

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4830912号
(P4830912)

(45) 発行日 平成23年12月7日 (2011. 12. 7)

(24) 登録日 平成23年9月30日 (2011. 9. 30)

(51) Int. Cl.

F I

FO2D 45/00 (2006.01)

FO2D 45/00 368Z

FO2D 13/02 (2006.01)

FO2D 45/00 368S

FO2P 5/15 (2006.01)

FO2D 45/00 358M

FO1N 3/20 (2006.01)

FO2D 13/02 G

FO1N 3/24 (2006.01)

FO2P 5/15 B

請求項の数 16 (全 34 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2007-54183 (P2007-54183)
 (22) 出願日 平成19年3月5日 (2007. 3. 5)
 (65) 公開番号 特開2008-215213 (P2008-215213A)
 (43) 公開日 平成20年9月18日 (2008. 9. 18)
 審査請求日 平成21年11月13日 (2009. 11. 13)

(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 100106150
 弁理士 高橋 英樹
 (74) 代理人 100082175
 弁理士 高田 守
 (74) 代理人 100113011
 弁理士 大西 秀和
 (72) 発明者 守谷 栄記
 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 田所 亮
 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】 内燃機関の制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

内燃機関の筒内圧を検出する筒内圧センサと、

前記筒内圧に基づいて、前記筒内で消費される内部エネルギーと相関を有する内部エネルギー相関値を算出する内部エネルギー相関値算出手段と、

内燃機関の負荷率が所定値を超えたときに前記内部エネルギー相関値の増加率が緩やかになる特性に基づいて前記内部エネルギー相関値を補正する手段であって、前記負荷率が前記所定値以下の場合には前記内部エネルギー相関値の補正を実行せず、前記負荷率が前記所定値を超える場合には前記負荷率が増加するにつれて前記内部エネルギー相関値の増加率を減少させる補正手段と、

前記補正手段により補正された前記内部エネルギー相関値に基づいて、排気ガス中のNOx濃度推定値を算出するNOx濃度推定手段と、を備え、

前記内部エネルギー相関値算出手段は、

膨張行程の開始後における特定クランク角までに終了した燃焼の割合を表すMFBを、前記筒内圧に基づいて算出するMFB算出手段を備え、

当該MFBを前記内部エネルギー相関値として算出することを特徴とすることを特徴とする内燃機関の制御装置。

【請求項2】

内燃機関の吸入空気量を検出する吸入空気量検出手段を備え、

前記NOx濃度推定手段は、

前記内部エネルギー相関値に基づいて、内燃機関から排出されるNOx排出量を算出するNOx量算出手段と、

前記NOx排出量を前記吸入空気量で規格化することにより前記NOx濃度推定値を算出する規格化手段と、を含むことを特徴とする請求項1記載の内燃機関の制御装置。

【請求項3】

内燃機関の吸入空気量を検出する吸入空気量検出手段を備え、

前記NOx濃度推定手段は、前記吸入空気量が多量であるほど、前記NOx濃度推定値を低く補正する補正手段を含むことを特徴とする請求項1又は2記載の内燃機関の制御装置。

【請求項4】

筒内で燃焼する混合気の空燃比を検出する空燃比検出手段を備え、

前記NOx濃度推定手段は、前記空燃比がリーンであるほど前記NOx濃度推定値を高く補正する補正手段を含むことを特徴とする請求項1乃至3の何れか1項記載の内燃機関の制御装置。

【請求項5】

排気行程の後に筒内に残留する残留ガス量と相関を有する残留ガス量相関値を検知する残留ガス量相関値検出手段を備え、

前記NOx濃度推定手段は、前記残留ガス量相関値に基づいて前記残留ガス量が多いと推定されるほど、前記NOx濃度推定値を低く補正する補正手段を含むことを特徴とする請求項1乃至4の何れか1項記載の内燃機関の制御装置。

【請求項6】

内燃機関の吸入空気量を検出する吸入空気量検出手段を備え、

前記補正手段は、前記吸入空気量と前記残留ガス量との和が多いと推定されるほど、前記NOx濃度推定値を低く補正することを特徴とする請求項5記載の内燃機関の制御装置。

【請求項7】

前記NOx濃度推定値が、NOx濃度目標値に近づくように内燃機関を制御する制御手段と、内燃機関の運転状態に基づいて、前記NOx濃度目標値を設定するNOx濃度目標値設定手段と、

を備えることを特徴とする請求項1乃至6の何れか1項記載の内燃機関の制御装置。

【請求項8】

内燃機関の出力効率と相関を有する出力効率指標を算出する出力効率指標算出手段と、前記出力効率指標と、出力効率指標目標値との差を指標偏差として算出する指標偏差算出手段と、

前記NOx濃度推定値と、NOx濃度目標値との差を濃度偏差として算出する濃度偏差算出手段と、

前記指標偏差が大きいほど大きな値となり、かつ、前記濃度偏差が大きいほど大きな値となる評価値を算出する評価値算出手段と、

前記評価値が最小になるように、内燃機関の点火時期を制御する点火時期制御手段と、を備えることを特徴とする請求項1乃至7の何れか1項記載の内燃機関の制御装置。

【請求項9】

前記評価値算出手段は、前記指標偏差と前記濃度偏差とを、それぞれの重み係数の割合で前記評価値に反映させ、

内燃機関の状態に応じて、前記重み係数の割合を変化させる重み係数変更手段を備えることを特徴とする請求項8記載の内燃機関の制御装置。

【請求項10】

排気ガスを浄化するための触媒と、

前記触媒の劣化を判定する触媒劣化判定手段と、を備え、

前記重み係数変更手段は、前記触媒の劣化が認められた場合に、前記濃度偏差の重み係数の割合を大きくする劣化対応手段を含むことを特徴とする請求項9記載の内燃機関の制御装置。

【請求項11】

10

20

30

40

50

排気ガスを浄化するための触媒と、
前記触媒のNOx浄化余力を推定する浄化余力推定手段と、
前記触媒のNOx浄化余力を回復させるための再生処理を実行する再生手段と、
前記再生処理の実行可否を判断する実行可否判断手段と、を備え、
前記重み係数変更手段は、前記NOx浄化余力が判定値以下であり、かつ、前記再生処理の実行が不可である場合に、前記濃度偏差の重み係数の割合を大きくする再生不可対応手段を含むことを特徴とする請求項9又は10記載の内燃機関の制御装置。

【請求項12】

内燃機関の出力効率と相関を有する出力効率指標を算出する出力効率指標算出手段と、
前記NOx濃度推定値と、NOx濃度目標値との差を濃度偏差として算出する濃度偏差算出手段と、

前記出力効率指標の基本目標値を前記濃度偏差に基づいて修正することにより出力効率指標目標値を設定する指標目標値設定手段と、

前記出力効率指標が、前記出力効率指標目標値に近づくように、内燃機関の点火時期を制御する点火時期制御手段と、

を備えることを特徴とする請求項1乃至7の何れか1項記載の内燃機関の制御装置。

【請求項13】

バルブオーバーラップ期間が変化するように、内燃機関の吸気弁及び排気弁の少なくとも一方の開弁特性を変更することのできる可変動弁機構と、

前記NOx濃度推定値が、NOx濃度目標値に近づくように、前記可変動弁機構を制御する制御手段と、

を備えることを特徴とする請求項1乃至12の何れか1項記載の内燃機関の制御装置。

【請求項14】

内燃機関の筒内圧を検出する筒内圧センサと、

前記筒内圧に基づいて、前記筒内で消費される内部エネルギーと相関を有する内部エネルギー相関値を算出する内部エネルギー相関値算出手段と、

前記内部エネルギー相関値に基づいて、排気ガス中のNOx濃度推定値を算出するNOx濃度推定手段と、

機関回転数を検知する回転数センサと、を備え、

前記内部エネルギー相関値算出手段は、

筒内容積と、クランク角当たりの筒内圧力変化率との積を、膨張行程において積分した結果に基づいて前記内部エネルギー相関値を算出する第1の算出手段と、

膨張行程の開始直後の筒内容積と筒内圧力の積と、前記膨張行程の終了時点付近における筒内容積と筒内圧力の積との差に基づいて、前記内部エネルギー相関値を算出する第2の算出手段と、

機関回転数が判定値以下である場合には前記第1の算出手段による算出を選択し、機関回転数が前記判定値を超える場合には前記第2の算出手段による算出を選択する算出手法選択手段と、を備え、

前記判定値は、前記第1の算出手段の算出結果に基づいて前記NOx濃度推定値を算出することが可能な機関回転数の上限として設定することを特徴とする内燃機関の制御装置。

【請求項15】

排気ガス中のNOx濃度を検出するNOx濃度センサと、

前記NOx濃度の検出値と、前記NOx濃度推定値との差が判定値を超えている場合に、前記NOx濃度センサの異常を判定する異常判定手段と、

を備えることを特徴とする請求項1記載の内燃機関の制御装置。

【請求項16】

前記内燃機関は複数の気筒を有し、

前記筒内圧センサは、複数の気筒にそれぞれ配置され、

前記内部エネルギー相関値算出手段は、前記複数の気筒のそれぞれにつき前記内部エネルギー相関値を算出し、

前記NOx濃度推定手段は、前記複数の気筒のそれぞれにつき前記NOx濃度推定値を算出し、

前記複数の気筒のそれぞれについて算出されたNOx濃度推定値のばらつきが所定の範囲に収まっている場合に、NOx濃度推定値の推定結果が正しいと判断する正否判定手段を備えることを特徴とする請求項1乃至15の何れか1項記載の内燃機関の制御装置。

機関の空燃比制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、内燃機関の制御装置に係り、特に、車両に搭載される内燃機関の排気ガスに含まれるNOxの濃度を正確に推定するうえで好適な内燃機関の制御装置に関する。 10

【背景技術】

【0002】

従来、例えば特開2002-195071号公報に開示されるように、内燃機関の排気ガスに含まれるNOxの濃度を推定する機能を有するシステムが知られている。より具体的には、上記の特許文献には、吸入空気量、吸気温度、吸気圧力、空燃比、及びEGR (Exhaust Gas Recirculation) 率に基づいて、排気ガスのNOx濃度を推定する手法が開示されている。

【0003】

排気ガスのNOx濃度が演算により推定できれば、例えば、NOx濃度が許容値を超えないように内燃機関を制御することが可能となる。このため、上記の手法でNOx濃度を推定することは、内燃機関のエミッション特性を改善するうえで有用である。 20

【0004】

【特許文献1】特開2002-195071号公報

【特許文献2】特開2000-345895号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、排気ガスのNOx濃度は、筒内における混合気の燃焼状態に応じて大きな変動を示す。また、筒内における混合気の燃焼状態は、点火時期が変わることにより、更には、ノックが発生することにより、大きく変化する。そして、上記従来のシステムでは、このような燃焼状態の変化をNOx濃度の推定に反映させることはできない。この点、上記従来のシステムは、NOx濃度の推定精度において改良の余地を残すものであった。 30

【0006】

この発明は、上述のような課題を解決するためになされたもので、筒内圧を基礎データとして用いることにより排気ガスのNOx濃度を精度良く推定することのできる内燃機関の制御装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

第1の発明は、上記の目的を達成するため、内燃機関の制御装置であって、内燃機関の筒内圧を検出する筒内圧センサと、前記筒内圧に基づいて、前記筒内で消費される内部エネルギーと相関を有する内部エネルギー相関値を算出する内部エネルギー相関値算出手段と、前記内部エネルギー相関値に基づいて、排気ガス中のNOx濃度推定値を算出するNOx濃度推定手段と、を備え、 40

前記内部エネルギー相関値算出手段は、

膨張行程の開始後における特定クランク角までに終了した燃焼の割合を表すMFBを、前記筒内圧に基づいて算出するMFB算出手段を備え、

当該MFBを前記内部エネルギー相関値として算出することを特徴とする。

【0008】

また、第 2 の発明は、第 1 の発明において、
内燃機関の吸入空気量を検出する吸入空気量検出手段を備え、
前記NOx濃度推定手段は、
前記内部エネルギー相関値に基づいて、内燃機関から排出されるNOx排出量を算出するNOx
量算出手段と、

前記NOx排出量を前記吸入空気量で規格化することにより前記NOx濃度推定値を算出する
規格化手段と、を含むことを特徴とする。

【 0 0 0 9 】

また、第 3 の発明は、第 1 又は第 2 の発明において、
内燃機関の吸入空気量を検出する吸入空気量検出手段を備え、
前記NOx濃度推定手段は、前記吸入空気量が多量であるほど、前記NOx濃度推定値を低く
補正する補正手段を含むことを特徴とする。

10

【 0 0 1 0 】

また、第 4 の発明は、第 1 乃至第 3 の発明の何れかにおいて、
筒内で燃焼する混合気の空燃比を検出する空燃比検出手段を備え、
前記NOx濃度推定手段は、前記空燃比がリーンであるほど前記NOx濃度推定値を高く補正
する補正手段を含むことを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

また、第 5 の発明は、第 1 乃至第 4 の発明の何れかにおいて、
排気行程の後に筒内に残留する残留ガス量と相関を有する残留ガス量相関値を検知する
残留ガス量相関値検知手段を備え、
前記NOx濃度推定手段は、前記残留ガス量相関値に基づいて前記残留ガス量が多いと推
定されるほど、前記NOx濃度推定値を低く補正する補正手段を含むことを特徴とする。

20

【 0 0 1 2 】

また、第 6 の発明は、第 5 の発明において、
内燃機関の吸入空気量を検出する吸入空気量検出手段を備え、
前記補正手段は、前記吸入空気量と前記残留ガス量との和が多いと推定されるほど、前
記NOx濃度推定値を低く補正することを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

また、第 7 の発明は、第 1 乃至第 6 の発明の何れかにおいて、
前記NOx濃度推定値が、NOx濃度目標値に近づくように内燃機関を制御する制御手段と、
内燃機関の運転状態に基づいて、前記NOx濃度目標値を設定するNOx濃度目標値設定手段
と、
を備えることを特徴とする。

30

【 0 0 1 4 】

また、第 8 の発明は、第 1 乃至第 7 の発明の何れかにおいて、
内燃機関の出力効率と相関を有する出力効率指標を算出する出力効率指標算出手段と、
前記出力効率指標と、出力効率指標目標値との差を指標偏差として算出する指標偏差算
出手段と、

前記NOx濃度推定値と、NOx濃度目標値との差を濃度偏差として算出する濃度偏差算出手
段と、

40

前記指標偏差が大きいほど大きな値となり、かつ、前記濃度偏差が大きいほど大きな値
となる評価値を算出する評価値算出手段と、

前記評価値が最小になるように、内燃機関の点火時期を制御する点火時期制御手段と、
を備えることを特徴とする。

【 0 0 1 5 】

また、第 9 の発明は、第 8 の発明において、
前記評価値算出手段は、前記指標偏差と前記濃度偏差とを、それぞれの重み係数の割合
で前記評価値に反映させ、

内燃機関の状態に応じて、前記重み係数の割合を変化させる重み係数変更手段を備える

50

ことを特徴とする。

【0016】

また、第10の発明は、第9の発明において、
排気ガスを浄化するための触媒と、
前記触媒の劣化を判定する触媒劣化判定手段と、を備え、
前記重み係数変更手段は、前記触媒の劣化が認められた場合に、前記濃度偏差の重み係数の割合を大きくする劣化対応手段を含むことを特徴とする。

