

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4240325号
(P4240325)

(45) 発行日 平成21年3月18日(2009.3.18)

(24) 登録日 平成21年1月9日(2009.1.9)

(51) Int. Cl.	F I	
FO2D 41/14 (2006.01)	FO2D 41/14	310L
GO5B 13/00 (2006.01)	GO5B 13/00	A
GO5B 13/02 (2006.01)	GO5B 13/02	D
GO5B 13/04 (2006.01)	GO5B 13/04	
FO2D 45/00 (2006.01)	FO2D 41/14	310F
請求項の数 14 (全 50 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2006-77638 (P2006-77638)	(73) 特許権者	000005326
(22) 出願日	平成18年3月20日(2006.3.20)		本田技研工業株式会社
(62) 分割の表示	特願2001-400988 (P2001-400988) の分割		東京都港区南青山二丁目1番1号
原出願日	平成13年12月28日(2001.12.28)	(74) 代理人	100095566
(65) 公開番号	特開2006-226292 (P2006-226292A)		弁理士 高橋 友雄
(43) 公開日	平成18年8月31日(2006.8.31)	(72) 発明者	安井 裕司
審査請求日	平成18年3月20日(2006.3.20)		埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会 社本田技術研究所内
		審査官	柿崎 拓

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

予測アルゴリズムに基づき、制御対象の出力と所定の目標値との偏差である出力偏差の予測値を算出する予測値算出手段と、

当該算出された出力偏差の予測値に補正係数を乗算する乗算手段と、

当該補正係数を、前記出力偏差の予測値が所定値以上のときには、当該所定値未満のときよりも小さい値に設定する補正係数設定手段と、

変調アルゴリズム、変調アルゴリズムおよび変調アルゴリズムのうちのいずれか1つの変調アルゴリズムに基づき、前記補正係数が乗算された前記出力偏差の予測値に応じて、前記制御対象の出力を所定の目標値に収束するように制御するための、前記制御対象への制御入力を算出する制御入力算出手段と、

を備えることを特徴とする制御装置。

【請求項2】

前記予測値算出手段は、前記予測アルゴリズムに基づき、前記算出された制御入力と前記制御対象に入力された制御入力を反映する値との少なくとも一方、および前記制御対象の出力に応じて、前記出力偏差の予測値を算出することを特徴とする請求項1に記載の制御装置。

【請求項3】

前記予測アルゴリズムは、前記制御入力と前記制御対象に入力された制御入力を反映する値との一方を表す値と、前記出力偏差とを変数とする制御対象モデルに基づくアルゴリ

10

20

ズムであることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の制御装置。

【請求項 4】

前記制御入力と前記制御対象に入力された制御入力を反映する値との一方を表す値は、前記制御入力と所定の基準値との偏差、および前記制御対象に入力された制御入力を反映する値と前記所定の基準値との偏差の一方であることを特徴とする請求項 3 に記載の制御装置。

【請求項 5】

前記制御入力算出手段は、前記 1 つの変調アルゴリズムに基づき、前記補正係数が乗算された前記出力偏差の予測値に応じて中間値を算出するとともに、当該算出された中間値に所定のゲインを乗算した値に基づき、前記制御入力を算出することを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の制御装置。

10

【請求項 6】

前記制御対象のゲイン特性を表すゲインパラメータを検出するゲインパラメータ検出手段と、

当該検出されたゲインパラメータに応じて、前記所定のゲインの値を設定するゲイン設定手段と、

をさらに備えることを特徴とする請求項 5 に記載の制御装置。

【請求項 7】

前記制御入力算出手段は、前記 1 つの変調アルゴリズムに基づき、前記補正係数が乗算された前記出力偏差の予測値に応じて第 2 の中間値を算出するとともに、当該算出された第 2 の中間値に所定値を加算することにより、前記制御入力を算出することを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の制御装置。

20

【請求項 8】

前記予測値算出手段は、前記制御入力が入力されてから当該制御対象の出力に反映されるまでの予測時間を、前記制御対象の動特性に応じて算出するとともに、当該算出された予測時間に応じて、前記出力偏差の予測値を算出することを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の制御装置。

【請求項 9】

前記制御対象の出力は、内燃機関の排気通路の触媒よりも下流側に配置され、当該触媒を通過した後の排気ガスの空燃比を検出する下流側空燃比センサの出力であり、

30

前記制御対象への制御入力は、前記内燃機関に供給される混合気の目標空燃比であり、前記制御対象に入力された制御入力を反映する値は、前記排気通路の前記触媒よりも上流側に配置され、当該触媒を通過する前の排気ガスの空燃比を検出する上流側空燃比センサの出力であり、

前記予測値算出手段は、前記予測アルゴリズムに基づき、前記内燃機関に供給された混合気の目標空燃比および前記上流側空燃比センサの出力の少なくとも一方と、前記下流側空燃比センサの出力とに応じて、前記出力偏差の予測値を算出し、

前記制御入力算出手段は、前記 1 つの変調アルゴリズムに基づき、前記補正係数が乗算された前記出力偏差の予測値に応じて、前記下流側空燃比センサの出力を前記所定の目標値に収束させるための、前記内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比を算出する空燃比算出手段で構成されていることを特徴とする請求項 2 に記載の制御装置。

40

【請求項 10】

前記内燃機関の運転状態を検出する運転状態検出手段をさらに備え、

前記予測値算出手段は、当該検出された内燃機関の運転状態に応じて、前記目標空燃比の混合気が前記内燃機関に供給されてから前記下流側空燃比センサの出力に反映されるまでの予測時間を算出するとともに、当該算出された予測時間にさらに応じて、前記出力偏差の予測値を算出することを特徴とする請求項 9 に記載の制御装置。

【請求項 11】

前記内燃機関の運転状態を検出する運転状態検出手段をさらに備え、

前記空燃比算出手段は、

50

前記1つの変調アルゴリズムに基づき、前記補正係数が乗算された前記出力偏差の予測値に応じて、前記内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比の中間値を算出する中間値算出手段と、

前記検出された内燃機関の運転状態に応じて、ゲインを設定するゲイン設定手段と、
前記算出された中間値に当該設定されたゲインを乗算した値に基づいて、前記内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比を算出する目標空燃比算出手段と、
を備えることを特徴とする請求項9に記載の制御装置。

【請求項12】

前記制御対象の出力は、内燃機関の排気通路の触媒よりも下流側に配置され、当該触媒を通過した後の排気ガスの空燃比を検出する空燃比センサの出力であり、

前記制御対象への制御入力は、前記内燃機関に供給される混合気の目標空燃比であり、
前記予測値算出手段は、前記予測アルゴリズムに基づき、前記内燃機関に供給された混合気の目標空燃比および前記空燃比センサの出力に応じて、前記出力偏差の予測値を算出し、

前記制御入力算出手段は、前記1つの変調アルゴリズムに基づき、前記補正係数が乗算された前記出力偏差の予測値に応じて、前記空燃比センサの出力を前記所定の目標値に収束させるための、前記内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比を算出する空燃比算出手段で構成されていることを特徴とする請求項2に記載の制御装置。

【請求項13】

前記内燃機関の運転状態を検出する運転状態検出手段をさらに備え、

前記予測値算出手段は、当該検出された内燃機関の運転状態に応じて、前記目標空燃比の混合気が前記内燃機関に供給されてから前記空燃比センサの出力に反映されるまでの予測時間を算出するとともに、当該算出された予測時間にさらに応じて、前記出力偏差の予測値を算出することを特徴とする請求項12に記載の制御装置。

【請求項14】

前記内燃機関の運転状態を検出する運転状態検出手段をさらに備え、

前記空燃比算出手段は、
前記1つの変調アルゴリズムに基づき、前記補正係数が乗算された前記出力偏差の予測値に応じて、前記内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比の中間値を算出する中間値算出手段と、

前記検出された内燃機関の運転状態に応じて、ゲインを設定するゲイン設定手段と、
前記算出された中間値に当該設定されたゲインを乗算した値に基づいて、前記内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比を算出する目標空燃比算出手段と、
を備えることを特徴とする請求項12に記載の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、制御対象への制御入力を 変調アルゴリズムなどに基づいて算出することにより、制御対象の出力を目標値に収束させるように制御する制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、この種の制御装置として、例えば特許文献1に記載されたものが知られている。この制御装置は、制御対象の出力を検出し、その検出結果をアナログ量の検出信号として出力する検出手段と、上位装置から入力されるアナログ量の目標値と検出信号との偏差を演算する偏差演算手段と、演算された偏差を1ビットデジタル信号に変換する変換手段と、変換手段からの1ビットデジタル信号を補償し、操作信号として出力する補償手段とを備えている(同公報の図6参照)。

【0003】

この制御装置では、偏差演算手段により、検出信号と目標値との偏差(アナログ量)が演算され、この演算偏差は、変換手段での 変調によって1ビットデジタル信号に変換

10

20

30

40

50

され、さらに補償手段により補償された後、操作信号として制御対象に入力される。以上の構成により、制御対象の出力と目標値との偏差を打ち消すように、偏差と逆位相の操作量が生成され、制御対象に入力される。その結果、制御対象の出力が目標値に収束するようにフィードバック制御される。

【 0 0 0 4 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 1 - 1 5 4 7 0 4 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

上記従来の制御装置によれば、制御対象の動特性が比較的大きな位相遅れやむだ時間などを有している場合、それに起因して、制御対象への入力信号の入力後、入力信号を反映する出力信号が制御対象から出力されるまでに時間がかかり、制御対象の入出力間での制御タイミングのずれを生じる。その結果、制御系が不安定になってしまうおそれがある。例えば、内燃機関の燃料噴射量を入力として、内燃機関の排気ガスの空燃比を制御する場合、燃料噴射が実際に行われてから、排気ガスの空燃比の状態が実際に変化するまでに時間を要するため、空燃比制御の安定性および制御性が低下し、触媒で浄化された排気ガスの特性が不安定な状態になってしまうことがある。

【 0 0 0 6 】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、制御対象が位相遅れやむだ時間などが比較的大きい動特性を示す場合でも、制御対象の入出力間での制御タイミングのずれを解消することができ、それにより、制御の安定性および制御性を向上させることのできる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】

【 0 0 0 7 】

この目的を達成するために、請求項 1 に係る制御装置 1 は、予測アルゴリズム（式（6）、（7））に基づき、制御対象の出力（酸素濃度センサ 1 5 の出力 V_{out} ）と所定の目標値 V_{op} との偏差である出力偏差 V_{O2} の予測値 $PREV_{O2}$ を算出する予測値算出手段（ECU 2、状態予測器 2 2、ステップ 3 3）と、算出された出力偏差の予測値 $PREV_{O2}$ に補正係数（ゲイン K_{RDSM} 、 G_d ）を乗算する乗算手段（ECU 2、ステップ 1 9 5）と、補正係数を、出力偏差の予測値が所定値（値 0）以上のときに、所定値未満のときよりも小さい値に設定する補正係数設定手段（ECU 2、ステップ 1 9 2 ~ 1 9 4）と、変調アルゴリズム、変調アルゴリズムおよび変調アルゴリズムのうちのいずれか 1 つの変調アルゴリズムに基づき、補正係数（ゲイン K_{RDSM} 、 G_d ）が乗算された出力偏差の予測値 $PREV_{O2}$ に応じて、制御対象の出力を所定の目標値 V_{op} に収束するように制御するための、制御対象への制御入力（目標空燃比 K_{CMD} ）を算出する制御入力算出手段（ECU 2、ADSM コントローラ 2 0、ステップ 3 8）と、を備えることを特徴とする。

【 0 0 0 8 】

この制御装置によれば、予測アルゴリズムに基づき、制御対象の出力と所定の目標値との偏差である出力偏差の予測値が算出され、変調アルゴリズム、変調アルゴリズムおよび変調アルゴリズムのうちのいずれか 1 つの変調アルゴリズムに基づき、補正係数を乗算した出力偏差の予測値に応じて、制御入力が算出されるので、このような予測値を、例えば制御対象の位相遅れやむだ時間などの動特性を反映させた値として算出することにより、制御対象の入出力間での制御タイミングのずれを解消することが可能になる。さらに、制御対象の出力を所定の目標値に収束するように制御するための制御入力が、補正係数を乗算した出力偏差の予測値に応じて算出されるとともに、この補正係数が、出力偏差の予測値が所定値以上のときに、所定値未満のときよりも小さい値に設定されるので、出力偏差の予測値の所定値に対する大小関係に応じて、制御対象の出力を目標値に収束させる収束速度を変更することができる。その結果、制御の安定性の確保および制御性の向上が可能になる（なお、本明細書における、「予測値の算出」および「制御入力の算出

10

20

30

40

50

」などの「算出」は、プログラムにより演算することに限らず、ハードウェアによりそれらを表す電気信号を生成することを含む）。

【0009】

請求項2に係る発明は、請求項1に記載の制御装置1において、予測値算出手段は、予測アルゴリズムに基づき、算出された制御入力（目標空燃比KCMD）と制御対象に入力された制御入力を反映する値（LAFセンサ14の出力KACT）との少なくとも一方、および制御対象の出力（酸素濃度センサ15の出力Vout）に応じて、出力偏差の予測値PREVO2を算出することを特徴とする。

【0010】

この制御装置によれば、出力偏差の予測値を、制御入力の状態を反映させながら算出することができ、その分、出力偏差の予測値の算出精度（予測精度）を高めることができる。その結果、制御の安定性を確保でき、制御性を向上させることができる。

10

【0011】

請求項3に係る発明は、請求項1または2に記載の制御装置1において、予測アルゴリズムは、制御入力と制御対象に入力された制御入力を反映する値との一方を表す値（空燃比偏差DKCMD、LAF出力偏差DKACT）と、出力偏差VO2とを変数とする制御対象モデル（式（1））に基づくアルゴリズムであることを特徴とする。

【0012】

この制御装置によれば、制御入力または制御入力を反映する値との一方を表す値と、出力偏差とを変数とする制御対象モデルに基づいて、予測値が算出されるので、この制御対象モデルを、制御対象の位相遅れやむだ時間などの動特性を反映させたものとして定義することにより、出力偏差の予測値を、制御対象の位相遅れやむだ時間などの動特性を反映させた値として算出することができる。また、一般に、制御対象モデルでは、制御対象の入出力と所定値との偏差を、入出力を表す変数として定義した場合の方が、入出力の絶対値を変数として定義した場合よりも、モデルパラメータをより正確に同定または定義できることで、制御対象モデルの動特性を制御対象の実際の動特性に適合させることができるという事実が知られている。したがって、この制御装置によれば、制御対象モデルが、制御対象の出力と所定の目標値との偏差である出力偏差を変数としているので、制御対象の出力の絶対値を変数とする場合と比べて、制御対象の実際の動特性に対する制御対象モデルの動特性の適合性を向上させることができ、それにより、出力偏差の予測値の算出精度をさらに高めることができる。その結果、制御の安定性を確保することができ、制御性を向上させることができる。

20

30

【0015】

請求項4に係る発明は、請求項3に記載の制御装置1において、制御入力と制御対象に入力された制御入力を反映する値との一方を表す値は、制御入力（目標空燃比KCMD）と所定の基準値FLAFBASEとの偏差（空燃比偏差DKCMD）、および制御対象に入力された制御入力を反映する値（LAFセンサ14の出力KACT）と所定の基準値FLAFBASEとの偏差（LAF出力偏差DKACT）の一方であることを特徴とする。

【0016】

前述したように、制御対象モデルでは、制御対象の入出力と所定値との偏差を、入出力を表す変数として定義した場合の方が、入出力の絶対値を変数として定義した場合よりも、制御対象モデルの動特性を制御対象の実際の動特性に適合させることができる。したがって、この制御装置によれば、制御対象モデルが、算出された制御入力と所定の基準値との偏差、または制御対象に入力された制御入力を反映する値と所定の基準値との偏差を変数としているので、制御入力または制御入力を反映する値の絶対値を変数とする場合と比べて、制御対象の実際の動特性に対する制御対象モデルの動特性の適合性を向上させることができ、それにより、予測値の算出精度をより一層、高めることができる。

40

【0017】

請求項5に係る発明は、請求項1ないし4のいずれかに記載の制御装置1において、制御入力算出手段は、1つの変調アルゴリズムに基づき、補正係数（ゲインKRDSM, G

50

d) が乗算された出力偏差の予測値 $PREVO2$ に応じて中間値 (DSM 信号値 $DSMSGNS$) を算出するとともに、算出された中間値に所定のゲイン ($KDSM$) を乗算した値に基づき、制御入力 (目標空燃比 $KCMD$ 、適応目標空燃比 $KCMDSLD$) を算出することを特徴とする。

【0018】

一般に、変調アルゴリズム、変調アルゴリズムおよび変調アルゴリズムの各々は、制御対象のゲインが値 1 であるとして制御入力を決定するものである。制御対象の実際のゲインが値 1 と異なる場合には、制御入力が適切な値に算出されなくなることで、制御性が低下することがある。例えば、制御対象の実際のゲインが値 1 よりも大きい場合には、制御入力が必要以上に大きい値として算出されるため、オーバーゲインの状態になってしまふおそれがある。これに対して、この制御装置によれば、制御入力が、1 つの変調アルゴリズムに基づいて算出された中間値に所定のゲインを乗算した値に基づいて、算出されるので、この所定のゲインを適切に設定することにより、良好な制御性を確保することができる。

10

【0019】

請求項 6 に係る発明は、請求項 5 に記載の制御装置 1 において、制御対象のゲイン特性を表すゲインパラメータ (排気ガスボリューム AB_SV) を検出するゲインパラメータ検出手段 ($ECU2$ 、吸気管内絶対圧センサ 11、クランク角センサ 13、ステップ 80) と、検出されたゲインパラメータに応じて、所定のゲインの値 ($KDSM$) を設定するゲイン設定手段 ($ECU2$ 、ステップ 200) と、をさらに備えることを特徴とする。

20

【0020】

この制御装置によれば、制御入力の算出に用いる所定のゲインが、制御対象のゲイン特性に応じて設定されるので、制御入力を制御対象のゲイン特性に応じた適切なエネルギーを有する値として算出でき、それにより、オーバーゲイン状態の発生などを回避でき、良好な制御性を確保できる。

【0021】

請求項 7 に係る発明は、請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の制御装置 1 において、制御入力算出手段は、1 つの変調アルゴリズムに基づき、補正係数 (ゲイン $KRDSM, G_d$) が乗算された出力偏差の予測値 $PREVO2$ に応じて第 2 の中間値 (変調制御量 $DKCMDDSM$) を算出するとともに (ステップ 201)、算出された第 2 の中間値に所定値 (基準値 $FLAFBASE$) を加算することにより、制御入力 (適応目標空燃比 $KCMDSLD$) を算出する (ステップ 211) ことを特徴とする。

30

【0022】

一般に、変調アルゴリズム、変調アルゴリズムおよび変調アルゴリズムはいずれも、値 0 を中心とした正負反転型の制御入力しか算出できない。これに対して、この制御装置によれば、制御入力算出手段により、制御入力の算出が、1 つの変調アルゴリズムに基づいて算出された第 2 の中間値に所定値を加算することにより行われるので、制御入力を、値 0 を中心として正負反転する値だけでなく、所定値を中心として所定幅の増減を繰り返す値として算出することができ、制御の自由度を高めることができる。

【0023】

請求項 8 に係る発明は、請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の制御装置 1 において、予測値算出手段は、制御入力 (目標空燃比 $KCMD$) が制御対象に入力されてから制御対象の出力 (酸素濃度センサ 15 の出力 $Vout$) に反映されるまでの予測時間 dt を、制御対象の動特性 (排気ガスボリューム AB_SV) に応じて算出するとともに (ステップ 81)、算出された予測時間 dt に応じて、出力偏差の予測値 $PREVO2$ を算出する (ステップ 33) ことを特徴とする。

40

【0024】

この制御装置によれば、制御入力が制御対象に入力されてから制御対象の出力に反映されるまでの予測時間が、制御対象の動特性に応じて算出されるとともに、算出された予測時間に応じて、出力偏差の予測値 が算出されるので、このように算出された 出力偏差の予

50

測値を用いて制御入力を算出することにより、制御対象の応答遅れやむだ時間などに起因する、制御対象の入出力間での制御タイミングのずれを、より確実に解消することができ、制御性をより一層、向上させることができる。

【 0 0 2 5 】

請求項 9 に係る発明は、請求項 2 に記載の制御装置 1 において、制御対象の出力は、内燃機関 3 の排気通路（排気管 7）の触媒（第 1 触媒装置 8 a）よりも下流側に配置され、触媒を通過した後の排気ガスの空燃比を検出する下流側空燃比センサ（酸素濃度センサ 1 5）の出力 V_{out} であり、制御対象への制御入力は、内燃機関 3 に供給される混合気の目標空燃比 K_{CMD} であり、制御対象に入力された制御入力を反映する値は、排気通路の触媒（第 1 触媒装置 8 a）よりも上流側に配置され、触媒を通過する前の排気ガスの空燃比を検出する上流側空燃比センサ（LAF センサ 1 4）の出力 K_{ACT} であり、予測値算出手段は、予測アルゴリズム（式（7））に基づき、内燃機関に供給された混合気の目標空燃比 K_{CMD} および上流側空燃比センサの出力 K_{ACT} の少なくとも一方と、下流側空燃比センサの出力 V_{out} とに応じて、出力偏差 VO_2 の予測値 $PREVO_2$ を算出し、制御入力算出手段は、1 つの変調アルゴリズムに基づき、補正係数（ゲイン K_{RDSM} 、 G_d ）が乗算された出力偏差の予測値に応じて、下流側空燃比センサの出力 V_{out} を所定の目標値 V_{op} に収束させるための、内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比 K_{CMD} を算出する空燃比算出手段（ECU 2、ステップ 3 8）で構成されていることを特徴とする。

【 0 0 2 6 】

この制御装置によれば、下流側空燃比センサの出力と所定の目標値との偏差である出力偏差の予測値が、内燃機関に供給された混合気の目標空燃比および/または上流側空燃比センサの出力と、下流側空燃比センサの出力とに応じて算出され、下流側空燃比センサの出力を所定の目標値に収束させるための混合気の目標空燃比が、補正係数が乗算された出力偏差の予測値に応じて、1 つの変調アルゴリズムに基づき、算出される。制御入力すなわち混合気の目標空燃比が以上のように算出されるので、所定の目標値を適切に設定することにより、排気ガスの空燃比を、触媒による排気ガスの浄化状態が良好な状態になるように制御することができ、その結果、触媒で浄化された排気ガスの特性（以下「触媒後排気ガス特性」という）を向上させることができる。また、予測値が、触媒よりも上に設けた上流側空燃比センサの出力に応じて算出されるので、触媒に実際に供給される排気ガスの空燃比の状態を予測値により適切に反映させることができ、その分、予測値の算出精度を向上させることができる。さらに、出力偏差の予測値に乘算される補正係数が、出力偏差の予測値が所定値以上のときに、所定値未満のときよりも小さい値に設定されるので、出力偏差の予測値の所定値に対する大小関係に応じて、下流側空燃比センサの出力を所定の目標値に収束させる収束速度を変更することができる。したがって、例えばこの所定値を値 0 に設定した場合、出力偏差の予測値が値 0 以上のとき、すなわち下流側空燃比センサの出力が目標値よりも大きいことで、目標空燃比をリーン側に変更すべきときには、リッチ側に変更するときよりも収束速度が小さく設定されることにより、リーンバイアスによる NO_x 排出量の抑制効果を得ることができる。一方、目標空燃比をリッチ側に変更すべきときには、リーン側に変更するときよりも収束速度が大きい値に設定されることにより、触媒の NO_x 浄化率を十分に回復させることができる。

