

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-139984
(P2005-139984A)

(43) 公開日 平成17年6月2日(2005.6.2)

(51) Int. Cl. ⁷ F02D 45/00	F I	テーマコード (参考)
	F O 2 D 45/00 3 1 4 Z	3 G O 8 4
	F O 2 D 45/00 3 1 4 H	
	F O 2 D 45/00 3 6 4 K	
	F O 2 D 45/00 3 7 2 Z	

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2003-376459 (P2003-376459)	(71) 出願人 000003207 トヨタ自動車株式会社 愛知県豊田市トヨタ町1番地
(22) 出願日 平成15年11月6日(2003.11.6)	(74) 代理人 100088971 弁理士 大庭 咲夫
	(74) 代理人 100115185 弁理士 加藤 慎治
	(74) 代理人 100115233 弁理士 樋口 俊一
	(72) 発明者 三宅 照彦 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

最終頁に続く

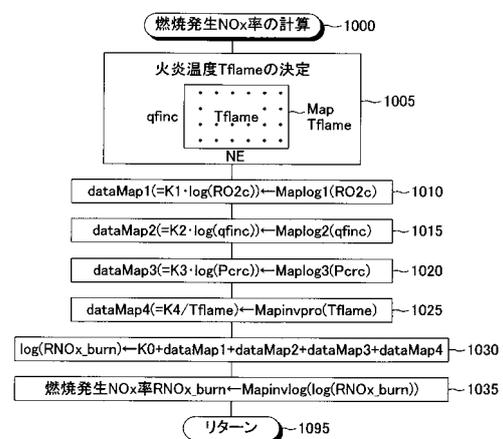
(54) 【発明の名称】 内燃機関のNO_x発生量推定方法

(57) 【要約】

【課題】 燃焼室内にて燃料と空気を含む混合気の燃焼により発生するNO_x量を、同混合気の周辺状態量を考慮して精度良く推定できるNO_x発生量推定方法を提供すること。

【解決手段】 この方法は、混合気が占める領域（燃焼領域）において燃焼により発生するNO_x発生量に大きく影響を与える同混合気の周辺状態量として、NO_xを発生させる材料となる吸気中のガスの濃度（吸気酸素濃度R02c）、機関に与えられる負荷の程度を表す負荷指標値（燃料噴射量qfinc）、燃焼室内の燃料の霧化の程度を表す霧化指標値（燃料噴射圧力Pcrc）、及び最高火炎温度Tflameの4つを選択する。そして、この4つの周辺状態量と、同4つの周辺状態量と単位燃料量あたりの燃焼発生NO_x量（燃焼発生NO_x率RNO_xburn）との関係を規定する所定の実験式と、に基づいてRNO_xburnを求め、同RNO_xburnに前記燃料噴射量qfincを乗じた値をNO_x発生量として推定する。

【選択図】 図10



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内燃機関の燃焼室内にて燃料と空気を含む混合気の燃焼により発生する燃焼発生NOx量を、前記燃焼発生NOx量に影響を与える、前記混合気の周辺状態量に基づいて推定する内燃機関のNOx発生量推定方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の内燃機関のNOx発生量推定方法において、

前記周辺状態量としての、前記機関に与えられる負荷の程度を表す負荷指標値に少なくとも基づいて前記燃焼発生NOx量を推定する内燃機関のNOx発生量推定方法。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の内燃機関のNOx発生量推定方法において、

前記周辺状態量としての、前記燃焼室内の燃料の霧化の程度を表す霧化指標値に少なくとも基づいて前記燃焼発生NOx量を推定する内燃機関のNOx発生量推定方法。

【請求項 4】

内燃機関の燃焼室内にて燃料と空気を含む混合気の燃焼が発生する領域である燃焼領域を推定し、

請求項 1 乃至請求項 3 の何れか一項に記載のNOx発生量推定方法により前記燃焼領域内にて前記混合気の燃焼により発生する前記燃焼発生NOx量を推定し、

前記燃焼室内における前記燃焼領域を除いた領域である非燃焼領域内におけるNOx量を推定するとともに、

前記燃焼発生NOx量と、前記非燃焼領域内におけるNOx量とに基づいて、前記排気通路から外部へ排出される排ガス中のNOx量を推定する内燃機関のNOx排出量推定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、内燃機関の燃焼室内にて燃料と空気を含む混合気の燃焼により発生する燃焼発生NOx量を推定するNOx発生量推定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

火花点火式内燃機関、ディーゼル機関等の内燃機関においては、排気通路から外部へ排出される排ガス中のNOx量（以下、「NOx排出量」と云うこともある。）を低減する必要があり、そのためには、燃焼室内にて（噴射により霧化した）燃料と空気を含む混合気の燃焼により発生する燃焼発生NOx量を低減する必要がある。この燃焼発生NOx量を低減するためには、例えば、EGR装置により還流されるEGRガスを増大させること、或いは、燃料噴射時期を遅らせること等により最高火炎温度（最高燃焼温度）を低下させることが有効である。

【0003】

しかしながら、一方では、燃焼発生NOx量を低減するためにEGRガスを増大させていくと（ディーゼル機関において）微粒子状物質（パーティキュレート・マター、PM）の発生量が増大していくというトレードオフがあり、また、燃焼発生NOx量を低減するために燃料噴射時期を遅らせていくと燃費が悪化していくというトレードオフがあることが知られている。

【0004】

従って、PM排出量の増大の抑制、燃費の悪化の抑制等を考慮した上で燃焼発生NOx量を出来る限り低減するためには、同燃焼発生NOx量を機関の運転状態に応じた所定の目標値に制御することが好ましい。他方、燃焼発生NOx量を実測することは非常に困難である。よって、燃焼発生NOx量を所定の目標値に精度良く制御するためには同燃焼発生NOx量を精度良く推定する必要がある。

【0005】

10

20

30

40

50

このため、下記特許文献1に記載の内燃機関の制御装置は、燃焼圧力、及び吸気酸素濃度を、筒内圧力センサ、及び吸気酸素濃度センサによりそれぞれ検出するとともに、これらに基づいて算出した燃焼温度、及び混合気濃度とに基づいて、代表的な公知の燃焼モデルの一つである拡大ゼルドビッチ(ZELDOVICH)機構を用いて上記燃焼発生NOx量を推定する。そして、推定された燃焼発生NOx量が所定の目標値になるようにEGRガス量、或いは燃料噴射時期等を制御するようになっている。

【特許文献1】特開2002-371893号公報

【0006】

ところで、燃焼室内にて混合気の燃焼により発生する実際の燃焼発生NOx量は、例えば、機関に与えられている負荷(駆動トルク)、燃焼前の混合気を構成している燃料の霧化の程度等、のような混合気の周辺状態量に大きく依存する。しかしながら、上記従来の装置においては、上記燃焼発生NOx量を推定するにあたり、係る混合気の周辺状態量に対する考慮が全くなされていない。従って、上記燃焼発生NOx量を精度良く推定することができず、この結果、上記(実際の)燃焼発生NOx量を所定の目標値に精度良く制御することができないという問題があった。

10

【発明の開示】

【0007】

本発明は、かかる課題に対処するためになされたものであって、その目的は、内燃機関の燃焼室内にて燃料と空気を含む混合気の燃焼により発生する燃焼発生NOx量を、同混合気の周辺状態量を考慮して精度良く推定することができるNOx発生量推定方法を提供することにある。

20

【0008】

本発明による内燃機関のNOx発生量推定方法は、上記燃焼発生NOx量を、同燃焼発生NOx量に影響を与える、前記混合気の周辺状態量に基づいて推定する方法である。これによれば、上記燃焼発生NOx量に影響を与える混合気の周辺状態量が考慮されて同燃焼発生NOx量が推定され得るから、同燃焼発生NOx量が精度良く推定され得る。

【0009】

この場合、前記周辺状態量としての、前記機関に与えられる負荷の程度を表す負荷指標値に少なくとも基づいて前記燃焼発生NOx量を推定することが好適である。ここにおいて、前記負荷指標値は前記機関に与えられる負荷の程度を表す値であって、例えば、(一

30

作動サイクルあたりの)燃料噴射量、機関の駆動トルク、燃焼室内の内壁面の温度等である。

【0010】

機関に与えられる負荷が大きくなるほど、同負荷に対抗するため燃焼室内においてより多くの爆発エネルギーを発生させる必要がある。この結果、燃焼室内の内壁面温度が上昇し、同内壁面からの輻射熱により燃焼前の混合気が加熱され易くなる。従って、機関に与えられる負荷が大きくなるほど、上記最高火炎温度(最高燃焼温度)が高くなって燃焼発生NOx量が増加する。