【0017】

また、第11の発明は、第9又は第10の発明において、
排気ガスを浄化するための触媒と、
前記触媒のNOx浄化余力を推定する浄化余力推定手段と、
前記触媒のNOx浄化余力を回復させるための再生処理を実行する再生手段と、
前記再生処理の実行可否を判断する実行可否判断手段と、を備え、
前記重み係数変更手段は、前記NOx浄化余力が判定値以下であり、かつ、前記再生処理の実行が不可である場合に、前記濃度偏差の重み係数の割合を大きくする再生不可対応手段を含むことを特徴とする。

【0018】

また、第12の発明は、第1乃至第7の発明の何れかにおいて、
内燃機関の出力効率と相関を有する出力効率指標を算出する出力効率指標算出手段と、
前記NOx濃度推定値と、NOx濃度目標値との差を濃度偏差として算出する濃度偏差算出手段と、
前記出力効率指標の基本目標値を前記濃度偏差に基づいて修正することにより出力効率指標目標値を設定する指標目標値設定手段と、
前記出力効率指標が、前記出力効率指標目標値に近づくように、内燃機関の点火時期を制御する点火時期制御手段と、
を備えることを特徴とする。

【0019】

また、第13の発明は、第1乃至第12の発明の何れかにおいて、
バルブオーバーラップ期間が変化するように、内燃機関の吸気弁及び排気弁の少なくとも一方の開弁特性を変更することのできる可変動弁機構と、
前記NOx濃度推定値が、NOx濃度目標値に近づくように、前記可変動弁機構を制御する制御手段と、
を備えることを特徴とする。

【0021】

また、第14の発明は、内燃機関の制御装置であって、
内燃機関の筒内圧を検出する筒内圧センサと、
前記筒内圧に基づいて、前記筒内で消費される内部エネルギーと相関を有する内部エネルギー相関値を算出する内部エネルギー相関値算出手段と、
前記内部エネルギー相関値に基づいて、排気ガス中のNOx濃度推定値を算出するNOx濃度推定手段と、

機関回転数を検知する回転数センサと、を備え、
前記内部エネルギー相関値算出手段は、
筒内容積と、クランク角当たりの筒内圧力変化率との積を、膨張行程において積分した結果に基づいて前記内部エネルギー相関値を算出する第1の算出手段と、
膨張行程の開始直後の筒内容積と筒内圧力の積と、前記膨張行程の終了時点付近における筒内容積と筒内圧力の積との差に基づいて、前記内部エネルギー相関値を算出する第2の算出手段と、

機関回転数が判定値以下である場合には前記第1の算出手段による算出を選択し、機関回転数が前記判定値を超える場合には前記第2の算出手段による算出を選択する算出手法選択手段と、

を備えることを特徴とする。

【 0 0 2 2 】

また、第 1 5 の発明は、第 1 の発明において、

排気ガス中のNOx濃度を検出するNOx濃度センサと、

前記NOx濃度の検出値と、前記NOx濃度推定値との差が判定値を超えている場合に、前記NOx濃度センサの異常を判定する異常判定手段と、

を備えることを特徴とする。

【 0 0 2 3 】

また、第 1 6 の発明は、第 1 乃至第 1 5 の発明の何れかにおいて、

前記内燃機関は複数の気筒を有し、

前記筒内圧センサは、複数の気筒にそれぞれ配置され、

前記内部エネルギー相関値算出手段は、前記複数の気筒のそれぞれにつき前記内部エネルギー相関値を算出し、

前記NOx濃度推定手段は、前記複数の気筒のそれぞれにつき前記NOx濃度推定値を算出し、

、

前記複数の気筒のそれぞれについて算出されたNOx濃度推定値のばらつきが所定の範囲に収まっている場合に、NOx濃度推定値の推定結果が正しいと判断する正否判定手段を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 2 4 】

第 1 の発明によれば、内燃機関の筒内圧に基づいて、内部エネルギー相関値を算出することができる。NOxは、燃焼ガスの温度が上がることにより発生し易くなる。このため、NOx濃度は、筒内で消費される内部エネルギーに対して強い相関を示す。従って、本発明によれば、排気ガスのNOx濃度を精度良く推定することができる。

また、この発明によれば、内部エネルギー相関値としてMFBを算出し、そのMFBに基づいてNOx濃度推定値を算出することができる。このため、本発明によれば、NOx濃度推定値を簡単に求めることができる。

【 0 0 2 5 】

第 2 の発明によれば、内部エネルギー相関値に基づいて、NOx排出量を算出することができる。NOx排出力は、燃焼ガス量が多ければ当然に多量となる。本発明によれば、NOx排出力を吸入空気量で規格化することにより、NOx濃度を精度良く算出することができる。

【 0 0 2 6 】

第 3 の発明によれば、吸入空気量が多量であるほどNOx濃度推定値を低く補正することができる。内部エネルギーは、吸入空気量が少ない領域では、吸入空気量の増加に対して比例的な増加を示す。しかしながら、吸入空気量が多い領域では、放熱によって失われるエネルギー等の割合が大きくなり、吸入空気量の増加に対する内部エネルギーの増加割合が緩やかになる。その結果、吸入空気量が多い領域では、吸入空気量に対して、発生するNOx量が相対的に少量となる。本発明によれば、その影響を補正することにより、吸入空気量の多少によらず、NOx濃度を正確に推定することができる。

【 0 0 2 7 】

第 4 の発明によれば、空燃比がリーンであるほどNOx濃度推定値を高く補正することができる。NOxは、空燃比がリーンとなるほど、つまり、混合気中の酸素が多量となるほど発生し易くなる。本発明によれば、その影響を補正することにより、空燃比の高低によらず、NOx濃度を正確に推定することができる。

【 0 0 2 8 】

第 5 の発明によれば、排気行程の後に筒内に残留する残留ガス量が多いほど、NOx濃度推定値を低く補正することができる。筒内で発生したエネルギーは、残留ガスに奪われるため、残留ガス量が多いほど燃焼ガスの温度は上昇し難くなる。このため、残留ガスが多いほど、NOx濃度は低くなり易い。本発明によれば、その影響を補正することにより、残留ガスの多少によらず、NOx濃度を正確に推定することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

第 6 の発明によれば、吸入空気量と残留ガス量との和が多いほど、NOx濃度推定値を低く補正することができる。このため、本発明によれば、吸入空気量の影響と、残留ガスの影響の双方を、適切にNOx濃度に反映させることができる。

【 0 0 3 0 】

第 7 の発明によれば、NOx濃度推定値がNOx濃度目標値に近づくように内燃機関を制御することができる。更に、本発明によれば、内燃機関の運転状態に基づいて、NOx濃度目標値を変更することができる。このため、本発明によれば、NOx濃度を適切に制御しながら、高い自由度をもって内燃機関に対する要求に応えることができる。

【 0 0 3 1 】

第 8 の発明によれば、出力効率指標とその目標値との差（指標偏差）が大きいほど、かつ、NOx濃度推定値とその目標値との差（濃度偏差）が大きいほど、大きな値となる評価値を算出することができる。更に、本発明によれば、その評価値が最小となるように点火時期を制御することができる。評価値は、出力効率とNOx濃度推定値が、共に目標に近づくほど小さな値となる。このため、本発明によれば、出力効率とNOx濃度の双方を最適化した状態で内燃機関を動作させることができる。

【 0 0 3 2 】

第 9 の発明によれば、出力効率の目標からのずれを意味する指標偏差と、NOx濃度前記濃度偏差とを、それぞれの重み係数の割合で評価値に反映させることができる。更に、本発明によれば、その重み係数の割合を変化させることができる。このため、本発明によれば、出力効率を重視する状態からNOx濃度を重視する状態まで、内燃機関の状態を変化させることができる。

【 0 0 3 3 】

第 1 0 の発明によれば、触媒の劣化が認められた場合に、NOx濃度を重視する設定とすることができる。このような設定によれば、触媒が劣化した状況下でも、NOxの排出量を十分に抑制することができる。

【 0 0 3 4 】

第 1 1 の発明によれば、触媒のNOx浄化力は、再生処理を行うことにより回復させることができる。但し、再生処理の実行が不可である場合は、その回復を図ることができない。本発明によれば、このような状況下で、NOx濃度を重視する設定とすることができる。このような設定によれば、触媒が浄化すべきNOx量が減るため、再生処理が実行可能となるまでに排出されるNOx量を十分に抑えることができる。

【 0 0 3 5 】

第 1 2 の発明によれば、出力効率指標の基本目標値を、NOx濃度推定値とその目標値との差（濃度偏差）に基づいて修正することができる。更に、本発明によれば、内燃機関の出力効率指標が、修正後の出力効率指標目標値に近づくように点火時期を制御することができる。このため、本発明によれば、出力効率とNOx濃度の双方を最適化した状態で内燃機関を動作させることができる。

【 0 0 3 6 】

第 1 3 の発明によれば、可変動弁機構を作動させることにより、バルブオーバーラップ期間を変化させ、その結果、筒内の残留ガス量を変化させることができる。残留ガス量は、NOx濃度に影響を与える。本発明では、この性質を利用して、NOx濃度推定値がその目標値に近づくように、可変動弁機構を制御することができる。このため、本発明によれば、点火時期に影響を与えることなく、NOx濃度推定値をその目標値に近づけることができる。

【 0 0 3 8 】

第 1 4 の発明によれば、積分演算を伴う第 1 の算出方法と、演算負荷の低い第 2 の算出方法とで内部エネルギー相関値を算出することができる。また、本発明によれば、演算負荷の高い第 1 の算出方法は、機関回転数が低い領域でのみ用いられ、機関回転数の高い領域では第 2 の算出方法が用いられる。このため、本発明によれば、低回転領域においてNOx

10

20

30

40

50

濃度推定を高い精度で算出し、かつ、高回転領域において、過剰な演算負荷が生ずるのを防ぐことができる。

【 0 0 3 9 】

第 1 5 の発明によれば、NOx濃度の検出値が、NOx濃度推定値から大きく外れているか否かを判断することにより、NOx濃度センサの異常判定を正確に行うことができる。

【 0 0 4 0 】

第 1 6 の発明によれば、複数の気筒のそれぞれについて算出されたNOx濃度推定値を比較することにより、NOx濃度推定値が正しいか否かを判断することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 4 1 】

10

実施の形態 1 .

[実施の形態 1 の構成]

図 1 は、本発明の実施の形態 1 のシステムの構成を説明するための図である。本実施形態のシステムは、内燃機関 1 0 を備えている。内燃機関 1 0 は、複数の気筒を備える多筒式の機関である。図 1 には、それらの気筒のうちの 1 つを代表例として示している。

【 0 0 4 2 】

内燃機関 1 0 の個々の気筒には、吸気通路 1 2 と排気通路 1 4 が連通している。筒内 1 6 と吸気通路 1 2 との境界には、吸気弁 1 8 が設けられている。吸気弁 1 8 は、可変動弁機構 (VVT) 2 0 によって駆動される。可変動弁機構 2 0 は、吸気弁 1 8 の開弁タイミングを変化させることができる。筒内 1 6 と排気通路 1 4 との境界には、排気弁 2 2 が配置されている。排気弁 2 2 は、VVT 2 0 と同様の機能を有する VVT 2 4 により駆動される。

20

【 0 0 4 3 】

吸気通路 1 2 には、吸入空気量 G_a を検出するためのエアフロメータ 2 6 が組み付けられている。エアフロメータ 2 6 の下流には、スロットル弁 2 8 が配置されている。また、個々の気筒に通じる吸気ポートには、燃料噴射弁 3 0 が配置されている。更に、個々の気筒には、点火プラグ 3 2 と筒内圧センサ 3 4 とが組み付けられている。

【 0 0 4 4 】

内燃機関 1 0 は、クランク角を検知するためのクランク角センサ 3 6 を備えている。内燃機関 1 0 のシリンダブロックには、冷却水温 THW を検知するための水温センサ 3 8 が組み付けられている。排気通路 1 4 は、排気空燃比を検知するための空燃比センサ 4 0 を備えている。空燃比センサ 4 0 の下流側には、排気ガスを浄化するための触媒 4 2 が配置されている。

30

【 0 0 4 5 】

本実施形態のシステムは、ECU (Electronic Control Unit) 5 0 を備えている。ECU 5 0 には、上述した各種のセンサ及びアクチュエータが接続されている。ECU 5 0 は、それらのセンサから送信される信号に基づいて、内燃機関 1 0 の状態を、適切に制御することができる。

【 0 0 4 6 】

[実施の形態 1 の特徴]

本実施形態のシステムは、筒内圧センサ 3 4 の出力 P に基づいて、排気ガス中の NOx 濃度推定値 $[NOx]$ を算出する機能を有している。以下、本実施形態のシステムが、NOx 濃度推定値 $[NOx]$ を算出する手法について説明する。

40

【 0 0 4 7 】

内燃機関 1 0 の筒内で発生するエネルギーは、主として、出力トルクに変換される仕事エネルギー Q_w と、筒内で消費される内部エネルギー Q_i (筒内ガスを昇温させるエネルギー) に変換される。排気ガス中の NOx は、膨張行程において筒内ガスが過熱されることにより発生する。このため、NOx の発生量は、筒内で発生する内部エネルギーと相関を有している。

【 0 0 4 8 】

混合気の燃焼に伴って生成される内部エネルギーは、次式により求めることができる。但し、 V 、 P は、それぞれ、クランク角 θ における筒内容積 V 及び筒内圧力 P を意味するも

50

のとする。また、次式の積分期間は、点火クランク角 θ_1 から燃焼終了クランク角 θ_2 までとする。

$$Q_i = V \cdot (dP/d\theta) d\theta \cdots (1)$$

【0049】

内燃機関10における空燃比は、原則として理論空燃比に制御される。このような前提の下では、混合気のポテンシャルエネルギーは、吸入空気量 G_a （負荷率 KL ）に比例する。従って、筒内で発生する内部エネルギーの値、及び筒内で発生する NO_x の量も、吸入空気量 G_a （負荷率 KL ）に比例する。従って、排気ガスの NO_x 濃度推定値 $[NO_x]$ は、上記（1）式により得られる内部エネルギーを、 KL で規格化した値に対して相関を示す。次式は、その関係を示したものである。但し、次式の $f(KL)$ は比例係数である。

$$\begin{aligned} [NO_x] &= \frac{Q_i}{KL} \\ &= \frac{V \cdot (dP/d\theta) d\theta}{KL} \cdots (2) \end{aligned}$$

