

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3922980号
(P3922980)

(45) 発行日 平成19年5月30日(2007.5.30)

(24) 登録日 平成19年3月2日(2007.3.2)

(51) Int.C1.

F 1

G05B	11/36	(2006.01)	G05B	11/36	M
G05B	13/00	(2006.01)	G05B	13/00	A
G05B	13/02	(2006.01)	G05B	13/02	D
F01N	3/22	(2006.01)	F01N	3/22	321N
F02D	41/14	(2006.01)	F02D	41/14	310F

請求項の数 10 (全 62 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2002-204891 (P2002-204891)
(22) 出願日	平成14年7月12日 (2002.7.12)
(65) 公開番号	特開2003-108202 (P2003-108202A)
(43) 公開日	平成15年4月11日 (2003.4.11)
審査請求日	平成16年11月30日 (2004.11.30)
(31) 優先権主張番号	特願2001-225041 (P2001-225041)
(32) 優先日	平成13年7月25日 (2001.7.25)
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)

(73) 特許権者	000005326 本田技研工業株式会社 東京都港区南青山二丁目1番1号
(74) 代理人	100095566 弁理士 高橋 友雄
(72) 発明者	安井 裕司 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 渡邊 豊英

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】

制御対象の出力と所定の目標値との偏差を算出する偏差算出手段と、
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、前記算出された偏差に応じて、前記制御対象の出力を前記目標値に収束させるための、前記制御対象への制御入力を算出する第1の制御入力算出手段と、

応答指定型制御アルゴリズムに基づき、前記算出された偏差に応じて、前記制御対象の出力を前記目標値に収束させるための、前記制御対象への制御入力を算出する第2の制御入力算出手段と、

前記制御対象の状態を検出する制御対象状態検出手段と、

当該検出された制御対象の状態が過渡状態にあるときには前記第1の制御入力算出手段により算出された制御入力を、当該検出された制御対象の状態が定常状態にあるときには前記第2の制御入力算出手段により算出された制御入力を、前記制御対象に入力すべき制御入力としてそれぞれ選択する制御入力選択手段と、

を備えることを特徴とする制御装置。

【請求項 2】

前記第1の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、前記偏差に応じて、第1の中間値を算出するとともに、当該算出された第1の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に記載の制御裝

置。

【請求項 3】

前記制御対象状態検出手段は、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を有し、

当該検出されたゲインパラメータに応じて、前記ゲインの値を設定するゲイン設定手段をさらに備えることを特徴とする請求項 2 に記載の制御装置。

【請求項 4】

前記第 1 の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、前記偏差に応じて、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 に記載の制御装置。 10

【請求項 5】

前記偏差算出手段は、予測アルゴリズムに基づき、前記偏差に応じて、当該偏差の予測値を算出する予測値算出手段を備え、

前記第 1 の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、前記算出された偏差の予測値に応じて、前記制御入力を算出し、

前記第 2 の制御入力算出手段は、前記応答指定型制御アルゴリズムに基づき、前記算出された偏差の予測値に応じて、前記制御入力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 6】

前記第 1 の制御入力算出手段および前記第 2 の制御入力算出手段は、前記制御対象をモデル化した制御対象モデルにさらにに基づき、前記偏差に応じて、前記制御入力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。 20

【請求項 7】

前記制御対象モデルのモデルパラメータを、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一方と、前記制御対象の出力とに応じて同定する同定手段をさらに備えることを特徴とする請求項 6 に記載の制御装置。

【請求項 8】

前記制御対象モデルは、離散時間系モデルで構成され、

前記同定手段は、当該離散時間系モデルのモデルパラメータを、前記制御入力の離散データと前記制御対象に入力された制御入力を反映する値の離散データとの一方と、前記制御対象の出力の離散データとに応じて同定することを特徴とする請求項 7 に記載の制御装置。 30

【請求項 9】

前記制御対象の動特性の変化を表す動特性パラメータを検出する動特性パラメータ検出手段と、

当該検出された動特性パラメータに応じて、前記制御対象モデルのモデルパラメータを設定するモデルパラメータ設定手段と、

をさらに備えることを特徴とする請求項 6 に記載の制御装置。

【請求項 10】

前記応答指定型制御アルゴリズムは、スライディングモード制御アルゴリズムであることを特徴とする請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の制御装置。 40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、制御対象の出力を、目標値との偏差に応じて、目標値に収束させるように制御する制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、この種の制御装置として、内燃機関の排気管内の排気ガスの空燃比を制御する、例えば特開 2000-179385 号公報に記載された内燃機関の空燃比制御装置が知ら 50

れている。この内燃機関の排気通路に設けられた触媒装置の上流側および下流側にはそれぞれ、L A F センサおよびO 2 センサが設けられている。このL A F センサは、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検出信号K A C T を出力する特性を有している。また、O 2 センサは、その検出出力V O 2 O U T が、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 . 8 V ）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 . 2 V ）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V O 2 T A R G E T （例えば0 . 6 V ）となる特性を有している。

【0 0 0 3】

10

この空燃比制御装置では、以下に述べる空燃比制御処理により、内燃機関の排気ガスの空燃比が目標値に収束するように制御される。まず、内燃機関の運転状態に基づき、基本燃料噴射量T i m およびその補正係数K T O T A L を算出する。次に、本処理とは別個の適応スライディングモード制御処理で算出した目標空燃比K C M D を用いるべき所定の運転モードにあるか否かを判別する。この判別では、O 2 センサまたはL A F センサが活性化しており、かつエンジン回転数N E および吸気管内絶対圧P B A が所定範囲内にあるなどには、内燃機関が所定の運転モードにあると判別される。この判別により、内燃機関が所定の運転モードにあるときには、適応スライディングモード制御処理で算出した目標空燃比K C M D を読み込む。

【0 0 0 4】

20

一方、内燃機関が所定の運転モードにないときには、エンジン回転数N E および吸気管内絶対圧P B A に基づいて、マップを検索することにより、目標空燃比K C M D を算出する。次いで、各種のフィードバック係数# n K L A F , K F B を算出する。次に、上記のように算出した目標空燃比K C M D を空気密度に応じて補正することにより、補正目標空燃比K C M D M を算出する。そして、基本燃料噴射量T i m に、総補正係数K T O T A L 、補正目標空燃比K C M D M およびフィードバック係数# n K L A F , K F B を乗算することにより、気筒ごとの燃料噴射量# n T O U T を算出し、さらに、これを付着補正する。その後、付着補正した燃料噴射量# n T O U T に基づく駆動信号を、燃料噴射装置に出力する。

【0 0 0 5】

30

以上により、この空燃比制御装置によれば、L A F センサの出力K A C T が、目標空燃比K C M D に収束するように制御され、それにより、O 2 センサの出力V O 2 O U T が、目標値V O 2 T A R G E T に収束するように制御される。特に、内燃機関が所定の運転モードにあるときには、上記適応スライディングモード制御処理で目標空燃比K C M D を算出することによって、所定の運転モードにないときと比べて、O 2 センサの出力V O 2 O U T を、その目標値V O 2 T A R G E T に迅速に収束させることができる。すなわち、内燃機関の混合気の空燃比が、理論空燃比付近になるように高い応答性で高精度に制御される。一般に、触媒装置は、混合気の空燃比が理論空燃比付近にあるときに、H C 、C O およびN O x を最も効率よく浄化するので、上記制御により、良好な排気ガス特性を得ることができる。

【0 0 0 6】

40

【発明が解決しようとする課題】

上記従来の空燃比制御装置によれば、内燃機関が所定の運転モードにあるときには、目標空燃比K C M D を適応スライディングモード制御処理で算出することにより、空燃比制御を高い応答性で行えるという利点がある。しかし、この制御を、アイドル運転モードのような極低負荷の運転モードで実行した場合、排気ガスボリュームが低下し、O 2 センサの出力V O 2 O U T の応答遅れやむだ時間が長くなり、さらに内燃機関の安定した燃焼状態を確保可能な空燃比の幅が狭くなることにより、O 2 センサの出力V O 2 O U T の目標値V O 2 T A R G E T に対する制御性が低下する。その結果、混合気の空燃比が理論空燃比に対してばらつき、触媒装置による排気ガスの浄化率が低下することで、触媒装置で淨

50

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）が悪化するおそれがある。

【0007】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、制御入力の入力幅に制約がある制御対象、および比較的大きい応答遅れやむだ時間有する制御対象などの出力を、目標値に対して高い収束性と精度で制御することができる制御装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

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、制御対象の出力（酸素濃度センサ15の出力 V_{out} ）と所定の目標値 V_{op} 、VO2TARGETとの偏差（出力偏差 VO_2 、 VO_2R 、予測値 $PREVO_2$ ）を算出する偏差算出手段（ECU2、差分器48、状態予測器22、ステップ33、ステップ133）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、算出された偏差に応じて、制御対象の出力を目標値に収束させるための、制御対象への制御入力（目標空燃比 $KCMD$ ）を算出する第1の制御入力算出手段（ECU2、DSMコントローラ24、40、SDMコントローラ29、DMコントローラ30、ステップ30～41、106、137、138）と、応答指定型制御アルゴリズムに基づき、算出された偏差に応じて、制御対象の出力を目標値に収束させるための、制御対象への制御入力（目標空燃比 $KCMD$ ）を算出する第2の制御入力算出手段（ECU2、スライディングモードコントローラ25、52a、ステップ20、106、134～136、138）と、制御対象の状態（エンジン回転数NE、吸気管内絶対圧PBA、スロットル弁開度TH、車速VP）を検出する制御対象状態検出手段（ECU2、スロットル弁開度センサ10、吸気管内絶対圧センサ11、クランク角センサ13、車速センサ19）と、検出された制御対象の状態が過渡状態にあるときには第1の制御入力算出手段により算出された制御入力を、検出された制御対象の状態が定常状態にあるときには第2の制御入力算出手段により算出された制御入力を、制御対象に入力すべき制御入力としてそれぞれ選択する制御入力選択手段（ECU2、ステップ4～7、310、311、313～317）と、を備えることを特徴とする。

【0009】

この制御装置によれば、制御対象の出力を目標値に収束させるための、制御対象への制御入力が、第1の制御入力算出手段により、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、制御対象の出力と所定の目標値との偏差に応じて算出され、第2の制御入力算出手段により、応答指定型制御アルゴリズムに基づき、偏差に応じて算出される。さらに、制御入力選択手段により、検出された制御対象の状態が過渡状態にあるときには、第1の制御入力算出手段により算出された制御入力が制御対象に入力すべき制御入力として選択され、検出された制御対象の状態が定常状態にあるときには、第2の制御入力算出手段により算出された制御入力が制御対象に入力すべき制御入力として選択される。前述したように、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、目標値と制御対象の出力との偏差を打ち消すような、これと逆位相波形の偏差が得られる制御対象の出力が発生するように、制御入力を算出することができるという特性を有している。一方、応答指定型制御アルゴリズムは、目標値に対する制御対象の出力の応答性、例えば目標値への収束速度を指定するように制御入力を算出できるという特性を有している。

【0010】

以上の2種類の制御アルゴリズムの特性により、これらの制御アルゴリズムにより制御対象を制御した場合、制御対象の出力の目標値への収束性は、制御対象の状態に応じて互いに異なる傾向を示す。例えば、制御対象が応答遅れやむだ時間などが大きい特性を有している場合、制御対象の状態が定常状態にあるときには、応答指定型制御アルゴリズムにより制御する方が、制御対象の出力を目標値により精度よく迅速に収束させることができ

10

20

30

40

50

る。一方、制御対象の状態が過渡状態にあるときには、変調アルゴリズム、変調アルゴリズムまたは変調アルゴリズムにより制御する方が、制御対象の出力を目標値により精度よく迅速に収束させることができる。したがって、制御対象が応答遅れやむだ時間などが大きい特性を有している場合などにおいて、2種類の制御アルゴリズムのうち、制御対象の出力の目標値への収束性をより良好に得られる方を、制御対象の状態に応じて適切に選択することによって、応答指定型制御アルゴリズムのみに基づいて制御入力を算出する場合よりも良好な制御性および制御の安定性を、確保することができる。

【0011】

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、第1の制御入力算出手段は、1つの変調アルゴリズムに基づき、偏差に応じて、第1の中間値(DSM信号値の今回値SGNSIGMA[0], DSMMSGNS(k))を算出するとともに、算出された第1の中間値に所定のゲインFDSM, KDSMを乗算した値(增幅中間値DKCMDA、変調制御量DKCMDDSM)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。

【0012】

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ため、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として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、この制御装置によれば、制御入力として、第1の制御入力算出手段により算出された値が選択された場合、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第1の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。

【0013】

請求項3に係る発明は、請求項2に記載の制御装置1において、制御対象状態検出手段は、制御対象のゲイン特性を表すゲインパラメータ(エンジン回転数NE、吸気管内絶対圧PBA)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)を有し、検出されたゲインパラメータに応じて、ゲインFDSM, KDSMの値を設定するゲイン設定手段(ECU2、ステップ2, 39, 180, 300)をさらに備えることを特徴とする。

【0014】

この制御装置によれば、制御入力として、第1の制御入力算出手段により算出された値が選択された場合、制御入力の算出に用いるゲインの値が、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。

【0015】

請求項4に係る発明は、請求項1に記載の制御装置1において、第1の制御入力算出手段は、1つの変調アルゴリズムに基づき、偏差に応じて、第2の中間値(增幅中間値DKCMDA、変調制御量DKCMDDSM)を算出するとともに、算出された第2の中間値に所定値(値1、基準値FLAFBAS)を加算することにより、制御入力(目標空燃比KCMD)を算出することを特徴とする。

【0016】

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ものである。これに対して、この制御装置によれば、制御入力として、第1の制御入力算出手段により算出された値が選択された場合、第1の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

10

20

30

40

50

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。

【0017】

請求項 5 に係る発明は、請求項 1 に記載の制御装置 1 において、偏差算出手段は、予測アルゴリズムに基づき、偏差に応じて、偏差の予測値（予測値 P R E V O 2 ）を算出する予測値算出手段（E C U 2 、状態予測器 2 2 、ステップ 1 3 3 ）を備え、第 1 の制御入力算出手段は、1 つの変調アルゴリズムに基づき、算出された偏差の予測値に応じて、制御入力（目標空燃比 K C M D ）を算出し、第 2 の制御入力算出手段は、応答指定型制御アルゴリズムに基づき、算出された偏差の予測値に応じて、制御入力（目標空燃比 K C M D ）を算出することを特徴とする。 10

【0018】

この制御装置によれば、予測アルゴリズムに基づき、偏差に応じて、偏差の予測値が算出されるとともに、この予測値に応じて、制御入力が算出される。ここで、制御入力として、第 1 の制御入力算出手段により算出された値が選択された場合、1 つの変調アルゴリズムに基づき、算出された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。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。これに加えて、制御入力として、第 2 の制御入力算出手段により算出された値が選択された場合でも、応答指定型制御アルゴリズムに基づき、制御入力が予測値に応じて算出されるので、制御の安定性の確保および制御性の向上が可能になる。 20

【0019】

請求項 6 に係る発明は、請求項 1 に記載の制御装置 1 において、第 1 の制御入力算出手段および第 2 の制御入力算出手段は、制御対象をモデル化した制御対象モデル（式（18））にさらにに基づき、偏差に応じて、制御入力（目標空燃比 K C M D ）を算出することを特徴とする。

【0020】

この制御装置によれば、制御入力として、第 1 の制御入力算出手段により算出された値が選択された場合、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と、制御対象をモデル化した制御対象モデルとにに基づき、制御入力が算出されるので、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が適切に反映されたものとして定義することにより、制御入力を制御対象の動特性を反映させた値として算出することが可能になる。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。これに加えて、制御入力として、第 2 の制御入力算出手段により算出された値が選択された場合でも、制御入力の算出が、応答指定型制御アルゴリズムと制御対象モデルとにに基づいて行われるので、制御の安定性の確保および制御性の向上が可能になる。 30

【0021】

請求項 7 に係る発明は、請求項 6 に記載の制御装置 1 において、制御対象モデルのモデルパラメータ a 1 , a 2 , b 1 を、算出された制御入力（目標空燃比 K C M D ）と制御対象に入力された制御入力を反映する値（L A F センサ 1 4 の出力 K A C T ）との一方と、制御対象の出力（酸素濃度センサ 1 5 の出力 V o u t ）とに応じて同定する同定手段（E C U 2 、オンボード同定器 2 3 、ステップ 1 3 1 ）をさらに備えることを特徴とする。 40

【0022】

この制御装置によれば、算出された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と、制御対象の出力とに応じて、制御対象モデルのモデルパラメータを同定することができ、それにより、制御入力として、第 1 の制御入力算出手段により算出された値が選択された場合、または第 2 の制御入力算出手段により算出された値が選択された場合でも、制御対象モデルに基づいて制御入力を算出できる。 50

【0023】

請求項8に係る発明は、請求項7に記載の制御装置1において、制御対象モデルは、離散時間系モデル（数式（18））で構成され、同定手段は、離散時間系モデルのモデルパラメータ a_1, a_2, b_1 を、制御入力（目標空燃比KCMD）の離散データ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）の離散データとの一方と、制御対象の出力（酸素濃度センサ15の出力Vout）の離散データとに応じて同定することを特徴とする。

【0024】

この制御装置によれば、制御入力の離散データと制御対象に入力された制御入力を反映する値の離散データとの一方と、制御対象の出力の離散データとに応じて、離散時間系モデルのモデルパラメータが同定される。したがって、制御入力として、第1の制御入力算出手段により算出された値が選択された場合、または第2の制御入力算出手段により算出された値が選択された場合において、制御対象の動特性が経時変化したり、ばらついたりするときでも、それに応じてモデルパラメータを適切に同定することができ、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。その結果、制御性および制御の安定性を向上させることができる。これに加えて、離散時間系モデルを用いることにより、連続時間系モデルを用いる場合と比べて、例えば最小2乗法などの一般的な同定アルゴリズムにより、モデルパラメータの同定を容易に行うことができるとともに、同定に要する時間を短縮できる。

【0025】

請求項9に係る発明は、請求項6に記載の制御装置1において、制御対象の動特性の変化を表す動特性パラメータ（エンジン回転数NE、吸気管内絶対圧PBA）を検出する動特性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）と、検出された動特性パラメータに応じて、制御対象モデルのモデルパラメータ a_1, a_2, b_1 を設定するモデルパラメータ設定手段（ECU2、パラメータスケジューラ28）と、をさらに備えることを特徴とする。

【0026】

この制御装置によれば、動特性パラメータ検出手段により、制御対象の動特性の変化を表す動特性パラメータが検出されるとともに、モデルパラメータ設定手段により、制御対象モデルのモデルパラメータが、検出された動特性パラメータに応じて設定されるので、制御対象モデルの動特性を制御対象の実際の動特性に迅速に適合させることができる。その結果、制御入力として、第1の制御入力算出手段により算出された値が選択された場合、または第2の制御入力算出手段により算出された値が選択された場合でも、制御対象の動特性、例えば応答遅れやむだ時間などに起因する、入出力間での制御タイミングのずれを迅速かつ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向上させることができる。

【0027】

請求項10に係る発明は、請求項1ないし9のいずれかに記載の制御装置1において、応答指定型制御アルゴリズムは、スライディングモード制御アルゴリズムであることを特徴とする。

【0028】

この制御装置によれば、応答指定型制御アルゴリズムとして、スライディングモード制御アルゴリズムが用いられるので、制御入力として、第2の制御入力算出手段により算出された値が選択された場合、ロバスト性および応答指定特性に優れた制御を行うことができる。

【0029】

【発明の実施の形態】

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。本実施形態は、内燃機関の空燃比を制御する制御装置として構成したものであり、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