【0011】

従って、上記のように、少なくとも前記負荷指標値に基づいて燃焼発生NOx量を推定することにより、例えば、同負荷指標値が表す負荷が大きくなるほど燃焼発生NOx量がより大きい値になるように推定され得、この結果、同燃焼発生NOx量が精度良く推定され得る。

40

【0012】

また、上記本発明によるNOx発生量推定方法においては、前記周辺状態量としての、前記燃焼室内の(噴射された)燃料の霧化の程度を表す霧化指標値に少なくとも基づいて前記燃焼発生NOx量を推定することが好適である。ここにおいて、前記霧化指標値は燃焼室内の燃料の霧化の程度を表す値であって、例えば、燃料の噴射圧力、スワール比、燃焼が発生する領域における空気過剰率等である。

【0013】

50

噴射された燃料の霧化の程度が大きくなるほど、同噴射された燃料の量に対する同燃料と混ざり合って混合気となる空気量の割合が多くなる。従って、噴射された燃料の霧化の程度が大きくなるほど、混合気が占める領域（即ち、燃焼が発生する領域（燃焼領域））における空気過剰率が大きくなって燃焼発生NO_x量が増加する。従って、上記のように、少なくとも前記霧化指標値に基づいて燃焼発生NO_x量を推定することにより、例えば、同霧化指標値が表す霧化の程度が大きくなるほど燃焼発生NO_x量がより大きい値になるように推定され得、この結果、同燃焼発生NO_x量が精度良く推定され得る。

【0014】

また、上記本発明による内燃機関のNO_x発生量推定方法を利用して同内燃機関の排気通路から外部へ排出される排ガス中のNO_x量（以下、「NO_x排出量」と称呼する。）を推定する本発明による内燃機関のNO_x排出量推定方法は、上述の燃焼が発生する領域である燃焼領域を推定し、上記本発明によるNO_x発生量推定方法により前記燃焼領域内にて前記混合気の燃焼により発生する前記燃焼発生NO_x量を推定し、前記燃焼室内における前記燃焼領域を除いた領域である非燃焼領域内におけるNO_x量を推定するとともに、前記燃焼発生NO_x量と、前記非燃焼領域内におけるNO_x量とに基づいて、前記NO_x排出量を推定する方法である。

10

【0015】

排気通路を流れる排ガスの一部を吸気通路へ還流せしめるEGR装置を備えた内燃機関においては、EGR装置を介してEGRガス中のNO_xが燃焼室内に還流してくる。加えて、上記燃焼発生NO_x量は、燃焼室の一部であって燃焼が発生する領域（即ち、上記燃焼領域）内において発生するNO_xの量である。従って、燃焼室内における燃焼領域を除いた領域（以下、「非燃焼領域」と称呼する。）においては燃焼後においても前記還流されてきたNO_xが残存しているから、排気通路から外部へ排出される排ガス中のNO_x量を精度良く推定するためには、上記燃焼発生NO_x量のみならず、前記「非燃焼領域内に残存しているNO_x量」をも考慮することが必要である。

20

【0016】

以上の知見に基づき、上記のように、前記推定された燃焼領域内にて燃焼により発生する上記燃焼発生NO_x量のみならず、（燃焼後における）非燃焼領域内におけるNO_x量、従って、上述した「非燃焼領域内に残存しているNO_x量」を考慮してNO_x排出量を推定すると、NO_x排出量を精度良く推定することができる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、本発明の実施形態に係る内燃機関のNO_x発生量推定方法、及びNO_x排出量推定方法を実施する内燃機関（ディーゼル機関）の制御装置について図面を参照しつつ説明する。

【0018】

図1は、係る内燃機関の制御装置を4気筒内燃機関（ディーゼル機関）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システム30、エンジン本体20からの排ガスを放出するための排気システム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。

40

【0019】

エンジン本体20の各気筒の上部には燃料噴射弁（噴射弁、インジェクタ）21が配設されている。各燃料噴射弁21は、図示しない燃料タンクと接続された燃料噴射用ポンプ22に燃料配管23を介して接続されている。燃料噴射用ポンプ22は、電気制御装置60と電氣的に接続されていて、同電気制御装置60からの駆動信号（後述する（指令）基本燃料噴射圧力P_{crbase}に応じた指令信号）により燃料の実際の噴射圧力（吐出圧力）が同指令基本燃料噴射圧力P_{crbase}になるように同燃料を昇圧するようになっている。

【0020】

これにより、燃料噴射弁21には、燃料噴射用ポンプ22から前記基本燃料噴射圧力P_c

50

rbaseまで昇圧された燃料が供給されるようになっている。また、燃料噴射弁21は、電気制御装置60と電氣的に接続されていて、同電気制御装置60からの駆動信号（後述する（指令）燃料噴射量 q_{fin} に応じた指令信号）により所定時間だけ開弁し、これにより各気筒の燃焼室内に前記指令基本燃料噴射圧力 P_{cbase} にまで昇圧された燃料を前記指令燃料噴射量 q_{fin} だけ直接噴射するようになっている。

【0021】

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同吸気マニホールド31とともに吸気通路を構成する吸気管32、吸気管32内に回動可能に保持されたスロットル弁33、電気制御装置60からの駆動信号に应答してスロットル弁33を回転駆動するスロットル弁アクチュエータ33a、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34と過給機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とを含んでいる。

10

【0022】

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ーティキュレートフィルタ（以下、「DPNR」と称呼する。）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。

【0023】

DPNR43は、コージライト等の多孔質材料から形成されたフィルタ43aを備え、通過する排気ガス中のパーティキュレートを細孔表面にて捕集するフィルタである。DPNR43は、担体としてのアルミナに、カリウムK、ナトリウムNa、リチウムLi、セシウムCsのようなアルカリ金属、バリウムBa、カルシウムCaのようなアルカリ土類金属、及びランタンLa、イットリウムYのような希土類金属から選ばれた少なくとも一つを白金とともに担持し、NOxを吸収した後に同吸収したNOxを放出して還元する吸蔵還元型NOx触媒としても機能するようになっている。

20

【0024】

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からの駆動信号に应答し、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。

30

【0025】

電気制御装置60は、互いにバスで接続されたCPU61、CPU61が実行するプログラム、テーブル（ルックアップテーブル、マップ）、及び定数等を予め記憶したROM62、CPU61が必要に応じてデータを一時的に格納するRAM63、電源が投入された状態でデータを格納するとともに同格納したデータを電源が遮断されている間も保持するバックアップRAM64、並びにADコンバータを含むインターフェース65等からなるマイクロコンピュータである。

40

【0026】

インターフェース65は、空気流量（新気流量）計測手段であって吸気管32に配置された熱線式エアフローメータ71、スロットル弁33の下流であって排気還流管51が接続された部位よりも下流の吸気通路に設けられた吸気温センサ72、スロットル弁33の下流であって排気還流管51が接続された部位よりも下流の吸気通路に配設された吸気管圧力センサ73、クランクポジションセンサ74、アクセル開度センサ75、及び、スロットル弁33の下流であって排気還流管51が接続された部位よりも下流の吸気通路に設けられた吸気酸素濃度センサ76と接続されていて、これらのセンサからの信号をCPU61に供給するようになっている。また、インターフェース65は、燃料噴射弁21、燃

50

料噴射用ポンプ22、スロットル弁アクチュエータ33a、及びEGR制御弁52と接続
されていて、CPU61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。

【0027】

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（新気）の質量流量（
単位時間あたりの吸入新気量）を計測し、同質量流量 G_a （吸入新気流量 G_a ）を表す信号を
発生するようになっている。吸気温度センサ72は、前述した吸気の温度を検出し、同吸気
温度 T_b を表す信号を発生するようになっている。吸気管圧力センサ73は、吸気の圧力（
即ち、吸気管圧力）を検出し、同吸気管圧力 P_b を表す信号を発生するようになっている。

【0028】

クランクポジションセンサ74は、各気筒の絶対クランク角度を検出し、クランク角度
CAを表すとともにエンジン10の回転速度であるエンジン回転速度NEをも表す信号を発生
するようになっている。アクセル開度センサ75は、アクセルペダルAPの操作量を検出
し、アクセル操作量Accpを表す信号を発生するようになっている。吸気酸素濃度センサ7
6は、吸気中の酸素濃度（即ち、吸気酸素濃度）を検出し、同吸気酸素濃度R02_inを表す
信号を発生するようになっている。