【 0 0 2 7 】

請求項 1 0 に係る発明は、請求項 9 に記載の制御装置 1 において、内燃機関の運転状態（エンジン回転数 NE 、吸気管内絶対圧 P_{BA} ）を検出する運転状態検出手段（ECU 2、吸気管内絶対圧センサ 1 1、クランク角センサ 1 3）をさらに備え、予測値算出手段は、検出された内燃機関の運転状態に応じて、目標空燃比の混合気が内燃機関に供給されてから下流側空燃比センサの出力に反映されるまでの予測時間 dt を算出するとともに、算出された予測時間 dt にさらに応じて、出力偏差 VO_2 の予測値 $PREVO_2$ を算出することを特徴とする。

【 0 0 2 8 】

10

20

30

40

50

この種の空燃比を制御する制御装置では、内燃機関および触媒を含めた制御対象の動特性（例えば応答遅れやむだ時間）は、内燃機関の運転状態、例えば排気ガスボリュームに応じて変化する。これに対して、この制御装置によれば、目標空燃比の混合気が内燃機関に供給されてから下流側空燃比センサの出力に反映されるまでの予測時間が、運転状態に応じて算出されるとともに、この算出された予測時間にさらに応じて、出力偏差の予測値が算出されるので、このように算出された予測値を用いて制御入力を算出することにより、制御対象の動特性に起因する、制御対象の入出力間での制御タイミングのずれを、より確実に解消することができ、触媒後排気ガス特性をより一層、向上させることができる。

【0029】

請求項11に係る発明は、請求項9に記載の制御装置1において、内燃機関の運転状態を検出する運転状態検出手段をさらに備え、空燃比算出手段は、1つの変調アルゴリズムに基づき、補正係数（ゲイン K_{RDSM} , G_d ）が乗算された出力偏差の予測値 $PREVO_2$ に応じて、内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比の中間値（DSM信号値 DSM_{SGNS} ）を算出する中間値算出手段（ECU2、ステップ195～199）と、検出された内燃機関の運転状態に応じて、ゲイン（ K_{DSM} ）を設定するゲイン設定手段（ECU2、ステップ200）と、算出された中間値に設定されたゲインを乗算した値に基づいて、内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比 K_{CMD} （適応目標空燃比 $K_{CMD_{SLD}}$ ）を算出する目標空燃比算出手段（ECU2、ステップ211）と、を備えることを特徴とする。

【0030】

この種の空燃比を制御する制御装置では、内燃機関および触媒を含めた制御対象の空燃比に対するゲイン特性は、内燃機関の運転状態、例えば排気ガスボリュームに応じて変化する。この場合、1つの変調アルゴリズムは、前述したように、制御対象のゲインが値1であるとして制御入力を決定するものであるので、制御対象のゲイン特性が上記のように変化すると、制御入力としての混合気の目標空燃比が適切な値から大きく離れた振動的なものとなり、触媒よりも下流側の下流側空燃比センサの出力も振動的なものとなる。その結果、触媒後排気ガス特性が悪化してしまう。これに対して、この制御装置によれば、混合気の目標空燃比が、1つの変調アルゴリズムに基づいて算出された中間値にゲインを乗算した値に基づいて、算出されるとともに、このゲインが運転状態に応じて設定されるので、混合気の目標空燃比を、運転状態の変化に伴う、制御対象のゲイン特性の変化を適切に反映した値として算出でき、それにより、触媒後排気ガス特性をさらに向上させることができる。

【0033】

請求項12に係る発明は、請求項2に記載の制御装置1において、制御対象の出力は、内燃機関の排気通路の触媒（第2触媒装置8b）よりも下流側に配置され、触媒を通過した後の排気ガスの空燃比を検出する空燃比センサ（酸素濃度センサ15）の出力 V_{out} であり、制御対象への制御入力は、内燃機関に供給される混合気の目標空燃比 K_{CMD} であり、予測値算出手段は、予測アルゴリズム（式（6））に基づき、内燃機関に供給された混合気の目標空燃比および空燃比センサの出力に応じて、出力偏差の予測値 $PREVO_2$ を算出し、制御入力算出手段は、1つの変調アルゴリズムに基づき、補正係数（ゲイン K_{RDSM} , G_d ）が乗算された出力偏差の予測値 $PREVO_2$ に応じて、空燃比センサの出力 V_{out} を所定の目標値 V_{op} に収束させるための、内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比を算出する空燃比算出手段（ECU2）で構成されていることを特徴とする。

【0034】

この制御装置によれば、空燃比センサの出力と所定の目標値との偏差である出力偏差の予測値が、内燃機関に供給された混合気の目標空燃比および空燃比センサの出力に応じて算出されるとともに、補正係数が乗算された出力偏差の予測値に応じて、空燃比センサの出力を所定の目標値に収束させるための混合気の目標空燃比が、1つの変調アルゴリズムに基づき、算出される。制御入力すなわち混合気の空燃比が以上のように算出されるので

、所定の目標値を適切に設定することにより、排気ガスの空燃比を、触媒による排気ガスの浄化状態が良好な状態になるように制御することができ、その結果、触媒後排気ガ斯特性を向上させることができる。また、単一の空燃比センサを用いるだけでよいので、このような制御装置を比較的、安価に実現することができる。

【0035】

請求項13に係る発明は、請求項12に記載の制御装置1において、内燃機関の運転状態（エンジン回転数NE、吸気管内絶対圧PBA）を検出する運転状態検出手段（ECU2、吸気管内絶対圧センサ11、クランク角センサ13）をさらに備え、予測値算出手段は、検出された内燃機関の運転状態に応じて、目標空燃比の混合気が内燃機関に供給されてから空燃比センサの出力に反映されるまでの予測時間dtを算出するとともに、算出された予測時間dtにさらに応じて、出力偏差の予測値PREVO2を算出することを特徴とする。

10

【0036】

この制御装置によれば、請求項10に係る発明と同様の作用効果を得ることができる。

【0037】

請求項14に係る発明は、請求項12に記載の制御装置1において、内燃機関の運転状態を検出する運転状態検出手段をさらに備え、空燃比算出手段は、1つの変調アルゴリズムに基づき、補正係数（ゲインKRDSM, G_d ）が乗算された出力偏差の予測値に応じて、内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比の中間値（DSM信号値DSMSGNS）を算出する中間値算出手段（ECU2）と、検出された内燃機関の運転状態に応じて、ゲイン（KDSM）を設定するゲイン設定手段（ECU2）と、算出された中間値に設定されたゲインを乗算した値に基づいて、内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比KCMD（適応目標空燃比KCMDSLD）を算出する目標空燃比算出手段（ECU2）と、を備えることを特徴とする。

20

【0038】

この制御装置によれば、請求項11に係る発明と同様の作用効果を得ることができる。

【0062】

この制御装置によれば、制御対象の出力を表す値の予測値が、制御対象モデルを適用した予測アルゴリズムに基づき、算出されるとともに、制御入力も、1つの変調アルゴリズムに基づき、算出された予測値に応じて算出される。この場合、前述したように、同定手段により同定されたモデルパラメータを用いることによって、制御対象モデルの動特性を実際の制御対象の動特性に適合させることができるので、そのような制御対象モデルを適用した予測アルゴリズムに基づき算出することによって、予測値を制御対象の実際の動特性を反映させた値として算出することができる。その結果、制御入力と制御対象の出力との間の制御タイミングのずれをさらに適切に補正することができ、制御の安定性および制御性をより一層、向上させることができる。

30

【0063】

請求項29に係る発明は、請求項28に記載の制御装置1において、制御入力算出手段は、制御入力も制御対象に入力されてから制御対象の出力に反映されるまでの予測時間dtを、制御対象の動特性（排気ガスボリュームAB__SV）に応じて算出するとともに（ステップ81）、予測アルゴリズムに基づき、算出された予測時間dtに応じて予測値PREVO2を算出する（ステップ33）ことを特徴とする。

40

【0064】

この制御装置によれば、請求項9に係る発明と同様の作用効果を得ることができる。

【0065】

請求項30に係る発明は、請求項18ないし29のいずれかに記載の制御装置1において、制御入力算出手段は、制御対象モデルおよび1つの変調アルゴリズムに基づき、中間値（DSM信号値DSMSGNS）を算出するとともに、算出された中間値に所定のゲイン（KDSM）を乗算した値に基づき、制御入力（目標空燃比KCMD）を算出することを特徴とする。

50

【 0 0 6 6 】

この制御装置によれば、請求項 6 に係る発明と同様の作用効果を得ることができる。

【 0 0 6 7 】

請求項 3 1 に係る発明は、請求項 3 0 に記載の制御装置 1 において、制御対象のゲイン特性を表すゲインパラメータ（排気ガスボリューム A B _ S V ）を検出するゲインパラメータ検出手段（ E C U 2、吸気管内絶対圧センサ 1 1、クランク角センサ 1 3、ステップ 8 0 ）と、検出されたゲインパラメータに応じて、所定のゲインの値（ K D S M ）を設定するゲイン設定手段（ E C U 2、ステップ 2 0 0 ）と、をさらに備えることを特徴とする。

【 0 0 6 8 】

この制御装置によれば、請求項 7 に係る発明と同様の作用効果を得ることができる。

【 0 0 6 9 】

請求項 3 2 に係る発明は、請求項 1 8 ないし 3 1 のいずれかに記載の制御装置 1 において、制御入力算出手段は、1 つの変調アルゴリズムに基づき、予測値に応じて第 2 の中間値（ 変調制御量 D K C M D D S M ）を算出するとともに（ステップ 2 0 1 ）、算出された第 2 の中間値に所定値（基準値 F L A F B A S E ）を加算することにより、制御入力（適応目標空燃比 K C M D S L D ）を算出する（ステップ 2 1 1 ）ことを特徴とする。

【 発明の効果 】

【 0 1 3 3 】

以上のように、本発明の制御装置によれば、制御対象が位相遅れやむだ時間などが比較的大きい動特性を示す場合でも、制御対象の入出力間での制御タイミングのずれを解消することができる。それにより、制御の安定性および制御性を向上させることができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 1 3 4 】

以下、図面を参照しながら、本発明の第 1 実施形態に係る制御装置について説明する。この第 1 実施形態は、制御装置を内燃機関の空燃比を制御するものとして構成した例であり、図 1 は、この制御装置 1 およびこれを適用した内燃機関 3 の概略構成を示している。同図に示すように、この制御装置 1 は、 E C U 2 を備えており、この E C U 2 は、後述するように、内燃機関（以下「エンジン」という） 3 の運転状態に応じて、これに供給する混合気の空燃比を制御する。

【 0 1 3 5 】

このエンジン 3 は、図示しない車両に搭載された直列 4 気筒型ガソリンエンジンであり、第 1 ~ 第 4 の 4 つの気筒 # 1 ~ # 4 を備えている。このエンジン 3 の吸気管 4 のスロットル弁 5 の近傍には、例えばポテンショメータなどで構成されたスロットル弁開度センサ 1 0 が設けられている。このスロットル弁開度センサ 1 0 は、スロットル弁 5 の開度（以下「スロットル弁開度」という） T H を検出して、その検出信号を E C U 2 に送る。

【 0 1 3 6 】

さらに、吸気管 4 のスロットル弁 5 よりも下流側には、吸気管内絶対圧センサ 1 1 が設けられている。この吸気管内絶対圧センサ 1 1（ゲインパラメータ検出手段、運転状態検出手段、動特性パラメータ検出手段）は、例えば半導体圧力センサなどで構成され、吸気管 4 内の吸気管内絶対圧 P B A を検出し、その検出信号を E C U 2 に出力する。

【 0 1 3 7 】

また、吸気管 4 は、インテークマニホールド 4 a の 4 つの分岐部 4 b を介して 4 つの気筒 # 1 ~ # 4 にそれぞれ接続されている。各分岐部 4 b には、各気筒の図示しない吸気ポートの上流側に、インジェクタ 6 が取り付けられている。各インジェクタ 6 は、エンジン 3 の運転時に、 E C U 2 からの駆動信号によって、その開弁時間である最終燃料噴射量 T O U T および噴射タイミングが制御される。

【 0 1 3 8 】

一方、エンジン 3 の本体には、例えばサーミスタなどで構成された水温センサ 1 2 が取り付けられている。水温センサ 1 2 は、エンジン 3 のシリンダブロック内を循環する冷却

10

20

30

40

50

水の温度であるエンジン水温 TW を検出し、その検出信号を $ECU2$ に出力する。

【0139】

また、エンジン3のクランクシャフト（図示せず）には、クランク角センサ13が設けられている。このクランク角センサ13（ゲインパラメータ検出手段、運転状態検出手段、動特性パラメータ検出手段）は、クランクシャフトの回転に伴い、いずれもパルス信号である CRK 信号および TDC 信号を $ECU2$ に出力する。

【0140】

CRK 信号は、所定のクランク角（例えば 30° ）ごとに1パルスが出力される。 $ECU2$ は、この CRK 信号に応じ、エンジン3の回転数（以下「エンジン回転数」という） NE を算出する。また、 TDC 信号は、各気筒のピストン（図示せず）が吸気行程の TDC 位置よりも若干、手前の所定のクランク角位置にあることを表す信号であり、所定クランク角ごとに1パルスが出力される。

【0141】

一方、排気管7（排気通路）のエキゾーストマニホールド7aよりも下流側には、上流側から順に第1および第2の触媒装置8a, 8b（触媒）が間隔を存して設けられている。各触媒装置8は、 NOx 触媒と3元触媒を組み合わせたものであり、この NOx 触媒は、図示しないが、イリジウム触媒（イリジウムを担持した炭化ケイ素ウイスカ粉末とシリカの焼成体）をハニカム構造の基材の表面に被覆し、その上にペロブスカイト型複酸化物（ $LaCoO_3$ 粉末とシリカの焼成体）をさらに被覆したものである。触媒装置8は、 NOx 触媒による酸化還元作用により、リーンバーン運転時の排気ガス中の NOx を浄化するとともに、3元触媒の酸化還元作用により、リーンバーン運転以外の運転時の排気ガス中の CO 、 HC および NOx を浄化する。なお、触媒装置8は、 NOx 触媒と3元触媒を組み合わせたものに限らず、排気ガス中の CO 、 HC および NOx を浄化できるものであればよい。例えば、触媒装置8を、ペロブスカイト型触媒などの非金属触媒および/または3元触媒などの金属触媒で構成してもよい。

【0142】

これらの第1および第2触媒装置8a, 8bの間には、酸素濃度センサ（以下「 O_2 センサ」という）15が取り付けられている。この O_2 センサ15（下流側空燃比センサ）は、ジルコニアおよび白金電極などで構成され、第1触媒装置8aの下流側の排気ガス中の酸素濃度に基づく出力 $Vout$ を $ECU2$ に送る。この O_2 センサ15の出力 $Vout$ （制御対象の出力）は、理論空燃比よりもリッチな混合気が燃焼したときには、ハイレベルの電圧値（例えば $0.8V$ ）となり、混合気がリーンのときには、ローレベルの電圧値（例えば $0.2V$ ）となるとともに、混合気が理論空燃比付近のときには、ハイレベルとローレベルの間の所定の目標値 Vop （例えば $0.6V$ ）となる（図2参照）。

【0143】

また、第1触媒装置8aよりも上流側のエキゾーストマニホールド7aの集合部付近には、 LAF センサ14（上流側空燃比センサ）が取り付けられている。この LAF センサ14は、 O_2 センサ15と同様のセンサとリニアライザなどの検出回路とを組み合わせることによって構成されており、リッチ領域からリーン領域までの広範囲な空燃比の領域において排気ガス中の酸素濃度をリニアに検出し、その酸素濃度に比例する出力 $KACT$ を $ECU2$ に送る。この出力 $KACT$ は、空燃比の逆数に比例する当量比として表される。

【0144】

次に、図2を参照しながら、第1触媒装置8aの排気ガスの浄化率と O_2 センサ15の出力 $Vout$ （電圧値）との関係について説明する。同図は、第1触媒装置8aが、長時間の使用により浄化能力が低下した劣化状態と、浄化能力の高い未劣化状態の場合において、 LAF センサ14の出力 $KACT$ すなわちエンジン3に供給される混合気の空燃比が理論空燃比の付近で変化したときの、2つの第1触媒装置8aの HC および NOx の浄化率と、 O_2 センサ15の出力 $Vout$ をそれぞれ測定した結果の一例を示している。同図において、破線で示すデータはいずれも、第1触媒装置8aが未劣化状態の場合の測定結果であり、実線で示すデータはいずれも、第1触媒装置8aが劣化状態の場合の測定結果

10

20

30

40

50

である。また、L A F センサ 1 4 の出力 K A C T が大きいほど、混合気の空燃比がよりリッチ側であることを示している。

【 0 1 4 5 】

同図に示すように、第 1 触媒装置 8 a が劣化している場合には、未劣化状態の場合と比べて、排気ガスの浄化能力が低下していることにより、L A F センサ 1 4 の出力 K A C T がよりリーン側の値 K A C T 1 のときに、O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t が目標値 V o p を横切っている。一方、第 1 触媒装置 8 a は、その劣化・未劣化状態にかかわらず、O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t が目標値 V o p にあるときに、H C および N O x を最も効率よく浄化する特性を有している。したがって、O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t が目標値 V o p になるように、混合気の空燃比を制御することにより、第 1 触媒装置 8 a によって排気ガスを最も効率よく浄化できることが判る。このため、後述する空燃比制御では、O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t が目標値 V o p に収束するように、目標空燃比 K C M D が制御される。

10

【 0 1 4 6 】

さらに、E C U 2 には、アクセル開度センサ 1 6、大気圧センサ 1 7、吸気温センサ 1 8 および車速センサ 1 9 などが接続されている。このアクセル開度センサ 1 6 は、車両の図示しないアクセルペダルの踏み込み量（以下「アクセル開度」という）A P を検出し、その検出信号を E C U 2 に出力する。また、大気圧センサ 1 7、吸気温センサ 1 8 および車速センサ 1 9 はそれぞれ、大気圧 P A、吸気温 T A および車速 V P を検出し、その検出信号を E C U 2 に出力する。

20

【 0 1 4 7 】

次に、E C U 2（予測値算出手段や、制御入力算出手段、ゲインパラメータ検出手段、ゲイン設定手段、空燃比算出手段、運転状態検出手段、中間値算出手段、目標空燃比算出手段、乗算手段、補正係数設定手段）について説明する。

【 0 1 4 8 】

この E C U 2 は、I / O インターフェース、C P U、R A M および R O M などからなるマイクロコンピュータから構成されており、前述した各種のセンサ 1 0 ~ 1 9 の出力に応じて、エンジン 3 の運転状態を判別するとともに、R O M に予め記憶された制御プログラムや R A M に記憶されたデータなどに従って、後述する適応空燃比制御処理またはマップ検索処理を実行することにより、目標空燃比 K C M D（制御入力）を算出する。さらに、後述するように、この目標空燃比 K C M D に基づいて、インジェクタ 6 の最終燃料噴射量 T O U T を気筒ごとに算出し、この算出した最終燃料噴射量 T O U T に基づいた駆動信号で、インジェクタ 6 を駆動することにより、混合気の空燃比を制御する。

30

【 0 1 4 9 】

図 3 に示すように、制御装置 1 は、目標空燃比 K C M D を算出する A D S M コントローラ 2 0 および P R I S M コントローラ 2 1 を備えており、両コントローラ 2 0、2 1 はいずれも、具体的には、E C U 2 により構成されている。

【 0 1 5 0 】

以下、A D S M コントローラ 2 0（制御入力算出手段）について説明する。この A D S M コントローラ 2 0 は、以下に述べる適応予測型 変調制御（Adaptive prediction Delta Sigma Modulation Control：以下「A D S M」という）処理の制御アルゴリズムにより、O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t を目標値 V o p に収束させるための目標空燃比 K C M D を算出するものであり、状態予測器 2 2、オンボード同定器 2 3 および D S M コントローラ 2 4 により構成されている。なお、この A D S M 処理の具体的なプログラムについては、後述する。

40

【 0 1 5 1 】

まず、状態予測器 2 2（予測値算出手段）について説明する。この状態予測器 2 2 は、以下に述べる予測アルゴリズムにより、出力偏差 V O 2 の予測値 P R E V O 2 を予測（算出）するものである。本実施形態では、制御対象への制御入力を混合気の目標空燃比 K C M D とし、制御対象の出力を O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t とし、インジェクタ 6 を含む

50

エンジン 3 の吸気系から、第 1 触媒装置 8 a を含む排気系の第 1 触媒装置 8 a の下流側の O₂ センサ 15 までの系を、制御対象と見なすとともに、この制御対象を、下式 (1) に示すように、離散時間系モデルである ARX モデル (auto-regressive model with exogenous input: 外部入力を持つ自己回帰モデル) としてモデル化する。

【 0 1 5 2 】

$$VO_2(k) = a_1 \cdot VO_2(k-1) + a_2 \cdot VO_2(k-2) + b_1 \cdot DKCMD(k-dt) \quad \dots\dots (1)$$

ここで、VO₂ は、O₂ センサ 15 の出力 V_{o u t} と前述した目標値 V_{o p} との偏差 (V_{o u t} - V_{o p}) である出力偏差を表し、DKCMD は、目標空燃比 KCMD (= o_p) と基準値 FLAFBASE との偏差 (KCMD - FLAFBASE) である空燃比偏差を表し、記号 k は、各データのサンプリングサイクルの順番を表している。この基準値 FLAFBASE は、所定の一定値に設定される。また、a₁, a₂, b₁ はモデルパラメータを表しており、オンボード同定器 23 により、後述するように逐次同定される。

10

【 0 1 5 3 】

さらに、上記式 (1) の dt は、目標空燃比 KCMD の混合気がインジェクタ 6 により吸気系に供給されてから、O₂ センサ 15 の出力 V_{o u t} に反映されるまでの予測時間を表しており、下式 (2) のように定義される。

$$dt = d + d' + dd \quad \dots\dots (2)$$

ここで、d は、LAF センサ 14 から O₂ センサ 15 までの排気系のむだ時間を、d' は、インジェクタ 6 から LAF センサ 14 までの空燃比操作系のむだ時間を、dd は、排気系と空燃比操作系との間の位相遅れ時間をそれぞれ表している (なお、後述する適応空燃比制御処理の制御プログラムでは、ADSM 処理と PRISM 処理とに切り換えて目標空燃比 KCMD を算出する処理を行うため、位相遅れ時間 dd = 0 に設定されている)。