10

20

30

40

50

ように、この制御装置 1 は、ECU 2 を備えており、この ECU 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、これに供給される混合気の空燃比を制御する。

【0030】

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 10 が設けられている。このスロットル弁開度センサ 10（制御対象状態検出手段）は、スロットル弁 5 の開度（以下「スロットル弁開度」という）TH を検出して、その検出信号を ECU 2 に送る。なお、本実施形態では、このスロットル弁開度 TH は、制御対象状態を表すパラメータに相当する。10

【0031】

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 11 が設けられている。この吸気管内絶対圧センサ 11（ゲインパラメータ検出手段、動特性パラメータ検出手段、制御対象状態検出手段）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 PBA を検出し、その検出信号を ECU 2 に出力する。この吸気管内絶対圧 PBA は、本実施形態では、ゲインパラメータ、動特性パラメータおよび制御対象状態を表すパラメータに相当する。

【0032】

また、吸気管 4 は、インテークマニホールド 4a の 4 つの分岐部 4b 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 4b 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、ECU 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 TOUT および噴射タイミングが制御される。20

【0033】

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 12 が取り付けられている。水温センサ 12 は、エンジン 3 のシリングダブロック内を循環する冷却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 ECU 2 に出力する。

【0034】

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、動特性パラメータ検出手段、制御対象状態検出手段）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 ECU 2 に出力する。30

【0035】

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。ECU 2 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。このエンジン回転数 NE は、本実施形態では、ゲインパラメータ、動特性パラメータおよび制御対象状態を表すパラメータに相当する。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。40

【0036】

一方、排気管 7 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 触媒装置 8a および第 2 触媒装置 8b が間隔を存して設けられている。両触媒装置 8a, 8b はいずれも、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（LaCoO₃ 粉末とシリカの焼成体）をさらに被覆したものである。両触媒装置 8a, 8b 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、両触媒装置 8a, 8b は、N50

OX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、両触媒装置8a, 8b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。

【0037】

また、後述する理由により、第1触媒装置8aにおける非金属触媒および金属触媒の総担持量は、所定担持量M1（例えば8g）に設定されており、第2触媒装置8bにおける非金属触媒および金属触媒の総担持量は、所定担持量M1よりも少ない所定担持量M2（例えば0.75~1.5g）に設定されている。さらに、第1触媒装置8aの担体の長さ（排気管7方向の長さ）は、所定長さL1（例えば容積1リットルの触媒では115mm）に設定されている。

10

【0038】

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「O2センサ」という）15が取り付けられている。このO2センサ15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O2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）。

【0039】

20

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が取り付けられている。このLAFセンサ14は、O2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。

【0040】

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O2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、O2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である。また、LAFセンサ14の出力KACT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。

30

【0041】

同図に示すように、第1触媒装置8a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、LAFセンサ14の出力KACTがよりリーン側の値KACT1のときに、O2センサ15の出力Voutが目標値Vopを横切っている。一方、第1触媒装置8aは、その劣化・未劣化状態にかかわらず、O2センサ15の出力Voutが目標値Vopにあるときに、HCおよびNOxを最も効率よく浄化する特性を有している。したがって、O2センサ15の出力Voutが目標値Vop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8a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、O2センサ15の出力Voutが目標値Vopに収束するように、目標空燃比KCMDが制御される。

40

【0042】

次に、図3を参照しながら、第1および第2触媒装置8a, 8bによる排気ガスの浄化

50

状態と、第1および第2触媒装置8a, 8bにおける非金属触媒および金属触媒の総担持量との関係について説明する。同図は、上述した理由により、O2センサ15の出力Voutが目標値Vopに収束するように、目標空燃比KCMDが制御されている場合において、排気管7内の排気ガス中におけるCO、HCおよびNOxの残留量を、第1触媒装置8aの上流側、第1触媒装置8aと第2触媒装置8bとの間、および第2触媒装置8bの下流側の位置でそれぞれ測定した結果を示している。特に、COの残留量においては、実線で示す測定結果が、本実施形態の第1および第2触媒装置8a, 8bを用いた場合のものであり、破線で示す測定結果は、比較のために、第2触媒装置8bにおける非金属触媒および金属触媒の総担持量を、第1触媒装置8aにおける非金属触媒および金属触媒の総担持量と同一に設定した比較例のものである。

10

【0043】

同図を参照すると、本実施形態の第1および第2触媒装置8a, 8bを用いた場合、CO、HCおよびNOxの残留量は、第1触媒装置8aの上流側よりもその下流側の位置の方が、さらに、第1触媒装置8aの下流側よりも第2触媒装置8bの下流側の位置の方がそれぞれ少なくなっている。2つの触媒装置8a, 8bの浄化能力が十分に発揮されていることが分かる。しかし、破線で示す比較例の測定結果においては、COの残留量は、第1触媒装置8aの上流側よりもその下流側の位置の方が少なくなっているにもかかわらず、第1触媒装置8aの下流側よりも第2触媒装置8bの下流側の位置の方が多くなっていることが分かる。このように、第2触媒装置8bとして、非金属触媒および金属触媒の総担持量が第1触媒装置8aにおける非金属触媒および金属触媒の総担持量以上のものを用いると、第2触媒装置8b内において、COが再生成されてしまうという事実が実験により確認された。この事実は、第2触媒装置8bにおいて、非金属触媒または金属触媒のみが担体に担持されている場合でも、同様である。以上の理由により、本実施形態では、第2触媒装置8bにおける非金属触媒および金属触媒の総担持量は、第1触媒装置8aにおける非金属触媒および金属触媒の総担持量M1よりも小さい所定担持量M2に設定されている。

20

【0044】

さらに、ECU2には、アクセル開度センサ16、大気圧センサ17、吸気温センサ18および車速センサ19（制御対象状態検出手段）などが接続されている。このアクセル開度センサ16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）APを検出し、その検出信号をECU2に出力する。また、大気圧センサ17、吸気温センサ18および車速センサ19はそれぞれ、大気圧PA、吸気温TAおよび車速VP（制御対象状態を表すパラメータ）を検出し、その検出信号をECU2に出力する。

30

【0045】

ECU2は、I/Oインターフェース、CPU、RAMおよびROMなどからなるマイクロコンピュータで構成されている。ECU2は、前述した各種のセンサ10～19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、ROMに予め記憶された制御プログラムやRAMに記憶されたデータなどに従って、後述する変調制御処理、適応スライディングモード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KCMD（制御入力）を算出する。また、後述するように、この目標空燃比KCMDに基づいて、インジェクタ6の最終燃料噴射量TOUTを気筒ごとに出し、算出した最終燃料噴射量TOUT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。なお、本実施形態では、ECU2により、偏差算出手段、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、第1の制御入力算出手段、第2の制御入力算出手段、制御対象状態検出手段および制御入力選択手段が構成されている。

40

【0046】

以下、ECU2により実行される変調制御について説明する。この変調制御は、O2センサの出力Voutと目標値Vopとの偏差に基づき、変調アルゴリズムを適用した後述する変調コントローラ40により、制御入力op(k)（=目標空燃比

50

K C M D) を算出し、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 O 2 センサの出力 V_{out} を目標値 V_{op} に収束させるように制御するものである。なお、この 变調制御の具体的なプログラムの内容は後述する。

【 0 0 4 7 】

まず、図 4 のブロック図を参照しながら、 变調アルゴリズムの特性について説明する。同図に示すように、この 变調アルゴリズムを適用した制御系では、まず、差分器 4 1 により、参照信号 $r(k)$ と遅延素子 4 2 で遅延された D S M 信号 $u(k-1)$ との偏差 (k) が生成される。次に、積分器 4 3 により、偏差積分値 $_{d}(k)$ が、偏差 (k) と遅延素子 4 4 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る。

【 0 0 4 8 】

次いで、量子化器 4 5 (符号関数) により、 D S M 信号 $u(k)$ が、偏差積分値 $_{d}(k)$ 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 4 9 に入力されることにより、制御対象 4 9 から出力信号 $y(k)$ が出力される。

【 0 0 4 9 】

この 变調アルゴリズムは、以下の式 (1) ~ (3) で表される。

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

$$_{d}(k) = _{d}(k-1) + (k) \quad \dots \dots (2)$$

$$u(k) = sgn(_{d}(k)) \quad \dots \dots (3)$$

ただし、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 0 5 0 】

次に、図 5 を参照しながら、以上の 变調アルゴリズムを適用した制御系の制御シミュレーション結果について説明する。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 4 9 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 4 9 から出力される。このように、 变調アルゴリズムの特性は、制御対象 4 9 の出力信号 $y(k)$ 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、制御対象 4 9 への D S M 信号 $u(k)$ を生成できるという点にある。言い換れば、 D S M 信号 $u(k)$ を、参照信号 $r(k)$ が制御対象 4 9 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。

【 0 0 5 1 】

次いで、図 6 を参照しながら、本実施形態の D S M コントローラ 4 0 の特性について説明する。この D S M コントローラ 4 0 は、 变調アルゴリズムの上述した特性を利用し、 O 2 センサの出力 V_{out} を目標値 V_{op} に収束させるための制御入力 $o p(k)$ を生成するものである。その原理について説明すると、例えば図 6 に実線で示すように、 O 2 センサの出力 V_{out} が目標値 V_{op} に対して揺らいでいる場合、出力 V_{out} を目標値 V_{op} に収束させるには、破線で示す逆位相波形の出力 V_{out}' が制御対象 4 9 から実際に出力されるように、制御入力 $o p(k)$ を生成すればよい。ここで、 O 2 センサの出力のサンプルデータ $V_{out}(k)$ と目標値 V_{op} との偏差を出力偏差 $V_{O2}(k) (= V_{out}(k) - V_{op})$ とした場合、これを打ち消すような逆位相波形の出力偏差 $V_{O2}'(k)$ は、 $V_{O2}'(k) = -V_{O2}(k)$ の関係が成立する値となる。よって、この出力偏差 $V_{O2}'(k)$ が生成されるように、制御入力 $o p(k)$ を生成すればよい。したがって、この D S M コントローラ 4 0 では、以下に述べるように、出力偏差 $V_{O2}(k)$ を打ち消すよう、これと逆位相波形の出力偏差 $V_{O2}'(k)$ が得られる出力 V_{out} が発生するよう、制御入力 $o p(k)$ が生成され、それにより、出力 V_{out} を目標値 V_{op} に収束させることができる。

【 0 0 5 2 】

10

20

30

40

50

次に、図7のブロック図を参照しながら、DSMコントローラ40について説明する。なお、本実施形態では、このDSMコントローラ40により、制御入力算出手段および第1の制御入力算出手段が構成される。また、同図において、上記図4と同じ構成については同じ符号を付すとともに、その説明は省略する。このDSMコントローラ40では、差分器48により、参照信号 $r(k)$ が、目標値 V_{op} と制御対象49の出力 $y(k)$ ($=V_{out}(k)$)との偏差($=$ 出力偏差 $V_{O2}'(k)$)として生成される。

【0053】

また、増幅器46により、増幅DSM信号 $u'(k)$ が、量子化器45で生成したDSM信号 $u''(k)$ にゲイン F を乗算した信号として生成される。次に、加算器47により、制御入力 $o_p(k)$ が、増幅DSM信号 $u'(k)$ に値1を加算した信号として生成される。
そして、以上のように生成した制御入力 $o_p(k)$ (=目標空燃比KCMD)を制御対象49に入力することにより、目標値 V_{op} に収束するように、 $V_{out}(k)$ が制御対象から出力される。本実施形態では、後述するように、制御入力 $o_p(k)$ としての目標空燃比KCMDは、これをエンジン3の運転状態に応じて補正した最終燃料噴射量TOUTに基づく駆動信号として、制御対象49に入力される。また、制御対象49は、インジェクタ6を含むエンジン3の吸気系から、第1触媒装置8aを含む排気系の第1触媒装置8aの下流側までの系に相当する。

【0054】

以上のDSMコントローラ40のアルゴリズムは、以下の式(4)~(9)で表される。

$$r(k) = V_{O2}'(k) = V_{op} - V_{out}(k) \quad \dots \dots (4)$$

$$(k) = r(k) - u''(k-1) \quad \dots \dots (5)$$

$$d(k) = d(k-1) + (k) \quad \dots \dots (6)$$

$$u''(k) = sgn(d(k)) \quad \dots \dots (7)$$

$$u'(k) = F_d \cdot u''(k) \quad \dots \dots (8)$$

$$o_p(k) = 1 + u'(k) \quad \dots \dots (9)$$

ただし、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)。

【0055】

次に、図8を参照しながら、以上のDSMコントローラ40の制御シミュレーション結果について説明する。同図は、正弦波状の外乱を制御対象49に入力したときのシミュレーション結果の一例を示しており、出力 V_{out} の波形において、実線で示す曲線は、DSMコントローラ40による変調制御を実行したときのものであり、1点鎖線で示す曲線は変調制御を実行していないときのものである。両者を参照すると、変調制御を実行しないときの出力 V_{out} は、目標値 V_{op} に収束することなく、外乱を反映した状態で揺らいでいるのに対して、変調制御を実行したときの出力 V_{out} が、目標値 V_{op} に収束していることが判る。このように、DSMコントローラ40による変調制御により、出力 V_{out} を目標値 V_{op} に収束させることができることが確認できた。

【0056】

次いで、ECU2により実行される適応スライディングモード制御(オンボード同定型スライディングモード制御)について説明する。この適応スライディングモード制御は、LAFセンサ14の出力KACT、O2センサの出力 V_{out} および目標値 V_{op} に応じて、後述するスライディングモードコントローラ52aを用いた制御により、制御入力としての目標空燃比KCMDを算出するものである。この適応スライディングモード制御のプログラムについては、後述する。

【0057】

以下、図9のブロック図を参照しながら、適応スライディングモード制御を実行するPRISMコントローラ50について説明する。このPRISMコントローラ50のアルゴ

10

20

30

40

50

リズムは、その説明はここでは省略するが、後述する図17のPRISMコントローラ21のアルゴリズムと同様に構成されている。PRISMコントローラ50は、基準値設定部51や、制御量生成部52、リミッタ53、差分器54, 55、加算器56などを備えている。

【0058】

このPRISMコントローラ50では、基準値設定部51により、エンジン3の空燃比に対する基準値FLAFBASEが生成され、差分器54により、LAFセンサ14の出力KACTと基準値FLAFBASEとの偏差kactが算出される。また、差分器55により、O2センサの出力Voutと目標値Vopとの出力偏差VO2が算出される。

【0059】

また、制御量生成部52により、出力偏差VO2および偏差kactに応じて、出力Voutを目標値Vopに収束させるための制御量Us1が生成される。この制御量生成部52は、スライディングモードコントローラ52a、オンボード同定器52b、および状態予測器52cで構成されている。これらのスライディングモードコントローラ52a、オンボード同定器52bおよび状態予測器52cのアルゴリズムはそれぞれ、その説明はここでは省略するが、後述する図17のスライディングモードコントローラ25、オンボード同定器23および状態予測器22のアルゴリズムと同様に構成されている。

【0060】

さらに、リミッタ55により、制御量Us1にリミット処理を施すことによって、制御量kcmdが生成される。そして、加算器56により、制御量kcmdに基準値FLAFBASEを加算することによって、目標空燃比KCMDが生成される。

【0061】

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10および図11を参照しながら説明する。両図は、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。後述するように、この処理では、

変調制御処理、適応スライディングモード制御処理、またはマップ検索処理のうちのいずれか1つ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。

【0062】

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。

【0063】

次に、ステップ2に進み、基本燃料噴射量Tinを算出する。この処理では、エンジン回転数NEエンジン回転数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Tinを算出する。

【0064】

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、各種の運転状態パラメータ(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により算出した各種の補正係数を乗算することにより、算出される。

【0065】

次に、ステップ4に進み、後述する適応スライディングモード制御によるKCMD算出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か否かを判別する。言い換えれば、適応スライディングモード制御により空燃比制御を行うべき運転モードにあるか否かを判別する。この判別では、以下の(f1)~(f6)の条件がいずれも成立しているときに、適応スライディングモード制御による目標空燃比KCMDの使用条件(選択条件)が成立していると判別される。

(f1) 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。

(f2) エンジン3がリーンバーン運転中でないこと。

(f3) スロットル弁5が全開状態でないこと。

10

20

30

40

50

(f4) 点火時期の遅角制御中でないこと。

(f5) フューエルカット運転中でないこと。

(f6) エンジン回転数NEおよび吸気管内絶対圧PBAがいずれも、所定の適応スライディングモード制御用の範囲内の値であること。

【0066】

ステップ4の判別結果がYESで、適応スライディングモード制御による目標空燃比KCMDの上記使用条件が成立しているときには、適応スライディングモード制御により空燃比制御を行うべき運転モードにあるとして、ステップ5に進み、適応スライディングモード制御によるKCMD算出処理で算出された目標空燃比KCMDを読み込む。

【0067】

図12は、この適応スライディングモード制御によるKCMD算出処理を示しており、この処理では、ステップ20において、目標空燃比KCMDが算出される。このステップ20の具体的な内容の説明は省略するが、後述する図26, 27のステップ120~139(ただしステップ137を除く)と同様の処理が実行される。

【0068】

図10に戻り、ステップ4の判別結果がNOのとき、すなわち適応スライディングモード制御による目標空燃比KCMDの上記使用条件が不成立のときには、ステップ6に進み、後述する変調制御によるKCMD算出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か否かを判別する。言い換えれば、変調制御により空燃比制御を行うべき運転モードにあるか否かを判別する。この判別では、以下の(f7)~(f13)の条件がいずれも成立しているときに、変調制御による目標空燃比KCMDの使用条件(選択条件)が成立していると判別される。

(f7) エンジン3がリーンバーン運転中でないこと。

(f8) 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。

(f9) スロットル弁5が全開状態でないこと。

(f10) フューエルカット運転中でないこと。

(f12) 点火時期の遅角制御中でないこと。

(f13) エンジン回転数NEおよび吸気管内絶対圧PBAがいずれも、所定の変調制御用の範囲内の値であること(例えば極低負荷の運転モード内の値であること)。

【0069】

ステップ6の判別結果がYESで、変調制御による目標空燃比KCMDの上記使用条件が成立しているときには、変調制御により空燃比制御を行うべき運転モードにあるとして、ステップ7に進み、図13に示す変調制御によるKCMD算出処理で算出された目標空燃比KCMDを読み込む。この変調制御によるKCMD算出処理の具体的な内容については、後述する。

【0070】

一方、ステップ6の判別結果がNOで、変調制御による目標空燃比KCMDの上記使用条件が不成立のときには、ステップ8に進み、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、目標空燃比KCMDを算出する。

【0071】

以上のステップ5, 7または8に続く図11のステップ9では、オブザーバフィードバック補正係数#nKLAFF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#nKLAFF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LAFセンサ14の出力KACT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、PID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#nKLAFF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#nTCYLおよび最終燃料噴射量#nTOUTにおいても同様である。

【0072】

10

20

30

40

50

次いで、ステップ10に進み、フィードバック補正係数KFBを算出する。このフィードバック補正係数KFBは、具体的には、以下のように算出される。すなわち、LAFセンサ14の出力KACTと目標空燃比KCMDとの偏差に応じて、PID制御によりフィードバック係数KLAfを算出する。また、図示しないSelf Tuning Regulator型の適応コントローラによりフィードバック補正係数KSTRを算出し、これを目標空燃比KCMDで除算することにより、フィードバック補正係数ksatr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KLAfおよびフィードバック補正係数ksatrの一方を、フィードバック補正係数KFBとして設定する。

【0073】

次いで、ステップ11に進み、補正目標空燃比KCMDMを算出する。この補正目標空燃比KCMDM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5, 7または8のいずれかで算出した目標空燃比KCMD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。