10

【0029】

（NOx発生量推定方法の概要）

次に、上記のように構成された内燃機関の制御装置（以下、「本装置」と云うこともあ
る。）による本発明の実施形態に係るNOx発生量推定方法の概要について説明する。図
2は、機関10の或る一つの気筒のシリンダ内（筒内）に吸気マニホールド31からガス（
即ち、吸気）が吸入され、筒内に吸入されたガス（筒内ガス）が排気マニホールド41へ
排出される様子を模式的に示した図である。

20

【0030】

図2に示したように、吸気（従って、筒内ガス）には、吸気管32の先端部からスロッ
トル弁33を介して吸入された新気と、排気還流管51からEGR制御弁52を介して吸
入されたNOxを含むEGRガスが含まれる。吸入される新気量（新気質量）と吸入され
るEGRガス量（EGRガス質量）の和に対するEGRガス質量の割合（即ち、EGR率
）は、運転状態に応じて電気制御装置60（CPU61）により適宜制御されるスロッ
トル弁33の開度、及びEGR制御弁52の開度に応じて変化する。

【0031】

吸気（即ち、新気、及びNOxを含むEGRガスから構成されるガス）は、吸気行程に
おいて開弁している吸気弁 V_{in} を介してピストンの下降に伴って筒内に吸入されて筒内ガ
スとなる。筒内ガスは、ピストンが下死点に達した時点（以下、「ATDC-180°」と称す
る。）で吸気弁 V_{in} が閉弁することにより筒内に密閉され、その後の圧縮行程においてピ
ストンの上昇に伴って圧縮される。そして、ピストンが上死点近傍に達すると（具体的
には、後述する最終燃料噴射時期 f_{injfin} が到来すると）、本装置は、前記指令燃料噴射
量 q_{fin} に応じた所定時間だけ燃料噴射弁21を開弁することで燃料を筒内に直接噴射す
る。この結果、噴射された燃料は、時間の経過に伴って同筒内ガスと混ざり合いながら混合
気となって筒内において拡散していき、所定のタイミングにて自己着火が発生することに
起因して燃焼する。

30

40

【0032】

係る燃焼は、本実施例では、後述するように推定される燃焼領域（以下、「B領域」と
云うこともある。図2を参照。）においてのみ発生し、燃焼室内におけるB領域を除いた
領域である非燃焼領域（以下、「A領域」と云うこともある。図2を参照。）では発生し
ないと仮定する。そして、燃焼後に燃焼室内に存在する筒内ガスは、排ガスとなって、排
気行程において開弁している排気弁 V_{out} を介してピストンの上昇に伴って排気マニホー
ルド41へ排出され、係る排ガスは、排気管42を介して外部へと排出されていく。

【0033】

以下、本装置が実施する具体的なNOx発生量推定方法について説明していく。このN
Ox発生量推定方法では、燃料が噴射される対象となる気筒（以下、「燃料噴射気筒」と

50

称呼する。)について上記最終燃料噴射時期 f_{injfin} が到来する毎に、その直後の爆発行程において上記B領域において燃焼により発生するB領域燃焼発生NOx量 N_{OxB} が推定されていく。

【0034】

B領域燃焼発生NOx量 N_{OxB} は、単位燃料量あたりの燃焼発生NOx量(以下、「燃焼発生NOx率 R_{NOx_burn} 」と称呼する。)に今回の指令燃料噴射量 $q_{finc}(=q_{fin})$ を乗じた値として、下記(1)式に従って求めることができる。

【0035】

$$N_{OxB} = R_{NOx_burn} \cdot q_{finc} \quad \dots (1)$$

【0036】

ここで、上記(1)式における燃焼発生NOx率 R_{NOx_burn} は下記(2)式にて推定される。

【0037】

$$R_{NOx_burn} = e^{K_0} \cdot (R_{O2c})^{K_1} \cdot (q_{finc})^{K_2} \cdot (P_{crc})^{K_3} \cdot e^{(K_4/T_{flame})} \quad \dots (2)$$

【0038】

上記(2)式において、 e は自然対数の底である。 R_{O2c} は、吸気弁 V_{in} 閉弁時(即ち、ATDC-180°)において吸気酸素濃度センサ76により検出される吸気酸素濃度 R_{O2_in} である下死点時吸気酸素濃度である。 q_{finc} は上記(1)式と同様、今回の指令燃料噴射量(= q_{fin})である。 P_{crc} は今回の指令燃料噴射圧力(= P_{cbase})である。

【0039】

また、上記(2)式において、 T_{flame} は今回の爆発行程における最高火炎温度である。最高火炎温度 T_{flame} は、混合気が燃焼を開始してから同燃焼を終了するまでの間における火炎温度のピーク値であって、エンジン回転速度 NE 、及び今回の指令燃料噴射量 q_{finc} を引数とする所定の関数に基づいて推定することができる。 $K_0 \sim K_4$ は代表的な公知の所定の重回帰分析に基づいて後述するように決定された適合定数である。

【0040】

即ち、上記(2)式は、燃焼発生NOx率 R_{NOx_burn} を求めるための実験式である。上記(2)式にて推定される燃焼発生NOx率 R_{NOx_burn} は、上記下死点時吸気酸素濃度 R_{O2c} 、上記今回の指令燃料噴射量 q_{finc} 、上記今回の指令燃料噴射圧力 P_{crc} 、及び上記最高火炎温度 T_{flame} の関数であって、より具体的には、下死点時吸気酸素濃度 R_{O2c} のべき乗、今回の指令燃料噴射量 q_{finc} のべき乗、今回の指令燃料噴射圧力 P_{crc} のべき乗、及び、最高火炎温度 T_{flame} に応じて決定される値を指数とする指数関数、の積に基づいて計算される。

【0041】

適合定数 $K_0 \sim K_4$ は、例えば、以下のような実験を行うことにより決定され得る。即ち、先ず、EGR制御弁52を閉状態に維持して機関10を運転させることで、排気弁 V_{out} から排出された排ガス(従って、同排ガス中のNOx)の総てが排気通路から外部へ排出されるようにしておく。これにより、排気通路から外部へ排出される排ガス中のNOx量(即ち、上記NOx排出量)は上記B領域燃焼発生NOx量 N_{OxB} と等しくなるから、NOx排出量を所定のNOx濃度センサの出力に基づいて計測することでB領域燃焼発生NOx量 N_{OxB} (従って、燃焼発生NOx率 $R_{NOx_burn}(=N_{OxB}/q_{finc})$)を計測できるようになる。

【0042】

次に、この状態にて、上記下死点時吸気酸素濃度 R_{O2c} 、上記今回の指令燃料噴射量 q_{finc} 、上記今回の指令燃料噴射圧力 P_{crc} 、及び上記最高火炎温度 T_{flame} (即ち、エンジン回転速度 NE と今回の指令燃料噴射量 q_{finc})の各値の組み合わせを種々の所定パターンになるように順次変更していき、そのパターン毎に、燃焼発生NOx率 R_{NOx_burn} を順次計測していく。

【0043】

そして、このような作業(実験)の結果得られた上記各値の組み合わせと、計測された燃焼発生NOx率 R_{NOx_burn} の値との関係に関する多数のデータに基づいて、上記公知の所定の重回帰分析を行って上記適合定数 $K_0 \sim K_4$ を求めることができる。ここにおいて、少

10

20

30

40

50

なくとも、適合定数 $K1 \sim K3$ は正の値に決定され、適合定数 $K4$ は負の値に決定される。

【0044】

従って、上記(2)式から理解できるように、(2)式に従って推定・計算される燃焼発生 NO_x 率 $\text{RN}_{\text{Ox_burn}}$ (従って、B領域燃焼発生 NO_x 量 $\text{NO}_{\text{x}B}$)は、下死点時吸気酸素濃度 R_{O_2c} 、今回の指令燃料噴射量 $q_{\text{fin}c}$ 、今回の指令燃料噴射圧力 $\text{P}_{\text{c}rc}$ 、及び最高火炎温度 T_{flame} のうちどの値が増加しても増大する。このことは、以下の実際の現象に沿うものである。

【0045】

即ち、先ず、吸気酸素濃度 $\text{R}_{\text{O}_2\text{in}}$ が増加するとB領域燃焼発生 NO_x 量 $\text{NO}_{\text{x}B}$ が増大する。これは、酸素は NO_x を発生させる材料であって燃焼室内の酸素量が多くなると当然に NO_x が発生し易くなることに基づく現象である。

10

【0046】

また、燃料噴射量 q_{fin} が増加するとB領域燃焼発生 NO_x 量 $\text{NO}_{\text{x}B}$ が増大する。これは、燃料噴射量 q_{fin} の増加に応じて機関10に与えられる負荷の大きさが増大することから、上述した燃焼室内の内壁面温度の上昇に起因して、燃料噴射量 q_{fin} が増大するほど(即ち、機関に与えられる負荷が増加するほど) NO_x が発生し易くなることに基づく現象である。