【0050】

図2は、内燃機関10の負荷率 KL と、 NO_x 排出量の実測値との関係を示す図である。上記（1）式では、内部エネルギー Q_i が、負荷率 KL と比例することを前提としている。しかしながら、負荷率 KL が大きくなり、筒内で発生するエネルギーが多量になると、壁面を伝って放出されるエネルギーロス等の割合が大きくなり、負荷率 KL の増加に対する内部エネルギーの増加率が緩やかになる。図2に示す結果は、その現象が反映されたものであり、負荷率が40に達するまでは、 NO_x 排出量がほぼ KL に比例し、負荷率 KL が40を超える領域では、負荷率 KL が大きくなるに従って、 NO_x 排出量の増加率が緩やかになることを表している。

【0051】

図3は、負荷率 KL が大きい領域で NO_x 排出量の増加率が緩やかになる傾向を NO_x 濃度推定値 $[NO_x]$ に反映させるための補正係数 $f(KL)$ の一例を説明するための図である。図3に示す補正係数 $f(KL)$ は、 KL が40以下の領域では基準値の1.0に維持され、 KL が40を超える領域では、 KL の増加に対して比例的に減少する。この $f(KL)$ は、以下の式によって表すことができる。

$$\begin{aligned} f(KL) &= (200 - KL) / 160 \\ \text{但し、} f(KL) &> 1 \text{ のときは } f(KL) = 1 \cdots (3) \end{aligned}$$

【0052】

図4は、 $Y = KL$ の関係と $Y = KL \cdot f(KL)$ の関係を、 $0 \leq KL \leq 100$ の範囲において表した図である。図4に示すように、 $Y = KL \cdot f(KL)$ の曲線は、図2に示す NO_x 排出量の実測値と負荷率 KL の関数に似た曲線となる。このように、上記の補正係数 $f(KL)$ は、 KL に対して比例的な増加を示す変数に掛け合わせるにより、その変数の変化を、現実の NO_x 排出量の変化（図2に示す変化）に近似させることができる。従って、上記（1）式の結果（ Q_i ）に $f(KL)$ を掛け合わせれば、負荷率 KL の下で現実に発生する内部エネルギーを精度良く推定することができる。また、上記（2）式の結果（ $[NO_x]$ ）に $f(KL)$ を掛け合わせれば、負荷率 KL の下での現実の NO_x 濃度を精度良く推定することが可能である。

【0053】

以下に示す演算式は、上記（2）式の積分項を、ECU50による処理（離散値の積算）に合わせて \sum の項に置き換え、かつ、比例計数 θ を上記（3）式の補正係数 $f(KL)$ に置き換えたものである。

【0054】

【数1】

$$[NO_x] = \frac{\left(\sum_{\theta_1}^{\theta_2} V_{\theta} \frac{dP_{\theta}}{d\theta} \Delta\theta \right) \times f(KL)}{KL} \cdots (4)$$

【0055】

10

20

30

40

50

本実施形態のシステムは、内燃機関 10 の運転中に、上記 (4) 式に従って NOx 濃度推定値を算出する。具体的には、ECU 50 は、膨張行程毎に、その行程に先立って吸入された吸入空気量 Ga に基づいて負荷率 KL を算出する。また、ECU 50 は、膨張行程において、所定のクランク角 毎に、筒内容積 V 及び筒内圧力 P を検出する。ECU 50 は、クランク角 との関係で、個々の気筒の筒内容積 V を定めたマップを記憶している。ここでは、そのマップに従って、クランク角センサ 36 の出力値に基づいて、筒内容積 V が算出される。筒内圧力 P については、筒内圧センサ 34 の出力に基づいて検出される。

【0056】

ECU 50 は、点火クランク角 θ_1 から燃焼終了クランク角 θ_2 まで、所定のクランク角 毎に、 $\{V \cdot (dP/d\theta)\}$ の積算を進行させる。その結果として得られた積算値に、負荷率 KL に基づく規格化と、補正係数 f (KL) による補正とが施されることにより、上記 (4) 式による NOx 濃度推定値 [NOx] が算出される。

10

【0057】

上記 (4) 式の推定では、NOx 濃度の基礎データとして、筒内圧 P が用いられている。このような推定の手法によれば、点火時期の変動や、ノックの発生に起因して、筒内での混合気の燃焼状態が変化した場合に、その変化を NOx 濃度推定値 [NOx] に反映させることができる。このため、上述した推定の手法によれば、内燃機関 10 の運転状態の変化に関わらず、常に高い精度で NOx 濃度を推定する機能を実現することができる。

【0058】

図 5 は、本実施形態のシステムが算出した NOx 濃度推定値 [NOx] と、内燃機関 10 の排気ガス中の NOx 濃度の実測値との相関を示した図である。図 5 に示す各点は、異なる条件下で得られた NOx 濃度推定値 [NOx] と、NOx 濃度の実測値との組みをプロットしたものである。ここで、「異なる条件」とは、機関回転数 NE 及び負荷率 KL が異なることを意味する。但し、混合気の空燃比は理論空燃比に制御されているものとする。

20

【0059】

図 5 に示す結果は、上記 (4) 式により算出された NOx 濃度推定値 [NOx] が、あらゆる運転条件下で、NOx 濃度の実測値に対して極めて高い相関を示すことを表している。このように、本実施形態のシステムによれば、あらゆる運転状況の下で、NOx 濃度の実測値と精度良く一致する NOx 濃度推定値 [NOx] を算出することが可能である。

【0060】

30

ところで、上述した実施の形態 1 においては、ECU 50 が、(4) 式における $\{V \cdot (dP/d\theta)\}$ の積算処理を行うことにより、前記第 1 の発明における「内部エネルギー相関値算出手段」が実現されている。また、ECU 50 が、その結果に対して、KL による規格化と、f (KL) による補正とを施すことにより前記第 1 の発明における「NOx 濃度推定手段」が実現されている。

【0061】

また、上述した実施の形態 1 においては、エアフロメータ 26 が前記第 2 又は第 3 の発明における「吸入空気量検出手段」に相当している。更に、ECU 50 が、(4) 式における $\{V \cdot (dP/d\theta)\}$ の積算処理を行うことにより前記第 2 の発明における「NOx 量算出手段」が実現されている。更に、ECU 50 が、その積算処理の結果に対して KL による規格化を施すことにより前記第 2 の発明における「規格化手段」が、f (KL) による補正を施すことにより前記第 3 の発明における「補正手段」が、それぞれ実現されている。

40

【0062】

実施の形態 2 .

次に、本発明の実施の形態 2 について説明する。本実施形態のシステムは、図 1 に示す構成において、ECU 50 に、後述する (5) 式に従って NOx 濃度推定値 [NOx] を算出させることにより実現することができる。

【0063】

上述した実施の形態 1 では、内燃機関 10 が、空燃比が理論空燃比に制御された状態で作動することを前提としている。しかしながら、内燃機関 10 においては、燃料の増量補

50

正や減量補正が要求されることがある。そして、内燃機関 10 の空燃比は、それらの要求に応じた燃料制御が実行されることにより、必然的に理論空燃比から外れた値となる。

【0064】

排気ガス中のNO_xは、混合気中に存在する酸素が多量であるほど、つまり、空燃比がリーンであるほど発生し易い。このため、空燃比が理論空燃比から外れる領域においてNO_x濃度を正確に推定するためには、空燃比の影響を、NO_x濃度推定値[NO_x]に反映させることが必要である。

【0065】

以下に示す演算式(5)は、上記の要求に応えるためのものである。具体的には、式(5)は、上記(4)式の右辺に、空燃比補正係数を掛け合わせたものである。但し、空燃比補正係数は、排気空燃比A/Fの実測値と、理論空燃比(ここでは「14.5」とする)との比($= (A/F) / 14.5$)とする。

【0066】

【数2】

$$[NO_x] = \frac{\left(\sum_{\theta_1}^{\theta_2} v_{\theta} \frac{dP_{\theta}}{d\theta} \Delta\theta \right) \times f(KL)}{KL} \times \lambda \quad \dots(5)$$

【0067】

ECU50は、空燃比センサ40の出力により、排気空燃比A/Fを実測することができる。また、上記の空燃比補正係数は、空燃比A/Fが理論空燃比に一致する場合に基準値1.0となり、A/Fがリーンになるほど大きな値に、また、A/Fがリッチになるほど小さな値になる。このため、上記(5)式によれば、空燃比がNO_xの発生量に与える影響を、適切にNO_x濃度推定値[NO_x]に反映させることができる。従って、本実施形態のシステムによれば、空燃比が理論空燃比から外れる状況下でも、NO_x濃度推定値[NO_x]を極めて精度良く算出することができる。

【0068】

尚、上述した実施の形態2においては、空燃比センサ40が前記第4の発明における「空燃比検出手段」に相当している。また、ECU50が、(5)式に示すの積算処理を行うことにより前記第4の発明における「補正手段」が実現されている。

【0069】

実施の形態3.

次に、図6乃至図8を参照して、本発明の実施の形態3について説明する。本実施形態のシステムは、図1に示す構成に、吸気管圧力P_mを検知する圧力センサを加えると共に、ECU50に、後述する(6)式に従ってNO_x濃度推定値[NO_x]を算出させることにより実現することができる。

【0070】

筒内で発生するNO_xの量は、筒内ガスが高温になるほど多量になり易い。筒内には、吸気行程において吸入された新気と共に、筒内に残留した残留ガス(EGRガスを含む)が存在している。筒内で発生したエネルギーは、残留ガスの昇温によっても消費される。このため、残留ガスが多量であるほど、筒内ガスの温度は上昇しにくく、その結果、NO_xの生成量が少量となる。

【0071】

上述した実施の形態1及び2は、筒内に残留する既燃ガスの割合が大きく変動しないことを前提としてNO_x濃度推定値[NO_x]を算出している。しかしながら、内燃機関10においては、VVT20, 24の機能によってバルブオーバーラップが変化すると、筒内の残留ガスの割合に有意な変化が生ずる。このため、上述した実施の形態1又は2における手法では、VVT20, 24がバルブオーバーラップを変化させた場合に、NO_x濃度の推定精度が低

10

20

30

40

50

下する事態が生じ得る。

【 0 0 7 2 】

図 6 は、VVTの作動に伴う残留ガス量の変化が、(4) 式(実施の形態 1) によるNOx濃度推定値[NOx]に与える影響を示す結果である。図 6 に示す各点は、異なる条件下で算出されたNOx濃度推定値[NOx]と、NOx濃度の実測値との組みをプロットしたものである。図 6 中に「吸気弁進角小」として示した点は、吸気弁 1 8 の進角量が少なくなるように、つまり、バルブオーバーラップが小さくなるようにVVT 2 0 を作動させた場合の結果である。他方、図 6 中に「吸気弁進角大」として示した点は、吸気弁 1 8 の進角量が多くなるように、つまり、バルブオーバーラップが大きくなるようにVVT 2 0 を作動させた場合の結果である。

10

【 0 0 7 3 】

図 6 に示す結果は、進角量が少なく残留ガス(内部EGRガス) 量が少ない状況下では、現実には、その影響でNOxが多量に発生しているのに対して、(4) 式による[NOx]値が過小になっていることを表している。また、この結果は、進角量が多く残留ガス量が多い状況下では、現実には、その影響でNOx発生量が少なくなるのに対して、(4) 式では過大な[NOx]値が算出されることを表している。

【 0 0 7 4 】

本実施形態のシステムは、筒内の残留ガス量を、NOx濃度推定値[NOx]に反映させることにより、上記の理由に起因する推定誤差を十分に抑制する点に特徴を有している。以下、残留ガス量を[NOx]に反映させるための手法を説明する。

20

【 0 0 7 5 】

図 7 は、吸気弁 1 8 の進角量と、吸気管圧力Pmとの関係を説明するための図である。図 7 に示す複数の実線は、それぞれ、機関回転数NE及び負荷率KLを一定として吸気弁 1 8 の進角量(バルブオーバーラップ) を変化させた場合に得られた複数の結果(点) を結んだものである。これらの実線は、それぞれ、バルブオーバーラップと吸気管圧力Pmとが互いに相関していることを示している。より具体的には、図 7 に示す複数の実線は、バルブオーバーラップが大きくなり、残留ガス量が多量になるほど、吸気管圧力Pmが高くなることを示している。このため、吸気管圧力Pmは、残留ガス量の代用特性値として用いることが可能である。

【 0 0 7 6 】

30

以下に示す演算式(6) は、吸気管圧力Pmを用いて、残留ガス量の影響をNOx濃度推定値[NOx]に反映させるための式である。但し、(6) 式における α は、燃料噴射弁 3 0 に指令する燃料噴射時間である。

【 0 0 7 7 】

【 数 3 】

$$[NOx] = \alpha \times \frac{\left(\sum_{\theta_1}^{\theta_2} v_{\theta} \frac{dP_{\theta}}{d\theta} \Delta\theta \right)}{\tau} \times f(P_m) \quad \dots (6)$$

40

【 0 0 7 8 】

上記(6) 式は、実質的には、(5) 式における補正係数f(KL)を、Pmをパラメータとするf(Pm)に置き換えたものである。すなわち、(5) 式における(1 /KL) * は、以下に示すように展開することができる。

$$\begin{aligned} & (1 /KL) * \\ & = (1 /KL) * (A/F) / 14.5 \quad \dots (7) \end{aligned}$$

【 0 0 7 9 】

KLは、吸入空気量Gaの相関値であり、AはGaを意味するから、(1 /KL) * Aは係数に置

50

き換えることができる。この係数と 14.5 を一つの係数 で表せば、(7) 式の関係は、以下のように表すことができる。

$$(1/KL)^* = 1/F \dots (8)$$

【0080】

Fは燃料噴射量であるから、に置き換えることができる。従って、(5) 式における $(1/KL)^*$ は、(6) 式における $*(1/)$ と等価である。このため、(6) 式は実質的には、補正係数fのパラメータが、負荷率KLから吸気管圧力Pmに置き換えられている点を除いて、(5) 式と同一である。

【0081】

補正係数 f (Pm) は、図 3 に示す f (KL) と同様に、吸気管圧力Pmが低い領域では基準値 1.0 を維持し、吸気管圧力Pmが大きい領域では、Pmが大きくなるほど最小値 0 に向かって減少する。吸気管圧力Pmは、上述した通り、残留ガス量が多いほど高い値となる(図 7 参照)。従って、補正係数 f (Pm) によれば、残留ガス量が多く、現実のNOx量が少なくなり易いほど、NOx濃度推定値[NOx]を小さく補正することができる。

