(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第4082596号
(P4082596)

(45)発行日　平成20年4月30日(2008.4.30)　(24)登録日　平成20年2月22日(2008.2.22)

(51)Int.Cl.		F I		
F02D 13/02	(2006.01)	F02D	13/02	G
F01L 1/34	(2006.01)	F01L	1/34	E
F01L 13/00	(2006.01)	F01L	13/00	301H
F02D 41/04	(2006.01)	F01L	13/00	301J
F02D 45/00	(2006.01)	F02D	41/04	320

請求項の数 6　(全 59 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2003-192707(P2003-192707)
(22)出願日　平成15年7月7日(2003.7.7)
(65)公開番号　特開2005-30210(P2005-30210A)
(43)公開日　平成17年2月3日(2005.2.3)
審査請求日　平成17年12月2日(2005.12.2)

(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
(72)発明者　米川　明之
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　久島　弘太郎

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】
プラントを制御する制御装置であって、
前記プラントの出力を検出する出力検出手段と、
前記プラントの出力の目標値を設定する目標値設定手段と、
前記プラントの制御対象モデルに基づいて導出されるとともに、前記プラントへの入力と前記出力と当該出力の予測値との関係が定義された所定の予測アルゴリズムにより、前記プラントの出力の予測値を予測する予測手段と、
を備え、
前記所定の予測アルゴリズムには、複数の予測係数が含まれ、当該複数の予測係数には、前記プラントの出力の予測値と前記プラントの出力との間の定常偏差を補償するための補償パラメータが、加算項および減算項の一方として含まれ、
所定の同定アルゴリズムにより、前記プラントの出力の予測値と前記検出されたプラントの出力との偏差が最小となるように、前記複数の予測係数を同定する同定手段と、
所定の制御アルゴリズムにより、当該同定された複数の予測係数に応じて、前記検出されたプラントの出力が前記設定された目標値に収束するように、前記プラントへの入力を制御するための制御指令値を決定する制御指令値決定手段と、
をさらに備えることを特徴とする制御装置。
【請求項２】
前記所定の制御アルゴリズムは、所定の応答指定型制御アルゴリズムであることを特徴と

する請求項１に記載の制御装置。
【請求項３】
前記所定の応答指定型制御アルゴリズムでは、前記制御指令値が複数の指令値成分の総和として決定され、
当該複数の指令値成分には、前記制御指令値の解が２つあるときに当該２つの解の一方を選択するための選択指令値成分が含まれていることを特徴とする請求項２に記載の制御装置。
【請求項４】
吸気弁のバルブタイミングを自在に変更する吸気バルブタイミング可変装置を介して、内燃機関の気筒内に吸入される空気量を自在に可変制御する制御装置であって、
前記気筒内に吸入される空気量である気筒吸入空気量を検出する気筒吸入空気量検出手段と、
前記気筒吸入空気量の目標値を設定する目標値設定手段と、
前記吸気バルブタイミング可変装置により設定された吸気弁のバルブタイミングを表す値を入力とし、前記気筒吸入空気量を出力とする制御対象モデルに基づいて導出されるとともに、前記吸気弁のバルブタイミングを表す値と前記気筒吸入空気量と当該気筒吸入空気量の予測値との関係が定義された所定の予測アルゴリズムにより、前記気筒吸入空気量の予測値を予測する予測手段と、
を備え、
前記所定の予測アルゴリズムには、複数の予測係数が含まれ、当該複数の予測係数には、前記気筒吸入空気量の予測値と前記気筒吸入空気量との間の定常偏差を補償するための補償パラメータが、加算項および減算項の一方として含まれ、所定の同定アルゴリズムにより、前記気筒吸入空気量の予測値と前記検出された気筒吸入空気量との偏差が最小となるように、前記複数の予測係数を同定する同定手段と、
所定の制御アルゴリズムにより、当該同定された複数の予測係数に応じて、前記検出された気筒吸入空気量が前記設定された目標値に収束するように、前記吸気バルブタイミング可変装置を制御するための制御指令値を決定する制御指令値決定手段と、
をさらに備えることを特徴とする制御装置。
【請求項５】
前記所定の制御アルゴリズムは、所定の応答指定型制御アルゴリズムであることを特徴とする請求項４に記載の制御装置。
【請求項６】
前記所定の応答指定型制御アルゴリズムでは、前記制御指令値が複数の指令値成分の総和として決定され、
当該複数の指令値成分には、前記制御指令値の解が２つあるときに当該２つの解の一方を選択するための選択指令値成分が含まれていることを特徴とする請求項５に記載の制御装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、プラントへの入力を、これとプラントの出力との関係を定義した制御対象モデルに基づいた制御アルゴリズムで決定することにより、プラントを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、例えば特許文献１に記載されたものが知られている。この制御装置は、プラントとしての内燃機関の空燃比を制御するものであり、ＬＡＦセンサ、酸素濃度センサ、状態予測器、同定器およびスライディングモードコントローラなどを備えている。ＬＡＦセンサおよび酸素濃度センサは、いずれも内燃機関の排気通路内の排気ガス中の酸素濃度を表すパラメータを検出するものであり、排気通路に上流側から順に

設けられている。この制御装置では、制御対象モデルとして、ＬＡＦセンサの検出信号値と基準値との偏差（以下「ＬＡＦ偏差」という）を入力とし、酸素濃度センサの検出信号値と所定の目標値との偏差（以下「Ｏ２偏差」という）を出力とする離散時間系モデルを用いることにより、以下のように、空燃比を制御するための制御入力が算出される。

【０００３】

すなわち、状態予測器において、上記制御対象モデルに基づいた所定の予測アルゴリズムにより、Ｏ２偏差の予測値が算出され、同定器において、逐次型最小２乗法により、制御対象モデルのモデルパラメータが同定される。さらに、スライディングモードコントローラにおいて、Ｏ２偏差の予測値およびモデルパラメータの同定値に基づいて、スライディングモード制御アルゴリズムにより、状態変数であるＯ２偏差の時系列データが値０に収束するように、制御入力が算出される。その結果、酸素濃度センサの検出信号値が所定の目標値に収束するように、空燃比が制御される。このスライディングモード制御アルゴリズムでは、制御入力は、等価制御入力、適応則入力および到達則入力の和として算出される。この適応則入力は、制御対象モデルのモデル化誤差を補償するためのものである。

【０００４】

【特許文献１】

特開２０００－１７９３８５号公報（第１１～１９頁、図３）

【０００５】

【発明が解決しようとする課題】

上記従来の制御装置によれば、スライディングモード制御アルゴリズムにおいて、その適応則入力により、制御対象モデルのモデル化誤差を補償するものであるため、Ｏ２偏差の予測値と実際のＯ２偏差との間、すなわちプラントの出力の予測値と検出された出力との間に定常偏差が生じた場合、これを補償することができず、定常偏差が残ってしまう可能性がある。そのような定常偏差は、上記の空燃比制御では問題とならないものの、それよりも高い制御精度が要求される制御（例えばアクチュエータの位置決め制御）では、その影響により、要求される制御精度を達成できなくなる可能性がある。

【０００６】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、プラントの出力の予測値と検出された出力との間の定常偏差を補償することができ、それにより、制御精度を向上させることができる制御装置を提供することを目的とする。

【０００７】

【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に係る発明は、プラントを制御する制御装置１であって、プラントの出力（気筒吸入空気量Ｇｃｙｌ）を検出する出力検出手段（ＥＣＵ２、エアフローセンサ２１、吸気管内絶対圧センサ２４、ステップ１６，３０）と、プラントの出力の目標値（目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄ）を設定する目標値設定手段（ＥＣＵ２、ステップ１６，３３）と、プラントの制御対象モデル［式（２）］に基づいて導出されるとともに、プラントへの入力（副吸気カム位相θｍｓｉ）と出力（気筒吸入空気量Ｇｃｙｌ）と出力の予測値（予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌ）との関係が定義された所定の予測アルゴリズム［式（７）］により、プラントの出力の予測値（予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌ）を予測する予測手段（ＥＣＵ２、状態予測器２２２、ステップ８０）と、を備え、所定の予測アルゴリズムには、複数の予測係数α１，α２，β１～βｄ－１，γ１が含まれ、複数の予測係数には、プラントの出力の予測値とプラントの出力との間の定常偏差を補償するための補償パラメータγ１が、加算項および減算項の一方として含まれ、所定の同定アルゴリズム［式（８）～（１３）］により、プラントの出力の予測値と検出されたプラントの出力との偏差（同定誤差ｉｄｅ）が最小となるように、複数の予測係数（予測係数ベクトルθｓ）を同定する同定手段（ＥＣＵ２、オンボード同定器２２３、ステップ８０）と、所定の制御アルゴリズム［式（１５）～（２１）］により、同定された複数の予測係数に応じて、検出されたプラントの出力が設定された目標値に収束するように、プラントへの入力を制御するための制御指令値（目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃ

ｍｄ）を決定する制御指令値決定手段（ＥＣＵ２、スライディングモードコントローラ２２４、ステップ８０）と、をさらに備えることを特徴とする。

【０００８】

この制御装置によれば、プラントの制御対象モデルに基づいて導出されるとともに、プラントへの入力と出力と出力の予測値との関係が定義された所定の予測アルゴリズムにより、プラントの出力の予測値が予測され、この所定の予測アルゴリズムには、複数の予測係数が含まれ、これらの複数の予測係数には、プラントの出力の予測値とプラントの出力との間の定常偏差を補償するための補償パラメータが、加算項および減算項の一方として含まれているので、プラントの出力の予測値を、補償パラメータが直接的に反映された値として算出することができる。また、そのように予測されたプラントの出力の予測値と検出されたプラントの出力との偏差が最小になるように、所定の同定アルゴリズムにより、補償パラメータを含む複数の予測係数が同定されるので、これらの複数の予測係数を、プラントの出力の予測値の動特性と、検出された出力の動特性とを精度よく合致させる値として同定でき、プラントの出力の予測値と検出されたプラントの出力との間の定常偏差を補償することができる。特に、上記のように、補償パラメータが加算項および減算項の一方として複数の予測係数に含まれているので、この補償パラメータにより、プラントの出力の予測値と検出されたプラントの出力との間の定常偏差を効果的に補償することができる。これに加えて、そのような補償パラメータを、前述したように、予測値に直接的に反映させることができるので、予測値の予測精度を向上させることができる。さらに、そのように同定された複数の予測係数に応じて、検出されたプラントの出力が設定された目標値に収束するように、プラントへの入力を制御するための制御指令値が決定されるので、プラントの実際の出力を目標値に適切に収束させることができる。

【０００９】

以上のように、補償パラメータにより、プラントの出力の予測値と、検出された出力との間の定常偏差を効果的に補償することができるとともに、予測値の予測精度を従来よりも向上させることができ、それにより、制御精度を従来よりも向上させることができる（なお、本明細書では、「プラントの出力の検出」は、プラントの出力をセンサなどで直接検出することに限らず、演算により推定することを含む）。

