1 0 1 ~ S 1 0 6 と同じ処理を行う。ただし、ステップ S 4 0 5 のメイン推定処理、及びステップ S 4 0 6 のアフター推定処理については、燃焼量及び燃焼領域という 2 つの燃焼パラメータの推定を行わない。なお、ステップ S 4 0 1 が混合取得部に対応する。

【 0 1 2 7 】

メイン推定処理については、図 2 7 において、ステップ S 5 0 1 ~ S 5 0 3 にて、上記第 1 実施形態のステップ S 2 0 1 , S 2 0 3 , S 2 0 4 と同じ処理を行う。なお、ステップ S 5 0 2 が、メイン噴射についてのペネトレーションを推定する貫徹力推定部に対応する。

【 0 1 2 8 】

ステップ S 5 0 4 では、メイン噴射についての噴射量、ペネトレーション及び拡散状態に基づいてメイン噴霧体 F の形状や位置を推定する。例えば、噴射量、ペネトレーション及び拡散状態に対して所定の関数やマップ、モデルなどを用いることでメイン噴霧体 F を推定する。ここでは、少なくともタイミング  $t_a$  ,  $t_b$  ,  $t_c$  についてのメイン噴霧体 F の形状や位置を推定する。なお、噴射量、ペネトレーション及び拡散状態の少なくとも 1 つを用いることでメイン噴霧体 F を推定してもよい。

【 0 1 2 9 】

ステップ S 5 0 5 , S 5 0 6 では、上記第 1 実施形態のステップ S 2 0 7 , S 2 0 8 と同じ処理を行う。なお、ステップ S 5 0 6 は、メイン噴霧体 F の代表位置 F 1 を取得するメイン位置取得部に対応する。

【 0 1 3 0 】

アフター推定処理については、図 2 8 において、ステップ S 6 0 1 ~ S 6 0 3 にて、上記第 1 実施形態のステップ S 3 0 1 , S 3 0 3 , S 3 0 4 と同じ処理を行う。なお、ステップ S 6 0 2 が、アフター噴射についてのペネトレーションを推定する貫徹力推定部に対応する。

【 0 1 3 1 】

10

20

30

40

50

ステップS604では、アフター噴射についての噴射量、ペネトレーション及び拡散状態に基づいてアフター噴霧体Gの位置や形状を推定する。例えば、噴射量、ペネトレーション及び拡散状態に対して所定の関数やマップ、モデルなどを用いることでアフター噴霧体Gを推定する。ここでは、少なくともタイミング $t_b$ 、 $t_c$ についてのアフター噴霧体Gの形状や位置を推定する。なお、メイン噴霧体Fと同様に、噴射量、ペネトレーション及び拡散状態の少なくとも1つを用いることでアフター噴霧体Gを推定してもよい。

【0132】

ステップS605では、上記第1実施形態のステップS307と同じ処理を行う。なお、ステップS605は、アフター噴霧体Gの代表位置G1を取得するアフター位置取得部に対応する。

【0133】

図26に戻り、アフター推定処理の後、ステップS407では、メイン噴射のペネトレーションとアフター噴射のペネトレーションとの差分を、メイン噴射を基準としたペネトレーション減少量として取得する。

【0134】

ステップS408では、ペネトレーション減少量が適正であるか否かを判定する。ここで、基準燃料について、筒内環境に応じたペネトレーション減少量のデータが試験等によりあらかじめ取得されており、このデータがメモリ80bに記憶されている。ここでは、メモリ80bから基準燃料のペネトレーション減少量を読み込み、この基準燃料のペネトレーション減少量と実燃料のペネトレーション減少量との「ずれ」を差分として算出し、この差分が基準量より小さいか否かを判定する。差分が基準量より小さくない場合、実燃料のペネトレーション減少量が適正でないとして、ステップS409に進む。