【0082】

図 8 は、上記(6) 式に従って算出したNOx濃度推定値[NOx]と、NOx濃度の実測値との相関を示した図である。図 8 に示す各点は、機関回転数NE及び負荷率KLに加えて、吸気弁 18 のVVT 20 の状態をも変化させて得た、NOx濃度推定値[NOx]とNOx濃度の実測値との組み合わせをプロットしたものである。図 8 に示すように、上記(6) 式によれば、VVT 20 の状態変化の影響を受けることなく、NOxの実測値に対して常に高い相関を示すNOx濃度推定値[NOx]を算出することができる。このため、本実施形態のシステムによれば、残留ガス量の多少に関わらず、排気ガスのNOx濃度を正確に推定することができる。

【0083】

ところで、上述した実施の形態 3 では、残留ガスの影響を、吸気管圧力Pmを用いてNOx濃度推定値[NOx]に反映させることとしているが、その手法はこれに限定されるものではない。すなわち、筒内の残留ガス量は、例えば、吸気行程圧力と、排気行程圧力とを基礎データとすることで、公知の手法(例えば筒内DJ手法)により算出することができる。残留ガス量が算出できれば、吸気管圧力Pmと同様の特性、つまり、残留ガス量が多いほど大きな値となり、かつ、負荷率KLが大きいほど大きな値となる特性を示す他のパラメータを設定することができる。このパラメータを、Pmに置き換えて(6) 式の演算を行うことによっても、残留ガス量の影響を[NOx]に反映させることは可能である。

【0084】

また、上述した実施の形態 3 では、補正係数 f (Pm) を用いて、負荷率KLの影響と共に残留ガス量の影響をNOx濃度推定値[NOx]に反映させることとしているが、その手法はこれに限定されるものではない。すなわち、NOx濃度推定値[NOx]の精度を高めるうえでは、残留ガス量が多いほど、[NOx]が小さく補正されれば十分である。従って、残留ガス量が判る場合には、例えば、(5) 式の右辺分母に残留ガス量を反映させることで上記の機能を実現することとしてもよい。

【0085】

また、上述した実施の形態 3 では、残留ガス量が増加する原因が、バルブオーバーラップの変化に限定されているが、その原因はこれに限定されるものではない。例えば、排気ガスを吸気系に還流させるEGR機構を備える内燃機関においては、残留ガス量が、そのEGR機構の状態に応じて変化することがある。本実施形態の手法によれば、残留ガス量の変化が、如何なる原因により生じたかに関わらず、常にその影響を精度良くNOx濃度推定値[NOx]に反映させることができる。

【0086】

また、上述した実施の形態 3 においては、吸気管圧力Pmを、吸気圧センサにより検知することとしているが、その検知の手法はこれに限定されるものではない。例えば、エアフロメータ 26 によって検出される吸入空気量Gaや、クランク角センサ 36 によって検知される機関回転数NE等に基づいて、公知の手法で吸気管圧力Pmを推定することとしてもよい

10

20

30

40

50

。

【 0 0 8 7 】

尚、上述した実施の形態 3 においては、吸気圧センサが前記第 5 の発明における「残留ガス量相関値検知手段」に相当している。また、ECU 5 0 が、(6) 式における補正係数 f (P_m) の積算処理を行うことにより前記第 5 の発明における「補正手段」が実現されている。

。

【 0 0 8 8 】

また、上述した実施の形態 3 においては、エアフロメータ 2 6 が、前記第 6 の発明における吸入空気量検出手段に相当している。また、ECU 5 0 に、残留ガス量を算出させることにより、前記第 5 の発明における「残留ガス量相関値検知手段」を実現することができる。更に、ECU 5 0 に、残留ガス量が多いほど大きな値となり、かつ、負荷率 KL が大きいほど大きな値となるパラメータを設定させ、 P_m をそのパラメータに置き換えて (6) 式の演算を実行させることにより前記第 6 の発明における「補正手段」を実現することができる。

10

【 0 0 8 9 】

実施の形態 4 .

[実施の形態 4 の特徴]

次に、図 9 及び図 1 0 を参照して、本発明の実施の形態 4 について説明する。図 9 は、本実施形態において、ECU 5 0 が実行する制御の内容を説明するためのブロック図である。図 9 に示すように、本実施形態では、ECU 5 0 の内部に、 NO_x 算出部 5 2、MFB 算出部 5 4、及び SA 決定部 5 6 が形成される。これらは、何れも、ECU 5 0 が、その内部に記憶されている制御プログラムを実行することにより実現される。

20

【 0 0 9 0 】

NO_x 算出部 5 2 は、上述した実施の形態 1 乃至 3 の何れかの手法で NO_x 濃度推定値 [NO_x] を算出する部分である。MFB 算出部 5 4 は、以下に説明する手法により、筒内の燃焼状態の特性値である MFB を算出する部分である。MFB は、点火の実行後、クランク角が特定クランク角に達するまでに生じた熱量 Q_1 と、燃焼終了クランク角 (本実施形態では $ATDC 60^\circ$ CA とする) に達するまでに生じた発熱量 $Q_{@ATDC60}$ との比 ($Q_1 / Q_{@ATDC60}$) で表される。

【 0 0 9 1 】

内燃機関 1 0 が発生するトルクは、負荷率 KL や空燃比 A/F が同じでも、点火時期が異なれば異なった値となる。このため、内燃機関 1 0 の点火時期は、出力特性を向上させる観点からは、最も効率的にトルクを発生させるクランク角に制御することが望ましい。つまり、出力向上の観点からは、点火進角値 SA を、上記のクランク角を実現する値 (MBT) に制御することが望ましい。

30

【 0 0 9 2 】

本実施形態において、MFB 算出部 5 4 は、特に、上記の特定クランク角を上死点后 ($ATDC$) 8° CA として MFB を算出する。以下、この点が明確になるように、本実施形態における MFB を、「 $MFB_{@ATDC8}$ 」とする。以下に示す (9) 式は、MFB 算出部 5 4 によって算出される $MFB_{@ATDC8}$ の演算式である。

$$MFB_{@ATDC8} = Q_{@ATDC8} / Q_{@ATDC60} \quad \cdots (9)$$

40

【 0 0 9 3 】

上記 (9) 式 (特に、 $ATDC 8^\circ$ CA を第 1 のクランク角とすること) は、内燃機関 1 0 の特性に合わせて設定したものである。本実施形態において、この式 (9) により算出される $MFB_{@ATDC8}$ は、内燃機関 1 0 の点火進角値 SA と MBT との一致程度に対して相関を有している。より具体的には、上記の $MFB_{@ATDC8}$ は、内燃機関 1 0 の点火進角値 SA が MBT に近づくに連れて 0 . 5 に近づき、両者が一致する状況下で 0 . 5 となる。このため、 $MFB_{@ATDC8}$ は、本実施形態において、点火進角値 SA と MBT との一致度合いを表す特性値として用いることができる。

【 0 0 9 4 】

SA 決定部 5 6 は、 NO_x 濃度推定値 [NO_x] と $MFB_{@ATDC8}$ とに基づいて、内燃機関 1 0 におい

50

て用いるべき点火進角値SAを決定する部分である。SA決定部56は、より具体的には、第1に、次式(10)に従って評価関数Jを算出する。但し、次式中「A」は、内燃機関10の運転状態に応じて適宜決定される重み付け係数である。また、次式中「a」は、内燃機関10が目標とするNOx濃度、つまり、[NOx]の目標値である。

$$J = A \times (MFB_{@ATDC8} - 0.5)^2 + (1 - A) \times ([NOx] - a)^2 \quad \dots (10)$$

【0095】

(10)式によって算出される評価値Jは、 $MFB_{@ATDC8}$ が0.5に近いほど、つまり、点火進角値SAがMBTに近いほど小さな値となり、かつ、[NOx]が目標値aに近いほど小さな値となる。但し、点火進角値SAがMBTに近い領域では、それらが近づくに従って、NOxが増える傾向がある。このため、点火進角値SAを徐々にMBTに近づけていった場合、評価値Jは、一旦減少した後、増加に転じる傾向を示す。

10

【0096】

内燃機関10においては、高い出力効率が望まれると同時に、NOx排出量が少ないことも望まれる。上記の評価値Jは、 $MFB_{@ATDC8}$ 及び[NOx]の双方が、バランス良くそれぞれの目標値(最適値)に近づいた際に最小の値となる。従って、出力効率に関する要求とNOx排出量に関する要求とを高いレベルで両立させるうえでは、評価値Jが最小値となるような点火進角値SAを設定することが望ましい。

【0097】

本実施形態において、SA決定部56は、第2に、上記(10)式によって算出される評価値Jを最小とする点火進角値SAを探索する。具体的には、点火進角値SAを変化させながら評価値Jを算出し、その値Jを最小とする最適なSAを探索する。そして、SA決定部56は、このようにして探索したSAを、内燃機関10に対する指令値として保持する。以上の処理により、本実施形態のシステムは、内燃機関10に対して、優れた排気エミッション特性と、優れた出力特性とを共に付与することができる。

20

【0098】

[実施の形態4における具体的処理]

図10は、本実施形態において、ECU50が実行するルーチンのフローチャートである。図10に示すルーチンでは、先ず、内燃機関10の運転条件が読み込まれる(ステップ100)。ここでは、具体的には、機関回転数NE、負荷率KL(吸入空気量Ga)に加えて、実施の形態1乃至3の何れかの手法で算出された[NOx]、並びに公知の手法で算出されたMFBが読み込まれる。

30

【0099】

次に、NOx濃度の目標値aが選択される(ステップ102)。内燃機関10が目標とするNOx濃度は、必ずしも一定ではない。すなわち、内燃機関10に要求される様々な要求にバランス良く応えるためには、NOx濃度の目標値aは、内燃機関10の運転状態に応じて適宜変化させることが望ましい。本実施形態において、ECU50は、内燃機関10の運転状態との関係で目標値aを定めたマップを記憶している。ここでは、そのマップに従って目標値aが選択される。

【0100】

次に、重み付け係数Aが決定される(ステップ104)。内燃機関10において、優れた出力効率を得ることの重要性和、優れたエミッション特性を得ることの重要性は、常に一定ではない。例えば、加速が要求される状況下では、出力効率の要求を、エミッション特性の要求に優先することが望ましい。また、定常運転時には、その逆の優先設定をすることが望ましい。ECU50は、上記の観点から、内燃機関10の運転状態との関係で、重み付け係数Aを定めたマップを記憶している。このマップは、出力効率が優先される状況下ほど重み付け係数Aが最大値1.0に近づき、エミッション特性が優先される状況下ほど、重み付け係数Aが最小値0に近づくように設定されている。本ステップ104では、このマップに従って重み付け係数Aが決定される。

40

【0101】

次に、点火進角値SAの初期値SA0が設定される(ステップ106)。初期値SA0は、十分

50

に小さな値に設定される。より具体的には、上記(10)式による評価値Jを最小値とするSAに対して、MBTの反対側に位置することが明らかな値に設定される。

【0102】

次に、上記(10)式に従って、評価値Jが算出される(ステップ108)。次いで、今回の処理サイクルで算出されたJが、前回のサイクルで算出されたJに比して小さいか否かが判別される(ステップ110)。

【0103】

評価値Jには、初期化処理により十分に大きな値が設定される。このため、評価値Jが初めて演算されたサイクルでは、ステップ110の条件が成立する。同様に、点火進角値SAが、初期値SA0の近傍にある間は、その条件の成立が判定される。この場合は、点火進角値SAが、所定値dSAだけ大きく更新される(ステップ112)。その後、再びステップ108の処理が実行される。

10

【0104】

上記の処理が繰り返されると、やがては、評価値Jの変化が減少から増加に転じる。この反転が生ずると、ステップ110の条件が不成立となる。この場合、その時点で設定されている点火進角値SAが保持される(ステップ114)。

【0105】

以上の処理によれば、内燃機関10の運転状態に応じて重み付け係数A及びNOx目標値aをそれぞれ自由に設定することができる。更に、この処理によれば、それらの設定の下で、評価値Jを最小とする点火進角値SAを保持することができる。このため、本実施形態のシステムによれば、内燃機関10の出力特性及びエミッション特性を、内燃機関10の運転状況に応じた最適なバランスで両立させることができる。

20

【0106】

ところで、上述した実施の形態4においては、内燃機関10の特性に合わせて、 $MFB_{@ATDC8}$ を、点火進角値とMBTとの一致度合いを表す特性値としている。従って、異なる特性を示す内燃機関に対しては、 $ATDC8^{\circ}CA$ とは異なるクランク角を特定クランク角としてMFBを算出することとしてもよい。尚、この点は、以下に説明する他の実施形態においても同様である。

【0107】

尚、上述した実施の形態4においては、 $MFB_{@ATDC8}$ が前記第8の発明における「出力効率指標」に相当していると共に、ECU50が、 $MFB_{@ATDC8}$ を算出することにより前記第8の発明における「出力効率指標算出手段」が実現されている。また、ここでは、(10)式における $(MFB_{@ATDC8} - 0.5)$ が前記第8の発明における「指標偏差」に相当していると共に、ECU50がその演算を行うことにより前記第8の発明における「指標偏差算出手段」が実現されている。また、(10)式における $([NOx] - a)$ が前記第8の発明における「濃度偏差」に相当していると共に、ECU50がその演算を行うことにより前記第8の発明における「濃度偏差算出手段」が実現されている。更に、ECU50が、上記ステップ108の処理を実行することにより前記第8の発明における「評価値算出手段」が、上記ステップ110～114の処理を実行することにより前記第8の発明における「点火時期制御手段」が、それぞれ実現されている。

30

40

【0108】

また、上述した実施の形態4においては、ECU50が、ステップ104の処理を実行することにより前記第9の発明における「重み係数変更手段」が実現されている。

【0109】

実施の形態5

次に、図11を参照して本発明の実施の形態5について説明する。図11は、本実施形態において、ECU50が実行する制御の内容を説明するためのブロック図である。図11に示す構成要素は、何れも、ECU50が、その内部に記憶している制御プログラムを実行することにより実現される。

【0110】

50

図 1 1 に示すように、本実施形態においては、ECU 5 0 の内部に、NOx抑制部 6 2 が形成される。NOx抑制部 6 2 は、NOx補正值 $KNOx = \frac{[NOx] - a}{[NOx]}$ を算出するためのブロックである。NOx抑制部 6 2 は、具体的には、以下の処理を実行する。

- i) 上述した実施の形態 1 乃至 3 の何れかの手法でNOx濃度推定値 $[NOx]$ を算出する。
- ii) 算出した $[NOx]$ と、NOx濃度の目標値 a との差 $NOx (= [NOx] - a)$ を算出する。
- iii) 上記の差 NOx に定数 K を掛け合わせてNOx補正值 $KNOx = K \cdot NOx$ を算出する。

【 0 1 1 1 】

NOx補正值 $KNOx$ は、NOx濃度推定値 $[NOx]$ が目標値 a に対して過大であるほど大きな値となる係数である。ECU 5 0 の内部で、NOx補正值 $KNOx$ は、図 1 1 に示すように第 1 減算部 6 4 に供給される。第 1 減算部 6 4 には、 $MFB_{@ATDC8}$ の最適値である 0 . 5 が供給されている。第 1 減算部 6 4 は、その 0 . 5 からNOx補正值 $KNOx$ を減じた値（以下、「第 1 指令値 OUT_{64} 」とする）を、後段の第 2 減算部 6 6 に供給する。