【0047】

また、燃料噴射圧力 P_{cr} が増加するとB領域燃焼発生 NO_x 量 $\text{NO}_{\text{x}B}$ が増大する。これは、燃料噴射圧力 P_{cr} の増加に応じて燃料の噴射速度が増大すること等により同燃料の霧化の程度が大きくなるから、上述した空気過剰率の増大に起因して、燃料噴射圧力 P_{cr} が増大するほど(即ち、噴射された燃料の霧化の程度が大きくなるほど) NO_x が発生し易くなることに基づく現象である。

20

【0048】

また、最高火炎温度 T_{flame} が増加するとB領域燃焼発生 NO_x 量 $\text{NO}_{\text{x}B}$ が増大する。これは、ガス温度が高くなるほど窒素から NO_x が生成される化学反応が促進されることに基づく現象である。以上のことから、上記(2)式に従って燃焼発生 NO_x 率 $\text{RN}_{\text{Ox_burn}}$ を計算すれば、少なくとも上記4つの実際の現象に沿うように同燃焼発生 NO_x 率 $\text{RN}_{\text{Ox_burn}}$ (従って、上記(1)式に従うB領域燃焼発生 NO_x 量 $\text{NO}_{\text{x}B}$)を精度良く推定することができる。以上が、 NO_x 発生量推定方法の概要である。

30

【0049】

(NO_x 排出量推定方法の概要)

次に、図2に示したようなEGR装置50を備えた内燃機関10に適用される、本装置が実施する具体的な NO_x 排出量推定方法について説明していく。この NO_x 排出量推定方法では、燃料噴射気筒について上記最終燃料噴射時期 $\text{fin}_{\text{j}fin}$ が到来する毎に、その直後の排気行程において同燃料噴射気筒の排気弁 V_{out} から排気通路を介して外部へ排出されることになる排ガス中の NO_x の質量(即ち、 NO_x 排出量。実 NO_x 排出量 $\text{NO}_{\text{x}act}$)が推定されていく。

【0050】

この方法では、実 NO_x 排出量 $\text{NO}_{\text{x}act}$ を推定するにあたり、燃焼室内に吸入された NO_x の全質量に対する上記燃焼前に上記B領域に存在する NO_x の質量の割合(以下、「 NO_x 量割合 $\text{Ratio}_{\text{NO}_x}$ 」と称する。)、上記燃焼後に上記A領域内に残存する NO_x 質量、及び、上記燃焼後に上記B領域内に残存する NO_x 質量をそれぞれ推定する必要がある。従って、先ず、これらの求め方について図2を参照しながら説明する。

40

【0051】

< NO_x 量割合 $\text{Ratio}_{\text{NO}_x}$ の求め方>

燃焼室内に吸入された吸気(筒内ガス)中の酸素分子、 NO_x を含む各ガスの成分は同燃焼室内全域に渡ってそれぞれ均一に分布するものと仮定する。また、この状態においてB領域内に存在する酸素は総て燃焼により消費されると仮定する。そうすると、「燃焼室内に吸入された酸素の全質量」に対する「燃焼により消費される酸素の質量」の割合(以

50

下、「酸素量割合」と称呼する。)は、燃焼室の体積に対するB領域の体積の割合を表すとともに、燃焼室内に吸入されたNOxの全質量に対する、燃焼前にB領域に存在するNOxの質量の割合(従って、上記NOx量割合RatioNOx)をも表すことになる。換言すれば、上記酸素量割合を利用してB領域が推定され得る。

【0052】

従って、NOx量割合RatioNOxを求めるためには上記酸素量割合を求めればよく、このためには、「燃焼室内に吸入された酸素の全質量」と「燃焼により消費される酸素の質量」とを求める必要がある。

【0053】

ここで、「燃焼室内に吸入された酸素の全質量」は、吸入された燃焼室内の総ガス質量(以下、「筒内総ガス量Gcyl」と称呼する。)に、燃焼前の筒内ガスの酸素濃度を乗じることで求めることができる。筒内総ガス量Gcylは、ATDC-180°における気体の状態方程式に基づく下記(3)式に従って求めることができる。

【0054】

$$G_{cyl} = (P_{a0} \cdot V_{a0}) / (R \cdot T_{a0}) \quad \dots (3)$$

【0055】

上記(3)式において、Pa0は、ATDC-180°における下死点時筒内ガス圧力である。ATDC-180°において筒内ガス圧力は吸気管圧力Pbと略等しいと考えられるから、下死点時筒内ガス圧力Pa0は、ATDC-180°において吸気管圧力センサ73により検出される吸気管圧力Pbとして取得することができる。Va0は、ATDC-180°における下死点時燃焼室内内容積である。燃焼室内内容積Vaは機関10の設計諸元に基づいてクランク角度CAの関数として表すことができるから、この関数に基づいて下死点時燃焼室内内容積Va0も求めることができる。Ta0は、ATDC-180°における下死点時筒内ガス温度である。ATDC-180°において筒内ガス温度は吸気温度Tbと略等しいと考えられるから、下死点時筒内ガス温度Ta0は、ATDC-180°において吸気温度センサ72により検出される吸気温度Tbとして取得することができる。Rは筒内ガスのガス定数である。

【0056】

また、燃焼前の筒内ガスの酸素濃度は吸気弁Vin閉弁時(即ち、ATDC-180°)における吸気酸素濃度R02_inと略等しいと考えられるから、燃焼前の筒内ガスの酸素濃度は、上記(2)式にて使用される下死点時吸気酸素濃度R02cとして取得することができる。以上より、「燃焼室内に吸入された酸素の全質量」は「Gcyl・R02c」と表すことができる。

【0057】

一方、「燃焼により消費される酸素の質量」は、噴射された燃料の総て(即ち、前記燃料噴射量qfinの燃料)が理論空燃比stoichをもって完全燃焼するとの仮定のもと、「K・qfinc」と表すことができる。ここで、Kは所定の係数であって、例えば、大気中に含まれる酸素の質量割合0.23に理論空燃比stoich(例えば、14.6)を乗じた値「0.23・stoich」である。qfincは上記(1)式、(2)式と同様、今回の指令燃料噴射量(=qfin)である。以上のことから、NOx量割合RatioNOxは、下記(4)式に従って求めることができる。

【0058】

$$RatioNOx = (K \cdot q_{fin}c) / (G_{cyl} \cdot R02c) \quad \dots (4)$$

【0059】

<燃焼後にA領域内に残存するNOx質量の求め方>

上述のごとく、本実施例では燃焼室内における燃焼はB領域内でのみ発生し、A領域では燃焼が発生しないと仮定するから、EGR装置50を介して燃焼室内に還流してきたNOx量のうち燃焼前にA領域内に存在するNOxの質量(以下、「A領域還流NOx量NOxA」と称呼する。)は、燃焼後においてもそのままA領域内に保存(保持)されることができる。換言すれば、A領域還流NOx量NOxAは、そのまま「燃焼後にA領域内に残存するNOx質量」となる。

【0060】

10

20

30

40

50

ここで、燃焼室内に吸入された NO_x の全質量に対する上記燃焼前に上記A領域に存在する NO_x の質量の割合は、上記 NO_x 量割合Ratio NO_x を用いて「 $1-\text{RatioNO}_x$ 」と表すことができるから、A領域還流 NO_x 量 NO_xA は、上記筒内総ガス量 Gcyl に、燃焼前の筒内ガスの NO_x 濃度と $(1-\text{RatioNO}_x)$ とを乗じることによって求めることができる。燃焼前の筒内ガスの NO_x 濃度は吸気中の NO_x 濃度(吸気 NO_x 濃度 RNO_xin)と略等しいと考えられるから、A領域還流 NO_x 量 NO_xA は、下記(5)式にて表すことができる。

【0061】

$$\text{NO}_x\text{A} = \text{RNO}_x\text{in} \cdot (1-\text{RatioNO}_x) \cdot \text{Gcyl} \quad \dots (5)$$

【0062】

上記(5)式において、吸気 NO_x 濃度 RNO_xin は、上記筒内総ガス量 Gcyl に対する、EGR装置50から還流されてきたEGRガス中の NO_x 質量の質量割合である。EGRガス中の NO_x 濃度は前回(の燃料噴射時期に)演算された後述する排気 NO_x 濃度 RNO_xex と等しいと仮定すると、吸気 NO_x 濃度 RNO_xin は下記(6)式に従って求めることができる。

10

【0063】

$$\text{RNO}_x\text{in} = (\text{RNO}_x\text{ex} \cdot \text{Gegr}) / \text{Gcyl} \quad \dots (6)$$

