

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5126554号
(P5126554)

(45) 発行日 平成25年1月23日 (2013. 1. 23)

(24) 登録日 平成24年11月9日 (2012. 11. 9)

(51) Int. Cl.

F 1

FO1N 3/023 (2006.01)

FO1N 3/02 321K

FO1N 3/02 (2006.01)

FO1N 3/02 ZAB

FO2D 45/00 (2006.01)

FO2D 45/00 31OA

FO2D 45/00 31OR

FO2D 45/00 31OZ

請求項の数 8 (全 40 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2010-512045 (P2010-512045)
 (86) (22) 出願日 平成21年5月18日 (2009. 5. 18)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2009/059474
 (87) 国際公開番号 W02009/139507
 (87) 国際公開日 平成21年11月19日 (2009. 11. 19)
 審査請求日 平成22年7月6日 (2010. 7. 6)
 (31) 優先権主張番号 特願2008-129039 (P2008-129039)
 (32) 優先日 平成20年5月16日 (2008. 5. 16)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000003207
 トヨタ自動車株式会社
 愛知県豊田市トヨタ町1番地
 (74) 代理人 110000213
 特許業務法人プロスペック特許事務所
 (72) 発明者 大西 知美
 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動
 車株式会社内
 (72) 発明者 中山 茂樹
 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動
 車株式会社内

審査官 山田 由希子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 内燃機関のすす排出量推定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

内燃機関が定常運転状態にある場合における少なくとも前記内燃機関の運転速度及び燃料噴射量と前記内燃機関から排出されるすすの排出量との予め記憶された関係と、前記運転速度及び燃料噴射量の現在値と、に基づいて、すすの定常排出量を取得する定常排出量取得手段と、

前記内燃機関が定常運転状態にある場合における前記内燃機関の運転状態を表す所定のパラメータの値とすすの排出量に影響を与える因子の値との予め記憶された関係と、前記所定のパラメータの現在値と、に基づいて、前記因子の定常値を取得する定常値取得手段と、

前記因子の現在値である前記因子の過渡値を取得する過渡値取得手段と、

前記因子に対するすすの排出量に関する予め記憶された特性と前記因子の定常値とに基づいて得られる定常特性値と、前記特性と前記因子の過渡値とに基づいて得られる過渡特性値とに基づいて、すすの排出量に関する過渡補正值を算出する過渡補正值算出手段と、

前記定常排出量と前記過渡補正值とに基づいてすすの排出量を推定するすす排出量推定手段と、

を備えた内燃機関のすす排出量推定装置において、

前記因子として、燃料の反応に起因してすすが生成される速度であるすす生成速度に影響を与える因子が使用され、

前記すす生成速度に影響を与える因子として、燃料の噴射開始時期から噴射された燃料

の着火開始時期までの期間である着火遅れ期間、又は前記着火遅れ期間に相関する値が使用され、

前記過渡補正值算出手段は、

前記内燃機関の燃焼室内のガスの酸素濃度又は前記酸素濃度に相関する値が所定値よりも小さい場合には前記すす生成速度に影響を与える因子としての前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間に相関する値を考慮して前記過渡補正值を算出し、前記酸素濃度又は前記酸素濃度に相関する値が前記所定値以上の場合には前記すす生成速度に影響を与える因子としての前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間に相関する値を考慮せずに前記過渡補正值を算出するように構成された内燃機関のすす排出量推定装置。

【請求項 2】

内燃機関が定常運転状態にある場合における少なくとも前記内燃機関の運転速度及び燃料噴射量と前記内燃機関から排出されるすすの排出量との予め記憶された関係と、前記運転速度及び燃料噴射量の現在値と、に基づいて、すすの定常排出量を取得する定常排出量取得手段と、

前記内燃機関が定常運転状態にある場合における前記内燃機関の運転状態を表す所定のパラメータの値とすすの排出量に影響を与える因子の値との予め記憶された関係と、前記所定のパラメータの現在値と、に基づいて、前記因子の定常値を取得する定常値取得手段と、

前記因子の現在値である前記因子の過渡値を取得する過渡値取得手段と、

前記因子に対するすすの排出量に関する予め記憶された特性と前記因子の定常値とに基づいて得られる定常特性値と、前記特性と前記因子の過渡値とに基づいて得られる過渡特性値とに基づいて、すすの排出量に関する過渡補正值を算出する過渡補正值算出手段と、

前記定常排出量と前記過渡補正值とに基づいてすすの排出量を推定するすす排出量推定手段と、

を備えた内燃機関のすす排出量推定装置において、

前記因子として、燃料の反応に起因してすすが生成される速度であるすす生成速度に影響を与える因子が使用され、

前記すす生成速度に影響を与える因子として、燃料の噴射開始時期から噴射された燃料の着火開始時期までの期間である着火遅れ期間、又は前記着火遅れ期間に相関する値が使用され、

前記過渡補正值算出手段は、

メイン噴射に先立ってパイロット噴射がなされない場合には前記すす生成速度に影響を与える因子としての前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間に相関する値を考慮して前記過渡補正值を算出し、前記メイン噴射に先立って前記パイロット噴射がなされる場合には前記すす生成速度に影響を与える因子としての前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間に相関する値を考慮せずに前記過渡補正值を算出するように構成された内燃機関のすす排出量推定装置。

【請求項 3】

内燃機関が定常運転状態にある場合における少なくとも前記内燃機関の運転速度及び燃料噴射量と前記内燃機関から排出されるすすの排出量との予め記憶された関係と、前記運転速度及び燃料噴射量の現在値と、に基づいて、すすの定常排出量を取得する定常排出量取得手段と、

前記内燃機関が定常運転状態にある場合における前記内燃機関の運転状態を表す所定のパラメータの値とすすの排出量に影響を与える因子の値との予め記憶された関係と、前記所定のパラメータの現在値と、に基づいて、前記因子の定常値を取得する定常値取得手段と、

前記因子の現在値である前記因子の過渡値を取得する過渡値取得手段と、

前記因子に対するすすの排出量に関する予め記憶された特性と前記因子の定常値とに基づいて得られる定常特性値と、前記特性と前記因子の過渡値とに基づいて得られる過渡特性値とに基づいて、すすの排出量に関する過渡補正值を算出する過渡補正值算出手段と、

前記定常排出量と前記過渡補正值とに基づいてすすの排出量を推定するすす排出量推定手段と、

を備えた内燃機関のすす排出量推定装置において、

前記因子として、燃料の反応に起因してすすが生成される速度であるすす生成速度に影響を与える因子が使用され、

前記すす生成速度に影響を与える因子として、燃料の噴射開始時期から噴射された燃料の着火開始時期までの期間である着火遅れ期間、又は前記着火遅れ期間に相関する値が使用され、

前記過渡補正值算出手段は、

前記内燃機関の燃焼室の壁の温度が所定値よりも大きい場合には前記すす生成速度に影響を与える因子としての前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間に相関する値を考慮して前記過渡補正值を算出し、前記燃焼室の壁の温度が前記所定値以下の場合には前記すす生成速度に影響を与える因子としての前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間に相関する値を考慮せずに前記過渡補正值を算出するように構成された内燃機関のすす排出量推定装置。

10

【請求項 4】

内燃機関が定常運転状態にある場合における少なくとも前記内燃機関の運転速度及び燃料噴射量と前記内燃機関から排出されるすすの排出量との予め記憶された関係と、前記運転速度及び燃料噴射量の現在値と、に基づいて、すすの定常排出量を取得する定常排出量取得手段と、

20

前記内燃機関が定常運転状態にある場合における前記内燃機関の運転状態を表す所定のパラメータの値とすすの排出量に影響を与える因子の値との予め記憶された関係と、前記所定のパラメータの現在値と、に基づいて、前記因子の定常値を取得する定常値取得手段と、

前記因子の現在値である前記因子の過渡値を取得する過渡値取得手段と、

前記因子に対するすすの排出量に関する予め記憶された特性と前記因子の定常値とに基づいて得られる定常特性値と、前記特性と前記因子の過渡値とに基づいて得られる過渡特性値とに基づいて、すすの排出量に関する過渡補正值を算出する過渡補正值算出手段と、

前記定常排出量と前記過渡補正值とに基づいてすすの排出量を推定するすす排出量推定手段と、

30

を備えた内燃機関のすす排出量推定装置において、

前記因子として、燃料の反応に起因してすすが生成される速度であるすす生成速度に影響を与える因子が使用され、

前記すす生成速度に影響を与える因子として、燃料の噴射開始時期から噴射された燃料の着火開始時期までの期間である着火遅れ期間、又は前記着火遅れ期間に相関する値が使用され、

前記過渡補正值算出手段は、

前記内燃機関の燃焼室内の膨張行程における火炎温度が所定範囲内の場合には前記すす生成速度に影響を与える因子としての前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間に相関する値を考慮して前記過渡補正值を算出し、前記火炎温度が前記所定範囲外の場合には前記すす生成速度に影響を与える因子としての前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間に相関する値を考慮せずに前記過渡補正值を算出するように構成された内燃機関のすす排出量推定装置。

40

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 4 の何れか一項に記載の内燃機関のすす排出量推定装置において、

前記過渡補正值算出手段は、

前記すす生成速度に影響を与える因子としての前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間に相関する値の過渡値がその定常値に対してすすの排出量が増大する方向に偏移している場合には前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間に相関する値を考慮して前記過渡補正值を算出し、前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間に相関する値の過渡値がその定常値に

50

対してすすの排出量が増大する方向に偏移していない場合には前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間に相関する値を考慮せずに前記過渡補正值を算出するように構成された内燃機関のすす排出量推定装置。

【請求項 6】

内燃機関が定常運転状態にある場合における少なくとも前記内燃機関の運転速度及び燃料噴射量と前記内燃機関から排出されるすすの排出量との予め記憶された関係と、前記運転速度及び燃料噴射量の現在値と、に基づいて、すすの定常排出量を取得する定常排出量取得手段と、

前記内燃機関が定常運転状態にある場合における前記内燃機関の運転状態を表す所定のパラメータの値とすすの排出量に影響を与える因子の値との予め記憶された関係と、前記所定のパラメータの現在値と、に基づいて、前記因子の定常値を取得する定常値取得手段と、

前記因子の現在値である前記因子の過渡値を取得する過渡値取得手段と、

前記因子に対するすすの排出量に関する予め記憶された特性と前記因子の定常値とに基づいて得られる定常特性値と、前記特性と前記因子の過渡値とに基づいて得られる過渡特性値とに基づいて、すすの排出量に関する過渡補正值を算出する過渡補正值算出手段と、

前記定常排出量と前記過渡補正值とに基づいてすすの排出量を推定するすす排出量推定手段と、

を備えた内燃機関のすす排出量推定装置において、

前記因子として、燃料の反応に起因して生成されたすすが酸化される速度であるすす酸化速度に影響を与える因子が使用され、

前記すす酸化速度に影響を与える因子として、前記内燃機関の燃焼室内のガスの温度及び酸素濃度の少なくとも 1 つが使用され、

前記過渡補正值算出手段は、

燃料の燃焼前半に関する前記ガスの温度及び酸素濃度の少なくとも 1 つについての前記定常特性値及び前記過渡特性値と、燃料の燃焼後半に関する前記ガスの温度及び酸素濃度の少なくとも 1 つについての前記定常特性値及び前記過渡特性値と、に基づいて前記過渡補正值を算出するように構成され、

前記過渡補正值算出手段は、

前記燃焼前半におけるすすの酸化の程度と前記燃焼後半におけるすすの酸化の程度との割合を、前記燃焼室内のガスの温度、圧力、及び酸素濃度の少なくとも 1 つに基づいて決定し、前記割合を考慮して前記過渡補正值を算出するように構成された内燃機関のすす排出量推定装置。

【請求項 7】

内燃機関が定常運転状態にある場合における少なくとも前記内燃機関の運転速度及び燃料噴射量と前記内燃機関から排出されるすすの排出量との予め記憶された関係と、前記運転速度及び燃料噴射量の現在値と、に基づいて、すすの定常排出量を取得する定常排出量取得手段と、

前記内燃機関が定常運転状態にある場合における前記内燃機関の運転状態を表す所定のパラメータの値とすすの排出量に影響を与える因子の値との予め記憶された関係と、前記所定のパラメータの現在値と、に基づいて、前記因子の定常値を取得する定常値取得手段と、

前記因子の現在値である前記因子の過渡値を取得する過渡値取得手段と、

前記因子に対するすすの排出量に関する予め記憶された特性と前記因子の定常値とに基づいて得られる定常特性値と、前記特性と前記因子の過渡値とに基づいて得られる過渡特性値とに基づいて、すすの排出量に関する過渡補正值を算出する過渡補正值算出手段と、

前記定常排出量と前記過渡補正值とに基づいてすすの排出量を推定するすす排出量推定手段と、

を備えた内燃機関のすす排出量推定装置において、

前記因子として、燃料の反応に起因して生成されたすすが酸化される速度であるすす酸

10

20

30

40

50

化速度に影響を与える因子が使用され、

前記すす酸化速度に影響を与える因子として、前記内燃機関の燃焼室内の全ガス量に対する前記燃料噴射量の燃料の全てが完全燃焼するために必要な前記燃焼室内のガス量の割合である燃焼ガス取り込み割合を考慮して得られる、すすの酸化に寄与する前記燃焼室内のガスの正味の酸素濃度が使用される内燃機関のすす排出量推定装置。

【請求項 8】

内燃機関が定常運転状態にある場合における少なくとも前記内燃機関の運転速度及び燃料噴射量と前記内燃機関から排出されるすすの排出量との予め記憶された関係と、前記運転速度及び燃料噴射量の現在値と、に基づいて、すすの定常排出量を取得する定常排出量取得手段と、

10

前記内燃機関が定常運転状態にある場合における前記内燃機関の運転状態を表す所定のパラメータの値とすすの排出量に影響を与える因子の値との予め記憶された関係と、前記所定のパラメータの現在値と、に基づいて、前記因子の定常値を取得する定常値取得手段と、

前記因子の現在値である前記因子の過渡値を取得する過渡値取得手段と、

前記因子に対するすすの排出量に関する予め記憶された特性と前記因子の定常値とに基づいて得られる定常特性値と、前記特性と前記因子の過渡値とに基づいて得られる過渡特性値とに基づいて、すすの排出量に関する過渡補正値を算出する過渡補正値算出手段と、

前記定常排出量と前記過渡補正値とに基づいてすすの排出量を推定するすす排出量推定手段と、

20

を備えた内燃機関のすす排出量推定装置において、

前記因子として、燃料の反応に起因して生成されたすすが酸化される速度であるすす酸化速度に影響を与える因子が使用され、

前記すす酸化速度に影響を与える因子として、前記内燃機関の燃焼室内のガスのうち燃料の燃焼に寄与しない分を除いたガスの量に対する前記燃料噴射量の燃料の全てが完全燃焼するために必要な前記燃焼室内のガス量の割合である噴霧の重なり度が使用される内燃機関のすす排出量推定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

30

本発明は、内燃機関の燃焼室内において燃料の反応に起因して発生するすす（カーボン微粒子。以下、「Soot」とも称呼する。）の排出量を推定するすす排出量推定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

内燃機関（特に、ディーゼル機関）の燃焼室内で発生する粒子状物質（パティキュレート・マター（PM））を構成する主たる成分の一つはSootである。このSootの排出量を精度良く制御してSootの排出量を少なくするためには、Sootの排出量を精度良く推定する必要がある。

例えば、特開2007-46477号公報に記載の内燃機関のすす排出量推定装置では、Sootの生成メカニズムに基づく複雑な反応モデルを用いて、内燃機関が過渡運転状態にある場合においてもSootの排出量を精度良く推定する手法が開示されている。

40

【発明の開示】

【0003】

上記文献に記載の装置では、Sootの排出量の推定に複雑な反応モデルが用いられているから、Sootの排出量の推定に係わる計算負荷が膨大となる。従って、少ない計算負荷をもって内燃機関が過渡運転状態にある場合においてもSootの排出量を精度良く推定する手法の到来が望まれているところである。

本発明は、上述の問題を解決するためになされたものであり、その目的は、内燃機関が過渡運転状態にある場合においても少ない計算負荷をもってSootの排出量を精度良く

50

推定できる内燃機関のすす排出量推定装置を提供することにある。

本発明に係るすす排出量推定装置は、定常排出量取得手段と、定常値取得手段と、過渡値取得手段と、過渡補正值算出手段と、すす排出量推定手段とを備えている。以下、これらの手段について順に説明する。

定常排出量取得手段は、内燃機関が定常運転状態にある場合における、少なくとも前記内燃機関の運転速度及び燃料噴射量と前記内燃機関から排出されるすすの排出量との予め記憶された関係（テーブル、マップ）と、前記運転速度及び燃料噴射量の現在値と、に基づいて、すすの定常排出量を取得する。この「定常排出量」は、内燃機関が現在の運転速度及び燃料噴射量をもって定常運転状態にある場合におけるすすの排出量である。この「関係」は、実験等を通して予め取得できる。

10

定常値取得手段は、前記内燃機関が定常運転状態にある場合における、前記内燃機関の運転状態を表す所定のパラメータの値とすすの排出量に影響を与える因子の値との予め記憶された関係（テーブル、マップ）と、前記所定のパラメータの現在値と、に基づいて、前記因子の定常値を取得する。

ここにおいて、「すすの排出量に影響を与える因子」は、例えば、燃焼室内のガスの温度、圧力、酸素濃度等である。「所定のパラメータ」は、例えば、内燃機関の運転速度、燃料噴射量等である。この「因子の定常値」は、内燃機関が現在のパラメータ値（例えば、現在の運転速度及び燃料噴射量）をもって定常運転状態にある場合における因子の値である。この「関係」も、実験等を通して予め取得できる。

過渡値取得手段は、前記因子の現在値である前記因子の過渡値を取得する。この「因子の過渡値」は、例えば、現在の因子の値を検出・推定する手段による検出値・推定値等である。

20

過渡補正值算出手段は、前記因子に対するすすの排出量に関する予め記憶された特性と前記因子の定常値とに基づいて得られる定常特性値と、前記特性と前記因子の過渡値とに基づいて得られる過渡特性値とに基づいて、すすの排出量に関する過渡補正值を算出する。前記因子が複数存在する場合、1つの因子毎に、前記特性がそれぞれ設定されるとともに定常特性値及び過渡特性値がそれぞれ算出される。