【００１０】

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、所定の制御アルゴリズムは、所定の応答指定型制御アルゴリズム［式（１５）～（２１）］であることを特徴とする。

【００１１】

この制御装置によれば、所定の応答指定型制御アルゴリズムにより、制御指令値が、プラントの出力が目標値に収束するように決定されるので、プラントの出力を、振動的およびオーバーシュート的な挙動を回避しながら、迅速かつ安定した挙動で目標値に収束させることができる。その結果、制御精度をさらに向上させることができる。

【００１２】

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、所定の応答指定型制御アルゴリズムでは、制御指令値（目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄ）は複数の指令値成分（等価制御入力Ｕｅｑ、到達則入力Ｕｒｃｈ、バルブ制御入力Ｕｖｔ）の総和として決定され［式（１８）］、複数の指令値成分には、制御指令値の解が２つあるときに２つの解の一方を選択するための選択指令値成分（バルブ制御入力Ｕｖｔ）が含まれていることを特徴とする。

【００１３】

この制御装置によれば、所定の応答指定型制御アルゴリズムにより、制御指令値が、複数の指令値成分の総和として決定されるとともに、複数の指令値成分には、制御指令値の解が２つあるときに２つの解の一方を選択するための選択指令値成分が含まれているので、この選択指令値成分により、制御指令値の解として、２つの解の一方を強制的に選択させることができるとともに、複数の予測係数を例えばオンボード同定することにより、強制

的に選択された正確な解への収束速度を高めることができ、それにより、制御対象がむだ時間特性を有している場合でも、強制的に選択された正確な解を、安定的かつ短時間で算出することができる。

【００１４】

請求項４に係る発明は、吸気弁６のバルブタイミングを自在に変更する吸気バルブタイミング可変装置（可変式吸気弁駆動装置４０）を介して、内燃機関３の気筒＃１～＃４内に吸入される空気量を自在に可変制御する制御装置１であって、気筒内に吸入される空気量である気筒吸入空気量Ｇｃｙｌを検出する気筒吸入空気量検出手段（ＥＣＵ２、エアフローセンサ２１、吸気管内絶対圧センサ２４、ステップ１６，３０）と、気筒吸入空気量の目標値（目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄ）を設定する目標値設定手段（ＥＣＵ２、ステップ１６，３３）と、吸気バルブタイミング可変装置により設定された吸気弁６のバルブタイミングを表す値（副吸気カム位相θｍｓｉ）を入力とし、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌを出力とする制御対象モデル［式（２）］に基づいて導出されるとともに、吸気弁のバルブタイミングを表す値（副吸気カム位相θｍｓｉ）と気筒吸入空気量Ｇｃｙｌと気筒吸入空気量の予測値（予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌ）との関係が定義された所定の予測アルゴリズム［式（７）］により、気筒吸入空気量の予測値（予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌ）を予測する予測手段（ＥＣＵ２、状態予測器２２２、ステップ８０）と、を備え、所定の予測アルゴリズムには、複数の予測係数α１，α２，β１～βｄ－１，γ１が含まれ、複数の予測係数には、気筒吸入空気量の予測値と気筒吸入空気量との間の定常偏差を補償するための補償パラメータγ１が、加算項および減算項の一方として含まれ、所定の同定アルゴリズム［式（８）～（１３）］により、気筒吸入空気量の予測値と検出された気筒吸入空気量との偏差（同定誤差ｉｄｅ）が最小となるように、複数の予測係数（予測係数ベクトルθｓ）を同定する同定手段（ＥＣＵ２、オンボード同定器２２３、ステップ８０）と、所定の制御アルゴリズム［式（１５）～（２１）］により、同定された複数の予測係数に応じて、検出された気筒吸入空気量が設定された目標値に収束するように、吸気バルブタイミング可変装置を制御するための制御指令値（目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄ）を決定する制御指令値決定手段（ＥＣＵ２、スライディングモードコントローラ２２４、ステップ８０）と、をさらに備えることを特徴とする。

【００１５】

この制御装置によれば、吸気バルブタイミング可変装置により設定された吸気弁のバルブタイミングを表す値を入力とし、気筒吸入空気量を出力とする制御対象モデルに基づいて導出されるとともに、吸気弁のバルブタイミングを表す値と気筒吸入空気量と気筒吸入空気量の予測値との関係が定義された所定の予測アルゴリズムにより、気筒吸入空気量の予測値が予測され、この所定の予測アルゴリズムには、複数の予測係数が含まれ、これらの複数の予測係数には、気筒吸入空気量の予測値と気筒吸入空気量との間の定常偏差を補償するための補償パラメータが、加算項および減算項の一方として含まれているので、気筒吸入空気量の予測値を補償パラメータが直接的に反映された値として算出することができる。また、そのように予測された気筒吸入空気量の予測値と検出された気筒吸入空気量との偏差が最小になるように、所定の同定アルゴリズムにより、補償パラメータを含む複数の予測係数が同定されるので、これらの複数の予測係数を、気筒吸入空気量の予測値の動特性と、検出された気筒吸入空気量の動特性とを精度よく合致させる値として同定でき、気筒吸入空気量の予測値と検出された気筒吸入空気量との間の定常偏差を補償することができる。特に、上記のように、補償パラメータが、加算項および減算項の一方として複数の予測係数に含まれているので、気筒吸入空気量の予測値と検出された気筒吸入空気量との間の定常偏差を効果的に補償することができる。これに加えて、そのような補償パラメータを、前述したように、気筒吸入空気量の予測値に直接的に反映させることができるので、予測値の予測精度を向上させることができる。さらに、そのように同定された複数の予測係数に応じて、検出された気筒吸入空気量が設定された目標値に収束するように、吸気バルブタイミング可変装置を制御するための制御指令値が決定されるので、気筒吸入空気量を、その目標値に適切に収束させることができる。

【００１６】
以上のように、補償パラメータにより、気筒吸入空気量の予測値と、検出された気筒吸入空気量との間の定常偏差を効果的に補償することができるとともに、気筒吸入空気量の予測値の予測精度を従来よりも向上させることができ、それにより、制御精度を従来よりも向上させることができる（なお、本明細書では、「気筒吸入空気量の検出」は、気筒吸入空気量をセンサなどで直接検出することに限らず、演算により推定することを含む）。
【００１７】
請求項５に係る発明は、請求項４に記載の制御装置において、所定の制御アルゴリズムは、所定の応答指定型制御アルゴリズム［式（１５）～（２１）］であることを特徴とする。
【００１８】
この制御装置によれば、所定の応答指定型制御アルゴリズムにより、気筒吸入空気量がその目標値に収束するように、制御指令値が決定されるので、気筒吸入空気量を、振動的およびオーバーシュート的な挙動を回避しながら、迅速かつ安定した挙動で気筒吸入空気量の目標値に収束させることができる。その結果、制御性を向上させることができる。
【００１９】
請求項６に係る発明は、請求項５に記載の制御装置において、所定の応答指定型制御アルゴリズムでは、制御指令値が複数の指令値成分（等価制御入力Ｕｅｑ、到達則入力Ｕｒｃｈ、バルブ制御入力Ｕｖｔ）の総和として決定され［式（１８）］、複数の指令値成分には、制御指令値の解が２つあるときに２つの解の一方を選択するための選択指令値成分（バルブ制御入力Ｕｖｔ）が含まれていることを特徴とする。
【００２０】
この制御装置によれば、所定の応答指定型制御アルゴリズムにより、制御指令値が複数の指令値成分の総和として決定されるとともに、複数の指令値成分には、制御指令値の解が２つあるときに２つの解の一方を選択するための選択指令値成分が含まれているので、この選択指令値成分により、制御指令値の解として、２つの解の一方を強制的に選択させることができる。また、内燃機関の吸気系は、むだ時間特性を有している系ではあるものの、例えば予測係数をオンボード同定することにより、制御指令値の選択された解への収束速度を高めることができる。それにより、例えば制御指令値として吸気弁のバルブタイミングを遅閉じとする値が選択された場合、その条件を満たしかつ吸入空気量を目標値に収束させることができる制御指令値を、安定的かつ短時間で算出することができる。
【００２１】
【発明の実施の形態】
以下、図面を参照しながら、本発明の一実施形態に係る制御装置について説明する。図１および図２は、本実施形態の制御装置１が適用された内燃機関（以下「エンジン」という）３の概略構成を示し、図３は、制御装置１の概略構成を示している。図３に示すように、制御装置１は、ＥＣＵ２を備えており、このＥＣＵ２は、エンジン３の運転状態に応じて、後述するように、吸気弁６のバルブタイミング制御などを含む各種の制御処理を実行する。
【００２２】
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（図５参照）。また、エンジン３では、気筒毎に、主燃料噴射弁４および点火プラグ５が設けられており（いずれも１つのみ図示）、これらの主燃料噴射弁４および点火プラグ５はいずれも、シリンダヘッド３ａに取り付けられている。各主燃料噴射弁４は、ＥＣＵ２に接続されており、ＥＣＵ２からの制御入力によって、その燃料噴射量および燃料噴射タイミングが制御され、それにより、燃料を対応する気筒の燃焼室内に直接噴射する。
【００２３】
また、各点火プラグ５もＥＣＵ２に接続されており、ＥＣＵ２から点火時期に応じたタイミングで高電圧が加えられることで放電し、それにより、燃焼室内の混合気を燃焼させる