【0074】

次に、ステップ12に進み、以上のように算出した基本燃料噴射量Tim、総補正係数KTOTAL、オブザーバフィードバック補正係数#nKLAf、フィードバック補正係数KFB、および補正目標空燃比KCMDMを用い、下式(10)により、気筒ごとの要求燃料噴射量#nTCYLを算出する。

$$\#nTCYL = Tim \cdot KTOTAL \cdot KCMDM \cdot KFB \cdot \#nKLAf \dots (10)$$

10

20

【0075】

次に、ステップ13に進み、要求燃料噴射量#nTCYLを付着補正することにより、最終燃料噴射量#nTOUTを算出する。この最終燃料噴射量#nTOUT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#nTCYLを補正することにより、算出される。

【0076】

次いで、ステップ14に進み、以上のように算出した最終燃料噴射量#nTOUT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。

【0077】

次に、図13および図14を参照しながら、前述した変調制御によるKCMD算出処理について説明する。この処理は、図示しないプログラムタイマ処理により、所定の周期(例えば30~60 msec)で実行される。

30

【0078】

この処理では、まず、ステップ30において、O2センサの出力VoutのサンプルデータVOOUT(=Vout(k)、制御対象の出力)を読み込む。次いで、ステップ31に進み、RAMに記憶されているDSM信号値の今回値SGNSIGMA[0](=u''(k))を、前回値SGNSIGMA[1](=u''(k-1))に設定する。

【0079】

次に、ステップ32に進み、RAMに記憶されている偏差積分値の今回値SIGMA[0](=d(k))を、前回値SIGMA[1](=d(k-1))に設定する。

40

【0080】

次いで、ステップ33に進み、目標値VO2TARGET(=Vop)からステップ30で読み込んだサンプルデータVOOUTを減算した値を、出力偏差VO2R(=VO2'(k)=r(k))として設定する。この処理は、前記式(4)の内容に相当する。

【0081】

次に、ステップ34に進み、出力偏差VO2RからDSM信号値の前回値SGNSIGMA[1]を減算した値を、偏差DELT(=(k))として設定する。この処理は、前記式(5)の内容に相当する。

【0082】

50

次いで、ステップ35に進み、偏差積分値の前回値SIGMA[1]に偏差DELT Aを加算した値を、偏差積分値の今回値SIGMA[0]として設定する。この処理は、前記式(6)の内容に相当する。

【0083】

次に、ステップ36に進み、ステップ35で算出された偏差積分値の今回値SIGMA[0]が「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、DSM信号値の今回値SGNSIGMA[0]を「1」に設定する(ステップ37)。一方、この判別結果がNOのときには、DSM信号値の今回値SGNSIGMA[0]を「-1」に設定する(ステップ38)。以上のステップ36~38の処理が、前記式(7)の内容に相当する。

10

【0084】

これらのステップ37またはステップ38に続くステップ39では、前記ステップ2で算出した基本燃料噴射量Timに応じて、図14に示すテーブルを検索することにより、ゲインFDSM(=Fd)を算出する。このテーブルでは、ゲインFDSMは、基本燃料噴射量Timが小さいほど、すなわちエンジン3の運転負荷が低いほど、より大きい値に設定されている。これは、エンジン3の運転負荷が低いほど、排気ガスボリュームが低下し、O2センサの出力Voutの応答性が低下するので、それを補償するためである。なお、ゲインFDSMの算出に用いるテーブルは、ゲインFDSMが基本燃料噴射量Tim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の運転負荷を表すパラメータ(例えば排気ガスボリュームAB_SV)に応じてゲインFDSM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FDSMをより小さい値に補正するようにしてもよい。

20

【0085】

次に、ステップ40に進み、DSM信号値の今回値SGNSIGMA[0]にゲインFDSMを乗算した値を、目標空燃比KCMDの増幅中間値DKCMDA(=u'(k))として設定する。これらのステップ39, 40の処理が、前記式(8)の内容に相当する。

【0086】

次いで、ステップ41に進み、増幅中間値DKCMDAに値1を加算した値を、目標空燃比KCMD(=op(k))に設定した後、本処理を終了する。この処理は、前記式(9)の内容に相当する。

30

【0087】

以上のように、本実施形態の制御装置1によれば、エンジン3の運転状態に応じて、目標空燃比KCMDの算出処理が、適応スライディングモード制御処理、変調制御処理およびマップ検索処理のいずれか1つに切り換えられる。したがって、いずれかの処理で目標空燃比KCMDを算出すれば、目標値Vopに対する出力Voutの収束性を最も良好に得られるかを、エンジン3の様々な運転モードに対して、実験などにより予め決定しておくことによって、より良好な触媒後排気ガス特性を確保することができる。

【0088】

また、変調制御による目標空燃比KCMDの使用条件が成立しているとき、例えばアイドル運転モードなどの極低負荷運転モードのときには、目標空燃比KCMDが、目標値VopとO2センサの出力Voutとの出力偏差VO2'(k)に応じて、変調制御処理により、算出される。これにより、出力偏差VO2(k)を打ち消すような、出力偏差VO2(k)と逆位相波形の偏差が得られる出力Voutが発生するように、混合気の目標空燃比KCMDを算出することができる。そして、このように算出した目標空燃比KCMDに基づいて、最終燃料噴射量TOUTを算出することにより、これを出力Voutが目標値Vopに収束するような値として算出することができる。それにより、目標空燃比KCMDの混合気がエンジン3に供給された際に、応答遅れやむだ時間を生じる排気ガスの空燃比、すなわちO2センサの出力Voutを、目標値Vopに対して、ばらつきを生じることなく、高い精度で迅速に収束させることができる。同じ理由により、極低負荷運転

40

50

モードなどの、排気ガスボリュームが低下し、O₂センサの出力V_{out}の応答遅れやむだ時間が大きくなるときでも、O₂センサの出力V_{out}を、目標値V_{op}に対して、ばらつきを生じることなく、高い精度で迅速に収束させることができる。以上のように、O₂センサの出力V_{out}を、目標値V_{op}に高精度で迅速に収束させることができることにより、前述したように、第1触媒装置8aによって排気ガスを最も効率よく浄化でき、したがって、極めて良好な触媒後排気ガス特性を得ることができる。

【0089】

また、変調制御処理において、目標空燃比KCMDが、DSM信号値の今回値SGNSIGMA[0]にゲインFDSTM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FDSTMが要求燃料噴射量TCYLに応じて設定されるので、エンジン3の運転状態の変化に伴い、排気ガスの空燃比の応答状態が変化した場合でも、それに応じて設定されたゲインFDSTMを用いることによって、適切な混合気の目標空燃比KCMDを生成することができ、制御の収束性および高い応答性を両立させることができる。10

【0090】

なお、以上の第1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、DSMコントローラ40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。

【0091】

また、上記第1実施形態では、変調アルゴリズムを用いることにより、目標空燃比KCMDを算出(生成)するようにしたが、これに代えて、変調アルゴリズムを用いることにより、目標空燃比KCMDを算出するようにしてもよい。以下、図15のプロック図を参照しながら、変調アルゴリズムの特性について説明する。20

【0092】

同図に示すように、この変調アルゴリズムを適用した制御系では、まず、積分器60により、参照信号積分値_dr(k)が、参照信号r(k)と遅延素子61で遅延された参照信号積分値_dr(k-1)との和の信号として生成される。一方、積分器63により、SDM信号積分値_du(k)が、遅延素子64で遅延されたSDM信号積分値_du(k-1)と遅延素子65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62により、参照信号積分値_dr(k-1)とSDM信号積分値_du(k)との偏差'_d(k)が生成される。30

【0093】

次いで、量子化器66(符号関数)により、SDM信号u(k)が、偏差'_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SDM信号u(k)が制御対象49に入力されることにより、制御対象49から出力信号y(k)が出力される。

【0094】

この変調アルゴリズムは、以下の式(11)～(14)で表される。

$$\substack{d r(k) = r(k) + d r(k-1) \\ \dots \dots (11)}$$

$$\substack{d u(k) = d u(k-1) + u(k-1) \\ \dots \dots (12)}$$

$$\substack{'(k) = d r(k) - d u(k) \\ \dots \dots (13)}$$

$$\substack{u(k) = sgn('k) \\ \dots \dots (14)}$$

ただし、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)。

【0095】

以上の変調アルゴリズムは、図示しないが、前述した変調アルゴリズムと同様に、制御対象49の出力信号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に、制御対象49への制御入力としてのSDM信号u(k)を生成できるという特性を備えている。したがって、このような変調アルゴリズムの特性を利用したコントローラにより、目標空燃比KCMDを算出すること

10

20

30

40

50

によって、変調アルゴリズムを用いた前記第1実施形態の場合と同様の効果を得ることができる。

【0096】

さらに、第1実施形態の変調アルゴリズムに代えて、変調アルゴリズムを用いることにより、目標空燃比KCMDを算出するようにしてもよい。以下、図16のブロック図を参照しながら、変調アルゴリズムの特性について説明する。

【0097】

同図に示すように、この変調アルゴリズムでは、積分器70により、DM信号積分値_du(k)が、遅延素子71で遅延されたDM信号積分値_du(k-1)と、遅延素子74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72により、参照信号r(k)とDM信号積分値_du(k)との偏差信号''(k)が生成される。

【0098】

次いで、量子化器73(符号関数)により、DM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、以上のように生成されたSDM信号u(k)が制御対象49に入力されることにより、制御対象49から出力信号y(k)が出力される。

【0099】

以上の変調アルゴリズムは、以下の式(15)～(17)で表される。

$$d u(k) = d u(k-1) + u(k-1) \quad \dots \dots (15)$$

$$''(k) = r(k) - d u(k) \quad \dots \dots (16)$$

$$u(k) = sgn(''(k)) \quad \dots \dots (17)$$

ただし、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)。

【0100】

以上の変調アルゴリズムは、図示しないが、前述した変調アルゴリズムと同様に、制御対象49の出力信号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に、制御対象49への制御入力としてのDM信号u(k)を生成できるという特性を備えている。したがって、このような変調アルゴリズムの特性を利用したコントローラにより、目標空燃比KCMDを算出することによって、変調アルゴリズムを用いた前記第1実施形態の場合と同様の効果を得ることができる。

【0101】

次に、本発明の第2実施形態に係る制御装置について説明する。この制御装置1も、前述した第1実施形態の制御装置1と同様に、内燃機関の空燃比を制御するものであり、その概略構成は、図1に示すものと同様に構成されている。

【0102】

すなわち、この制御装置1も、マイクロコンピュータで構成されたECU2を備えている。このECU2は、前述した各種のセンサ10～19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、ROMに予め記憶された制御プログラムやRAM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KCMDを算出するとともに、混合気の空燃比を制御する。なお、本実施形態では、ECU2により、偏差算出手段、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、予測値算出手段、同定手段、動特性パラメータ検出手段、モデルパラメータ設定手段、第1の制御入力算出手段、第2の制御入力算出手段、制御対象状態検出手段および制御入力選択手段が構成されている。

【0103】

図17に示すように、この制御装置1は、目標空燃比KCMDを算出するADSMコントローラ20およびPRISMコントローラ21を備えており、両コントローラ20, 21はいずれも、具体的には、ECU2により構成されている。

【0104】

10

20

30

40

50

以下、ADSMコントローラ20について説明する。このADSMコントローラ20は、以下に述べる適応予測型変調制御(Adaptive prediction Delta Sigma Modulation Control:以下「ADSM」という)処理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DSMコントローラ24により構成されている。なお、このADSM処理の具体的なプログラムについては、後述する。

【0105】

まず、状態予測器22(偏差算出手段、予測値算出手段)について説明する。この状態予測器22は、以下に述べる予測アルゴリズムにより、出力偏差VO2の予測値PREVO2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KCMDとし、制御対象の出力をO2センサ15の出力Voutとし、インジェクタ6を含むエンジン3の吸気系から、第1触媒装置8aを含む排気系の第1触媒装置8a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(18)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 exogeneous input:外部入力を持つ自己回帰モデル)としてモデル化する。

【0106】

$$V02(k) = a1 \cdot V02(k-1) + a2 \cdot V02(k-2) + b1 \cdot DKCMD(k-dt) \quad \dots \dots (18)$$

ここで、VO2は、O2センサ15の出力Voutと前述した目標値Vopとの偏差(Vout - Vop)である出力偏差を表し、DKCMDは、目標空燃比KCMD(=op)と基準値FLAFBASExとの偏差(KCMD - FLAFBASEx)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FLAFBASEx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。

【0107】

さらに、上記式(18)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Voutに反映されるまでの予測時間を表しており、下式(19)のように定義される。

$$dt = d + d' + dd \quad \dots \dots (19)$$

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)。

【0108】

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Vout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。

【0109】

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(18)に基づき、予測値PREVO2の算出式を導出すると、下式(20)が得られる。

$$PREV02(k) = V02(k+dt)$$

10

20

30

40

50

$$= a1 \cdot V02(k+dt-1) + a2 \cdot V02(k+dt-2) + b1 \cdot DKCMD(k) \dots \dots (20)$$

【0110】

この式(20)では、出力偏差V02(k)の未来値に相当するV02(k+dt-1), V02(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18に示す式(21), (22)のように定義するとともに、上式(20)の漸化式を繰り返し用いることにより、上式(20)を変形すると、図18に示す式(23)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(23)を用いた場合、予測値PREVO2が、出力偏差V02および空燃比偏差DKCMDにより算出される。

10

【0111】

次に、LAF出力偏差DKACTを、LAFセンサ14の出力KACT(=inn)と基準値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18の式(23)に適用すると、図18に示す式(24)が得られる。

【0112】

以上の式(23)または式(24)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(24)を用いた場合、予測値PREVO2が、出力偏差V02、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(23)を用いた場合よりも向上させることができる。また、式(24)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V02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(24)を採用する。

20

【0113】

なお、前述した式(18)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V02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。

30

【0114】

次に、オンボード同定器23(同定手段)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(18)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19に示す式(25), (26)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(25)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(26)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。

40

【0115】

上記式(25)の同定誤差フィルタ値ide_f(k)は、図19に示す式(28)～(30)により算出される同定誤差ide(k)に、同図の式(27)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19の式(27)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(29)のV02HAT(k)は、出力偏差V02の同定値を表している。

【0116】

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

50

施形態の制御対象は、目標空燃比 K_{CMD} を制御入力とし、O2センサ15の出力 V_{out} 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。

【0117】

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。

【0118】

さらに、前述した図19の式(25)のゲイン係数のベクトル $K_P(k)$ は、図19の式(31)により算出される。この式(31)の $P(k)$ は、図19の式(32)で定義される3次の正方行列である。

【0119】

以上のような同定アルゴリズムでは、式(32)の重みパラメータ1、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、

$1 = 1, 2 = 0$; 固定ゲインアルゴリズム
 $1 = 1, 2 = 1$; 最小2乗法アルゴリズム
 $1 = 1, 2 =$; 減衰ゲインアルゴリズム
 $1 = , 2 = 1$; 重み付き最小2乗法アルゴリズム

ただし、 1 は、 $0 < 1 < 1$ に設定される所定値。

【0120】

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、低負荷運転モードのときには、それに応じて重みパラメータ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、低負荷時におけるむだ時間および応答遅れの増大により制御性が低下する(入出力の変動量が大きくなる)ときにも、モデルパラメータの変動を抑制することができ、良好な同定精度を確保できることとともに、高負荷運転モードのときには、それに応じて重みパラメータ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。

【0121】

以上の式(25)～(32)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20に示す式(33)～(40)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(33)～(40)を用いる。これらの式(33)～(40)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(25)～(32)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

10

20

30

40

50

タの同定精度を向上させることができる。

【0122】

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PREVO2が算出される。

【0123】

次に、DSMコントローラ24（制御入力算出手段、第1の制御入力算出手段）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（前記式（1）～（3））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PREVO2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 V_{out} を目標値 V_{op} に収束させるように制御するものである。変調アルゴリズムの特性については、第1実施形態すでに述べたので、ここでは説明は省略する。

【0124】

図21を参照しながら、このDSMコントローラ24の原理について説明する。例えば同図に1点鎖線で示すように、出力偏差 VO_2 が値0に対して揺らいでいる場合（すなわち、O2センサ15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 VO_2 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、第1実施形態で述べたように、図21に破線で示す、出力偏差 VO_2 を打ち消すような逆位相波形の出力偏差 VO_2^* が生じるように、制御入力 $op(k)$ を生成すればよい。

【0125】

しかし、前述したように、本実施形態のような制御対象では、制御入力 $op(k)$ としての目標空燃比KCMDが制御対象に入力されてからO2センサ15の出力 V_{out} に反映されるまでに、予測時間 dt 分の時間遅れが発生するため、現在の出力偏差 VO_2 に基づいて、制御入力 $op(k)$ を算出した場合の出力偏差 VO_2^* は、図21に実線で示すように、出力偏差 VO_2^* 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ADSMコントローラ20におけるDSMコントローラ24では、出力偏差 VO_2 の予測値PREVO2を用いることにより、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、現在の出力偏差 VO_2 を打ち消すような出力偏差（逆位相波形の出力偏差 VO_2^* と同様の出力偏差）を生じさせる信号として生成される。

【0126】

具体的には、このDSMコントローラ24では、図22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。

【0127】

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FLAFBASSEに加算した値として、制御入力 $op(k)$ が生成される。

【0128】

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（41）～（46）で表される。

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
 r(k) &= -1 \cdot G_d \cdot P R E V O 2(k) & \dots (41) \\
 (k) &= r(k) - u''(k - 1) & \dots (42) \\
 d(k) &= d(k - 1) + (k) & \dots (43) \\
 u''(k) &= sgn(d(k)) & \dots (44) \\
 u(k) &= F_d \cdot u''(k) & \dots (45) \\
 o p(k) &= F L A F B A S E + u(k) & \dots (46)
 \end{aligned}$$

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、 $d(k) \neq 0$ 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）。

10

【0129】

この D S M コントローラ 24 では、以上の式 (41) ~ (46) 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 $o p(k)$ が、制御タイミングのずれを生じることなく、出力偏差 $V O 2$ を打ち消すような出力偏差 $V O 2^*$ を生じさせる値として算出される。すなわち、制御入力 $o p(k)$ が、O2 センサ 15 の出力 $V o u t$ を目標値 $V o p$ 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 $o p(k)$ が、増幅 D S M 信号 $u(k)$ を所定の基準値 $F L A F B A S E$ に加算した値として算出されるので、制御入力 $o p(k)$ を値 0 を中心して正負反転する値だけでなく、基準値 $F L A F B A S E$ 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 变调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。

20

【0130】

次に、前記 P R I S M コントローラ 21 について説明する。この P R I S M 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「P R I S M 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 $V o u t$ 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 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「S L D コントローラ」という）25 により構成されている。なお、この P R I S M 処理の具体的なプログラムについては後述する。

【0131】

この P R I S M 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 S L D コントローラ 25 についてのみ説明する。この S L D コントローラ 25（第2の制御入力算出手段）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 (18) 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 σ は、下式 (47) 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。

$$\sigma(k) = S_1 \cdot V O 2(k) + S_2 \cdot V O 2(k - 1) \dots (47)$$

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。

30

【0132】

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 σ 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、 $\sigma = 0$ 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 σ 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

50

えば、本実施形態のように、切換関数 σ 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。以上のように、スライディングモード制御は、いわゆる応答指定型制御の一手法である。