【0064】

上記(6)式において、 Gegr は今回の吸気行程で吸気の一部としてEGR装置50から燃焼室内に吸入されてきたEGRガスの質量であって、下記(7)式に従って取得され得る。

【0065】

$$\text{Gegr} = \text{Gcyl} - \text{Gm} \quad \dots (7)$$

20

【0066】

上記(7)式において、 Gm は今回の吸気行程で吸気管32の先端部から吸気の一部として燃焼室内に吸入された新気の質量(吸入新気量)であって、エアフローメータ71により計測される単位時間あたりの吸入新気量(吸入新気流量 Ga)と、クランクポジションセンサ74の出力に基づくエンジン回転速度 NE と、吸入新気流量 Ga 及びエンジン回転速度 NE を引数とする一吸気行程あたりの吸入新気量を求めるための関数 $f(\text{Ga}, \text{NE})$ とに基づいて計算される。吸入新気流量 Ga 及びエンジン回転速度 NE としては、ATDC-180°において各センサにより取得される下死点時吸入新気流量 Ga0 、及び下死点時エンジン回転速度 NE0 がそれぞれ使用される。以上のように、A領域還流 NO_x 量 NO_xA 、従って、「燃焼後にA領域内に残存する NO_x 質量」は上記(5)式に従って求めることができる。

30

【0067】

<燃焼後にB領域内に残存する NO_x 質量の求め方>

燃焼後においてはB領域において、上記(1)式、(2)式により推定される上記B領域燃焼発生 NO_x 量 NO_xB が発生する。そして、この推定されたB領域燃焼発生 NO_x 量 NO_xB は、そのまま「燃焼後にB領域内に残存する NO_x 質量」に略一致し得ると考えることができる。従って、「燃焼後にB領域内に残存する NO_x 質量」は、上記(1)式、(2)式に従って推定されるB領域燃焼発生 NO_x 量 NO_xB として求めることができる。

【0068】

このようにして、「燃焼後にA領域内に残存する NO_x 質量」であるA領域還流 NO_x 量 NO_xA 、及び、「燃焼後にB領域内に残存する NO_x 質量」であるB領域燃焼発生 NO_x 量 NO_xB が求められると、燃焼後に燃焼室内に残存する NO_x の全質量は「 $\text{NO}_x\text{A} + \text{NO}_x\text{B}$ 」として求めることができる。また、燃焼後に燃焼室内に残存するガスの全質量は、「 $\text{Gcyl} + \text{qfinc}$ 」と表すことができる。

40

【0069】

従って、排気行程において燃焼室から排気弁 Vout を介して排気通路(排気マニホールド41)に排出される排ガス中の NO_x 濃度(排気 NO_x 濃度 RNO_xex)は、「燃焼後に燃焼室内に残存するガスの全質量」に対する、「燃焼後に燃焼室内に残存する NO_x の全質量」の質量割合であって、下記(8)式に従って求めることができる。

【0070】

50

$$RN0x_ex = (N0xA + N0xB) / (Gcyl + qfinc) \quad \dots (8)$$

【 0 0 7 1 】

上記(8)式に従って求められる排気NOx濃度RN0x_exの前回値は、排気通路(排気マニホールド41)を流れる排ガス中のNOx濃度が排気還流管51内を流れるEGRガス中のNOx濃度に等しいとの仮定のもと、前述のごとく、上記吸気NOx濃度RN0x_in(の今回値)を求める際に上記(6)式にて使用される。

【 0 0 7 2 】

また、排気通路(排気マニホールド41、及び排気管42)を流れる排ガス中のNOx濃度は同排気通路全域に渡って一定であると仮定すると、上記排気NOx濃度RN0x_exの値は、排気通路(具体的には、排気管42の端部)から外部に排出される際の排ガス中のNOx濃度と等しくなる。

【 0 0 7 3 】

更には、通常の機関10の運転状態(特に、定常運転状態)においては、排気通路(排気管42)から外部へ排出される一作動サイクル(一排気行程)あたりの排ガスの質量は上記吸入新気量Gmと略等しくなる。以上のことから、排気通路を介して外部へ排出される排ガス中の一作動サイクルあたりのNOxの質量(上記実NOx排出量N0xact)は、下記(9)式に従って求めることができる。これにより、EGRガス量Gegrが増加すると吸入新気量Gmが減少することで実NOx排出量N0xactが低下することになる。従って、EGRガス量Gegrが増加すると実NOx排出量N0xactが低下するという現象が的確に表され得る。

【 0 0 7 4 】

$$N0xact = RN0x_ex \cdot Gm \quad \dots (9)$$

【 0 0 7 5 】

以上、(1)~(9)式を利用して、本装置は、燃料噴射気筒についての上記最終燃料噴射時期finjfinが到来する毎に、その直後の排気行程において同燃料噴射気筒の排気弁Voutから排出されることになるNOxの質量、即ち実NOx排出量N0xactを推定する。以上が、NOx排出量推定方法の概要である。

【 0 0 7 6 】

(燃料噴射制御の概要)

上記NOx排出量推定方法を実施する本装置は、一作動サイクルあたりの目標NOx排出量N0xtを、上記燃料噴射量qfinとエンジン回転速度NEとに基づいて逐次計算する。そして、本装置は、前回推定された実NOx排出量N0xactが目標NOx排出量N0xtに一致するように、最終燃料噴射開始時期finjfin、及びEGR制御弁52の開度をフィードバック制御する。

【 0 0 7 7 】

具体的には、前回推定された上記実NOx排出量N0xactの値が上記目標NOx排出量N0xtよりも大きいとき、今回の燃料噴射気筒についての最終燃料噴射開始時期finjfinを基本燃料噴射時期finjbaseよりも所定量だけ遅らせ、且つ、EGR制御弁52の開度を現時点での値から所定開度だけ大きくする。これにより、今回の燃料噴射気筒についての最高火炎温度が低くなるように制御され、この結果、今回の燃料噴射気筒から外部へ排出される実NOx排出量N0xactが上記目標NOx排出量N0xtに一致せしめられる。

【 0 0 7 8 】

一方、前回推定された上記実NOx排出量N0xactの値が上記目標NOx排出量N0xtよりも小さいとき、今回の燃料噴射気筒についての最終燃料噴射開始時期finjfinを基本燃料噴射時期finjbaseよりも所定量だけ早め、且つ、EGR制御弁52の開度を現時点での値から所定開度だけ小さくする。これにより、今回の燃料噴射気筒についての最高火炎温度が高くなるように制御され、この結果、今回の燃料噴射気筒から外部へ排出される実NOx排出量N0xactが上記目標NOx排出量N0xtに一致せしめられる。以上が、燃料噴射制御の概要である。

【 0 0 7 9 】

(燃焼発生NOx率RN0x_burnの実際の演算方法)

10

20

30

40

50

上記(2)式に従って燃焼発生NOx率RN0x_burnを演算するためには、「べき乗」の演算、及び「掛け算」の演算が必要となる。しかしながら、一般に、マイクロコンピュータを使用して「べき乗」の演算を実行すると計算負荷が増大し、同マイクロコンピュータを使用して「掛け算」の演算を実行すると計算精度が低下する傾向がある。よって、「べき乗」の演算、及び「掛け算」の演算を避けるため、本装置(CPU61)は、実際には、上記(2)式において両辺の自然対数をとることで得られる下記(10)式を利用して、テーブル検索と「足し算」の演算のみで燃焼発生NOx率RN0x_burnを計算する。

【0080】

$$\log(\text{RN0x_burn}) = K0 + K1 \cdot \log(\text{R02c}) + K2 \cdot \log(\text{qfinc}) + K3 \cdot \log(\text{Pcrc}) + K4/\text{Tflame} \quad \cdot \cdot \cdot (10)$$

10

【0081】

即ち、本装置は、上記(10)式の右辺の第2項～第5項までの各項を求めるために予めROM62にそれぞれ記憶されているテーブルMaplog1(R02c)、Maplog2(qfinc)、Maplog3(Pcrc)、及びMapinvpro(Tflame)に基づいて、テーブル検索値dataMap1(=K1・log(R02c))、dataMap2(=K2・log(qfinc))、dataMap3(=K3・log(Pcrc))、及びdataMap4(=K4/Tflame)をそれぞれ決定し、「足し算」を伴う下記(11)式に従って「log(RN0x_burn)」を求める。

【0082】

$$\log(\text{RN0x_burn}) = K0 + \text{dataMap1} + \text{dataMap2} + \text{dataMap3} + \text{dataMap4} \quad \cdot \cdot \cdot (11)$$