。
【００２４】
さらに、エンジン３は、気筒毎に設けられ、吸気ポートおよび排気ポートをそれぞれ開閉する吸気弁６および排気弁７と、吸気弁６を開閉駆動すると同時にそのバルブタイミングおよびバルブリフト量を変更する可変式吸気弁駆動装置４０と、排気弁７を開閉駆動すると同時にそのバルブタイミングおよびバルブリフト量を変更する可変式排気弁駆動装置９０などを備えている。これらの可変式吸気駆動装置４０および可変式排気弁駆動装置９０の詳細については、後述する。また、吸気弁６および排気弁７はそれぞれ、バルブスプリング６ａ，７ａにより閉弁方向に付勢されている。
【００２５】
一方、エンジン３のクランクシャフト３ｂには、マグネットロータ２０ａが取り付けられている。このマグネットロータ２０ａは、ＭＲＥピックアップ２０ｂとともに、クランク角センサ２０を構成している。クランク角センサ２０は、クランクシャフト３ｂの回転に伴い、いずれもパルス信号であるＣＲＫ信号およびＴＤＣ信号をＥＣＵ２に出力する。
【００２６】
ＣＲＫ信号は、所定のクランク角（例えば３０ｄｅｇ）毎に１パルスが出力される。ＥＣＵ２は、このＣＲＫ信号に応じ、エンジン３の回転数（以下「エンジン回転数」という）ＮＥを算出する。また、ＴＤＣ信号は、各気筒のピストン３ｃ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（本実施形態の例では１８０ｄｅｇ）毎に１パルスが出力される。
【００２７】
また、エンジン３の吸気管８には、上流側から順に、ターボチャージャ装置１０、インタークーラ１１、燃料気化冷却装置１２およびスロットル弁機構１６などが設けられている。
【００２８】
ターボチャージャ装置１０は、吸気管８の途中のコンプレッサハウジング内に収容されたコンプレッサブレード１０ａと、排気管９の途中のタービンハウジング内に収容されたタービンブレード１０ｂと、２つのブレード１０ａ，１０ｂを一体に連結する軸１０ｃと、ウエストゲート弁１０ｄなどを備えている。
【００２９】
このターボチャージャ装置１０では、排気管９内の排気ガスによってタービンブレード１０ｂが回転駆動されると、これと一体のコンプレッサブレード１０ａも同時に回転することにより、吸気管８内の吸入空気が加圧される。すなわち、過給動作が実行される。
【００３０】
また、上記ウエストゲート弁１０ｄは、排気管９のタービンブレード１０ｂをバイパスするバイパス排気通路９ａを開閉するものであり、ＥＣＵ２に接続された電磁制御弁で構成されている（図３参照）。このウエストゲート弁１０ｄは、ＥＣＵ２からの制御入力Ｄｕｔ＿ｗｇに応じて開度が変化することにより、バイパス排気通路９ａを流れる排気ガスの流量、言い換えればタービンブレード１０ｂを駆動する排気ガスの流量を変化させる。これにより、ターボチャージャ装置１０による過給圧Ｐｃが制御される。
【００３１】
一方、吸気管８のコンプレッサブレード１０ａよりも上流側に、エアフローセンサ２１（出力検出手段、気筒吸入空気量検出手段）が設けられている。このエアフローセンサ２１は、熱線式エアフローメータで構成されており、後述するスロットル弁１７を通過する吸入空気量（以下「ＴＨ通過吸入空気量」という）Ｇｔｈを表す検出信号をＥＣＵ２に出力する。
【００３２】
また、インタークーラ１１は、水冷式のものであり、その内部を吸気が通過する際、ターボチャージャ装置１０での過給動作（加圧動作）によって温度が上昇した吸気を冷却する。

【００３３】
さらに、吸気管８のインタークーラ１１と燃料気化冷却装置１２との間に、過給圧センサ２２が設けられている。この過給圧センサ２２は、半導体圧力センサなどで構成され、ターボチャージャ装置１０により加圧された吸気管８内の吸気圧、すなわち過給圧Ｐｃ（絶対圧）を表す検出信号をＥＣＵ２に出力する。
【００３４】
一方、燃料気化冷却装置１２は、燃料を気化し、混合気を生成すると同時に、その際に吸気の温度を低下させるものであり、図４に示すように、吸気管８の途中に設けられたハウジング１３と、このハウジング１３内に互いに平行にかつ所定間隔を存する状態で収容された多数の親油膜板１４（６枚のみ図示）と、副燃料噴射弁１５などを備えている。
【００３５】
この副燃料噴射弁１５は、ＥＣＵ２に接続されており、ＥＣＵ２からの制御入力により、その燃料噴射量および燃料噴射タイミングが制御され、それにより、燃料を多数の親油膜板１４に向かって噴射する。なお、後述するように、ＥＣＵ２により、この副燃料噴射弁１５および主燃料噴射弁４の双方から噴射すべき総燃料噴射量ＴＯＵＴが、エンジン３の運転状態に応じて決定されるとともに、この総燃料噴射量ＴＯＵＴに占める、主燃料噴射弁４からの燃料噴射量の割合（後述する主燃料噴射率Ｒｔ＿Ｐｒｅ）、および副燃料噴射弁１５からの燃料噴射量の割合が、エンジン３の運転状態に応じて決定される。また、親油膜板１４の表面には、燃料に対して親和性を有する親油膜が形成されている。
【００３６】
以上の構成により、この燃料気化冷却装置１２では、副燃料噴射弁１５から噴射された燃料は、各親油膜板１４の表面でその親油性により薄膜化された後、吸気の熱によって気化する。それにより、混合気が生成されるとともに、その際の気化熱によって吸気が冷却される。この燃料気化冷却装置１２による冷却効果により、充填効率を高めることができるとともに、エンジン３のノッキングの発生限界を拡大することができる。例えば、エンジン３の高負荷運転時、ノッキングが発生し始める限界の点火時期を、所定クランク角（例えば２ｄｅｇ）分、進角側に拡大することができ、それにより、燃焼効率を向上させることができる。
【００３７】
また、前述したスロットル弁機構１６は、スロットル弁１７およびこれを開閉駆動するＴＨアクチュエータ１８などを備えている。スロットル弁１７は、吸気管８の途中に回動自在に設けられており、当該回動に伴う開度の変化によりＴＨ通過吸入空気量Ｇｔｈを変化させる。ＴＨアクチュエータ１８は、ＥＣＵ２に接続されたモータにギヤ機構（いずれも図示せず）を組み合わせたものであり、ＥＣＵ２からの後述する制御入力ＤＵＴＹ＿ｔｈによって制御されることにより、スロットル弁１７の開度を変化させる。
【００３８】
また、スロットル弁１７には、これを開弁方向および閉弁方向にそれぞれ付勢する２つのばね（いずれも図示せず）が取り付けられており、これら２つのばねの付勢力により、スロットル弁１７は、制御入力ＤＵＴＹ＿ｔｈがＴＨアクチュエータ１８に入力されていないときには、所定の初期開度ＴＨ＿ｄｅｆに保持される。この初期開度ＴＨ＿ｄｅｆは、全閉状態に近くかつエンジン３の始動に必要な吸入空気量を確保できる値（例えば７°）に設定されている。
【００３９】
さらに、吸気管８のスロットル弁１７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２３が設けられている。このスロットル弁開度センサ２３は、スロットル弁１７の実際の開度（以下「スロットル弁開度」という）ＴＨを表す検出信号をＥＣＵ２に出力する。
【００４０】
また、吸気管８のスロットル弁１７よりも下流側の部分は、サージタンク８ａになっており、このサージタンク８ａに、吸気管内絶対圧センサ２４（出力検出手段、気筒吸入空気

量検出手段）が設けられている。この吸気管内絶対圧センサ２４は、例えば半導体圧力センサなどで構成され、吸気管８内の絶対圧（以下「吸気管内絶対圧」という）ＰＢＡを表す検出信号をＥＣＵ２に出力する。さらに、吸気管８のサージタンク８ａよりも下流側は、インテークマニホールド８ｂになっており（図２２参照）、このインテークマニホールド８ｂは、４つに分岐し、４つの気筒＃１～＃４にそれぞれ連通している。

【００４１】

一方、排気管９のタービンブレード１０ｂよりも下流側には、上流側から順に、第１および第２触媒装置１９ａ，１９ｂが設けられており、これらの触媒装置１９ａ，１９ｂにより、排気ガス中のＮＯｘ、ＨＣおよびＣＯなどが浄化される。

【００４２】

これらの第１および第２触媒装置１９ａ，１９ｂの間に、酸素濃度センサ（以下「Ｏ２センサ」という）２６が設けられている。このＯ２センサ２６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１９ａの下流側の排気ガス中の酸素濃度に基づく検出信号をＥＣＵ２に出力する。

【００４３】

また、排気管９のタービンブレード１０ｂと第１触媒装置１９の間に、ＬＡＦセンサ２５が設けられている。このＬＡＦセンサ２５は、Ｏ２センサ２６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て、その酸素濃度に比例する検出信号をＥＣＵ２に出力する。ＥＣＵ２は、これらのＬＡＦセンサ２５およびＯ２センサ２６の検出信号に基づき、空燃比制御を実行する。

【００４４】

次に、前述した可変式吸気弁駆動装置４０（吸気バルブタイミング可変装置）について説明する。図２、図５および図６に示すように、この可変式吸気弁駆動装置４０は、吸気弁駆動用の主吸気カムシャフト４１および副吸気カムシャフト４２と、気筒毎に設けられ、主・副吸気カムシャフト４１，４２の回転に伴って吸気弁６を開閉駆動する吸気弁駆動機構５０（１つのみ図示）と、主吸気カム位相可変機構６０と、副吸気カム位相可変機構７０と、３つの吸気カム間位相可変機構８０などを備えている。

【００４５】

主吸気カムシャフト４１は、シリンダヘッド３ａに回転自在に取り付けられ、気筒の配列方向に沿って延びている。主吸気カムシャフト４１は、気筒毎に設けられた主吸気カム４３と、一端部に設けられたスプロケット４７と、第１気筒＃１用の主吸気カム４３とスプロケット４７の間に設けられた主ギヤ４５と、を備えている。これらの主吸気カム４３、主ギヤ４５およびスプロケット４７はいずれも、主吸気カムシャフト４１に同軸かつ一体に回転するように取り付けられている。スプロケット４７は、タイミングチェーン４８を介して、クランクシャフト３ｂに連結されており、それにより、主吸気カムシャフト４１は、クランクシャフト３ｂが２回転する毎に、図６の時計回り（矢印Ｙ１で示す方向）に１回転する。

【００４６】

また、主吸気カム位相可変機構６０は、主吸気カムシャフト４１のスプロケット４７側端部に設けられている。この主吸気カム位相可変機構６０は、主吸気カムシャフト４１のスプロケット４７に対する相対的な位相、すなわち主吸気カムシャフト４１のクランクシャフト３ｂに対する相対的な位相（以下「主吸気カム位相」という）θｍｉを無段階に進角側または遅角側に変更するものであり、その詳細については後述する。

【００４７】

さらに、主吸気カムシャフト４１のスプロケット４７と反対側の端部には、主吸気カム角センサ２７が設けられている。この主吸気カム角センサ２７は、クランク角センサ２０と同様に、マグネットロータおよびＭＲＥピックアップで構成されており、主吸気カムシャフト４１の回転に伴い、パルス信号である主吸気カム信号を所定のカム角（例えば１ｄｅｇ）毎にＥＣＵ２に出力する。ＥＣＵ２は、この主吸気カム信号およびＣＲＫ信号に基づ

き、上記主吸気カム位相θｍｉを算出（検出）する。

【００４８】

一方、副吸気カムシャフト４２も、主吸気カムシャフト４１と同様にシリンダヘッド３ａに回転自在に支持され、主吸気カムシャフト４１に平行に延びている。副吸気カムシャフト４２は、気筒毎に設けられた副吸気カム４４と、上記主ギヤ４５と同歯数でかつ同径の副ギヤ４６とを有しており、副ギヤ４６は、副吸気カムシャフト４２と同軸に一体に回転するようになっている。