「過渡補正值」は、例えば、定常特性値と過渡特性値との差、比等である。前記因子が複数存在する場合、過渡補正值は、各因子についての定常特性値と過渡特性値との差、比等の和、積等である。過渡運転状態では、因子の過渡値が因子の定常値からずれ得る。過渡補正值は、過渡運転状態において発生し得る「因子の過渡値の因子の定常値からのずれ」に起因する、すす排出量の前記定常排出量からのずれの程度を表す値となる。

30

すす排出量推定手段は、前記定常排出量と前記過渡補正值とに基づいてすすの排出量を推定する。すすの排出量は、例えば、定常排出量に過渡補正值を乗じること、或いは、定常排出量に過渡補正值を加えることで得られる。定常運転状態では、過渡補正值が「1」に算出され（過渡補正值が定常排出量に乘じられる場合）、或いは、「0」に算出され（過渡補正值が定常排出量に加算される場合）、すすの排出量は定常排出量と一致する。

上記構成によれば、定常排出量を取得するためのテーブル検索、及び過渡補正值の算出という少ない計算負荷をもって、過渡運転状態においてもすすの排出量を精度良く推定することができる。

40

上記本発明に係るすす排出量推定装置においては、前記因子として、燃料の反応に起因してすすが生成される速度であるすす生成速度に影響を与える因子、及び／又は、燃料の反応に起因して生成されたすすが酸化される速度であるすす酸化速度に影響を与える因子が使用される。これは、すすの発生速度（排出速度）が、前記すす生成速度と前記すす酸化速度との差で表されることに基づく。

前記すす生成速度に影響を与える因子としては、燃焼室内のガスの温度、圧力等が挙げられる。また、前記すす生成速度に影響を与える因子として、燃焼室内のガスの酸素濃度も挙げられる。これは、酸素濃度が小さいと、燃料の燃焼速度が小さくなって燃料の燃焼期間（従って、燃料が高温にさらされる時間）が長くなり、すすが生成され易くなることに基づく。一方、前記すす酸化速度に影響を与える因子としては、燃焼室内のガスの温度

50

、酸素濃度等が挙げられる。

また、前記すす生成速度に影響を与える因子として、着火遅れ期間（燃料の噴射開始時期から噴射された燃料の着火開始時期までの期間）、又は前記着火遅れ期間に相関する値が挙げられる。これは、着火遅れ期間が短いと、着火開始時点での燃料噴霧の大きさが小さいことで燃料噴霧の（平均）当量比が大きくなり、すすが生成され易くなることに基づく。

前記着火遅れ期間相関値としては、例えば、圧縮端温度（圧縮上死点における前記内燃機関の燃焼室内のガスの温度）が挙げられる。これは、圧縮端温度が高いと、着火開始時期が早くなることで着火遅れ期間が短くなることに基づく。即ち、圧縮端温度が高いと、すすが生成され易くなる。

10

また、前記着火遅れ期間相関値として、例えば、前記内燃機関の排気通路内のガスの圧力（排ガス圧力）が挙げられる。これは、排ガス圧力が高いと、内部EGRガス（内燃機関の排気弁を介して排気通路から燃焼室に還流される排ガス）の量が増加することで圧縮端温度が高くなる（従って、着火遅れ期間が短くなる）ことに基づく。即ち、排ガス圧力が高いと、すすが生成され易くなる。

また、前記着火遅れ期間相関値として、例えば、前記内燃機関の排気通路内のガスの温度（排ガス温度）が挙げられる。これは、排ガス温度が高いと、内部EGRガスの温度が高くなることで圧縮端温度が高くなる（従って、着火遅れ期間が短くなる）ことに基づく。即ち、排ガス温度が高いと、すすが生成され易くなる。

また、前記着火遅れ期間相関値として、例えば、前記内燃機関の吸気通路内のガスの温度（吸気温度）が挙げられる。これは、吸気温度が高いと、圧縮端温度が高くなる（従って、着火遅れ期間が短くなる）ことに基づく。即ち、吸気温度が高いと、すすが生成され易くなる。

20

また、前記着火遅れ期間相関値として、排ガス温度と吸気温度とを共に考慮して得られる値も使用され得る。具体的には、例えば、排ガス温度と、吸気温度と、外部EGRガス（前記排気通路と前記吸気通路とを連通する排気還流路を介して前記排気通路から前記内燃機関の燃焼室に還流される排ガス）の量及び内部EGRガスの量の和に対する内部EGRガスの量の割合（内部EGR割合）と、に基づいて得られる値が使用され得る。

排ガス温度の高低が圧縮端温度（従って、着火遅れ期間）に与える影響度合は、内部EGR割合に大きく依存する。換言すれば、吸気温度が圧縮端温度（従って、着火遅れ期間）に与える影響度合は、 $(1 - \text{内部EGR割合})$ に大きく依存するということもできる。上記構成に係る知見に基づく。これによれば、前記着火遅れ期間相関値が、排ガス温度及び吸気温度が圧縮端温度（従って、着火遅れ期間）に与える影響度合がそれぞれ考慮されて算出され得る。この結果、過渡補正值がより適切な値に算出されることで、過渡運転状態においてすすの排出量をより一層精度良く推定することができる。

30

以下、前記すす生成速度に影響を与える因子として、前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間相関値が使用される場合について付言する。この場合、所定条件の成立時のみ、前記すす生成速度に影響を与える因子としての前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間に相関する値を考慮して前記過渡補正值が算出され、前記所定条件の非成立時では、前記着火遅れ期間又は前記着火遅れ期間に相関する値を考慮せずに前記過渡補正值が算出されることが好適である。これにより、着火遅れ期間が安定し易い条件下、或いは、着火遅れ期間の長短がすすの生成度合いに与える影響度が小さい条件下（即ち、所定条件の非成立時）において、着火遅れ期間を考慮せずに過渡補正值が算出される。これにより、係る条件下にて、過渡補正值の算出の際、算出精度を下げることなく、着火遅れ期間を考慮することに基づく計算負荷の増大が回避され得る。

40

具体的には、前記所定条件は、前記内燃機関の燃焼室内のガスの酸素濃度又は前記酸素濃度に相関する値が所定値よりも小さい場合に成立する。これは、燃焼室内のガスの酸素濃度が高いと、すすが生成され難いことで、着火遅れ期間の長短がすすの生成度合いに与える影響度が小さいことに基づく。

また、前記所定条件は、メイン噴射に先立ってパイロット噴射がなされない場合に成立

50

する。これは、メイン噴射に先立ってパイロット噴射がなされると、排気圧の高低等にかかわらず圧縮端温度が安定し、従って、着火遅れ期間が安定し易いことに基づく。

また、前記所定条件は、燃焼室の壁の温度が所定値よりも大きい場合に成立する。これは、燃焼室の壁の温度が低いと、排ガス圧力等が増大しても圧縮端温度が増大し難くなることで圧縮端温度が安定し、従って、着火遅れ期間が安定し易いことに基づく。

また、前記所定条件は、燃焼室内の膨張行程における火炎温度が所定範囲内の場合に成立する。これは、火炎温度が所定範囲外にあると、さすが生成され難いことで、着火遅れ期間の長短がすすの生成度合いに与える影響度が小さいことに基づく。なお、ここで、前記火炎温度とは、例えば、火炎温度の最高値（最高火炎温度）等を指す。

また、上記のように、所定条件の成立時のみ、着火遅れ期間を考慮して過渡補正値が算出される場合、前記着火遅れ期間（又は前記着火遅れ期間に相関する値）の過渡値がその定常値に対してすすの排出量が増大する方向に偏移している場合にのみ、前記着火遅れ期間（又は前記着火遅れ期間に相関する値）を考慮して前記過渡補正値を算出することもできる。これは、すすの排出量について問題となり難い「着火遅れ期間の過渡値がその定常値に対してすすの排出量が減少する方向に偏移している場合」において、着火遅れ期間を考慮せずに過渡補正値が算出される。これにより、係る場合において、過渡補正値の算出の際、着火遅れ期間を考慮することに基づく計算負荷の増大が回避され得る。

上記本発明に係るすす排出量推定装置において、前記すす酸化速度に影響を与える因子として前記内燃機関の燃焼室内のガスの温度及び酸素濃度の少なくとも1つが使用される場合、前記過渡補正値算出手段は、燃料の燃焼前半に関する前記ガスの温度及び酸素濃度の少なくとも1つについての前記定常特性値及び前記過渡特性値と、燃料の燃焼後半に関する前記ガスの温度及び酸素濃度の少なくとも1つについての前記定常特性値及び前記過渡特性値と、に基づいて前記過渡補正値を算出するように構成され得る。

生成されたすすの酸化反応は、燃料の燃焼前半（燃料噴霧が拡散している途中の段階、燃焼が継続中の高温の噴霧状態）のみならず、燃料の燃焼後半（燃料噴霧が十分に拡散して混合気が均一となり且つ燃焼がほぼ終了した状態）でも発生し得る。燃焼前半と燃焼後半とでは、燃焼室内のガスの温度、及び酸素濃度が大きく異なるから、すすの酸化速度（酸化の程度）も大きく異なる。従って、燃焼前半でのすすの酸化反応と燃焼後半でのすすの酸化反応とを別個に扱うことが好ましいと考えられる。上記構成に係る知見に基づく。

この場合、前記燃焼前半におけるすすの酸化の程度と前記燃焼後半におけるすすの酸化の程度との割合を、前記燃焼室内のガスの温度、圧力、及び酸素濃度の少なくとも1つに基づいて決定し、前記割合を考慮して前記過渡補正値を算出するように構成されることが好適である。

前記「割合」が燃焼室内のガスの温度、圧力、及び酸素濃度の少なくとも1つに基づいて決定され得る点については後に詳述する。これによれば、前記因子がすす酸化速度に影響を与える因子である場合において、過渡補正値が、「因子の過渡値の因子の定常値からのずれ」に起因するすす排出量の定常排出量からのずれの程度をより一層精度良く表す値となる。

また、前記すす酸化速度に影響を与える因子として、前記内燃機関の燃焼室内の全ガス量に対する前記燃料噴射量の燃料の全てが完全燃焼するために必要な前記燃焼室内のガス量の割合である燃焼ガス取り込み割合を考慮して得られる、すすの酸化に寄与する前記燃焼室内のガスの正味の酸素濃度が使用されることが好適である。

ここにおいて、前記燃料噴射量の燃料の全てが完全燃焼するために必要な前記燃焼室内のガス量は、燃焼室内のガスの酸素濃度及び燃料噴射量に基づいて算出され得、このガス量は、酸素濃度が小さいほど大きくなる。従って、前記「燃焼ガス取り込み割合」（ < 1 ）は、酸素濃度が小さいほど大きくなる。前記「正味の酸素濃度」は、具体的には、燃焼前のガスの酸素濃度（吸気酸素濃度に略等しい）に（ $1 - \text{燃焼ガス取り込み割合}$ ）を乗じた値である。

すすの酸化反応は、燃焼室内のガスの酸素濃度に大きく影響される。「燃焼ガス取り込み割合」は、燃料噴射量の燃料の全てが完全燃焼したと仮定した場合においてその後にお

10

20

30

40

50

いて燃料噴霧が完全燃焼後のガス（燃焼ガス）を取り込む確率を表す。燃焼ガス中には酸素が存在しない。従って、この場合における燃料噴霧中でのすすの酸化反応を考える場合、燃料噴霧に取り込まれるガスの酸素濃度は、実質的には、前記「正味の酸素濃度」に略等しいと考えることができる。この結果、「正味の酸素濃度」は、燃焼前のガスの酸素濃度（吸気酸素濃度に略等しい）よりも、すすの排出量により強く影響を与える因子となり得る。上記構成は係る知見に基づく。

また、前記すす酸化速度に影響を与える因子として、前記内燃機関の燃焼室内のガスのうち燃料の燃焼に寄与しない分を除いたガスの量に対する前記燃料噴射量の燃料の全てが完全燃焼するために必要な前記燃焼室内のガス量の割合である噴霧の重なり度が使用されることが好適である。

10

前記内燃機関の燃焼室内のガスのうち、燃料噴霧が到達し得ない（燃料噴霧と混合し得ない）部分が必ず存在する。この部分が「燃料の燃焼に寄与しない分」に対応する。燃焼室内のガスのうちで燃料の燃焼に寄与する部分の割合を「空気利用率」とすると、「燃焼室内のガスのうち燃料の燃焼に寄与しない分を除いたガスの量」は、燃焼室内の全ガス量に空気利用率を乗じた値となる。上述の「燃焼ガス取り込み割合」と同様、前記「噴霧の重なり度」も、酸素濃度が小さいほど大きくなる。上述の「燃料の燃焼に寄与しない分」が考慮された結果、「噴霧の重なり度」は、「1」を超える場合もあり得る。

「噴霧の重なり度」が大きくなるほど（特に、「1」よりも大きいとき）、複数の噴孔からそれぞれ噴射・形成された燃料噴霧同士が重なる確率が高くなる。燃料噴霧同士が重なる部分では、ガス中の酸素が取り込まれ難くなり、この結果、この部分でのすすの酸化の度合いが低下する。従って、「噴霧の重なり度」は、すすの排出量に強く影響を与える因子となり得る。上記構成は係る知見に基づく。

20

【図面の簡単な説明】

【0004】

図1は、本発明の実施形態に係る内燃機関のすす排出量推定装置を4気筒内燃機関（ディーゼル機関）に適用したシステム全体の概略構成図である。

図2は、燃料噴霧内のうちで空気過剰率 < 1 の領域において主としてSootの生成が行われる様子を示した模式図である。

図3は、燃料噴霧内のうちで空気過剰率 > 1 の領域において主としてSootの酸化が行われる様子を示した模式図である。

30

図4は、定常排出量を求めるためのテーブルを示したグラフである。

図5は、燃料噴霧内の温度分布を示した模式図である。

図6は、噴霧代表温度 T_f に対する「Soot排出量に関する特性値 A_1 」の特性を示したグラフである。

図7は、噴霧代表温度 T_f についての定常値・過渡値 T_{fs} 、 T_{ft} 、定常特性値・過渡特性値 A_{1s} 、 A_{1t} が採用された場合におけるSoot排出量の変化の一例を示したグラフである。

図8は、筒内圧力 P_c に対する「Soot排出量に関する特性値 A_2 」の特性を示したグラフである。

図9は、酸化領域代表温度 T_{o1} の算出についての説明に使用される図である。

40

図10は、酸化領域代表温度 T_{o1} に対する「Soot排出量に関する特性値 B_1 」の特性を示したグラフである。

図11は、筒内酸素濃度 R_{oxc} に対する「Soot排出量に関する特性値 B_2 」の特性を示したグラフである。

図12は、燃料の全てが完全燃焼するために必要な筒内ガス量 G_s と、筒内酸素濃度 R_{oxc} との関係を説明するための図である。

図13は、燃焼ガス取り込み割合 X の定義式を示した図である。

図14は、燃焼ガス取り込み割合 X に対する「Soot排出量に関する特性値 C_1 」の特性を示したグラフである。

図15は、燃料噴霧の大きさと、筒内酸素濃度と、着火遅れと、燃焼期間との関係を説明

50

するための図である。

図16は、筒内酸素濃度 $Roxc$ に対する「Soot 排出量に関する特性値A3」の特性を示したグラフである。

図17は、燃焼前半と燃焼後半とでSootの酸化反応を別個に扱って酸化補正項を算出することの説明に使用される図である。

図18は、正味筒内酸素濃度 $Roxc'$ に対する「Soot 排出量に関する特性値B2'」の特性を示したグラフである。

図19は、正味筒内酸素濃度 $Roxc'$ についての定常値・過渡値 $Roxc's$, $Roxc't$ 、定常特性値・過渡特性値 $B2's$, $B2't$ が採用された場合におけるSoot排出量の変化の一例を示したグラフである。

10

図20は、酸化領域代表温度 $To2$ に対する「Soot 排出量に関する特性値B3」の特性を示したグラフである。

図21は、筒内酸素濃度 $Roxe$ に対する「Soot 排出量に関する特性値B4」の特性を示したグラフである。

図22は、重み付け係数 α の算出に使用される係数 β を決定する際に使用されるテーブルを示したグラフである。

図23は、重み付け係数 α の算出に使用される係数 γ を決定する際に使用されるテーブルを示したグラフである。

図24は、噴霧重なり度 L の定義式を示した図である。

図25は、燃料の全てが完全燃焼するために必要な筒内ガス量 Gs と、筒内酸素濃度 $Roxc$ と、噴霧重なり度 L との関係の説明のための図である。

20

図26は、着火遅れ期間と、噴霧平均当量比と、Soot 排出量との関係を説明するための図である。

図27は、着火遅れ期間 ID に対する「Soot 排出量に関する特性値A4」の特性を示したグラフである。

図28は、圧縮端温度 $Tcomp$ に対する「Soot 排出量に関する特性値A5」の特性を示したグラフである。

図29は、排ガス圧力 Pe に対する「Soot 排出量に関する特性値A6」の特性を示したグラフである。

図30は、排ガス温度 Te に対する「Soot 排出量に関する特性値A7」の特性を示したグラフである。

30

図31は、吸気温度 Ti に対する「Soot 排出量に関する特性値A8」の特性を示したグラフである。

図32は、排ガス温度 Te と吸気温度 Ti と内部EGR割合 r とを考慮した温度 Tz に対する「Soot 排出量に関する特性値A9」の特性を示したグラフである。

図33は、所定条件下においてのみ、着火遅れ期間相関値に基づく補正を考慮してSoot排出量が推定される場合の処理の流れの一例を示したフローチャートである。

図34は、所定条件下においてのみ、着火遅れ期間相関値に基づく補正を考慮してSoot排出量が推定される場合の処理の流れの他の例を示したフローチャートである。

図35は、所定条件下においてのみ、着火遅れ期間相関値に基づく補正を考慮してSoot排出量が推定される場合の処理の流れの他の例を示したフローチャートである。

40

図36は、所定条件下においてのみ、着火遅れ期間相関値に基づく補正を考慮してSoot排出量が推定される場合の処理の流れの他の例を示したフローチャートである。

図37は、Soot生成に要求される、最高火炎温度と噴霧の当量比との間の関係を示したグラフである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0005】

以下、本発明による内燃機関（ディーゼル機関）のすす排出量推定装置の実施形態について図面を参照しつつ説明する。

図1は、本発明の実施形態に係るすす排出量推定装置を4気筒内燃機関（ディーゼル機

50

関) 10に適用したシステム全体の概略構成を示している。このシステムは、燃料供給システムを含むエンジン本体20、エンジン本体20の各気筒の燃焼室(筒内)にガスを導入するための吸気系統30、エンジン本体20からの排ガスを放出するための排気系統40、排気還流を行うためのEGR装置50、及び電気制御装置60を含んでいる。