【0135】

ステップS409では、ペネトレーション減少量の差分が基準量より小さくなるように、アフター噴射のペネトレーションについて調整処理を行う。ここでは、実燃料のペネトレーション減少量が基準燃料のペネトレーション減少量より大きい場合には、噴射量を減少させる処理や、燃料の噴射段数を増加させる処理、噴射圧力を減少させる処理などを行う。この場合、アフター噴射の燃料がメイン燃焼領域に突入しにくくなり、アフター噴射の燃料が不完全燃焼に陥ることが抑制されるため、排気エミッションが適正化される。

【0136】

一方、実燃料のペネトレーション減少量が基準燃料のペネトレーション減少量より小さい場合には、噴射量を増加させる処理や、燃料の噴射段数を減少させる処理、噴射圧力を増加させる処理などを行う。この場合、アフター噴射の燃料がメイン燃焼領域に接近しやすくなり、メイン燃焼により生じたスモークの酸化が促されるため、内燃機関10の出力が適正に増加する。

【0137】

第2実施形態によれば、メイン噴射のペネトレーション及びアフター噴射のペネトレーションが実混合割合に基づいて推定される。このため、メイン噴射とアフター噴射とで筒内環境等が異なっていることに起因して、メイン噴射とアフター噴射とでペネトレーションが実混合割合から受ける影響が異なっていたとしても、これらペネトレーションの相対関係を適正に管理できる。この場合、上記第1実施形態と同様に、アフター噴射によるスモークの発生量が増加するということや、アフター噴射によるスモークの酸化率が低下するというのを抑制できる。

【0138】

(他の実施形態)

以上、発明の好ましい実施形態について説明したが、発明は上述した実施形態に何ら制限されることなく、以下に例示するように種々変形して実施することが可能である。各実施形態で具体的に組合せが可能であることを明示している部分同士の組合せばかりではなく、特に組合せに支障が生じなければ、明示してなくとも実施形態同士を部分的に組み合わせることも可能である。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 3 9 】

変形例 1 として、混合割合推定部 8 2 が、複数の燃焼特性値に基づき分子構造種の混合割合を推定するのではなく、燃料の一般性状をセンサで検出し、その検出結果に基づき上記混合割合を推定してもよい。上記一般性状の具体例としては、燃料の密度、動粘度、蒸留温度等が挙げられる。

## 【 0 1 4 0 】

また、混合割合推定部 8 2 による推定結果と、上記センサの検出結果の両方に基づいて、上記混合割合を推定してもよい。例えば、推定結果及び検出結果のいずれか一方に基づいて推定された混合割合を、他方に基づいて補正すればよい。また、分子構造種に応じて異なる手法で推定してもよい。例えば、第 1 の分子構造種の混合割合については、混合割合推定部 8 2 による推定結果に基づいて推定し、第 2 の分子構造種の混合割合については、上記センサの検出結果に基づいて推定する。

10

## 【 0 1 4 1 】

変形例 2 として、燃料に含まれた分子構造種の混合割合を推定するのではなく、燃料に含まれている水素や炭素、硫黄、窒素、酸素といった成分の混合割合を推定してもよい。例えば、平均炭素数や平均水素数、水素数と炭素数との比である H C 比などが、水素や炭素についての混合割合として挙げられる。この構成では、各種成分の混合割合に基づいて、噴射量等の噴射パラメータや燃焼量等の燃焼パラメータが推定される。この場合、実燃料に含まれた成分が異なっていたり成分の混合割合が異なっていたりしても、今回のメイン噴射およびアフター噴射による燃焼状態を適正に推定できる。なお、平均炭素数等の燃料成分を中間パラメータと称することもできる。

20

## 【 0 1 4 2 】

変形例 3 として、上記第 1 実施形態のステップ S 1 0 9 等の調整処理や、上記第 2 実施形態のステップ 4 0 9 の調整処理が、実混合割合に基づいて行われるのではなく、実混合割合に関係なく行われてもよい。例えば、上記第 1 実施形態において、ステップ S 2 0 6 , S 3 0 6 にて実混合割合に基づいて燃焼領域が推定された後、ステップ S 1 0 9 において、燃焼領域を調整するために目標噴射圧力等が実混合割合に関係なく設定される構成とする。