【００４９】

主ギヤ４５および副ギヤ４６はいずれも、図示しない押圧スプリングにより常に互いに噛み合うように押圧されているとともに、図示しないバックラッシュ補償機構により、バックラッシュが発生しないように構成されている。両ギヤ４５，４６の噛み合いにより、副吸気カムシャフト４２は、主吸気カムシャフト４１の上記時計回りの回転に伴い、同じ回転数で図６の反時計回り（矢印Ｙ２で示す方向）に回転する。

【００５０】

また、副吸気カム位相可変機構７０は、副吸気カムシャフト４２のタイミングチェーン４８側端部に設けられており、副吸気カムシャフト４２の主吸気カムシャフト４１に対する相対的な位相、言い換えれば第１気筒＃１用の副吸気カム４４の主吸気カム４３に対する相対的な位相（以下「副吸気カム位相」という）θｍｓｉを無段階に変更する。この副吸気カム位相可変機構７０の詳細については後述する。

【００５１】

さらに、副吸気カムシャフト４２の副吸気カム位相可変機構７０と反対側の端部には、副吸気カム角センサ２８が設けられている。この副吸気カム角センサ２８も、主吸気カム角センサ２７と同様に、マグネットロータおよびＭＲＥピックアップで構成されており、副吸気カムシャフト４２の回転に伴い、パルス信号である副吸気カム信号を所定のカム角（例えば１ｄｅｇ）毎にＥＣＵ２に出力する。ＥＣＵ２は、この副吸気カム信号、主吸気カム信号およびＣＲＫ信号に基づき、上記副吸気カム位相θｍｓｉ（プラントの入力、吸気弁のバルブタイミングを表す値）を算出する。

【００５２】

また、４つの副吸気カム４４において、第１気筒＃１用の副吸気カム４４は、副吸気カムシャフト４２と同軸に一体に回転するように取り付けられ、それ以外の第２～第４気筒＃２～＃４用の副吸気カム４４の各々は、前記吸気カム間位相可変機構８０を介して副吸気カムシャフト４２に連結されている。これらの吸気カム間位相可変機構８０は、第２～第４気筒＃２～＃４用の副吸気カム４４の、第１気筒＃１用の副吸気カム４４に対する相対的な位相（以下「吸気カム間位相」という）θｓｓｉ＃ｉを、互い独立して無段階に変更するものであり、その詳細については後述する。なお、吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉにおける記号＃ｉは気筒番号を表すものであり、＃ｉ＝＃２～＃４に設定されている。この点は、以下の説明においても同様である。

【００５３】

さらに、ＥＣＵ２には、３つの＃２～＃４副吸気カム角センサ２９～３１が電気的に接続されている（図３参照）。これらの＃２～＃４副吸気カム角センサ２９～３１はそれぞれ、第２～第４気筒＃２～＃４用の副吸気カム４４の回転に伴い、パルス信号である＃２～＃４副吸気カム信号を所定のカム角（例えば１ｄｅｇ）毎にＥＣＵ２に出力する。ＥＣＵ２は、これらの＃２～＃４副吸気カム信号、副吸気カム信号、主吸気カム信号およびＣＲＫ信号に基づき、上記吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉを算出する。

【００５４】

一方、吸気弁駆動機構５０は、主・副吸気カム４３，４４と、吸気弁６を開閉する吸気ロッカアーム５１と、吸気ロッカアーム５１を支持するリンク機構５２などで構成されている。これらの主・副吸気カム４３，４４のカムプロフィールについては後述する。

【００５５】

リンク機構５２は、４節リンクタイプのものであり、吸気弁６とほぼ平行に延びる第１リ

ンク５３と、互いに平行に上下に設けられた２つの第２リンク５４，５４と、バイアススプリング５５と、リターンスプリング５６などを備えている。この第１リンク５３には、その下端部に吸気ロッカアーム５１の中央部がピン５１ｃを介して回動自在に取り付けられており、上端部に回転自在のローラ５３ａが設けられている。

【００５６】

吸気ロッカアーム５１には、主吸気カム４３側の端部に回転自在のローラ５１ａが設けられ、吸気弁６側の端部にアジャストボルト５１ｂが取り付けられている。このアジャストボルト５１ｂの下縁と吸気弁６の上縁との間のバルブクリアランスは、後述するような所定値に設定されている。また、バイアススプリング５５は、その一端部が吸気ロッカアーム５１に取り付けられ、他端部が第１リンク５３に取り付けられている。このバイアススプリング５５の付勢力により、吸気ロッカアーム５１は、図６の時計回りに付勢されており、それにより、ローラ５１ａを介して主吸気カム４３に常に当接している。

【００５７】

以上の構成により、主吸気カム４３が図６の時計回りに回転すると、吸気ロッカアーム５１は、ローラ５１ａが主吸気カム４３のカム面上を転動することにより、主吸気カム４３のカムプロフィールに応じて、ピン５１ｃを回動支点として時計回り・反時計回りに回動する。この吸気ロッカアーム５１の回動により、アジャストボルト５１ｂが上下方向に往復動し、吸気弁６を開閉させる。

【００５８】

また、各第２リンク５４は、その一端部がピン５４ａを介してシリンダヘッド３ａに回動自在に連結され、他端部が第１リンク５３の所定部位にピン５４ｂを介して回動自在に連結されている。さらに、リターンスプリング５６では、その一端部が上側の第２リンク５４に取り付けられ、他端部がシリンダヘッド３ａに取り付けられている。このリターンスプリング５６の付勢力により、上側の第２リンク５４は、図６の反時計回りに付勢されており、それにより、第１リンク５３は、ローラ５３ａを介して副吸気カム４４に常に当接している。

【００５９】

以上の構成により、副吸気カム４４が図６の反時計回りに回転すると、第１リンク５３は、ローラ５３ａが副吸気カム４４のカム面上を転動することにより、副吸気カム４４のカムプロフィールに応じ、上下方向に移動する。それにより、吸気ロッカアーム５１の回動支点であるピン５１ｃが、最下位置（図６に示す位置）と最上位置（図１５に示す位置）との間で上下方向に移動する。これに伴い、吸気ロッカアーム５１が上述したように回動する際、アジャストボルト５１ｂの往復動の位置が変化する。

【００６０】

また、主吸気カム４３のカム山の高さは、副吸気カム４４よりも高くなっており、主吸気カム４３と副吸気カム４４とのカム山の高さの比は、アジャストボルト５１ｂからローラ５１ａの中心までの距離と、アジャストボルト５１ｂからピン５１ｃの中心までの距離との比に等しい値に設定されている。すなわち、主・副吸気カム４３，４４により吸気ロッカアーム５１が駆動された際、主吸気カム４３のカム山によるアジャストボルト５１ｂの上下方向の変動量と、副吸気カム４４のカム山によるアジャストボルト５１ｂの上下方向の変動量が互いに同じになるように設定されている。

【００６１】

次に、前述した主吸気カム位相可変機構６０について説明する。この主吸気カム位相可変機構６０は、図７に示すように、ハウジング６１、３枚羽根式のベーン６２、油圧ポンプ６３および電磁弁機構６４などを備えている。

【００６２】

このハウジング６１は、前述したスプロケット４７と一体に構成されており、互いに等間隔に形成された３つの隔壁６１ａを備えている。ベーン６２は、主吸気カムシャフト４１のスプロケット４７側の端部に同軸に取り付けられ、主吸気カムシャフト４１から外方に放射状に延びているとともに、ハウジング６１内に回転可能に収容されている。また、ハ

ウジング６１では、隔壁６１ａとベーン６２との間に、３つの進角室６５および３つの遅角室６６が形成されている。

【００６３】

油圧ポンプ６３は、クランクシャフト３ｂに連結された機械式のものであり、クランクシャフト３ｂが回転すると、それに伴って、エンジン３のオイルパン３ｄに蓄えられた潤滑用のオイルを、油路６７ｃを介して吸い込むとともに、これを昇圧した状態で、油路６７ｃを介して電磁弁機構６４に供給する。

【００６４】

電磁弁機構６４は、スプール弁機構６４ａおよびソレノイド６４ｂを組み合わせたものであり、進角油路６７ａおよび遅角油路６７ｂを介して、進角室６５および遅角室６６にそれぞれ接続されているとともに、油圧ポンプ６３から供給された油圧を、進角油圧Ｐａｄおよび遅角油圧Ｐｒｔとして、進角室６５および遅角室６６にそれぞれ出力する。電磁弁機構６４のソレノイド６４ｂは、ＥＣＵ２に電気的に接続されており、ＥＣＵ２からの制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｉが入力された際、スプール弁機構６４ａのスプール弁体を、制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｉに応じて所定の移動範囲内で移動させることにより、進角油圧Ｐａｄおよび遅角油圧Ｐｒｔをいずれも変化させる。

【００６５】

以上の主吸気カム位相可変機構６０では、油圧ポンプ６３の動作中、電磁弁機構６４が制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｉに応じて作動することにより、進角油圧Ｐａｄが進角室６５に、遅角油圧Ｐｒｔが遅角室６６にそれぞれ供給され、それにより、ベーン６２とハウジング６４との間の相対的な位相が進角側または遅角側に変更される。その結果、前述した主吸気カム位相θｍｉが所定範囲（例えばカム角４５ｄｅｇ～６０ｄｅｇ分の範囲）で無段階に進角側または遅角側に変更される。なお、この主吸気カム位相可変機構６０には、図示しないロック機構が設けられており、このロック機構により、油圧ポンプ６３からの供給油圧が低いときには、主吸気カム位相可変機構６０の動作がロックされる。すなわち、主吸気カム位相可変機構６０による主吸気カム位相θｍｉの変更が禁止され、主吸気カム位相θｍｉがアイドル運転やエンジン始動に適した値にロックされる。

【００６６】

次に、前述した副吸気カム位相可変機構７０について説明する。図８に示すように、この副吸気カム位相可変機構７０は、ハウジング７１、１枚のベーン７２、油圧ピストン機構７３およびモータ７４などを備えている。

【００６７】

このハウジング７１は、副吸気カムシャフト４２の上記ギヤ４６と一体に構成されており、その内部に断面扇形のベーン室７５が形成されている。ベーン７２は、副吸気カムシャフト４２のタイミングチェーン４８側の端部に同軸に取り付けられ、副吸気カムシャフト４２から外方に延びているとともに、ベーン室７５に回転可能に収容されている。このベーン７２により、ベーン室７５は第１および第２ベーン室７５ａ，７５ｂに仕切られている。

【００６８】

また、ベーン７２に、リターンスプリング７２ａの一端部が取り付けられており、このリターンスプリング７２の他端部は、ハウジング７１に取り付けられている。このリターンスプリング７２ａにより、ベーン７２は、図８の反時計回りの方向、すなわち第１ベーン室７５ａの容積を小さくする方向に付勢されている。