【 0 1 1 2 】

第 2 減算部 6 6 には、MFB演算部 6 8 から $MFB_{@ATDC8}$ が供給されている。MFB演算部 6 8 は、実施の形態 4 において説明した上記（ 9 ）式に従って、公知の手法により $MFB_{@ATDC8}$ を算出するブロックである。第 2 減算部 6 6 は、第 1 減算部 6 4 から供給された第 1 指令値 OUT_{64}

から $MFB_{@ATDC8}$ を減じた値（以下、「第 2 指令値 OUT_{66} 」とする）をPI制御部 7 0 に供給する。PI制御部 7 0 に供給される第 2 指令値 OUT_{66} は、次式により表すことができる。

$$OUT_{66} = OUT_{64} - MFB_{@ATDC8} = 0.5 - KNOx - MFB_{@ATDC8} \quad \dots (11)$$

【 0 1 1 3 】

（ 1 1 ）式により算出される第 2 指令値 OUT_{66} は、 $MFB_{@ATDC8}$ が、第 1 指令値 OUT_{64} より小さい場合には正の値となる。つまり、第 2 指令値 OUT_{66} は、第 1 指令値 OUT_{64} が意味する燃焼割合に対して $MFB_{@ATDC8}$ が過小である場合に正の値となり、他方、 $MFB_{@ATDC8}$ が過大である場合に負の値となる。

【 0 1 1 4 】

PI制御部 7 0 は、第 2 指令値 OUT_{66} の比例項 P と積分項 I を算出し、それらの和を進角補正值 SA として算出するブロックである。PI制御部 7 0 によって算出された進角補正值

SA は、加算部 7 2 に供給される。加算部 7 2 には、また、点火時期モデル演算部 7 4 から基本進角値 SAB が供給されている。点火時期モデル演算部 7 4 は、機関回転数 NE 及び機関負荷 KL を基礎として、内燃機関 1 0 の運転状態に適合した点火進角値を基本進角値 SAB として算出するブロックである。加算部 7 2 は、基本進角値 SAB に進角補正值 SA を加えた値を最終的な点火進角値 SA として内燃機関 1 0 に供給する。内燃機関 1 0 は、このようにして算出された点火進角値 SA で各気筒の点火時期を決定する。

【 0 1 1 5 】

点火進角値 SA は、進角補正值 SA が 0 であれば基本進角値 SAB と一致する。そして、点火進角値 SA は、 SA が正であれば SAB より進角側の値となり、 SA が負であれば SAB に比して遅角側の値となる。進角補正值 SA は、第 2 指令値 OUT_{66} が正であれば正方向に更新され、第 2 指令値 OUT_{66} が負であれば負方向に更新される。

【 0 1 1 6 】

第 2 指令値 OUT_{66} は、上述した通り、第 1 指令値 OUT_{64} に対して $MFB_{@ATDC8}$ が過小である場合に正となる。この場合、進角補正值 SA が正方向に更新され、点火進角値 SA が進角側に修正される。その結果、燃焼の速度が増して $MFB_{@ATDC8}$ が第 1 指令値 OUT_{64} に近づけられる。反対に、第 1 指令値 OUT_{64} に対して $MFB_{@ATDC8}$ が過大である場合は、第 2 指令値 OUT_{66} が負となり、点火進角値 SA が遅角側に修正される。このように、図 1 1 に示すシステムによれば、 $MFB_{@ATDC8}$ が第 1 指令値 OUT_{64} に近づくように内燃機関 1 0 の点火進角値 SA を制御することができる。

【 0 1 1 7 】

第 1 指令値 OUT_{64} は、NOx補正值 $KNOx$ が大きいほど、つまり、目標値 a に対してNOx濃度推定値 $[NOx]$ が過大であるほど 0 . 5 に比して小さな値となる。従って、 $[NOx]$ が目標値 a

に一致していれば、第1指令値 OUT_{64} は0.5となる。この場合、点火進角値SAは、 $MFB_{@ATDC8}$ が0.5になるように制御される。つまり、この場合、点火時期SAはMBTに制御されることになる。

【0118】

現実には、点火進角値SAがMBTに近づく過程で、 NOx 濃度推定値 $[NOx]$ は目標値aを超えるのが通常である。この場合、まず、第1指令値 OUT_{64} が0.5より小さな値に修正される。この修正に続いて、 $MFB_{@ATDC8}$ が0.5より小さな値となるように、点火進角値SAが遅角側に修正される。その結果、筒内での燃焼速度が遅くなり、 NOx 濃度が低下する。以上の処理が連続的に繰り返されることにより、点火進角値SAは、MBTに近く、かつ、 $[NOx]$ を目標値aに近づける適正值に制御される。

10

【0119】

以上説明した通り、本実施形態のシステムによれば、実施の形態4の場合と同様に、 NOx 濃度推定値 $[NOx]$ を利用して、内燃機関10の点火進角値SAを、優れた出力効率と、優れたエミッション特性の双方を実現する値に制御することができる。このため、本実施形態のシステムによれば、煩雑な適合作業を行うことなく、内燃機関10の全運転領域において、バランス良く出力効率とエミッション特性を両立させることができる。

【0120】

尚、上述した実施の形態5においては、 $MFB_{@ATDC8}$ が前記第12の発明における「出力効率指標」に相当していると共に、 MFB 演算部68が前記第12の発明における「出力効率指標算出手段」に相当している。また、ここでは、 $[NOx]$ と目標値aとの差が前記第12の発明における「濃度偏差」に相当していると共に、 NOx 抑制部62が前記第12の発明における「濃度偏差算出手段」に相当している。更に、本実施形態では、第1減算部64が前記第12の発明における「指標目標値設定手段」に、PI制御部70及び加算部72が前記第12の発明における「点火時期制御手段」に、それぞれ相当している。

20

【0121】

実施の形態6

次に、図12を参照して本発明の実施の形態6について説明する。本実施形態のシステムは、実施の形態4又は5のシステムにおいて、 NOx 濃度推定値 $[NOx]$ の目標値aを、後述する手法で設定することにより実現することができる。

【0122】

図12は、内燃機関10の排気ガス中の NOx 濃度と負荷率KLとの関係を説明するための図である。図12中に、破線で示したデータは、現在の排気ガス規制を満たすことが確認されている量産型の内燃機関を、規定の運転モード（10モード、15モード、LA4モード）で動作させた場合の結果を示す。また、図12中に、実線で示したデータは、上記量産型の内燃機関を一定の機関回転数（ $NE = 1500\text{ rpm}$ 、 2000 rpm 、 3000 rpm ）で定常運転させた場合の結果である。

30

【0123】

図12に示す結果は、量産型の内燃機関から排出される排気ガス中の NOx 濃度は、負荷率KLが小さい領域でほぼ負荷率KLに比例した値となり、負荷率KLが一定値（本実施形態では40%）を超える領域で、上限値に収束することを示している。図12中に実線で示す折れ線は、その傾向に合わせて設定した目標値aを示す。本実施形態において、ECU50は、上記の折れ線に対応する関数（具体的には、KL小領域における比例定数と、屈曲点のKL値）を記憶しており、その関数に従って目標値aを設定する。

40

【0124】

上述した通り、実施の形態4又は5のシステムによれば、内燃機関10において良好な燃焼効率が得られ、かつ、 NOx 濃度推定値 $[NOx]$ が目標値aに近づくように点火進角値SAが制御される。このため、目標値aが、図12中の実線に属する値に設定されれば、燃焼効率の最適化が図られつつ、現実の NOx 濃度が目標値aに近い値に抑制される。この場合、内燃機関10の排気エミッション特性は、現在の量産型の内燃機関のレベルと同等になる。

【0125】

50

以上の理由により、本実施形態のシステムによれば、煩雑な適合作業を行うまでもなく、市場での要求に適合するエミッション特性と、優れた出力特性とを内燃機関 10 に付与することができる。このため、本実施形態のシステムによれば、内燃機関 10 の開発工数を減らすことが可能である。更に、上記の処理によれば、目標値 a の設定に必要な情報（折れ線の関数）が、極めて僅かである。このため、本実施形態のシステムは、多大なメモリ容量を必要とせずに実現することができる。

【0126】

尚、上述した実施の形態 6 においては、ECU 50 が、実施の形態 4 又は 5 の手法で点火進角値 SA を制御することにより前記第 7 の発明における「制御手段」が実現される。また、ここでは、ECU 50 が、図 12 に示す実線の関係に従って目標値 a を設定することにより前記第 7 の発明における「NOx 濃度目標値設定手段」が実現される。

10

【0127】

実施の形態 7 .

次に、図 13 を参照して、本発明の実施の形態 7 について説明する。本実施形態のシステムは、実施の形態 4 のシステムにおいて、ECU 50 に、触媒 42 の劣化判定処理と、後述する図 13 に示すルーチンとを更に実行させることにより実現することができる。

【0128】

触媒 42 には、経時変化による劣化が生ずる。NOx の大気放出を防ぐ意味では、触媒 42 の劣化が進むほど、内燃機関 10 から排出される NOx 量を少なくすることが必要となる。上述した通り、実施の形態 4 のシステムは、重み付け係数 A により、出力特性と、エミ

20

【0129】

ッション特性の重要度を高くすることで、エミッション特性の重要度を高めて、内燃機関 10 から排出される NOx 量を少なくすることができる。そこで、本実施形態では、触媒 42 が十分な浄化能力を有する間は、重み付け係数 A を大きな値として出力特性を重視し、触媒 42 の劣化が認められた場合は、重み付け係数 A を小さくして、エミッション特性を重視した状態を実現することとした。

【0130】

図 13 は、上記の機能を実現するために ECU 50 が実行するルーチンのフローチャートである。図 13 に示すルーチンでは、先ず、公知の手法により触媒 42 の劣化判定が行われる（ステップ 120）。その結果、触媒 42 の劣化が認められなかった場合は、そのまま今回のサイクルが終了される。

30

【0131】

重み付け係数 A は、初期化処理により、出力特性と、エミッション特性とのバランスを考慮した最適値に設定されている。上記ステップ 120 において、触媒 42 の劣化が認められなかった場合は、重み付け係数 A が、初期化された値のまま維持されるため、上記のバランスが保たれるように内燃機関 10 の状態が制御される。

【0132】

上記ステップ 120 において、触媒 42 の劣化が判定された場合は、低 NOx モードへの切り換えが行われる（ステップ 122）。具体的には、重み付け係数 A が所定値だけ小さな値に変更される。上記（10）式によれば、重み付け係数 A が小さいほど、評価値 J を最小とする上で、[NOx] を目標値 a に近づけることが重要となる。このため、上記の処理が実行されると、以後、内燃機関 10 は、エミッション特性を重視した状態で運転されることになり、内燃機関 10 から排出される NOx 量が減少する。

40

【0133】

以上説明した通り、本実施形態のシステムによれば、触媒 42 が劣化した状況下では、NOx の制御精度を高めることで、触媒 42 が処理すべき NOx 量を減らすことができる。このため、本実施形態のシステムによれば、触媒 42 の劣化に関わらず、NOx の大気放出を十分に抑制することができる。

【0134】

50

ところで、上述した実施の形態 7 においては、触媒 4 2 の劣化時に低NOxモードに切り換える処理を、実施の形態 4 のシステムにおいて実行することとしているが、その組み合わせはこれに限定されるものではない。すなわち、触媒 4 2 の劣化時に低NOxモードに切り換える処理は、実施の形態 5 のシステムに組み合わせることとしてもよい。実施の形態 5 のシステムでは、NOx抑制部 6 2 が、NOx補正係数 $KNOx$ を、 $KNOx = \frac{NOx}{a}$ により算出する。この場合、係数 $KNOx$ を大きな値に変更することにより NOx ($[NOx]$ と目標値 a との差)を小さくすることの重要度を高め、NOx排出量を少なくすることが可能である。

【0135】

尚、上述した実施の形態 7 においては、ECU 5 0 が、ステップ 1 2 0 の処理を実行することにより前記第 1 0 の発明における「触媒劣化判定手段」が実現されている。また、こ
10
こでは、ECU 5 0 がステップ 1 2 2 の処理を実行することにより前記第 1 0 の発明における「劣化対応手段」が実現されている。

【0136】

実施の形態 8 .

次に、図 1 4 を参照して、本発明の実施の形態 8 について説明する。本実施形態のシステムは、実施の形態 4 のシステムにおいて、触媒 4 2 をNOx吸蔵触媒とし、かつ、ECU 5 0 に、後述する図 1 4 に示すルーチンを実行させることにより実現することができる。

【0137】

NOx吸蔵触媒は、吸蔵容量の範囲内で、排気ガス中に含まれるNOxを吸蔵することができる。また、NOx吸蔵触媒のNOx吸蔵能力は、排気空燃比を一時的にリッチにすること、つまり、所謂リッチスパイク制御を行うことで再生することができる。従って、本実施形態のシステムによれば、触媒 4 2 に吸蔵されるNOx量が規定の吸蔵容量に近づく毎にリッチスパイク制御を行うことにより、永続的にNOxの大気放出を防ぐことが可能である。

【0138】

ところで、リッチスパイク制御は、内燃機関 1 0 のトルク変動を伴うため、加速時やフューエルカット時など、トルク変動を生じさせるべきでない状況下では、実行しないことが望ましい。しかしながら、リッチスパイク制御は、触媒 4 2 のNOx吸蔵量が上限値付近に達した段階で要求されるため、その要求が発生している状況下でリッチスパイク制御の実行を禁止すると、触媒 4 2 がNOxを吸蔵し切れずに、NOxが大気に放出される事態が生じ得る。そこで、本実施形態では、このような場合には、重み付け係数 A を小さな値として
30
、内燃機関 1 0 から排出されるNOx量を抑制することとした。

【0139】

図 1 4 は、上記の機能を実現するために、本実施形態においてECU 5 0 が実行するルーチンのフローチャートである。図 1 4 に示すルーチンでは、まず、触媒 4 2 のNOx飽和が近いかが判断される(ステップ 1 3 0)。ECU 5 0 は、内燃機関 1 0 から排出されるNOx量、つまり、触媒 4 2 に流入するNOx量を、排気空燃比 A/F と吸入空気量 G_a とに基づいて公知の手法により算出している。また、ECU 5 0 は、そのNOx量を積算して、触媒 4 2 内のNOx吸蔵量を算出している。本ステップ 1 3 0 では、具体的には、そのNOx吸蔵量が、飽和判定値(触媒 4 2 のNOx吸蔵容量より僅かに小さな値)に達している場合に、NOx飽和が近いと判断される。
40