20

【 0 1 5 4 】

以上のように、制御対象モデルを、出力偏差 VO₂ の時系列データおよび空燃比偏差 DKCMD で構成した理由は以下による。すなわち、一般に、制御対象モデルでは、制御対象の入出力と所定値との偏差を、入出力を表す変数として定義した場合の方が、入出力の絶対値を変数として定義した場合よりも、モデルパラメータをより正確に同定または定義できることで、制御対象モデルの動特性を制御対象の実際の動特性に適合させることができるという事実が知られている。したがって、本実施形態の制御装置 1 のように、制御対象モデルを、出力偏差 VO₂ の時系列データおよび空燃比偏差 DKCMD で構成することにより、O₂ センサ 15 の出力 V_{o u t} および目標空燃比 KCMD の絶対値を変数とする場合と比べて、制御対象の実際の動特性に対する制御対象モデルの動特性の適合性を向上させることができ、それにより予測値 PREVO₂ の算出精度を向上させることができる。

30

【 0 1 5 5 】

また、予測値 PREVO₂ は、目標空燃比 KCMD の混合気が吸気系に供給されてから予測時間 dt が経過した後の出力偏差 VO₂ (k + dt) を予測した値であり、上記式 (1) に基づき、予測値 PREVO₂ の算出式を導出すると、下式 (3) が得られる。

$$\begin{aligned} \text{PREVO}_2(k) \quad \text{VO}_2(k+dt) \\ = a_1 \cdot \text{VO}_2(k+dt-1) + a_2 \cdot \text{VO}_2(k+dt-2) + b_1 \cdot \text{DKCMD}(k) \quad \dots\dots (3) \end{aligned}$$

40

【 0 1 5 6 】

この式 (3) では、出力偏差 VO₂ (k) の未来値に相当する VO₂ (k + dt - 1), VO₂ (k + dt - 2) の算出が必要となり、実際にプログラム化するのは困難である。そのため、マトリクス A、B を、モデルパラメータ a₁, a₂, b₁ を用いて図 4 に示す式 (4)、(5) のように定義するとともに、上式 (3) の漸化式を繰り返し用いることにより、上式 (3) を変形すると、図 4 に示す式 (6) が得られる。予測アルゴリズムすなわち予測値 PREVO₂ の算出式として、この式 (6) を用いた場合、予測値 PREVO₂ が、出力偏差 VO₂ および空燃比偏差 DKCMD により算出される。

【 0 1 5 7 】

次に、LAF 出力偏差 DKACT を、LAF センサ 14 の出力 KACT (= i_n) と

50

基準値 $FLAFBASE$ との偏差 $(KACT - FLAFBASE)$ として定義すると、 $DKACT(k) = DKCMD(k - d')$ の関係が成立するので、この関係を図 4 の式 (6) に適用すると、図 4 に示す式 (7) が得られる。

【0158】

以上の式 (6) または式 (7) により算出される予測値 $PREVO2$ を用い、後述するように目標空燃比 $KCMD$ を算出することによって、制御対象の入出力間の応答遅れやむだ時間を適切に補償しながら、目標空燃比 $KCMD$ を算出することができる。特に、予測アルゴリズムとして、上記式 (7) を用いた場合、予測値 $PREVO2$ が、出力偏差 $VO2$ 、 LAF 出力偏差 $DKACT$ および空燃比偏差 $DKCMD$ により算出されるので、第 1 触媒装置 8a に実際に供給される排気ガスの空燃比の状態が反映された値として、予測値 $PREVO2$ を算出でき、その算出精度すなわち予測精度を上記式 (6) を用いた場合よりも向上させることができる。また、式 (7) を用いた場合において、 $d' = 1$ と見なせるときには、空燃比偏差 $DKCMD$ を用いることなく、出力偏差 $VO2$ および LAF 出力偏差 $DKACT$ のみにより、予測値 $PREVO2$ を算出できる。本実施形態では、 LAF センサ 14 がエンジン 3 に設けられているので、予測アルゴリズムとして上記式 (7) を採用する。

10

【0159】

なお、前述した式 (1) の制御対象モデルは、 $DKACT(k) = DKCMD(k - d')$ の関係を適用することにより、出力偏差 $VO2$ および LAF 出力偏差 $DKACT$ を変数とするモデルとして定義することも可能である。

20

【0160】

次に、オンボード同定器 23 (同定手段、同定誤差算出手段、フィルタリング手段、むだ時間設定手段、規制範囲設定手段、重みパラメータ設定手段、パラメータ決定手段) について説明する。このオンボード同定器 23 は、以下に述べる逐次型同定アルゴリズムにより、前述した式 (1) のモデルパラメータ $a1$ 、 $a2$ 、 $b1$ を同定 (算出) するものである。具体的には、図 5 に示す式 (8)、(9) により、モデルパラメータのベクトル (k) を算出する。同図の式 (8) において、 $KP(k)$ は、ゲイン係数のベクトルであり、 $ide_f(k)$ は同定誤差フィルタ値である。また、式 (9) における $(k)^T$ は、 (k) の転置行列を表し、 $a1'(k)$ 、 $a2'(k)$ および $b1'(k)$ は、後述するリミット処理を施す前のモデルパラメータを表している。なお、以下の説明では、「ベクトル」という表記を適宜、省略する。

30

【0161】

上記式 (8) の同定誤差フィルタ値 $ide_f(k)$ は、図 5 に示す式 (11) ~ (13) により算出される同定誤差 $ide(k)$ に、図 5 の式 (10) に示す移動平均フィルタリング処理を施した値である。図 5 の式 (10) の n は、移動平均フィルタリング処理のフィルタ次数 (1 以上の整数) を表しており、式 (12) の $VO2HAT(k)$ は、出力偏差 $VO2$ の同定値を表している。

【0162】

この同定誤差フィルタ値 $ide_f(k)$ を用いる理由は以下による。すなわち、本実施形態の制御対象は、目標空燃比 $KCMD$ を制御入力とし、 $O2$ センサ 15 の出力 $VO2$ を制御対象の出力とするものであり、その周波数特性としてはローパス特性を有している。このようなローパス特性を有する制御対象では、オンボード同定器 23 の同定アルゴリズム、具体的には後述する重み付き最小 2 乗法アルゴリズムの周波数重み特性に起因して、制御対象の高周波特性が強調された状態で、モデルパラメータが同定されるため、制御対象モデルのゲイン特性が制御対象の実際のゲイン特性よりも低くなる傾向を示す。その結果、制御装置 1 により $ADSM$ 処理または $PRISM$ 処理が実行された際、オーバーゲイン状態になることで、制御系が発散状態になり、不安定になる可能性がある。

40

【0163】

したがって、本実施形態では、重み付き最小 2 乗法アルゴリズムの周波数重み特性を適切に補正し、制御対象モデルのゲイン特性を、制御対象の実際のゲイン特性に一致させる

50

ために、上記同定誤差 $ide(k)$ に移動平均フィルタリング処理を施した同定誤差フィルタ値 $ide_f(k)$ を用いるとともに、後述するように、移動平均フィルタリング処理のフィルタ次数 n を、排気ガスボリューム AB_SV に応じて設定している。

【0164】

さらに、前述した図5の式(8)のゲイン係数のベクトル $KP(k)$ は、図5の式(14)により算出される。この式(14)の $P(k)$ は、図5の式(15)で定義される3次の正方行列である。

【0165】

以上のような同定アルゴリズムでは、式(15)の重みパラメータ w_1 、 w_2 の設定により、以下の4つの同定アルゴリズムのうちの1つが選択される。

すなわち、

$w_1 = 1$, $w_2 = 0$; 固定ゲインアルゴリズム

$w_1 = 1$, $w_2 = 1$; 最小2乗法アルゴリズム

$w_1 = 1$, $w_2 =$; 漸減ゲインアルゴリズム

$w_1 =$, $w_2 = 1$; 重み付き最小2乗法アルゴリズム

ただし、 w_1 は、 $0 < w_1 < 1$ に設定される所定値。

【0166】

本実施形態では、これらの4つの同定アルゴリズムのうちの重み付き最小2乗法アルゴリズムを採用する。これは、重みパラメータ w_1 の値をエンジン3の運転状態、具体的には排気ガスボリューム AB_SV に応じて設定することにより、同定精度と、モデルパラメータの最適値への収束速度とを適切に設定できることによる。例えば、低負荷運転状態のときには、それに応じて重みパラメータ w_1 の値を値1に近い値に設定することで、すなわち最小2乗法アルゴリズムに近いアルゴリズムに設定することで、良好な同定精度を確保できるとともに、高負荷運転状態のときには、それに応じて重みパラメータ w_1 の値を低負荷運転状態のときよりも小さい値に設定することにより、モデルパラメータを迅速に最適値に収束させることができる。以上のように、重みパラメータ w_1 の値を排気ガスボリューム AB_SV に応じて設定することにより、同定精度と、モデルパラメータの最適値への収束速度とを適切に設定することができ、それにより、触媒後排気ガス特性を向上させることができる。

【0167】

以上の式(8)~(15)の同定アルゴリズムにおいて、前述した $DKACT(k) = DKCMD(k - d')$ の関係を適用すると、図6に示す式(16)~(23)の同定アルゴリズムが得られる。本実施形態では、LAFセンサ14がエンジン3に設けられているので、これらの式(16)~(23)を用いる。これらの式(16)~(23)を用いた場合、前述した理由により、モデルパラメータを、第1触媒装置8aに実際に供給される排気ガスの空燃比の状態がより反映された値として同定することができ、それにより、上記式(8)~(15)の同定アルゴリズムを用いた場合よりも、モデルパラメータの同定精度を向上させることができる。

【0168】

また、このオンボード同定器23では、以上の同定アルゴリズムにより算出されたモデルパラメータ $a_1'(k)$ 、 $a_2'(k)$ および $b_1'(k)$ に、後述するリミット処理を施すことにより、モデルパラメータ $a_1(k)$ 、 $a_2(k)$ および $b_1(k)$ が算出される。さらに、前述した状態予測器22では、このようにリミット処理を施した後のモデルパラメータ $a_1(k)$ 、 $a_2(k)$ および $b_1(k)$ に基づき、予測値 $PREVO_2$ が算出される。

【0169】

次に、DSMコントローラ24について説明する。このDSMコントローラ24は、変調アルゴリズムを応用した制御アルゴリズムにより、状態予測器22で算出された予測値 $PREVO_2$ に基づき、制御入力 $op(k)$ (=目標空燃比 $KCMD$) を生成(算出)するとともに、これを制御対象に入力することにより、制御対象の出力としてのO2センサ15の出力 $vout$ を目標値 vop に収束させるように制御するものである。

10

20

30

40

50

【 0 1 7 0 】

まず、一般的な 変調アルゴリズムについて説明する。図 7 は、 変調アルゴリズムを適用したコントローラ 2 6 により、制御対象 2 7 を制御する制御系の構成を示している。同図に示すように、このコントローラ 2 6 では、差分器 2 6 a により、参照信号 $r(k)$ と遅延素子 2 6 b で遅延された D S M 信号 $u(k - 1)$ との偏差として偏差信号 $e(k)$ が生成される。次に、積分器 2 6 c により、偏差積分値 $d_d(k)$ が、偏差信号 $e(k)$ と遅延素子 2 6 d で遅延された偏差積分値 $d_d(k - 1)$ との和の信号として生成される。次いで、量子化器 2 6 e (符号関数) により、D S M 信号 $u(k)$ が、この偏差積分値 $d_d(k)$ を符号化した信号として生成される。そして、以上のように生成された D S M 信号 $u(k)$ が制御対象 2 7 に入力されることにより、出力信号 $y(k)$ が制御対象 2 7 から出力される。

10

【 0 1 7 1 】

以上の 変調アルゴリズムは、以下の数式 (2 4) ~ (2 6) で表される。

$$e(k) = r(k) - u(k - 1) \quad \dots\dots (2 4)$$

$$d_d(k) = d_d(k - 1) + e(k) \quad \dots\dots (2 5)$$

$$u(k) = \text{sgn}(d_d(k)) \quad \dots\dots (2 6)$$

ただし、符号関数 $\text{sgn}(d_d(k))$ の値は、 $d_d(k) > 0$ のときには $\text{sgn}(d_d(k)) = 1$ となり、 $d_d(k) < 0$ のときには $\text{sgn}(d_d(k)) = -1$ となる (なお、 $d_d(k) = 0$ のときに、 $\text{sgn}(d_d(k)) = 0$ と設定してもよい)。

20

【 0 1 7 2 】

図 8 は、以上の制御系の制御シミュレーション結果を示している。同図に示すように、正弦波状の参照信号 $r(k)$ を制御系に入力した場合、D S M 信号 $u(k)$ が矩形波状の信号として生成され、これを制御対象 2 7 に入力することにより、参照信号 $r(k)$ と異なる振幅で同じ周波数の、ノイズを有するものの全体として同様の波形の出力信号 $y(k)$ が、制御対象 2 7 から出力される。このように、 変調アルゴリズムの特性は、参照信号 $r(k)$ から生成された D S M 信号 $u(k)$ を制御対象 2 7 に入力したときに、制御対象 2 7 の出力 $y(k)$ が、参照信号 $r(k)$ に対して、異なる振幅で同じ周波数の、全体として同様の波形の信号となるような値として、D S M 信号 $u(k)$ を生成できるという点にある。言い換えれば、D S M 信号 $u(k)$ を、参照信号 $r(k)$ が制御対象 2 7 の実際の出力 $y(k)$ に再現されるような値として、生成 (算出) できるという点にある。

30

【 0 1 7 3 】

D S M コントローラ 2 4 は、このような 変調アルゴリズムの特性を利用し、O 2 センサ 1 5 の出力 V_{out} を目標値 V_{op} に収束させるための制御入力 $o_p(k)$ を算出するものである。その原理について説明すると、例えば図 9 に 1 点鎖線で示すように、出力偏差 V_{O2} が値 0 に対して揺らいでいる場合 (すなわち、O 2 センサ 1 5 の出力 V_{out} が目標値 V_{op} に対して揺らいでいる場合)、出力偏差 V_{O2} を値 0 に収束させる (すなわち出力 V_{out} を目標値 V_{op} に収束させる) には、図 9 に破線で示す、出力偏差 V_{O2} を打ち消すような逆位相波形の出力偏差 V_{O2}^* が生じるように、制御入力 $o_p(k)$ を生成すればよい。

40

【 0 1 7 4 】

しかし、前述したように、本実施形態の制御対象では、制御入力 $o_p(k)$ としての目標空燃比 K_{CMD} が制御対象に入力されてから O 2 センサ 1 5 の出力 V_{out} に反映されるまでに、予測時間 d_t 分の時間遅れが発生するため、現在の出力偏差 V_{O2} に基づいて、制御入力 $o_p(k)$ を算出した場合の出力偏差 $V_{O2}^{\#}$ は、図 9 に実線で示すように、出力偏差 V_{O2}^* に対して遅れを生じ、それにより、制御タイミングのずれが生じてしまう。したがって、これを補償するために、本実施形態の A D S M コントローラ 2 0 における D S M コントローラ 2 4 では、出力偏差 V_{O2} の予測値 $P_{REV_{O2}}$ を用いることにより、制御入力 $o_p(k)$ が、制御タイミングのずれを生じることなく、現在の出力偏差 V_{O2} を打ち消すような出力偏差 (逆位相波形の出力偏差 V_{O2}^* と同様の出力偏差) を生じさせる信号として生成される。

50

【 0 1 7 5 】

具体的には、このDSMコントローラ24では、図10に示すように、反転増幅器24aにより、参照信号r(k)が、値-1、参照信号用のゲインG_dおよび予測値PREVO2(k)を互いに乗算した信号として生成される。次に、差分器24bにより、この参照信号r(k)と遅延素子24cで遅延されたDSM信号u''(k-1)との偏差として偏差信号(k)が生成される。

【 0 1 7 6 】

次いで、積分器24dにより、偏差積分値_d(k)が、偏差信号(k)と遅延素子24eで遅延された偏差積分値_d(k-1)との和の信号として生成され、次に、量子化器24f(符号関数)により、DSM信号u''(k)が、この偏差積分値_d(k)を符号化した値として生成される。そして、増幅器24gにより、増幅DSM信号u(k)がDSM信号u''(k)を所定のゲインF_dで増幅した値として生成され、次に、加算器24hにより、この増幅DSM信号u(k)を所定の基準値FLAFBASEに加算した値として、制御入力op(k)が生成される。

10

【 0 1 7 7 】

以上のDSMコントローラ24の制御アルゴリズムは、以下の式(27)~(32)で表される。

$$r(k) = -1 \cdot G_d \cdot PREVO2(k) \quad \dots\dots (27)$$

$$(k) = r(k) - u''(k-1) \quad \dots\dots (28)$$

$$_d(k) = _d(k-1) + (k) \quad \dots\dots (29)$$

$$u''(k) = sgn(_d(k)) \quad \dots\dots (30)$$

$$u(k) = F_d \cdot u''(k) \quad \dots\dots (31)$$

$$op(k) = FLAFBASE + u(k) \quad \dots\dots (32)$$

20

ここで、G_d、F_dはゲインを表す。また、符号関数sgn(_d(k))の値は、_d(k)0のときにはsgn(_d(k))=1となり、_d(k)<0のときにはsgn(_d(k))=-1となる(なお、_d(k)=0のときに、sgn(_d(k))=0と設定してもよい)。

【 0 1 7 8 】

このDSMコントローラ24では、以上の式(27)~(32)に示す制御アルゴリズムにより、前述したように、制御入力op(k)が、制御タイミングのずれを生じることなく、出力偏差VO2を打ち消すような出力偏差VO2*を生じさせる値として算出される。すなわち、制御入力op(k)が、O2センサ15の出力Voutを目標値Vopに収束させることができる値として算出される。また、制御入力op(k)が、増幅DSM信号u(k)を所定の基準値FLAFBASEに加算した値として算出されるので、制御入力op(k)を値0を中心して正負反転する値だけでなく、基準値FLAFBASEを中心として増減を繰り返す値として算出できる。これにより、通常の変調アルゴリズムと比べて、制御の自由度を高めることができる。

30

【 0 1 7 9 】

次に、前記PRISMコントローラ21について説明する。このPRISMコントローラ21は、以下に述べるオンボード同定型スライディングモード制御処理(以下「PRISM処理」という)の制御アルゴリズムにより、O2センサ15の出力Voutを目標値Vopに収束させるための目標空燃比KCMDを算出するものであり、状態予測器22、オンボード同定器23およびスライディングモードコントローラ(以下「SLDコントローラ」という)25により構成されている。なお、このPRISM処理の具体的なプログラムについては後述する。

40

【 0 1 8 0 】

このPRISMコントローラ21のうちの状態予測器22およびオンボード同定器23については、既に説明したので、ここではSLDコントローラ25についてのみ説明する。このSLDコントローラ25は、スライディングモード制御アルゴリズムに基づいてスライディングモード制御を行うものであり、以下、一般的なスライディングモード制御ア

50

ルゴリズムについて説明する。このスライディングモード制御アルゴリズムでは、前述した式(1)の離散時間系モデルを制御対象モデルとして用いるため、切換関数は、下式(33)に示すように、出力偏差 $V O 2$ の時系列データの線形関数として設定される。

$$(k) = S 1 \cdot V O 2 (k) + S 2 \cdot V O 2 (k - 1) \quad \dots \dots (33)$$

ここで、 $S 1$ 、 $S 2$ は、 $-1 < (S 2 / S 1) < 1$ の関係が成立するように設定される所定の係数である。

【0181】

一般にスライディングモード制御アルゴリズムでは、切換関数が2つの状態変数(本実施形態では出力偏差 $V O 2$ の時系列データ)で構成されている場合、2つの状態変数で構成される位相空間は、これらをそれぞれ縦軸および横軸とする2次元の位相平面となるため、この位相平面上において、 $= 0$ を満たす2つの状態変数の値の組み合わせは、切換直線と呼ばれる直線上に載ることになる。したがって、制御対象への制御入力を、2つの状態変数の組み合わせが切換直線上に収束する(載る)ように適切に決定することにより、2つの状態変数をいずれも、値0になる平衡点に収束(スライディング)させることができる。さらに、スライディングモード制御アルゴリズムでは、切換関数の設定により、状態変数の動特性、より具体的には収束挙動や収束速度を指定することができる。例えば、本実施形態のように、切換関数が2つの状態変数で構成されている場合には、切換直線の傾きを値1に近づけると、状態変数の収束速度が遅くなる一方、値0に近づけると、収束速度が速くなる。

【0182】

本実施形態では、前記式(33)に示すように、切換関数が出力偏差 $V O 2$ の2つの時系列データ、すなわち出力偏差 $V O 2$ の今回値 $V O 2 (k)$ および前回値 $V O 2 (k - 1)$ により構成されているので、これらの今回値 $V O 2 (k)$ および前回値 $V O 2 (k - 1)$ の組み合わせを切換直線上に収束させるように、制御対象への制御入力すなわち目標空燃比 $K C M D$ を設定すればよい。具体的には、制御量 $U s 1 (k)$ を、基準値 $F L A F B A S E$ との和が目標空燃比 $K C M D$ となる値として定義すると、今回値 $V O 2 (k)$ および前回値 $V O 2 (k - 1)$ の組み合わせを切換直線上に収束させるための制御量 $U s 1 (k)$ は、適応スライディングモード制御アルゴリズムにより、図11に示す式(34)のように、等価制御入力 $U e q (k)$ 、到達則入力 $U r c h (k)$ および適応則入力 $U a d p (k)$ の総和として設定される。

【0183】

この等価制御入力 $U e q (k)$ は、出力偏差 $V O 2$ の今回値 $V O 2 (k)$ および前回値 $V O 2 (k - 1)$ の組み合わせを切換直線上に拘束しておくためのものであり、具体的には、図11に示す式(35)のように定義される。また、到達則入力 $U r c h (k)$ は、外乱やモデル化誤差などにより、出力偏差 $V O 2$ の今回値 $V O 2 (k)$ および前回値 $V O 2 (k - 1)$ の組み合わせが切換直線上から外れた際に、これらを切換直線上に収束させるためのものであり、具体的には、図11に示す式(36)のように定義される。この式(36)において、 F はゲインを表す。

【0184】

さらに、適応則入力 $U a d p (k)$ は、制御対象の定常偏差、モデル化誤差および外乱の影響を抑制しながら、出力偏差 $V O 2$ の今回値 $V O 2 (k)$ および前回値 $V O 2 (k - 1)$ の組み合わせを、切換超平面上に確実に収束させるためのものであり、具体的には、図11に示す式(37)のように定義される。この式(37)において、 G はゲインを、 T は制御周期をそれぞれ表す。