エンジン本体20の各気筒の上部には、ニードルを利用した燃料噴射弁I N Jがそれぞれ配設されている。

吸気系統30は、エンジン本体20の各気筒の燃焼室にそれぞれ接続された吸気マニホールド31、吸気マニホールド31の上流側集合部に接続され吸気マニホールド31とともに吸気通路を構成する吸気管32、吸気管32内に回転可能に保持されたスロットル弁33、スロットル弁33の上流において吸気管32に順に介装されたインタクーラー34、過給機35のコンプレッサ35a、及び吸気管32の先端部に配設されたエアクリーナ36を含んでいる。

10

排気系統40は、エンジン本体20の各気筒にそれぞれ接続された排気マニホールド41、排気マニホールド41の下流側集合部に接続された排気管42、排気管42に配設された過給機35のタービン35b、及び排気管42に介装されたディーゼルパティキュレートフィルタ(DPNR)43を含んでいる。排気マニホールド41及び排気管42は排気通路を構成している。

EGR装置50は、排気ガスを還流させる通路(EGR通路)を構成する排気還流管51と、排気還流管51に介装されたEGR制御弁52と、EGRクーラー53とを備えている。排気還流管51はタービン35bの上流側排気通路(排気マニホールド41)とスロットル弁33の下流側吸気通路(吸気マニホールド31)を連通している。EGR制御弁52は電気制御装置60からの駆動信号に応答し、再循環される排気ガス量(排気還流量、EGRガス流量)を変更し得るようになっている。

20

電気制御装置60は、互いにバスで接続されたCPU、CPUが実行するプログラム、テーブル(マップ)、及び定数等を予め記憶したROM、RAM、バックアップRAM、並びにADコンバータを含むインターフェース等からなるマイクロコンピュータである。

上記インターフェースは、熱線式エアフローメータ71、吸気温度センサ72、吸気管圧力センサ73、吸気酸素濃度センサ74、筒内圧力センサ75、エンジン回転速度センサ76、排気温度センサ77、空燃比センサ78、アクセル開度センサ79、及び排気圧力センサ81と接続されていて、これらのセンサからの信号をCPUに供給するようになっている。

30

また、インターフェースは、燃料噴射弁I N J、図示しないスロットル弁アクチュエータ、及びEGR制御弁52と接続されていて、CPUの指示に応じてこれらに駆動信号を送出するようになっている。

熱線式エアフローメータ71は、吸気通路内を通過する吸入空気の質量流量(単位時間当たりの吸入空気(新気)流量)を計測するようになっている。吸気温度センサ72は、エンジン10の燃焼室(筒内)に吸入されるガスの温度(吸気温度)を検出するようになっている。吸気管圧力センサ73は、内燃機関10の燃焼室に吸入されるガスの圧力(吸気圧力)を検出するようになっている。吸気酸素濃度センサ74は、内燃機関10の燃焼室に吸入されるガス中の酸素濃度(吸気酸素濃度)を検出するようになっている。

40

筒内圧力センサ75は、燃焼室内のガスの圧力(筒内圧力)を検出するようになっている。エンジン回転速度センサ76は、実クランク角度とともにエンジン10の回転速度であるエンジン回転速度を検出するようになっている。排気温度センサ77は、燃焼室から排出されるガスの温度(排気温度)を検出するようになっている。空燃比センサ78は、DPNR43の下流の排ガスの空燃比を検出するようになっている。アクセル開度センサ79は、アクセルペダルAPの操作量(アクセル開度)を検出するようになっている。排気圧力センサ81は、燃焼室から排出されるガスの圧力(排ガス圧力)を検出するようになっている。

(第1実施形態によるSoot排出量の推定方法)

次に、上記のように構成されたすす排出量推定装置の第1実施形態によるSoot排出

50

量の推定方法について説明する。

燃焼室内では、燃料の反応に起因してSootが生成される。図2に示すように、Sootの生成は、燃料噴霧内のうちで空気過剰率 $\lambda < 1$ の領域（特に、 $\lambda < 0.5$ であって約1500K以上の高温場）において主として行われる。一方、生成されたSootの一部は酸化される。図3に示すように、生成されたSootの酸化は、燃料噴霧内のうちで空気過剰率 $\lambda > 1$ の領域（特に、約1500K以上の高温場）において主として行われる。そして、生成されたSootのうちで酸化されなかったものが燃焼室からSootとして排出される。第1実施形態では、このように燃焼室から排出されるSootの量（Soot排出量）が推定される。

第1実施形態では、Soot排出量として、「単位時間あたりに燃焼室から排出されるSootの質量」が算出される。即ち、第1実施形態で算出されるSoot排出量の単位は、例えば、g/h、g/sで表すことができる。

第1実施形態では、下記(1)式に従ってSoot排出量が推定される。(1)式において、「定常排出量」は、内燃機関10が現在の運転速度及び燃料噴射量をもって定常運転状態にある場合におけるSoot排出量である。「過渡補正值」は、過渡運転状態におけるSoot排出量の「定常排出量」からのずれの程度を表す値（係数）である。従って、(1)式に示すように、「定常排出量」に「過渡補正值」を乗じることで、過渡運転状態におけるSoot排出量が算出され得る。(1)式によるSoot排出量の推定は、例えば、燃料が噴射される気筒の圧縮行程中において燃料噴射量が決定されるタイミングが到来する毎に繰り返し実行される。

Soot排出量＝定常排出量・過渡補正值 …(1)

定常排出量は、図4に示すエンジン回転速度NEと燃料噴射量qとを引数とする定常排出量を求めるためのテーブルと、エンジン回転速度NEの現在値（瞬時値）及び燃料噴射量qの現在値（今回値）とから、テーブル検索により取得される。このテーブルは、エンジン回転速度及び燃料噴射量を一定に維持した定常運転状態においてSoot排出量を計測する実験を、エンジン回転速度及び燃料噴射量の組み合わせを種々変更しながら繰り返し行うことで作製することができる。図4に示すように、一般に、定常排出量は、NEが大きいほど且つqが大きいほどより大きい値に決定される。

以下、先ず、過渡補正值の算出についての概略を説明する。過渡補正值は、下記(2)式から算出される。(2)式に示すように、第1実施形態では、過渡補正值は、Sootの生成に係わる補正項（補正係数）と、Sootの酸化に係わる補正項（補正係数）と、燃料噴霧と燃焼室内のガス（筒内ガス）との混合に係わる補正項（補正係数）と、を乗じることで算出される。

過渡補正值

$$= \underbrace{\frac{A1t}{A1s} \cdot \frac{A2t}{A2s}}_{\text{生成補正}} \cdot \underbrace{\frac{B1s}{B1t} \cdot \frac{B2s}{B2t}}_{\text{酸化補正}} \cdot \underbrace{\frac{C1t}{C1s}}_{\text{混合補正}} \quad \dots(2)$$

過渡補正值の算出の際し、Soot排出量に影響を与える複数の因子（後述する噴霧代表温度Tf、筒内圧力Pc等）が導入される。以下、説明の便宜上、各因子を総称して「X」と表記する。また、各因子について、因子Xの値に対するSoot排出量に関する特性式（例えば、Tfの場合、後述する図6に示したグラフを参照）がそれぞれ導入される。

各因子について、因子Xの定常値Xsと因子Xの過渡値Xtとがそれぞれ取得される。定常値Xsは、内燃機関10が現在の運転速度及び燃料噴射量をもって定常運転状態にあ

る場合における因子 X の値である。各因子について、定常値 X_s は、上述の「定常排出量」と同様、エンジン回転速度 N_E と燃料噴射量 q とを引数とする因子 X の値を求めるためのテーブルと、エンジン回転速度 N_E の現在値（瞬時値）及び燃料噴射量 q の現在値（今回値）とから、テーブル検索により取得される。各因子について、因子 X の値を求めるためのテーブルは、エンジン回転速度及び燃料噴射量を一定に維持した定常運転状態において因子 X の値を計測する実験を、エンジン回転速度及び燃料噴射量の組み合わせを種々変更しながら繰り返し行うことで作製することができる。以下、各因子について、定常値 X_s を求めるための予め作製されたテーブルを、 $Map X_s(N_E, q)$ と表す。

過渡値 X_t は、因子 X の現在値（瞬時値）である。各因子について、過渡値 X_t は、後述するように、センサによる検出結果、公知の推定モデルによる推定結果等から取得される。定常運転状態では、過渡値 X_t は定常値 X_s と一致する一方、過渡運転状態では、過渡値 X_t は定常値 X_s からずれ得る。即ち、 N_E の現在値（瞬時値）と q の現在値（今回値）との組み合わせが同じであっても、 X_t は X_s からずれ得る。このずれに起因して $Soot$ 排出量が定常適合値からずれ得る。

各因子について、定常値 X_s と因子 X についての上記「特性式」とから因子 X についての定常特性値（例えば、 T_f の場合、（２）式における $A1_s$ ）がそれぞれ取得され、過渡値 X_t と因子 X についての上記「特性式」とから因子 X についての過渡特性値（例えば、 T_f の場合、（２）式における $A1_t$ ）がそれぞれ取得される。定常特性値、過渡特性値は、特性値を示す変数（ $A1$ 等）の末尾に「 s 」、「 t 」を付してそれぞれ表される。

各因子について、定常特性値と過渡特性値との比が算出される（例えば、 T_f の場合、（２）式における「 $A1_t/A1_s$ 」）。因子 X についての「定常特性値と過渡特性値との比」は、過渡運転状態において発生し得る「過渡値 X_t の定常値 X_s からのずれ」に起因する、 $Soot$ 排出量の定常排出量からのずれの程度を表す値となる。

過渡補正值は、（２）式に示すように、各因子についての「定常特性値と過渡特性値との比」をそれぞれ乗じることで算出される。この結果、過渡補正值は、過渡運転状態における各因子についての「過渡値 X_t の定常値 X_s からのずれ」の影響が全て考慮された「 $Soot$ 排出量の定常排出量からのずれの程度を表す値（係数）」に算出される。以下、（２）式に示した補正項毎に、各因子についての「定常特性値と過渡特性値との比」について順に詳述していく。

〈生成補正項〉

$Soot$ の生成に係わる補正項（生成補正項）では、上記「因子」として、燃料の反応に起因して $Soot$ が生成される速度（ $Soot$ 生成速度）に影響を与える因子が使用される。具体的には、「 $Soot$ 生成速度に影響を与える因子」として、噴霧代表温度 T_f 、及び筒内圧力 P_c が導入される。上記（２）式における特性値 $A1$ 、 $A2$ はそれぞれ、噴霧代表温度 T_f 、及び筒内圧力 P_c に対応する。以下、因子毎に順に説明する。

《噴霧代表温度 T_f に基づく $A1_t/A1_s$ 》

噴霧代表温度 T_f とは、燃料噴霧内（特に、 $Soot$ が生成される空気過剰率 $\lambda < 1$ の領域内）で位置に応じて異なる温度を代表する温度である。図５に示すように、噴孔から噴射される燃料噴霧における $\lambda < 1$ の領域では、温度が、噴孔部分（噴霧根元、 $\lambda = 0$ ）から遠ざかるほど（即ち、 λ が０から１まで大きくなるにつれて）、圧縮端温度 T_{comp} から最高火炎温度 T_{max} まで次第に高くなるように、分布する。

本例では、噴霧代表温度 T_f として、例えば、圧縮端温度 T_{comp} と最高火炎温度 T_{max} との平均値である平均温度、 λ に対する温度を λ に対して分布する噴霧（混合気）の量で重み付けして得られる温度である重心温度等が採用され得る。

噴霧代表温度 T_f の定常値 T_{fs} は、上述したように、予め作製されたテーブル $Map T_{fs}(N_E, q)$ と、エンジン回転速度 N_E の現在値（瞬時値）及び燃料噴射量 q の現在値（今回値）とから、テーブル検索により取得される。

噴霧代表温度 T_f の過渡値 T_{ft} は、圧縮端温度 T_{comp} の現在値（今回値）と最高火炎温度 T_{max} の現在値（今回値）等から求めることができる。 T_{comp} 、 T_{max} は、例えば、上述したセンサからそれぞれ取得され得る、吸気温度、吸気圧力、及び吸気

10

20

30

40

50

酸素濃度、並びに、燃焼室内に吸入されたガスの全量（筒内ガス量）等から周知の手法により取得することができる。筒内ガス量は、吸気温度、吸気圧力、圧縮開始時点での燃焼室の容積、及び気体の状態方程式から取得することができる。

噴霧代表温度 T_f に対する「 $Soot$ 排出量に関する特性値 A_1 」を求めるための特性式は、本例では、下記（３）式、及び図６に示すように、ガウス関数を用いて表される。ガウス関数を採用したのは、 $Soot$ の生成量（生成速度）が、温度が或る温度 T_p （例えば、 1895 K 程度）のときに最大となり温度が T_p から離れるにつれて減少する特性を有することに基づく。

$$A_1 = \exp \left\{ -\frac{(T_f - T_p)^2}{2\sigma^2} \right\} \quad \dots(3)$$

10

（３）式において、標準偏差 σ （図６を参照）は、本例では、例えば、圧縮端温度 T_{comp} と最高火炎温度 T_{max} との差 ΔT （図５を参照）の２分の１（ $= \Delta T / 2$ ）に「正規分布に従う確率変数の観測値が平均値 $\pm (1 \times \text{標準偏差})$ の範囲に入る確率」である「 0.68 」を乗じて得られる値が 2σ と等しいという関係から得られる。例えば、 $\Delta T = 1200\text{ K}$ である場合、 $\sigma = 200\text{ K}$ となる。

図６の実線は、上記のように決定される標準偏差 σ を用いて得られる T_f に対する特性値 A_1 の特性の一例を示す。一方、図６の破線は、局所的な領域（温度が均一な領域）における温度に対する $Soot$ 排出量の（実際の）物理的な特性を示す。この物理的な特性は実験等を通して取得できる。図６の実線と破線との比較から理解できるように、上記のように決定される標準偏差 σ は、上記物理的な特性に対応する標準偏差よりも大きい。

20

図６に示すように、定常値 T_{fs} と上記（３）式とから（即ち、（３）式における T_f に T_{fs} を代入して）定常特性値 A_{1s} が取得され（大きい白丸を参照）、過渡値 T_{ft} と上記（３）式とから（即ち、（３）式における T_f に T_{ft} を代入して）過渡特性値 A_{1t} が取得される（大きい黒丸を参照）。

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「 A_{1t} / A_{1s} 」が算出される（（２）式を参照）。この「 A_{1t} / A_{1s} 」は、過渡運転状態における、「過渡値 T_{ft} の定常値 T_{fs} からのずれ」に起因する、 $Soot$ 排出量（瞬時値）の定常排出量に対するずれの割合を表す。

30

図７は、上記のように、 T_{fs} 、 T_{ft} 、 A_{1s} 、 A_{1t} を設定した場合における、 T_{fs} 、 T_{ft} 、 A_{1t} / A_{1s} 、 $Soot$ 排出量の変化の一例（例えば、急加速時）を示したグラフである。図７に示すように、急加速時等の過渡運転状態において T_{ft} が T_{fs} から大きくずれる場合においても、「 A_{1t} / A_{1s} 」を定常排出量に乘じることで、 $Soot$ 排出量が実測値に対して大きく乖離することなく推移し得る。

以上のように、燃料噴霧内の空気過剰率 $\lambda < 1$ の領域内における位置に応じて異なる温度を１つの温度 T_f で代表し、且つ、 T_f に対する「 $Soot$ 排出量に関する特性値 A_1 」を求めるための特性式（ガウス関数）にて使用される標準偏差 σ を上記物理的な特性に対応する標準偏差よりも大きい値に設定することで、計算負荷を増大させることなく、「 A_{1t} / A_{1s} 」を、過渡運転状態において、「過渡値 T_{ft} の定常値 T_{fs} からのずれ」に起因する $Soot$ 排出量（瞬時値）の定常排出量に対するずれの割合を精度良く表す値とすることができる。

40

《筒内圧力 P_c に基づく A_{2t} / A_{2s} 》

筒内圧力 P_c とは、所定のタイミングにおける燃焼室内の圧力である。本例では、筒内圧力 P_c として、例えば、吸気弁閉弁時での燃焼室内の圧力等が採用され得る。吸気弁閉弁時での燃焼室内の圧力は、吸気圧力と略等しいと考えられるから、吸気管圧力センサ 73 から取得され得る。また、筒内圧力 P_c として、圧縮端圧力が採用されてもよい。圧縮端圧力は、例えば、筒内圧力センサ 75 から取得され得る。

筒内圧力 P_c の定常値 P_{cs} は、上述したように、予め作製されたテーブル Map_{Pc}

50

s (N E, q) と、エンジン回転速度 N E の現在値（瞬時値）及び燃料噴射量 q の現在値（今回値）とから、テーブル検索により取得される。

筒内圧力 P c の過渡値 P c t は、上述したように、吸気管圧力センサ 7 3、筒内圧力センサ 7 5 等から取得され得る。

筒内圧力 P c に対する「S o o t 排出量に関する特性値 A 2」を求めるための特性式は、本例では、下記（４）式にて表される。図 8 は、P c に対する特性値 A 2 の特性を示す。（４）式を採用したのは、S o o t の生成量（生成速度）が、圧力の 1 / 2 乗に比例する特性を有することに基づく。

$$A2 = \sqrt{Pc} \quad \dots(4)$$

10

図 8 に示すように、定常値 P c s と上記（４）式とから（即ち、（４）式における P c に P c s を代入して）定常特性値 A 2 s が取得され（大きい白丸を参照）、過渡値 P c t と上記（４）式とから（即ち、（４）式における P c に P c t を代入して）過渡特性値 A 2 t が取得される（大きい黒丸を参照）。

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「A 2 t / A 2 s」が算出される（（２）式を参照）。この「A 2 t / A 2 s」は、過渡運転状態における、「過渡値 P c t の定常値 P c s からのずれ」に起因する、S o o t 排出量（瞬時値）の定常排出量に対するずれの割合を精度良く表す値となる。

〈酸化補正項〉

20

S o o t の酸化に係わる補正項（酸化補正項）では、上記「因子」として、生成された S o o t が酸化される速度（S o o t 酸化速度）に影響を与える因子が使用される。具体的には、「S o o t 酸化速度に影響を与える因子」として、酸化領域代表温度 T o 1、及び筒内酸素濃度 R o x c が導入される。上記（２）式における特性値 B 1、B 2 はそれぞれ、酸化領域代表温度 T o 1、及び筒内酸素濃度 R o x c に対応する。以下、因子毎に順に説明する。