【0133】

本実施形態では、前記式(47)に示すように、切換関数 σ が出力偏差 VO_2 の 2 つの時系列データ、すなわち出力偏差 VO_2 の今回値 $VO_2(k)$ および前回値 $VO_2(k-1)$ により構成されているので、これらの今回値 $VO_2(k)$ および前回値 $VO_2(k-1)$ 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 $KCMD$ を設定すればよい。具体的には、制御量 $Us1(k)$ を、基準値 $FLAFBASE$ 10 との和が目標空燃比 $KCMD$ となる値として定義すると、今回値 $VO_2(k)$ および前回値 $VO_2(k-1)$ の組み合わせを切換直線上に収束させるための制御量 $Us1(k)$ 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23に示す式(48)のように、等価制御入力 $Ueq(k)$ 、到達則入力 $Urch(k)$ および適応則入力 $Uadp(k)$ の総和として設定される。

【0134】

この等価制御入力 $Ueq(k)$ は、出力偏差 VO_2 の今回値 $VO_2(k)$ および前回値 $VO_2(k-1)$ 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23に示す式(49)のように定義される。また、到達則入力 $Urch(k)$ は、外乱やモデル化誤差などにより、出力偏差 VO_2 の今回値 $VO_2(k)$ および前回値 $VO_2(k-1)$ 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23に示す式(50)のように定義される。この式(50)において、 F はゲインを表す。 20

【0135】

さらに、適応則入力 $Uadp(k)$ 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 VO_2 の今回値 $VO_2(k)$ および前回値 $VO_2(k-1)$ 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23に示す式(51)のように定義される。この式(51)において、 G はゲインを、 T は制御周期をそれぞれ表す。 30

【0136】

本実施形態の PRISMコントローラ21のSLDコントローラ25では、前述したように、出力偏差 VO_2 に代えて予測値 $PREVO_2$ を用いるので、 $PREVO_2(k)$ $VO_2(k+dt)$ の関係を適用することにより、以上の式(47)～(51)のアルゴリズムを、図24に示す式(52)～(56)に書き換えて用いる。この式(52)における PRE は、予測値 $PREVO_2$ を用いたときの切換関数(以下「予測切換関数」という)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 $Us1(k)$ 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。 40

【0137】

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25を参照しながら説明する。同図に示すように、この算出処理は、前述した図10, 11の算出処理と比べて、ステップ104～107のみが異なっており、それ以外の点は同じであるので、以下、ステップ104～107についてのみ説明する。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。

【0138】

すなわち、この処理では、ステップ103に続くステップ104において、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(f14)～(f19)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、言い換えれば、適応空燃比制御処理により空燃比制御を行うべき運転モードにあるとして、そ 50

れを表すために、適応制御フラグ $F_P R I S M O N$ が「1」にセットされる。一方、(f_{14}) ~ (f_{19}) 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 $F_P R I S M O N$ が「0」にセットされる。

(f_{14}) L A F 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。

(f_{15}) エンジン3がリーンバーン運転中でないこと。

(f_{16}) スロットル弁5が全開状態でないこと。

(f_{17}) 点火時期の遅角制御中でないこと。

(f_{18}) フューエルカット運転中でないこと。

(f_{19}) エンジン回転数 N_E および吸気管内絶対圧 P_{BA} がいずれも、適応空燃比制御処理用の所定の範囲内の値であること。

【0139】

次に、ステップ105に進み、ステップ104で設定された適応制御フラグ $F_P R I S M O N$ 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106に進み、目標空燃比 K_{CMD} 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 K_{CMDSLD} に設定する。

【0140】

一方、ステップ105の判別結果がNOのときには、ステップ107に進み、目標空燃比 K_{CMD} をマップ値 K_{CMDMAP} に設定する。このマップ値 K_{CMDMAP} は、エンジン回転数 N_E および吸気管内絶対圧 P_{BA} 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。そして、これ以降のステップ108~113は、前述した図10, 11のステップ9~14と同様に実行される。

【0141】

次に、図26および図27を参照しながら、ADSM処理およびPRISM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10 msec)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、ADSM処理、PRISM処理、またはスライディングモード制御量 $D_{KCMDSLD}$ を所定値 S_{LDHO} に設定する処理により、目標空燃比 K_{CMD} が算出される。

【0142】

この処理では、まず、ステップ120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_AFC 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_TM_AFC 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_AFC が「0」にセットされる。

【0143】

次に、ステップ121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たか否かを判定する発進判定処理を実行する。図28に示すように、この処理では、まず、ステップ149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、エンジン回転数 N_E 、車速 V_P およびスロットル弁開度 TH などに基づき、エンジン3がアイドル運転モード中であるか否かを判別することによって設定され、具体的には、アイドル運転モードであるときに「1」に、それ以外のときに「0」にセットされる。

【0144】

この判別結果が YES で、アイドル運転モード中であるときには、ステップ150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151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 TM_{VOTVST} を第1所定時間 T_{VOTVST} (例えば3 msec) に設定する。

【0145】

次いで、ステップ152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 TM_{VST} 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 153, 154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。

【0146】

一方、ステップ 149 または 150 の判別結果が NO のとき、すなわちアイドル運転にないか、または車両が発進したときには、ステップ 155 に進み、第1発進判定タイマのタイマ値 $TMVOTVST$ が値 0 より大きいか否かを判別する。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 $TVOTVST$ 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 156 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。

10

【0147】

一方、ステップ 155 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 $TVOTVST$ 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 157 に進み、第1発進フラグ F_VOTVST を「0」にセットする。

【0148】

ステップ 156 または 157 に続くステップ 158 では、第2発進判定タイマのタイマ値 $TMVST$ が値 0 より大きいか否かを判別する。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 $TVST$ 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 159 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。

20

【0149】

一方、ステップ 158 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 $TVST$ 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 154 を実行した後、本処理を終了する。

【0150】

図 26 に戻り、ステップ 121 に続くステップ 122 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 $KCMD$ 、 LAF センサ 14 の出力 $KACT$ および出力偏差 $VO2$ の時系列データをいずれも、1サンプリングサイクル分ずつ過去側にシフトさせる。その後、 $KCMD$ 、 $KACT$ および $VO2$ の時系列データの最新の値と、基準値 $FLAFBASE$ と、後述する適応補正項 $FLAFADP$ に基づき、 $KCMD$ 、 $KACT$ および $VO2$ の今回値を算出する。

30

【0151】

次に、ステップ 123 に進み、PRISM/ADSM 处理の実行判定処理を行う。この処理は、PRISM 处理または ADSM 处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 29 に示すフローチャートのように実行される。

【0152】

すなわち、図 29 のステップ 160 ~ 163 において、以下の (f20) ~ (f23) の条件がいずれも成立しているときには、PRISM 处理または ADSM 处理を実行すべき運転モードにあるとして、それを表すために、ステップ 164 で、PRISM/ADSM 実行フラグ $F_PRISMICAL$ を「1」にセットした後、本処理を終了する。一方、(f20) ~ (f23) の条件の少なくとも 1 つが成立していないときには、PRISM 处理または ADSM 处理を実行すべき運転モードにないとして、それを表すために、ステップ 165 で、PRISM/ADSM 実行フラグ $F_PRISMICAL$ を「0」にセットした後、本処理を終了する。

40

(f20) $O2$ センサ 15 が活性化していること。

(f21) LAF センサ 14 が活性化していること。

(f22) エンジン 3 がリーンバーン運転中でないこと。

(f23) 点火時期の遅角制御中でないこと。

【0153】

図 26 に戻り、ステップ 123 に続くステップ 124 では、同定器演算の実行判定処理

50

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30に示すフローチャートのように実行される。

【0154】

すなわち、図30のステップ170および171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モードであるとして、ステップ172に進み、同定実行フラグF_IDCALを「1」にセットした後、本処理を終了する。一方、ステップ170または171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モードにして、ステップ173に進み、同定実行フラグF_IDCALを「0」にセットした後、本処理を終了する。

【0155】

図26に戻り、ステップ124に続くステップ125では、各種パラメータ（排気ガスボリュームAB_SVなど）を算出する。この処理の具体的な内容は、後述する。

【0156】

次に、ステップ126に進み、前記ステップ123で設定されたPRISM/ADSM実行フラグF_PRISMCALが「1」であるか否かを判別する。この判別結果がYESで、PRISM処理またはADSM処理の実行条件が成立しているときには、ステップ127に進み、前記ステップ124で設定された同定実行フラグF_IDCALが「1」であるか否かを判別する。

【0157】

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モードのときには、ステップ128に進み、パラメータ初期化フラグF_IDRSSET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131に進む。

【0158】

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129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130に進み、パラメータ初期化フラグF_IDRSSETを「0」にセットする。

【0159】

このステップ130または128に続くステップ131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27のステップ132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。

【0160】

一方、ステップ127の判別結果がNOで、パラメータ同定を実行すべき運転モードでないときには、以上のステップ128～131をスキップして、図27のステップ132に進む。ステップ127または131に続くステップ132では、モデルパラメータa1, a2, b1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124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a1, a2, b1をステップ131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a1, a2, b1を所定値に設定する。

【0161】

次に、ステップ133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PREVO2を算出する。その後、ステップ134に進み、後述するように、制御量U_{s1}を算出する。

【0162】

10

20

30

40

50

次いで、ステップ135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。

【0163】

次に、ステップ136および137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DKCMDSDLDおよび変調制御量DKCMDDSMをそれぞれ算出する。

【0164】

次いで、ステップ138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DKCMDSDLD、またはDSMコントローラ24により算出された変調制御量DKCMDDSMを用いて、適応目標空燃比KCMDSDLDを算出する。この後、ステップ139に進み、後述するように、適応補正項FLAFA DPを算出した後、本処理を終了する。

【0165】

一方、図26に戻り、前記ステップ126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140に進み、パラメータ初期化フラグF_IDRSETを「1」にセットする。次に、図27のステップ141に進み、スライディングモード制御量DKCMDSDLDを所定値SLDHOLDにセットする。次いで、前述したステップ138、139を実行した後、本処理を終了する。

10

20

【0166】

次に、図31を参照しながら、前述したステップ125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180において、下式(58)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。

$$AB_SV = (NE / 1500) \cdot PBA \cdot X_SVPR \quad \dots \dots (58)$$

ここで、X_SVPR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。

【0167】

次に、ステップ181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dtを算出する。具体的には、ステップ180で算出された排気ガスボリュームAB_SVに応じて、図32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dt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。

30

【0168】

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dtが、排気ガスボリュームに応じて算出されるので、これらを用いて算出した出力偏差VO2の予測値PREVO2に基づき、後述する適応目標空燃比KCMDSDLD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a1, a2, b1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。

40

【0169】

次に、ステップ182に進み、同定アルゴリズムの重みパラメータ1, 2の値を算出する。具体的には、重みパラメータ2を値1に設定すると同時に、重みパラメータ1を、排気ガスボリュームAB_SVに応じて、図33に示すテーブルを検索することに

50

より算出する。

【0170】

このテーブルでは、排気ガスボリューム $A_B_S_V$ が大きいほど、重みパラメータ 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 $A_B_S_V$ が小さいほど、重みパラメータ 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 $A_B_S_V$ が大きいほど、言い換えればより高負荷の運転モードであるほど、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 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 $A_B_S_V$ が小さいほど、すなわちより低負荷の運転モードであるほど、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 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。

【0171】

次に、ステップ 183 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 を、排気ガスボリューム $A_B_S_V$ に応じて、図 34 に示すテーブルを検索することにより算出する。

【0172】

このテーブルでは、下限値 X_IDA2L は、排気ガスボリューム $A_B_S_V$ 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 $A_B_S_V$ 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 $A_B_S_V$ 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 $A_B_S_V$ 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 O2 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。

【0173】

次いで、ステップ 184 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 $A_B_S_V$ に応じて、図 35 に示すテーブルを検索することにより、算出する。

【0174】

このテーブルでは、排気ガスボリューム $A_B_S_V$ 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 $A_B_S_V$ 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 $A_B_S_V$ 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 $A_B_S_V$ に応じて設定することにより、排気ガスボリューム $A_B_S_V$ の変化にかかわらず、一定の同定重み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。

【0175】

次に、図 36 を参照しながら、前記ステップ 131 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 190 において、前述した式 (39) より、ゲイン係数 $K_P (k)$ を算出する。次に、ステップ 191 に進み、前述した式 (37) より、出力偏差 V_{O2} の同定値 $V_{O2HAT} (k)$ を算出する。

【0176】

次いで、ステップ 192 に進み、前述した式 (35), (36) より、同定誤差フィル

10

20

30

40

50

タ値 $i \cdot d \cdot e \cdot f(k)$ を算出する。次に、ステップ 193 に進み、前述した式(33)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 194 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。

【0177】

次いで、ステップ 195 に進み、前述した式(40)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、次回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。

【0178】

以下、図 37 を参照しながら、上記ステップ 194 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 200 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。
10

【0179】

次に、ステップ 201 に進み、後述するように、 $a_1' \& a_2'$ のリミット処理を実行する。次いで、ステップ 202 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。

【0180】

以下、図 38 を参照しながら、上記ステップ 201 の $a_1' \& a_2'$ 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 210 において、前記ステップ 193 で算出したモデルパラメータの同定値 a_2' が、前記図 31 のステップ 183 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 211 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 212 に進み、モデルパラメータ a_2 を同定値 a_2' に設定する。
20

【0181】

これらのステップ 211 または 212 に続くステップ 213 では、前記ステップ 193 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} (例えれば値 -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 214 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。
30

【0182】

一方、ステップ 213 の判別結果が YES のときには、ステップ 215 に進み、同定値 a_1' が、所定の上限値 X_{IDA1H} (例えれば値 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 216 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 217 に進み、モデルパラメータ 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_{A1STAB} を「1」にセットする。
40

【0183】

これらのステップ 214、216 または 217 に続くステップ 218 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_{A2STAB} (例えれば値 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 39 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。

【0184】

一方、ステップ 218 の判別結果が NO のときには、ステップ 219 に進み、モデルパ
50

ラメータ a 1 が、判定値 X_A2S TAB から下限値 X_IDA2L を減算した値 (X_A2S TAB - 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 220 に進み、モデルパラメータ a 2 を、判定値 X_A2S TAB からモデルパラメータ a 1 の絶対値を減算した値 (X_A2S TAB - | 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_A2S TAB を「1」にセットした後、本処理を終了する。

【0185】

一方、ステップ 219 の判別結果が NO で、 a 1 > (X_A2S TAB - X_IDA2L) のときには、ステップ 221 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_A2S TAB から下限値 X_IDA2L を減算した値 (X_A2S TAB - 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_A1S TAB , F_A2S TAB をいずれも「1」にセットする。その後、本処理を終了する。

10

【0186】

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。

20

【0187】

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 39 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。

30

【0188】

次に、図 40 を参照しながら、前記ステップ 202 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 230 において、前記ステップ 193 で算出されたモデルパラメータの同定値 b 1 ' が、前記図 31 のステップ 183 で算出された下限値 X_IDB1L 以上であるか否かを判別する。

40

【0189】

この判別結果が YES で、 b 1 ' > X_IDB1L のときには、ステップ 2311 に進み、モデルパラメータの同定値 b 1 ' が、前記図 31 のステップ 183 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 < b 1 ' < X_IDB1H のときには、ステップ 232 に進み、モデルパラメータ b 1 を同定値 b 1 ' に設定した後、本処理を終了する。

【0190】

一方、ステップ 231 の判別結果が NO で、 b 1 ' > X_IDB1H のときには、ステップ 233 に進み、モデルパラメータ b 1 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。

50

【0191】

一方、ステップ230の判別結果がNOで、 $b1' < X_{IDB1L}$ のときには、ステップ234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_{B1LM} を「1」にセットした後、本処理を終了する。

【0192】

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、これらの上下限値 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。10

【0193】

次に、図41を参照しながら、前述したステップ133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240において、前述した式(24)の行列要素 $1, 2, i, j$ を算出する。次いで、ステップ241に進み、ステップ240で算出した行列要素 $1, 2, i, j$ を式(24)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。20

【0194】

次に、図42を参照しながら、前述したステップ134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250において、前述した図24の式(52)により、予測切換関数 PRE を算出する。

【0195】

次に、ステップ251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43に示すように、まず、ステップ260において、下記の3つの条件($f24$)~($f26$)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。

($f24$) 適応制御フラグ $F_{PRISMON}$ が「1」であること。30

($f25$) 後述する積算値保持フラグ F_{SSHOLD} が「0」であること。

($f26$) 後述するADSM実行済みフラグ F_{KOPR} が「0」であること。

【0196】

このステップ260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261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。

【0197】

次いで、ステップ262に進み、ステップ261で算出した今回値 $SUMSIGMA(k)$ が所定の下限値 $SUMSL$ より大きいか否かを判別する。この判別結果がYESのときには、ステップ262に進み、今回値 $SUMSIGMA(k)$ が所定の上限値 $SUMSH$ より小さいか否かを判別する。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。40

【0198】

一方、ステップ263の判別結果がNOで、 $SUMSIGMA(k) < SUMSH$ のときには、ステップ264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262の判別結果がNOで、 $SUMSIGMA(k) < SUMSL$ のときには、ステップ265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。50

【0199】

一方、ステップ260の判別結果がNOのとき、すなわち3つの条件(f_{24})~(f_{26})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266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。

【0200】

図42に戻り、ステップ251に続くステップ252~254において、前述した図24の式(54)~(56)により、等価制御入力Ueq、到達則入力Urchおよび適応則入力Uadpをそれぞれ算出する。

10

【0201】

次に、ステップ255に進み、これらの等価制御入力Ueq、到達則入力Urchおよび適応則入力Uadpの和を、制御量Us1として設定した後、本処理を終了する。

【0202】

次に、図44、45を参照しながら、前述した図27のステップ136のスライディングモード制御量DKCMDSDL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270において、制御量Us1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135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Us1の適応上下限値Us1_ah, Us1_a1とに基づいて、非アイドル運転用の上下限値Us1_ahf, Us1_a1fと、アイドル運転用の上下限値Us1_ahfi, Us1_a1fiとをそれぞれ算出する。

20

【0203】

次いで、ステップ271に進み、アイドル運転フラグF_IDLEが「0」であるか否かを判別する。この判別結果がYESで、アイドル運転モードにないときには、ステップ272に進み、前述した図30の処理で算出された制御量Us1が、非アイドル運転用の下限値Us1_a1f以下であるか否かを判別する。

【0204】

この判別結果がNOで、 $Us1 > Us1_a1f$ のときには、ステップ273に進み、制御量Us1が非アイドル運転用の上限値Us1_ahf以上であるか否かを判別する。この判別結果がNOで、 $Us1_a1f < Us1 < Us1_ahf$ のときには、ステップ274に進み、スライディングモード制御量DKCMDSDLを制御量Us1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。

30

【0205】

次いで、ステップ275に進み、適応下限値の今回値Us1_a1(k)を、前回値Us1_a1($k-1$)に所定の減少側値X_AL_DECを加算した値[Us1_a1($k-1$) + X_AL_DEC]に設定すると同時に、適応上限値の今回値Us1_ah(k)を、前回値Us1_ah($k-1$)から所定の減少側値X_AL_DECを減算した値[Us1_a1($k-1$) - X_AL_DEC]に設定した後、本処理を終了する。

【0206】

一方、ステップ273の判別結果がYESで、 $Us1 = Us1_ahf$ のときには、ステップ276に進み、スライディングモード制御量DKCMDSDLを非アイドル運転用の適応上限値Us1_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。

40

【0207】

次いで、ステップ277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。

【0208】

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

50

T 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。

【0209】

一方、ステップ 277 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 278 に進み、適応下限値の今回値 $Us1_a1(k)$ を、前回値 $Us1_a1(k-1)$ に減少側値 X_AL_DEC を加算した値 [$Us1_a1(k-1) + X_AL_DEC$] に設定すると同時に、適応上限値の今回値 $Us1_ah(k)$ を、前回値 $Us1_ah(k-1)$ に所定の増大側値 X_AL_INC を加算した値 [$Us1_ah(k-1) + X_AL_INC$] に設定した後、本処理を終了する。 10