【0185】

本実施形態の $P R I S M$ コントローラ21の $S L D$ コントローラ25では、前述したように、出力偏差 $V O 2$ に代えて予測値 $P R E V O 2$ を用いるので、 $P R E V O 2 (k)$ 、 $V O 2 (k + d t)$ の関係を適用することにより、以上の式(33)~(37)のアルゴリズムを、図12に示す式(38)~(42)に書き換えて用いる。この式(38)における $P R E$ は、予測値 $P R E V O 2$ を用いたときの切換関数(以下「予測切換関数」と

10

20

30

40

50

いう)の値である。すなわち、このSLDコントローラ25では、以上のアルゴリズムで算出される制御量 $U_{sl}(k)$ を基準値FLAFBASEに加算することによって、目標空燃比KCMDが算出される。

【0186】

以下、ECU2により実行される燃料噴射量の算出処理について、図13を参照しながら説明する。なお、以下の説明では、今回値であることを示す記号(k)を適宜、省略する。図13は、この制御処理のメインルーチンを示しており、本処理は、TDC信号の入力に同期して割り込み実行される。この処理では、後述する適応空燃比制御処理、またはマップ検索処理により算出された目標空燃比KCMDを用いることによって、燃料噴射量TOUTが気筒ごとに算出される。

10

【0187】

まず、ステップ1(図では「S1」と略す。以下同じ)において、前述した各種のセンサ10~19の出力を読み込むとともに、読み込んだデータをRAM内に記憶する。

【0188】

次に、ステップ2に進み、基本燃料噴射量Timを算出する。この処理では、エンジン回転数NEおよび吸気管内絶対圧PBAに応じて、図示しないマップを検索することにより、基本燃料噴射量Timを算出する。

【0189】

次いで、ステップ3に進み、総補正係数KTOTALを算出する。この総補正係数KTOTALは、各種の運転パラメータ(例えば吸気温TAや、大気圧PA、エンジン水温TW、アクセル開度APなど)に応じて、各種のテーブルやマップを検索することで各種の補正係数を算出するとともに、これらの各種の補正係数を互いに乗算することにより、算出される。

20

【0190】

次に、ステップ4に進み、適応制御フラグF__PRISMONの設定処理を実行する。この処理の内容は図示しないが、具体的には、以下の(a)~(f)の条件がいずれも成立しているときには、適応空燃比制御処理で算出された目標空燃比KCMDを使用する条件が成立しているとして、それを表すために、適応制御フラグF__PRISMONが「1」にセットされる。一方、(a)~(f)の条件のうちの少なくとも1つが成立していないときには、適応制御フラグF__PRISMONが「0」にセットされる。

30

(a) LAFセンサ14およびO2センサ15がいずれも活性化していること。

(b) エンジン3がリーンバーン運転中でないこと。

(c) スロットル弁5が全開状態でないこと。

(d) 点火時期の遅角制御中でないこと。

(e) フューエルカット運転中でないこと。

(f) エンジン回転数NEおよび吸気管内絶対圧PBAがいずれも、所定の範囲内の値であること。

【0191】

次に、ステップ5に進み、ステップ4で設定された適応制御フラグF__PRISMONが「1」であるか否かを判別する。この判別結果がYESのときには、ステップ6に進み、目標空燃比KCMDを、後述する適応空燃比制御処理で算出された適応目標空燃比KCMDSLDに設定する。

40

【0192】

一方、ステップ5の判別結果がNOのときには、ステップ7に進み、目標空燃比KCMDをマップ値KCMDMAPに設定する。このマップ値KCMDMAPは、エンジン回転数NEおよび吸気管内絶対圧PBAに応じて、図示しないマップを検索することにより、算出される。

【0193】

以上のステップ6または7に続くステップ8では、オブザーバフィードバック補正係数#nKLAを気筒ごとに算出する。このオブザーバフィードバック補正係数#nKLA

50

Fは、気筒ごとの実際の空燃比のばらつきを補正するためのものであり、具体的には、オブザーバによりL A Fセンサ14の出力K A C Tから気筒ごとの実際の空燃比を推定し、これらの推定した空燃比に応じて、P I D制御により算出される。なお、このオブザーバフィードバック補正係数# n K L A Fの記号# nは、気筒の番号# 1 ~ # 4を表すものであり、これは、後述する要求燃料噴射量# n T C Y Lおよび最終燃料噴射量# n T O U Tにおいても同様である。

【0194】

次いで、ステップ9に進み、フィードバック補正係数K F Bを算出する。このフィードバック補正係数K F Bは、具体的には、以下のように算出される。すなわち、L A Fセンサ14の出力K A C Tと目標空燃比K C M Dとの偏差に応じて、P I D制御によりフィードバック係数K L A Fを算出する。また、図示しないSelf Tuning Regulator 型の適応制御器によりフィードバック補正係数K S T Rを算出し、これを目標空燃比K C M Dで除算することにより、フィードバック補正係数k s t rを算出する。そして、エンジン3の運転状態に応じて、これらの2つのフィードバック係数K L A Fおよびフィードバック補正係数k s t rの一方を、フィードバック補正係数K F Bとして設定する。

10

【0195】

次いで、ステップ10に進み、補正目標空燃比K C M D Mを算出する。この補正目標空燃比K C M D Mは、空燃比A / Fの変化による充填効率の変化を補償するためのものであり、前述したステップ6または7で算出された目標空燃比K C M Dに応じて、図示しないテーブルを検索することにより算出される。

20

【0196】

次に、ステップ11に進み、以上のように算出した基本燃料噴射量T i m、総補正係数K T O T A L、オブザーバフィードバック補正係数# n K L A F、フィードバック補正係数K F B、および補正目標空燃比K C M D Mを用い、下式(43)により、気筒ごとの要求燃料噴射量# n T C Y Lを算出する。

$$\# n T C Y L = T i m \cdot K T O T A L \cdot K C M D M \cdot K F B \cdot \# n K L A F \dots\dots (43)$$

【0197】

次に、ステップ12に進み、要求燃料噴射量# n T C Y Lを付着補正することにより、最終燃料噴射量# n T O U Tを算出する。この最終燃料噴射量# n T O U Tは、具体的には、今回の燃焼サイクルでインジェクタ6から噴射された燃料が燃焼室の内壁面に付着する割合などを、運転状態に応じて算出し、そのように算出した割合に基づいて、要求燃料噴射量# n T C Y Lを補正することにより、算出される。

30

【0198】

次いで、ステップ13に進み、以上のように算出した最終燃料噴射量# n T O U Tに基づく駆動信号を、対応する気筒のインジェクタ6に出力した後、本処理を終了する。

【0199】

次に、図14および図15を参照しながら、A D S M処理およびP R I S M処理を含む適応空燃比制御処理について説明する。この処理は、所定の周期(例えば10m s e c)で実行される。また、この処理では、エンジン3の運転状態に応じて、A D S M処理、P R I S M処理、またはスライディングモード制御量D K C M D S L Dを所定値S L D H O L Dに設定する処理により、目標空燃比K C M Dが算出される。

40

【0200】

この処理では、まず、ステップ20において、F / C後判定処理を実行する。この処理の内容は図示しないが、この処理では、フューエルカット運転中は、それを表すためにF / C後判定フラグF _ A F Cが「1」にセットされ、フューエルカット運転の終了後、所定時間X _ T M _ A F Cが経過したときには、それを表すためにF / C後判定フラグF _ A F Cが「0」にセットされる。

【0201】

次に、ステップ21に進み、車速V Pに基づいて、エンジン3を搭載した車両が発進し

50

たか否かを判定する発進判定処理を実行する。図 16 に示すように、この処理では、まず、ステップ 49 において、アイドル運転フラグ F_IDLE が「1」であるか否かを判別する。このアイドル運転フラグ F_IDLE は、アイドル運転中であるときに「1」に、それ以外のときに「0」にセットされる。

【0202】

この判別結果が YES で、アイドル運転中であるときには、ステップ 50 に進み、車速 V_P が所定車速 V_START (例えば 1 km/h) より小さいか否かを判別する。この判別結果が YES で、停車中であるときには、ステップ 51 に進み、ダウンカウント式の第 1 発進判定タイマのタイマ値 $T_MVOTVST$ を第 1 所定時間 T_VOTVST (例えば 3 msec) に設定する。

10

【0203】

次いで、ステップ 52 に進み、ダウンカウント式の第 2 発進判定タイマのタイマ値 T_MVST を、上記第 1 所定時間 T_VOTVST よりも長い第 2 所定時間 T_VST (例えば 500 msec) に設定する。次いで、ステップ 53, 54 において、第 1 および第 2 発進フラグ F_VOTVST , F_VST をいずれも「0」にセットした後、本処理を終了する。

【0204】

一方、ステップ 49 または 50 の判別結果が NO のとき、すなわちアイドル運転中でないか、または車両が発進したときには、ステップ 55 に進み、第 1 発進判定タイマのタイマ値 $T_MVOTVST$ が値 0 より大きいと判別する。この判別結果が YES で、アイドル運転の終了後または車両の発進後、第 1 所定時間 T_VOTVST が経過していないときには、第 1 発進モード中であるとして、ステップ 56 に進み、それを表すために第 1 発進フラグ F_VOTVST を「1」にセットする。

20

【0205】

一方、ステップ 55 の判別結果が NO で、アイドル運転の終了後または車両の発進後、第 1 所定時間 T_VOTVST が経過したときには、第 1 発進モードが終了したとして、ステップ 57 に進み、第 1 発進フラグ F_VOTVST を「0」にセットする。

【0206】

ステップ 56 または 57 に続くステップ 58 では、第 2 発進判定タイマのタイマ値 T_MVST が値 0 より大きいと判別する。この判別結果が YES で、アイドル運転の終了後または車両の発進後、第 2 所定時間 T_VST が経過していないときには、第 2 発進モード中であるとして、ステップ 59 に進み、それを表すために第 2 発進フラグ F_VST を「1」にセットした後、本処理を終了する。

30

【0207】

一方、ステップ 58 の判別結果が NO で、アイドル運転の終了後または車両の発進後、第 2 所定時間 T_VST が経過したときには、第 2 発進モードが終了したとして、前記ステップ 54 を実行した後、本処理を終了する。

【0208】

図 14 に戻り、ステップ 21 に続くステップ 22 では、状態変数の設定処理を実行する。図示しないが、この処理では、RAM 内に記憶されている、目標空燃比 K_CMD 、LAF センサ 14 の出力 K_ACT および出力偏差 V_O2 の時系列データをいずれも、1 サンプルングサイクル分ずつ過去側にシフトさせる。その後、 K_CMD 、 K_ACT および V_O2 の時系列データの最新の値と、基準値 F_LAF_BASE と、後述する適応補正項 F_LAF_ADP とに基づき、 K_CMD 、 K_ACT および V_O2 の今回値を算出する。

40

【0209】

次に、ステップ 23 に進み、PRISM / ADSM 処理の実行判定処理を行う。この処理は、PRISM 処理または ADSM 処理の実行条件が成立しているか否かを判定するものであり、具体的には、図 17 に示すフローチャートのように実行される。

【0210】

すなわち、図 17 のステップ 60 ~ 63 において、以下の (g) ~ (j) の条件がいず

50

れも成立しているときには、P R I S M処理またはA D S M処理を実行すべき運転状態にあるとして、それを表すために、ステップ64で、P R I S M / A D S M実行フラグF__P R I S M C A Lを「1」にセットした後、本処理を終了する。一方、(g)~(j)の条件の少なくとも1つが成立していないときには、P R I S M処理またはA D S M処理を実行すべき運転状態にないとして、それを表すために、ステップ65で、P R I S M / A D S M実行フラグF__P R I S M C A Lを「0」にセットした後、本処理を終了する。

(g) O2センサ15が活性化していること。

(h) LAFセンサ14が活性化していること。

(i) エンジン3がリーンバーン運転中でないこと。

(j) 点火時期の遅角制御中でないこと。

10

【0211】

図14に戻り、ステップ23に続くステップ24では、同定器演算の実行判定処理を行う。この処理は、オンボード同定器23によるパラメータ同定の実行条件が成立しているか否かを判定するものであり、具体的には、図18に示すフローチャートのように実行される。

【0212】

すなわち、図18のステップ70および71の判別結果がいずれもNOのとき、言い換えれば、スロットル弁開度THが全開状態でなく、かつフューエルカット運転中でないときには、パラメータ同定を実行すべき運転状態であるとして、ステップ72に進み、同定実行フラグF__I D C A Lを「1」にセットした後、本処理を終了する。一方、ステップ70または71の判別結果がYESのときには、パラメータ同定を実行すべき運転状態にないとして、ステップ73に進み、同定実行フラグF__I D C A Lを「0」にセットした後、本処理を終了する。

20

【0213】

図14に戻り、ステップ24に続くステップ25では、各種パラメータ(排気ガスボリュームAB__S Vなど)を算出する。この処理の具体的な内容は、後述する。

【0214】

次に、ステップ26に進み、前記ステップ23で設定されたP R I S M / A D S M実行フラグF__P R I S M C A Lが「1」であるか否かを判別する。この判別結果がYESで、P R I S M処理またはA D S M処理の実行条件が成立しているときには、ステップ27に進み、前記ステップ24で設定された同定実行フラグF__I D C A Lが「1」であるか否かを判別する。

30

【0215】

この判別結果がYESで、オンボード同定器23によるパラメータ同定を実行すべき運転状態のときには、ステップ28に進み、パラメータ初期化フラグF__I D R S E Tが「1」であるか否かを判別する。この判別結果がNOで、RAMに記憶されているモデルパラメータa1, a2, b1の初期化が不要であるときには、後述するステップ31に進む。

【0216】

一方、この判別結果がYESで、モデルパラメータa1, a2, b1の初期化が必要であるときには、ステップ29に進み、モデルパラメータa1, a2, b1を、それぞれの初期値に設定した後、それを表すためにステップ30に進み、パラメータ初期化フラグF__I D R S E Tを「0」にセットする。

40

【0217】

このステップ30または28に続くステップ31では、オンボード同定器23の演算を実行し、モデルパラメータa1, a2, b1を同定した後、後述する図15のステップ32に進む。このオンボード同定器23の演算の具体的な内容については、後述する。

【0218】

一方、ステップ27の判別結果がNOで、パラメータ同定を実行すべき運転状態でないときには、以上のステップ28~31をスキップして、図15のステップ32に進む。ス

50

ステップ27または31に続くステップ32では、モデルパラメータ a_1 , a_2 , b_1 として、同定値または所定値を選択する。この処理の内容は図示しないが、具体的には、前記ステップ24で設定された同定実行フラグ F_IDCAL が「1」のときには、モデルパラメータ a_1 , a_2 , b_1 をステップ31で同定された同定値に設定する。一方、同定実行フラグ F_IDCAL が「0」のときには、モデルパラメータ a_1 , a_2 , b_1 を所定値に設定する。

【0219】

次に、ステップ33に進み、後述するように、状態予測器22の演算を実行し、予測値 $PREVO_2$ を算出する。その後、ステップ34に進み、後述するように、制御量 U_{s1} を算出する。

10

【0220】

次いで、ステップ35に進み、SLDコントローラ25の安定判別を実行する。この処理の内容は図示しないが、具体的には、予測切換関数 PRE の値に基づき、SLDコントローラ25によるスライディングモード制御が安定状態にあるか否かを判別する。

【0221】

次に、ステップ36および37において、後述するように、SLDコントローラ25およびDSMコントローラ24により、スライディングモード制御量 $DKCMD_{SLD}$ および変調制御量 $DKCMD_{DSM}$ をそれぞれ算出する。

【0222】

次いで、ステップ38に進み、後述するように、SLDコントローラ25により算出されたスライディングモード制御量 $DKCMD_{SLD}$ 、またはDSMコントローラ24により算出された変調制御量 $DKCMD_{DSM}$ を用いて、適応目標空燃比 $KCMD_{SLD}$ を算出する。この後、ステップ39に進み、後述するように、適応補正項 $FLAFADP$ を算出した後、本処理を終了する。

20

【0223】

一方、図14に戻り、前記ステップ26の判別結果がNOで、PRISM処理およびADSM処理の実行条件がいずれも成立していないときには、ステップ40に進み、パラメータ初期化フラグ $F_IDRESET$ を「1」にセットする。次に、図15のステップ41に進み、スライディングモード制御量 $DKCMD_{SLD}$ を所定値 $SLDHOLD$ にセットする。次いで、前述したステップ38, 39を実行した後、本処理を終了する。

30

【0224】

次に、図19を参照しながら、前述したステップ25の各種パラメータを算出する処理について説明する。この処理では、まず、ステップ80において、下式(44)により、排気ガスボリューム AB_SV (空間速度の推定値) を算出する。

$$AB_SV = (NE / 1500) \cdot PBA \cdot X_SVPR A \quad \dots\dots (44)$$

ここで、 $X_SVPR A$ は、エンジン排気量に基づいて決定される所定の係数である。

【0225】

次に、ステップ81に進み、前述した空燃比操作系のむだ時間 $KACT_D (= d')$ 、排気系のむだ時間 $CAT_DELAY (= d)$ および予測時間 d_t を算出する。具体的には、ステップ80で算出された排気ガスボリューム AB_SV に応じて、図20に示すテーブルを検索することにより、むだ時間 $KACT_D$ 、 CAT_DELAY をそれぞれ算出するとともに、これらの和 ($KACT_D + CAT_DELAY$) を予測時間 d_t として設定する。すなわち、この制御プログラムでは、位相遅れ時間 dd が値0に設定される。

40

【0226】

このテーブルでは、排気ガスボリューム AB_SV が大きいほど、むだ時間 $KACT_D$ 、 CAT_DELAY がより小さい値に設定されている。これは、排気ガスボリューム AB_SV が大きいほど、排気ガスの流速が大きくなることで、むだ時間 $KACT_D$ 、 CAT_DELAY が短くなることによる。以上のように、むだ時間 $KACT_D$ 、 CAT_DELAY および予測時間 d_t が、排気ガスボリュームに応じて算出されるので、こ

50

れらを用いて算出した出力偏差 VO_2 の予測値 $PREVO_2$ に基づき、後述する適応目標空燃比 $KCMDSLD$ を算出することにより、制御対象の入出力間の制御タイミングのずれを解消することができる。また、モデルパラメータ a_1 、 a_2 、 b_1 が、上記むだ時間 CAT_DELAY を用いて同定されるので、制御対象モデルの動特性を、制御対象の実際の動特性に適合させることができ、それにより、制御対象の入出力間の制御タイミングのずれをさらに解消することができる。

【0227】

次に、ステップ82に進み、同定アルゴリズムの重みパラメータ w_1 、 w_2 の値を算出する。具体的には、重みパラメータ w_2 を値1に設定すると同時に、重みパラメータ w_1 を、排気ガスボリューム AB_SV に応じて、図21に示すテーブルを検索することにより算出する。

10

【0228】

このテーブルでは、排気ガスボリューム AB_SV が大きいほど、重みパラメータ w_1 がより小さい値に設定されており、言い換えれば、排気ガスボリューム AB_SV が小さいほど、重みパラメータ w_1 がより大きくかつ値1により近い値に設定されている。これは、排気ガスボリューム AB_SV が大きいほど、言い換えれば高負荷運転状態であるほど、モデルパラメータの同定をより迅速に行う必要があるので、重みパラメータ w_1 をより小さく設定することによって、モデルパラメータの最適値への収束速度を高めるためである。これに加えて、排気ガスボリューム AB_SV が小さいほど、すなわち低負荷運転状態であるほど、空燃比が変動しやすくなり、触媒後排気ガス特性が不安定になりやすいことで、モデルパラメータの良好な同定精度を確保する必要があるので、重みパラメータ w_1 を値1に近づける（最小2乗法アルゴリズムに近づける）ことによって、モデルパラメータの同定精度をより高めるためである。

20

【0229】

次に、ステップ83に進み、モデルパラメータ a_1 、 a_2 の値を制限するための下限値 X_IDA2L と、モデルパラメータ b_1 の値を制限するための下限値 X_IDB1L および上限値 X_IDB1H とを、排気ガスボリューム AB_SV に応じて、図22に示すテーブルを検索することにより算出する。

【0230】

このテーブルでは、下限値 X_IDA2L は、排気ガスボリューム AB_SV が大きいほど、より大きい値に設定されている。これは、排気ガスボリューム AB_SV の変化に応じたむだ時間の増減に伴い、制御系が安定状態となるモデルパラメータ a_1 、 a_2 の組み合わせが変化することによる。また、下限値 X_IDB1L および上限値 X_IDB1H も、排気ガスボリューム AB_SV が大きいほど、より大きい値に設定されている。これは、排気ガスボリューム AB_SV が大きいほど、触媒前空燃比（第1触媒装置8aよりも上流側の排気ガスの空燃比）が O_2 センサ15の出力 V_{out} に及ぼす影響の度合、すなわち制御対象のゲインがより大きくなることによる。

30

【0231】

次いで、ステップ84に進み、移動平均フィルタリング処理のフィルタ次数 n を算出した後、本処理を終了する。この処理では、フィルタ次数 n を、排気ガスボリューム AB_SV に応じて、図23に示すテーブルを検索することにより、算出する。

40

【0232】

このテーブルでは、排気ガスボリューム AB_SV が大きいほど、フィルタ次数 n がより小さい値に設定されている。これは、以下の理由による。すなわち、前述したように、排気ガスボリューム AB_SV が変化すると、制御対象の周波数特性、特にゲイン特性が変化するので、制御対象モデルのゲイン特性を、制御対象の実際のゲイン特性に一致させるためには、重み付き最小2乗法アルゴリズムの周波数重み特性を、排気ガスボリューム AB_SV に応じて適切に補正する必要がある。したがって、移動平均フィルタリング処理のフィルタ次数 n を、上記テーブルのように排気ガスボリューム AB_SV に応じて設定することにより、排気ガスボリューム AB_SV の変化にかかわらず、一定の同定重み

50

を同定アルゴリズムにおいて確保できるとともに、制御対象モデルと制御対象との間で互いのゲイン特性を一致させることができ、これにより、同定精度を向上させることができる。

【0233】

次に、図24を参照しながら、前記ステップ31のオンボード同定器23の演算処理について説明する。同図に示すよ

うに、この処理では、まず、ステップ90において、前述した式(22)より、ゲイン係数 $K_P(k)$ を算出する。次に、ステップ91に進み、前述した式(20)より、出力偏差 VO_2 の同定値 $VO_2HAT(k)$ を算出する。

【0234】

次いで、ステップ92に進み、前述した式(18)(19)より、同定誤差フィルタ値 $ide_f(k)$ を算出する。次に、ステップ93に進み、前述した式(16)より、モデルパラメータのベクトル (k) を算出した後、ステップ94に進み、モデルパラメータのベクトル (k) の安定化処理を実行する。この処理については後述する。