《酸化領域代表温度 T o 1 に基づく B 1 s / B 1 t》

酸化領域代表温度 T o 1 とは、燃料噴霧内（特に、S o o t が酸化される空気過剰率 $\lambda > 1$ の領域内）で位置に応じて異なる温度を代表する温度であって、特に、燃料の燃焼前半、即ち、燃料噴霧が拡散している途中の段階（燃焼が継続中の高温の噴霧状態）における燃料噴霧内の空気過剰率 $\lambda > 1$ の領域内での代表温度である。

30

図 9 に示すように、燃料噴霧における $\lambda > 1$ の領域では、温度が、最高火炎温度 T m a x に対応する部分（ $\lambda = 1$ ）から噴霧先端に向けて遠ざかるほど（即ち、 λ が 1 から大きくなるにつれて）、最高火炎温度 T m a x から次第に低くなるように、分布する。加えて、S o o t の酸化反応の殆どが、1 5 0 0 K 以上の温度で発生する。

以上のことから、本例では、酸化領域代表温度 T o 1 として、例えば、下記（５）式に示すように、最高火炎温度 T m a x と 1 5 0 0 K との平均値等が採用され得る。

$$To1 = (Tmax + 1500) / 2 \quad \dots(5)$$

40

酸化領域代表温度 T o 1 の定常値 T o 1 s は、上述したように、予め作製されたテーブル M a p T o 1 s (N E, q) と、エンジン回転速度 N E の現在値（瞬時値）及び燃料噴射量 q の現在値（今回値）とから、テーブル検索により取得される。

酸化領域代表温度 T o 1 の過渡値 T o 1 t は、上記（５）式に従って求められる。上述のように、T m a x は、例えば、上述したセンサからそれぞれ取得され得る、吸気温度、吸気圧力、及び吸気酸素濃度、並びに、上記筒内ガス量等から周知の手法により取得することができる。なお、T m a x は、R o x c の低下により低下する。

酸化領域代表温度 T o 1 に対する「S o o t 排出量に関する特性値 B 1」を求めるための特性式は、本例では、下記（６）式にて表される。q 1、q 2、h 1、h 2 は正の定数である（q 2 > q 1）。図 1 0 は、T o 1 に対する特性値 B 1 の特性を示す。図 1 0 に示

50

すように、特性値 $B1$ は、 $T_{o1} < 1500\text{ K}$ では非常に小さい値に維持され、 $T_{o1} \geq 1500\text{ K}$ にて、 T_{o1} の増加に応じて実質的に増大していく。このような特性を採用したのは、上述のように、 $Soot$ の酸化反応の殆どが 1500 K 以上の温度で発生し、 $Soot$ の酸化反応速度が 1500 K 以上にて温度上昇に伴って増大していくことに基づく。

$$B1 = q1 \cdot T_{o1} + h1 \quad (T_{o1} \leq 1500\text{ K})$$

$$q2 \cdot T_{o1} - h2 \quad (T_{o1} > 1500\text{ K}) \quad \dots(6)$$

10

図10に示すように、定常値 T_{o1s} と上記(6)式とから(即ち、(6)式における T_{o1} に T_{o1s} を代入して)定常特性値 $B1s$ が取得され(大きい白丸を参照)、過渡値 T_{o1t} と上記(6)式とから(即ち、(6)式における T_{o1} に T_{o1t} を代入して)過渡特性値 $B1t$ が取得される(大きい黒丸を参照)。

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「 $B1s/B1t$ 」が算出される(2)式を参照)。この「 $B1s/B1t$ 」は、過渡運転状態における、「過渡値 T_{o1t} の定常値 T_{o1s} からのずれ」に起因する、 $Soot$ 排出量(瞬時値)の定常排出量に対するずれの割合を表す。

なお、 $Soot$ の酸化の進行につれて $Soot$ 排出量が減少する関係がある。従って、酸化補正項では、 $Soot$ の酸化の進行に応じて増大する特性値が使用される場合において、「定常特性値と過渡特性値との比」として、上述した生成補正項(=「過渡特性値/定常特性値」)と異なり、分子と分母が逆の「定常特性値/過渡特性値」が採用されている。

20

以上のように、(特に、燃焼前半における)燃料噴霧内の空気過剰率 $\lambda > 1$ の領域内における位置に応じて異なる温度を1つの温度 T_{o1} で代表することで、計算負荷を増大させることなく、「 $B1s/B1t$ 」を、過渡運転状態において、「過渡値 T_{o1t} の定常値 T_{o1s} からのずれ」に起因する $Soot$ 排出量(瞬時値)の定常排出量に対するずれの割合を精度良く表す値とすることができる。

加えて、筒内酸素濃度 $Roxc$ の低下により最高火炎温度 $Tmax$ (従って、酸化領域代表温度 T_{o1}) が低下することで、筒内酸素濃度の低下により $Soot$ の酸化の度合いが低下すること(従って、 $Soot$ 排出量が増大すること)を表現することができる。

30

《筒内酸素濃度 $Roxc$ に基づく $B2s/B2t$ 》

筒内酸素濃度 $Roxc$ とは、燃焼室内のガスの酸素濃度である。燃焼室内のガスの酸素濃度は、燃焼室内に吸入されたガス中の酸素濃度と略等しいと考えられるから、吸気酸素濃度センサ74から取得され得る。

筒内酸素濃度 $Roxc$ の定常値 $Roxcs$ は、上述したように、予め作製されたテーブル $MapRoxcs(NE, q)$ と、エンジン回転速度 NE の現在値(瞬時値)及び燃料噴射量 q の現在値(今回値)とから、テーブル検索により取得される。

筒内酸素濃度 $Roxc$ の過渡値 $Roxct$ は、上述したように、吸気酸素濃度センサ74から取得され得る。

40

筒内酸素濃度 $Roxc$ に対する「 $Soot$ 排出量に関する特性値 $B2$ 」を求めるための特性式は、本例では、下記(7)式にて表される。図11は、 $Roxc$ に対する特性値 $B2$ の特性を示す。(7)式を採用したのは、 $Soot$ の酸化速度が、筒内酸素濃度に比例する特性を有することに基づく。

$$B2 = Roxc \quad \dots(7)$$

図11に示すように、定常値 $Roxcs$ と上記(7)式とから(即ち、(7)式における $Roxc$ に $Roxcs$ を代入して)定常特性値 $B2s$ が取得され(大きい白丸を参照)、過渡値 $Roxct$ と上記(7)式とから(即ち、(7)式における $Roxc$ に $Roxct$

50

t を代入して) 過渡特性値 B 2 t が取得される (大きい黒丸を参照)。

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「B 2 s / B 2 t」が算出される ((2) 式を参照)。この「B 2 s / B 2 t」は、過渡運転状態における、「過渡値 R o x c t の定常値 R o x c s からのずれ」に起因する、S o o t 排出量 (瞬時値) の定常排出量に対するずれの割合を精度良く表す値となる。

〈混合補正項〉

燃料噴霧と筒内ガスとの混合に係わる補正項 (混合補正項) では、上記「因子」として、燃焼ガス取り込み割合 X (詳細は後述) が導入される。上記 (2) 式における特性値 C 1 は、燃焼ガス取り込み割合 X に対応する。

《燃焼ガス取り込み割合 X に基づく C 1 t / C 1 s》

燃料噴射量 q の燃料の全てが完全燃焼するために必要な筒内ガス量を G s とすると、G s は下記 (8) 式に従って表すことができる。(8) 式において、A F t h は理論空燃比であり、R o x c は筒内酸素濃度である。

$$G_s = q \cdot A_{Fth} \cdot \frac{23.2}{R_{oxc}} \quad \dots(8)$$

(8) 式から理解できるように、G s は、R o x c が小さいほど大きくなる。従って、筒内ガスの全量 (= 上記筒内ガス量) を G c y l とすると、図 1 2 に示すように、G c y l に対する G s の割合は、R o x c が大きい場合に小さくなり (図 1 2 (a) を参照)、R o x c が小さい場合に大きくなる (図 1 2 (b) を参照)。

この割合 (G s / G c y l) は、燃料噴射量の燃料の全てが完全燃焼したと仮定した場合においてその後において燃料噴霧が完全燃焼後のガス (燃焼ガス) を取り込む確率を表す。燃焼ガス中には酸素が存在しない。従って、この割合 (G s / G c y l) が大きいことは、燃料噴霧内において生成された S o o t の酸化の度合いが低下すること、即ち、S o o t 排出量が増大すること、を意味する。

このように、割合 (G s / G c y l) は、S o o t 排出量に影響を与える因子となる。本例では、図 1 3 に示すように、この割合 (G s / G c y l) を、燃焼ガス取り込み割合 X と定義する (0 < X < 1)。

燃焼ガス取り込み割合 X の定常値 X s は、上述したように、予め作製されたテーブル M a p X s (N E, q) と、エンジン回転速度 N E の現在値 (瞬時値) 及び燃料噴射量 q の現在値 (今回値) とから、テーブル検索により取得される。燃焼ガス取り込み割合 X の過渡値 X t は、図 1 3 に示した式に従って求められる。

燃焼ガス取り込み割合 X に対する「S o o t 排出量に関する特性値 C 1」を求めるための特性式は、本例では、下記 (9) 式にて表される。図 1 4 は、X に対する特性値 C 1 の特性を示す。(9) 式 (1 次関数) を採用したのは、S o o t 排出量が、X の増大に応じて増大する特性を有すること、並びに、計算が簡易となること等に基づく。

$$C_1 = X \quad \dots(9)$$

図 1 4 に示すように、定常値 X s と上記 (9) 式とから (即ち、(9) 式における X に X s を代入して) 定常特性値 C 1 s が取得され (大きい白丸を参照)、過渡値 X t と上記 (9) 式とから (即ち、(9) 式における X に X t を代入して) 過渡特性値 C 1 t が取得される (大きい黒丸を参照)。

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「C 1 t / C 1 s」が算出される ((2) 式を参照)。この「C 1 t / C 1 s」は、過渡運転状態における、「過渡値 X t の定常値 X s からのずれ」に起因する、S o o t 排出量 (瞬時値) の定常排出量に対するずれの割合を表す。

以上のように、上記 (2) 式において混合補正項 (= C 1 t / C 1 s) を加えることで、過渡的に、筒内ガス量 G c y l が小さいときや、筒内酸素濃度 R o x c が小さいとき等

10

20

30

40

50

、筒内での酸素が不足気味のときに燃焼ガス取り込み割合 $X (= G_s / G_{cyl})$ が大きくなり、過渡的に筒内での酸素が不足気味のときに $Soot$ 排出量が増大することを表現することができる。

以上、説明したように、本発明によるすす排出量推定装置の第1実施形態によれば、「定常排出量」に「過渡補正值」を乗じることで $Soot$ 排出量が算出され得る（（1）式を参照）。「定常排出量」は、内燃機関が現在の運転速度及び燃料噴射量をもって定常運転状態にある場合における $Soot$ 排出量であり、テーブル検索により取得される。「過渡補正值」は、過渡運転状態における $Soot$ 排出量の「定常排出量」からのずれの程度を表す係数である。「過渡補正值」の算出に際し、 $Soot$ 排出量に影響を与える複数の因子の各々について、因子の値に対する $Soot$ 排出量に関する特性式に因子の定常値（
10 テーブル検索値）と過渡値（現在値）とを代入して定常特性値と過渡特性値とがそれぞれ取得され、「定常特性値と過渡特性値との比」が算出される。「過渡補正值」は、各因子についての「定常特性値と過渡特性値との比」をそれぞれ乗じることで算出される（（2）式を参照）。

これにより、「過渡補正值」は、過渡運転状態における各因子についての「過渡値の定常値からのずれ」の影響が全て考慮された「 $Soot$ 排出量の定常排出量からのずれの程度を表す係数」に算出される。この結果、「定常排出量」を取得するためのテーブル検索、及び「過渡補正值」の算出という少ない計算負荷をもって、過渡運転状態において $Soot$ 排出量を精度良く推定することができる。

（第2実施形態による $Soot$ 排出量の推定方法）
20

次に、本発明に係るすす排出量推定装置の第2実施形態による $Soot$ 排出量の推定方法について説明する。この第2実施形態では、過渡補正值が下記（10）式から算出される点においてのみ、過渡補正值が上記（2）式から算出される上記第1実施形態と異なる。以下、係る相違点についてのみ説明する。

過渡補正值

$$= \underbrace{\frac{A1t}{A1s} \cdot \frac{A2t}{A2s} \cdot \frac{A3t}{A3s}}_{\text{生成補正}} \cdot \underbrace{\left\{ \alpha \cdot \frac{B1s}{B1t} \cdot \frac{B2's}{B2't} + (1-\alpha) \cdot \frac{B3s}{B3t} \cdot \frac{B4s}{B4t} \right\}}_{\text{酸化補正}} \cdots (10)$$

上記（10）式から理解できるように、第2実施形態では、過渡補正值は、生成補正項と酸化補正項のみから算出される。生成補正項では、「噴霧代表温度 T_f に基づく $A1t / A1s$ 」と「筒内圧力 P_c に基づく $A2t / A2s$ 」とが使用される点では上記第1実施形態と同じである一方、「筒内酸素濃度 Rox_c に基づく $A3t / A3s$ 」が新たに導入される点においてのみ上記第1実施形態と異なる。

《筒内酸素濃度 Rox_c に基づく $A3t / A3s$ 》

図15に示すように、筒内酸素濃度 Rox_c が小さいと、着火遅れが大きくなり（燃料噴射から着火までに要する時間が長くなり）、着火開始時点での燃料噴霧の大きさが大きくなる。加えて、筒内酸素濃度 Rox_c が小さいと、燃料噴霧と筒内ガス中の酸素とが
40 会う機会が少なくなって燃料の燃焼速度が小さくなる。以上より、筒内酸素濃度 Rox_c が小さいと、燃料の燃焼期間が長くなって燃料が高温にさらされる時間が長くなり、この結果、 $Soot$ が生成され易くなる。

このように、筒内酸素濃度 Rox_c は、「 $Soot$ 生成速度に影響を与える因子」となる。なお、上述のように、筒内酸素濃度 Rox_c が小さいと、着火開始時点での燃料噴霧の大きさが大きくなることを考慮すると、着火開始時点での燃料噴霧の大きさが「 $Soot$ 生成速度に影響を与える因子」となる、ということもできる。即ち、着火開始時点での燃料噴霧の大きさが大きいほど、 $Soot$ が生成され易くなる。

ここで、着火開始時点での燃料噴霧の大きさは、例えば、筒内酸素濃度 Rox_c を用い
50

た上記「燃料噴射量 q の燃料の全てが完全燃焼するために必要な筒内ガス量 G_s 」(上記(8)式を参照)を使用して下記(11)式に従って得られる混合気量 G_{all} にて表すことができる。

$$G_{all} = q + G_s = q \cdot \left(1 + AF_{th} \cdot \frac{23.2}{R_{oxc}} \right) \quad \dots(11)$$

筒内酸素濃度 R_{oxc} の定常値 R_{oxcs} は、上述したように、予め作製されたテーブル $Map_{R_{oxcs}}(NE, q)$ と、エンジン回転速度 NE の現在値(瞬時値)及び燃料噴射量 q の現在値(今回値)とから、テーブル検索により取得される。筒内酸素濃度 R_{oxc} の過渡値 R_{oxct} は、上述したように、吸気酸素濃度センサ 74 から取得され得る。

10

筒内酸素濃度 R_{oxc} に対する「 $Soot$ 排出量に関する特性値 A_3 」を求めるための特性式は、本例では、下記(12)式にて表される。この特性値 A_3 は、(11)式から得られる G_{all} を q で除した値である。図 16 は、 R_{oxc} に対する特性値 A_3 の特性を示す。(12)式を採用したのは、上述のように、着火開始時点での燃料噴霧の大きさが大きいほど $Soot$ が生成され易いこと、並びに、着火開始時点での燃料噴霧の大きさが G_{all} にて表すことができることに基づく。

20

$$A_3 = 1 + AF_{th} \cdot \frac{23.2}{R_{oxc}} \quad \dots(12)$$

図 16 に示すように、定常値 R_{oxcs} と上記(12)式とから(即ち、(12)式における R_{oxc} に R_{oxcs} を代入して)定常特性値 A_{3s} が取得され(大きい白丸を参照)、過渡値 R_{oxct} と上記(12)式とから(即ち、(12)式における R_{oxc} に R_{oxct} を代入して)過渡特性値 A_{3t} が取得される(大きい黒丸を参照)。

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「 A_{3t}/A_{3s} 」が算出される(10)式を参照)。この「 A_{3t}/A_{3s} 」は、過渡運転状態における、「過渡値 R_{oxct} の定常値 R_{oxcs} からのずれ」に起因する、 $Soot$ 排出量(瞬時値)の定常排出量に対するずれの割合を表す。

30

以上のように、上記(10)式に示すように、生成補正項に「 A_{3t}/A_{3s} 」を加えることで、加速時等において一時的に筒内酸素濃度が低下し(従って、着火開始時点での燃料噴霧の大きさが大きくなり)、 $Soot$ が生成され易くなって $Soot$ 排出量が増大することを表現することができる。

他方、上記(10)式から理解できるように、第 2 実施形態において、酸化補正項では、「酸化領域代表温度 T_{o1} に基づく B_{1s}/B_{1t} 」が使用される点では上記第 1 実施形態と同じである一方、「筒内酸素濃度 R_{oxc} に基づく B_{2s}/B_{2t} 」に代えて「正味筒内酸素濃度 R_{oxc}' に基づく $B_{2's}/B_{2't}$ 」が導入される点、並びに、「酸化領域代表温度 T_{o2} に基づく B_{3s}/B_{3t} 」、「筒内酸素濃度 R_{oxe} に基づく B_{4s}/B_{4t} 」、及び重み付け係数 α が新たに導入される点が、上記第 1 実施形態と異なる。

40

図 17 に示すように、生成されたすすの酸化反応は、燃料の燃焼前半、即ち、燃料噴霧が拡散している途中の段階(燃焼が継続中の高温の噴霧状態)のみならず、燃料の燃焼後半、即ち、燃料噴霧が十分に拡散して混合気が均一となり且つ燃焼がほぼ終了した状態でも発生し得る。ここで、燃焼前半と燃焼後半とでは、燃焼室内のガスの温度及び酸素濃度が大きく異なるから、 $Soot$ 酸化速度も大きく異なる。従って、第 2 実施形態では、燃焼前半での $Soot$ の酸化反応と燃焼後半での $Soot$ の酸化反応とが別個に扱われる。