【0210】

一方、ステップ 272 の判別結果が YES で、 $Us1 > Us1_a1f$ のときには、ステップ 279 に進み、スライディングモード制御量 $DKCMDSDL$ を非アイドル運転用の適応下限値 $Us1_a1f$ 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。

【0211】

次いで、ステップ 280 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。 20

【0212】

一方、ステップ 280 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 281 に進み、適応下限値の今回値 $Us1_a1(k)$ を、前回値 $Us1_a1(k-1)$ から増大側値 X_AL_INC を減算した値 [$Us1_a1(k-1) - X_AL_INC$] に設定すると同時に、適応上限値の今回値 $Us1_ah(k)$ を、前回値 $Us1_ah(k-1)$ から減少側値 X_AL_DEC を減算した値 [$Us1_ah(k-1) - X_AL_DEC$] に設定する。その後、本処理を終了する。

【0213】

一方、ステップ 271 の判別結果が NO で、アイドル運転モード中であるときには、図 45 のステップ 282 に進み、制御量 $Us1$ が、アイドル運転用の下限値 $Us1_a1fi$ 以下であるか否かを判別する。この判別結果が NO で、 $Us1 > Us1_a1fi$ のときには、ステップ 283 に進み、制御量 $Us1$ がアイドル運転用の上限値 $Us1_ahfi$ 以上であるか否かを判別する。 30

【0214】

この判別結果が NO で、 $Us1_a1fi < Us1 < Us1_ahfi$ のときには、ステップ 284 に進み、スライディングモード制御量 $DKCMDSDL$ を制御量 $Us1$ 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。

【0215】

一方、ステップ 283 の判別結果が YES で、 $Us1 > Us1_ahfi$ のときには、ステップ 285 に進み、スライディングモード制御量 $DKCMDSDL$ をアイドル運転用の上限値 $Us1_ahfi$ 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。 40

【0216】

一方、ステップ 282 の判別結果が YES で、 $Us1 > Us1_a1fi$ のときには、ステップ 286 に進み、スライディングモード制御量 $DKCMDSDL$ をアイドル運転用の下限値 $Us1_a1fi$ 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。

【0217】

次に、図46を参照しながら、前述した図27のステップ137の変調制御量D K C M D D S M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290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DS M信号値の今回値D S M S G N S (k) [= u '' (k)]を、前回値D S M S G N S (k - 1) [= u '' (k - 1)]として設定する。

【0218】

次に、ステップ291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D S M S I G M A (k) [= \int_d (k)]を、前回値D S M S I G M A (k - 1) [= \int_d (k - 1)]として設定する。

【0219】

次いで、ステップ292に進み、出力偏差の予測値P R E V O 2 (k)が値0以上であるか否かを判別する。この判別結果がY E S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モードにあるとして、ステップ293に進み、参照信号値用のゲインK R D S M (= G_d)を、リーン化用の値K R D S M Lに設定した後、後述するステップ295に進む。

【0220】

一方、ステップ292の判別結果がN O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モードにあるとして、ステップ294に進み、参照信号値用のゲインK R D S Mを、リーン化用の値K R D S M Lよりも大きいリッチ化用の値K R D S M Rに設定した後、ステップ295に進む。

【0221】

このように、リーン化用の値K R D S M Lおよびリッチ化用の値K R D S M R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N O x浄化率を確保すべく、リーンバイアスによるN O x排出量の抑制効果を得るために、リーン化用の値K R D S M Lをリッチ化用の値K R D S M Rよりも小さい値に設定することで、O 2センサ15の出力V o u tの目標値V o p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N O x浄化率を十分に回復させるため、リッチ化用の値K R D S M Rをリーン化用の値K R D S M Lよりも大きい値に設定することで、O 2センサ15の出力V o u tの目標値V o p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。

【0222】

ステップ293または294に続くステップ295では、値-1、参照信号値用のゲインK R D S Mおよび予測値の今回値P R E V O 2 (k)を互いに乗算した値から、上記ステップ290で算出したDS M信号値の前回値D S M S G N S (k - 1)を減算した値[- 1 · K R D S M · P R E V O 2 (k) - D S M S G N S (k - 1)]を、偏差信号値D S M D E L T A [= Δ (k)]として設定する。この処理は、前述した式(41), (42)に相当する。

【0223】

次いで、ステップ296に進み、偏差積分値の今回値D S M S I G M A (k)を、ステップ291で算出した前回値D S M S I G M A (k - 1)と、ステップ295で算出した偏差信号値D S M D E L T Aとの和[D S M S I G M A (k - 1) + D S M D E L T A]に設定する。この処理は、前述した式(43)に相当する。

【0224】

次に、ステップ297～299において、ステップ296で算出した偏差積分値の今回値D S M S I G M A (k)が値0以上のときには、DS M信号値の今回値D S M S G N S (k)を値1に設定し、偏差積分値の今回値D S M S I G M A (k)が値0よりも小さいときには、DS M信号値の今回値D S M S G N S (k)を値-1に設定する。以上のステ

10

20

30

40

50

ツプ297～299の処理は、前述した式(44)に相当する。

【0225】

次いで、ステップ300において、排気ガスボリュームAB_SVに応じて、図47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V_{out}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。
10

【0226】

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の運転負荷を表すパラメータ(例えば基本燃料噴射量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。さらに、ゲインKDSMを、オンボード同定器23によって同定されたモデルパラメータに応じて決定してもよい。例えば、モデルパラメータb1の逆数(1/b1)の値が大きいほど、言い換えればモデルパラメータb1の値が小さいほど、ゲインKDSMをより大きい値に設定してもよい。
20

【0227】

次に、ステップ301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・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(45)に相当する。

【0228】

次に、図48を参照しながら、前述した図27のステップ138の適応目標空燃比KCMDSDL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310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がアイドル運転モード中で、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。
30

【0229】

この判別結果がYESのとき、すなわちエンジン3がアイドル運転モード中でADSM処理により適応目標空燃比KCMDSDLを算出すべき運転状態のときには、ステップ311に進み、適応目標空燃比KCMDSDL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(46)に相当する。
40

【0230】

次いで、ステップ312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。

【0231】

一方、ステップ310の判別結果がNOのときには、ステップ313に進み、触媒/O2センサフラグF_FCATDSMが「1」であるか否かを判別する。この触媒/O2センサフラグF_FCATDSMは、以下の4つの条件(f27)～(f30)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。

(f27) 第1触媒装置8aの担体の長さ(排気管7が伸びる方向の長さ)が所定長さL1以上であること。
50

(f 28) 第1触媒装置8aの非金属触媒および金属触媒の総担持量が所定担持量M1以上であること。

(f 29) LAFセンサ14がエンジン3の排気管7に設けられていないこと。

(f 30) O2センサ15が触媒装置のうちの最も下流側のもの(本実施形態では第2触媒装置8b)よりも下流に設けられていること。

【0232】

この判別結果がYESのときには、ステップ314に進み、第1発進フラグF_VOT_VST、および発進中ADSM実行フラグF_SWOPRVSTがいずれも「1」であるか否かを判別する。この発進中ADSM実行フラグF_SWOPRVSTは、車両が前記第1発進モード中で、かつエンジン3がADSM処理を実行すべき運転モードのときに「1」に、それ以外のときに「0」にセットされる。
10

【0233】

この判別結果がYESのとき、すなわち第1発進モード中で、かつADSM処理を実行すべき運転モードのときには、前述したように、ステップ311, 312を実行した後、本処理を終了する。

【0234】

一方、ステップ314の判別結果がNOのときには、ステップ315に進み、排気ガスボリュームAB_SVが所定値OPRSVH以下であること、および小排気時ADSM実行フラグF_SWOPRSV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ADSM実行フラグF_SWOPRSVは、エンジン3の排気ガスボリュームAB_SVが小さい状態(負荷が小さい状態)で、かつエンジン3がADSM処理を実行すべき運転モードのときに「1」に、それ以外のときに「0」にセットされる。
20

【0235】

この判別結果がYESのとき、すなわち排気ガスボリュームAB_SVが小さく、かつエンジン3がADSM処理を実行すべき運転モードのときには、前述したように、ステップ311, 312を実行した後、本処理を終了する。

【0236】

一方、ステップ315の判別結果がNOのときには、ステップ316に進み、排気ガスボリュームAB_SVの今回値と前回値との偏差AB_SVが所定値AB_SVREF以上であるか否かを判別する。この判別結果がYESのとき、すなわちエンジン3が負荷変動の大きい過渡運転モードにあるときには、ADSM処理を実行すべきであるとして、前述したように、ステップ311, 312を実行した後、本処理を終了する。
30

【0237】

一方、ステップ316の判別結果がNOのとき、すなわちエンジン3が低負荷ではないとともに、定常運転モードを含む負荷変動の比較的、小さい運転モードにあるときには、PRISM処理を実行すべきであるとして、ステップ317に進み、適応目標空燃比KCMDSDLを、基準値FLAFBASEに適応補正項FLAFADPおよびスライディングモード制御量DKCMDSDLを加算した値[FLAFBASE + FLAFADP + DKCMDSDL]に設定する。次いで、ステップ318に進み、PRISM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「0」にセットした後、本処理を終了する。
40

【0238】

一方、前記ステップ313の判別結果がNOのとき、すなわち前述した4つの条件(f27)~(f30)がいずれも成立していないときには、ステップ314~316をスキップし、前述したステップ317, 318を実行した後、本処理を終了する。この場合、ステップ313の判別結果がNOになるのは、より具体的には、触媒装置8a, 8b、LAFセンサ14およびO2センサ15がいずれも、本実施形態のように配置されている場合において、第1触媒装置8aの触媒の担体長さが所定長さL1未満のときか、または第1触媒装置8aの非金属触媒および金属触媒の総担持量が所定担持量M1未満のときである。

【0239】

以上のように、この適応目標空燃比 K_{CMD} の算出処理では、適応目標空燃比 K_{CMD} が、エンジン 3 の運転モードに応じて、 $ADS M$ 処理または $PRISM$ 処理に切り換えて算出される。より具体的には、アイドル運転モードのときには、触媒装置 8a, 8b, LAF センサ 14 および O2 センサ 15 の配置や、第 1 触媒装置 8a の担体の長さおよび触媒の総担持量などにかかわらず、適応目標空燃比 K_{CMD} すなわち目標空燃比 K_{CMD} が、 $ADS M$ 処理により算出される。これは、以下の理由による。すなわち、 $PRISM$ 処理により目標空燃比 K_{CMD} を算出した場合、アイドル運転モードなどの極低負荷の運転モードでは、排気ガスボリューム AB_SV が低下し、O2 センサ 15 の応答遅れやむだ時間が大きくなるとともに、エンジン 3 の安定した燃焼状態を確保可能な空燃比の幅が狭くなることにより、O2 センサ 15 の出力 V_{out} の目標値 V_{op} への収束性が低下してしまう。これに対して、 $ADS M$ 処理により目標空燃比 K_{CMD} を算出した場合、出力偏差 V_{O2} を打ち消すような、これと逆位相波形の出力偏差が得られる O2 センサ 15 の出力 V_{out} が発生するように、目標空燃比 K_{CMD} が算出されるので、上記 $PRISM$ 処理の場合のような問題が生じることがなく、 $PRISM$ 処理よりも、O2 センサ 15 の出力 V_{out} の目標値 V_{op} への収束性を良好な状態に確保できる。したがって、本実施形態では、アイドル運転モードのときに、 $ADS M$ 処理により目標空燃比 K_{CMD} が算出され、それにより、O2 センサ 15 の出力 V_{out} の目標値 V_{op} への収束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確保できる。

【0240】

また、触媒装置 8a, 8b, LAF センサ 14 および O2 センサ 15 などの機器がいずれも本実施形態のように配置されている場合、第 1 触媒装置 8a の担体の長さが所定長さ L_1 未満のとき、または第 1 触媒装置 8a の非金属触媒および金属触媒の総担持量が所定担持量 M_1 未満のときには、 $PRISM$ 処理により目標空燃比 K_{CMD} が算出される。これは、O2 センサ 15 よりも上流側に配置された第 1 触媒装置 8a において、触媒の総担持量が少ないほど、または触媒を担持する担体の長さが短いほど、第 1 触媒装置 8a に供給される排気ガスに対する、O2 センサ 15 の出力 V_{out} の応答遅れやむだ時間などが小さくなるため、目標空燃比 K_{CMD} を $PRISM$ 処理により算出した方が、 $ADS M$ 処理で算出したときよりも、O2 センサ 15 の出力 V_{out} の目標値 V_{op} への収束性を高められることによる。したがって、第 1 触媒装置 8a の担体の長さが所定長さ L_1 未満の場合か、または第 1 触媒装置 8a の非金属触媒および金属触媒の総担持量が所定担持量 M_1 未満の場合、すなわち本実施形態と異なる構成の場合には、 $PRISM$ 処理により目標空燃比 K_{CMD} が算出され、それにより、O2 センサ 15 の出力 V_{out} の目標値 V_{op} への収束性を向上させることができる。

【0241】

さらに、上記各機器が本実施形態のように配置されているか、第 1 触媒装置 8a の担体の長さが所定長さ L_1 以上であるか、または第 1 触媒装置 8a の非金属触媒および金属触媒の総担持量が所定担持量 M_1 以上である場合において、第 1 発進モードのとき、排気ガスボリューム AB_SV が所定値よりも小さい低負荷の運転モードのとき、または負荷変動の大きい過渡運転モードのときには、 $ADS M$ 処理により目標空燃比 K_{CMD} が算出される。これは、以下の理由による。すなわち、上記の条件の場合において、発進モード、低負荷運転モードおよび過渡運転モードのときには、第 1 触媒装置 8a に供給される排気ガスの空燃比に対する目標空燃比 K_{CMD} の追従性が外乱（例えば負荷変動、バルブタイミングの切り換え、EGR弁のON/OFFなど）により低下するため、目標空燃比 K_{CMD} を $ADS M$ 処理で算出した方が、 $PRISM$ 処理で算出したときよりも、O2 センサ 15 の出力 V_{out} の目標値 V_{op} への収束性を高められることによる。したがって、本実施形態では、第 1 触媒装置 8a の担体の長さが所定長さ L_1 以上で、かつ第 1 触媒装置 8a の非金属触媒および金属触媒の総担持量が所定担持量 M_1 以上であるので、 $ADS M$ 処理により目標空燃比 K_{CMD} が算出され、それにより、O2 センサ 15 の出力 V_{out} の目標値 V_{op} への収束性を向上させることができる。

10

20

30

40

50

【0242】

次に、図49を参照しながら、図27のステップ139の適応補正項FLAFADP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320において、出力偏差VO2が所定の範囲(ADL < VO2 < ADH)内の値であるか否かを判別する。この判別結果がYESのとき、すなわち出力偏差VO2が小さく、O2センサ15の出力Voutが目標値Vopの近傍にあるときには、ステップ321に進み、適応則入力Uadpが所定の下限値NRLより小さいか否かを判別する。

【0243】

この判別結果がNOで、Uadp < NRLのときには、ステップ322に進み、適応則入力Uadpが所定の上限値NRHより大きいか否かを判別する。この判別結果がNOで、NRL < Uadp < NRHのときには、ステップ323に進み、適応補正項の今回値FLAFADP(k)を前回値FLAFADP(k-1)に設定する。すなわち、適応補正項FLAFADPの値をホールドする。この後、本処理を終了する。

10

【0244】

一方、ステップ322の判別結果がYESで、Uadp > NRHのときには、ステップ324に進み、適応補正項の今回値FLAFADP(k)を、前回値FLAFADP(k-1)に所定の更新値X_FLAFLDTを加算した値[FLAFADP(k-1) + X_FLAFLDT]に設定した後、本処理を終了する。

10

【0245】

一方、ステップ321の判別結果がYESで、Uadp < NRLのときには、ステップ325に進み、適応補正項の今回値FLAFADP(k)を、前回値FLAFADP(k-1)から所定の更新値X_FLAFLDTを減算した値[FLAFADP(k-1) - X_FLAFLDT]に設定した後、本処理を終了する。

20

【0246】

以上のように、第2実施形態の制御装置1によれば、目標空燃比KCMDを制御入力とし、O2センサ15の出力Vout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。

【0247】

30

以下、本発明の第3～第9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2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。

【0248】

まず、図50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2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2実施形態のオンボード同定器23では、KACT、Voutおよびop(KCMD)に基づいて、モデルパラメータa1, a2, b1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、Voutおよびopに基づいて、モデルパラメータa1, a2, b1が算出される。

40

【0249】

すなわち、このオンボード同定器23では、第2実施形態の図20の式(33)～(40)に示す同定アルゴリズムに代えて、前述した図19の式(25)～(32)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、これらに前述した図38, 40の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。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2実施形態ものとほぼ同様に構成される。以上のような本実施形態の制御装置1によれば、第2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。

【0250】

50

次に、図51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2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2実施形態の状態予測器22では、a1、a2、b1、KACT、Voutおよびop(KCMD)に基づいて、予測値PREVO2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、a1、a2、b1、Voutおよびopに基づいて、予測値PREVO2が算出される。

【0251】

すなわち、この状態予測器22では、第2実施形態の図18の式(24)に示す予測アルゴリズムに代えて、同図の式(23)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。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2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2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。

10

【0252】

次に、図52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。同図に示すように、この第5実施形態の制御装置1は、第2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a1, a2, b1を算出する点のみが異なっている。

20

【0253】

このパラメータスケジューラ28では、まず、前述した式(58)により、エンジン回転数NEおよび吸気管内絶対圧PBA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53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a1, a2, b1が算出される。

【0254】

このテーブルでは、モデルパラメータa1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a2, b1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O2センサ15の出力Vout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、O2センサ15の出力Voutが振動的になることによる。

30

【0255】

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a1, a2, b1を用い、前述した第2実施形態と同様のDSMコントローラ24により目標空燃比KCMD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a1, a2, b1を用い、前述した第2実施形態と同様のSLDコントローラ25により目標空燃比KCMDを算出する。

【0256】

40

この制御装置1によれば、第2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。

【0257】

次に、図54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2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、前記変調アルゴリズム(数式(11)~(14)参照)を適用した制御アルゴリズ

50

ムにより、予測値 $P R E V O 2 (k)$ に基づいて、制御入力 $o p (k)$ を算出するものである。なお、本実施形態では、SDMコントローラ29により、制御入力算出手段および第1の制御入力算出手段が構成される。

【0258】

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 $P R E V O 2 (k)$ 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 $r(k)$ 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。

【0259】

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 $F L A F B A S E$ に加算した値として、制御入力 $o p (k)$ が生成される。

【0260】

以上のSDMコントローラ29の制御アルゴリズムは、以下の数式(59)～(65)で表される。

$$r(k) = -1 \cdot G_d \cdot P R E V O 2 (k) \quad \dots \dots (59)$$

$$_d r(k) = _d r(k-1) + r(k) \quad \dots \dots (60)$$

$$_d u(k) = _d u(k-1) + u''(k-1) \quad \dots \dots (61)$$

$$''(k) = _d r(k) - _d u(k) \quad \dots \dots (62)$$

$$u''(k) = s g n (''(k)) \quad \dots \dots (63)$$

$$u(k) = F_d \cdot u''(k) \quad \dots \dots (64)$$

$$o p (k) = F L A F B A S E + u(k) \quad \dots \dots (65)$$

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

【0261】

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 $o p (k)$ 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2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。

【0262】

次に、図55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。この第7実施形態の制御装置1は、第2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、前記変調アルゴリズム(数式(15)～(17)参照)を適用した制御アルゴリズムにより、予測値 $P R E V O 2 (k)$ に基づいて、制御入力 $o p (k)$ を算出するものである。なお、本実施形態では、DMコントローラ30により、制御入力算出手段および第1の制御入力算出手段が構成される。