【0140】

上記の処理により、触媒 4 2 のNOx飽和が近くないと判断された場合は、そのまま今回の処理サイクルが終了される。一方、触媒 4 2 のNOx飽和が近いと判断された場合は、次に、リッチスパイク制御の実行が不可であるかが判断される(ステップ 1 3 2)。ECU 5 0 は、リッチスパイク制御の実行を禁止すべき条件(加速時等)を記憶している。ここでは、具体的には、内燃機関 1 0 の状態が、その禁止条件を満たしているかが判断される。
50

【0141】

上記の処理により、リッチスパイク制御の実行が可能であると判断された場合は、そのまま今回の処理サイクルが終了される。この場合、他のルーチンによりリッチスパイク制

御が実行され、その結果、触媒 4 2 のNOx吸蔵能力が回復する。

【 0 1 4 2 】

他方、上記ステップ 1 3 2 において、リッチスパイク制御の実行が不可であると判断された場合は、低NOxモードへの切り換えが行われる（ステップ 1 3 4）。具体的には、重み付け係数Aが所定値だけ小さな値に変更され、[NOx]を目標値aに一致させることの重要度が高められる（上記（ 1 0 ）式参照）。その結果、内燃機関 1 0 から排出されるNOx量が減り、触媒 4 2 がNOx飽和に至るまでの時間を引き延ばされる。リッチスパイク制御の実行を禁止すべき状況は、通常、短時間で終了する。このため、上記の処理によれば、リッチスパイク制御の実行禁止に起因するNOxの大気放出を、実質的に防ぐことができる。

10

【 0 1 4 3 】

以上説明した通り、本実施形態のシステムによれば、加速時等の特定の状況下でリッチスパイク制御の実行を禁止することとしても、その実行禁止に起因して、NOxが大気中に放出されてしまうのを避けることができる。このため、本実施形態のシステムによれば、トルク変動を生じさせるべきでない状況下でリッチスパイク制御の実行を禁止しつつ、その実行の禁止に起因するエミッション特性の悪化を最小限に抑えることができる。

【 0 1 4 4 】

ところで、上述した実施の形態 8 においては、リッチスパイク制御が実行できない場合に、内燃機関 1 0 を低NOxモードとする処理を、実施の形態 4 のシステムにおいて実行することとしているが、その組み合わせはこれに限定されるものではない。すなわち、上記の状況下で低NOxモードへの切り換えを行う処理は、実施の形態 5 のシステムに組み合わせることとしてもよい（係数 を大きな値に変更して低NOxモードを実現することとしてもよい）。

20

【 0 1 4 5 】

尚、上述した実施の形態 8 においては、ECU 5 0 がステップ 1 3 0 の処理を実行することにより前記第 1 1 の発明における「浄化余力推定手段」が実現されている。また、ECU 5 0 がリッチスパイク制御を行うことにより前記第 1 1 の発明における「再生手段」が実現されている。また、ECU 5 0 がステップ 1 3 2 の処理を実行することにより前記第 1 1 の発明における「実行可否判断手段」が実現されている。更に、ECU 5 0 がステップ 1 3 4 の処理を実行することにより前記第 1 1 の発明における「再生不可対応手段」が実現されている。

30

【 0 1 4 6 】

実施の形態 9 .

次に、図 1 5 を参照して、本発明の実施の形態 9 について説明する。本実施形態のシステムは、上述した実施の形態 1 乃至 3 の何れかのシステムにおいて、吸気側のVVT 2 0 を後述する手法で制御することにより実現することができる。

【 0 1 4 7 】

図 1 5 は、本実施形態において、ECU 5 0 が実行する制御の内容を説明するためのブロック図である。図 1 5 に示す構成要素は、何れも、ECU 5 0 が、その内部に記憶している制御プログラムを実行することにより実現される。

40

【 0 1 4 8 】

図 1 5 に示すように、本実施形態では、ECU 5 0 の内部に、NOx抑制部 8 2 が形成される。NOx抑制部 8 2 は、上述した実施の形態 5（図 1 1 参照）におけるNOx抑制部 6 2 と同様に、NOx濃度推定値[NOx]と目標値aとの差に対応するNOx補正值KNOx（ $= \quad \cdot ([NOx] - a)$ ）を算出する。

【 0 1 4 9 】

NOx補正值KNOxは、加算部 8 4 に供給される。加算部 8 4 には、また、NOx目標値指令部 8 6 から、NOxの目標値aが供給されている。NOx目標値指令部 8 6 は、内燃機関 1 0 の運転状態に基づいて、上記の目標値aを算出する。加算部 8 4 は、目標値aにNOx補正值KNOxを加えた値（以下、「VVT指令値」とする）を、VVT決定部 8 8 に供給する。VVT決定部 8

50

8 は、上記のVVT指令値に基づいて、吸気側のVVT 2 0 の制御量を算出し、その値をVVT 2 0 に供給する。

【 0 1 5 0 】

図 1 5 に示す構成によれば、NOx濃度推定値[NOx]が目標値aに対して過大であるほど、VVT決定部 8 8 には大きなVVT指令値が供給される。この場合、VVT決定部 8 8 は、VVT 2 0 に対して、より大きな進角を求める。

【 0 1 5 1 】

内燃機関 1 0 において、吸気弁 1 8 の開弁時期が進角されると、排気弁 2 2 と吸気弁 1 8 が同時に開弁状態となる期間、つまり、所謂バルブオーバーラップ期間が伸張される。バルブオーバーラップ期間が延びると、排気通路 1 4 から吸気通路 1 2 への排気ガスの逆流量が増え、筒内の残留ガス量（内部EGR量）が増加する。そして、筒内の残留ガス量が増え、筒内ガスの温度上昇が緩やかになりNOx発生量が抑制される。

【 0 1 5 2 】

以上の理由により、本実施形態のシステムによれば、バルブオーバーラップ期間を調整することにより、NOx濃度推定値[NOx]を目標値aに近づけることができる。このため、本実施形態のシステムでは、上述した実施の形態 1 乃至 8 の場合に比して、点火時期SAを、より一層MBTに近づけることができる。従って、本実施形態のシステムによれば、それらの実施形態に比して、より一層高いレベルで、出力特性に対する要求と、排気エミッションに対する要求とを両立させることができる。

【 0 1 5 3 】

ところで、上述した実施の形態 9 においては、吸気弁 1 8 の開弁時期を進角させてバルブオーバーラップ期間を増やすこととしているが、その手法はこれに限定されるものではない。すなわち、排気弁 2 2 の閉弁時期を近くさせることによりバルブオーバーラップ期間を伸張させることとしてもよい。

【 0 1 5 4 】

また、上述した実施の形態 9 では、バルブオーバーラップ期間を変えることで筒内の残留ガス量を変化させることとしているが、その手法はこれに限定されるものではない。すなわち、外部EGR量を変えることにより、筒内の残留ガス量を変化させることとしてもよい。

【 0 1 5 5 】

尚、上述した実施の形態 9 においては、VVT 2 0 が前記第 1 3 の発明における「可変動弁機構」に相当している。また、ここでは、NOx抑制部 8 2、加算部 8 4、及びVVT決定部 8 8 が前記第 1 3 の発明における「制御手段」に相当している。

【 0 1 5 6 】

実施の形態 1 0 .

次に、図 1 6 乃至図 1 8 を参照して本発明の実施の形態 1 0 について説明する。本実施形態のシステムは、上述した実施の形態 1 のシステムにおいて、ECU 5 0 に、MFBを用いた簡易計算により[NOx]を推定させることにより実現することができる。

【 0 1 5 7 】

上述した実施の形態 1 では、ECU 5 0 に、上記（ 4 ）式に基づいてNOx濃度推定値[NOx]を算出させることとしている。この場合、ECU 5 0 は、 $V \cdot dP/d$ の積分計算を行うことになる。ECU 5 0 がこのような計算を行う場合に、 d を小さくし過ぎると演算負荷が大きくなり過ぎるという問題が生ずる。反対に、 d を大きくすると、センサのノイズによって演算値が振動的になり、最終的な積分結果に大きなバラツキが重畳し易くなる。そこで、本実施形態では、 $V \cdot dP/d$ の積分計算に代えて、MFBを用いた簡易計算により[NOx]を求める手法を提案する。

【 0 1 5 8 】

図 1 6 は、 $V \cdot dP$ とクランク角 との関係を示す。MFB_{@ATDC8}をパラメータとして表したものである。より具体的には、図 1 6 に示す 3 つの波形は、上から順に、MFB_{@ATDC8}が 8 0 %、5 0 %、2 0 % となるように内燃機関 1 0 を動作させた場合の $V \cdot dP$ とクランク角

10

20

30

40

50

との関係を表している。これらの波形は、 $V \cdot dP$ と $MFB_{@ATDC8}$ との間に相関があることを表している。

【 0 1 5 9 】

図 1 7 は、内燃機関 1 0 から排出される NOx 濃度の実測値と $MFB_{@ATDC8}$ との関係を示す。図 1 7 に示す複数の実線のそれぞれは、機関回転数 NE 及び負荷率 KL を揃えて行った複数の結果をつないだものである。これらの結果は、何れも、 $MFB_{@ATDC8}$ と NOx 濃度との間に、ほぼ比例的な関係が成立していることを表している。

【 0 1 6 0 】

図 1 8 は、 NOx 濃度の実測値と、 $(V \cdot dP)/KL$ との関係を示す。図 1 8 に示す複数の実線のそれぞれは、機関回転数 NE 及び負荷率 KL を揃えて行った複数の結果をつないだものである。これらの結果は、何れも、 NOx 濃度の実測値と $(V \cdot dP)/KL$ との間に、ほぼ比例的な関係が成立していることを表している。

【 0 1 6 1 】

更に、図 1 7 に示す結果と図 1 8 に示す結果は、 NOx 濃度の実測値に対して、 $MFB_{@ATDC8}$ と $(V \cdot dP)/KL$ とが、同じ相関を示すことを表している。このため、上記 (4) 式における $(V \cdot dP/d \cdot \quad)/KL$ の項は、 $MFB_{@ATDC8}$ に置き換えることが可能である。つまり、 NOx 濃度推定値 $[NOx]$ は、 $MFB_{@ATDC8}$ を用いることにより、次式によって算出することができる。但し、次式の $g(KL)$ は、補正係数 $f(KL)$ に適合定数を掛け合わせたものとする。

$$[NOx] = MFB_{@ATDC8} \times g(kl) \quad \cdots (12)$$

【 0 1 6 2 】

$MFB_{@ATDC8}$ は、公知の簡易手法 ($PV \quad$) を用いることで、 $V \cdot dP/d$ の積分計算に比して簡単に算出することができる (例えば特開 2 0 0 5 - 3 6 7 5 4 号公報参照)。このため、上記 (1 2) 式によれば、(4) 式を用いる場合に比して、 $[NOx]$ の演算負荷を十分に軽減することができる。従って、本実施形態のシステムによれば、バラツキのない $[NOx]$ を算出するための演算負荷を実施の形態 1 の場合に比して十分に軽くすることができる。

【 0 1 6 3 】

ところで、上述した実施の形態 1 0 では、実施の形態 1 の演算式 (4) を $MFB_{@ATDC8}$ を用いて簡易化することとしているが、簡易化が可能な対象はこれに限定されるものではない。すなわち、同様の置き換えを行うことで、実施の形態 2 の演算式 (5) を $MFB_{@ATDC8}$ で簡易化することとしてもよい。

【 0 1 6 4 】

更には、 $(V \cdot dP/d \cdot \quad)/$ の項を $MFB_{@ATDC8}$ に置き換えることにより、実施の形態 3 の演算式 (6) を $MFB_{@ATDC8}$ で簡易化することとしてもよい。図 1 9 は、 $(V \cdot dP)/$ と $MFB_{@ATDC8}$ との相関を示す図である。但し、図 1 9 中に示す複数の実線は、機関回転数 NE 及び負荷率 KL を揃えて行った複数の結果をつないだものである。図 1 9 に示すように、 $(V \cdot dP)/$ と $MFB_{@ATDC8}$ との間には、比例的な関係が成立している。このため、上記の置き換えによれば、 $MFB_{@ATDC8}$ を用いた簡易計算によりほぼ演算式 (6) の結果と同様の結果を得ることが可能である。

【 0 1 6 5 】

尚、上述した実施の形態 1 0 においては、 $ECU 5 0$ が、 $MFB_{@ATDC8}$ を算出することにより前記第 1 の発明における「 MFB 算出手段」に相当している。また、ここでは、 $ECU 5 0$ が、 $MFB_{@ATDC8}$ を (4) 式又は (5) 式の $(V \cdot dP/d \cdot \quad)/KL$ と置き換えて、或いは (6) 式の $(V \cdot dP/d \cdot \quad)/$ と置き換えて演算処理を行うことにより、前記第 1 の発明における「内部エネルギー相関値算出手段」が実現されている。

【 0 1 6 6 】

実施の形態 1 1 .