図 17 に示すように、「酸化領域代表温度 T_{o1} に基づく B_{1s}/B_{1t} 」及び「正味筒内酸素濃度 R_{oxc}' に基づく $B_{2's}/B_{2't}$ 」が燃焼前半に係わり、「酸化領域

50

代表温度 T_{o2} に基づく B_{3s}/B_{3t} 」及び「筒内酸素濃度 R_{oxe} に基づく B_{4s}/B_{4t} 」が燃焼後半に係わる。重み付け係数 α は、 S_{oot} の酸化量（酸化の程度）全体に対する燃焼前半での S_{oot} の酸化量（酸化の程度）の割合を表す。以下、第2実施形態で新たに導入されたものについて順に説明する。

《正味筒内酸素濃度 $R_{oxc'}$ に基づく $B_{2's}/B_{2't}$ 》

上述のように、燃焼ガス取り込み割合 $X (= G_s / G_{cyl})$ （図13を参照）は、燃料噴射量の燃料の全てが完全燃焼したと仮定した場合においてその後において燃料噴霧が燃焼ガス（完全燃焼後のガス）を取り込む確率を表す。燃焼ガス中には酸素が存在しない。従って、燃料の全てが完全燃焼した後における燃料噴霧中での S_{oot} の酸化反応を考える場合、燃料噴霧に取り込まれるガスの酸素濃度は、実質的には、下記（13）式にて示される $R_{oxc'}$ に略等しいと考えることができる。

10

$$R_{oxc'} = R_{oxc} \cdot (1 - X) \quad \dots(13)$$

上記（13）式に示すように、 R_{oxc} （吸気酸素濃度センサ74から取得され得る酸素濃度、燃焼前の筒内酸素濃度）に $(1 - X)$ を乗じて得られる $R_{oxc'}$ を「正味筒内酸素濃度 $R_{oxc'}$ 」と呼ぶ。このように X を考慮して得られる $R_{oxc'}$ は、 R_{oxc} よりも、 S_{oot} 酸化速度により強く影響を与える因子となり得る。

正味筒内酸素濃度 $R_{oxc'}$ の定常値 $R_{oxc's}$ は、上述したように、予め作製されたテーブル $Map_{R_{oxc's}}(NE, q)$ と、エンジン回転速度 NE の現在値（瞬時値）及び燃料噴射量 q の現在値（今回値）とから、テーブル検索により取得される。正味筒内酸素濃度 $R_{oxc'}$ の過渡値 $R_{oxc't}$ は、上記（13）式に従って求められる。

20

正味筒内酸素濃度 $R_{oxc'}$ に対する「 S_{oot} 排出量に関する特性値 $B_{2'}$ 」を求めるための特性式は、本例では、下記（14）式にて表される。図18は、 $R_{oxc'}$ に対する特性値 $B_{2'}$ の特性を示す。（14）式（1次関数）を採用したのは、燃焼前半での S_{oot} 酸素速度が、 $R_{oxc'}$ に比例する特性を有すると考えられることに基づく。

$$B_{2'} = R_{oxc'} \quad \dots(14)$$

30

図18に示すように、定常値 $R_{oxc's}$ と上記（14）式とから（即ち、（14）式における $R_{oxc'}$ に $R_{oxc's}$ を代入して）定常特性値 $B_{2's}$ が取得され（大きい白丸を参照）、過渡値 $R_{oxc't}$ と上記（14）式とから（即ち、（14）式における $R_{oxc'}$ に $R_{oxc't}$ を代入して）過渡特性値 $B_{2't}$ が取得される（大きい黒丸を参照）。

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「 $B_{2's}/B_{2't}$ 」が算出される（（10）式を参照）。この「 $B_{2's}/B_{2't}$ 」は、過渡運転状態における、「過渡値 $R_{oxc't}$ の定常値 $R_{oxc's}$ からのずれ」に起因する、 S_{oot} 排出量（瞬時値）の定常排出量に対するずれの割合を表す。

40

図19は、上記のように、 $R_{oxc's}$ 、 $R_{oxc't}$ 、 $B_{2's}$ 、 $B_{2't}$ を設定した場合における、 $R_{oxc's}$ 、 $R_{oxc't}$ 、 $B_{2's}/B_{2't}$ 、 S_{oot} 排出量の変化の一例（例えば、急加速時）を示したグラフである。図19に示すように、急加速時等の過渡運転状態において $R_{oxc't}$ が $R_{oxc's}$ から大きくずれる場合においても、「 $B_{2's}/B_{2't}$ 」を定常排出量に乗じることで、 S_{oot} 排出量が実測値に対して大きく乖離することなく推移し得る。

以上のように、上記（10）式に示すように、酸化補正項において $B_{2's}/B_{2't}$ を考慮することで、過渡的に、筒内ガス量 G_{cyl} が小さいときや、筒内酸素濃度 R_{oxc} が小さいとき等、筒内での酸素が不足気味のときに燃焼ガス取り込み割合 $X (= G_s / G_{cyl})$ が大きくなり、過渡的に筒内での酸素が不足気味のときに S_{oot} 酸化速度が

50

減少してSoot排出量が増大することを表現することができる。

即ち、酸化補正項において「Roxcに基づくB2s/B2t」に代えて「Roxc'に基づくB2's/B2't」を使用することにより、上記第1実施形態において混合補正項として「Xに基づくC1t/C1s」を追加したことによる作用・効果と同様の作用・効果が生じ得る。

《酸化領域代表温度To2に基づくB3s/B3t》

酸化領域代表温度To2とは、燃料噴霧内で位置に応じて異なる温度を代表する温度であって、特に、燃料の燃焼後半、即ち、燃料噴霧が十分に拡散して混合気が均一となり且つ燃焼がほぼ終了した状態における燃料噴霧（混合気）内での代表温度である。

燃焼後半における燃料噴霧内の温度は、上記最高火炎温度Tmax及び排ガス温度Teに強い相関があると考えられる。そこで、本例では、酸化領域代表温度To2として、例えば、下記(15)式に示すように、最高火炎温度Tmaxと排ガス温度Teとの平均値等が採用され得る。

$$To2 = (Tmax + Te) \quad \dots(15)$$

酸化領域代表温度To2の定常値To2sは、上述したように、予め作製されたテーブルMapTo2s(NE, q)と、エンジン回転速度NEの現在値（瞬時値）及び燃料噴射量qの現在値（今回値）とから、テーブル検索により取得される。

酸化領域代表温度To2の過渡値To2tは、上記(15)式に従って求められる。上述のように、Tmaxは、例えば、上述したセンサからそれぞれ取得され得る、吸気温度、吸気圧力、及び吸気酸素濃度、並びに、上記筒内ガス量等から周知の手法により取得することができる。また、Teは、排気温センサ77から得ることができる。

酸化領域代表温度To2に対する「Soot排出量に関する特性値B3」を求めるための特性式は、本例では、上記(6)式に類似する下記(16)式にて表される。q3, q4, h3, h4は正の定数である(q4 > q3)。図20は、To2に対する特性値B3の特性を示す。図20に示すように、特性値B3は、To2 < 1500 Kでは非常に小さい値に維持され、To2 ≥ 1500 Kにて、To2の増加に応じて実質的に増大していく。このような特性を採用したのは、燃焼後半においても、Sootの酸化反応の殆どが1500 K以上の温度で発生し、Sootの酸化反応速度が1500 K以上にて温度上昇に伴って増大していくことに基づく。

$$\begin{aligned} B3 &= q3 \cdot To2 + h3 \quad (To2 \leq 1500K) \\ &= q4 \cdot To2 - h4 \quad (To2 > 1500K) \quad \dots(16) \end{aligned}$$

図20に示すように、定常値To2sと上記(16)式とから（即ち、(16)式におけるTo2にTo2sを代入して）定常特性値B3sが取得され（大きい白丸を参照）、過渡値To2tと上記(16)式とから（即ち、(16)式におけるTo2にTo2tを代入して）過渡特性値B3tが取得される（大きい黒丸を参照）。

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「B3s/B3t」が算出される（(10)式を参照）。この「B3s/B3t」は、過渡運転状態における、「過渡値To2tの定常値To2sからのずれ」に起因する、Soot排出量（瞬時値）の定常排出量に対するずれの割合を表す。

以上のように、燃焼後半における燃料噴霧内の位置に応じて異なる温度を1つの温度To2で代表することで、計算負荷を増大させることなく、「B3s/B3t」を、過渡運転状態において、「過渡値To2tの定常値To2sからのずれ」に起因するSoot排出量（瞬時値）の定常排出量に対するずれの割合を精度良く表す値とすることができる。

加えて、筒内酸素濃度Roxcの低下により最高火炎温度Tmax（従って、酸化領域

代表温度 T_{o2} が低下することで、筒内酸素濃度の低下により燃焼後半での $Soot$ の酸化の度合いが低下すること（従って、 $Soot$ 排出量が増大すること）を表現することができる。

《筒内酸素濃度 R_{oxe} に基づく $B4s/B4t$ 》

筒内酸素濃度 R_{oxe} とは、燃焼後半における燃焼室内のガスの酸素濃度である。燃焼後半では、燃焼室内のガスの酸素濃度は、排ガス中の酸素濃度と略等しいと考えられる。従って、筒内酸素濃度 R_{oxe} は、排ガス中の酸素濃度を検出・推定する手段から得ることができる。排ガス中の酸素濃度は、燃焼室から排出される排ガス中の酸素濃度を検出する図示しない排気酸素濃度センサから検出してもよいし、吸気酸素濃度センサ 74 から取得される吸気酸素濃度から燃料の燃焼により消費された酸素分を減じることで推定してもよい。

10

筒内酸素濃度 R_{oxe} の定常値 R_{oxes} は、上述したように、予め作製されたテーブル $MapR_{oxes}(NE, q)$ と、エンジン回転速度 NE の現在値（瞬時値）及び燃料噴射量 q の現在値（今回値）とから、テーブル検索により取得される。

筒内酸素濃度 R_{oxe} の過渡値 R_{oxet} は、上述したように、排気酸素濃度センサ、吸気酸素濃度センサ 74 等から取得され得る。

筒内酸素濃度 R_{oxe} に対する「 $Soot$ 排出量に関する特性値 $B4$ 」を求めるための特性式は、本例では、下記 (17) 式にて表される。図 21 は、 R_{oxe} に対する特性値 $B4$ の特性を示す。(17) 式を採用したのは、燃焼後半においても、 $Soot$ の酸化速度が、筒内酸素濃度に比例する特性を有することに基づく。

20

$$B4 = R_{oxe} \quad \dots(17)$$

図 21 に示すように、定常値 R_{oxes} と上記 (17) 式とから（即ち、(17) 式における R_{oxe} に R_{oxes} を代入して）定常特性値 $B4s$ が取得され（大きい白丸を参照）、過渡値 R_{oxet} と上記 (17) 式とから（即ち、(17) 式における R_{oxe} に R_{oxet} を代入して）過渡特性値 $B4t$ が取得される（大きい黒丸を参照）。

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「 $B4s/B4t$ 」が算出される（(10) 式を参照）。この「 $B4s/B4t$ 」は、過渡運転状態における、「過渡値 R_{oxet} の定常値 R_{oxes} からのずれ」に起因する、 $Soot$ 排出量（瞬時値）の定常排出量に対するずれの割合を精度良く表す値となる。

30

《重み付け係数 α 》

燃焼前半での $Soot$ の酸化量（酸化の程度）と燃焼後半での $Soot$ の酸化量（酸化の程度）との割合は、燃焼前半での $Soot$ 酸化速度と燃焼後半での $Soot$ 酸化速度との割合に略等しいと考えられる。燃焼前半での $Soot$ 酸化速度は、上述の酸化領域代表温度 T_{o1} についての特性値 $B1$ （図 10、及び (6) 式を参照）で代表でき、燃焼後半での $Soot$ 酸化速度は、上述の酸化領域代表温度 T_{o2} についての特性値 $B3$ （図 20、及び (16) 式を参照）で代表できる。以上のことから、重み付け係数 α は、酸化領域代表温度 T_{o1} 、 T_{o2} に基づいて、例えば、下記 (18) 式、或いは (19) 式で表すことができる。

40

$$\alpha = \frac{B1t}{B1t+B3t} \quad \dots(18)$$

$$\alpha = \frac{B1s}{B1s+B3s} \quad \dots(19)$$

なお、一般に、燃焼前半での酸化領域代表温度 T_{o1} は 1500 K よりも高く、燃焼後半での酸化領域代表温度 T_{o2} は 1500 K よりも低い。従って、特性値 $B3$ （ $B3t$ 、

50

B 3 s) は特性値 B 1 (B 1 t, B 1 s) に比して極めて小さい値となる。従って、係る観点から、重み付け係数 $\alpha = 1$ (一定) としてもよい。

また、筒内酸素濃度 R o x c (吸気酸素濃度) が大きいと最高火災温度が高くなるから、燃焼前半も燃焼後半も S o o t の酸化反応が進行し易い。一方、筒内酸素濃度 R o x c が小さいと最高火災温度が低くなるから、燃焼前半よりも温度が低い燃焼後半では、燃焼前半に比して S o o t の酸化反応が相対的に進行し難くなる。換言すれば、筒内酸素濃度 R o x c が小さくなるほど、S o o t の酸化量全体に対する燃焼前半での S o o t の酸化量の割合 ($= \alpha$) が大きくなる。

加えて、筒内圧力 P c (吸気圧力) が大きいと燃料噴霧が拡散し難くなるから、燃焼前半において S o o t の酸化反応が相対的に進行し易くなる。一方、筒内圧力 P c が小さいと燃料噴霧が拡散し易くなるから、燃焼後半において S o o t の酸化反応が相対的に進行し易くなる。換言すれば、筒内圧力 P c が大きくなるほど、S o o t の酸化量全体に対する燃焼前半での S o o t の酸化量の割合 ($= \alpha$) が大きくなる。

以上のことから、重み付け係数 α は、筒内酸素濃度 R o x c 及び筒内圧力 P c に基づいて、例えば、下記 (20) 式で表すことができる。(20) 式において、 β は、図 22 に示すテーブルに基づいて決定される係数であり、R o x c が小さいほどより大きい値に決定される。 γ は、図 23 に示すテーブルに基づいて決定される係数であり、P c が大きいほどより大きい値に決定される。なお、重み付け係数 α を、筒内酸素濃度 R o x c 及び筒内圧力 P c の何れかのみに基づいて、 $\alpha = \beta$ 、或いは、 $\alpha = \gamma$ としてもよい。

$$\alpha = \beta \cdot \gamma \quad \dots(20)$$

以上、酸化補正項では、燃焼前半について「酸化領域代表温度 T o 1 に基づく B 1 s / B 1 t」及び「正味筒内酸素濃度 R o x c' に基づく B 2' s / B 2' t」が使用され、燃焼後半について「酸化領域代表温度 T o 2 に基づく B 3 s / B 3 t」及び「筒内酸素濃度 R o x e に基づく B 4 s / B 4 t」が使用されているが、燃焼前半について「酸化領域代表温度 T o 1 に基づく B 1 s / B 1 t」及び「正味筒内酸素濃度 R o x c' に基づく B 2' s / B 2' t」の何れか一方のみが使用され、燃焼後半について「酸化領域代表温度 T o 2 に基づく B 3 s / B 3 t」及び「筒内酸素濃度 R o x e に基づく B 4 s / B 4 t」の何れか一方のみが使用されてもよい。

(第 3 実施形態による S o o t 排出量の推定方法)

次に、本発明に係るすす排出量推定装置の第 3 実施形態による S o o t 排出量の推定方法について説明する。この第 3 実施形態では、過渡補正値が下記 (21) 式から算出される点においてのみ、過渡補正値が上記 (10) 式から算出される上記第 2 実施形態と異なる。以下、係る相違点についてのみ説明する。

過渡補正値

$$= \underbrace{\frac{A1t}{A1s} \cdot \frac{A2t}{A2s} \cdot \frac{A3t}{A3s}}_{\text{生成補正}} \cdot \underbrace{\frac{B1s}{B1t} \cdot \frac{B5t}{B5s}}_{\text{酸化補正}} \quad \dots(21)$$

上記 (21) 式から理解できるように、第 3 実施形態も、上記第 2 実施形態と同様、過渡補正値は、生成補正項と酸化補正項のみから算出される。また、生成補正項は、上記第 2 実施形態と同じである。一方、酸化補正項では、上記第 1、第 2 実施形態で使用されている「酸化領域代表温度 t o 1 に基づく B 1 s / B 1 t」と、第 3 実施形態に特有の「噴霧重なり度 L に基づく B 5 t / B 5 s」とが使用される。

《噴霧重なり度 L に基づく B 5 t / B 5 s》

実際には、燃焼室の形状（キャビティの形状）等に起因して、筒内ガスのうちで燃料噴霧が到達し得ない（燃料噴霧と混合し得ない）部分（燃料の燃焼に寄与しない部分）が存在する。ここで、筒内ガスのうちで燃料噴霧と混合し得る（燃料の燃焼に寄与する）部分の割合を「空気利用率」とし、「燃焼室内のガスのうち燃料の燃焼に寄与しない分を除いたガスの量」を G_{cy1}' とすると、 G_{cy1}' は下記（22）式で表すことができる。

$$G_{cy1}' = G_{cy1} \cdot \text{空気利用率} \quad \dots(22)$$

この G_{cy1}' と、上述した「燃料噴射量 q の燃料の全てが完全燃焼するために必要な筒内ガス量 G_s 」とを使用して、図24に示すように、噴霧重なり度 $L = G_s / G_{cy1}'$ と定義する。

10

図25に示すように、上述の「燃焼ガス取り込み割合 X 」と同様、噴霧重なり度 L も、筒内酸素濃度 R_{oxc} が小さいほど大きくなる。筒内ガスのうちで上述の「燃料の燃焼に寄与しない分」が考慮された結果、 L は「1」を超える場合もある。

図25に示すように、噴霧重なり度 L が大きくなるほど（特に、 $L > 1$ のとき）、複数の噴孔（図25では、4つ）からそれぞれ噴射・形成された燃料噴霧同士が重なる確率が高くなる。燃料噴霧同士が重なる部分では、燃料噴霧内に酸素が取り込まれ難くなり、この結果、この部分での $Soot$ 酸化速度が低下する。以上より、噴霧重なり度 L は、 $Soot$ 酸化速度に強く影響を与える因子となり得る。