【0235】

次いで、ステップ95に進み、前述した式(23)より、正方行列 $P(k)$ の次回値 $P(k+1)$ を算出する。この次回値 $P(k+1)$ は、次のループでの算出において、正方行列 $P(k)$ の値として用いられる。

【0236】

以下、図25を参照しながら、上記ステップ94におけるモデルパラメータのベクトル (k) の安定化処理について説明する。同図に示すように、まず、ステップ100で、3つのフラグ F_A1STAB 、 F_A2STAB 、 F_B1STAB をいずれも「0」にセットする。

【0237】

次に、ステップ101に進み、後述するように、 a_1' と a_2' のリミット処理を実行する。次いで、ステップ102で、後述するように、 b_1' のリミット処理を実行した後、本処理を終了する。

【0238】

以下、図26を参照しながら、上記ステップ101の a_1' と a_2' のリミット処理について説明する。同図に示すように、まず、ステップ110において、前記ステップ93で算出したモデルパラメータの同定値 a_2' が、前記図19のステップ83で算出された下限値 X_IDA2L 以上であるか否かを判別する。この判別結果がNOのときには、ステップ111に進み、制御系を安定化させるために、モデルパラメータ a_2 を下限値 X_IDA2L に設定すると同時に、モデルパラメータ a_2 の安定化を実行したことを表すために、フラグ F_A2STAB を「1」にセットする。一方、この判別結果がYESで、 $a_2' < X_IDA2L$ のときには、ステップ112に進み、モデルパラメータ a_2 を同定値 a_2' に設定する。

【0239】

これらのステップ111または112に続くステップ113では、前記ステップ93で算出したモデルパラメータの同定値 a_1' が、所定の下限値 X_IDA1L (例えば値-2以上で値0より小さい一定値)以上であるか否かを判別する。この判別結果がNOのときには、ステップ114に進み、制御系を安定化させるために、モデルパラメータ a_1 を下限値 X_IDA1L に設定すると同時に、モデルパラメータ a_1 の安定化を実行したことを表すために、フラグ F_A1STAB を「1」にセットする。

【0240】

一方、ステップ113の判別結果がYESのときには、ステップ115に進み、同定値 a_1' が、所定の上限値 X_IDA1H (例えば値2)以下であるか否かを判別する。この判別結果がYESで、 $X_IDA1L < a_1' < X_IDA1H$ のときには、ステップ116に進み、モデルパラメータ a_1 を同定値 a_1' に設定する。一方、この判別結果がNOで、 $X_IDA1H < a_1'$ のときには、ステップ117に進み、モデルパラメータ

10

20

30

40

50

a 1 を上限値 X_IDA1H に設定すると同時に、モデルパラメータ a 1 の安定化を実行したことを表すために、フラグ F_ASTAB を「1」にセットする。

【0241】

これらのステップ 114、116 または 117 に続くステップ 118 では、以上のように算出したモデルパラメータ a 1 の絶対値と、モデルパラメータ a 2 との和 ($|a 1| + a 2$) が、所定の判定値 X_ASTAB (例えば値 0.9) 以下であるか否かを判別する。この判別結果が YES のときには、モデルパラメータ a 1, a 2 の組み合わせが、制御系の安定性を確保できる範囲 (図 27 にハッチングで示す規制範囲) 内にあるとして、そのまま本処理を終了する。

【0242】

一方、ステップ 118 の判別結果が NO のときには、ステップ 119 に進み、モデルパラメータ a 1 が、判定値 X_ASTAB から下限値 X_IDA2L を減算した値 ($X_ASTAB - X_IDA2L$) 以下であるか否かを判別する。この判別結果が YES のときには、ステップ 120 に進み、モデルパラメータ a 2 を、判定値 X_ASTAB からモデルパラメータ a 1 の絶対値を減算した値 ($X_ASTAB - |a 1|$) に設定すると同時に、モデルパラメータ a 2 の安定化を実行したことを表すために、フラグ F_ASTAB を「1」にセットした後、本処理を終了する。

【0243】

一方、ステップ 119 の判別結果が NO で、 $a 1 > (X_ASTAB - X_IDA2L)$ のときには、ステップ 121 に進み、制御系を安定化させるために、モデルパラメータ a 1 を、判定値 X_ASTAB から下限値 X_IDA2L を減算した値 ($X_ASTAB - X_IDA2L$) に設定し、モデルパラメータ a 2 を下限値 X_IDA2L に設定する。これと同時に、モデルパラメータ a 1, a 2 の安定化を実行したことを表すために、フラグ F_ASTAB , F_ASTAB をいずれも「1」にセットする。その後、本処理を終了する。

【0244】

前述したように、逐次型の同定アルゴリズムでは、制御対象の入出力が定常状態になると、自己励起条件の不足化に起因して、同定されたモデルパラメータの絶対値が増大する、いわゆるドリフト現象が発生しやすくなることで、制御系が不安定になったり、振動状態になったりすることがある。また、その安定限界も、エンジン 3 の運転状態に応じて変化する。例えば、低負荷運転状態のときには、排気ガスボリューム AB_SV が小さくなることで、供給された混合気に対する排気ガスの応答遅れやむだ時間などが大きくなり、それにより、O2 センサ 15 の出力 $Vout$ が振動状態になりやすい。

【0245】

これに対して、以上の a 1' & a 2' のリミット処理では、モデルパラメータ a 1, a 2 の組み合わせが、図 27 にハッチングで示す規制範囲内の値に収まるように設定されるとともに、この規制範囲を決定する下限値 X_IDA2L が、排気ガスボリューム AB_SV に応じて設定されるので、この規制範囲をエンジン 3 の運転状態の変化、すなわち制御対象の動特性の変化に伴う安定限界の変化が反映された適切な安定限界の範囲として設定することができ、そのような規制範囲内に収まるように規制されたモデルパラメータ a 1, a 2 を用いることにより、上記ドリフト現象の発生を回避でき、制御系の安定性を確保することができる。これに加えて、モデルパラメータ a 1, a 2 の組み合わせを、制御系の安定性を確保できる上記規制範囲内の値として設定することにより、モデルパラメータ a 1 およびモデルパラメータ a 2 を単独で規制した場合における、制御系の不安定な状態の発生を回避できる。以上により、制御系の安定性を向上させることができ、触媒後排気ガス特性を向上させることができる。

【0246】

次に、図 28 を参照しながら、前記ステップ 102 の b 1' のリミット処理について説明する。同図に示すように、この処理では、ステップ 130 において、前記ステップ 93 で算出されたモデルパラメータの同定値 b 1' が、前記図 19 のステップ 83 で算出され

10

20

30

40

50

た下限値 X_IDB1L 以上であるか否かを判別する。

【0247】

この判別結果が YES で、 $b1' < X_IDB1L$ のときには、ステップ 1311 に進み、モデルパラメータの同定値 $b1'$ が、前記図 19 のステップ 83 で算出された上限値 X_IDB1H 以下であるか否かを判別する。この判別結果が YES で、 $X_IDB1L < b1' < X_IDB1H$ のときには、ステップ 132 に進み、モデルパラメータ $b1$ を同定値 $b1'$ に設定した後、本処理を終了する。

【0248】

一方、ステップ 131 の判別結果が NO で、 $b1' > X_IDB1H$ のときには、ステップ 133 に進み、モデルパラメータ $b1$ を上限値 X_IDB1H に設定すると同時に、それを表すためにフラグ F_B1LMT を「1」にセットした後、本処理を終了する。

10

【0249】

一方、ステップ 130 の判別結果が NO で、 $b1' < X_IDB1L$ のときには、ステップ 134 に進み、モデルパラメータ $b1$ を下限値 X_IDB1L に設定すると同時に、それを表すためにフラグ F_B1LMT を「1」にセットした後、本処理を終了する。

【0250】

以上の $b1'$ のリミット処理を実行することにより、モデルパラメータ $b1$ を、 X_IDB1L 以上かつ X_IDB1H 以下の規制範囲内の値に制限することができ、それにより、逐次型の同定アルゴリズムによるドリフト現象の発生を回避できる。さらに、前述したように、これらの上下限值 X_IDB1H 、 X_IDB1L が、排気ガスボリューム AB_SV に応じて設定されるので、規制範囲をエンジン 3 の運転状態の変化、すなわち制御対象の動特性の変化に伴う安定限界の変化が反映された適切な安定限界の範囲として、設定することができ、そのような規制範囲内に規制されたモデルパラメータ $b1$ を用いることにより、制御系の安定性を確保することができる。以上により、制御系の安定性を向上させることができ、触媒後排気ガス特性を向上させることができる。

20

【0251】

次に、図 29 を参照しながら、前述したステップ 33 の状態予測器 22 の演算処理について説明する。この処理では、まず、ステップ 140 において、前述した式 (7) の行列要素 $1, 2, i, j$ を算出する。次いで、ステップ 141 に進み、ステップ 140 で算出した行列要素 $1, 2, i, j$ を式 (7) に適用することにより、出力偏差 $VO2$ の予測値 $PREVO2$ を算出した後、本処理を終了する。

30

【0252】

次に、図 30 を参照しながら、前述したステップ 34 の制御量 $Us1$ を算出する処理について説明する。この処理では、まず、ステップ 150 において、前述した図 12 の式 (38) により、予測切換関数 PRE を算出する。

【0253】

次に、ステップ 151 に進み、予測切換関数 PRE の積算値 $SUMSIGMA$ を算出する。この処理では、図 31 に示すように、まず、ステップ 160 において、下記の 3 つの条件 (1) ~ (n) のうちの少なくとも 1 つが成立しているか否かを判別する。

(1) 適応制御フラグ $F_PRISMON$ が「1」であること。

40

(m) 後述する積算値保持フラグ F_SS_HOLD が「0」であること。

(n) 後述する ADSM 実行フラグ F_KOPR が「0」であること。

【0254】

このステップ 160 の判別結果が YES のとき、すなわち積算値 $SUMSIGMA$ の算出条件が成立しているときには、ステップ 161 に進み、積算値 $SUMSIGMA$ の今回値 $SUMSIGMA(k)$ を、前回値 $SUMSIGMA(k-1)$ に、制御周期 T と予測切換関数 PRE との積を加算した値 $[SUMSIGMA(k-1) + T \cdot PRE]$ に設定する。

【0255】

次いで、ステップ 162 に進み、ステップ 161 で算出した今回値 $SUMSIGMA(k)$

50

k) が所定の下限値 $SUMSL$ より大きいかな否かを判別する。この判別結果が YES のときには、ステップ 162 に進み、今回値 $SUMSIGMA(k)$ が所定の上限値 $SUMSH$ より小さいかな否かを判別する。この判別結果が YES で、 $SUMSL < SUMSIGMA(k) < SUMSH$ のときには、そのまま本処理を終了する。

【0256】

一方、ステップ 163 の判別結果が NO で、 $SUMSIGMA(k) > SUMSH$ のときには、ステップ 164 に進み、今回値 $SUMSIGMA(k)$ を上限値 $SUMSH$ に設定した後、本処理を終了する。一方、ステップ 162 の判別結果が NO で、 $SUMSIGMA(k) < SUMSL$ のときには、ステップ 165 に進み、今回値 $SUMSIGMA(k)$ を下限値 $SUMSL$ に設定した後、本処理を終了する。

10

【0257】

一方、ステップ 160 の判別結果が NO のとき、すなわち 3 つの条件 (1) ~ (n) がいずれも不成立で、積算値 $SUMSIGMA$ の算出条件が不成立であるときには、ステップ 166 に進み、今回値 $SUMSIGMA(k)$ を前回値 $SUMSIGMA(k-1)$ に設定する。すなわち、積算値 $SUMSIGMA$ をホールドする。この後、本処理を終了する。

【0258】

図 30 に戻り、ステップ 151 に続くステップ 152 ~ 154 において、前述した図 12 の式 (40) ~ (42) により、等価制御入力 U_{eq} 、到達則入力 U_{rch} および適応則入力 U_{adp} をそれぞれ算出する。

20

【0259】

次に、ステップ 155 に進み、これらの等価制御入力 U_{eq} 、到達則入力 U_{rch} および適応則入力 U_{adp} の和を、制御量 U_s として設定した後、本処理を終了する。

【0260】

次に、図 32, 33 を参照しながら、前述した図 15 のステップ 36 のスライディングモード制御量 $DKCMDSD$ の算出処理について説明する。この処理では、まず、ステップ 170 において、制御量 U_s のリミット値算出処理を実行する。この処理では、その詳細は説明は省略するが、前述したステップ 35 のコントローラの安定判別処理の判別結果と、後述する制御量 U_s の適応上下限值 U_{sl_ah} , U_{sl_al} とに基づいて、非アイドル運転用の上下限值 U_{sl_ahf} , U_{sl_alf} と、アイドル運転用の上下限值 U_{sl_ahfi} , U_{sl_alfi} とをそれぞれ算出する。

30

【0261】

次いで、ステップ 171 に進み、アイドル運転フラグ F_IDLE が「0」であるかな否かを判別する。この判別結果が YES で、アイドル運転中でないときには、ステップ 172 に進み、前述した図 30 の処理で算出された制御量 U_s が、非アイドル運転用の下限値 U_{sl_alf} 以下であるかな否かを判別する。

【0262】

この判別結果が NO で、 $U_s > U_{sl_alf}$ のときには、ステップ 173 に進み、制御量 U_s が非アイドル運転用の上限値 U_{sl_ahf} 以上であるかな否かを判別する。この判別結果が NO で、 $U_{sl_alf} < U_s < U_{sl_ahf}$ のときには、ステップ 174 に進み、スライディングモード制御量 $DKCMDSD$ を制御量 U_s に設定すると同時に、積算値保持フラグ F_SS_HOLD を「0」にセットする。

40

【0263】

次いで、ステップ 175 に進み、適応下限値の今回値 $U_{sl_al}(k)$ を、前回値 $U_{sl_al}(k-1)$ に所定の減少側値 X_AL_DEC を加算した値 $[U_{sl_al}(k-1) + X_AL_DEC]$ に設定すると同時に、適応上限値の今回値 $U_{sl_ah}(k)$ を、前回値 $U_{sl_ah}(k-1)$ から所定の減少側値 X_AL_DEC を減算した値 $[U_{sl_ah}(k-1) - X_AL_DEC]$ に設定した後、本処理を終了する。

【0264】

一方、ステップ 173 の判別結果が YES で、 $U_s > U_{sl_ahf}$ のときには、ス

50

ステップ176に進み、スライディングモード制御量DKCMDSLDを非アイドル運転用の適応上限値Usl__ahfに設定すると同時に、積算値保持フラグF__SS__HOLDを「1」にセットする。

【0265】

次いで、ステップ177に進み、始動後タイマのタイマ値TMACRが所定時間X__TMAWASTより小さいこと、またはF/C後判定フラグF__AFCが「1」であることが成立しているか否かを判別する。この始動後タイマは、エンジン3の始動後の経過時間を計時するアップカウント式のタイマである。

【0266】

この判別結果がYESのとき、すなわち、エンジン始動後、所定時間X__TMAWASTが経過していないか、またはフューエルカット運転の終了後、所定時間X__TM__AFCが経過していないときには、そのまま本処理を終了する。

10

【0267】

一方、ステップ177の判別結果がNOのとき、すなわち、エンジン始動後、所定時間X__TMAWASTが経過し、かつフューエルカット運転の終了後、所定時間X__TM__AFCが経過したときには、ステップ178に進み、適応下限値の今回値Usl__al(k)を、前回値Usl__al(k-1)に減少側値X__AL__DECを加算した値[Usl__al(k-1)+X__AL__DEC]に設定すると同時に、適応上限値の今回値Usl__ah(k)を、前回値Usl__ah(k-1)に所定の増大側値X__AL__INCを加算した値[Usl__ah(k-1)+X__AL__INC]に設定した後、本処理を終了する。

20

【0268】

一方、ステップ172の判別結果がYESで、Usl Usl__alfのときには、ステップ179に進み、スライディングモード制御量DKCMDSLDを非アイドル運転用の適応下限値Usl__alfに設定すると同時に、積算値保持フラグF__SS__HOLDを「1」にセットする。

【0269】

次いで、ステップ180に進み、第2発進フラグF__VSTが「1」であるか否かを判別する。この判別結果がYESで、車両の発進後、第2所定時間TVSTが経過しておらず、第2発進モード中であるときには、そのまま本処理を終了する。

30

【0270】

一方、ステップ180の判別結果がNOで、車両の発進後、第2所定時間TVSTが経過し、第2発進モードが終了したときには、ステップ181に進み、適応下限値の今回値Usl__al(k)を、前回値Usl__al(k-1)から増大側値X__AL__INCを減算した値[Usl__al(k-1)-X__AL__INC]に設定すると同時に、適応上限値の今回値Usl__ah(k)を、前回値Usl__ah(k-1)から減少側値X__AL__DECを減算した値[Usl__ah(k-1)-X__AL__DEC]に設定する。その後、本処理を終了する。

【0271】

一方、ステップ171の判別結果がNOで、アイドル運転中であるときには、図33のステップ182に進み、制御量Uslが、アイドル運転用の下限値Usl__alfi以下であるか否かを判別する。この判別結果がNOで、Usl>Usl__alfiのときには、ステップ183に進み、制御量Uslがアイドル運転用の上限値Usl__ahfi以上であるか否かを判別する。

40

【0272】

この判別結果がNOで、Usl__alfi<Usl<Usl__ahfiのときには、ステップ184に進み、スライディングモード制御量DKCMDSLDを制御量Uslに設定すると同時に、積算値保持フラグF__SS__HOLDを「0」にセットした後、本処理を終了する。

【0273】

50

一方、ステップ183の判別結果がYESで、 $Usl \quad Usl_ahfi$ のときには、ステップ185に進み、スライディングモード制御量DKCMDSLDをアイドル運転用の上限値 Usl_ahfi に設定すると同時に、積算値保持フラグ F_SS_HOLD を「1」にセットした後、本処理を終了する。

【0274】

一方、ステップ182の判別結果がYESで、 $Usl \quad Usl_alfi$ のときには、ステップ186に進み、スライディングモード制御量DKCMDSLDをアイドル運転用の下限値 Usl_alfi に設定すると同時に、積算値保持フラグ F_SS_HOLD を「1」にセットした後、本処理を終了する。

【0275】

次に、図34を参照しながら、前述した図15のステップ37の変調制御量DKCMDSSMを算出する処理について説明する。同図に示すように、この処理では、まず、ステップ190において、RAMに記憶されている、前回のループで算出されたDSM信号値の今回値 $DSMSGNS(k) [= u''(k)]$ を、前回値 $DSMSGNS(k-1) [= u''(k-1)]$ として設定する。

【0276】

次に、ステップ191に進み、RAMに記憶されている、前回のループで算出された偏差積分値の今回値 $DSMSIGMA(k) [= \int_d(k)]$ を、前回値 $DSMSIGMA(k-1) [= \int_d(k-1)]$ として設定する。

【0277】

次いで、ステップ192に進み、出力偏差の予測値 $PREVO2(k)$ が値0以上であるか否かを判別する。この判別結果がYESのときには、エンジン3が混合気の空燃比をリーン側に変更すべき運転状態にあるとして、ステップ193に進み、参照信号値用のゲイン $KRDSM (= G_d)$ を、リーン化用の値 $KRDSML$ に設定した後、後述するステップ195に進む。

【0278】

一方、ステップ192の判別結果がNOのときには、エンジン3が混合気の空燃比をリッチ側に変更すべき運転状態にあるとして、ステップ194に進み、参照信号値用のゲイン $KRDSM$ を、リーン化用の値 $KRDSML$ よりも大きいリッチ化用の値 $KRDSMR$ に設定した後、ステップ195に進む。

【0279】

このように、リーン化用の値 $KRDSML$ およびリッチ化用の値 $KRDSMR$ が互いに異なる値に設定されている理由は、以下による。すなわち、混合気の空燃比をリーン側に変更する際には、第1触媒装置8aの NOx 浄化率を確保すべく、リーンバイアスによる NOx 排出量の抑制効果を得るために、リーン化用の値 $KRDSML$ をリッチ化用の値 $KRDSMR$ よりも小さい値に設定することで、O2センサ15の出力 $Vout$ の目標値 Vop への収束速度がリッチ側への変更時よりも遅くなるように、空燃比を制御する。一方、混合気の空燃比をリッチ側に変更する際には、第1および第2触媒装置8a, 8bの NOx 浄化率を十分に回復させるため、リッチ化用の値 $KRDSMR$ をリーン化用の値 $KRDSML$ よりも大きい値に設定することで、O2センサ15の出力 $Vout$ の目標値 Vop への収束速度がリーン側への変更時よりも速くなるように、空燃比を制御する。以上により、混合気の空燃比をリッチ側およびリーン側に変更する際、良好な触媒後排気ガス特性を確保することができる。

【0280】

ステップ193または194に続くステップ195では、値-1、参照信号値用のゲイン $KRDSM$ および予測値の今回値 $PREVO2(k)$ を互いに乗算した値から、上記ステップ190で算出したDSM信号値の前回値 $DSMSGNS(k-1)$ を減算した値 $[-1 \cdot KRDSM \cdot PREVO2(k) - DSMSGNS(k-1)]$ を、偏差信号値 $DSMDelta [= \Delta(k)]$ として設定する。この処理は、前述した式(27), (28)に相当する。

10

20

30

40

50

【0281】

次いで、ステップ196に進み、偏差積分値の今回値 $DSMSIGMA(k)$ を、ステップ191で算出した前回値 $DSMSIGMA(k-1)$ と、ステップ195で算出した偏差信号値 $DSMDELTA$ との和 $[DSMSIGMA(k-1) + DSMDELTA]$ に設定する。この処理は、前述した式(29)に相当する。

【0282】

次に、ステップ197~199において、ステップ196で算出した偏差積分値の今回値 $DSMSIGMA(k)$ が値0以上のときには、DSM信号値の今回値 $DSMSGNS(k)$ を値1に設定し、偏差積分値の今回値 $DSMSIGMA(k)$ が値0よりも小さいときには、DSM信号値の今回値 $DSMSGNS(k)$ を値-1に設定する。以上のステップ197~199の処理は、前述した式(30)に相当する。

10

【0283】

次いで、ステップ200において、排気ガスボリューム AB_SV に応じて、図35に示すテーブルを検索することにより、DSM信号値用のゲイン $KDSM (= F_d)$ を算出する。同図に示すように、このゲイン $KDSM$ は、排気ガスボリューム AB_SV が小さいほど、より大きな値に設定されている。これは、排気ガスボリューム AB_SV が小さいほど、すなわちエンジン3の運転負荷が小さい状態であるほど、O2センサ15の出力 $Vout$ の応答性が低下するので、それを補償するためである。このようにゲイン $KDSM$ を設定することにより、変調制御量 $DKCMDDSM$ を、例えばオーバーゲイン状態などを回避しながら、エンジン3の運転状態に応じて適切に算出することができ、それにより、触媒後排気ガス特性を向上させることができる。