次に、図 2 0 乃至図 2 2 を参照して本発明の実施の形態 1 1 について説明する。本実施形態のシステムは、上述した図 1 に示す構成において、 $ECU 5 0$ に、後述する演算式 (1 3) に従って NOx 濃度推定値 $[NOx]$ を算出させることにより実現することができる。

【 0 1 6 7 】

実施の形態 3 で用いた演算式 (6) を展開して近似すると、次式 (1 3) を得ることができる。但し、(1 3) 式において、 α 及び ε は、それぞれ定数である。

【 0 1 6 8 】

【 数 4 】

$$[\text{NOx}] = \alpha \times \frac{\left(\sum_{\theta_1}^{\theta_2} V_{\theta} \frac{dP_{\theta}}{d\theta} \Delta\theta \right) \times f(P_m)}{\tau}$$

10

$$= \delta \frac{P_{\theta_1} V_{\theta_1} - P_{\theta_2} V_{\theta_2}}{\tau} + \varepsilon \quad \dots (13)$$

【 0 1 6 9 】

上記 (1 3) 式によれば、クランク角 θ_1 における筒内圧 P_{θ_1} 及び筒内容積 V_{θ_1} と、クランク角 θ_2 における筒内圧 P_{θ_2} 及び筒内容積 V_{θ_2} を検知して、それらを用いた演算を一回行うだけで NOx 濃度推定値 $[\text{NOx}]$ を算出することができる。このため、 $[\text{NOx}]$ の演算式を上記 (6) 式に代えて (1 3) 式とすると、ECU 5 0 の演算負荷を大幅に軽減することができる。

20

【 0 1 7 0 】

図 2 0 は、実施の形態 1 ~ 3 の場合と同様に θ_1 を点火クランク角とし、かつ、 θ_2 を燃焼終了クランク角として (1 3) 式の演算を行った結果と、NOx 濃度の実測値との関係を示す。より具体的には、図 2 0 において、点 (\cdot) で示す結果は、機関回転数 NE を 1 5 0 0 rpm として、負荷率 KL を小、中、大の 3 段階に変化させた場合の関係を示す。また、円 (\circ) で示す結果は、機関回転数 NE を 2 0 0 0 rpm として、負荷率 KL を小、中、大の 3 段階に変化させた場合の関係を示す。

【 0 1 7 1 】

図 2 0 に示す結果は、以下の傾向を示している。

i) 何れの運転条件下でも、(1 3) 式による $[\text{NOx}]$ と NOx 実測値とは、ほぼ比例関係となる。

30

ii) 機関回転数 NE の高低は、(1 3) 式による $[\text{NOx}]$ と NOx 実測値との関係に大きな変化を与えない。

iii) (1 3) 式による $[\text{NOx}]$ と NOx 実測値との関係には、負荷率 KL に応じたオフセットが重畳する。

【 0 1 7 2 】

負荷率 KL 毎に重畳するオフセットの大きさは、内燃機関 1 0 において特定することが可能である。従って、そのオフセットを相殺するための補正值は、KL 毎に定め手おくことができる。このため、ECU 5 0 は、(1 3) 式を用いて $[\text{NOx}]$ を算出し、その結果に、KL に応じた補正を施すことにより、正確な NOx 濃度推定値 $[\text{NOx}]$ を算出することができる。また、このような処理によれば、上述した実施の形態 1 乃至 3 の場合に比して、 $[\text{NOx}]$ を得るための演算負荷を大幅に軽減することができる。

40

【 0 1 7 3 】

ところで、本発明の出願人は、(1 3) 式における積分対象区間 (すなわち、 θ_1 と θ_2) を、下記のように変更すると、 $[\text{NOx}]$ の推定精度が上がり、図 2 0 に示すオフセットを消滅させ得ることを見いだした。

θ_1 : 筒内圧が最大となるクランク角 CA_{Pmax}

θ_2 : 膨張下死点

... (1 4)

【 0 1 7 4 】

図 2 1 は、 θ_1 及び θ_2 を上記 (1 4) の設定に変更して (1 3) 式の演算を行った結

50

果を示す。図 2 1 に示すように、この場合、機関回転数NEの高低や、負荷率KLの大小に関わらず、全ての運転条件下で、[NOx]とNOx濃度の実測値とがほぼ比例的な関係を示す。従って、(1 4) の設定の下で (1 3) 式の演算を行うこととすれば、オフセットを消滅させるための補正を行うことなく、正確な[NOx]を得ることが可能である。

【 0 1 7 5 】

設定 (1 4) において用いられる θ_2 は、内燃機関 1 0 の運転状態に関わらず常に一定である。これに対して、設定 (1 4) において用いられる他方のクランク角 $\theta_1 = \text{CApmax}$ は、内燃機関 1 0 の運転状態に応じて変動する。このため、設定 (1 4) の下で式 (1 3) の演算を行うためには、膨張行程毎にCApmaxを探索することが必要である。

【 0 1 7 6 】

図 2 2 は、 $\text{MFB}_{\text{ATDC8}}$ とCApmaxとの関係を示す図である。図 2 2 に示すように、 $\text{MFB}_{\text{ATDC8}}$ とCApmaxとは、比例的な関係を示す。このため、 $\text{MFB}_{\text{ATDC8}}$ は、CApmaxの特性値として利用することができる。また、 $\text{MFB}_{\text{ATDC8}}$ は、上述したように、公知の簡易手法 (PV) を用いることで比較的簡単に求めることができる。

【 0 1 7 7 】

本実施形態において、ECU 5 0 は、 $\text{MFB}_{\text{ATDC8}}$ をCApmaxに換算するための規則を記憶している。そして、ECU 5 0 は、膨張行程毎に $\text{MFB}_{\text{ATDC8}}$ を算出し、その算出値をCApmaxに換算する。更に、ECU 5 0 は、このようにして算出したCApmaxを θ_1 として筒内圧 P_1 及び筒内容積 V_1 を検知し、また、膨張下死点 θ_2 における筒内圧 P_2 及び筒内容積 V_2 を検知する。その後、ECU 5 0 は、それらの変数に基づいて (1 3) 式の演算を行うことにより、NOx濃度推定値[NOx]を算出する。

【 0 1 7 8 】

以上の処理によれば、簡単な演算処理により、NOx濃度推定値[NOx]を精度良く算出することができる。このため、本実施形態のシステムによれば、NOx濃度推定値[NOx]を正確に算出するための演算負荷を、上述した他の実施形態の場合に比して十分に軽減することができる。

【 0 1 7 9 】

ところで、上述した実施の形態 1 1 においては、(6) 式を基礎とする近似式 (1 3) を用いて[NOx]を算出することとしているが、本発明は、これに限定されるものではない。すなわち、[NOx]を算出するための近似式は、実施の形態 1 で用いた (4) 式を展開して近似したもの、或いは実施の形態 2 で用いた (5) 式を展開して近似したものであってもよい。

【 0 1 8 0 】

また、上述した実施の形態 1 1 では、設定 (1 4) の下で (1 3) 式の演算を行うことにより、図 2 0 に示すオフセットを消滅させるための補正を省略することとしているが、本発明はこれに限定されるものではない。すなわち、 θ_1 を点火クランク角、 θ_2 を燃焼終了クランク角として (1 3) の演算を行い、その演算の結果に対して、図 2 0 に示すオフセットを消滅させるための補正を施すこととしてもよい。

【 0 1 8 1 】

実施の形態 1 2 .

[実施の形態 1 2 の特徴]

次に、図 2 3 を参照して本発明の実施の形態 1 2 について説明する。本実施形態のシステムは、実施の形態 4 のシステムにおいて、ECU 5 0 に、上記 (1 3) 式により[NOx]を算出させる機能を与えたうえで、後述する図 2 3 に示すルーチンを実行させることにより実現することができる。

【 0 1 8 2 】

上述した通り、(6) 式による[NOx]の演算には多大な演算負荷が伴う。一方、(1 3) 式によれば、[NOx]の算出に伴う演算負荷は軽減することができる。しかしながら、(1 3) 式は、あくまで (6) 式の近似式であるから、[NOx]の演算精度は、(6) 式を用いる方が (1 3) 式を用いる場合に比して高くなる。

【 0 1 8 3 】

(6) 式の演算、及び (1 3) 式の演算は、何れも、膨張行程毎に実行することが必要である。従って、何れも演算式を用いる場合であっても[NOx]の演算処理は、内燃機関 1 0 のクランク角に同期するように繰り返すことが必要である。この場合、低回転領域では、1 周期の時間が長いため、比較的複雑な演算の実行が可能となる。他方、高回転領域では、1 周期の時間が短いため、複雑な演算の実行が困難となる。そこで、本実施形態では、低回転領域では[NOx]の演算式として (6) 式を用い、高回転領域では、その演算式を (1 3) 式に変更することとした。

【 0 1 8 4 】

[実施の形態 1 2 における具体的処理]

10

図 2 3 は、本実施形態において、ECU 5 0 が実行するルーチンのフローチャートである。図 2 3 に示すルーチンでは、先ず、機関回転数NEが、閾値NE0を超えているか否かが判断される (ステップ 1 4 0)。閾値NE0は、(6) 式による[NOx]の算出が可能な機関回転数NEの上限である。

【 0 1 8 5 】

上記の処理により、 $NE > NE0$ の判定が否定された場合は、機関回転数NEが低く、(6) 式による演算が可能であると判断できる。この場合は、NOx濃度推定値[NOx]の演算法として、(6) 式による手法が選択される (ステップ 1 4 2)。

【 0 1 8 6 】

一方、上記ステップ 1 4 0 において、 $NE > NE0$ が成立すると判定された場合は、機関回転数NEが高く、(6) 式による[NOx]の演算が困難であると判断できる。この場合は、NOx濃度推定値[NOx]の演算法として、(1 3) 式による手法が選択される (ステップ 1 4 4)。

20

【 0 1 8 7 】

次に、上記の処理により特定された手法でNOx濃度推定値[NOx]が算出される (ステップ 1 4 6)。(6) 式による推定の手法、及び (1 3) 式による推定の手法は、それぞれ、実施の形態 3 又は実施の形態 1 1 の場合と同様である。

【 0 1 8 8 】

以後、実施の形態 4 の場合と同様の手法で、評価関数Jが決定され (ステップ 1 4 8)、点火時期が制御される (ステップ 1 5 0)。これらの処理は、具体的には、ECU 5 0 が、図 1 0 に示すルーチンを実行することにより実現される。

30

【 0 1 8 9 】

以上の処理によれば、低回転領域においては、(6) 式を用いた演算処理により[NOx]を精度良く算出することができる。また、高回転領域では、[NOx]の演算式を (6) 式から (1 3) 式に代えることにより、ECU 5 0 の演算負荷が過大になるのを避けることができる。このため、本実施形態のシステムによれば、ECU 5 0 に対して過剰な演算能力を与えることなく、内燃機関 1 0 の全運転領域において、適切な精度で[NOx]を算出することができる。

【 0 1 9 0 】

尚、上述した実施の形態 1 2 においては、クランク角センサ 3 6 が前記第 1 4 の発明における「回転数センサ」に相当している。また、ECU 5 0 が、(6) 式を用いた手法でNOx濃度推定値[NOx]を算出することにより前記第 1 4 の発明における「第 1 の算出手段」が、(1 3) 式を用いた手法でNOx濃度推定値[NOx]を算出することにより前記第 1 4 の発明における「第 2 の算出手段」が、それぞれ実現されている。更に、ECU 5 0 が、ステップ 1 4 0 の処理を実行することにより前記第 1 4 の発明における「算出手法選択手段」が実現されている。

40

【 0 1 9 1 】

実施の形態 1 3 .

[実施の形態 1 3 の特徴]

次に、図 2 4 及び図 2 5 を参照して本発明の実施の形態 1 3 について説明する。図 2 4

50

は、本実施形態のシステムの構成を説明するための図である。図 2 4 に示す構成は、排気通路 1 4 に、NOx濃度センサ 9 0 が追加されている点を除いて図 1 に示す構成と同様である。本実施形態のシステムは、図 2 4 に示す構成において、ECU 5 0 に、以下に説明する図 2 5 に示すルーチンを実行させることにより実現することができる。

【 0 1 9 2 】

本実施形態のシステムは、上述した実施の形態 1 乃至 1 2 の手法の何れかにより NOx 濃度推定値 [NOx] を算出する。この場合、[NOx] は、膨張行程毎に、つまり、気筒毎に算出することができる。内燃機関 1 0 は、複数の気筒を有している。本実施形態において、ECU 5 0 は、それら複数の気筒のそれぞれについて [NOx] を算出するものとする。

【 0 1 9 3 】

排気ガスの成分は、複数の気筒において大きく異ならないのが通常である。このため、複数の気筒のそれぞれについて算出された [NOx] 同士を比較すれば、それらが正しく算出されているか否かを判断することが可能である。また、NOx 濃度センサ 9 0 の検出値を [NOx] と比較すれば、それらが共に正常であるかを判断することが可能である。特に、[NOx] が正しいと判断されていれば、上記の比較によって、NOx 濃度センサ 9 0 の検出値が正しいか否かを判断することが可能である。

【 0 1 9 4 】

[実施の形態 1 3 における具体的処理]

図 2 5 は、上記の原理に従って、[NOx] が正しく算出されているか、及び NOx 濃度センサ 9 0 が正常に機能しているかを判断するために ECU 5 0 が実行するルーチンのフローチャートである。このルーチンでは、まず、内燃機関 1 0 が備える複数の気筒のそれぞれにつき、NOx 濃度推定値 [NOx] が算出される (ステップ 1 6 0)。ここで、[NOx] を算出する手法は、上述した実施の形態 1 乃至 1 2 の何れで用いたものであってもよい。

【 0 1 9 5 】

次に、複数気筒の [NOx] が、正常とみなせるばらつきの範囲に収まっているかが判断される (ステップ 1 6 2)。具体的には、まず、全ての [NOx] の平均値が算出される。次に、その平均値からの乖離量が判定値を超えているか否かが、個々の [NOx] につき、順次判断される。その結果、判定値を超える乖離を伴う [NOx] が認められた場合は、[NOx] のバラツキが正常でないと判断される。この場合、[NOx] の推定異常が認識された後 (ステップ 1 6 4)、今回の処理サイクルが終了される。但し、ここで説明した手法は [NOx] のバラツキを判断する手法の一例であり、その手法はこれに限定されるものではない。

【 0 1 9 6 】

これに対して、上記ステップ 1 6 2 において [NOx] のバラツキが正常であると判断された場合は、次に、[NOx] の平均値と、NOx 濃度センサ 9 0 の検出値とが比較される (ステップ 1 6 6)。具体的には、両者の乖離量が正常値に収まっているか否かが判断される。その結果、上記の判断が肯定された場合は、NOx 濃度センサ 9 0 の正常判定がなされた後 (ステップ 1 6 8)、今回の処理サイクルが終了される。

【 0 1 9 7 】

一方、上記ステップ 1 6 6 において、[NOx] の平均値と NOx 濃度センサ 9 0 の検出値とが、判定値を超えて乖離していると判断された場合は、NOx 濃度センサ 9 0 の異常判定がなされる (ステップ 1 7 0)。以上の処理によれば、[NOx] の推定が正常に行われている否か、及び、NOx 濃度センサ 9 0 が正常に機能しているか否かを、簡単な比較の処理により、正確に判断することができる。

【 0 1 9 8 】

ところで、上述した実施の形態 1 3 においては、ECU 5 0 が、ステップ 1 6 6 の処理を実行することにより前記第 1 5 の発明における「異常判定手段」が実現されている。また、ECU 5 0 が、ステップ 1 6 0 の処理を実行することにより前記第 1 6 の発明における「内部エネルギー相関値算出手段」及び「NOx 濃度推定手段」が実現されている。更に、ECU 5 0 がステップ 1 6 2 の処理を実行することにより前記第 1 6 の発明における「正否判定手段」が実現されている。

【図面の簡単な説明】

【 0 1 9 9 】

【図 1】本発明の実施の形態 1 のシステムの構成を説明するための図である。

【図 2】内燃機関の負荷率 KL と NO_x 排出量の実測値との関係を示す図である。【図 3】負荷率 KL が大きい領域で NO_x 排出量の増加率が緩やかになる傾向を NO_x 濃度推定値 $[NO_x]$ に反映させるための補正係数 $f(kl)$ の一例を説明するための図である。【図 4】 $Y = KL$ の関係と $Y = KL * f(KL)$ の関係を $0 \leq KL \leq 1.0$ の範囲において表した図である。【図 5】本発明の実施の形態 1 のシステムが算出した NO_x 濃度推定値 $[NO_x]$ と排気ガス中の NO_x 濃度の実測値との相関を示した図である。