【0083】

そして、本装置は、上記(11)式に従って求められた「log(RN0x_burn)」から燃焼発生NOx率RN0x_burnを求めるために予めROM62に記憶されているテーブルMapinvlog(log(RN0x_burn))に基づいて同燃料発生NOx率RN0x_burnを求める。これにより、CPU61の計算負荷を軽減できるとともに計算精度の低下を防止できる。

20

【0084】

(実際の作動)

次に、上記のように構成された内燃機関の制御装置の実際の作動について説明する。

<燃料噴射量等の制御>

CPU61は、図3にフローチャートにより示した燃料噴射量等の制御を行うためのルーチンを所定時間の経過毎に繰り返し実行するようになっている。従って、所定のタイミングになると、CPU61はステップ300から処理を開始し、ステップ305に進んでアクセル開度Accp、エンジン回転速度NE、及び図4に示したテーブル(マップ)Mapqfinから(指令)燃料噴射量qfinを求める。テーブルMapqfinは、アクセル開度Accp及びエンジン回転速度NEと燃料噴射量qfinとの関係を規定するテーブルであり、ROM62内に格納されている。

30

【0085】

次いで、CPU61はステップ310に進み、燃料噴射量qfin、エンジン回転速度NE、及び図5に示したテーブルMapfinjbaseから基本燃料噴射時期finjbaseを決定する。テーブルMapfinjbaseは、燃料噴射量qfin及びエンジン回転速度NEと基本燃料噴射時期finjbaseとの関係を規定するテーブルであり、ROM62内に格納されている。

【0086】

その後、CPU61はステップ315に進んで、燃料噴射量qfin、エンジン回転速度NE、及び図6に示したテーブルMapPcrbaseから基本燃料噴射圧力Pcrbaseを決定する。テーブルMapPcrbaseは、燃料噴射量qfin及びエンジン回転速度NEと基本燃料噴射圧力Pcrbaseとの関係を規定するテーブルであり、ROM62内に格納されている。

40

【0087】

次に、CPU61はステップ320に進み、燃料噴射量qfin、エンジン回転速度NE、及び図7に示したテーブルMapN0xtから目標NOx排出量N0xtを決定する。テーブルMapN0xtは、燃料噴射量qfin及びエンジン回転速度NEと目標NOx排出量N0xtとの関係を規定するテーブルであり、ROM62内に格納されている。

【0088】

50

次いで、CPU 61はステップ325に進んで、前記決定した目標NOx排出量 $N0xt$ から後述するルーチンにより求められている最新の（具体的には、前回の燃料噴射時期に演算された）実NOx排出量 $N0xact$ を減じた値をNOx排出量偏差 $N0x$ として格納する。

【0089】

続いて、CPU 61はステップ330に進んで、噴射時期補正値 を、前記NOx排出量偏差 $N0x$ と図8に示したテーブルMap とから決定する。テーブルMap は、NOx排出量偏差 $N0x$ と噴射時期補正値 との関係の規定するテーブルであり、ROM 62内に格納されている。

【0090】

次いで、CPU 61はステップ335に進み、基本噴射時期 $finjbase$ を噴射時期補正値 で補正して最終燃料噴射時期 $finjfin$ を決定する。これにより、NOx排出量偏差 $N0x$ に応じて噴射時期が補正されることになる。この場合、図8から明らかなように、NOx排出量偏差 $N0x$ が正の大きい値になるほど噴射時期補正値 が正の大きな値となって最終燃料噴射時期 $finjfin$ が進角側となり、同NOx排出量偏差 $N0x$ が負の大きい値（絶対値が大きい値）になるほど噴射時期補正値 は負の大きな値となって最終燃料噴射時期 $finjfin$ が遅角側に移行される。

【0091】

続いて、CPU 61はステップ340に進み、燃料噴射気筒についての噴射開始時期（即ち、上記決定された最終燃料噴射時期 $finjfin$ ）が到来したか否かを判定し、「No」と判定する場合はステップ395に直ちに進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0092】

一方、ステップ340の判定において「Yes」と判定する場合、CPU 61はステップ345に進んで上記決定された（指令）燃料噴射量 $qfin$ の燃料を燃料噴射気筒についての燃料噴射弁21から上記決定された基本燃料噴射圧力 $Pcibase$ をもって噴射するとともに、続くステップ350にて上記NOx排出量偏差 $N0x$ が正の値であるか否かを判定し、「Yes」と判定する場合、ステップ355に進んでEGR制御弁52の開度を現時点での値よりも所定開度だけ小さくした後、ステップ370に進む。

【0093】

ステップ350の判定において「No」と判定する場合、CPU 61はステップ360に進み、上記NOx排出量偏差 $N0x$ が負の値であるか否かを判定する。ステップ360の判定において、CPU 61は「Yes」と判定する場合、EGR制御弁52の開度を現時点での値よりも所定開度だけ大きくした後ステップ370に進む一方、「No」と判定する場合（即ち、NOx排出量偏差 $N0x$ の値が「0」のとき）、EGR制御弁52の開度を変更することなくステップ370に進む。

【0094】

このようにして、NOx排出量偏差 $N0x$ に応じてEGR制御弁52の開度の変更される。そして、ステップ370に進むと、CPU 61は実際に噴射した上記燃料噴射量 $qfin$ の値を今回の燃料噴射量 $qfinc$ として格納し、続くステップ375にて実際の噴射圧力である上記基本燃料噴射圧力 $Pcibase$ の値を今回の燃料噴射圧力 $Pcisc$ として格納した後、ステップ395に進んで本ルーチンを一旦終了する。以上により、燃料噴射量、燃料噴射時期、燃料噴射圧力、及びEGR制御弁52の開度の制御が達成される。

【0095】

<NOx排出量の計算>

また、CPU 61は、図9にフローチャートにより示した実NOx排出量 $N0xact$ の計算を行うためのルーチンを所定時間の経過毎に繰り返し実行するようになっている。従って、所定のタイミングになると、CPU 61はステップ900から処理を開始し、ステップ905に進んで現時点がATDC-180°に一致しているか否かを判定する。

【0096】

いま、現時点がATDC-180°より前であるものとして説明を続けると、CPU 61はステップ905にて「No」と判定してステップ935に直に進み、燃料噴射気筒について

の燃料噴射開始時期（即ち、上記最終燃料噴射時期 $finjfin$ ）が到来したか否かを判定する。現時点はATDC-180°よりも前であるから、CPU61はステップ935にて「No」と判定し、ステップ995に直ちに進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0097】

以降、CPU61はATDC-180°が到来するまでの間、ステップ900、905、935、995の処理を繰り返し実行する。そして、ATDC-180°が到来すると、CPU61はステップ905に進んだとき「Yes」と判定してステップ910に進むようになり、ステップ910にて、吸気温度センサ72、吸気管圧力センサ73、エアフローメータ71、及びクランクポジションセンサ74によりそれぞれ検出される現時点（即ち、ATDC-180°）での吸気温度 T_b 、吸気管圧力 P_b 、吸入新気流量 G_a 、及びエンジン回転速度 NE を、それぞれ、下死点時筒内ガス温度 T_{a0} 、下死点時筒内ガス圧力 P_{a0} 、下死点時吸入新気流量 G_{a0} 、及び下死点時エンジン回転速度 NE_0 として格納する。 10

【0098】

次いで、CPU61はステップ915に進み、吸気酸素濃度センサ76により検出される現時点（即ち、ATDC-180°）での吸気酸素濃度 R_{O2_in} を下死点時吸気酸素濃度 R_{O2c} として格納し、続くステップ920にて、上記(1)式に従って筒内総ガス量 G_{cyl} を求める。ここで、下死点時筒内ガス圧力 P_{a0} 、及び下死点時筒内ガス温度 T_{a0} としては、ステップ910にて格納されている値が用いられる。

【0099】

続いて、CPU61はステップ925に進んで、上記下死点時吸入新気流量 G_{a0} と、上記下死点時エンジン回転速度 NE_0 と、上記関数 f とに基づいて吸入新気量 G_m を求め、続くステップ930にて、ステップ920にて求めた筒内総ガス量 G_{cyl} と、前記吸入新気量 G_m と、上記(5)式とに基づいてEGRガス量 G_{egr} を求める。そして、CPU61はステップ935に進んで「No」と判定してステップ995に直ちに進んで本ルーチンを一旦終了する。 20