【0263】

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。

【0264】

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 $''(k)$ 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 $FLAFBAS$ に加算した値として、制御入力 $op(k)$ が生成される。

【0265】

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(66)～(71)で表される。

$$r(k) = -1 \cdot G_d \cdot PREVO2(k) \quad \dots \dots (66)$$

$$_d u(k) = _d u(k-1) + u''(k-1) \quad \dots \dots (67)$$

$$''(k) = r(k) - _d u(k) \quad \dots \dots (68)$$

$$u''(k) = sgn(''(k)) \quad \dots \dots (69)$$

$$u(k) = F_d \cdot u''(k) \quad \dots \dots (70)$$

$$op(k) = FLAFBAS + u(k) \quad \dots \dots (71)$$

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)。

【0266】

以上のDMコントローラ30の制御アルゴリズムすなわち 变调アルゴリズムの特性は、变调アルゴリズムおよび 变调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2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。

【0267】

次に、図56および図57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。図56に示すように、この第8実施形態の制御装置1は、第2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。

【0268】

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57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19の式(25)～(32)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。

10

20

30

40

50

【0269】

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18の式(23)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2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2実施形態のものと同様に構成される。

【0270】

また、この制御装置1では、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ため、前記図48のステップ313の判別結果がYESとなる。したがって、前述したように、第1発進モード、排気ガスボリュームAB_SVが所定値よりも小さい低負荷の運転モードおよび過渡運転モードのときには、ADSM処理により目標空燃比KCMDが算出される。これは、以下の理由による。すなわち、O2センサ15および触媒装置8a, 8bが本実施形態のようにレイアウトされている場合、言い換えればO2センサ15の上流側に複数の触媒装置が配置されている場合において、上記の運転モードのときには、第1触媒装置8aに供給される排気ガスに対する、O2センサ15の出力Voutの応答遅れやむだ時間などが大きくなるため、目標空燃比KCMDをADSM処理により算出した方が、PRISM処理で算出したときよりも、O2センサ15の出力Voutの目標値Vopへの収束性を高めることができ、第1触媒装置8aに流入する排気ガスの変動幅を小さくでき、その結果、両触媒装置8a, 8b、特に上流側に配置された第1触媒装置8aによる排気ガスの浄化状態を良好に保つことができるためである。本実施形態の制御装置1による空燃比制御において、ここでは実験データは示さないが、例えば過渡運転モードでは、目標空燃比KCMDをADSM処理で算出することにより、PRISM処理で算出したときと比べて、排気ガス中のNOx量を数パーセント低減できることが、実験により確認された。

【0271】

以上のような本実施形態の制御装置1によれば、第2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。特に、前述したように、図46のステップ292～294において、参照信号値用のゲインKRDSTM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。

【0272】

次に、図58を参照しながら、第9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9実施形態の制御装置1は、上記第8実施形態の制御装置1において、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を、前記第5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5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8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。

【0273】

10

20

30

40

50

なお、以上の第2～第9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、ADSM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。

【0274】

また、以上の第1～第9実施形態は、応答指定型制御としてスライディングモード制御を用いた例であるが、応答指定型制御は、これに限らず、出力偏差VO2の収束挙動を指定できるものであればよい。例えば、応答指定型制御として、設計パラメータの調整により出力偏差VO2の収束挙動を指定可能なバックステッピング制御を用いてもよく、その場合にも、実施形態と同様の切換関数の設定方法を採用することにより、前述したような効果を得ることができる。

【0275】

さらに、以上の第2～第9実施形態では、制御対象モデルとして離散時間系モデルを用いたが、制御対象モデルはこれに限らず、連続時間系モデルを用いてもよい。

【0276】

【発明の効果】

以上のように、本発明の制御装置によれば、制御入力の入力幅に制約がある制御対象、および比較的大きい応答遅れやむだ時間を有する制御対象などの出力を、目標値に対して高い収束性と精度で制御することができる。また、この制御対象の出力を内燃機関の空燃比センサの出力とした場合には、極低負荷の運転モードのときでも、空燃比センサの出力を目標値に対して高い収束性と精度で制御することができ、それにより、良好な触媒後排気ガス特性を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【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】 空燃比制御中の排気ガス中のCO, NOx, HCの残留量を第1および第2触媒装置の付近で測定した結果を示す図である。

【図4】 変調アルゴリズムおよびこれを適用した制御系の一例を示すブロック図である。

【図5】 図4の制御系の制御シミュレーション結果の一例を示す図である。

【図6】 変調コントローラの制御特性を説明するための説明図である。

【図7】 変調コントローラおよびこれを適用した制御系の一例を示すブロック図である。

【図8】 図7の制御系の制御シミュレーション結果の一例を示す図である。

【図9】 適応スライディングモードコントローラのブロック図である。

【図10】 燃料噴射量の算出処理を示すフローチャートである。

【図11】 図10の続きを示すフローチャートである。

【図12】 適応スライディングモード制御による目標空燃比KCMDの算出処理を示すフローチャートである。

【図13】 変調制御による目標空燃比KCMDの算出処理を示すフローチャートである。

【図14】 図13のステップ39において、ゲインFDSMの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

【図15】 変調アルゴリズムおよびこれを適用した制御系の一例を示すブロック図である。

【図16】 変調アルゴリズムおよびこれを適用した制御系の一例を示すブロック図で

10

20

30

40

50

ある。

【図17】 第2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18】 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19】 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20】 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21】 第2実施形態のADS Mコントローラによる適応予測型 变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22】 ADS MコントローラのうちのDS Mコントローラの構成を示すブロック図である。 10

【図23】 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24】 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25】 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。

【図26】 適応空燃比制御処理を示すフローチャートである。

【図27】 図26の続きを示すフローチャートである。

【図28】 図26のステップ121における発進判定処理を示すフローチャートである。 20

【図29】 図26のステップ123におけるPRISM/ADS M処理の実行判定処理を示すフローチャートである。

【図30】 図26のステップ124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31】 図26のステップ125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32】 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。

【図33】 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34】 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。 30

【図35】 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36】 図26のステップ131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37】 図36のステップ194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38】 図37のステップ201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。

【図39】 図38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40】 図37のステップ202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。 40

【図41】 図27のステップ133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42】 図27のステップ134の制御量Us1の算出処理を示すフローチャートである。

【図43】 図42のステップ251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。

【図44】 図27のステップ136のスライディングモード制御量DKCMDSDLの算出処理を示すフローチャートである。

【図45】 図44の続きを示すフローチャートである。

【図46】 図27のステップ137の 变調制御量DKCMDDSMの算出処理を示す 50

すフロー チャートである。

【図 47】 K D S M の算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

【図 48】 図 27 のステップ 138 の適応目標空燃比 K C M D S L D の算出処理を示すフロー チャートである。

【図 49】 図 27 のステップ 139 の適応補正項 F L A F A D P の算出処理を示すフロー チャートである。

【図 50】 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 51】 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 52】 第 5 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 53】 第 5 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。 10

【図 54】 第 6 実施形態の制御装置の S D M コントローラの概略構成を示すブロック図である。

【図 55】 第 7 実施形態の制御装置の D M コントローラの概略構成を示すブロック図である。

【図 56】 第 8 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 57】 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。

【図 58】 第 9 実施形態の制御装置の構成を示すブロック図である。

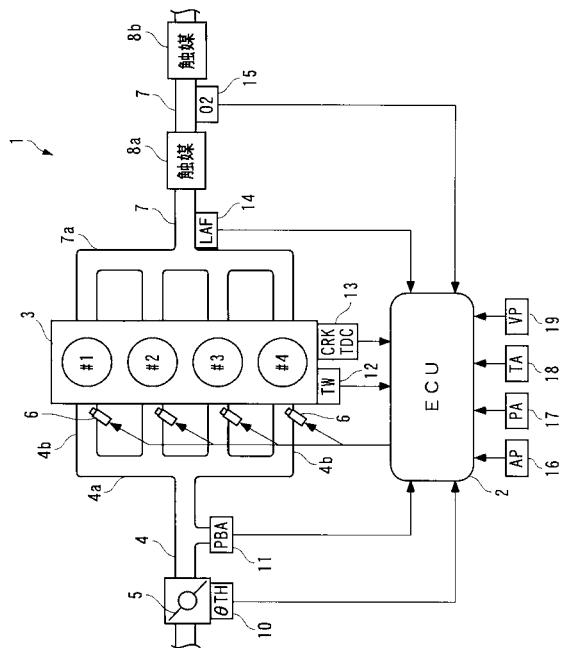
【符号の説明】

1	制御装置	20
2	E C U (偏差算出手段、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、予測値算出手段、同定手段、動特性パラメータ検出手段、モデルパラメータ設定手段、第 1 の制御入力算出手段、第 2 の制御入力算出手段、制御対象状態検出手段、制御入力選択手段)	
3	内燃機関	
1 0	スロットル弁開度センサ (制御対象状態検出手段)	
1 1	吸気管内絶対圧センサ (ゲインパラメータ検出手段、動特性パラメータ検出手段、制御対象状態検出手段)	
1 3	クランク角センサ (ゲインパラメータ検出手段、動特性パラメータ検出手段、制御対象状態検出手段)	30
1 9	車速センサ (制御対象状態検出手段)	
2 2	状態予測器 (偏差算出手段、予測値算出手段)	
2 3	オンボード同定器 (同定手段)	
2 4	D S M コントローラ (制御入力算出手段、第 1 の制御入力算出手段)	
2 5	スライディングモードコントローラ (第 2 の制御入力算出手段)	
2 8	パラメータスケジューラ (モデルパラメータ設定手段)	
2 9	S D M コントローラ (制御入力算出手段、第 1 の制御入力算出手段)	
3 0	D M コントローラ (制御入力算出手段、第 1 の制御入力算出手段)	
4 0	D S M コントローラ (制御入力算出手段、第 1 の制御入力算出手段)	40
4 8	差分器 (偏差算出手段)	
5 2 a	スライディングモードコントローラ (第 2 の制御入力算出手段)	
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 T A R G E T	目標値	
V O 2 , V O 2 R	出力偏差 (偏差)	
P R E V O 2	出力偏差の予測値 (偏差の予測値)	
K A C T	L A F センサの出力 (制御入力を反映する値)	
K C M D	目標空燃比 (制御入力)	
D K C M D	空燃比偏差 (目標空燃比を表す値)	50

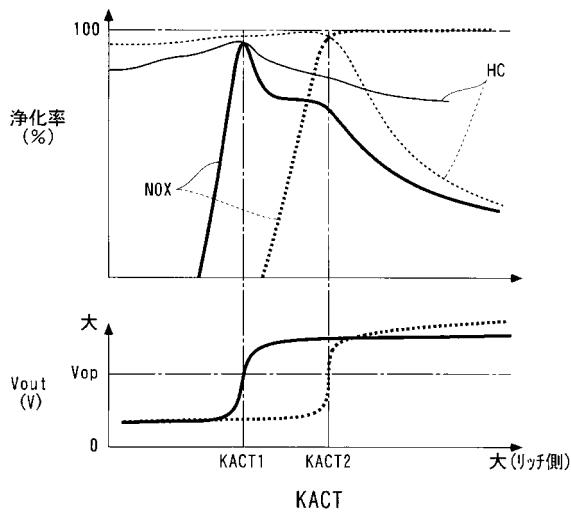
S G N S I G M A	D S M 信号値 (第 1 の中間値)
D S M S G N	D S M 信号値 (第 1 の中間値)
D K C M D A	增幅中間値 (第 2 の中間値)
D K C M D D S M	変調制御量 (第 2 の中間値)
F D S M , K D S M	ゲイン
F L A F B A S E	基準値 (所定値)
N E	エンジン回転数 (ゲインパラメータ、動特性パラメータ、制御対象状態を表すパラメータ)
P B A	吸気管内絶対圧 (ゲインパラメータ、動特性パラメータ、制御対象状態を表すパラメータ)
V P	車速 (制御対象状態を表すパラメータ)
T H	スロットル弁開度 (制御対象状態を表すパラメータ)
a 1 , a 2 , b 1	モデルパラメータ