【００６９】

一方、油圧ピストン機構７３は、シリンダ７３ａおよびピストン７３ｂを備えている。このシリンダ７３ａの内部空間は、油路７６を介して第１ベーン室７５ａに連通しており、これらのシリンダ７３ａの内部空間、油路７６内および第１ベーン室７５ａ内には、作動油が充填されている。また、第２ベーン室７５ｂは、大気側に連通している。

【００７０】

また、ピストン７３ｂには、ラック７７が取り付けられており、これと噛み合うピニオン

７８がモータ７４の回転軸に同軸に取り付けられている。モータ７４は、ＥＣＵ２に電気的に接続されており、ＥＣＵ２からの制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉが入力されると、ピニオン７８を回転駆動し、それにより、ラック７７を介してピストン７３ｂをシリンダ７３ａ内で摺動させる。それにより、第１ベーン室７５ａ内の油圧Ｐｓｄが変化し、このように変化する油圧Ｐｓｄとリターンスプリング７２ａの付勢力とのバランスにより、ベーン７２が時計回りまたは反時計回りに回転する。その結果、副吸気カム位相θｍｓｉが、所定範囲（後述するカム角１８０ｄｅｇ分の範囲）で進角側または遅角側に無段階に変更される。

【００７１】

以上のように、この副吸気カム位相可変機構７０では、前述した主吸気カム位相可変機構６０の油圧ポンプ６３および電磁弁機構６４に代えて、油圧ピストン機構７３およびモータ７４を用いることによって、副吸気カム位相θｍｓｉを変化させている。これは、副吸気カム位相可変機構７０が各気筒への吸入空気量の調整に用いられるため、主吸気カム位相可変機構６０よりも高い応答性が要求されることによる。したがって、副吸気カム位相可変機構７０において、高い応答性が必要でない場合（例えば、後述する吸気弁６のバルブタイミング制御において、遅閉じ制御および早閉じ制御の一方のみを実行すればよい場合）には、油圧ピストン機構７３およびモータ７４に代えて、主吸気カム位相可変機構６０と同様に、油圧ポンプ６３および電磁弁機構６４を用いてもよい。

【００７２】

なお、図９に示すように、副吸気カム位相可変機構７０において、ベーン７２を同図の時計回りの方向に付勢するリターンスプリング７２ｂを設け、このリターンスプリング７２ｂの付勢力をリターンスプリング７２ａと同じ値に設定するとともに、同図に示すベーン７２の中立位置を、副吸気カム位相θｍｓｉが最も高頻度に制御される値に相当する位置に設定してもよい。このようにすれば、副吸気カム位相可変機構７０の動作中、ベーン７２が中立位置に保持される時間がより長くなることで、モータ７４の動作停止時間をより長く確保でき、それにより消費電力を低減できる。

【００７３】

次に、前述した吸気カム間位相可変機構８０について説明する。なお、３つの吸気カム間位相可変機構８０は、互いに同様に構成されているので、以下、第２気筒＃２用の副吸気カム４４の吸気カム間位相θｓｓｉ＃２を変更する吸気カム間位相可変機構８０を例にとって説明する。この吸気カム間位相可変機構８０は、吸入空気量の気筒間の定常的なばらつきを調整するためのものであり、高い応答性が必要とされないものであるので、前述した主吸気カム位相可変機構６０と一部を除いて同様に構成されている。すなわち、吸気カム間位相可変機構８０は、図１０に示すように、ハウジング８１、ベーン８２、油圧ポンプ８３および電磁弁機構８４などを備えている。

【００７４】

このハウジング８１は、第２気筒＃２用の副吸気カム４４と一体に構成されており、１つの隔壁８１ａを備えている。ベーン８２は、副吸気カムシャフト４２の途中に同軸に取り付けられ、ハウジング８１内に回転可能に収容されている。また、ハウジング８１では、隔壁８１ａとベーン８２との間に、進角室８５および遅角室８６が形成されている。

【００７５】

油圧ポンプ８３は、前述した油圧ポンプ６３と同様に、クランクシャフト３ｂに連結された機械式のものであり、クランクシャフト３ｂが回転すると、それに伴って、エンジン３のオイルパン３ｄに蓄えられた潤滑用のオイルを、油路８７ｃを介して吸い込むとともに、これを昇圧した状態で、油路８７ｃを介して電磁弁機構８４に供給する。

【００７６】

電磁弁機構８４は、前述した電磁弁機構６４と同様に、スプール弁機構８４ａおよびソレノイド８４ｂを組み合わせたものであり、進角油路８７ａおよび遅角油路８７ｂを介して、進角室８５および遅角室８６にそれぞれ接続されているとともに、油圧ポンプ８３から供給された油圧を、進角油圧Ｐａｄおよび遅角油圧Ｐｒｔとして、進角室８５および遅角

室８６にそれぞれ出力する。電磁弁機構８４のソレノイド８４ｂは、ＥＣＵ２に電気的に接続されており、ＥＣＵ２からの制御入力ＤＵＴＹ＿ｓｓｉ＃２が入力された際、スプール弁機構８４ａのスプール弁体を、制御入力ＤＵＴＹ＿ｓｓｉ＃２に応じて所定の移動範囲内で移動させることにより、進角油圧Ｐａｄおよび遅角油圧Ｐｒｔをいずれも変化させる。

【００７７】

以上の吸気カム間位相可変機構８０では、油圧ポンプ８３の動作中、電磁弁機構８４が制御入力ＤＵＴＹ＿ｓｓｉ＃２に応じて作動することにより、進角油圧Ｐａｄが進角室８５に、遅角油圧Ｐｒｔが遅角室８６にそれぞれ供給され、それにより、ベーン８２とハウジング８４との間の相対的な位相が進角側または遅角側に変更される。その結果、前述した吸気カム間位相θｓｓｉ＃２が所定範囲（例えばカム角３０ｄｅｇ分の範囲）で無段階に進角側または遅角側に変更される。なお、この吸気カム間位相可変機構８０には、図示しないロック機構が設けられており、このロック機構により、油圧ポンプ８３からの供給油圧が低いときには、吸気カム間位相可変機構８０の動作がロックされる。すなわち、吸気カム間位相可変機構８０による吸気カム間位相θｓｓｉ＃２の変更が禁止され、吸気カム間位相θｓｓｉ＃２がその時点の制御目標値（後述する値０）にロックされる。

【００７８】

なお、圧縮着火式内燃機関のように、各気筒の内部ＥＧＲ量や吸入空気量などを高い応答性でかつ高精度に制御する必要がある場合には、吸気カム間位相可変機構８０を、副吸気カム位相可変機構７０と同様に構成してもよい。

【００７９】

次に、以上のように構成された可変式吸気弁駆動装置４０の動作について説明する。なお、以下の説明では、主・副吸気カム４３，４４として、第１気筒＃１用のものを例にとって説明する。図１１は、主・副吸気カム４３，４４のカムプロフィールを説明するためのものであり、副吸気カム位相可変機構７０により副吸気カム位相θｍｓｉ＝０ｄｅｇに設定されているときの動作状態、すなわち副吸気カム４４と主吸気カム４３との間に位相差がないときの動作状態を示している。

【００８０】

図中の１点鎖線で示す曲線は、主吸気カム４３が回転したときの、これと吸気ロッカアーム５１との当接点、すなわちローラ５１ａの変動量およびその変動タイミングを表しており、図中の破線で示す曲線は、副吸気カム４４が回転したときの第１リンク５３すなわちピン５１ｃの変動量およびその変動タイミングを表している。この点は、以下の図１２～図１６においても同様である。

【００８１】

さらに、図１１に２点鎖線で示す曲線は、比較のために、オットーサイクルで運転される一般的なエンジン、すなわち膨張比と圧縮比が同じになるように運転されるエンジンの吸気カム（以下「オットー吸気カム」という）によるアジャストボルト５１ｂの変動量および変動タイミングを表すものである。この曲線にバルブクリアランスを加味したものが、オットー吸気カムによる吸気弁のバルブリフト曲線に相当するので、以下の説明では、この曲線を適宜、バルブリフト曲線という。

【００８２】

同図に示すように、主吸気カム４３は、オットー吸気カムと比べて、リフト開始タイミングすなわち開弁タイミングが同じで、リフト終了タイミングすなわち閉弁タイミングが圧縮行程のより遅いタイミングとなる、いわゆる遅閉じカムとして構成されているとともに、最大バルブリフト量となる状態が所定範囲（例えばカム角１５０ｄｅｇ分）で継続するカムプロフィールを有している。なお、以下の説明においては、吸気弁６がオットー吸気カムよりも遅いタイミングおよび早いタイミングで閉弁される状態をそれぞれ、吸気弁６の「遅閉じ」または「早閉じ」という。

【００８３】

さらに、副吸気カム４４は、主吸気カム４３と比べて、開弁タイミングがより早くなると

ともに、最大バルブリフト量となる状態が上記所定範囲（例えばカム角１５０ｄｅｇ分）で継続するカムプロフィールを有している。

【００８４】

以上のカムプロフィールを有する主・副吸気カム４３，４４により、吸気弁６を実際に駆動した場合の動作について、図１２～図１６を参照しながら説明する。図１２は、副吸気カム位相θｍｓｉ＝０ｄｅｇのときの動作例を示している。なお、同図（ｂ）の実線で示す曲線は、アジャストボルト５１ｂの実際の変動量およびその変動タイミングを示すものであり、前述したように、これにバルブクリアランスを加味したものが、吸気弁６の実際のバルブリフト量およびバルブタイミングを示すバルブリフト曲線に相当する。したがって、以下の説明では、この曲線を、適宜、吸気弁６のバルブリフト曲線といい、アジャストボルト５１ｂの変動量およびその変動タイミングを、吸気弁６のバルブリフト量およびバルブタイミングという。この点は図１３（ｂ）～図１６においても同様である。

【００８５】

図１２（ａ）に示すように、副吸気カム位相θｍｓｉ＝０ｄｅｇのときには、主吸気カム４３がそのカム山が高い部位で吸気ロッカアーム５１に当接している期間中、副吸気カム４４がそのカム山が高い部位で第１リンク５３に当接する状態となる。すなわち、主吸気カム４３による開弁動作中、吸気ロッカアーム５１の回動支点が最下位置に保持される。その結果、図１２（ｂ）に示すように、吸気弁６のバルブリフト量およびバルブタイミングは、オットー吸気カムと比べて、開弁タイミングが同じで閉弁タイミングがより遅くなり、遅閉じカムで吸気弁６を駆動している状態となる。

【００８６】

図１３～図１５はそれぞれ、副吸気カム位相可変機構７０により副吸気カム位相θｍｓｉが９０ｄｅｇ、１２０ｄｅｇおよび１８０ｄｅｇに設定されている場合の動作例を示している。言い換えれば、副吸気カムシャフト４２の位相を主吸気カムシャフト４１に対してカム角９０ｄｅｇ分、１２０ｄｅｇ分および１８０ｄｅｇ分、進角側にずらした場合の動作例を示している。また、図１６は、副吸気カム位相θｍｓｉを１２０ｄｅｇから１８０ｄｅｇに変化させた際の動作例を示している。