【0100】

以降、CPU61は燃料噴射時期（即ち、上記最終燃料噴射時期 $finjfin$ ）が到来するまでの間、ステップ900、905、935、995の処理を再び繰り返し実行する。そして、上記最終燃料噴射時期 $finjfin$ が到来すると、CPU61はステップ935にて「Yes」と判定してステップ940に進むようになり、ステップ940にて上記(6)式に従って吸気 NO_x 濃度 R_{NOx_in} を求める。ここで、EGRガス量 G_{egr} 、及び筒内総ガス量 G_{cyl} として、ステップ930、及びステップ920にて求められた値がそれぞれ使用される。排気 NO_x 濃度 R_{NOx_ex} としては、前回の燃料噴射開始時期において後述するステップ965にて求められている値が使用される。 30

【0101】

続いて、CPU61はステップ945に進んで、上記(4)式、及び上記(5)式に相当するステップ945内に記載の式に基づいてA領域還流 NO_x 量 N_{OxA} を求める。ここで、今回の燃料噴射量 q_{finc} としては、図3のステップ370にて格納されている最新の値が使用される。次に、CPU61はステップ950を経由して図10のステップ1000に進み、燃焼発生 NO_x 率 R_{NOx_burn} の計算を行うための処理を開始する。 40

【0102】

即ち、CPU61はステップ1000からステップ1005に進むと、まず、現時点でのエンジン回転速度 NE 、前記今回の燃料噴射量 q_{finc} と、及び最高火炎温度 T_{flame} を求めるためのステップ1005内に記載されたテーブルと、に基づいて最高火炎温度 T_{flame} を推定・決定する。

【0103】

次に、CPU61はステップ1010に進んで図9のステップ915にて求められている下死点時吸気酸素濃度 R_{O2c} の最新値と前記テーブル Map_{log1} とに基づいて前記テーブル検索値 $data_{Map1} (= K_1 \cdot \log(R_{O2c}))$ を求める。

【0104】

同様に、CPU 61はステップ1015に進んで図3のステップ370にて格納されている今回の燃料噴射量 q_{finc} と前記テーブルMaplog2とに基づいて前記テーブル検索値 $dataMap2(=K2 \cdot \log(q_{finc}))$ を求め、続くステップ1020にて図3のステップ375にて格納されている今回の燃料噴射圧力 P_{crc} と前記テーブルMaplog3とに基づいて前記テーブル検索値 $dataMap3(=K3 \cdot \log(P_{crc}))$ を求め、続くステップ1025にてステップ1005にて求めた最新の最高火炎温度 T_{flame} と前記テーブルMapinvproとに基づいて前記テーブル検索値 $dataMap4(=K4/T_{flame})$ を求める。

【0105】

次いで、CPU 61はステップ1030に進んで、上記(11)式に従って「 $\log(RNOx_{burn})$ 」を求め、続くステップ1035にて、同 $\log(RNOx_{burn})$ と前記テーブルMapinvlogとに基づいて燃焼発生NOx率 $RNOx_{burn}$ を求めた後、ステップ1095を經由して、図9のステップ955に進む。

【0106】

CPU 61はステップ955に進むと、上記(1)式に従ってB領域燃焼発生NOx量 $N0xB$ を求める。次いで、CPU 61はステップ960に進んで、上記(8)式に従って排気NOx濃度 $RNOx_{ex}$ を求めるとともに、続くステップ965にて上記(9)式に従って実NOx排出量 $N0xact$ を求め、ステップ995に進んで本ルーチンを一旦終了する。以降、CPU 61は次の燃料噴射気筒についてのATDC-180°が到来するまでの間、ステップ900、905、935、995の処理を繰り返し実行する。

【0107】

以上のようにして、新たな実NOx排出量 $N0xact$ が燃料噴射開始時期が到来する毎に求められていく。そして、この新たな実NOx排出量 $N0xact$ は、前述のごとく、図3のステップ325にて使用され、この結果、次の燃料噴射気筒についての最終燃料噴射開始時期 $finjfin$ 、及びEGR制御弁52の開度が同新たな実NOx排出量 $N0xact$ に基づいてフィードバック制御されていく。

【0108】

以上、説明したように、本発明の実施形態に係る内燃機関のNOx発生量推定方法によれば、燃焼領域(B領域)において燃焼により発生するNOx発生量(B領域燃焼発生NOx量 $N0xB$)に大きく影響を与える4つの周辺状態量、即ち、NOxを発生させる材料となる吸気中のガスの濃度(吸気酸素濃度 $R02c$)と、機関に与えられる負荷の程度を表す負荷指標値(燃料噴射量 q_{finc})と、燃焼室内の燃料の霧化の程度を表す霧化指標値(燃料噴射圧力 P_{crc})と、及び最高火炎温度 T_{flame} と、に基づいて同B領域燃焼発生NOx量 $N0xB$ を推定する。従って、上記4つの周辺状態量とB領域燃焼発生NOx量 $N0xB$ との間における実際の関係に沿うように、B領域燃焼発生NOx量 $N0xB$ を精度良く推定することができた。

【0109】

本発明は上記実施形態に限定されることはなく、本発明の範囲内において種々の変形例を採用することができる。例えば、上記実施形態においては、機関に与えられる負荷の程度を表す負荷指標値として燃料噴射量 q_{finc} を採用しているが、同負荷指標値として所謂機関の出力トルクを採用してもよい。また、負荷指標値として、燃焼室の内壁面の温度を採用してもよい。

【0110】

また、上記実施形態においては、燃焼室内の霧化の程度を表す霧化指標値として燃料噴射圧力 P_{crc} を採用しているが、同霧化指標値として所謂スワール比を採用してもよい。また、霧化指標値として燃焼領域(B領域)における空気過剰率を採用してもよい。

【0111】

また、上記実施形態においては、エンジン回転速度 NE と燃料噴射量 q_{finc} とに基づいて最高火炎温度 T_{flame} を推定しているが、エンジン回転速度 NE と、機関の出力トルクとに基づいて最高火炎温度 T_{flame} を推定してもよい。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【 0 1 1 2 】

【図 1】本発明の実施形態に係る内燃機関のNOx排出量推定方法を実施する内燃機関の制御装置を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】或る一つの気筒のシリンダ内(筒内)に吸気マニホールドからガスが吸入され、筒内に吸入された筒内ガスが排気マニホールドへ排出される様子を模式的に示した図である。

【図 3】図 1 に示したCPUが実行する燃料噴射量等を制御するためのルーチンを示したフローチャートである。

【図 4】図 1 に示したCPUが図 3 に示したルーチンを実行する際に参照する燃料噴射量を決定するためのテーブルである。 10

【図 5】図 1 に示したCPUが図 3 に示したルーチンを実行する際に参照する基本燃料噴射時期を決定するためのテーブルである。

【図 6】図 1 に示したCPUが図 3 に示したルーチンを実行する際に参照する基本燃料噴射圧力を決定するためのテーブルである。

【図 7】図 1 に示したCPUが図 3 に示したルーチンを実行する際に参照する目標NOx排出量を決定するためのテーブルである。

【図 8】図 1 に示したCPUが図 3 に示したルーチンを実行する際に参照する噴射時期補正值を決定するためのテーブルである。

【図 9】図 1 に示したCPUが実行するNOx排出量(実NOx排出量)の計算を実行するためのルーチンを示したフローチャートである。 20

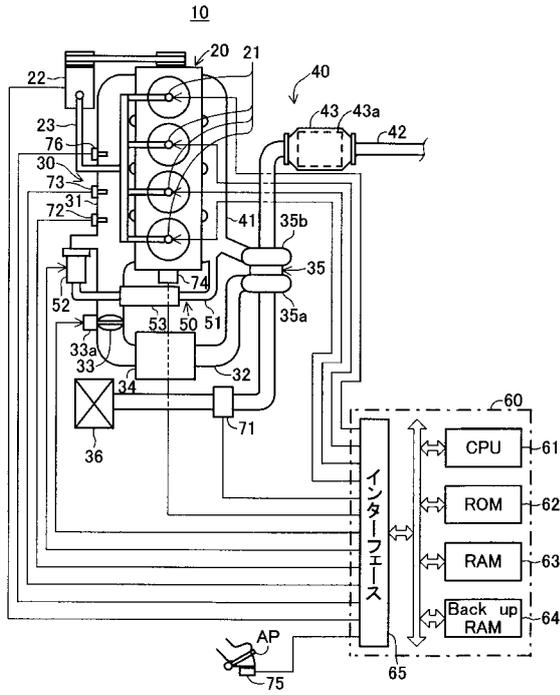
【図 10】図 1 に示したCPUが実行する燃焼発生NOx率の計算を実行するためのルーチンを示したフローチャートである。