噴霧重なり度 L の定常値 L_s は、上述したように、予め作製されたテーブル $MapL_s$ （ NE, q ）と、エンジン回転速度 NE の現在値（瞬時値）及び燃料噴射量 q の現在値（今回値）とから、テーブル検索により取得される。噴霧重なり度 L の過渡値 L_t は、図24に示した式に従って求められる。

20

噴霧重なり度 L に対する「 $Soot$ 排出量に関する特性値 B_5 」を求めるための特性式は、本例では、下記（23）式にて表される。 q_5, h_5 は正の定数である。図25は、 L に対する特性値 B_5 の特性を示す。（23）式を採用したのは、上述したように、特に $L > 1$ のときに燃料噴霧同士が重なる確率が高くなって $Soot$ 酸化速度が低下することに基づく。

$$\begin{aligned} B_5 &= 1 \quad (L \leq 1) \\ &= q_5 \cdot L - h_5 \quad (L > 1) \quad \dots(23) \end{aligned}$$

30

図25に示すように、定常値 L_s と上記（23）式とから（即ち、（23）式における L に L_s を代入して）定常特性値 B_{5s} が取得され（大きい白丸を参照）、過渡値 L_t と上記（23）式とから（即ち、（23）式における L に L_t を代入して）過渡特性値 B_{5t} が取得される（大きい黒丸を参照）。

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「 B_{5t} / B_{5s} 」が算出される（（21）式を参照）。この「 B_{5t} / B_{5s} 」は、過渡運転状態における、「過渡値 L_t の定常値 L_s からのずれ」に起因する、 $Soot$ 排出量（瞬時値）の定常排出量に対するずれの割合を表す。

40

以上のように、上記（21）式において酸化補正項にて「 B_{5t} / B_{5s} 」を加えることで、過渡的に、筒内ガス量 G_{cy1} が小さいときや、筒内酸素濃度 R_{oxc} が小さいとき等、燃料噴霧同士が重なる確率が高いときに噴霧重なり度 $L (= G_s / G_{cy1}')$ が大きくなり、過渡的に燃料噴霧同士が重なる確率が高いときに $Soot$ 排出量が増大することを表現することができる。

（第4実施形態による $Soot$ 排出量の推定方法）

次に、本発明に係るすす排出量推定装置の第4実施形態による $Soot$ 排出量の推定方法について説明する。この第4実施形態では、過渡補正値が下記（24）式から算出される点においてのみ、過渡補正値が上記（2）式から算出される上記第1実施形態と異なる

50

。以下、係る相違点についてのみ説明する。

過渡補正值

$$= \frac{A1t}{A1s} \cdot \frac{A2t}{A2s} \cdot \frac{A4t}{A4s} \cdot \frac{B1s}{B1t} \cdot \frac{B2t}{B2s} \quad \cdots(24)$$

上記（２４）式から理解できるように、第４実施形態では、過渡補正值は、生成補正項と酸化補正項のみから算出される。生成補正項では、「噴霧代表温度 T_f に基づく $A1t/A1s$ 」と「筒内圧力 P_c に基づく $A2t/A2s$ 」とが使用される点では上記第１実施形態と同じである一方、「筒内酸素濃度 R_{oxc} に基づく $A3t/A3s$ 」に代えて「着火遅れ期間 ID に基づく $A4t/A4s$ 」が導入される点においてのみ上記第１実施形態と異なる。着火遅れ期間 ID とは、燃料の噴射開始時期（メイン噴射に先立ってパイロット噴射がなされる場合、メイン噴射の開始時期）から着火開始時期までの期間（クランク角度、又は、時間）を指す。

《着火遅れ期間 ID に基づく $A4t/A4s$ 》

図２６に示すように、着火遅れ期間 ID が短いと、着火開始時点での燃料噴霧の大きさが小さくなることで、着火開始時点での燃料噴霧の（平均）当量比が大きくなり、この結果、 $Soot$ が生成され易くなる。このように、着火遅れ期間 ID は、「 $Soot$ 生成速度に影響を与える因子」となる。着火遅れ期間 ID は、例えば、筒内圧力センサ７５から検出される筒内圧力の推移に基づいて特定される着火開始時期を用いて算出することができる。また、着火遅れ期間 ID は、周知の推定手法の一つに基づいて推定され得る。

着火遅れ期間 ID に対する「 $Soot$ 排出量に関する特性値 $A4$ 」を求めるための特性式は、本例では、下記（２５）式にて表される。 q_6 は負の定数、 h_6 は正の定数である。図２７は、 ID に対する特性値 $A4$ の特性を示す。（２５）式を採用したのは、上述のように、着火遅れ期間 ID が小さいほど $Soot$ が生成され易いことに基づく。なお、 ID が小さいほど特性値が大きくなる限りにおいて、（２５）式とは異なる特性式（下に凸の特性、上に凸の特性）が採用されてもよい。

$$A4 = q_6 \cdot ID + h_6 \quad \cdots(25)$$

図２７に示すように、定常値 ID_s と上記（２５）式とから（即ち、（２５）式における ID に ID_s を代入して）定常特性値 $A4_s$ が取得され（大きい白丸を参照）、過渡値 ID_t と上記（２５）式とから（即ち、（２５）式における ID に ID_t を代入して）過渡特性値 $A4_t$ が取得される（大きい黒丸を参照）。

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「 $A4_t/A4_s$ 」が算出される（（２４）式を参照）。この「 $A4_t/A4_s$ 」は、過渡運転状態における、「過渡値 ID_t の定常値 ID_s からのずれ」に起因する、 $Soot$ 排出量（瞬時値）の定常排出量に対するずれの割合を表す。

以上、上記（２４）式に示すように、生成補正項に「 $A4_t/A4_s$ 」を加えることで、何らかの原因で着火遅れ期間が短くなり（従って、着火開始時点での燃料噴霧の大きさが小さくなり）、 $Soot$ が生成され易くなって $Soot$ 排出量が増大することを表現することができる。

以下、着火遅れ期間 ID そのものに代えて「着火遅れ期間 ID に関連する値」を用いて過渡補正值が算出される種々の場合について順に説明する。

《圧縮端温度 T_{comp} に基づく $A5t/A5s$ 》

一般に、圧縮端温度 T_{comp} が高いと、着火開始時期が早くなることで着火遅れ期間 ID が短くなる。即ち、圧縮端温度 T_{comp} は「着火遅れ期間 ID に関連する値」とな

10

20

30

40

50

り、圧縮端温度 T_{comp} が高いほど $Soot$ が生成され易くなる。上述したように、圧縮端温度 T_{comp} は、例えば、上述したセンサからそれぞれ取得され得る、吸気温度、吸気圧力、及び吸気酸素濃度、並びに、燃焼室内に吸入されたガスの全量（筒内ガス量）等から周知の手法により取得することができる。

着火遅れ期間 ID そのものに代えて圧縮端温度 T_{comp} を用いて過渡補正値が算出される場合、過渡補正値は、上記（24）式に代えて下記（26）式から算出される。（26）式は、「着火遅れ期間 ID に基づく $A4t/A4s$ 」に代えて「圧縮端温度 T_{comp} に基づく $A5t/A5s$ 」が導入される点においてのみ上記（24）式と異なる。以下、係る相違点についてのみ説明する。

10

過渡補正値

$$= \frac{A1t}{A1s} \cdot \frac{A2t}{A2s} \cdot \frac{A5t}{A5s} \cdot \frac{B1s}{B1t} \cdot \frac{B2t}{B2s} \quad \dots(26)$$

圧縮端温度 T_{comp} に対する「 $Soot$ 排出量に関する特性値 $A5$ 」を求めるための特性式は、本例では、下記（27）式にて表される。 $q7$ 、 $h7$ は正の定数である。図28は、 T_{comp} に対する特性値 $A5$ の特性を示す。（27）式を採用したのは、上述のように、圧縮端温度 T_{comp} が高いほど $Soot$ が生成され易いことに基づく。なお、 T_{comp} が高いほど特性値が大きくなる限りにおいて、（27）式とは異なる特性式（下に凸の特性、上に凸の特性）が採用されてもよい。

20

$$A5 = q7 \cdot T_{comp} + h7 \quad \dots(27)$$

図28に示すように、定常値 $T_{comp s}$ と上記（27）式とから（即ち、（27）式における T_{comp} に $T_{comp s}$ を代入して）定常特性値 $A5s$ が取得され（大きい白丸を参照）、過渡値 $T_{comp t}$ と上記（27）式とから（即ち、（27）式における T_{comp} に $T_{comp t}$ を代入して）過渡特性値 $A5t$ が取得される（大きい黒丸を参照）。

30

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「 $A5t/A5s$ 」が算出される（（26）式を参照）。この「 $A5t/A5s$ 」は、過渡運転状態における、「過渡値 $T_{comp t}$ の定常値 $T_{comp s}$ からのずれ」に起因する、 $Soot$ 排出量（瞬時値）の定常排出量に対するずれの割合を表す。これにより、着火遅れ期間 ID そのものを取得することなく、過渡補正値を、着火遅れ期間 ID の長短が $Soot$ 排出量に与える影響が考慮された値に算出することができる。

以上、上記（26）式に示すように、生成補正項に「 $A5t/A5s$ 」を加えることで、何らかの原因で圧縮端温度が高くなり（従って、着火遅れ期間が短くなり）、 $Soot$ が生成され易くなって $Soot$ 排出量が増大することを表現することができる。

《排ガス圧力 P_e に基づく $A6t/A6s$ 》

40

一般に、排ガス圧力 P_e が大きいと、内部 EGR ガス（排気弁を介して排気通路から燃焼室に還流される排ガス）の量が増加することで圧縮端温度 T_{comp} が高くなり、この結果、着火遅れ期間 ID が短くなる。即ち、排ガス圧力 P_e は「着火遅れ期間 ID に相関する値」となり、排ガス圧力 P_e が大きいほど $Soot$ が生成され易くなる。排ガス圧力 P_e は、例えば、排気圧力センサ81から検出され得る。また、排ガス圧力 P_e は、周知の推定手法の一つに基づいて推定され得る。

着火遅れ期間 ID そのものに代えて排ガス圧力 P_e を用いて過渡補正値が算出される場合、過渡補正値は、上記（24）式に代えて下記（28）式から算出される。（28）式は、「着火遅れ期間 ID に基づく $A4t/A4s$ 」に代えて「排ガス圧力 P_e に基づく $A6t/A6s$ 」が導入される点においてのみ上記（24）式と異なる。以下、係る相違点

50

についてのみ説明する。

過渡補正值

$$= \frac{A1t}{A1s} \cdot \frac{A2t}{A2s} \cdot \frac{A6t}{A6s} \cdot \frac{B1s}{B1t} \cdot \frac{B2t}{B2s} \quad \dots(28)$$

排ガス圧力 P_e に対する「Soot 排出量に関する特性値 A_6 」を求めるための特性式は、本例では、下記（29）式にて表される。 q_8 、 h_8 は正の定数である。図 29 は、 P_e に対する特性値 A_6 の特性を示す。（29）式を採用したのは、上述のように、排ガス圧力 P_e が高いほど Soot が生成され易いことに基づく。なお、 P_e が高いほど特性値が大きくなる限りにおいて、（29）式とは異なる特性式（下に凸の特性、上に凸の特性）が採用されてもよい。

10

$$A_6 = q_8 \cdot P_e + h_8 \quad \dots(29)$$

図 29 に示すように、定常値 P_{es} と上記（29）式とから（即ち、（29）式における P_e に P_{es} を代入して）定常特性値 A_{6s} が取得され（大きい白丸を参照）、過渡値 P_{et} と上記（29）式とから（即ち、（29）式における P_e に P_{et} を代入して）過渡特性値 A_{6t} が取得される（大きい黒丸を参照）。

20

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「 A_{6t} / A_{6s} 」が算出される（（28）式を参照）。この「 A_{6t} / A_{6s} 」は、過渡運転状態における、「過渡値 P_{et} の定常値 P_{es} からのずれ」に起因する、Soot 排出量（瞬時値）の定常排出量に対するずれの割合を表す。これにより、着火遅れ期間 ID そのものを取得することなく、過渡補正值を、着火遅れ期間 ID の長短が Soot 排出量に与える影響が考慮された値に算出することができる。

以上、上記（28）式に示すように、生成補正項に「 A_{6t} / A_{6s} 」を加えることで、何らかの原因で排ガス圧力が高くなり（従って、着火遅れ期間が短くなり）、Soot が生成され易くなって Soot 排出量が増大することを表現することができる。

30

《排ガス温度 T_e に基づく A_{7t} / A_{7s} 》

一般に、排ガス温度 T_e が高いと、内部 EGR ガスの温度が高くなることで圧縮端温度 T_{comp} が高くなり、この結果、着火遅れ期間 ID が短くなる。即ち、排ガス温度 T_e は「着火遅れ期間 ID に相関する値」となり、排ガス温度 T_e が高いほど Soot が生成され易くなる。排ガス温度 T_e は、例えば、排気温センサ 77 から検出され得る。また、排ガス温度 T_e は、周知の推定手法の一つに基づいて推定され得る。

着火遅れ期間 ID そのものに代えて排ガス温度 T_e を用いて過渡補正值が算出される場合、過渡補正值は、上記（24）式に代えて下記（30）式から算出される。（30）式は、「着火遅れ期間 ID に基づく A_{4t} / A_{4s} 」に代えて「排ガス温度 T_e に基づく A_{7t} / A_{7s} 」が導入される点においてのみ上記（24）式と異なる。以下、係る相違点についてのみ説明する。

40

過渡補正值

$$= \frac{A1t}{A1s} \cdot \frac{A2t}{A2s} \cdot \frac{A7t}{A7s} \cdot \frac{B1s}{B1t} \cdot \frac{B2t}{B2s} \quad \dots(30)$$

排ガス温度 T_e に対する「Soot 排出量に関する特性値 A_7 」を求めるための特性式は、本例では、下記（31）式にて表される。 q_9 、 h_9 は正の定数である。図 30 は、

50

T_e に対する特性値 A_7 の特性を示す。(31)式を採用したのは、上述のように、排ガス温度 T_e が高いほど $Soot$ が生成され易いことに基づく。なお、 T_e が高いほど特性値が大きくなる限りにおいて、(31)式とは異なる特性式(下に凸の特性、上に凸の特性)が採用されてもよい。

$$A_7 = q_9 \cdot T_e + h_9 \quad \dots(31)$$

図30に示すように、定常値 T_{es} と上記(31)式とから(即ち、(31)式における T_e に T_{es} を代入して)定常特性値 A_{7s} が取得され(大きい白丸を参照)、過渡値 T_{et} と上記(31)式とから(即ち、(31)式における T_e に T_{et} を代入して)過渡特性値 A_{7t} が取得される(大きい黒丸を参照)。

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「 A_{7t}/A_{7s} 」が算出される(30)式を参照)。この「 A_{7t}/A_{7s} 」は、過渡運転状態における、「過渡値 T_{et} の定常値 T_{es} からのずれ」に起因する、 $Soot$ 排出量(瞬時値)の定常排出量に対するずれの割合を表す。これにより、着火遅れ期間 ID そのものを取得することなく、過渡補正値を、着火遅れ期間 ID の長短が $Soot$ 排出量に与える影響が考慮された値に算出することができる。

以上、上記(30)式に示すように、生成補正項に「 A_{7t}/A_{7s} 」を加えることで、何らかの原因で排ガス温度が高くなり(従って、着火遅れ期間が短くなり)、 $Soot$ が生成され易くなって $Soot$ 排出量が増大することを表現することができる。

《吸気温度 T_i に基づく A_{8t}/A_{8s} 》

一般に、吸気温度 T_i が高いと、圧縮端温度 T_{comp} が高くなり、この結果、着火遅れ期間 ID が短くなる。即ち、吸気温度 T_i は「着火遅れ期間 ID に相関する値」となり、吸気温度 T_i が高いほど $Soot$ が生成され易くなる。吸気温度 T_i は、例えば、吸気温度センサ72から検出され得る。また、吸気温度 T_i は、周知の推定手法の一つに基づいて推定され得る。

着火遅れ期間 ID そのものに代えて吸気温度 T_i を用いて過渡補正値が算出される場合、過渡補正値は、上記(24)式に代えて下記(32)式から算出される。(32)式は、「着火遅れ期間 ID に基づく A_{4t}/A_{4s} 」に代えて「吸気温度 T_i に基づく A_{8t}/A_{8s} 」が導入される点においてのみ上記(24)式と異なる。以下、係る相違点についてのみ説明する。

過渡補正値

$$= \left[\frac{A_{1t}}{A_{1s}} \cdot \frac{A_{2t}}{A_{2s}} \cdot \frac{A_{8t}}{A_{8s}} \right] \cdot \left[\frac{B_{1s}}{B_{1t}} \cdot \frac{B_{2t}}{B_{2s}} \right] \quad \dots(32)$$

吸気温度 T_i に対する「 $Soot$ 排出量に関する特性値 A_8 」を求めるための特性式は、本例では、下記(33)式にて表される。 q_{10} 、 h_{10} は正の定数である。図31は、 T_i に対する特性値 A_8 の特性を示す。(33)式を採用したのは、上述のように、吸気温度 T_i が高いほど $Soot$ が生成され易いことに基づく。なお、 T_i が高いほど特性値が大きくなる限りにおいて、(33)式とは異なる特性式(下に凸の特性、上に凸の特性)が採用されてもよい。

$$A_8 = q_{10} \cdot T_i + h_{10} \quad \dots(33)$$

図31に示すように、定常値 T_{is} と上記(33)式とから(即ち、(33)式における T_i に T_{is} を代入して)定常特性値 A_{8s} が取得され(大きい白丸を参照)、過渡値 T_{it} と上記(33)式とから(即ち、(33)式における T_i に T_{it} を代入して)過

渡特性値 A_{8t} が取得される（大きい黒丸を参照）。

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「 A_{8t}/A_{8s} 」が算出される（（32）式を参照）。この「 A_{8t}/A_{8s} 」は、過渡運転状態における、「過渡値 T_{it} の定常値 T_{is} からのずれ」に起因する、 $Soot$ 排出量（瞬時値）の定常排出量に対するずれの割合を表す。これにより、着火遅れ期間 ID そのものを取得することなく、過渡補正値を、着火遅れ期間 ID の長短が $Soot$ 排出量に与える影響が考慮された値に算出することができる。