【００８７】

図１３（ａ）に示すように、θｍｓｉ＝９０ｄｅｇのときには、主吸気カム４３がそのカム山が高い部位で吸気ロッカアーム５１に当接している期間の後半側で、副吸気カム４４は、カム山の高い部位ではなく低い部位で第１リンク５３に当接する状態となる。その結果、同図（ｂ）に示すように、吸気弁６の閉弁タイミングすなわち主吸気カム４３による開弁動作の終了タイミングが、θｍｓｉ＝０ｄｅｇのときよりも早くなり、前述したオットー吸気カムと同じバルブタイミングとなる。

【００８８】

また、θｍｓｉが９０ｄｅｇより大きいとき、例えば図１４（ａ）に示すθｍｓｉ＝１２０ｄｅｇのときには、主吸気カム４３がそのカム山が高い部位で吸気ロッカアーム５１に当接している期間中、副吸気カム４４がカム山の高い部位で第１リンク５３に当接する時間が上記θｍｓｉ＝９０ｄｅｇのときよりも短くなる。その結果、同図（ｂ）に示すように、吸気弁６の閉弁タイミングが、上述したθｍｓｉ＝９０ｄｅｇのときよりもさらに早くなり、オットー吸気カムと比べて、開弁タイミングが同じで閉弁タイミングがより早くなり、早閉じカムで吸気弁６を駆動している状態となる。

【００８９】

さらに、図１６に示すように、副吸気カム位相θｍｓｉを上記１２０ｄｅｇから１８０ｄｅｇに変化させると、主吸気カム４３がそのカム山が高い部位で吸気ロッカアーム５１に当接している期間中、副吸気カム４４がカム山の高い部位で第１リンク５３に当接する時間が漸減し、その結果、吸気弁６の閉弁タイミングが次第に早くなるとともに、吸気弁６のバルブリフト量もその最大値から漸減する。このように、吸気弁６のバルブリフト量がその最大値よりも小さくなるように、副吸気カム位相可変機構７０によって副吸気カム位相θｍｓｉを設定した場合、燃焼室内に流れ込む吸入空気の流速を上昇させることができ

、筒内流動をより大きくすることができる。それにより、燃焼効率を向上させることができる。

【００９０】

そして、最終的に、θｍｓｉ＝１８０ｄｅｇとなったときには、図１５（ａ）に示すように、主吸気カム４３がそのカム山が高い部位で吸気ロッカアーム５１に当接している期間中、副吸気カム４４は、カム山の低い部位で第１リンク５３に当接する状態となり、その結果、同図（ｂ）に示すように、アジャストボルト５１ｂの変動量は、極めて小さい状態になるとともに、その最大値がバルブクリアランスよりも若干、小さい値になる。その結果、θｍｓｉ＝１８０ｄｅｇのときには、アジャストボルト５１ｂにより吸気弁６が駆動されない状態になることで、吸気弁６は閉弁状態に保持される。

【００９１】

なお、以上の可変式吸気弁駆動装置４０では、副吸気カム位相θｍｓｉ＝９０ｄｅｇのときに、吸気弁６のバルブリフト曲線がオットー吸気カムの場合と同じになるように構成されているが、吸気弁６のバルブリフト曲線がオットー吸気カムと同じになる副吸気カム位相θｍｓｉの値は、主・副吸気カム４３，４４のカムプロフィールを変更することにより、適宜に変更可能である。

【００９２】

次に、可変式排気弁駆動装置９０について説明する。この可変式排気弁駆動装置９０は、前述した可変式吸気弁駆動装置４０と実質的に同様に構成されており、排気弁駆動用の主排気カムシャフト９１および副排気カムシャフト９２と、気筒毎に設けられ、主・副排気カムシャフト９１，９２の回転に伴って排気弁７を開閉駆動する排気弁駆動機構１００（図２に１つのみ図示）と、主排気カム位相可変機構１１０と、副排気カム位相可変機構１２０と、３つの排気カム間位相可変機構１３０などを備えている。

【００９３】

主排気カムシャフト９１は、気筒毎に設けられた主排気カム９３と、一体に取り付けられた主ギヤ９５と、一端部に設けられたスプロケット９７とを備えている。このスプロケット９７は、主排気カムシャフト４１のスプロケット４７と同様に、前述したタイミングチェーン４８を介して、クランクシャフト３ｂに連結されている。それにより、主排気カムシャフト９１は、クランクシャフト３ｂが２回転する毎に１回転する。

【００９４】

また、主排気カム位相可変機構１１０は、主排気カムシャフト９１のスプロケット９７に対する相対的な位相、すなわち主排気カムシャフト９１のクランクシャフト３ｂに対する相対的な位相（以下「主排気カム位相」という）θｍｅを無段階に進角側または遅角側に変更するものである。この主排気カム位相可変機構１１０は、具体的には、前述した主吸気カム位相可変機構６０と同様に構成されているので、その説明はここでは省略する。

【００９５】

さらに、主排気カムシャフト９１のスプロケット９７と反対側の端部には、主排気カム角センサ３２が設けられている。この主排気カム角センサ３２は、主吸気カム角センサ２７と同様に、マグネットロータおよびＭＲＥピックアップで構成されており、主排気カムシャフト９１の回転に伴い、パルス信号である主排気カム信号を所定のカム角（例えば１ｄｅｇ）毎にＥＣＵ２に出力する。ＥＣＵ２は、この主排気カム信号およびＣＲＫ信号に基づき、上記主排気カム位相θｍｅを算出する。

【００９６】

一方、副排気カムシャフト９２は、気筒毎に設けられた副排気カム９４と、上記主ギヤ９５と同歯数の副ギヤ９６とを有している。これらの主・副ギヤ９５，９６はいずれも、前述した主・副ギヤ４５，４６と同様に、図示しない押圧スプリングにより常に噛み合うように押圧されているとともに、図示しないバックラッシュ補償機構により、バックラッシュが発生しないように構成されている。両ギヤ９５，９６の噛み合いにより、副排気カムシャフト９２は、主排気カムシャフト９１の回転に伴い、同じ回転数で反対回りに回転する。

【００９７】
また、副排気カム位相可変機構１２０は、副排気カムシャフト９２のギヤ９６に対する相対的な位相、すなわち副排気カムシャフト９２の主排気カムシャフト９１に対する相対的な（以下「副排気カム位相」という）θｍｓｅを無段階に変更するものである。この副排気カム位相可変機構１２０は、具体的には、前述した副吸気カム位相可変機構７０と同様に構成されているので、その説明はここでは省略する。
【００９８】
一方、副排気カムシャフト９２の副排気カム位相可変機構１２０と反対側の端部には、副排気カム角センサ３３が設けられている。この副排気カム角センサ３３は、主排気カム角センサ３２と同様に、マグネットロータおよびＭＲＥピックアップで構成されており、副排気カムシャフト９２の回転に伴い、パルス信号である副排気カム信号を所定のカム角（例えば１ｄｅｇ）毎にＥＣＵ２に出力する。ＥＣＵ２は、この副排気カム信号、主排気カム信号およびＣＲＫ信号に基づき、上記副排気カム位相θｍｓｅを算出する。
【００９９】
さらに、第１気筒＃１用の副排気カム９４は、副排気カムシャフト９２に同軸かつ一体に回転するように取り付けられており、これ以外の第２～第４気筒＃２～＃４用の副排気カム９４の各々は、前記排気カム間位相可変機構１３０を介して副排気カムシャフト９２に連結されている。これらの排気カム間位相可変機構１３０は、第２～第４気筒＃２～＃４用の副排気カム９４の、第１気筒＃１用の副排気カム９４に対する相対的な位相（以下「排気カム間位相」という）θｓｓｅ＃２～＃４を、互い独立して無段階に変更するものであり、具体的には、前述した吸気カム間位相可変機構８０と同様に構成されているので、その説明はここでは省略する。
【０１００】
また、図示しないが、ＥＣＵ２には、前述した＃２～＃４副吸気カム角センサ２９～３１と同様の＃２～＃４副排気カム角センサが電気的に接続されており、これらの＃２～＃４副排気カム角センサはそれぞれ、第２～第４気筒＃２～＃４用の副排気カム９４の回転に伴い、パルス信号である＃２～＃４副排気カム信号を所定のカム角（例えば１ｄｅｇ）毎にＥＣＵ２に出力する。ＥＣＵ２は、これらの＃２～＃４副排気カム信号、副排気カム信号、主排気カム信号およびＣＲＫ信号に基づき、上記排気カム間位相θｓｓｅ＃２～＃４を算出する。
【０１０１】
一方、排気弁駆動機構１００は、吸気弁駆動機構５０と同様に構成されており、主・副排気カム９３，９４と、排気弁７を開閉する排気ロッカアーム１０１と、排気ロッカアーム１０１を支持するリンク機構１０２などで構成されている。主・副排気カム９３，９４はそれぞれ、主・副吸気カム４３，４４と同様のカムプロフィールを有している。また、排気ロッカアーム１０１およびリンク機構１０２はそれぞれ、前述した吸気ロッカアーム５１およびリンク機構５２と同様に構成されているので、その詳細な説明は省略するが、排気ロッカアーム１０１の主排気カム９３と反対側の端部には、前述したアジャストボルト５１ｂと同様のアジャストボルト１０１ｂが取り付けられている。また、排気ロッカアーム１０１は、第１リンク１０３により回動自在に支持されている。
【０１０２】
次に、以上のように構成された可変式排気弁駆動装置９０の動作について説明する。なお、以下の説明では、主・副排気カム９３，９４として、第１気筒＃１用のものを例にとって説明する。図１７は、主・副排気カム９３，９４のカムプロフィールを説明するためのものであり、副排気カム位相可変機構１２０により副排気カム位相θｍｓｅ＝０ｄｅｇに設定されている場合の動作例を示している。
【０１０３】
図中の１点鎖線で示す曲線は、主排気カム９３が回転したときの、これと排気ロッカアーム１０１との当接点の変動量およびその変動タイミングを表しており、図中の破線で示す曲線は、副排気カム９４が回転したときの第１リンク１０３の変動量およびその変動タイ