20

【0284】

なお、このゲイン $KDSM$ の算出に用いるテーブルは、ゲイン $KDSM$ が排気ガスボリューム AB_SV に応じて設定されている上記テーブルに限らず、エンジン3の運転負荷状態を表すパラメータ(例えば基本燃料噴射時間 T_{im})に応じてゲイン $KDSM$ が予め設定されているものであればよい。また、触媒装置8a, 8bの劣化判別器が設けられている場合には、この劣化判別器で判別された触媒装置8a, 8bの劣化度合が大きいほど、ゲイン DSM をより小さい値に補正するようにしてもよい。

【0285】

次に、ステップ201に進み、変調制御量 $DKCMDDSM$ を、DSM信号値用のゲイン $KDSM$ と、DSM信号値の今回値 $DSMSGNS(k)$ とを互いに乗算した値 $[KDSM \cdot DSMSGNS(k)]$ に設定した後、本処理を終了する。この処理が、前述した式(31)に相当する。

30

【0286】

次に、図36を参照しながら、前述した図15のステップ38の適応目標空燃比 $KCMDSLD$ を算出する処理について説明する。同図に示すように、この処理では、まず、ステップ210において、アイドル運転フラグ F_IDLE が「1」であること、およびアイドル時 $ADSM$ 実行フラグ F_SWOPRI が「1」であることがいずれも成立しているか否かを判別する。このアイドル時 $ADSM$ 実行フラグ F_SWOPRI は、エンジン3がアイドル運転中で、かつ $ADSM$ 処理を実行すべき運転状態のときに「1」に、それ以外のときに「0」にセットされる。

40

【0287】

この判別結果がYESのとき、すなわちエンジン3がアイドル運転中で $ADSM$ 処理により適応目標空燃比 $KCMDSLD$ を算出すべき運転状態のときには、ステップ211に進み、適応目標空燃比 $KCMDSLD$ を、基準値 $FLAFBASE$ に変調制御量 $DKCMDDSM$ を加算した値 $[FLAFBASE + DKCMDDSM]$ に設定する。この処理が、前述した式(32)に相当する。

【0288】

次いで、ステップ212に進み、 $ADSM$ 処理を実行したことを表すために、 $ADSM$ 実行済みフラグ F_KOPR を「1」に設定した後、本処理を終了する。

50

【 0 2 8 9 】

一方、ステップ 2 1 0 の判別結果が N O のときには、ステップ 2 1 3 に進み、触媒 / O 2 センサフラグ F _ F C A T D S M が「 1 」であるか否かを判別する。この触媒 / O 2 センサフラグ F _ F C A T D S M は、以下の 4 つの条件 (o) ~ (r) のうちの少なくとも 1 つが成立しているときに「 1 」に、それ以外は「 0 」にセットされる。

(o) 第 1 触媒装置 8 a の触媒容量が所定値以上であること。

(p) 第 1 触媒装置 8 a の貴金属含有量が所定値以上であること。

(q) L A F センサ 1 4 がエンジン 3 の排気管 7 に設けられていないこと。

(r) O 2 センサ 1 5 が第 2 触媒装置 8 b よりも下流に設けられていること。

【 0 2 9 0 】

この判別結果が Y E S のときには、ステップ 2 1 4 に進み、第 1 発進フラグ F _ V O T V S T、および発進後 A D S M 実行フラグ F _ S W O P R V S T がいずれも「 1 」であるか否かを判別する。この発進後 A D S M 実行フラグ F _ S W O P R V S T は、車両の発進後で、かつエンジン 3 が A D S M 処理を実行すべき運転状態のときに「 1 」に、それ以外のときに「 0 」にセットされる。

【 0 2 9 1 】

この判別結果が Y E S のとき、すなわち車両の発進後、第 1 所定時間 T V O T V S T が経過し、かつ A D S M 処理を実行すべき運転状態のときには、前述したように、ステップ 2 1 1 , 2 1 2 を実行した後、本処理を終了する。

【 0 2 9 2 】

一方、ステップ 2 1 4 の判別結果が N O のときには、ステップ 2 1 5 に進み、排気ガスボリューム A B _ S V が所定値 O P R S V H 以下であること、および小排気時 A D S M 実行フラグ F _ S W O P R S V が「 1 」であることがいずれも成立しているか否かを判別する。小排気時 A D S M 実行フラグ F _ S W O P R S V は、エンジン 3 の排気ガスボリューム A B _ S V が小さい状態で、かつエンジン 3 が A D S M 処理を実行すべき運転状態のときに「 1 」に、それ以外のときに「 0 」にセットされる。

【 0 2 9 3 】

この判別結果が Y E S のとき、すなわち排気ガスボリューム A B _ S V が小さく、かつエンジン 3 が A D S M 処理を実行すべき運転状態のときには、前述したように、ステップ 2 1 1 , 2 1 2 を実行した後、本処理を終了する。

【 0 2 9 4 】

一方、ステップ 2 1 5 の判別結果が N O のときには、エンジン 3 が P R I S M 処理を実行すべき運転状態であるとして、ステップ 2 1 6 に進み、適応目標空燃比 K C M D S L D を、基準値 F L A F B A S E に適応補正項 F L A F A D P およびスライディングモード制御量 D K C M D S L D を加算した値 [F L A F B A S E + F L A F A D P + D K C M D S L D] に設定する。次いで、ステップ 2 1 7 に進み、P R I S M 処理を実行したことを表すために、A D S M 実行済みフラグ F _ K O P R を「 0 」にセットした後、本処理を終了する。

【 0 2 9 5 】

一方、前記ステップ 2 1 3 の判別結果が N O のとき、すなわち前述した 4 つの条件 (o) ~ (r) がいずれも成立していないときには、ステップ 2 1 4 , 2 1 5 をスキップし、前述したステップ 2 1 6 , 2 1 7 を実行した後、本処理を終了する。以上のように、この適応目標空燃比 K C M D S L D の算出処理では、適応目標空燃比 K C M D S L D が、エンジン 3 の運転状態に応じて、A D S M 処理または P R I S M 処理に切り換えて算出される。

【 0 2 9 6 】

次に、図 3 7 を参照しながら、図 1 5 のステップ 3 9 の適応補正項 F L A F A D P の算出処理について説明する。同図に示すように、この処理では、まず、ステップ 2 2 0 において、出力偏差 V O 2 が所定の範囲 (A D L < V O 2 < A D H) 内の値であるか否かを判別する。この判別結果が Y E S のとき、すなわち出力偏差 V O 2 が小さく、O 2 センサ 1

10

20

30

40

50

5 の出力 V_{out} が目標値 V_{op} の近傍にあるときには、ステップ 221 に進み、適応則入力 U_{adp} が所定の下限值 N_{RL} より小さいか否かを判別する。

【0297】

この判別結果が NO で、 $U_{adp} < N_{RL}$ のときには、ステップ 222 に進み、適応則入力 U_{adp} が所定の上限值 N_{RH} より大きいかなんかを判別する。この判別結果が NO で、 $N_{RL} < U_{adp} < N_{RH}$ のときには、ステップ 223 に進み、適応補正項の今回値 $F_{LAFADP}(k)$ を前回値 $F_{LAFADP}(k-1)$ に設定する。すなわち、適応補正項 F_{LAFADP} の値をホールドする。この後、本処理を終了する。

【0298】

一方、ステップ 222 の判別結果が YES で、 $U_{adp} > N_{RH}$ のときには、ステップ 224 に進み、適応補正項の今回値 $F_{LAFADP}(k)$ を、前回値 $F_{LAFADP}(k-1)$ に所定の更新値 $X_{FLAFDLT}$ を加算した値 $[F_{LAFADP}(k-1) + X_{FLAFDLT}]$ に設定した後、本処理を終了する。

【0299】

一方、ステップ 221 の判別結果が YES で、 $U_{adp} < N_{RL}$ のときには、ステップ 225 に進み、適応補正項の今回値 $F_{LAFADP}(k)$ を、前回値 $F_{LAFADP}(k-1)$ から所定の更新値 $X_{FLAFDLT}$ を減算した値 $[F_{LAFADP}(k-1) - X_{FLAFDLT}]$ に設定した後、本処理を終了する。

【0300】

以上のように、第 1 実施形態の制御装置 1 によれば、目標空燃比 K_{CMD} を制御入力とし、 O_2 センサ 15 の出力 V_{out} を出力とする、位相遅れやむだ時間などが比較的大きい動特性を有する制御対象において、制御対象の入出力間での制御タイミングのずれを適切に解消することができ、それにより、制御の安定性および制御性を向上させることができ、触媒後排気ガス特性を向上させることができる。

【0301】

以下、本発明の第 2 ~ 第 8 実施形態に係る制御装置について説明する。なお、以下の各実施形態の説明では、上述した第 1 実施形態と同じまたは同等の構成要素については、同一の参照番号を付し、その説明は適宜、省略するものとする。

【0302】

まず、図 38 を参照しながら、第 2 実施形態の制御装置について説明する。同図に示すように、この第 2 実施形態の制御装置 1 は、第 1 実施形態の制御装置 1 と比べて、オンボード同定器 23 のみが異なっている。具体的には、第 1 実施形態のオンボード同定器 23 では、 K_{ACT} 、 V_{out} および $op(K_{CMD})$ に基づいて、モデルパラメータ a_1 、 a_2 、 b_1 が算出されるのに対して、本実施形態のオンボード同定器 23 では、 V_{out} および op に基づいて、モデルパラメータ a_1 、 a_2 、 b_1 が算出される。

【0303】

すなわち、このオンボード同定器 23 では、第 1 実施形態の図 6 の式 (16) ~ (23) に示す同定アルゴリズムに代えて、前述した図 5 の式 (8) ~ (15) に示す同定アルゴリズムにより、モデルパラメータの同定値 a_1' 、 a_2' 、 b_1' が算出されるとともに、これらに前述した図 26、28 のリミット処理を施すことにより、モデルパラメータ a_1 、 a_2 、 b_1 が算出される。このオンボード同定器 23 の演算処理の具体的なプログラムは、図示しないが、第 1 実施形態のものと同様に構成される。以上のような本実施形態の制御装置 1 によれば、第 1 実施形態の制御装置 1 と同様の効果を得ることができる。

【0304】

次に、図 39 を参照しながら、第 3 実施形態の制御装置について説明する。同図に示すように、この第 3 実施形態の制御装置 1 は、第 1 実施形態の制御装置 1 と比べて、状態予測器 22 のみが異なっている。具体的には、第 1 実施形態の状態予測器 22 では、 a_1 、 a_2 、 b_1 、 K_{ACT} 、 V_{out} および $op(K_{CMD})$ に基づいて、予測値 $PREVO_2$ が算出されるのに対して、本実施形態のオンボード同定器 23 では、 a_1 、 a_2 、 b_1 、 V_{out} および op に基づいて、予測値 $PREVO_2$ が算出される。

【0305】

すなわち、この状態予測器22では、第1実施形態の図4の式(7)に示す予測アルゴリズムに代えて、同図の式(6)に示す予測アルゴリズムにより、出力偏差 V_{O2} の予測値 $PREV_{O2}$ が算出される。この状態予測器22の演算処理の具体的なプログラムは、図示しないが、第1実施形態のものとほぼ同様に構成される。この制御装置1によれば、第1実施形態の制御装置1と同様の効果を得ることができる。

【0306】

次に、図40を参照しながら、第4実施形態の制御装置について説明する。同図に示すように、この第4実施形態の制御装置1は、第1実施形態の制御装置1と比べると、ADSMコントローラ20、PRISMコントローラ21およびオンボード同定器23に代えて、スケジュール型DSMコントローラ20A、スケジュール型状態予測スライディングモードコントローラ21Aおよびパラメータスケジューラ28(モデルパラメータ設定手段)を用いることで、モデルパラメータ a_1 、 a_2 、 b_1 を算出する点のみが異なっている。

【0307】

このパラメータスケジューラ28では、まず、前述した式(44)により、エンジン回転数 NE および吸気管内絶対圧 P_{BA} に基づいて、排気ガスボリューム AB_{SV} が算出される。次いで、図41に示すテーブルにより、排気ガスボリューム AB_{SV} に応じて、モデルパラメータ a_1 、 a_2 、 b_1 が算出される。

【0308】

このテーブルでは、モデルパラメータ a_1 は、排気ガスボリューム AB_{SV} が大きいほど、より小さい値に設定されており、これとは逆に、モデルパラメータ a_2 、 b_1 は、排気ガスボリューム AB_{SV} が大きいほど、より大きい値に設定されている。これは、排気ガスボリューム AB_{SV} の増大に伴い、制御対象の出力すなわち O_2 センサ15の出力 V_{out} が安定化する一方、排気ガスボリューム AB_{SV} の減少に伴い、 O_2 センサ15の出力 V_{out} が振動的になることによる。

【0309】

スケジュール型DSMコントローラ20Aは、以上のように算出されたモデルパラメータ a_1 、 a_2 、 b_1 を用い、前述した第1実施形態と同様のDSMコントローラ24により目標空燃比 K_{CMD} を算出する。また、スケジュール型状態予測スライディングモードコントローラ21Aも、以上のように算出されたモデルパラメータ a_1 、 a_2 、 b_1 を用い、前述した第1実施形態と同様のSLDコントローラ25により目標空燃比 K_{CMD} を算出する。

【0310】

この制御装置1によれば、第1実施形態の制御装置1と同様の効果を得ることができる。これに加えて、パラメータスケジューラ28を用いることにより、オンボード同定器23を用いる場合と比べて、モデルパラメータ a_1 、 a_2 、 b_1 を、より迅速に算出することができる。これにより、制御の応答性を向上させることができ、良好な触媒後排気ガス特性をより迅速に確保することができる。

【0311】

次に、図42を参照しながら、第5実施形態の制御装置について説明する。この第5実施形態の制御装置1は、第1実施形態の制御装置1のDSMコントローラ24に代えて、SDMコントローラ29を用いる点のみが異なっている。このSDMコントローラ29は、変調アルゴリズムを適用した制御アルゴリズムにより、予測値 $PREV_{O2}(k)$ に基づいて、制御入力 $op(k)$ を算出するものである。

【0312】

すなわち、同図に示すように、このSDMコントローラ29では、反転増幅器29aにより、参照信号 $r(k)$ が、値-1、参照信号用のゲイン G_d および予測値 $PREV_{O2}(k)$ を互いに乗算した信号として生成される。次に、積分器29bにより、参照信号積分値 ${}_d r(k)$ が、遅延素子29cで遅延された参照信号積分値 ${}_d r(k-1)$ と参照信号 $r(k)$

10

20

30

40

50

k)との和の信号として生成される。一方、積分器29dにより、SDM信号積分値 ${}_d u(k)$ が、遅延素子29eで遅延されたSDM信号積分値 ${}_d u(k-1)$ と、遅延素子29jで遅延されたSDM信号 $u''(k-1)$ との和の信号として生成される。そして、差分器29fにより、参照信号積分値 ${}_d r(k)$ とSDM信号積分値 ${}_d u(k)$ との偏差信号 $''(k)$ が生成される。

【0313】

次いで、量子化器29g(符号関数)により、SDM信号 $u''(k)$ が、この偏差信号 $''(k)$ を符号化した値として生成される。そして、増幅器29hにより、増幅SDM信号 $u(k)$ がSDM信号 $u''(k)$ を所定のゲイン F_d で増幅した値として生成され、次に、加算器29iにより、この増幅SDM信号 $u(k)$ を所定の基準値FLAFBASEに加算した値として、制御入力 $op(k)$ が生成される。

10

【0314】

以上のSDMコントローラ29の制御アルゴリズムは、以下の式(45)~(51)で表される。

$$\begin{aligned} r(k) &= -1 \cdot G_d \cdot PREVO2(k) && \dots\dots (45) \\ {}_d r(k) &= {}_d r(k-1) + r(k) && \dots\dots (46) \\ {}_d u(k) &= {}_d u(k-1) + u''(k-1) && \dots\dots (47) \\ ''(k) &= {}_d r(k) - {}_d u(k) && \dots\dots (48) \\ u''(k) &= \text{sgn}(''(k)) && \dots\dots (49) \\ u(k) &= F_d \cdot u''(k) && \dots\dots (50) \\ op(k) &= FLAFBASE + u(k) && \dots\dots (51) \end{aligned}$$

20

ここで、 G_d 、 F_d はゲインを表す。また、符号関数 $\text{sgn}(''(k))$ の値は、 $''(k) > 0$ のときには $\text{sgn}(''(k)) = 1$ となり、 $''(k) < 0$ のときには $\text{sgn}(''(k)) = -1$ となる(なお、 $''(k) = 0$ のときに、 $\text{sgn}(''(k)) = 0$ と設定してもよい)。

【0315】

以上のSDMコントローラ29の制御アルゴリズムにおける変調アルゴリズムの特性は、変調アルゴリズムと同様に、SDM信号 $u(k)$ を、これを制御対象に入力した際、参照信号 $r(k)$ が制御対象の出力に再現されるような値として、生成(算出)できるという点にある。すなわち、SDMコントローラ29は、前述したDSMコントローラ24と同様の制御入力 $op(k)$ を生成できるという特性を備えている。したがって、このSDMコントローラ29を用いる本実施形態の制御装置1によれば、第1実施形態の制御装置1と同様の効果を得ることができる。なお、SDMコントローラ29の具体的なプログラムは図示しないが、DSMコントローラ24とほぼ同様に構成される。

30

【0316】

次に、図43を参照しながら、第6実施形態の制御装置について説明する。この第6実施形態の制御装置1は、第1実施形態の制御装置1のDSMコントローラ24に代えて、DMコントローラ30を用いる点のみが異なっている。このDMコントローラ30は、変調アルゴリズムを適用した制御アルゴリズムにより、予測値 $PREVO2(k)$ に基づいて、制御入力 $op(k)$ を算出するものである。

40

【0317】

すなわち、同図に示すように、このDMコントローラ30では、反転増幅器30aにより、参照信号 $r(k)$ が、値-1、参照信号用のゲイン G_d および予測値 $PREVO2(k)$ を互いに乗算した信号として生成される。一方、積分器30bにより、DM信号積分値 ${}_d u(k)$ が、遅延素子30cで遅延されたDM信号積分値 ${}_d u(k-1)$ と、遅延素子30hで遅延されたDM信号 $u''(k-1)$ との和の信号として生成される。そして、差分器30dにより、参照信号 $r(k)$ とDM信号積分値 ${}_d u(k)$ との偏差信号 $''(k)$ が生成される。

【0318】

次いで、量子化器30e(符号関数)により、DM信号 $u''(k)$ が、この偏差信号 $''$

50

(k)を符号化した値として生成される。そして、増幅器30fにより、増幅DM信号u(k)がDM信号u'(k)を所定のゲインF_dで増幅した値として生成され、次に、加算器30gにより、この増幅DM信号u(k)を所定の基準値FLAFBASEに加算した値として、制御入力op(k)が生成される。

【0319】

以上のDMコントローラ30の制御アルゴリズムは、以下の式(52)~(57)で表される。

$$r(k) = -1 \cdot G_d \cdot PREVO2(k) \quad \dots (52)$$

$${}_d u(k) = {}_d u(k-1) + u'(k-1) \quad \dots (53)$$

$$'(k) = r(k) - {}_d u(k) \quad \dots (54)$$

$$u'(k) = \text{sgn}(' (k)) \quad \dots (55)$$

$$u(k) = F_d \cdot u'(k) \quad \dots (56)$$

$$\text{op}(k) = \text{FLAFBASE} + u(k) \quad \dots (57)$$

ここで、G_d、F_dはゲインを表す。また、符号関数sgn(' (k))の値は、'(k) > 0のときにはsgn(' (k)) = 1となり、'(k) < 0のときにはsgn(' (k)) = -1となる(なお、'(k) = 0のときに、sgn(' (k)) = 0と設定してもよい)。

【0320】

以上のDMコントローラ30の制御アルゴリズムすなわち変調アルゴリズムの特性は、変調アルゴリズムおよび変調アルゴリズムと同様に、DM信号u(k)を制御対象に入力した際、参照信号r(k)が制御対象の出力に再現されるような値として、DM信号u(k)を生成(算出)できるという点にある。すなわち、DMコントローラ30は、前述したDSMコントローラ24およびSDMコントローラ29と同様の制御入力op(k)を生成できるという特性を備えている。したがって、このDMコントローラ30を用いる本実施形態の制御装置1によれば、第1実施形態の制御装置1と同様の効果を得ることができる。なお、DMコントローラ30の具体的なプログラムは図示しないが、DSMコントローラ24とほぼ同様に構成される。

【0321】

次に、図44および図45を参照しながら、第7実施形態の制御装置について説明する。図44に示すように、この第7実施形態の制御装置1は、第1実施形態の制御装置1と比べて、LAFセンサ14がエンジン3に設けられていないとともに、O2センサ15が第2触媒装置8bよりも下流側に設けられている点のみが異なっている。

【0322】

また、LAFセンサ14を備えていないため、この制御装置1では、図45に示すように、オンボード同定器23により、O2センサ15の出力Voutおよび制御入力op(目標空燃比KCMD)に基づいて、モデルパラメータa₁、a₂、b₁が算出される。すなわち、このオンボード同定器23では、前述した図5の式(8)~(15)に示す同定アルゴリズムにより、モデルパラメータの同定値a₁'、a₂'、b₁'が算出されるとともに、これらに前述したリミット処理を施すことにより、モデルパラメータa₁、a₂、b₁が算出される。

【0323】

さらに、状態予測器22により、モデルパラメータa₁、a₂、b₁、O2センサ15の出力Voutおよび制御入力opに基づいて、出力偏差VO2の予測値PREVO2が算出される。すなわち、この状態予測器22では、図4の式(6)に示す予測アルゴリズムにより、出力偏差VO2の予測値PREVO2が算出される。なお、これらの状態予測器22およびオンボード同定器23の演算処理の具体的なプログラムは、図示しないが、第1実施形態のものとほぼ同様に構成され、それら以外のプログラムも、第1実施形態のものと同様に構成される。

【0324】

以上のような本実施形態の制御装置1によれば、第1実施形態の制御装置1と同様の効

10

20

30

40

50

果を得ることができる。特に、前述したように、図34のステップ192～194において、参照信号値用のゲインKRDSMを、排気ガスをリーン側に制御する場合と、リッチ側に制御する場合とで互いに異なる値に設定し、目標空燃比KCMDの目標値Vopへの収束速度を変更することにより、本実施形態のようなO2センサ15のみで空燃比を制御する場合においても、混合気の空燃比をリッチ側およびリーン側に変更する際、良好な触媒後排気ガス特性を確実に得ることができる。これに加えて、LAFセンサ14を用いることなく、良好な触媒後排気ガス特性を確保できるので、その分、製造コストを削減することができる。