以上、上記（32）式に示すように、生成補正項に「 A_{8t}/A_{8s} 」を加えることで、何らかの原因で吸気温度が高くなり（従って、着火遅れ期間が短くなり）、 $Soot$ が生成され易くなって $Soot$ 排出量が増大することを表現することができる。

10

《温度 T_z に基づく A_{9t}/A_{9s} 》

上述のように、排ガス温度 T_e 及び吸気温度 T_i は共に「着火遅れ期間 ID に関連する値」となり得る。ここで、外部 EGR ガス（排気通路と吸気通路とを連通する排気還流路を介して排気通路から燃焼室に還流される排ガス）の量及び内部 EGR ガスの量の和に対する内部 EGR ガスの量の割合を、「内部 EGR 割合 r 」と定義する。

排ガス温度 T_e の高低が圧縮端温度 T_{comp} （従って、着火遅れ期間 ID ）に与える影響度合は、内部 EGR 割合 r に大きく依存し、内部 EGR 割合 r が大きいほどその影響度合が大きい。一方、吸気温度 T_i が圧縮端温度 T_{comp} （従って、着火遅れ期間 ID ）に与える影響度合は、（ $1 - \text{内部 } EGR \text{ 割合 } r$ ）に大きく依存し、（ $1 - \text{内部 } EGR \text{ 割合 } r$ ）が大きいほどその影響度合が大きい。以上のことを考慮して、温度 T_z を下記（34）式に示すように定義する。

20

$$T_z = r \cdot T_e + (1-r) \cdot T_i \quad \dots(34)$$

上記（34）式から理解できるように、温度 T_z は、排ガス温度 T_e と吸気温度 T_i と内部 EGR 割合 r とが考慮されて得られる値であり、温度 T_z は、排ガス温度 T_e 及び吸気温度 T_i が圧縮端温度 T_{comp} （従って、着火遅れ期間 ID ）に与える影響度合がそれぞれ考慮された温度であるといえることができる。なお、内部 EGR 割合 r は、周知の推定手法の一つに基づいて推定され得る。

温度 T_z が高いと、圧縮端温度 T_{comp} が高くなり、この結果、着火遅れ期間 ID が短くなる。即ち、温度 T_z は「着火遅れ期間 ID に関連する値」となり、温度 T_z が高いほど $Soot$ が生成され易くなる。

30

着火遅れ期間 ID そのものに代えて温度 T_z を用いて過渡補正値が算出される場合、過渡補正値は、上記（24）式に代えて下記（35）式から算出される。（35）式は、「着火遅れ期間 ID に基づく A_{4t}/A_{4s} 」に代えて「温度 T_z に基づく A_{9t}/A_{9s} 」が導入される点においてのみ上記（24）式と異なる。以下、係る相違点についてのみ説明する。

過渡補正値

$$= \left[\frac{A_{1t}}{A_{1s}} \cdot \frac{A_{2t}}{A_{2s}} \cdot \frac{A_{9t}}{A_{9s}} \right] \cdot \left[\frac{B_{1s}}{B_{1t}} \cdot \frac{B_{2t}}{B_{2s}} \right] \quad \dots(35)$$

40

温度 T_z に対する「 $Soot$ 排出量に関する特性値 A_9 」を求めるための特性式は、本例では、下記（36）式にて表される。 q_{11} , h_{11} は正の定数である。図32は、 T_z に対する特性値 A_9 の特性を示す。（36）式を採用したのは、上述のように、温度 T_z が高いほど $Soot$ が生成され易いことに基づく。なお、 T_z が高いほど特性値が大きくなる限りにおいて、（36）式とは異なる特性式（下に凸の特性、上に凸の特性）が採用されてもよい。

$$A9 = q_{11} \cdot T_z + h_{11} \quad \dots(36)$$

図 3 2 に示すように、定常値 T_{zs} と上記 (36) 式とから (即ち、(36) 式における T_z に T_{zs} を代入して) 定常特性値 $A9s$ が取得され (大きい白丸を参照)、過渡値 T_{zt} と上記 (36) 式とから (即ち、(36) 式における T_z に T_{zt} を代入して) 過渡特性値 $A9t$ が取得される (大きい黒丸を参照)。

そして、「定常特性値と過渡特性値との比」である「 $A9t / A9s$ 」が算出される ((35) 式を参照)。この「 $A9t / A9s$ 」は、過渡運転状態における、「過渡値 T_{zt} の定常値 T_{zs} からのずれ」に起因する、 $Soot$ 排出量 (瞬時値) の定常排出量に対するずれの割合を表す。これにより、着火遅れ期間 ID そのものを取得することなく、過渡補正値を、着火遅れ期間 ID の長短が $Soot$ 排出量に与える影響が考慮され、且つ排ガス温度 T_e 及び吸気温度 T_i が圧縮端温度 T_{comp} (従って、着火遅れ期間 ID) に与える影響度合がそれぞれ考慮された値に算出することができる。

以上、上記 (35) 式に示すように、生成補正項に「 $A9t / A9s$ 」を加えることで、何らかの原因で温度 T_z が高くなり (従って、着火遅れ期間が短くなり)、 $Soot$ が生成され易くなって $Soot$ 排出量が増大することを表現することができる。なお、上記 (35) 式において、「 $A9t / A9s$ 」を「 T_{zt} / T_{zs} 」に置き換えてもよい。

以下、着火遅れ期間 ID 、圧縮端温度 T_{comp} 、排ガス圧力 P_e 、排ガス温度 T_e 、吸気温度 T_i 、温度 T_z を総称して「着火遅れ期間相関値」と呼ぶ。また、上記 (24) 式の「着火遅れ期間 ID に基づく $A4t / A4s$ 」、上記 (26) 式の「圧縮端温度 T_{comp} に基づく $A5t / A5s$ 」、上記 (28) 式の「排ガス圧力 P_e に基づく $A6t / A6s$ 」、上記 (30) 式の「排ガス温度 T_e に基づく $A7t / A7s$ 」、上記 (32) 式の「吸気温度 T_i に基づく $A8t / A8s$ 」、上記 (35) 式の「温度 T_z に基づく $A9t / A9s$ 」を総称して「着火遅れ期間相関値に基づく $A10t / A10s$ 」と呼ぶ。

この「 $A10t / A10s$ 」は、過渡運転状態における、「着火遅れ期間相関値についての過渡値の定常値からのずれ」に起因する、 $Soot$ 排出量 (瞬時値) の定常排出量に対するずれの割合を表す。この「 $A10t / A10s$ 」を用いれば、上記 (24) 式、上記 (26) 式、上記 (28) 式、上記 (30) 式、上記 (32) 式、及び上記 (35) 式をまとめて下記 (37) 式のように表すことができる。

過渡補正値

$$= \frac{A1t}{A1s} \cdot \frac{A2t}{A2s} \cdot \frac{A10t}{A10s} \cdot \frac{B1s}{B1t} \cdot \frac{B2t}{B2s} \quad \dots(37)$$

以下、上記 (37) 式に示すように、生成補正項に「着火遅れ期間相関値に基づく $A10t / A10s$ 」が含まれる場合 (即ち、着火遅れ期間相関値に基づく補正が考慮される場合) について付言する。この場合、上述してきたように、着火遅れ期間相関値に基づく補正が常時考慮されて過渡補正値が算出されてもよい ((37) 式を参照)。一方、所定条件の成立時のみ着火遅れ期間相関値に基づく補正が考慮されて過渡補正値が算出され ((37) 式を参照)、所定条件の非成立時では着火遅れ期間相関値に基づく補正が考慮されずに下記 (38) 式 (即ち、(37) 式から「 $A10t / A10s$ 」の項のみを除いた式) に従って過渡補正値が算出されてもよい。以下、所定条件の成立時のみ着火遅れ期間相関値に基づく補正が考慮されて過渡補正値が算出される種々の場合における処理の流れの一例について図 3 3 ~ 図 3 6 を参照しながら説明する。

過渡補正值

$$= \frac{A1t}{A1s} \cdot \frac{A2t}{A2s} \cdot \frac{B1s}{B1t} \cdot \frac{B2t}{B2s} \quad \dots(38)$$

まず、図 3 3 に示す例について説明する。この例では、まず、ステップ 3 3 0 5 にて、筒内の酸素濃度相関値が所定値より小さいか否かが判定される。ここで、筒内の酸素濃度相関値として、上述した吸気酸素濃度、筒内ガスの酸素濃度、排ガス中の酸素濃度、筒内ガスの空気過剰率等が使用され得る。

10

ステップ 3 3 0 5 にて「Y e s」と判定される場合、ステップ 3 3 1 0 にて、着火遅れ期間相関値の過渡値が定常値に対して S o o t 排出量の増大側に偏移しているか否かが判定される。ここで、「着火遅れ期間相関値の過渡値が定常値に対して S o o t 排出量の増大側に偏移している」場合とは、例えば、着火遅れ期間相関値として着火遅れ期間 I D が使用されるときには「着火遅れ期間 I D の過渡値 I D t が定常値 I D s よりも小さい」場合に対応し、例えば、着火遅れ期間相関値として排ガス圧力 P e が使用されるときには「排ガス圧力 P e の過渡値 P e t が定常値 P e s よりも大きい」場合に対応する。

ステップ 3 3 0 5、3 3 1 0 にて共に「Y e s」と判定される場合、ステップ 3 3 1 5 にて、(3 7) 式を用いて過渡補正值が算出される。即ち、着火遅れ期間相関値に基づく補正が考慮されて S o o t 排出量が推定される。一方、ステップ 3 3 0 5、3 3 1 0 の何れかにて「N o」と判定される場合、ステップ 3 3 2 0 にて、(3 8) 式を用いて過渡補正值が算出される。即ち、着火遅れ期間相関値に基づく補正が考慮されずに S o o t 排出量が推定される。

20

以上、図 3 3 に示す例では、筒内の酸素濃度相関値が所定値以上の場合、着火遅れ期間相関値に基づく補正が考慮されずに S o o t 排出量が推定される。これは、筒内の酸素濃度が大きいと、S o o t が生成され難いことで、着火遅れ期間 I D の長短が S o o t の生成度合いに与える影響度が小さいことにに基づく。これにより、筒内の酸素濃度が大きい場合において、S o o t 排出量の算出の際、算出精度を下げることなく、着火遅れ期間を考慮すること（即ち、生成補正項に「A 1 0 t / A 1 0 s」を含ませること）に基づく計算負荷の増大が回避され得る。

30

加えて、図 3 3 に示す例では、「着火遅れ期間相関値の過渡値が定常値に対して S o o t 排出量の増大側に偏移していない」場合、着火遅れ期間相関値に基づく補正が考慮されずに S o o t 排出量が推定される。これにより、S o o t 排出量について問題となり難い「着火遅れ期間相関の過渡値がその定常値に対して S o o t 排出量が減少する方向に偏移している場合」において、着火遅れ期間を考慮せずに S o o t 排出量が算出される。従って、係る場合において、S o o t 排出量の算出の際、着火遅れ期間を考慮すること（即ち、生成補正項に「A 1 0 t / A 1 0 s」を含ませること）に基づく計算負荷の増大が回避され得る。

次に、図 3 4 に示す例について説明する。この例は、図 3 3 に示す例に対して、ステップ 3 3 0 5 をステップ 3 4 0 5 に置き換えた点においてのみ異なる。ステップ 3 4 0 5 では、メイン噴射に先立ってパイロット噴射がなされない（シングル噴射）か否かが判定される。即ち、メイン噴射に先立ってパイロット噴射がなされる場合、着火遅れ期間相関値に基づく補正が考慮されずに S o o t 排出量が推定される。これは、メイン噴射に先立ってパイロット噴射がなされると、排ガスの圧力の高低等にかかわらず圧縮端温度が安定し、従って、着火遅れ期間が安定し易いことにに基づく。これにより、メイン噴射に先立ってパイロット噴射がなされる場合において、S o o t 排出量の算出の際、算出精度を下げることなく、着火遅れ期間を考慮すること（即ち、生成補正項に「A 1 0 t / A 1 0 s」を含ませること）に基づく計算負荷の増大が回避され得る。

40

次に、図 3 5 に示す例について説明する。この例は、図 3 3 に示す例に対して、ステップ 3 3 0 5 をステップ 3 5 0 5 に置き換えた点においてのみ異なる。ステップ 3 5 0 5 で

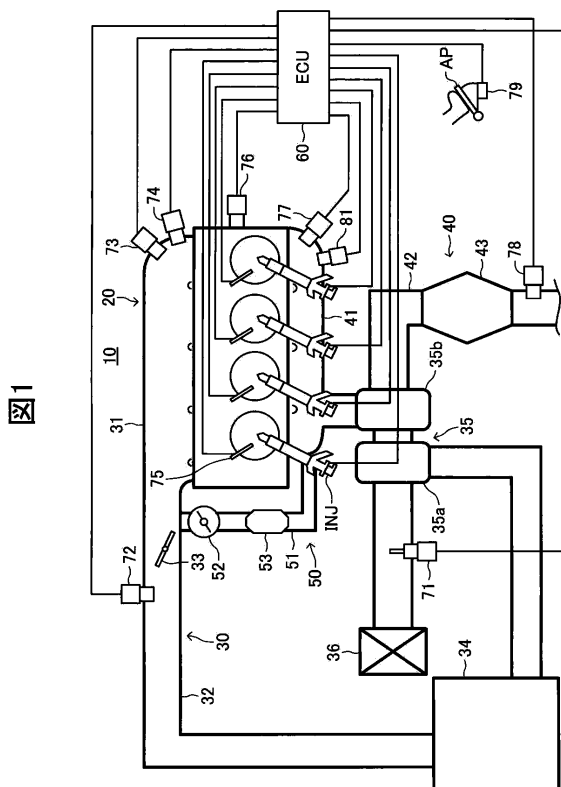
50

は、燃焼室の壁（内壁）の温度（筒内壁温）が所定値 T_{w1} よりも大きいかなんかが判定される。即ち、筒内壁温が T_{w1} 以下の場合、着火遅れ期間相関値に基づく補正が考慮されずに $Soot$ 排出量が推定される。これは、筒内壁温が低いと、排ガス圧力等が増大しても圧縮端温度が増大し難くなることで圧縮端温度が安定し、従って、着火遅れ期間が安定し易いことに基づく。これにより、筒内壁温が低い場合において、 $Soot$ 排出量の算出の際、算出精度を下げることなく、着火遅れ期間を考慮すること（即ち、生成補正項に「 $A10t/A10s$ 」を含ませること）に基づく計算負荷の増大が回避され得る。

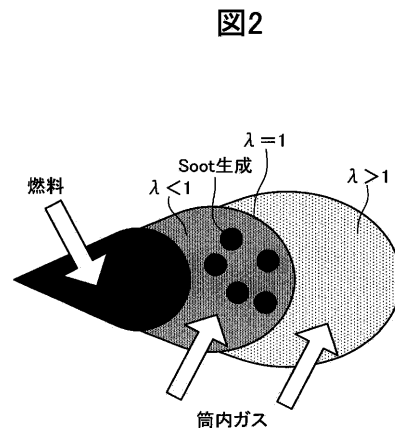
次に、図36に示す例について説明する。この例は、図36に示す例に対して、ステップ3305をステップ3605に置き換えた点においてのみ異なる。ステップ3605では、上述した（最高）火炎温度 T_{max} が所定範囲内（ $T1$ と $T2$ の間）にあるか否かが判定される。即ち、火炎温度 T_{max} が所定範囲外（ $T1$ 以下、又は、 $T2$ 以上）の場合、着火遅れ期間相関値に基づく補正が考慮されずに $Soot$ 排出量が推定される。これは、図37に示すように、火炎温度 T_{max} が所定範囲外にあると、 $Soot$ が生成され易い領域（斜線で示した領域）から外れる（即ち、 $Soot$ が生成され難い）ことで、着火遅れ期間の長短がすすの生成度合いに与える影響度が小さいことに基づく。これにより、火炎温度 T_{max} が所定範囲外にある場合において、 $Soot$ 排出量の算出の際、算出精度を下げることなく、着火遅れ期間を考慮すること（即ち、生成補正項に「 $A10t/A10s$ 」を含ませること）に基づく計算負荷の増大が回避され得る。なお、図37において、 ϕ は噴霧の（平均）当量比である。具体的には、例えば、 $T1$ 、 $T2$ は、 $1600K$ 、 $2200K$ であり、 $\phi1$ は、2である。以上、所定条件の成立時のみ着火遅れ期間相関値に基づく補正が考慮されて過渡補正值が算出される種々の場合について説明した。

以上、説明した過渡補正值を算出するための種々の式のそれぞれについて、式に含まれる複数の項のうちの一部（任意の1つの項、又は、任意の2つ以上の項）を省略してもよい。