ミングを表している。この点は、以下の図１８～図２１においても同様である。
【０１０４】
さらに、同図に２点鎖線で示す曲線は、比較のために、オットーサイクルで運転される一般的なエンジンの排気カム（以下「オットー排気カム」という）によるアジャストボルト１０１ｂの変動量およびその変動タイミングを表している。この曲線にバルブクリアランスを加味したものが、オットー排気カムによる排気弁のバルブリフト曲線に相当するので、以下の説明では、この曲線を適宜、バルブリフト曲線という。
【０１０５】
同図に示すように、主排気カム９３は、オットー排気カムと比べて、その閉弁タイミングが同じで、開弁タイミングが膨張行程のより早いタイミングで開弁される、いわゆる早開けカムとして構成されているとともに、最大バルブリフト量となる状態が所定範囲（例えばカム角９０ｄｅｇ分）で継続するカムプロフィールを有している。なお、以下の説明においては、排気弁７がオットー排気カムよりも遅いタイミングおよび早いタイミングで開弁される状態をそれぞれ、排気弁７の「遅開け」および「早開け」という。
【０１０６】
さらに、副排気カム９４は、主排気カム９３と比べて、開弁時間がより長く、かつ最大バルブリフト量となる状態がより長い所定範囲（例えばカム角１５０ｄｅｇ分）で継続するカムプロフィールを有している。
【０１０７】
以上のカムプロフィールを有する主・副排気カム９３，９４により、排気弁７を実際に駆動した場合の動作について、図１８～図２１を参照しながら説明する。図１８は、副排気カム位相θｍｓｅ＝０ｄｅｇのときの動作例を示している。なお、同図の実線で示す曲線は、アジャストボルト１０１ｂの実際の変動量およびその変動タイミングを示すものであり、前述したように、排気弁７のバルブリフト曲線に実質的に相当するものである。したがって、以下の説明では、この曲線を、適宜、排気弁７のバルブリフト曲線といい、アジャストボルト１０１ｂの実際の変動量およびその変動タイミングを、排気弁７のバルブリフト量およびバルブタイミングという。この点は図１９～図２１においても同様である。
【０１０８】
副排気カム位相θｍｓｅ＝０ｄｅｇのときには、主排気カム９３がそのカム山の高い部位で排気ロッカアーム１０１に当接している期間中、副排気カム９４がそのカム山の低い部位で第１リンク１０３に当接する状態となる。その結果、図１８に示すように、アジャストボルト１０１ｂの変動量が極めて小さい状態になり、その最大値がバルブクリアランスよりも若干、小さい値になる。したがって、θｍｓｅ＝０ｄｅｇのときには、アジャストボルト１０１ｂにより排気弁７が駆動されない状態になることで、排気弁７は閉弁状態に保持される。
【０１０９】
図１９～図２１はそれぞれ、副排気カム位相可変機構１２０により副排気カム位相θｍｓｅが４５ｄｅｇ、９０ｄｅｇおよび１５０ｄｅｇに設定されている場合の動作例を示している。言い換えれば、副排気カムシャフト９２の位相を主排気カムシャフト９１に対してカム角４５ｄｅｇ分、９０ｄｅｇ分および１５０ｄｅｇ分、進角側にずらした場合の動作例を示している。
【０１１０】
前述した排気弁駆動機構１００の構成により、副排気カム位相θｍｓｅが大きくなるほど、すなわち副排気カムシャフト９２の位相を主排気カムシャフト９１に対して進角させるほど、主排気カム９３がそのカム山の高い部位で排気ロッカアーム１０１に当接している期間中、副排気カム９４がそのカム山の高い部位で第１リンク１０３に当接する時間が長くなる。その結果、図１９～図２１に示すように、θｍｓｅが大きくなるほど、排気弁７の開弁タイミングが早くなる。
【０１１１】
具体的には、図１９に示すθｍｓｅ＝４５ｄｅｇの場合には、オットー排気カムと比べて

、その閉弁タイミングが同じで開弁タイミングがより遅くなり、遅開けカムで排気弁７を駆動する状態となる。また、図２０に示すθｍｓｅ＝９０ｄｅｇ（＝θｍｓｅｏｔｔ）の場合には、排気弁７のバルブタイミングは、オットー排気カムによるバルブタイミングと同じになる。さらに、θｍｓｅが９０ｄｅｇよりも大きい場合、例えば図２１に示すθｍｓｅ＝１５０ｄｅｇの場合には、オットー排気カムと比べて、その閉弁タイミングが同じで開弁タイミングがより早くなり、早開けカムで排気弁７を駆動する状態となる。なお、図示しないけれども、θｍｓｅ＝０～６０ｄｅｇの範囲では、θｍｓｅの増大に伴い、排気弁７のバルブリフト量も増大するように構成されている。

【０１１２】

一方、図３に示すように、ＥＣＵ２には、吸気管内温度センサ３４、アクセル開度センサ３５およびイグニッション・スイッチ（以下「ＩＧ・ＳＷ」という）３６が接続されている。この吸気管内温度センサ３４は、吸気管８内の空気温度ＴＢを表す検出信号をＥＣＵ２に出力し、アクセル開度センサ３５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を表す検出信号をＥＣＵ２に出力する。さらに、ＩＧ・ＳＷ３６は、イグニッションキー（図示せず）操作によりＯＮ／ＯＦＦされるとともに、そのＯＮ／ＯＦＦ状態を表す信号をＥＣＵ２に出力する。

【０１１３】

次に、ＥＣＵ２について説明する。この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おり、前述した各種のセンサ２０～３５およびＩＧ・ＳＷ３６の検出信号に応じて、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、後述する各種の制御処理を実行する。

【０１１４】

なお、本実施形態では、ＥＣＵ２により、出力検出手段、目標値設定手段、予測手段、同定手段、制御指令値決定手段および気筒吸入空気量検出手段が構成されている。

【０１１５】

図２２に示すように、制御装置１は、ＤＵＴＹ＿ｔｈ算出部２００、Ｇｃｙｌ算出部２１０、副吸気カム位相コントローラ２２０および吸気カム間位相コントローラ２３０を備えており、これらはいずれも、具体的にはＥＣＵ２により構成されている。このＤＵＴＹ＿ｔｈ算出部２００では、後述するように、スロットル弁開度ＴＨの目標値である目標開度ＴＨ＿ｃｍｄが、目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄに応じて算出され、さらに、この目標開度ＴＨ＿ｃｍｄに応じて、スロットル弁機構１６への制御入力ＤＵＴＹ＿ｔｈが算出される。

【０１１６】

Ｇｃｙｌ算出部２１０では、図２４に示す式（１）により、気筒内に吸入されたと推定される気筒吸入空気量Ｇｃｙｌ（プラントの出力）が算出される。この式（１）において、ＶＢは吸気管内体積を、Ｒは所定の気体定数をそれぞれ表している。また、記号ｎは離散化した時間を表し、記号（ｎ），（ｎ－１）などが付いた各離散データ（時系列データ）は、所定周期（例えばＴＤＣ信号の入力同期や一定値など）でサンプリングされたデータであることを示している。なお、記号（ｎ）付きのデータは今回値であることを、記号（ｎ－１）付きのデータは前回値であることをそれぞれ示している。この点は、以下の本明細書中の他の離散データにおいても同様である。さらに、本明細書中の説明では、離散データであることを表す記号（ｎ），（ｎ－１）などを適宜、省略する。

【０１１７】

また、副吸気カム位相コントローラ２２０は、上記Ｇｃｙｌ算出部２１０で算出された気筒吸入空気量Ｇｃｙｌなどに応じて、副吸気カム位相可変機構７０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉを算出するものであり、その詳細については後述する。

【０１１８】

さらに、吸気カム間位相コントローラ２３０は、気筒間の吸入空気量のばらつきを補正するために、後述するように、３つの吸気カム間位相可変機構８０への制御入力ＤＵＴＹ＿

ｓｓｉ＃２～＃４をそれぞれ算出する。この吸気カム間位相コントローラ２３０の詳細については、後述する。

【０１１９】

次に、副吸気カム位相コントローラ２２０について説明すると、この副吸気カム位相コントローラ２２０は、図２３に示すように、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄ（制御指令値）を算出する第１ＳＰＡＳコントローラ２２１と、制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉを算出する第２ＳＰＡＳコントローラ２２５とを備えている。

【０１２０】

この第１ＳＰＡＳコントローラ２２１は、以下に述べる適応予測型応答指定制御（Self-tuning Prediction Pole Assignment Control）アルゴリズムにより、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌ、目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄおよび要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇに応じて、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄを算出するものであり、状態予測器２２２、オンボード同定器２２３およびスライディングモードコントローラ２２４で構成されている。

【０１２１】

まず、状態予測器２２２（予測手段）について説明する。この状態予測器２２２は、以下に述べる予測アルゴリズムにより、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌの予測値である予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌ（プラントの出力の予測値）を予測（算出）するものである。

【０１２２】

まず、副吸気カム位相θｍｓｉおよび気筒吸入空気量Ｇｃｙｌをそれぞれ入力および出力とする制御対象を、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と、図２４に示す式（２）が得られる。同式（２）において、ｄは制御対象の特性によって決まるむだ時間を表している。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２２３により、後述するように逐次同定される。

【０１２３】

次に、同式（２）を離散時間［ｄ－１］分、未来側にシフトさせると、図２４の式（３）が得られる。さらに、マトリクスＡ、Ｂを、モデルパラメータａ１，ａ２，ｂ１を用いて図２４に示す式（４），（５）のように定義するとともに、同式（３）における左辺の未来値［Ｇｃｙｌ（ｎ＋ｄ－２），Ｇｃｙｌ（ｎ＋ｄ－３）］を消去するために、上式（３）の漸化式を繰り返し用いることによって式（３）を変形すると、図２４に示す式（６）が得られる。

【０１２４】

この式（６）を用いることで、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌを算出することは可能であるけれども、モデル次数の不足や制御対象の非線形特性などに起因して、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌに定常偏差およびモデル化誤差が生じる可能性がある。

【０１２５】

これを回避するために、本実施形態の状態予測器２２２では、式（６）に代えて、図２４に示す式（７）により、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌを算出する。この式（７）は、式（６）の右辺に、モデル化誤差および制御対象の非線形特性に起因する、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌと気筒吸入空気量Ｇｃｙｌとの間の定常偏差を補償するための補償パラメータγ１を加入したものである。この補償パラメータγ１は、加算項（または減算項）として設定されている。

【０１２６】

次に、オンボード同定器２２３（同定手段）について説明する。このオンボード同定器２２３は、以下に述べる逐次型同定アルゴリズムにより、前述した予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌと気筒吸入空気量Ｇｃｙｌとの偏差である同定誤差ｉｄｅが最小となるように（すなわち、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌが気筒吸入空気量Ｇｃｙｌに可能な限り一致するように）、前述した式（７）におけるモデルパラメータの行列成分α１，α２，βｊおよび補償パラメータγ１のベクトルである予測係数ベクトルθｓを同定するものである。