## 【 0 1 4 3 】

変形例 4 として、メイン噴射及びアフター噴射について、燃焼量等の燃焼パラメータを、噴射量等の 4 つの噴射パラメータの少なくとも 1 つを用いて推定してもよい。例えば、燃焼領域をペネトレーションだけを用いて推定する。この場合でも、4 つの噴射パラメータが互いに相関関係にあることに起因して、燃焼領域を推定する上である程度の推定精度を確保することができる。

30

## 【 0 1 4 4 】

変形例 5 として、ポスト燃焼について、低位発熱量を噴射パラメータとして用いるのではなく、高位発熱量を噴射パラメータとして用いてもよい。また、低位発熱量及び高位発熱量の両方を含んだ発熱量を噴射パラメータとして用いてもよい。

## 【 0 1 4 5 】

変形例 6 として、実混合割合及び基準混合割合のそれぞれについて、噴射量等の噴射パラメータや燃焼量等の燃焼パラメータを個別に推定しなくてもよい。例えば、実混合割合と基準混合割合との差分を算出し、この差分に基づいて噴射パラメータや燃焼パラメータの差分を推定する。この場合、基準燃料の燃焼状態と実燃料の燃焼状態との「ずれ」を直接的に推定することになる。

40

## 【 0 1 4 6 】

変形例 7 として、上記第 1 実施形態において、燃焼量等の燃焼パラメータを噴射量等の噴射パラメータを用いずに推定してもよい。例えば、燃焼量を、噴射パラメータに基づいて推定するのではなく、筒内圧センサ 2 1 の検出信号及び実混合割合に基づいて推定する。この場合でも、燃焼量の推定に燃料の実混合割合を反映させることができる。

## 【 0 1 4 7 】

50

変形例 8 として、メイン推定処置やアフター推定処理において、噴射パラメータとして、着火遅れ特性を推定してもよい。着火遅れ特性は、着火しやすさを示す特性であり、例えば、筒内環境が着火を促す状態にある場合について、燃料の着火が開始されるまでに要する時間で表現されるものである。筒内環境が着火を促す状態としては、例えば、筒内温度及び筒内圧が着火の発生にとって十分に高くなっている状態などが挙げられる。この場合、例えば燃焼量を、燃焼率を、ペネトレーション、拡散状態及び着火遅れ特定に基づいて推定してもよい。

**【 0 1 4 8 】**

変形例 9 として、上記第 2 実施形態において、メイン噴射及びアフター噴射のそれぞれについて、実混合割合に基づいて燃料の噴射領域を推定してもよい。例えば、メイン推定処理及びアフター推定処置においては、メイン噴射及びアフター噴射のそれぞれについてペネトレーション及び拡散状態を推定し、これらペネトレーション及び拡散状態に基づいて噴射領域を推定する。そして、アフター制御処理においては、実燃料の噴射領域と基準燃料の噴射領域との「ずれ」を差分として算出し、この差分に基づいて噴射領域を調整する調整処理を行う。

10

**【 0 1 4 9 】**

変形例 10 として、噴霧体 F, G の前側端部が代表位置 F 1, G 1 とされるのではなく、噴霧体 F, G の中間位置や後側端部が代表位置 F 1, G 1 とされていてもよい。特に、進行軸 N に直交する方向を噴霧体 F, G の幅方向とした場合に、その幅方向において噴霧体 F, G の中心位置を代表位置 F 1, G 1 とする。ここで、幅方向において噴霧体 F, G の中心位置は、実混合割合や筒内環境によって変化しやすいと考えられる。このため、幅方向において噴霧体 F, G の中心位置を代表位置 F 1, G 1 とした構成では、進行軸 N を実混合割合に基づいて設定していることで、代表位置 F 1, G 1 の推定精度を適正に保つことができる。