【図1】

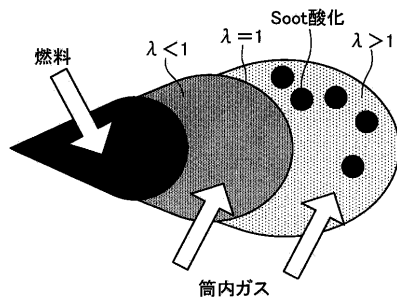


【図2】



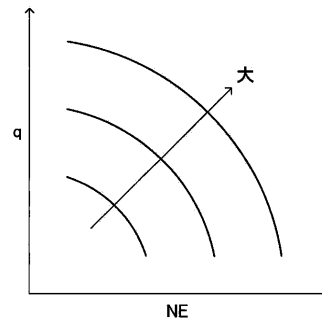
【図 3】

図3



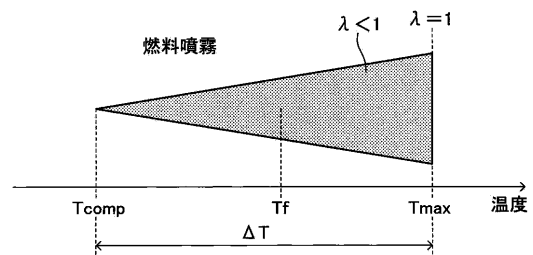
【図 4】

図4



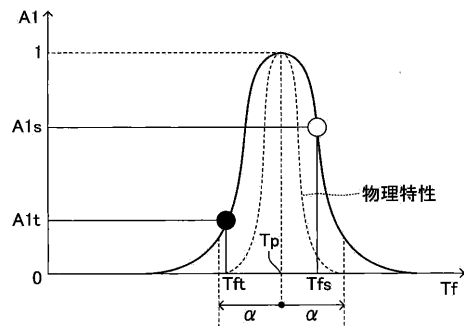
【図 5】

図5



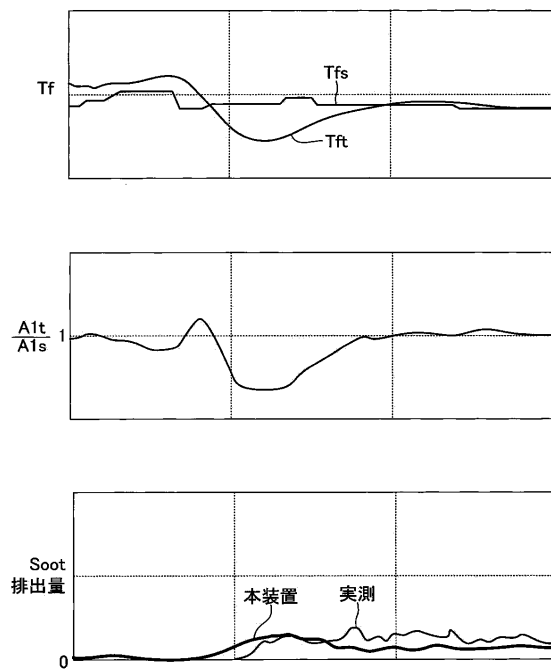
【図 6】

図6



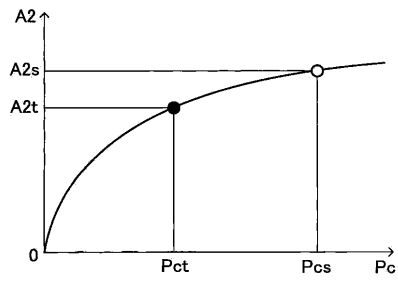
【図 7】

図7



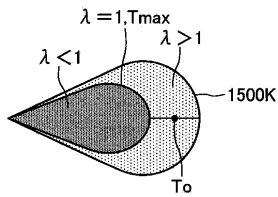
【図 8】

図8



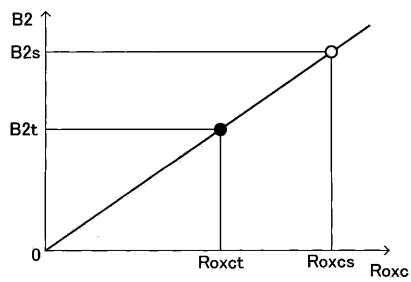
【図 9】

図9



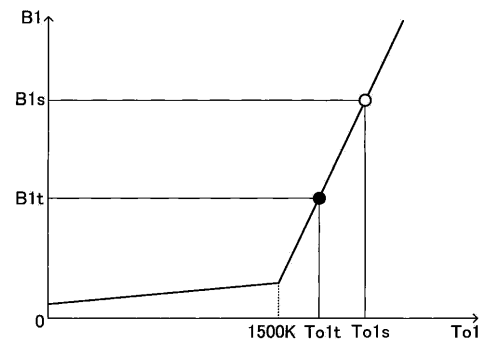
【図 11】

図11



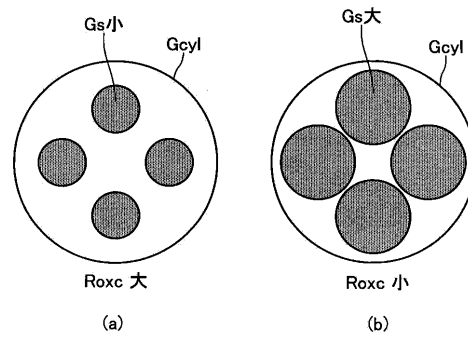
【図 10】

図10



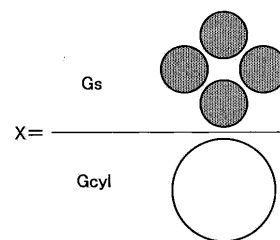
【図 12】

図12



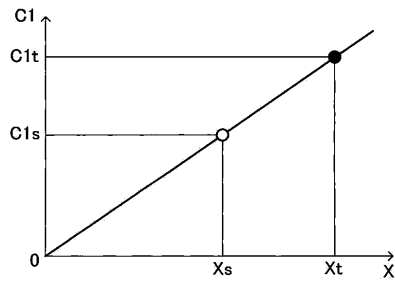
【図 13】

図13



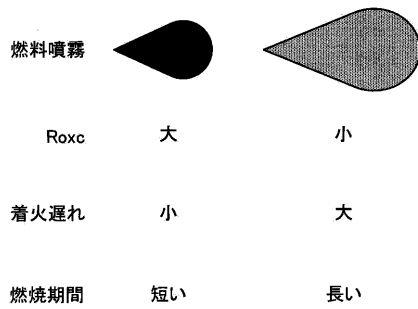
【図 14】

図14



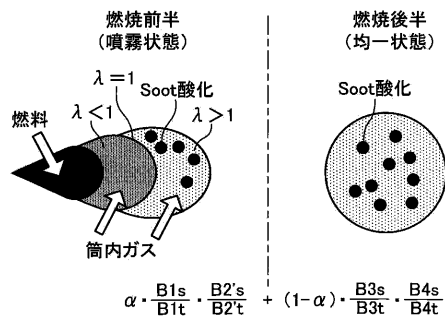
【図 15】

図15



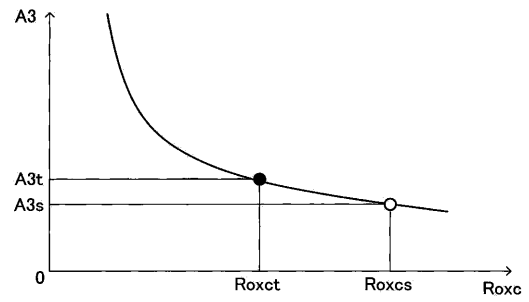
【図 17】

図17



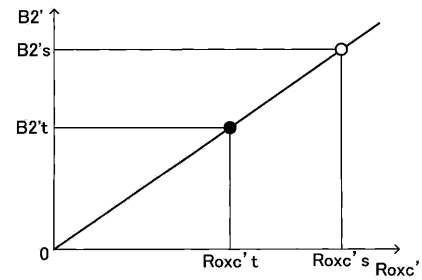
【図 16】

図16



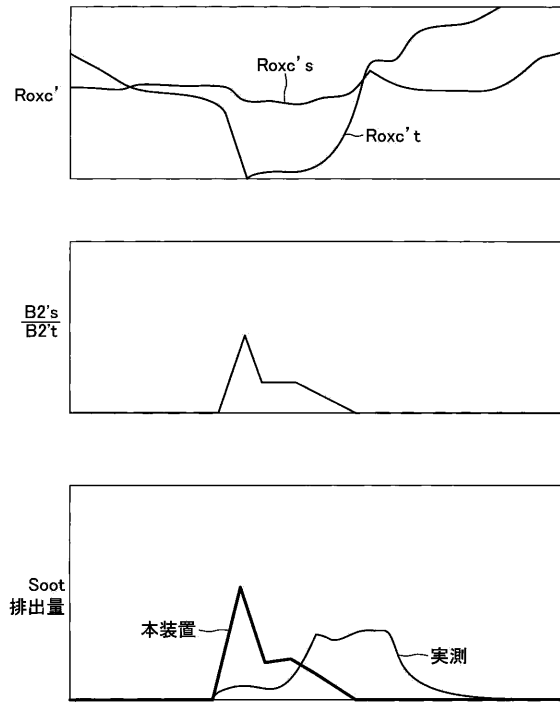
【図 18】

図18



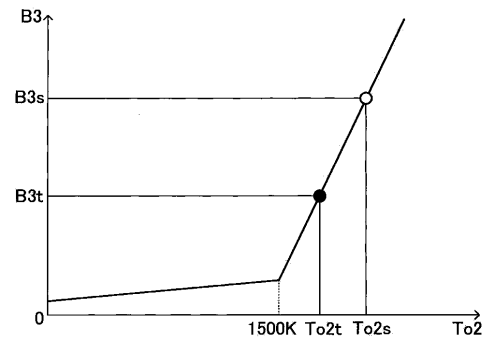
【図 19】

図19



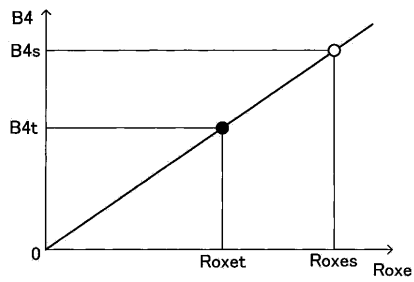
【図 20】

図20



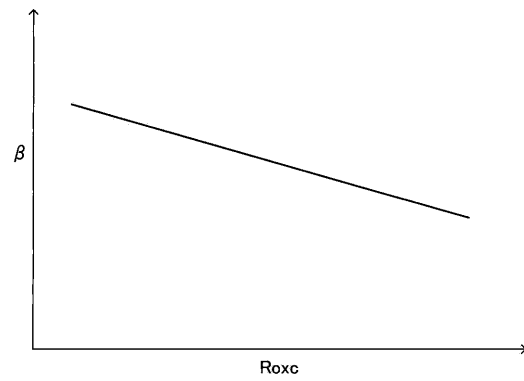
【図 21】

図21



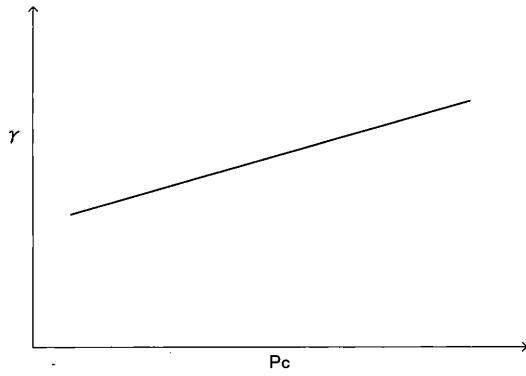
【図 22】

図22



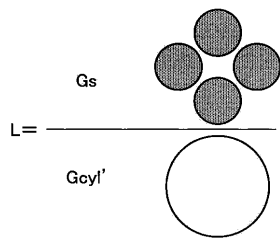
【図 2 3】

図23



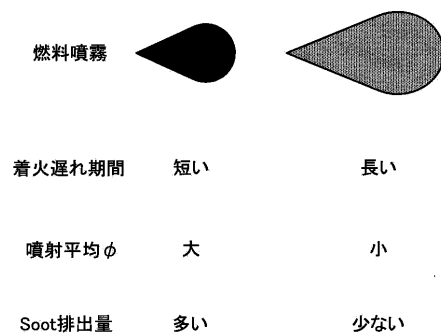
【図 2 4】

図24



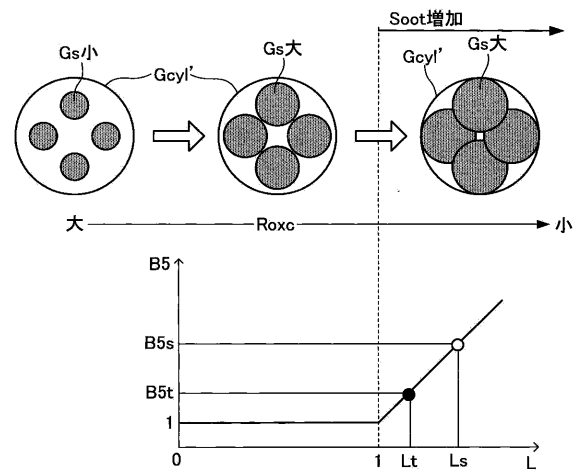
【図 2 6】

図26



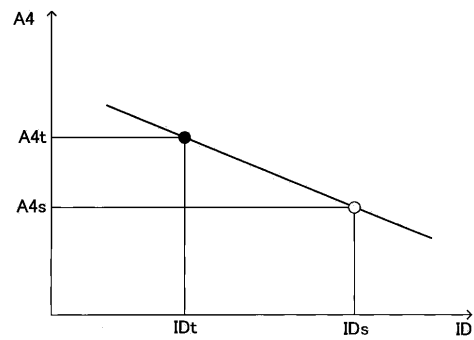
【図 2 5】

図25



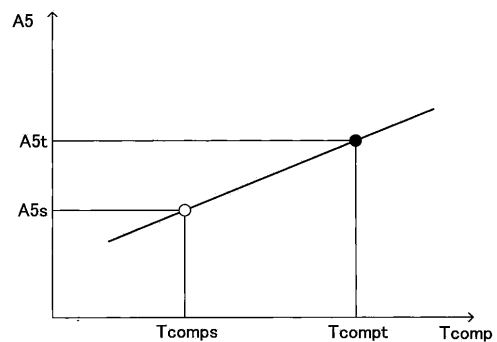
【図 2 7】

図27



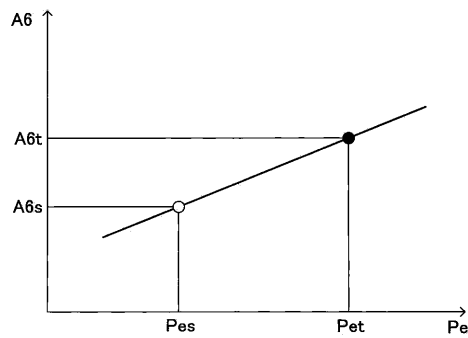
【図 2 8】

図28



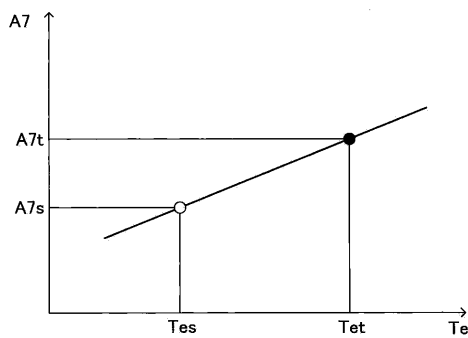
【図 29】

図29



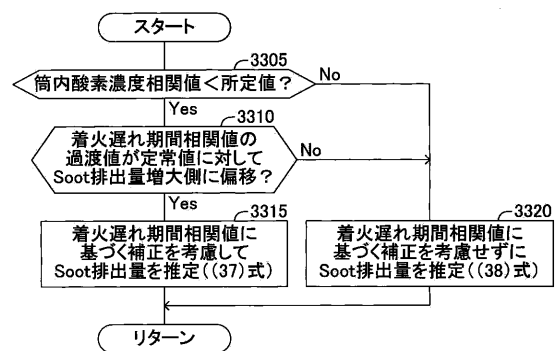
【図 30】

図30



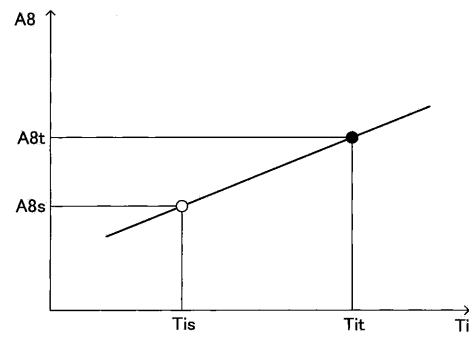
【図 33】

図33



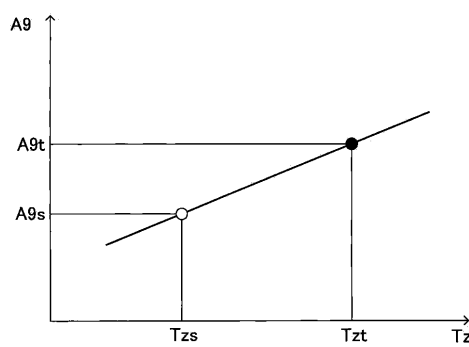
【図 31】

図31



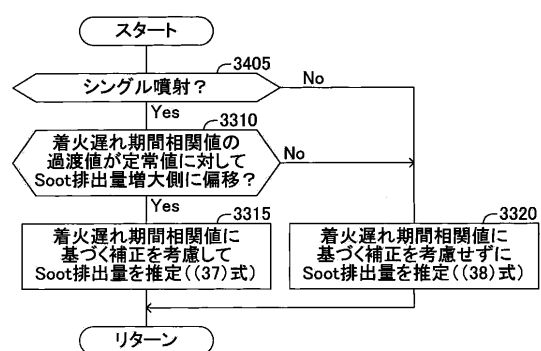
【図 32】

図32



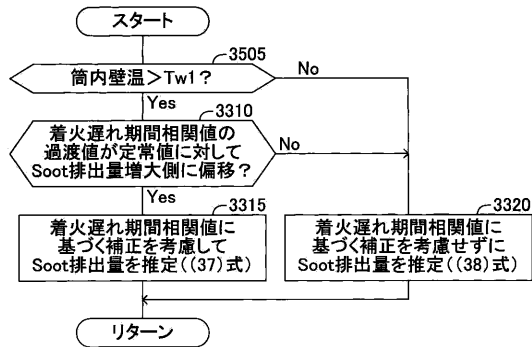
【図 34】

図34



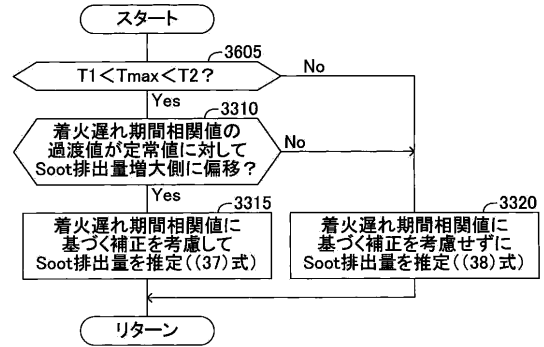
【図 35】

図35



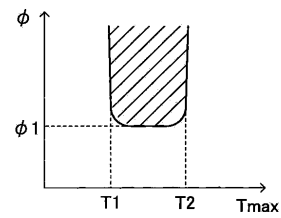
【図 36】

図36



【図 37】

図37



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

F 0 2 D	45/00	3 1 2 A
F 0 2 D	45/00	3 1 2 R
F 0 2 D	45/00	3 1 2 Z
F 0 2 D	45/00	3 1 4 A
F 0 2 D	45/00	3 1 4 R
F 0 2 D	45/00	3 1 4 Z
F 0 2 D	45/00	3 6 8 F
F 0 2 D	45/00	3 6 8 Z

(56)参考文献 特開2008-057486 (JP, A)
特開2001-207830 (JP, A)
特開2008-031874 (JP, A)
特開平11-148412 (JP, A)
特開2003-286879 (JP, A)
特開2004-183581 (JP, A)
特開2007-046477 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F01N 3/02-3/035

F02D 45/00