10

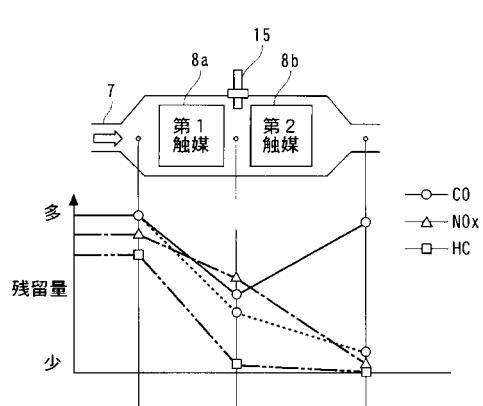
【図1】



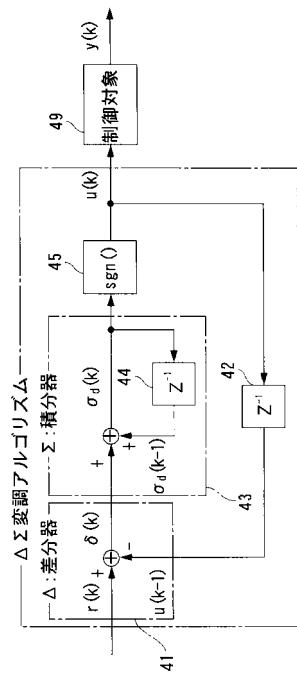
【図2】



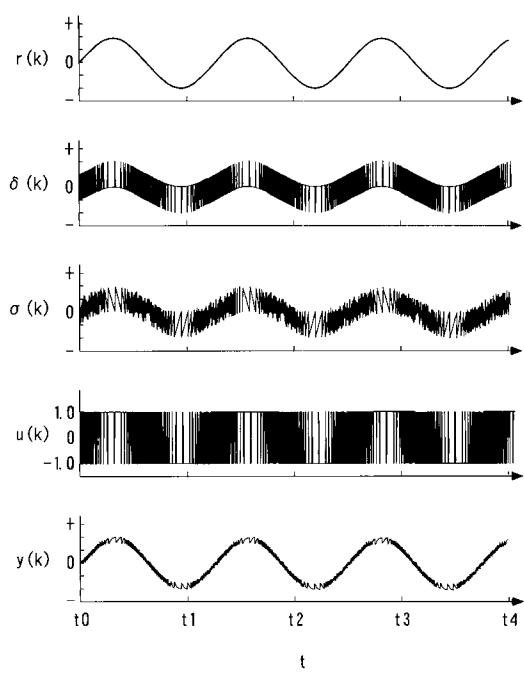
【図3】



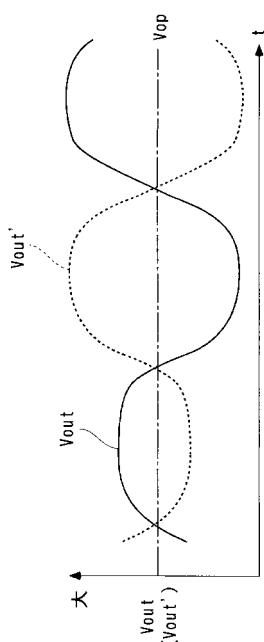
【図4】



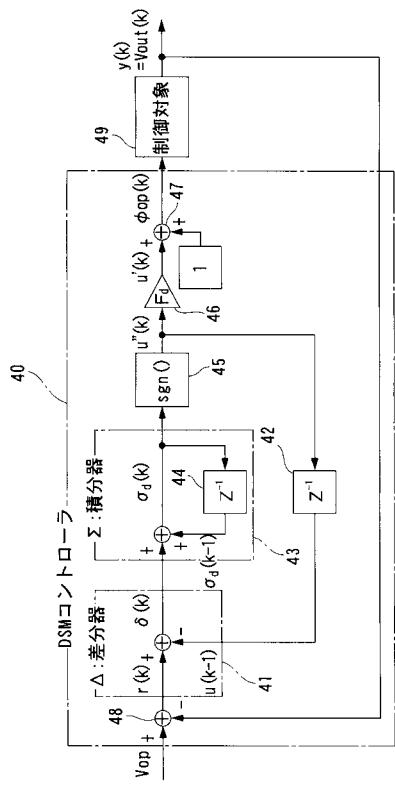
【図5】



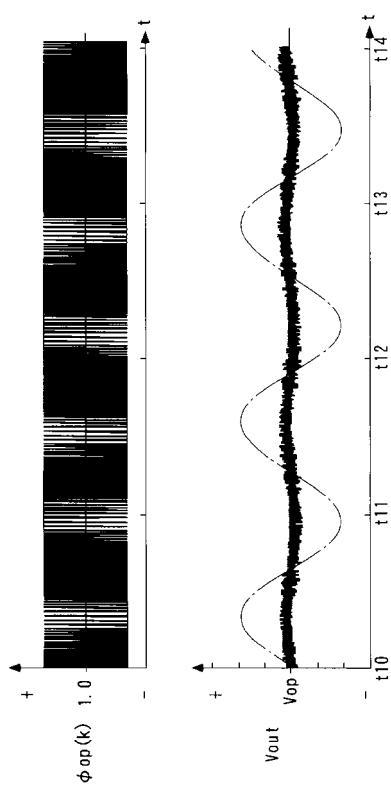
【図6】



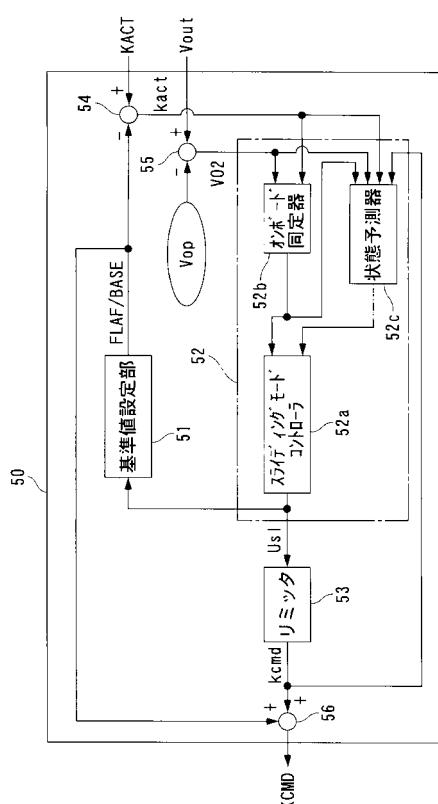
【図7】



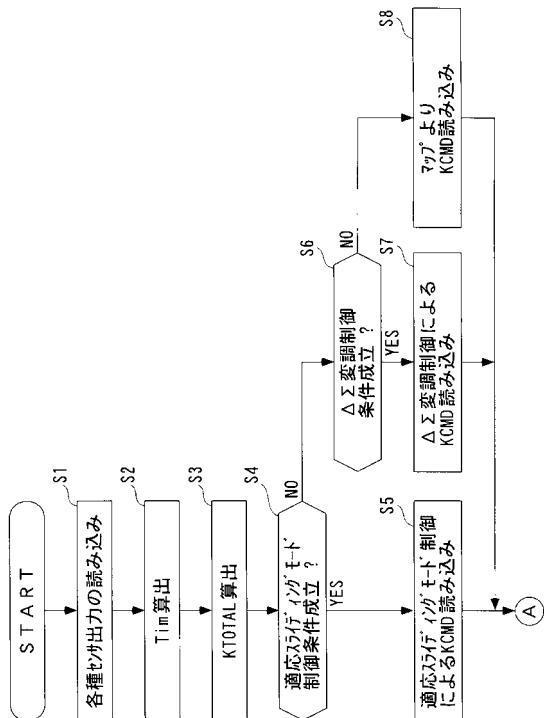
【図8】



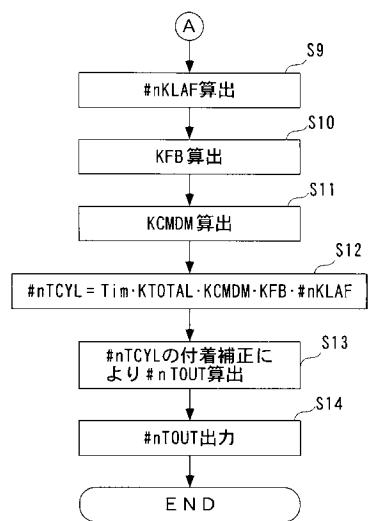
【図9】



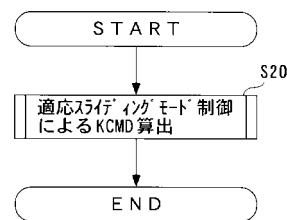
【図10】



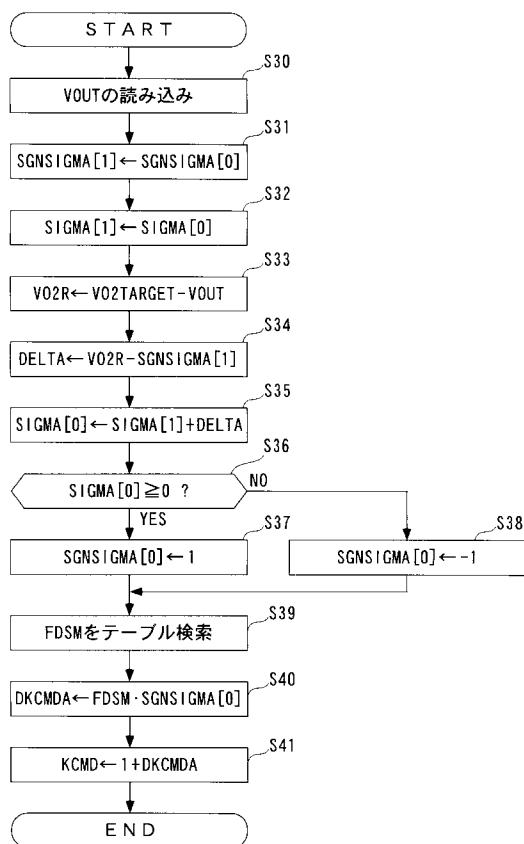
【図11】



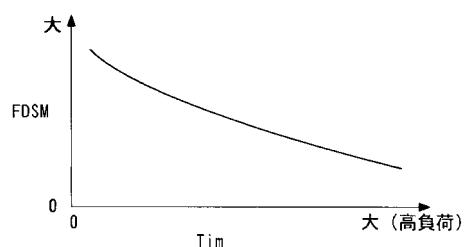
【図12】



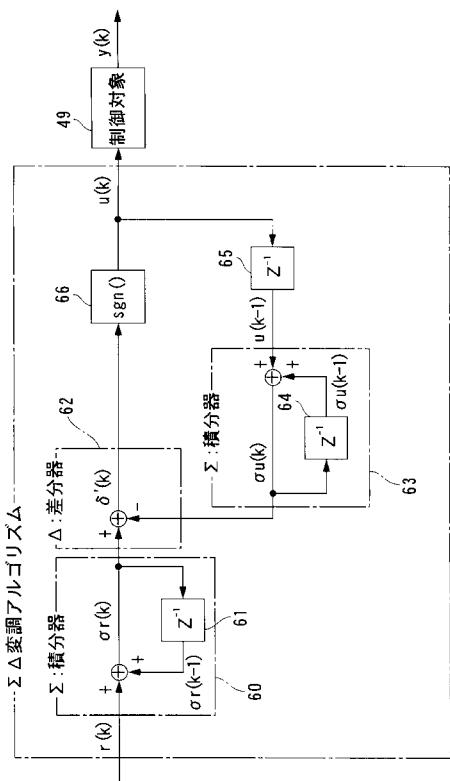
【図13】



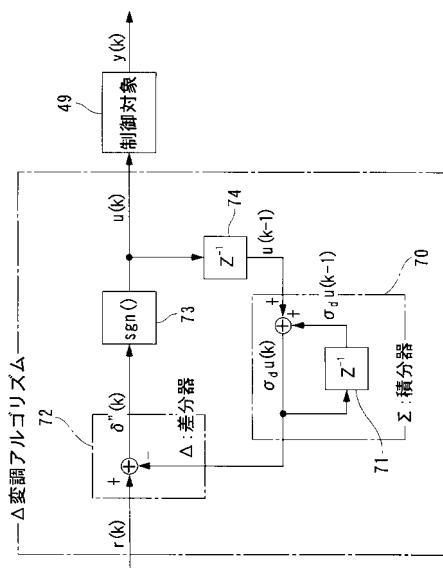
【図14】



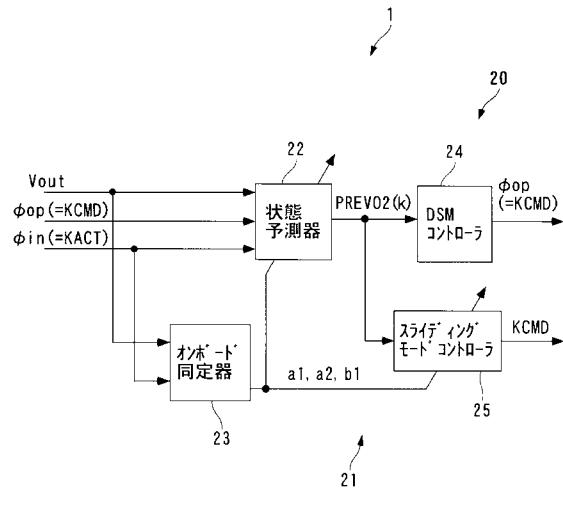
【図15】



【図16】



【図17】



【図18】

$$A = \begin{bmatrix} a1 & a2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (21)$$

$$B = \begin{bmatrix} b1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (22)$$

$$PREV02(k) = \alpha_1 \cdot V02(k) + \alpha_2 \cdot V02(k-1) + \sum_{i=1}^{d-1} \beta_i \cdot DKCMD(k-i) \quad \dots \quad (23)$$

ここで、 $\alpha_1 : A^{d-1}$ の1行1列要素

$\alpha_2 : A^{d-1}$ の1行2列要素

$\beta_i : A^{i-1}B$ の1行要素

$$PREV02(k) = \alpha_1 \cdot V02(k) + \alpha_2 \cdot V02(k-1) + \sum_{i=1}^{d-1} \beta_i \cdot DKCMD(k-i) + \sum_{j=d}^{d+1} \beta_j \cdot DKACT(k-j) \quad \dots \quad (24)$$

ここで、 $\beta_j : A^{j-1}B$ の1行要素

【 図 1 9 】

$$\theta(k) = \theta(k-1) + K_P(k) \cdot i \text{de}_f(k) \quad \dots \quad (25)$$

$$\theta(k)^T = [a1'(k), a2'(k), b1'(k)] \quad \dots \quad (26)$$

$$ide_f(k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ide(i) \quad \dots \dots \quad (27)$$

$$ide(k) = v02(k) - v02hat(k) \quad \dots \quad (28)$$

$$V02HAT(k) = \theta(k-1)^T \zeta(k) \quad \dots \dots \quad (29)$$

$$\zeta(k)^T = [V02(k-1), V02(k-2), DKCMD(k-dt)] \quad \dots \dots \quad (30)$$

$$KP(k) = \frac{P(k) \zeta(k)}{1 + \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \quad \dots \quad (31)$$

$$P(k+1) = \frac{1}{\lambda_1} \left(I - \frac{\lambda_2 P(k) \zeta(k) \zeta(k)^T}{\lambda_1 + \lambda_2 \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \right) P(k) \quad \dots \quad (32)$$

ここで、 I は単位行列

【 図 2 0 】

$$\theta(k) = \theta(k-1) + K P(k) \cdot i \text{de_f}(k) \quad \dots \dots \quad (3.3)$$

$$\theta(k)^T = [a1'(k), a2'(k), b1'(k)] \quad \dots \dots \quad (34)$$

$$ide_f(k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ide(i) \quad \dots \quad (35)$$

$$ide(k) = V02(k) - V02HAT(k) \quad \dots \dots \quad (36)$$

$$V02HAT(k) = \theta(k-1)^T \zeta(k) \quad \dots \dots \quad (37)$$

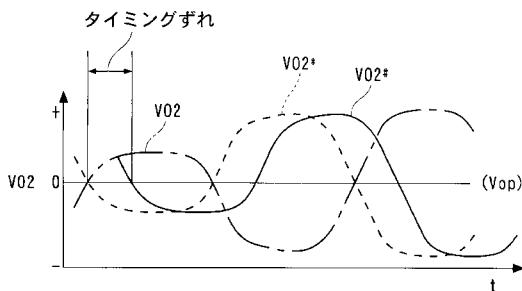
$$\zeta(k)^T = [V02(k-1), V02(k-2), DKACT(k-d-dd)] \dots \dots \quad (38)$$

$$KP(k) = \frac{P(k) \zeta(k)}{1 + \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \quad \dots \quad (39)$$

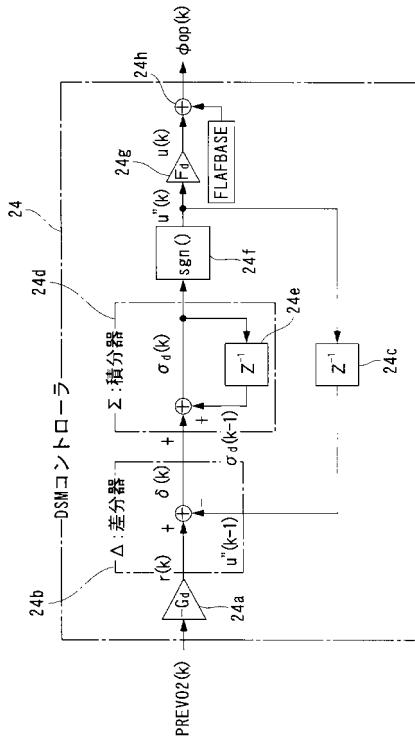
$$P(k+1) = \frac{1}{\lambda_1} \left(I - \frac{\lambda_2 P(k) \zeta(k) \zeta(k)^T}{\lambda_1 + \lambda_2 \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \right) P(k) \quad \dots \quad (40)$$

ここで、 I は単位行列

【 図 2 1 】



【 図 2 2 】



【図23】

$$U_{SI}(k) = U_{eq}(k) + U_{rch}(k) + U_{adp}(k) \quad \dots \dots (48)$$

$$U_{eq}(k) = \frac{-1}{S1 \cdot b1} \{ [S1 \cdot (a1-1) + S2] \cdot V02(k+dt) + (S1 \cdot a2 - S2) \cdot V02(k+dt-1) \} \quad \dots \dots (49)$$

$$U_{rch}(k) = \frac{-F}{S1 \cdot b1} \cdot \sigma(k+dt) \quad \dots \dots (50)$$

$$U_{adp}(k) = \frac{-G}{S1 \cdot b1} \sum_{i=0}^{k+dt} \Delta T \cdot \sigma(i) \quad \dots \dots (51)$$

$$\sigma PRE(k) = S1 \cdot PREV02(k) + S2 \cdot PREV02(k-1) \quad \dots \dots (52)$$

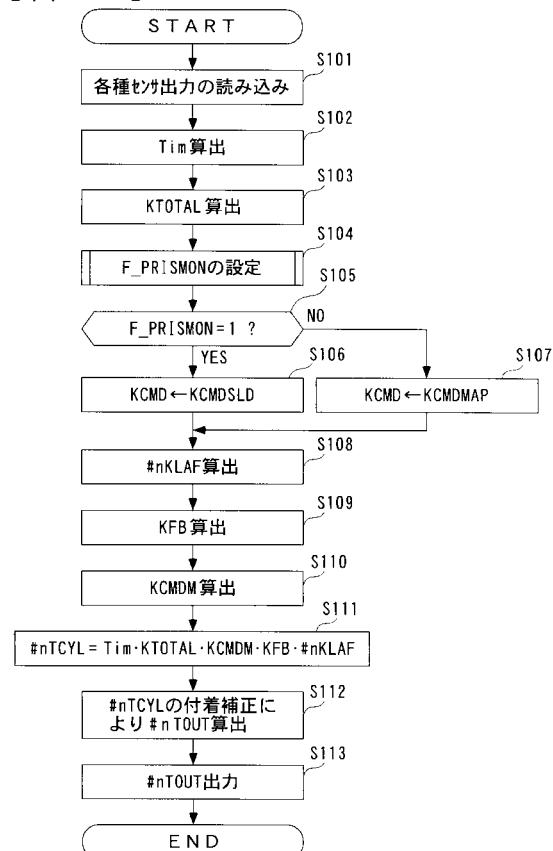
$$U_{SI}(k) = U_{eq}(k) + U_{rch}(k) + U_{adp}(k) \quad \dots \dots (53)$$

$$U_{eq}(k) = \frac{-1}{S1 \cdot b1} \{ [S1 \cdot (a1-1) + S2] \cdot PREV02(k) + (S1 \cdot a2 - S2) \cdot PREV02(k-1) \} \quad \dots \dots (54)$$

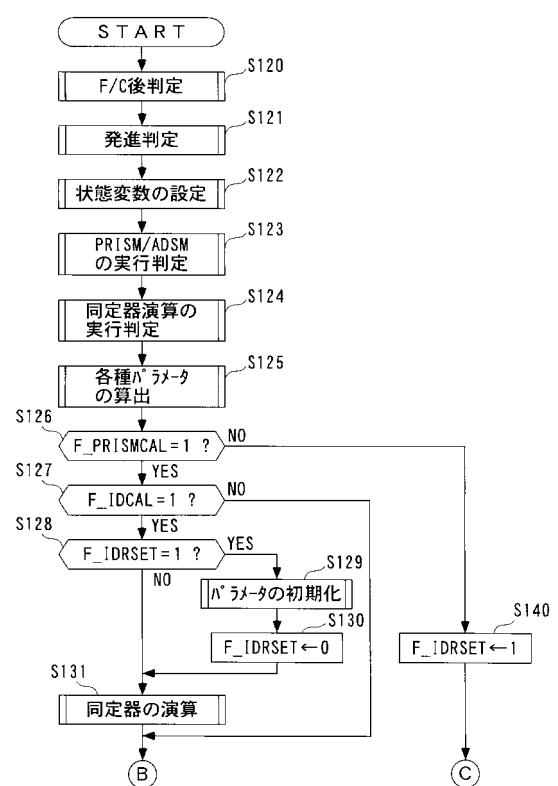
$$U_{rch}(k) = \frac{-F}{S1 \cdot b1} \cdot \sigma PRE(k) \quad \dots \dots (55)$$

$$U_{adp}(k) = \frac{-G}{S1 \cdot b1} \sum_{i=0}^k \Delta T \cdot \sigma PRE(i) \quad \dots \dots (56)$$