20

**【 0 1 5 0 】**

変形例 11 として、燃料座標系は実混合割合に関係なく設定されてもよい。例えば、進行軸 N が、噴孔の伸び方向とキャピティ 13 b の内周面の形状とに基づいて設定された構成とする。ここで、実混合割合や筒内環境が変わっても噴霧体 F, G の前側端部の位置は変わりにくいと考えられる。このため、噴霧体 F, G の前側端部の位置が代表位置 F 1, G 1 とされている構成では、進行軸 N が実混合割合に関係なく設定されても、代表位置 F 1, G 1 の取得精度が低下しにくくなっている。

30

**【 0 1 5 1 】**

変形例 12 として、代表位置 F 1, G 1 は、噴霧体 F, G ごとに異なる位置に設定されてもよい。例えば、メイン噴霧体 F については前側端部を代表位置 F 1 とし、アフター噴霧体 G については後側端部を代表位置 G 1 とする。この場合でも、代表位置 F 1, G 1 の離間距離を算出することで、噴霧体 F, G の位置関係を取得できる。

**【 0 1 5 2 】**

変形例 13 として、上記第 1 実施形態において、燃焼距離 L 1 に基づいてアフター燃焼領域の調整処理を行うのではなく、この調整処理を燃焼距離 L 2 に基づいて行ってもよい。すなわち、タイミング t a, t b という異なるタイミングでの噴霧体 F a, G a について代表位置 F 1, G 1 を比較するのではなく、同一のタイミング t b での噴霧体 F b, G b について代表位置 F 1, G 1 を比較する。この場合でも、代表位置 F 1, G 1 を用いてメイン噴霧体 F とアフター噴霧体 G との位置関係を取得していることになる。

40

**【 0 1 5 3 】**

変形例 14 として、燃料の一般性状を検出する性状センサが設けられていてもよい。例えば、燃料の動粘度や密度を検出する性状センサが燃料タンクやコモンレールに設けられた構成とする。この構成では、燃料の平均炭素数や平均水素数が、性状センサの検出結果に基づいて推定されてもよい。

**【 0 1 5 4 】**

変形例 15 として、筒内温度は、温度検出素子 2 1 a により検出されるのではなく、筒

50

内圧センサ 21 により検出された筒内圧に基づき推定してもよい。具体的には、筒内温度を、筒内圧力、シリンダ容積、シリンダ内のガス重量、ガス定数から演算して推定する。

【 0 1 5 5 】

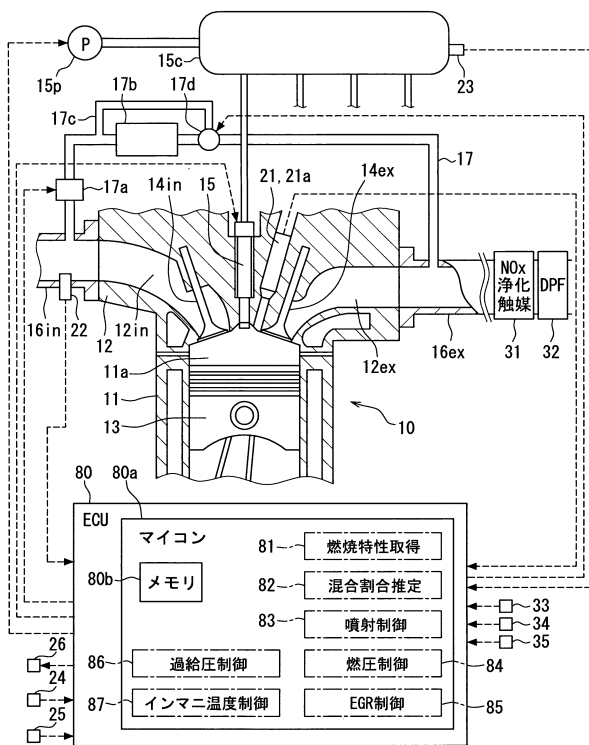
変形例 16 として、燃焼システムの推定装置及び制御装置としての ECU 80 が提供する手段および/または機能は、実体的な記憶媒体に記録されたソフトウェアおよびそれを実行するコンピュータ、ソフトウェアのみ、ハードウェアのみ、あるいはそれらの組合せによって提供することができる。例えば、燃焼システムの制御装置がハードウェアである回路によって提供される場合、それは多数の論理回路を含むデジタル回路、またはアナログ回路によって提供することができる。