10

【図 6】VVTの作動に伴う残留ガス量の変化が (4) 式による NO_x 濃度推定値 $[NO_x]$ に与える影響を示す結果である。【図 7】吸気弁の進角量と吸気管圧力 P_m との関係を説明するための図である。【図 8】(6) 式に従って算出した NO_x 濃度推定値 $[NO_x]$ と、 NO_x 濃度の実測値との相関を示した図である。

【図 9】本発明の実施の形態 4 において、ECUが実行する制御の内容を説明するためのブロック図である。

【図 10】本発明の実施の形態 4 において、ECUが実行するルーチンのフローチャートである。

【図 11】本発明の実施の形態 5 において、ECUが実行する制御の内容を説明するためのブロック図である。

20

【図 12】内燃機関の排気ガス中の NO_x 濃度と負荷率 KL との関係を説明するための図である。

【図 13】本発明の実施の形態 7 において、ECUが実行する制御の内容を説明するためのブロック図である。

【図 14】本発明の実施の形態 8 において、ECUが実行する制御の内容を説明するためのブロック図である。

【図 15】本発明の実施の形態 9 において、ECUが実行する制御の内容を説明するためのブロック図である。

【図 16】 $V \cdot dP$ とクランク角 θ との関係を、 $MFB_{@ATDC8}$ をパラメータとして表した図である。

30

【図 17】内燃機関から排出される NO_x 濃度の実測値と $MFB_{@ATDC8}$ との関係を示す。【図 18】 NO_x 濃度の実測値と、 $(V \cdot dP)/KL$ との関係を示す。【図 19】 $(V \cdot dP)/KL$ と $MFB_{@ATDC8}$ との相関を示す図である。【図 20】 θ_1 を点火クランク角とし、かつ、 θ_2 を燃焼終了クランク角として (13) 式の演算を行った結果と、 NO_x 濃度の実測値との関係を示す。【図 21】 θ_1 及び θ_2 を設定 (14) に変更して (13) 式の演算を行った結果を示す。【図 22】 $MFB_{@ATDC8}$ と CA_{pmax} との関係を示す図である。

【図 23】本発明の実施の形態 12 において、ECUが実行するルーチンのフローチャートである。

40

【図 24】本発明の実施の形態 13 のシステムの構成を説明するための図である。

【図 25】本発明の実施の形態 13 において、ECUが実行するルーチンのフローチャートである。

【符号の説明】

【 0 2 0 0 】

1 0 内燃機関

1 8 吸気弁

2 2 排気弁

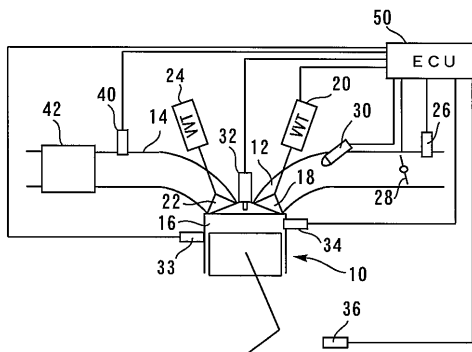
2 0 吸気側VVT

50

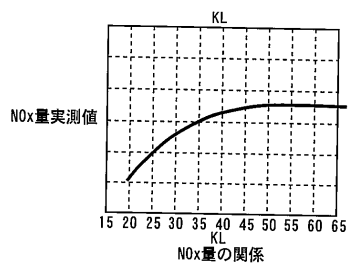
2 6 エアフロメータ
 3 4 筒内圧センサ
 3 6 クランク角センサ
 5 0 ECU (Electronic Control Unit)
 9 0 NOxセンサ
 V 筒内容積
 P 筒内圧力
 KL 負荷率
 Pm 吸気管圧力
 SA 点火進角値
 燃料噴射時間
 NE 機関回転数
 Ga 吸入空気量
 C_{Ap}max 最大筒内圧クランク角

10

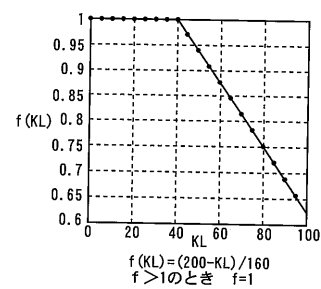
【図 1】



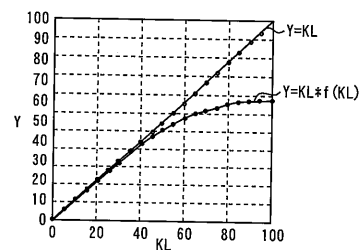
【図 2】



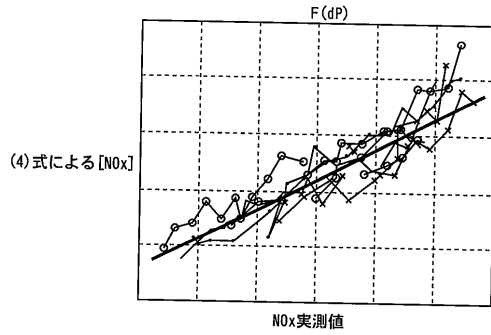
【図 3】



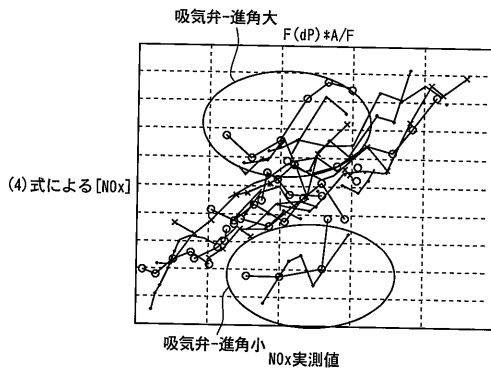
【図 4】



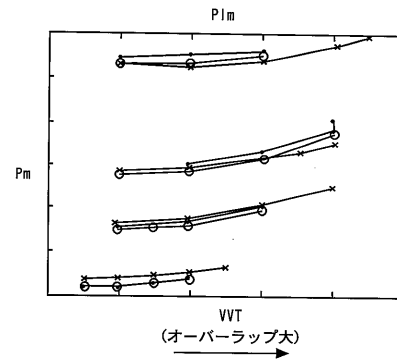
【図 5】



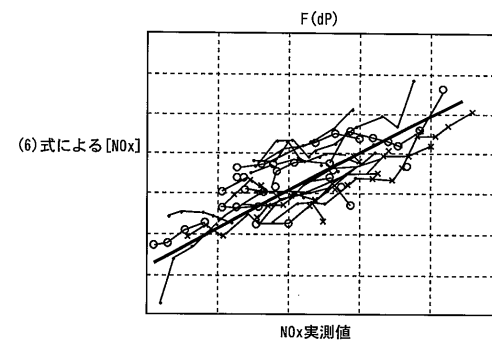
【図 6】



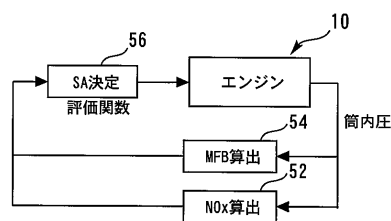
【図 7】



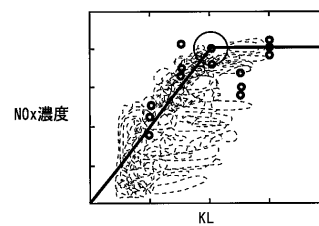
【図 8】



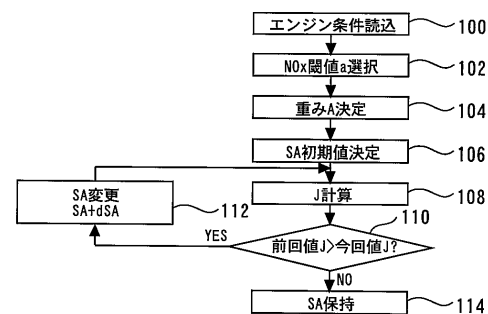
【図 9】



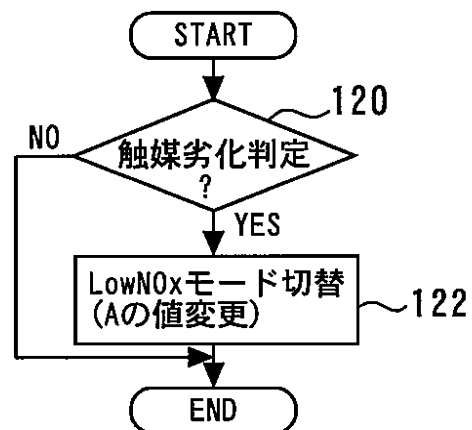
【図 12】



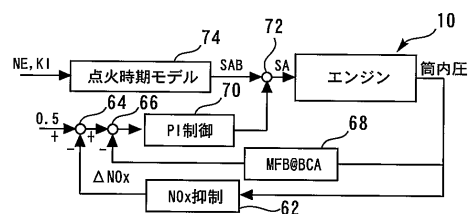
【図 10】



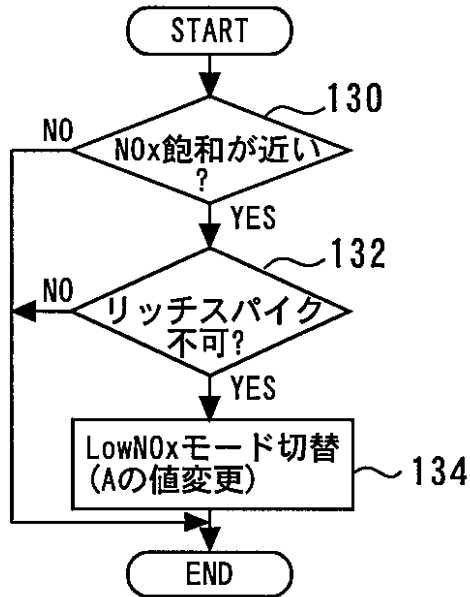
【図 13】



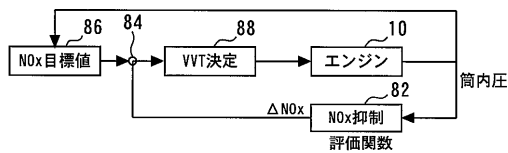
【図 11】



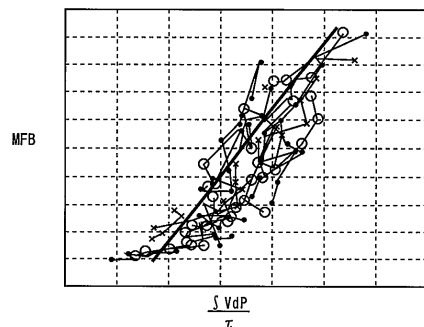
【図14】



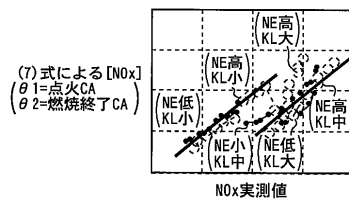
【図15】



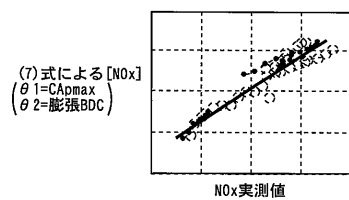
【図19】



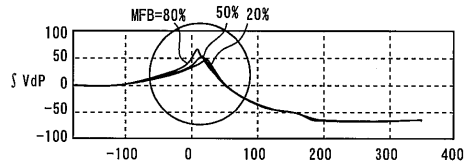
【図20】



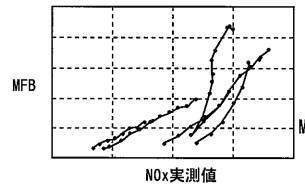
【図21】



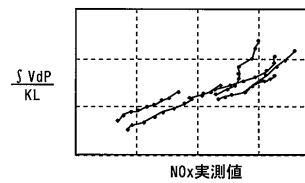
【図16】



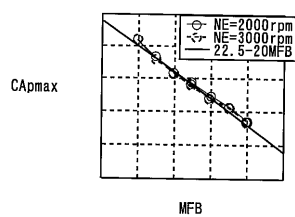
【図17】



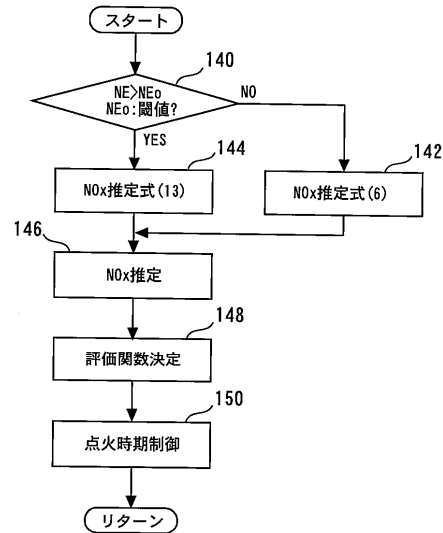
【図18】



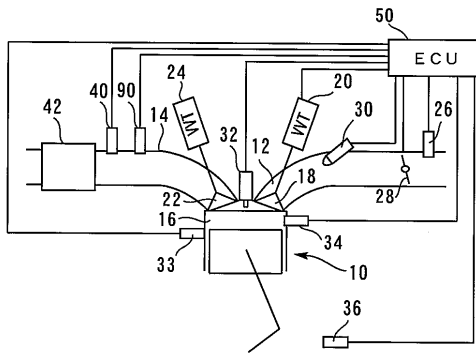
【図22】



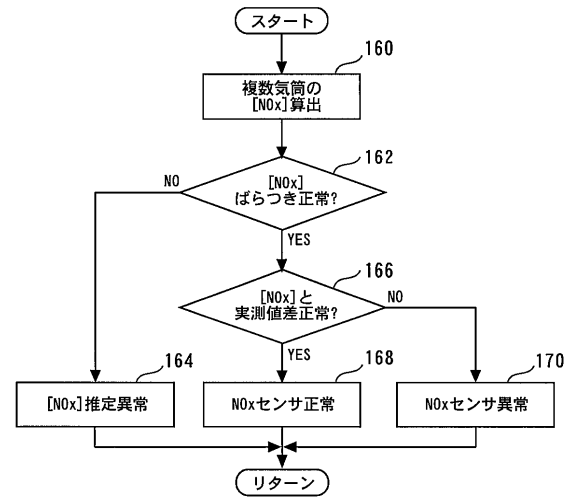
【図23】



【図 24】



【図 25】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
F 0 1 N 3/20 B
F 0 1 N 3/24 R

審査官 寺川 ゆりか

(56)参考文献 特開2002-371893(JP,A)
特開平06-108903(JP,A)
特開2006-144645(JP,A)
特開2006-183511(JP,A)
特開2003-148183(JP,A)
特開平07-133742(JP,A)
特開2005-061239(JP,A)
特開2002-047979(JP,A)
特開2004-278463(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F 0 2 D 4 5 / 0 0
F 0 1 N 3 / 2 0
F 0 1 N 3 / 2 4
F 0 2 D 1 3 / 0 2
F 0 2 P 5 / 1 5