【符号の説明】

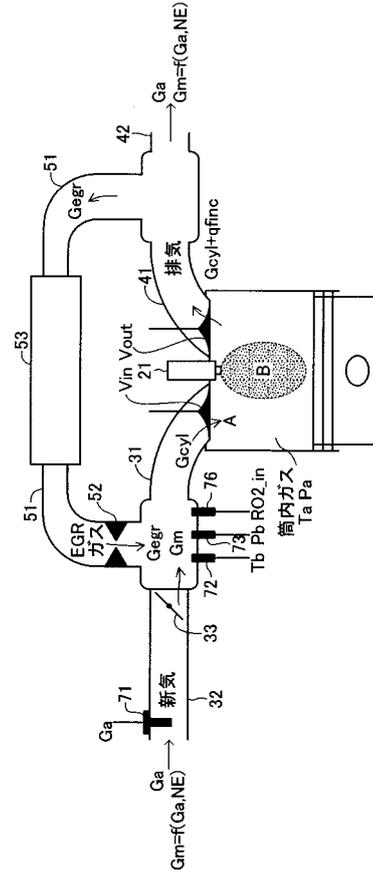
【 0 1 1 3 】

2 1 ... 燃料噴射弁、 2 2 ... 燃料噴射用ポンプ、 3 1 ... 吸気マニホールド、 3 2 ... 吸気管、 4 1 ... 排気マニホールド、 4 2 ... 排気管、 5 0 ... EGR装置、 5 2 ... EGR制御弁、 6 0 ... 電気制御装置、 6 1 ... CPU、 7 1 ... エアフローメータ、 7 2 ... 吸気温度センサ、 7 3 ... 吸気管圧力センサ、 7 4 ... クランクポジションセンサ、 7 6 ... 吸気酸素濃度センサ

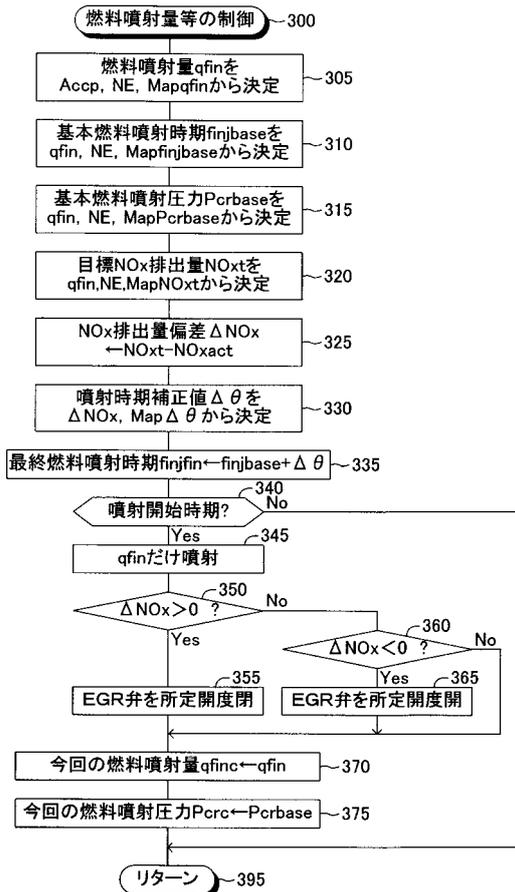
【 図 1 】



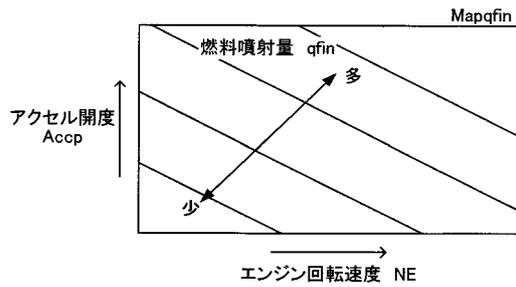
【 図 2 】



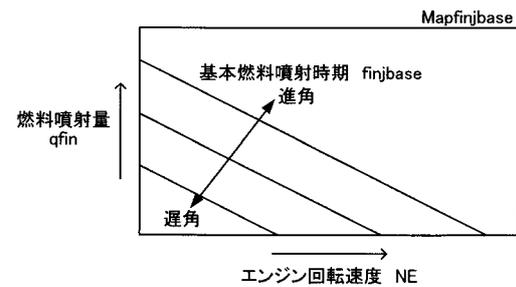
【 図 3 】



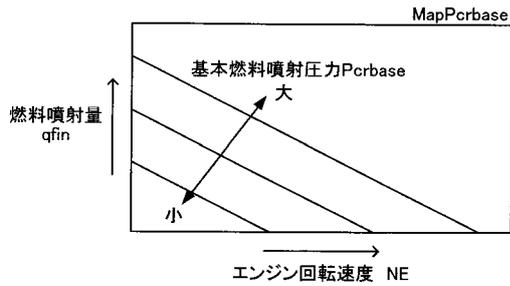
【 図 4 】



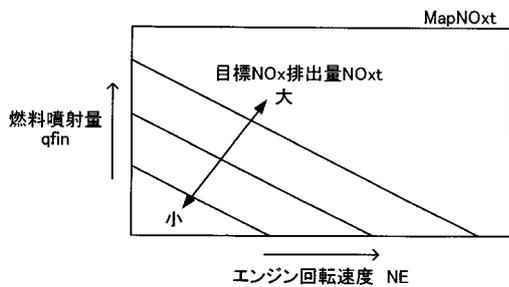
【 図 5 】



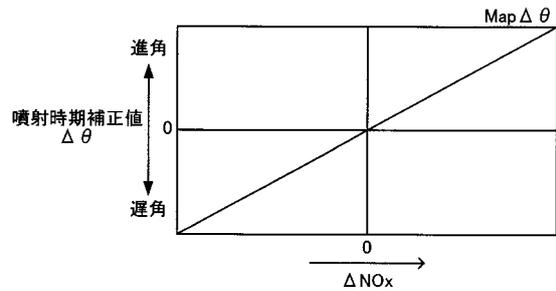
【 図 6 】



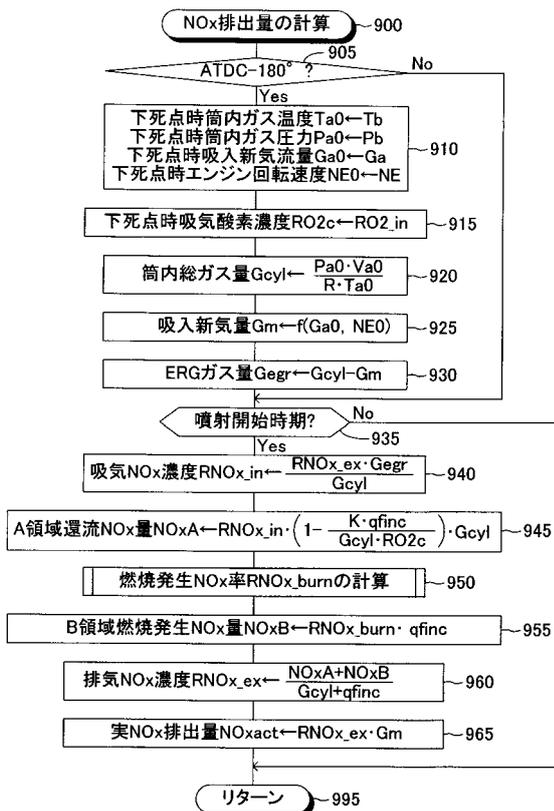
【 図 7 】



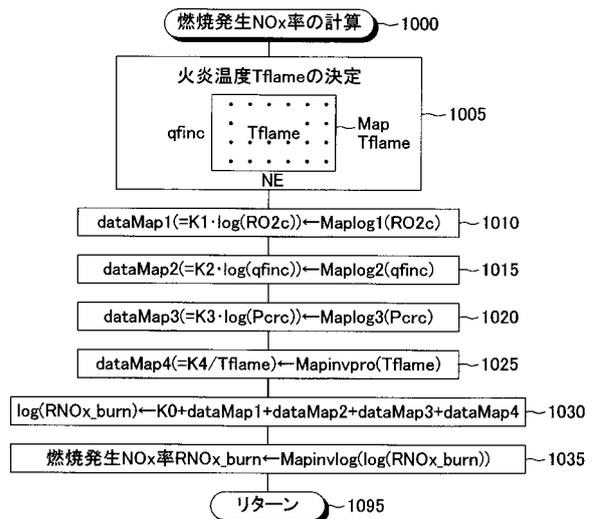
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3G084 AA01 BA05 BA13 BA14 BA15 BA20 DA04 DA07 DA10 DA25
EB08 EC04 FA00 FA02 FA07 FA08 FA10 FA11 FA13 FA18
FA20 FA33 FA37 FA38 FA39