【 符号の説明 】

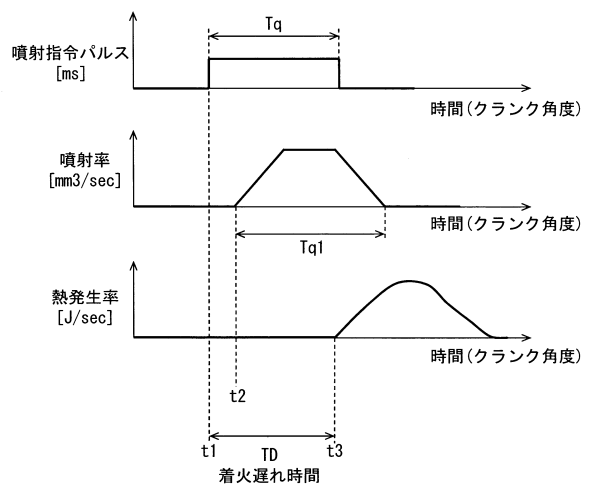
【 0 1 5 6 】

10 ... 内燃機関、 11 a ... 燃焼室、 80 ... ECU ( 推定装置、 制御装置 ) 。

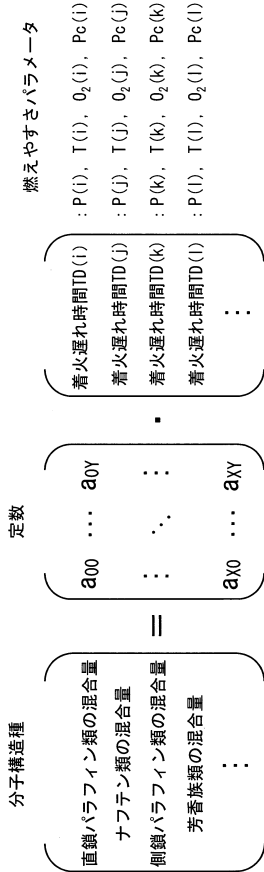
【 図 1 】



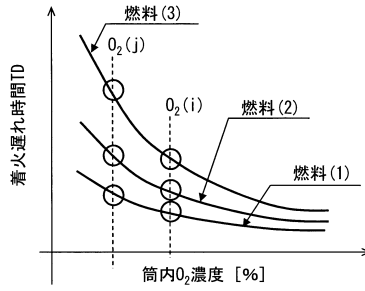
【 図 2 】



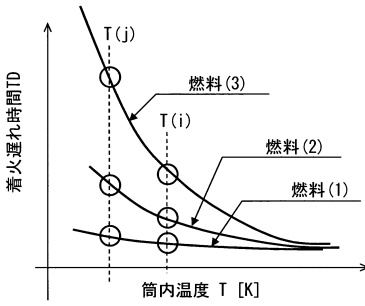
【図3】



【図4】



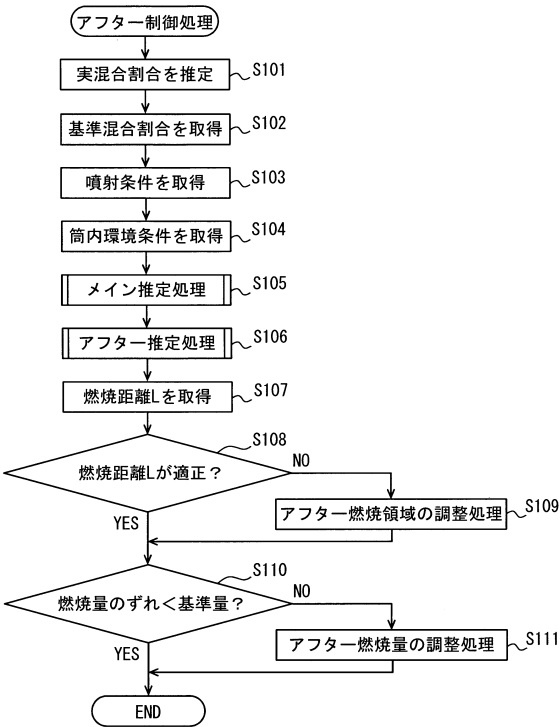
【図5】



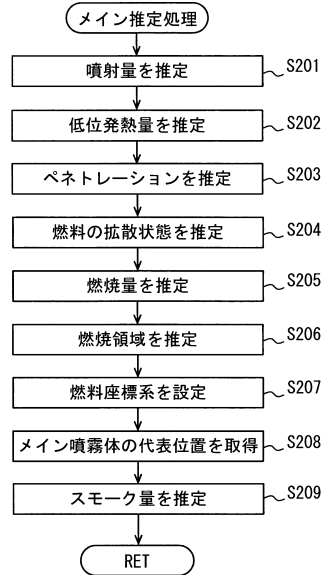
【図6】

	分子構造種A	分子構造種B	分子構造種C
燃料(1)	多	多	少
燃料(2)	少	多	少
燃料(3)	多	少	多

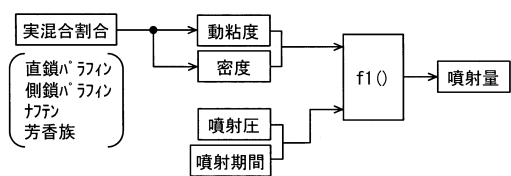
【図7】



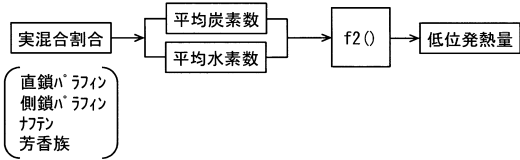
【図8】



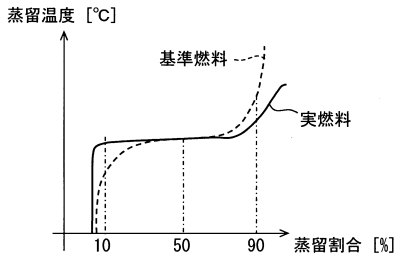