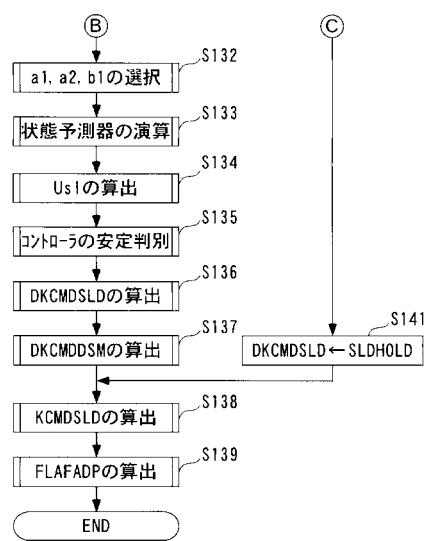
【図25】



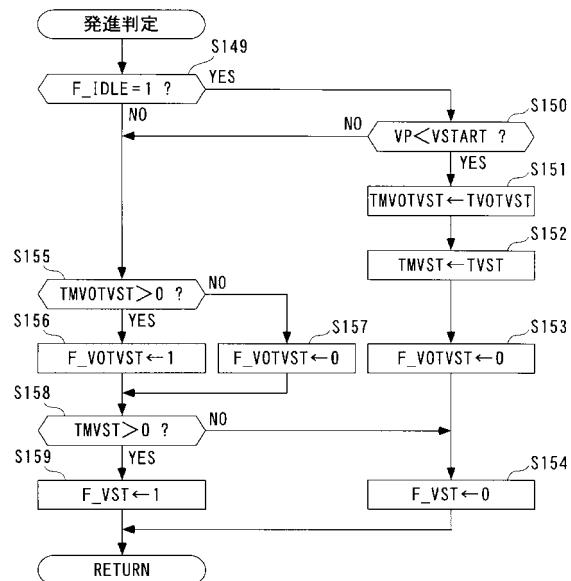
【図26】



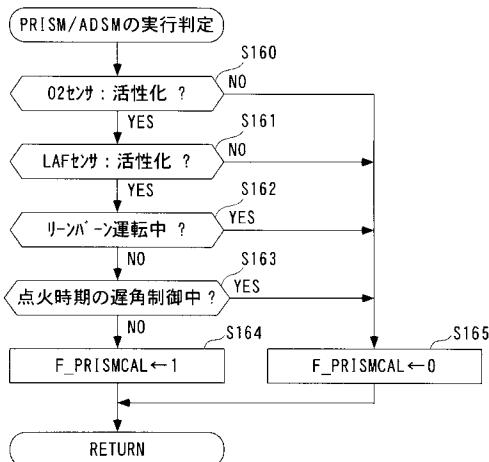
【図27】



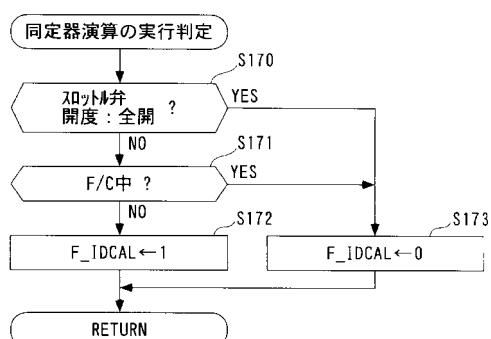
【図28】



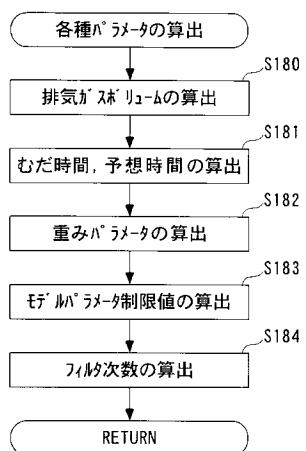
【図29】



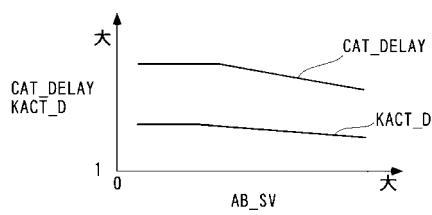
【図30】



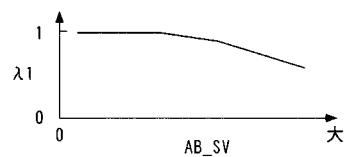
【図3-1】



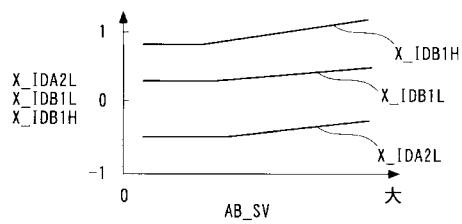
【図3-2】



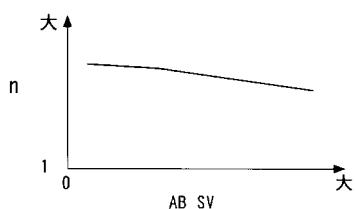
【図3-3】



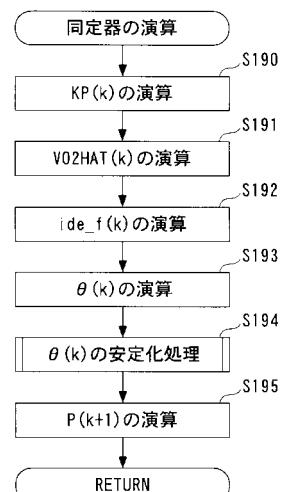
【図3-4】



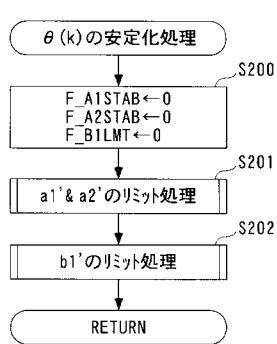
【図3-5】



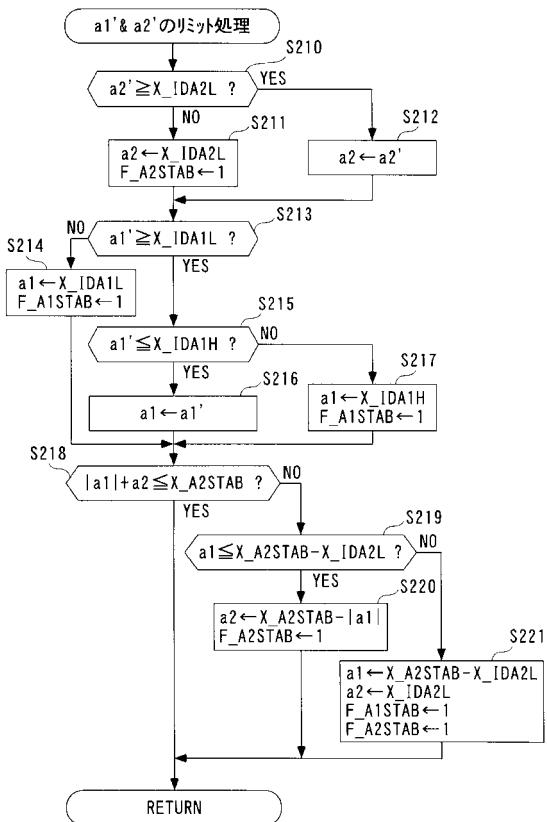
【図3-6】



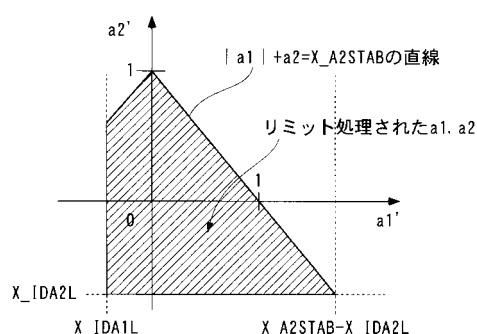
【図37】



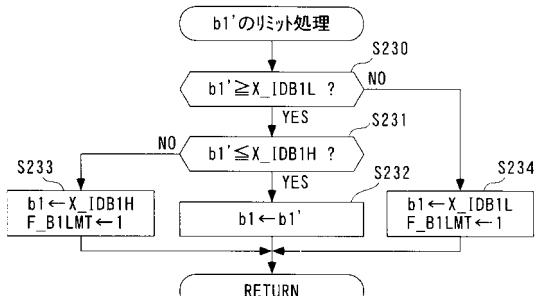
【図38】



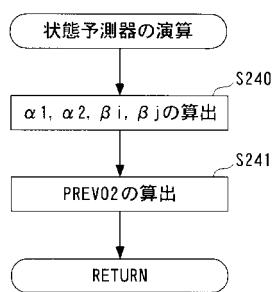
【図39】



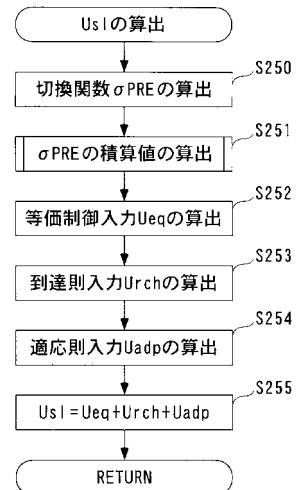
【図40】



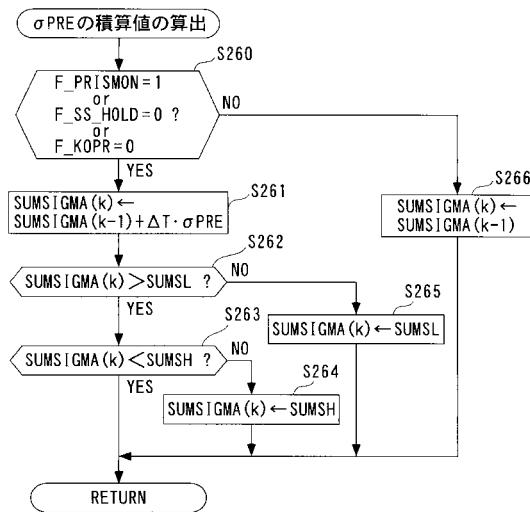
【 図 4 1 】



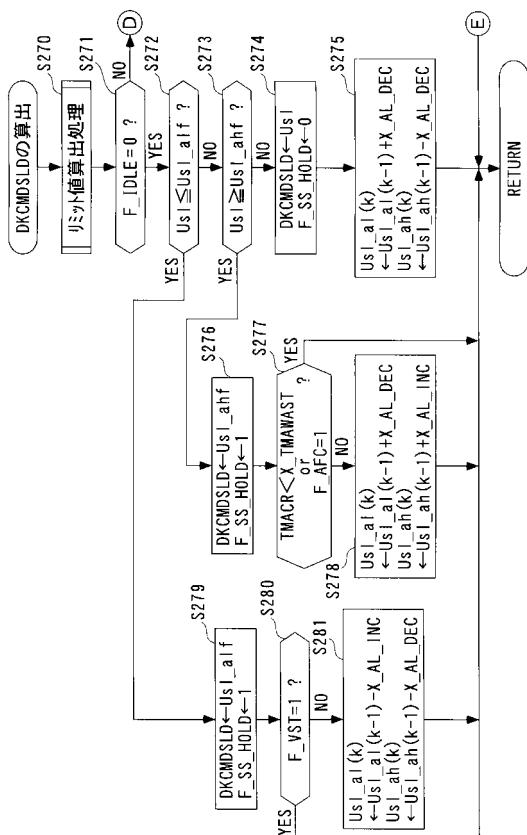
【図4-2】



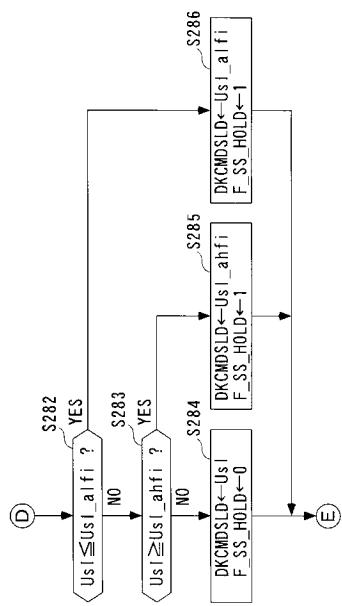
【図43】



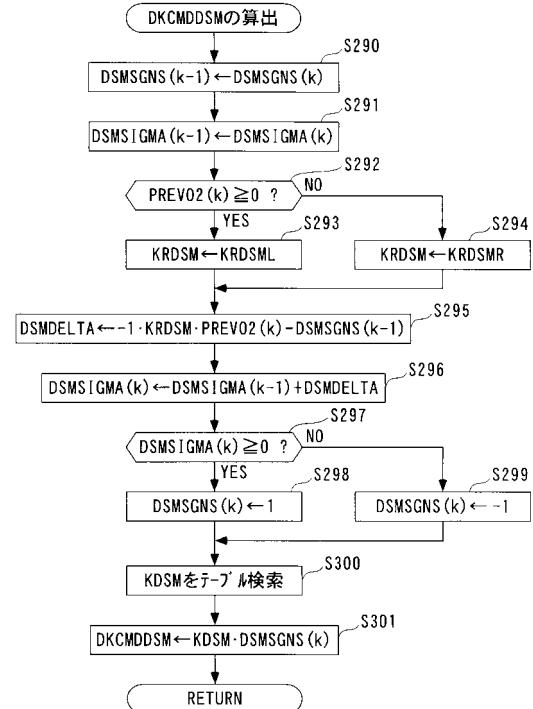
【 図 4 4 】



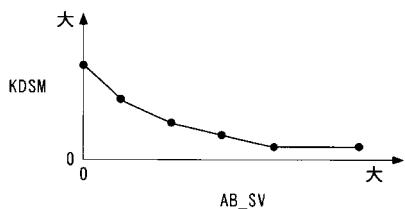
【図45】



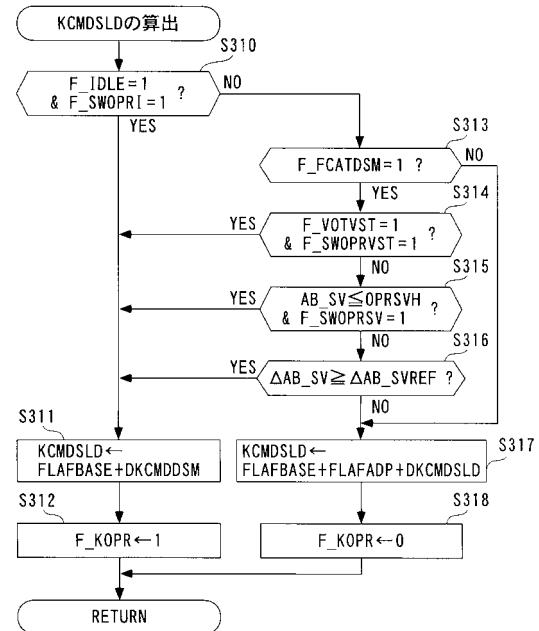
【図46】



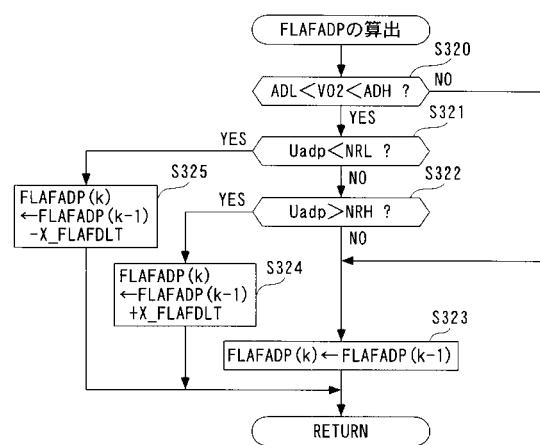
【図47】



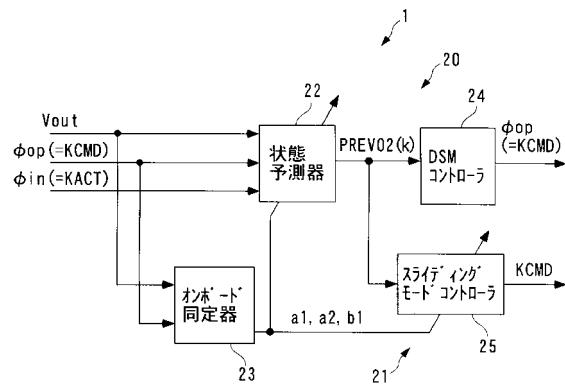
【図48】



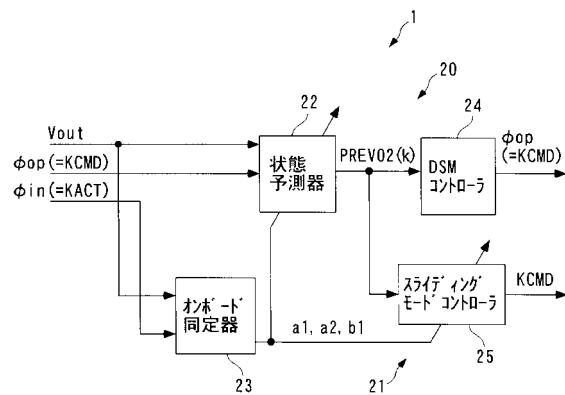
【図 4 9】



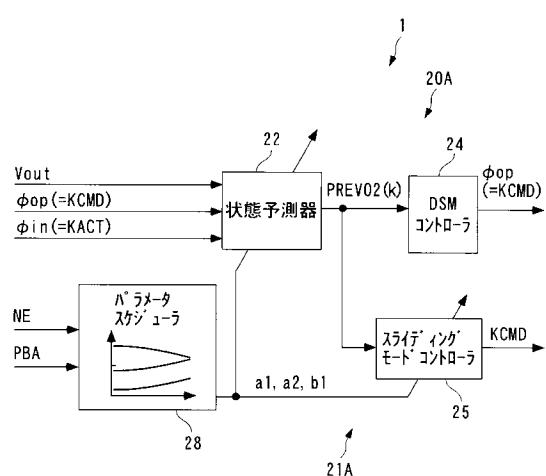
【図 5 0】



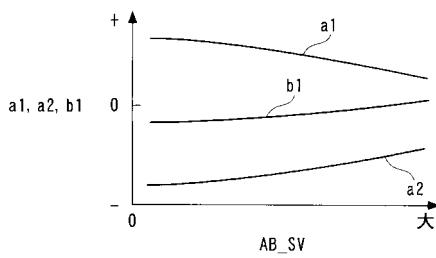
【図 5 1】



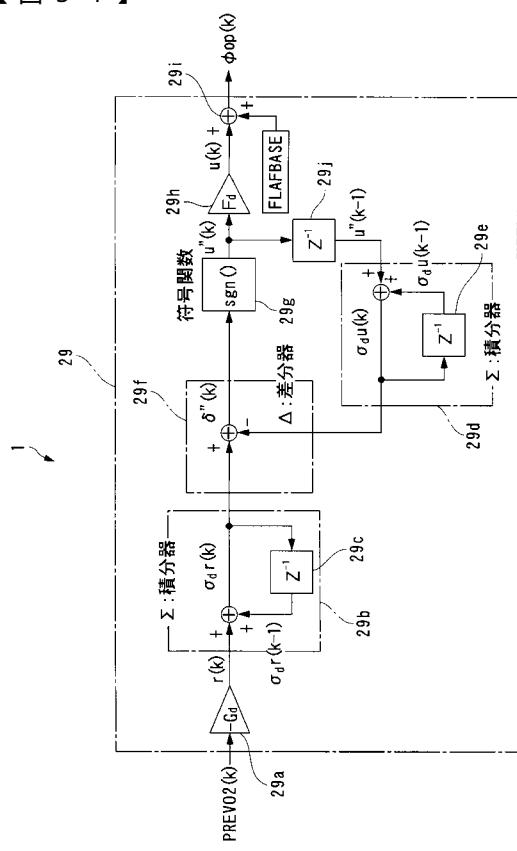
【図 5 2】



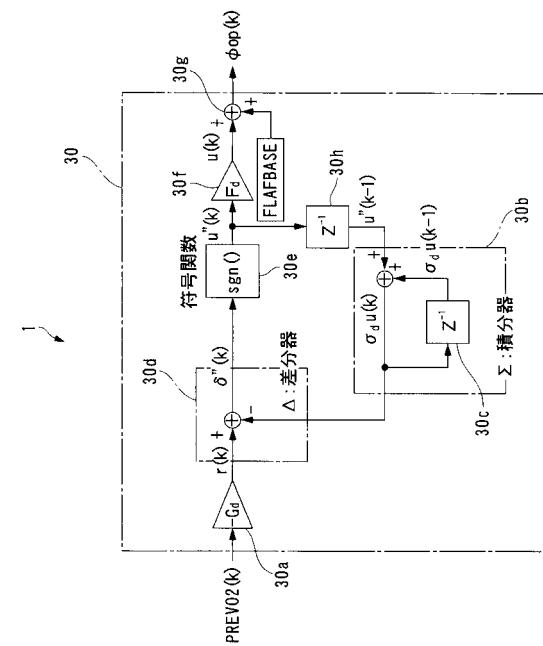
【図 5 3】



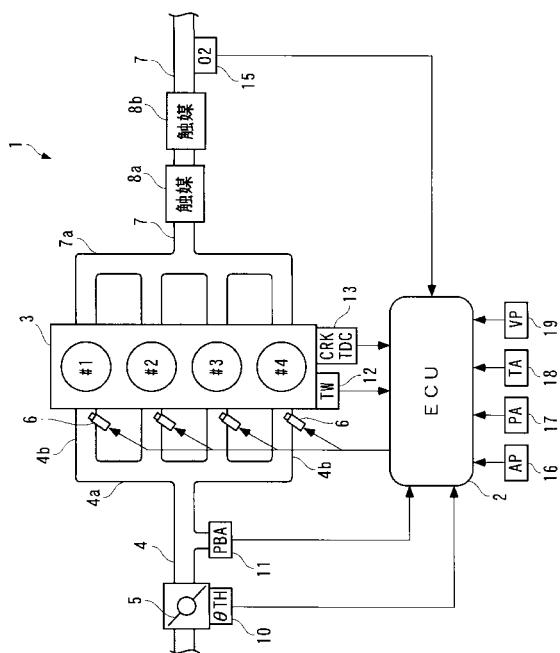
【図 5 4】



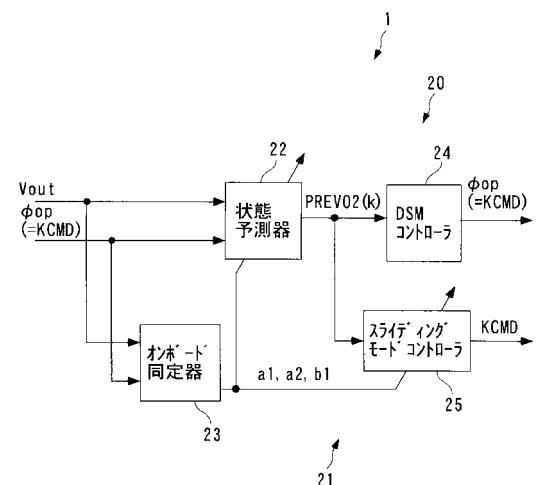
【図 5 5】



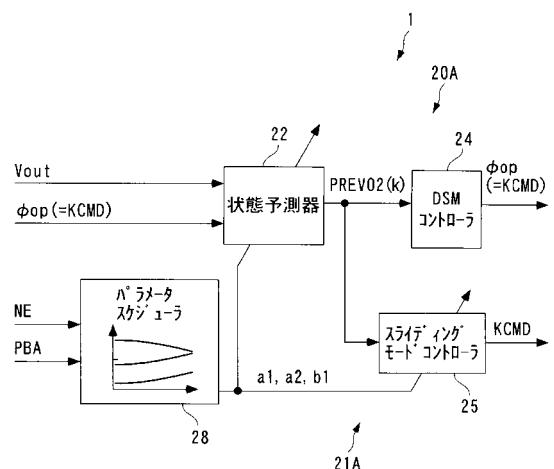
【図 5 6】



【図 5 7】



【図 5 8】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
F 02D 45/00 (2006.01) F 02D 41/14 310L
F 02D 45/00 368G

(56)参考文献 特開昭56-145409 (JP, A)
特開2001-154704 (JP, A)
特開2001-107781 (JP, A)
特開平01-251103 (JP, A)
特開2000-018062 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 11/36,
G05B 13/00,
F02D 41/14,
F02D 45/00,
F01N 3/22