【0325】

次に、図46を参照しながら、第8実施形態の制御装置について説明する。同図に示すように、この第8実施形態の制御装置1は、上記第7実施形態の制御装置1において、ADS Mコントローラ20、PRISMコントローラ21およびオンボード同定器23を、前記第4実施形態のスケジュール型DSMコントローラ20A、スケジュール型状態予測スライディングモードコントローラ21Aおよびパラメータスケジューラ28に置き換えたものであり、これらのコントローラ20A, 21Aおよびパラメータスケジューラ28は、第4実施形態のものと同様に構成されている。この制御装置1によれば、上記第7実施形態の制御装置1と同様の効果を得ることができる。これに加えて、パラメータスケジューラ28を用いることにより、オンボード同定器23を用いる場合と比べて、モデルパラメータa1, a2, b1を、より迅速に算出することができる。これにより、制御の応答性を向上させることができ、良好な触媒後排気ガス特性をより迅速に確保することができる。

【0326】

なお、以上の各実施形態は、本発明の制御装置を内燃機関3の空燃比を制御するものとして構成した例であるが、本発明はこれに限らず、他の任意の制御対象を制御する制御装置に広く適用可能であることは言うまでもない。また、ADS Mコントローラ20およびPRISMコントローラ21を、実施形態のプログラムに代えて、電気回路により構成してもよい。

【図面の簡単な説明】

【0327】

【図1】本発明の第1実施形態に係る制御装置およびこれを適用した内燃機関の概略構成を示す図である。

【図2】劣化状態および未劣化状態の第1触媒装置を用いた場合において、LAFセンサの出力KACTに対する、両第1触媒装置のHCおよびNOxの浄化率と、O2センサ15の出力Voutとをそれぞれ測定した結果の一例を示す図である。

【図3】第1実施形態の制御装置のADS MコントローラおよびPRISMコントローラの構成を示すブロック図である。

【図4】状態予測器の予測アルゴリズムの数式の一例を示す図である。

【図5】オンボード同定器の同定アルゴリズムの数式の一例を示す図である。

【図6】オンボード同定器の同定アルゴリズムの数式の他の一例を示す図である。

【図7】変調を実行するコントローラおよびこれを備えた制御系の構成を示すブロック図である。

【図8】図7の制御系の制御結果の一例を示すタイミングチャートである。

【図9】第1実施形態のADS Mコントローラによる適応予測型変調制御の原理を説明するためのタイミングチャートである。

【図10】ADS MコントローラのうちのDSMコントローラの構成を示すブロック図である。

【図11】スライディングモード制御アルゴリズムの数式を示す図である。

【図12】PRISMコントローラのスライディングモード制御アルゴリズムの数式を示す図である。

【図13】内燃機関の燃料噴射制御処理を示すフローチャートである。

10

20

30

40

50

- 【図14】適応空燃比制御処理を示すフローチャートである。
- 【図15】図14の続きを示すフローチャートである。
- 【図16】図14のステップ21における発進判定処理を示すフローチャートである。
- 【図17】図14のステップ23におけるPRISM/ADSM処理の実行判定処理を示すフローチャートである。
- 【図18】図14のステップ24における同定器演算の実行判定処理を示すフローチャートである。
- 【図19】図14のステップ25における各種パラメータの算出処理を示すフローチャートである。
- 【図20】むだ時間CAT_DELAY, KACT_Dの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。 10
- 【図21】重みパラメータ1の算出に用いるテーブルの一例を示す図である。
- 【図22】モデルパラメータa1, a2, b1の値を制限するリミット値X_IDA2L, X_IDB1L, X_IDB1Hの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。
- 【図23】フィルタ次数nの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。
- 【図24】図14のステップ31における同定器の演算処理を示すフローチャートである。
- 【図25】図24のステップ94における(k)の安定化処理を示すフローチャートである。
- 【図26】図25のステップ101におけるa1' & a2'のリミット処理を示すフローチャートである。 20
- 【図27】図26の処理によりa1' & a2'の組み合わせが規制される規制範囲を示す図である。
- 【図28】図25のステップ102におけるb1'のリミット処理を示すフローチャートである。
- 【図29】図15のステップ33の状態予測器の演算処理を示すフローチャートである。
- 【図30】図15のステップ34の制御量Us1の算出処理を示すフローチャートである。
- 【図31】図30のステップ151の予測切換関数PREの積算値算出処理を示すフローチャートである。 30
- 【図32】図15のステップ36のスライディングモード制御量DKCMDSLDの算出処理を示すフローチャートである。
- 【図33】図32の続きを示すフローチャートである。
- 【図34】図15のステップ37の変調制御量DKCMDDSMの算出処理を示すフローチャートである。
- 【図35】KDSMの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。
- 【図36】図15のステップ38の適応目標空燃比KCMDSLDの算出処理を示すフローチャートである。
- 【図37】図15のステップ39の適応補正項FLAFADPの算出処理を示すフローチャートである。 40
- 【図38】第2実施形態の制御装置の概略構成を示すブロック図である。
- 【図39】第3実施形態の制御装置の概略構成を示すブロック図である。
- 【図40】第4実施形態の制御装置の概略構成を示すブロック図である。
- 【図41】第4実施形態の制御装置のパラメータスケジューラにおいて、モデルパラメータの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。
- 【図42】第5実施形態の制御装置のSDMコントローラの概略構成を示すブロック図である。
- 【図43】第6実施形態の制御装置のDMコントローラの概略構成を示すブロック図である。
- 【図44】第7実施形態に係る制御装置およびこれを適用した内燃機関の概略構成を示す 50

図である。

【図45】第7実施形態の制御装置の構成を示すブロック図である。

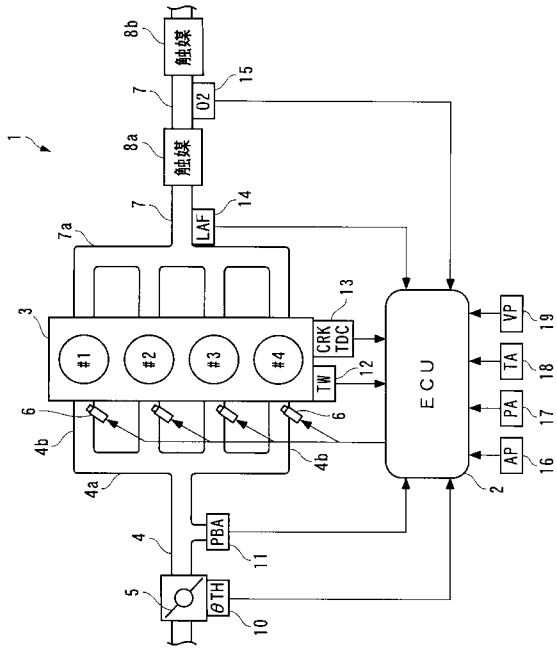
【図46】第8実施形態の制御装置の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

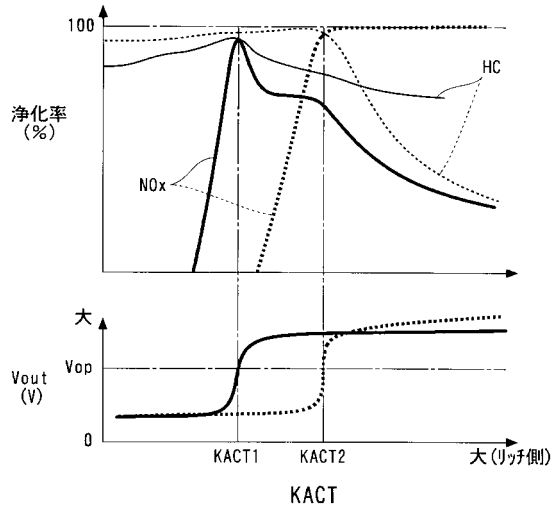
【0328】

1	制御装置	
2	E C U (予測値算出手段、制御入力算出手段、ゲインパラメータ検出手段、ゲイン設定手段、空燃比算出手段、運転状態検出手段、中間値算出手段、目標空燃比算出手段、乗算手段、補正係数設定手段)	10
3	内燃機関	
7	排気管 (排気通路)	
8 a	第1触媒装置 (触媒)	
8 b	第2触媒装置 (触媒)	
1 1	吸気管内絶対圧センサ (ゲインパラメータ検出手段、運転状態検出手段)	
1 3	クランク角センサ (ゲインパラメータ検出手段、運転状態検出手段)	
1 4	L A F センサ (上流側空燃比センサ)	
1 5	酸素濃度センサ (空燃比センサ、下流側空燃比センサ)	20
2 0	A D S M コントローラ (制御入力算出手段)	
2 2	状態予測器 (予測値算出手段)	
<u>G_d</u>	<u>参照信号用のゲイン (補正係数)</u>	
<u>K R D S M</u>	<u>参照信号値用のゲイン (補正係数)</u>	
N E	エンジン回転数 (運転状態を表すパラメータ)	
P B A	吸気管内絶対圧 (運転状態を表すパラメータ)	
A B _ S V	排気ガスボリューム (制御対象の動特性を表すパラメータ、ゲインパラメータ)	
K A C T	L A F センサの出力 (制御対象に <input/> 入力された制御入力を反映する値)	30
D K A C T	L A F 出力偏差 (制御対象に <input/> 入力された制御入力を反映する値と基準値との偏差、制御対象に <input/> 入力された制御入力を反映する値を表す値)	
K C M D	目標空燃比 (制御入力)	
D K C M D	空燃比偏差 (制御入力を表す値、制御入力と基準値との偏差)	
F L A F B A S E	基準値	
K C M D S L D	適応目標空燃比 (制御入力、目標空燃比)	
D S M S G N S	D S M 信号値 (中間値、目標空燃比の中間値)	
K D S M	ゲイン	
D K C M D D S M	変調制御量 (第2の中間値)	40
V o u t	酸素濃度センサの出力 (制御対象の出力)	
V o p	目標値	
V O 2	出力偏差	
P R E V O 2	出力偏差の予測値	
d t	予測時間	

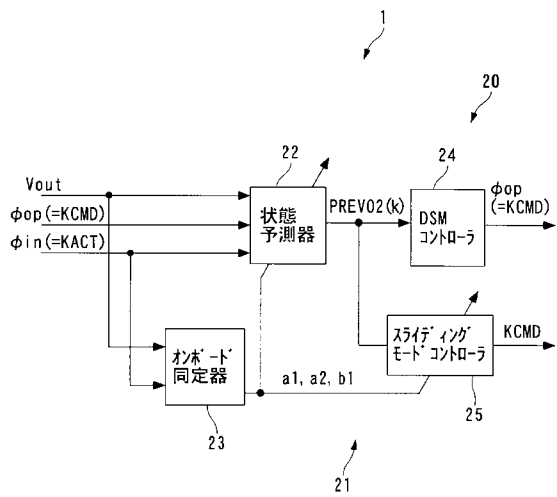
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

$$A = \begin{bmatrix} a1 & a2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \dots (4)$$

$$B = \begin{bmatrix} b1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots (5)$$

$$PREVO2(k) = \alpha1 \cdot V02(k) + \alpha2 \cdot V02(k-1) + \sum_{i=1}^{d1} \beta_i \cdot DKCMD(k-i) \quad \dots (6)$$

ここで、 $\alpha1$: A^{d1} の1行1列要素
 $\alpha2$: A^{d1} の1行2列要素
 β_i : $A_i^{-1}B$ の1行要素

$$PREVO2(k) = \alpha1 \cdot V02(k) + \alpha2 \cdot V02(k-1) + \sum_{i=1}^{d1-1} \beta_i \cdot DKCMD(k-i) + \sum_{j=0}^{d1} \beta_j \cdot DKACT(k-j) \quad \dots (7)$$

ここで、 β_j : $A_i^{-1}B$ の1行要素

【 図 5 】

$$\theta(k) = \theta(k-1) + KP(k) \cdot ide_f(k) \quad \dots\dots (8)$$

$$\theta(k)^T = [a1'(k), a2'(k), b1'(k)] \quad \dots\dots (9)$$

$$ide_f(k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ide(i) \quad \dots\dots (10)$$

$$ide(k) = V02(k) - V02HAT(k) \quad \dots\dots (11)$$

$$V02HAT(k) = \theta(k-1)^T \zeta(k) \quad \dots\dots (12)$$

$$\zeta(k)^T = [V02(k-1), V02(k-2), DKCMD(k-dd)] \quad \dots\dots (13)$$

$$KP(k) = \frac{P(k) \zeta(k)}{1 + \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \quad \dots\dots (14)$$

$$P(k+1) = \frac{1}{\lambda_1} \left(I - \frac{\lambda_2 P(k) \zeta(k) \zeta(k)^T}{\lambda_1 + \lambda_2 \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \right) P(k) \quad \dots\dots (15)$$

ここで、Iは単位行列

【 図 6 】

$$\theta(k) = \theta(k-1) + KP(k) \cdot ide_f(k) \quad \dots\dots (16)$$

$$\theta(k)^T = [a1'(k), a2'(k), b1'(k)] \quad \dots\dots (17)$$

$$ide_f(k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ide(i) \quad \dots\dots (18)$$

$$ide(k) = V02(k) - V02HAT(k) \quad \dots\dots (19)$$

$$V02HAT(k) = \theta(k-1)^T \zeta(k) \quad \dots\dots (20)$$

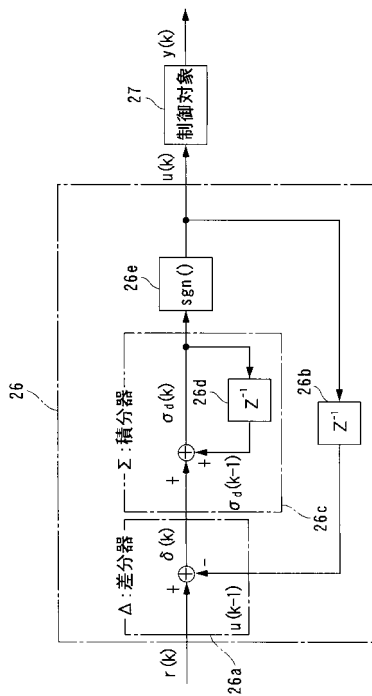
$$\zeta(k)^T = [V02(k-1), V02(k-2), DKACT(k-dd)] \quad \dots\dots (21)$$

$$KP(k) = \frac{P(k) \zeta(k)}{1 + \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \quad \dots\dots (22)$$

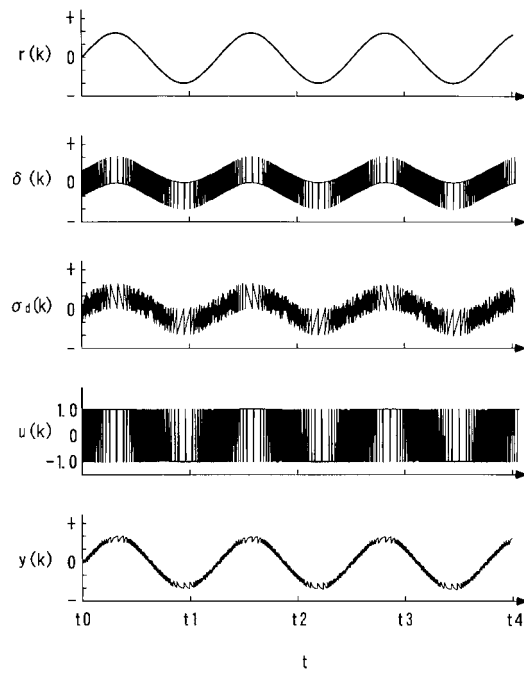
$$P(k+1) = \frac{1}{\lambda_1} \left(I - \frac{\lambda_2 P(k) \zeta(k) \zeta(k)^T}{\lambda_1 + \lambda_2 \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \right) P(k) \quad \dots\dots (23)$$

ここで、Iは単位行列

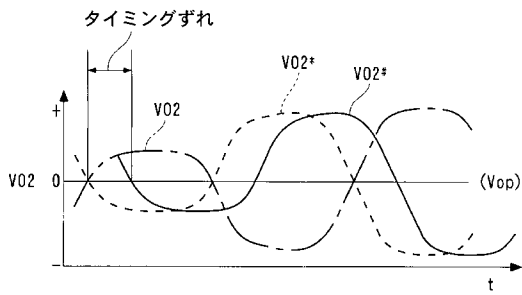
【 図 7 】



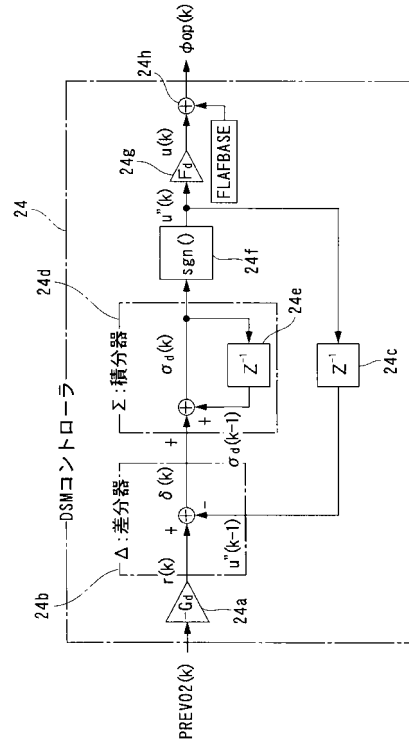
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 1 1 】

$$Us1(k) = Ueq(k) + Urch(k) + Uadp(k) \quad \dots\dots (34)$$

$$Ueq(k) = \frac{-1}{S1 \cdot b1} \{ [S1 \cdot (a1 - 1) + S2] \cdot V02(k+dt) + (S1 \cdot a2 - S2) \cdot V02(k+dt-1) \} \quad \dots\dots (35)$$

$$Urch(k) = \frac{-F}{S1 \cdot b1} \cdot \sigma(k+dt) \quad \dots\dots (36)$$

$$Uadp(k) = \frac{-G}{S1 \cdot b1} \sum_{i=0}^{k+dt} \Delta T \cdot \sigma(i) \quad \dots\dots (37)$$

【 図 1 2 】

$$\sigma PRE(k) = S1 \cdot PREVO2(k) + S2 \cdot PREVO2(k-1) \quad \dots\dots (38)$$

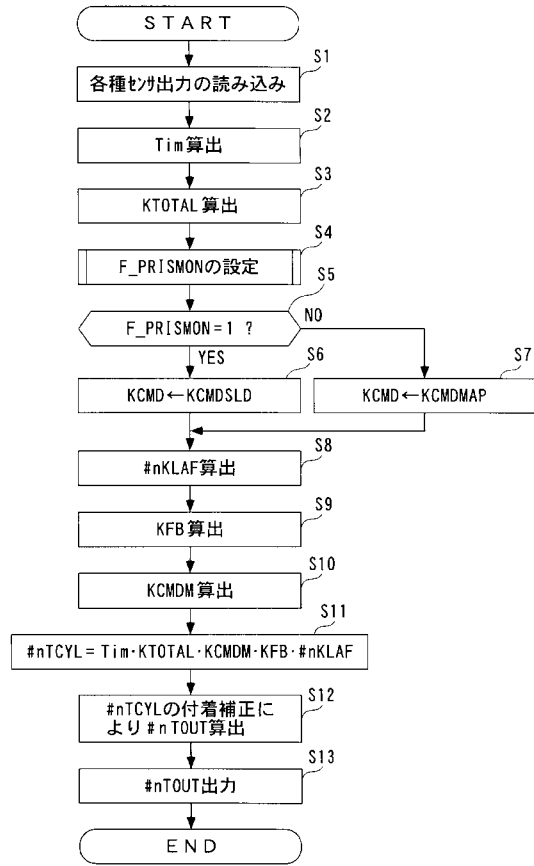
$$Us1(k) = Ueq(k) + Urch(k) + Uadp(k) \quad \dots\dots (39)$$

$$Ueq(k) = \frac{-1}{S1 \cdot b1} \{ [S1 \cdot (a1 - 1) + S2] \cdot PREVO2(k) + (S1 \cdot a2 - S2) \cdot PREVO2(k-1) \} \quad \dots\dots (40)$$

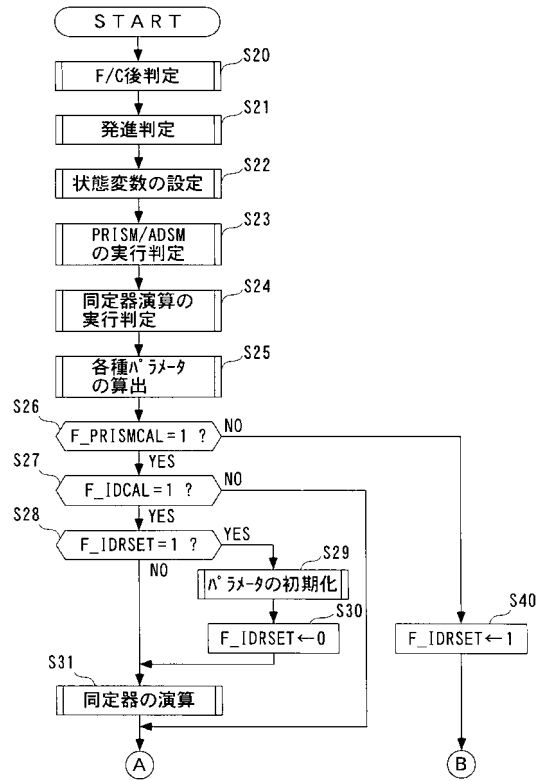
$$Urch(k) = \frac{-F}{S1 \cdot b1} \cdot \sigma PRE(k) \quad \dots\dots (41)$$

$$Uadp(k) = \frac{-G}{S1 \cdot b1} \sum_{i=0}^k \Delta T \cdot \sigma PRE(i) \quad \dots\dots (42)$$