【図9】



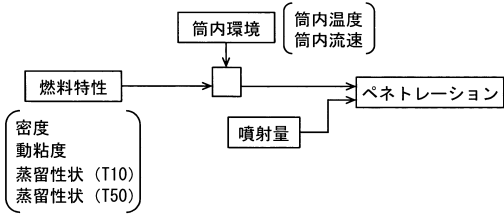
【図10】



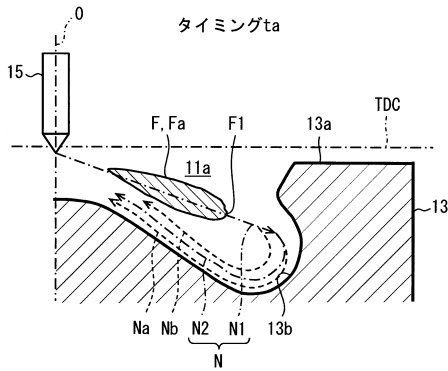
【図11】



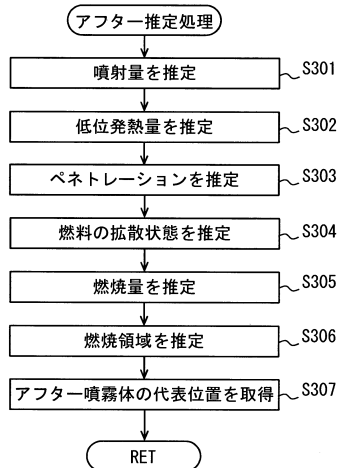
【図12】



【図18】



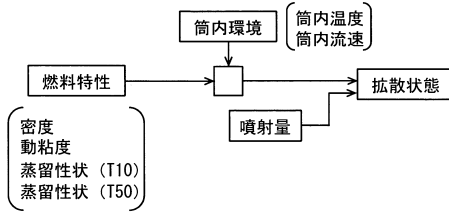
【図19】



【図13】

$$\begin{pmatrix} \text{ペネトレーションP1} \\ \text{ペネトレーションP2} \\ \text{ペネトレーションP3} \\ \dots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{00} & \dots & b_{0Y} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{X0} & \dots & b_{XY} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \text{動粘度} \\ \text{密度} \\ \text{蒸留特性: T10} \\ \text{蒸留特性: T50} \\ \dots \end{pmatrix}$$

【図14】



【図15】

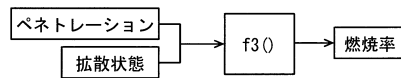
$$\begin{pmatrix} \text{拡散状態D1} \\ \text{拡散状態D2} \\ \text{拡散状態D3} \\ \dots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{00} & \dots & c_{0Y} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{X0} & \dots & c_{XY} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \text{動粘度} \\ \text{密度} \\ \text{蒸留特性: T10} \\ \text{蒸留特性: T50} \\ \dots \end{pmatrix}$$

【図16】

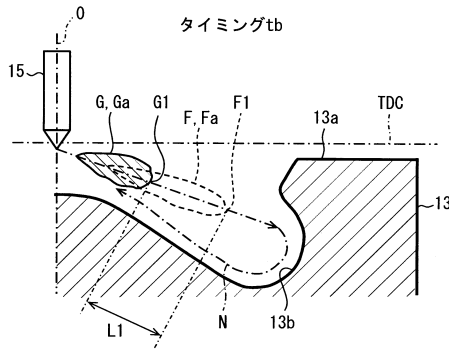
$$Q_{burn} [J] = \alpha [-] \cdot \rho [g/mm^3] \cdot Q_{inj} [mm^3/st] \cdot A [J/g]$$

燃焼量
燃焼率
噴射量
低位発熱量

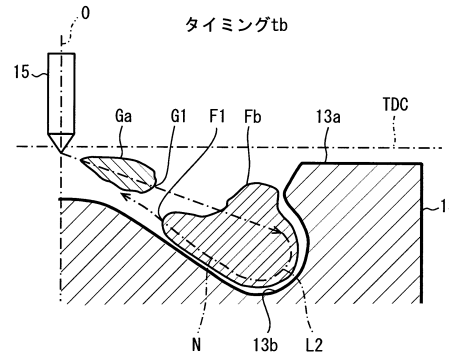
【図17】



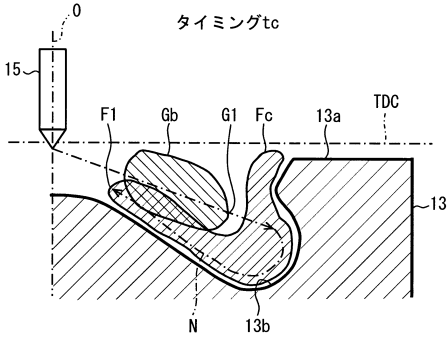
【図20】



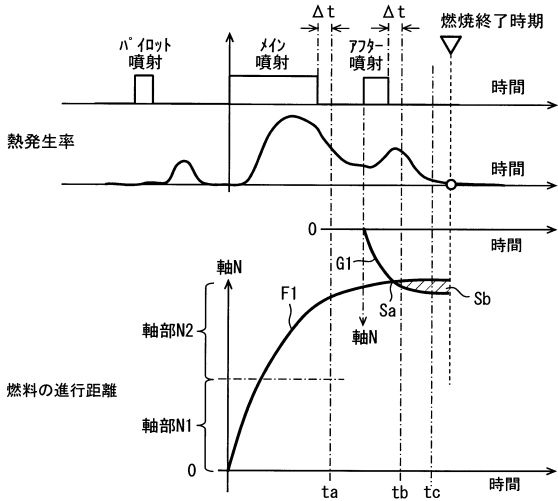
【図21】



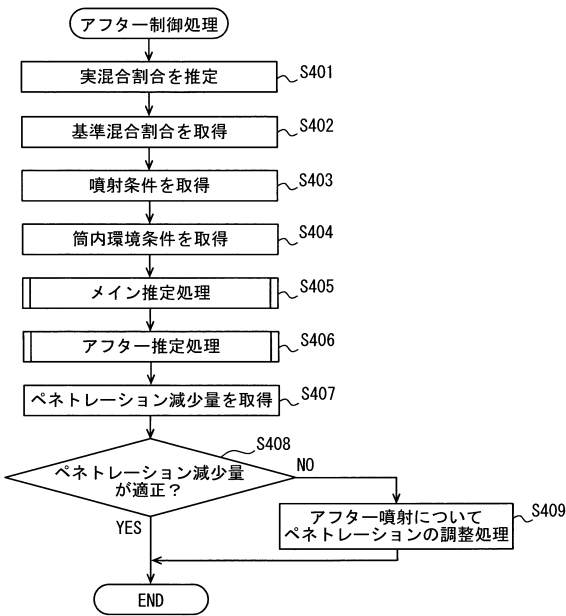
【図22】



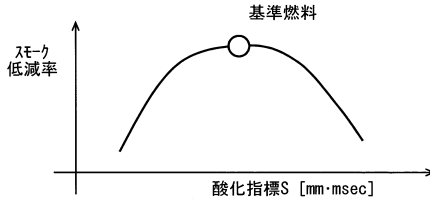
【図23】



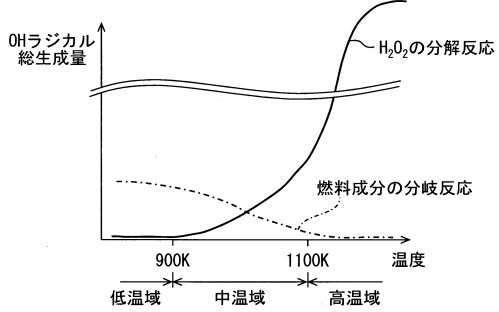
【図26】



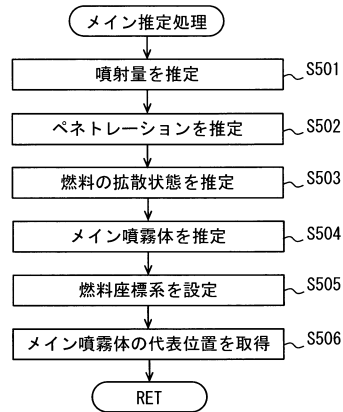
【図24】



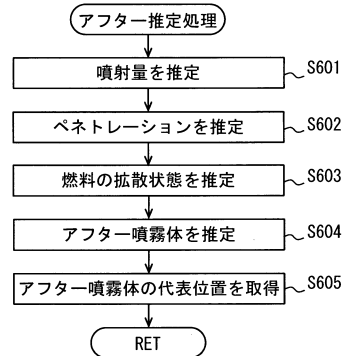
【図25】



【図27】



【図28】



---

フロントページの続き

審査官 田村 佳孝

- (56)参考文献 特開2012-241638(JP,A)  
特開2008-025443(JP,A)  
特開2015-169121(JP,A)  
特開2008-267274(JP,A)  
特開2012-255392(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
F02D 41/00 - 45/00