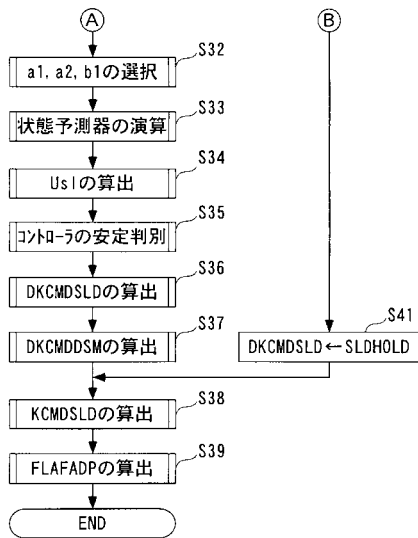
【図13】



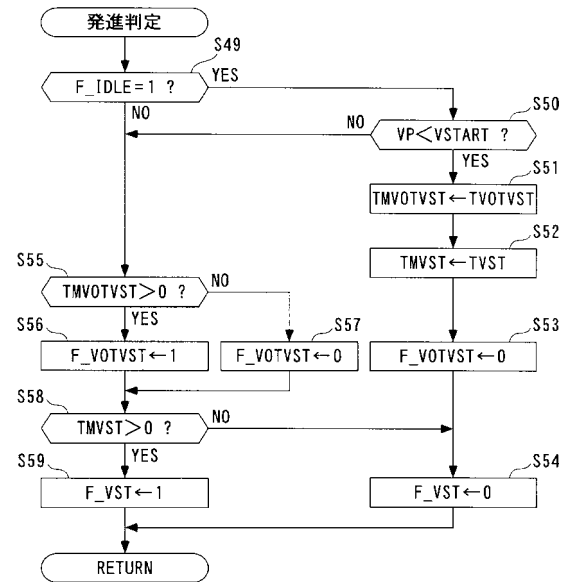
【図14】



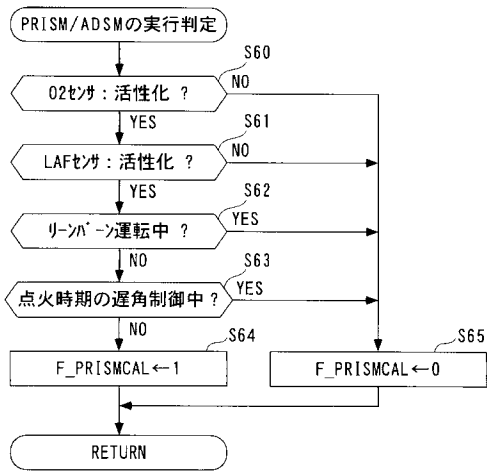
【図15】



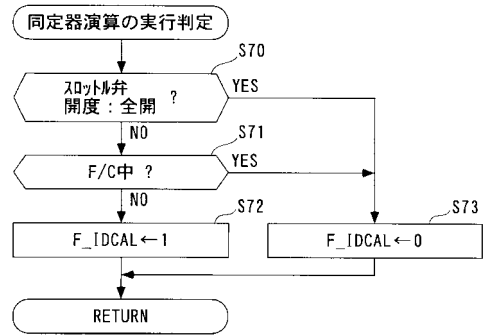
【図16】



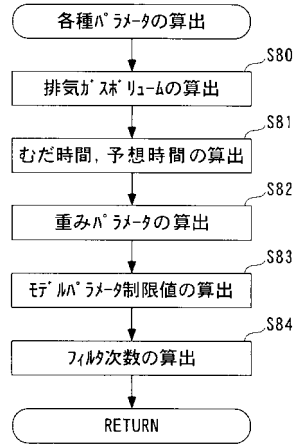
【図17】



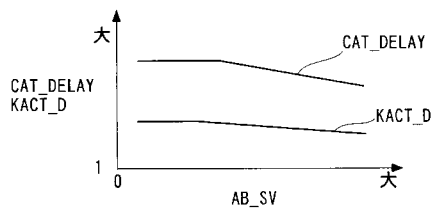
【図18】



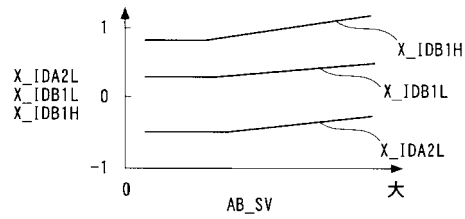
【図19】



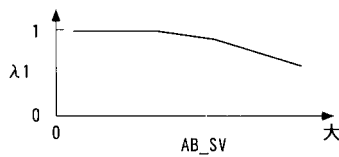
【図20】



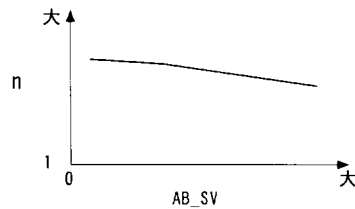
【図22】



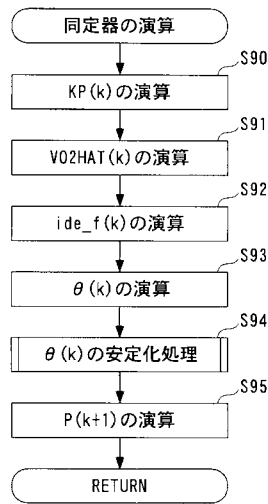
【図21】



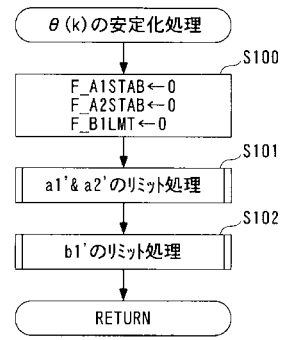
【図23】



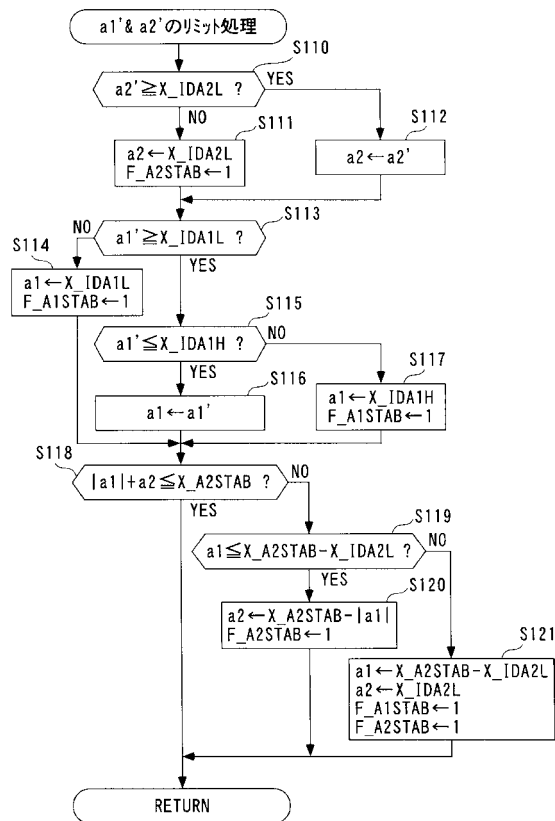
【図24】



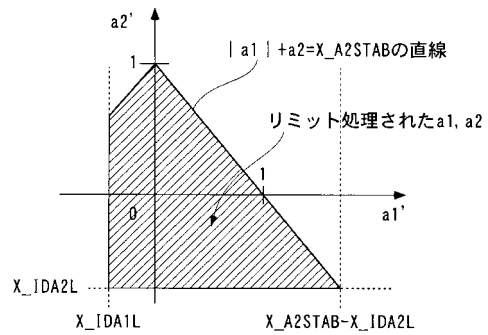
【図25】



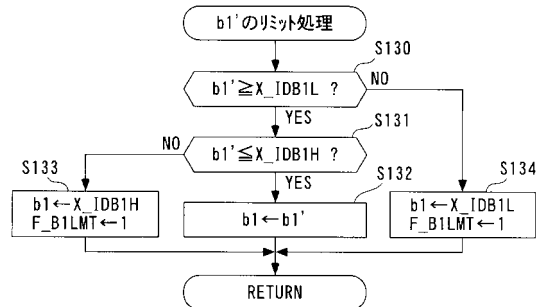
【図26】



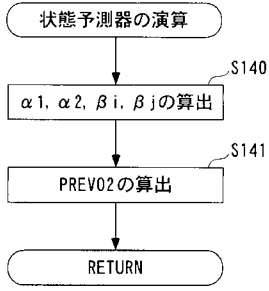
【図27】



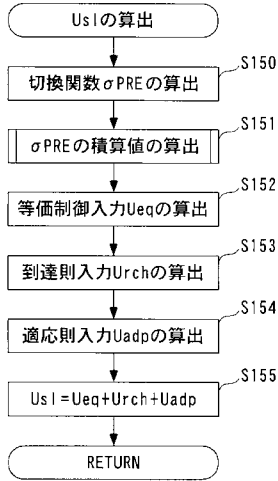
【図28】



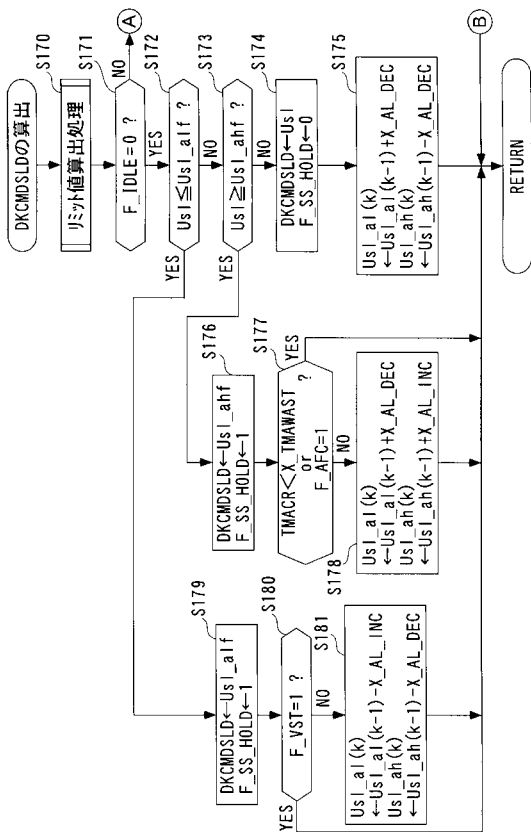
【図29】



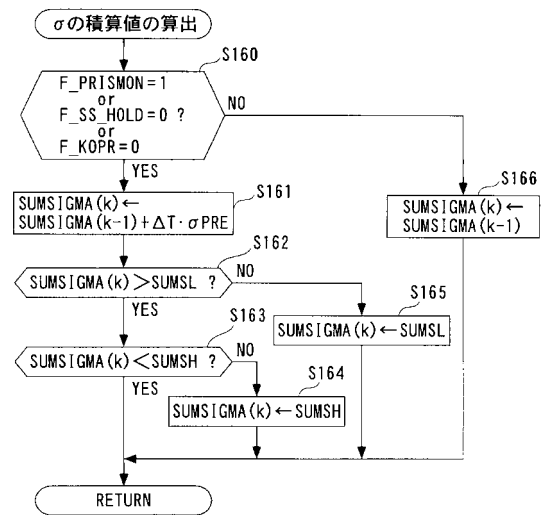
【図30】



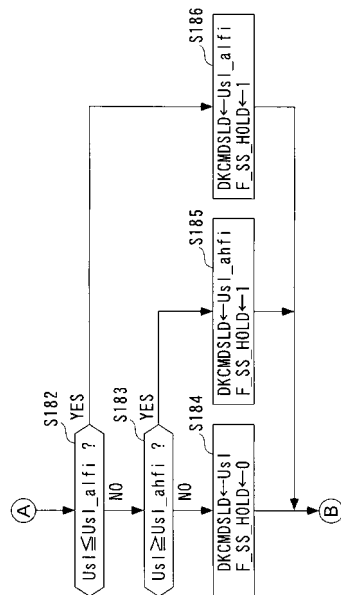
【図32】



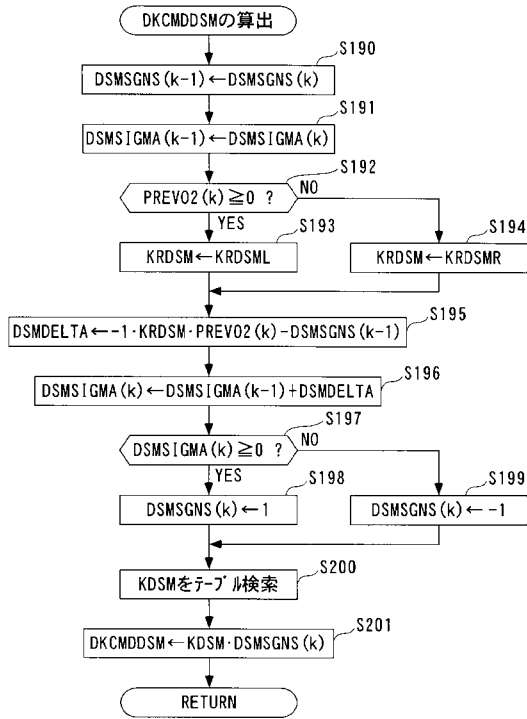
【図31】



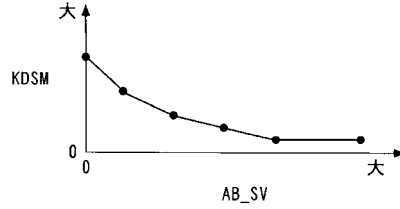
【図33】



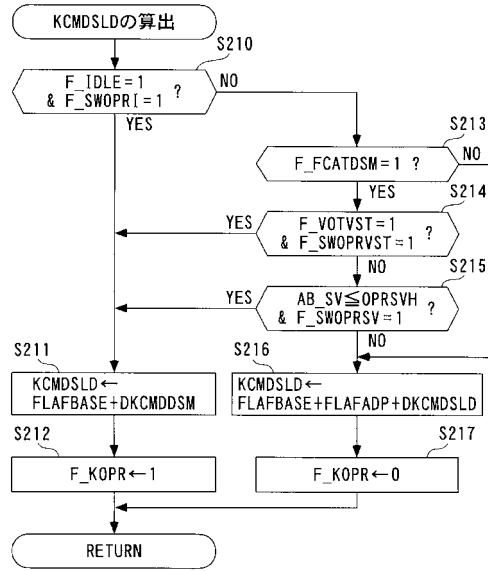
【図34】



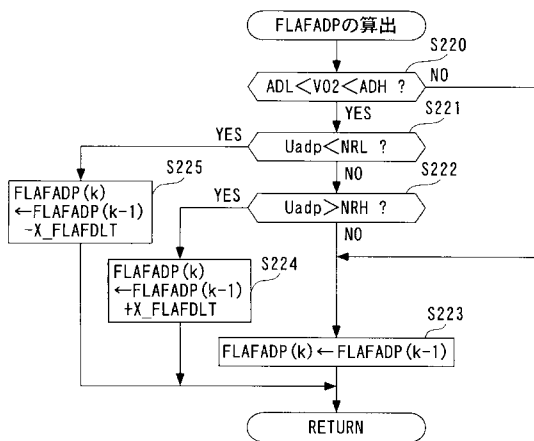
【図35】



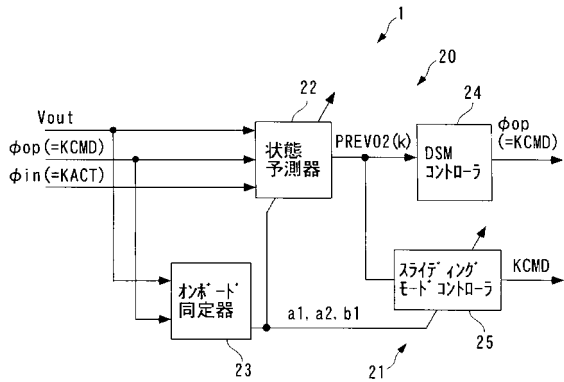
【図36】



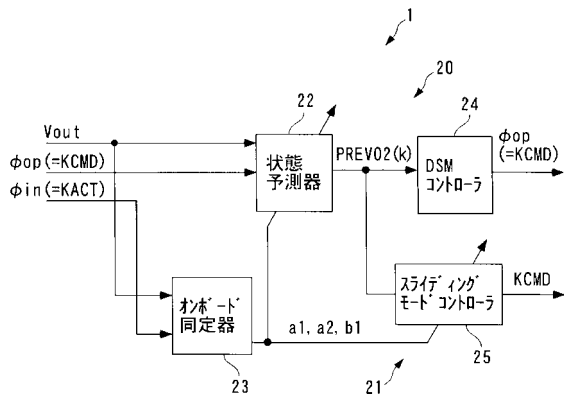
【図37】



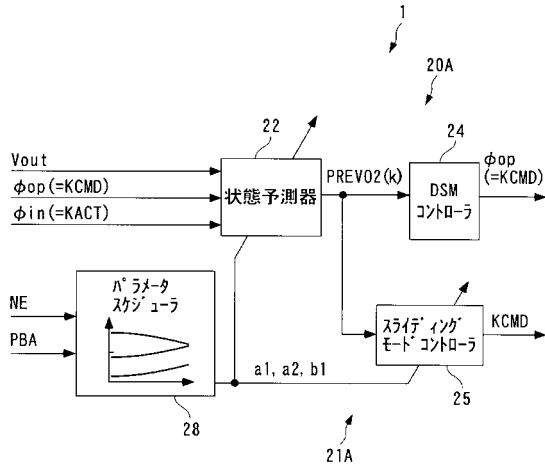
【図38】



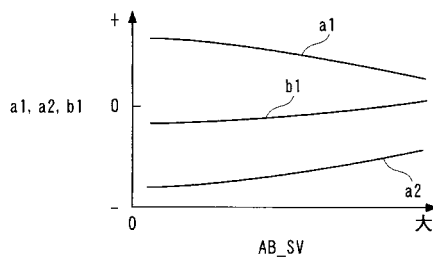
【図39】



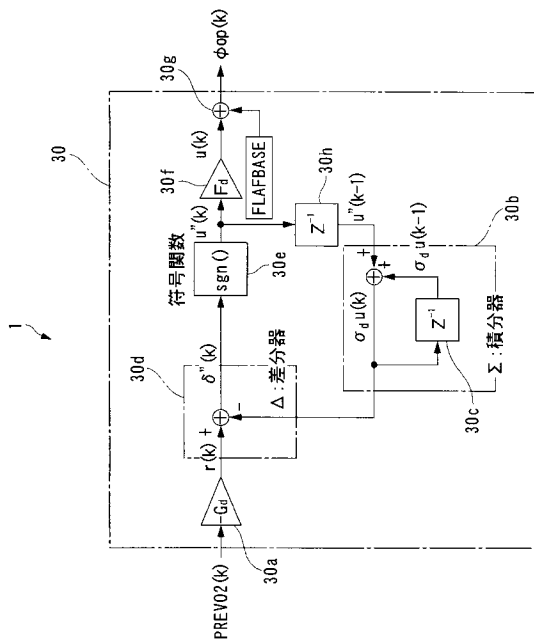
【図40】



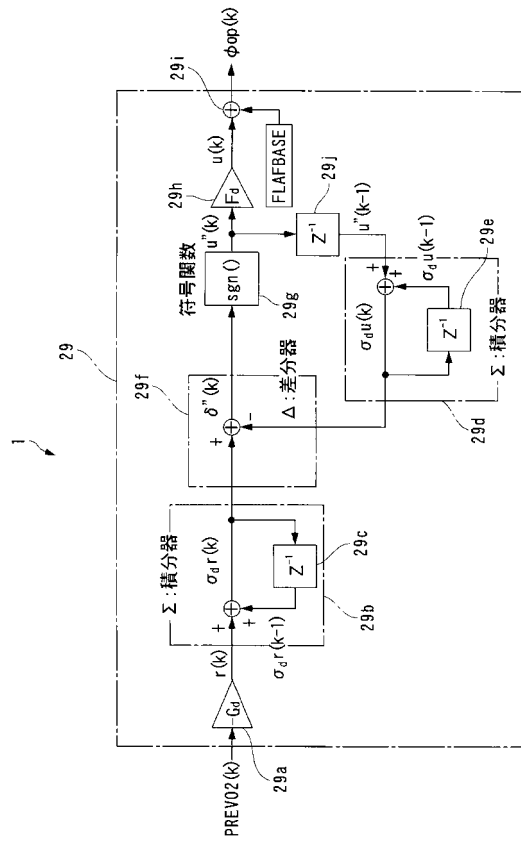
【図41】



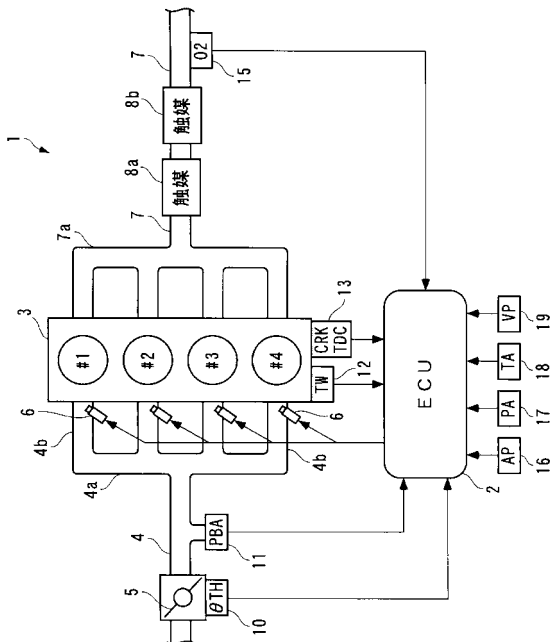
【図43】



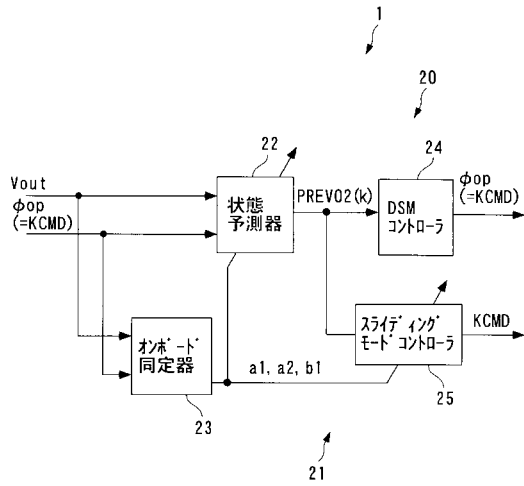
【図42】



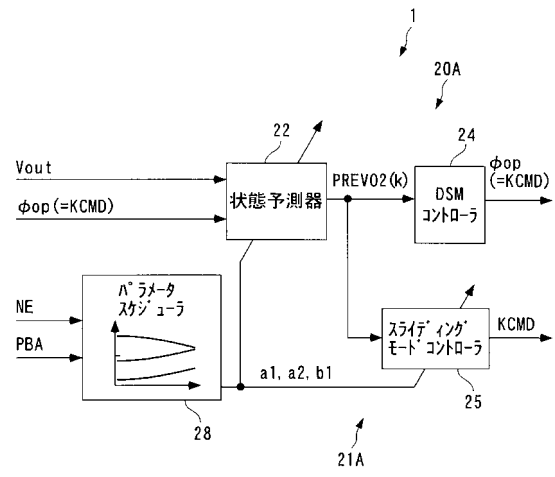
【図44】



【図45】



【図46】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

F 0 2 D 45/00 3 6 8 G

F 0 2 D 45/00 3 7 0 B

(56)参考文献 特開平 1 1 - 3 2 4 7 6 7 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 1 5 4 7 0 4 (J P , A)
特開平 0 5 - 0 7 9 3 7 4 (J P , A)
特開平 0 5 - 2 8 9 7 0 3 (J P , A)
特開昭 6 0 - 1 5 0 1 0 9 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 2 4 1 3 4 9 (J P , A)
特開平 1 1 - 2 6 6 5 7 9 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 1 8 2 5 2 8 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 5 B 1 3 / 0 0 - 1 3 / 0 4

F 0 2 D 4 1 / 0 0