【０１２７】
具体的には、図２５に示す式（８）～（１３）により、予測係数ベクトルθｓ（ｎ）を算出する。この予測係数ベクトルθｓ（ｎ）は、その転置行列が同図の式（１２）のように定義される。また、式（８）において、ＫＰｓ（ｎ）はゲイン係数のベクトルを表しており、このゲイン係数ＫＰｓ（ｎ）は、式（９）により算出される。この式（９）のＰｓ（ｎ）は、式（１０）で定義されるｄ＋２次の正方行列であり、ζｓ（ｎ）は、その転置行列が式（１３）のように定義されるベクトルである。さらに、式（８）の同定誤差ｉｄｅ（ｎ）は、式（１１）により算出される。
【０１２８】
以上のような同定アルゴリズムでは、式（１０）の重みパラメータλ１、λ２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、
λ１＝１，λ２＝０　；固定ゲインアルゴリズム
λ１＝１，λ２＝１　；最小２乗法アルゴリズム
λ１＝１，λ２＝λ　；漸減ゲインアルゴリズム
λ１＝λ，λ２＝１　；重み付き最小２乗法アルゴリズム
ただし、λは、０＜λ＜１に設定される所定値。
なお、本実施形態では、同定精度およびベクトルθｓの最適値への収束速度をいずれも最適に確保するために、重み付き最小２乗法アルゴリズムが採用されている。
【０１２９】
次に、スライディングモードコントローラ（以下「ＳＬＤコントローラ」という）２２４について説明する。このＳＬＤコントローラ２２４（制御指令値決定手段）は、スライディングモード制御アルゴリズムに基づいて、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌが目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄ（プラントの出力の目標値、気筒吸入空気量の目標値）に収束し、かつ副吸気カム位相θｍｓｉが基本値θｍｓｉ＿ｂａｓｅに拘束されるように、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄを算出するものであり、以下、この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。
【０１３０】
まず、このスライディングモード制御アルゴリズムでは、制御対象モデルとして、図２６に示す式（１４）を用いる。この式（１４）は、前述した図２４の式（６）を離散時間「１」分、未来側にシフトさせたものである。
【０１３１】
この式（１４）に示す制御対象モデルを用いた場合、切換関数σｓは以下のように設定される。すなわち、図２６の式（１５）に示すように、追従誤差Ｅｓを気筒吸入空気量Ｇｃｙｌと目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄとの偏差として定義すると、切換関数σｓは、図２６の式（１６）に示すように、追従誤差Ｅｓの時系列データ（離散データ）の線形関数として設定される。なお、式（１６）に示すＳｓは、切換関数設定パラメータを表している。
【０１３２】
スライディングモード制御アルゴリズムでは、本実施形態のように切換関数σｓが２つの状態変数［Ｅｓ（ｎ），Ｅｓ（ｎ－１）］で構成されている場合、図２８に示すように、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り、この位相平面上において、σｓ＝０を満たす２つの状態変数の値の組み合わせは、数式［Ｅｓ（ｎ）＝－Ｓｓ・Ｅｓ（ｎ－１）］で表される切換直線と呼ばれる直線上に載ることになる。
【０１３３】
この数式［Ｅｓ（ｎ）＝－Ｓｓ・Ｅｓ（ｎ－１）］は、入力のない一次遅れ系を表しているので、切換関数設定パラメータＳｓを、例えば－１＜Ｓｓ＜１に設定するとともに、この一次遅れ系を安定化させると、２つの状態変数［Ｅｓ（ｎ），Ｅｓ（ｎ－１）］の組み合わせは、時間の経過とともに、値０となる平衡点に収束することになる。すなわち、こ

のように追従誤差Ｅｓを値０に収束させることで、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌを目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄに収束させることができる。なお、２つの状態変数［Ｅｓ（ｎ），Ｅｓ（ｎ－１）］が切換直線に漸近するまでの間を到達モードといい、これらが平衡点にスライディングする挙動をスライディングモードという。

【０１３４】

この場合、切換関数設定パラメータＳｓを正の値に設定すると、数式［Ｅｓ（ｎ）＝－Ｓｓ・Ｅｓ（ｎ－１）］で表される一次遅れ系は振動安定系となるため、状態変数［Ｅｓ（ｎ），Ｅｓ（ｎ－１）］の収束挙動として好ましくない。したがって、本実施形態では、切換関数設定パラメータＳｓを図２６の式（１７）に示すように設定する。このように切換関数設定パラメータＳｓを設定した場合、図２９に示すように、切換関数設定パラメータＳｓの絶対値が小さいほど、追従誤差Ｅｓの値０への収束速度、すなわち気筒吸入空気量Ｇｃｙｌの目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄへの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では、切換関数設定パラメータＳｓにより、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌの目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄへの収束挙動および収束速度を、任意に指定することができる。

【０１３５】

また、これらの状態変数［Ｅｓ（ｎ），Ｅｓ（ｎ－１）］の組み合わせを切換直線上に載せるための制御入力Ｕｓｐａｓ（ｎ）［＝θｍｓｉ＿ｃｍｄ（ｎ）］は、図２６の式（１８）に示すように、指令値成分としての等価制御入力Ｕｅｑ（ｎ）、到達則入力Ｕｒｃｈ（ｎ）およびバルブ制御入力Ｕｖｔ（ｎ）の総和として定義される。

【０１３６】

この等価制御入力Ｕｅｑ（ｎ）は、［Ｅｓ（ｎ），Ｅｓ（ｎ－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２６に示す式（１９）のように定義される。この式（１９）は、以下のように導出される。すなわち、図２７に示す式（２２）を、前述した式（１６）に基づいて変形すると、図２７に示す式（２３）が得られ、次に、この式（２３）を漸化式を繰り返し用いることにより変形すると、図２７に示す式（２４）が得られる。さらに、この式（２４）において、副吸気カム位相θｍｓｉの項をまとめて変形すると、図２７に示す式（２５）が得られる。次いで、この式（２５）において、左辺の副吸気カム位相θｍｓｉ（ｎ）を等価制御入力Ｕｅｑ（ｎ）に置き換えると同時に、前述したＰｒｅ＿Ｇｃｙｌ（ｎ）　Ｇｃｙｌ（ｎ＋ｄ－１）の関係に基づき、右辺の気筒吸入空気量の未来値Ｇｃｙｌ（ｎ＋ｄ－１）などを、予測値Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌに置き換えることにより、上記式（１９）が導出される。

【０１３７】

また、到達則入力Ｕｒｃｈ（ｎ）は、外乱やモデル化誤差などにより、［Ｅｓ（ｎ），Ｅｓ（ｎ－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２６に示す式（２０）のように定義される。

【０１３８】

さらに、選択指令値成分としてのバルブ制御入力Ｕｖｔ（ｎ）は、副吸気カム位相θｍｓｉをその基本値θｍｓｉ＿ｂａｓｅに拘束するためのフィードフォワード入力であり、具体的には、図２６の式（２１）に示すように、基本値θｍｓｉ＿ｂａｓｅに等しい値として定義される。なお、この基本値θｍｓｉ＿ｂａｓｅは、後述するように、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇに応じて算出される。

【０１３９】

以上のように、この第１ＳＰＡＳコントローラ２２１では、状態予測器２２２において、補償パラメータγ１を加えた状態予測アルゴリズムにより、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌが算出されるとともに、この補償パラメータγ１がオンボード同定器２２３により逐次同定されるので、前述した予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌと気筒吸入空気量Ｇｃｙｌとの間の動特性を精度よく合致させることができ、それにより、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌと気筒吸入空気量Ｇｃｙｌとの間の定常偏差を補償しながら、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌを精度よく算出することができる。

【０１４０】
また、ＳＬＤコントローラ２２４においては、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄが到達則入力Ｕｒｃｈ、等価制御入力Ｕｅｑおよびバルブ制御入力Ｕｖｔの総和として算出されるので、これらの到達則入力Ｕｒｃｈおよび等価制御入力Ｕｅｑにより、追従誤差Ｅｓを値０に収束させることができる。すなわち、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌを目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄに収束させることができると同時に、その収束挙動および収束速度を、切換関数設定パラメータＳｓの設定により任意に指定することができる。したがって、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌの目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄへの収束速度を、制御対象（副吸気カム位相可変機構７０などを含む吸気系）の特性に応じた適切な値に設定することができ、それにより、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌを、振動的およびオーバーシュート的な挙動を回避しながら迅速かつ安定した状態で、目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄに収束させることができ、制御性を向上させることができる。
【０１４１】
さらに、バルブ制御入力Ｕｖｔにより、副吸気カム位相θｍｓｉをその基本値θｍｓｉ＿ｂａｓｅに拘束することができるとともに、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄの解として遅閉じ側および早閉じ側の２つの解があるときでも、これらの２つの解の一方を、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄの解として強制的に選択させることができる。これに加えて、オンボード同定器２２３により同定される予測係数ベクトルθｓに補償パラメータγ１が含まれていることにより、このバルブ制御入力Ｕｖｔの影響を補償しながら、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌを目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄに適切に収束させることができる。
【０１４２】
次に、前述した第２ＳＰＡＳコントローラ２２５について説明する。この第２ＳＰＡＳコントローラ２２５は、一部を除いて前述した第１ＳＰＡＳコントローラ２２１と同様の制御アルゴリズムにより、副吸気カム位相θｍｓｉおよび目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄに応じて、制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉを算出するものであり、図３０に示すように、状態予測器２２６、オンボード同定器２２７およびスライディングモードコントローラ２２８で構成されている。
【０１４３】
この状態予測器２２６は、前述した状態予測器２２２と同様の予測アルゴリズムにより、副吸気カム位相θｍｓｉの予測値である予測副吸気カム位相Ｐｒｅ＿θｍｓｉを予測（算出）するものである。
【０１４４】
具体的には、制御対象モデルとして、図３１に示す式（２６）を用いる。同式（２６）において、ｄｘは制御対象の特性によって決まるむだ時間を表しており、ａ１’，ａ２’，ｂ１’はモデルパラメータを表している。また、記号ｍは離散化した時間を表し、記号（ｍ）などの付いた各離散データは、前述した記号（ｎ）付きの離散データよりも短い所定周期でサンプリングされたデータであることを示している。この点は、以下の本明細書中の他の離散データにおいても同様であり、また、本明細書中の説明では、離散データであることを表す記号（ｍ）などを適宜、省略する。なお、上記のように、式（２６）における各離散データのサンプリング周期が、前述した式（２）における各離散データよりも短い周期に設定されている理由は、第２ＳＰＡＳコントローラ２２５による、副吸気カム位相θｍｓｉの目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄへの収束速度が、第１ＳＰＡＳコントローラ２２１による、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌの目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄへの収束速度よりも遅いと、制御性の低下を招くので、これを回避し、良好な制御性を確保するためである。
【０１４５】
マトリクスＡ’，Ｂ’を、モデルパラメータａ１’，ａ２’，ｂ１’を用いて図３１に示す式（２７），（２８）のように定義するとともに、式（２６）を前述した状態予測器２２２の場合と同様に変形することにより、図３１に示す式（２９）が導出される。この式

（２９）において、γ’は、前述した補償パラメータγと同様の、定常偏差およびモデル化誤差を補償するための補償パラメータである。

【０１４６】

また、オンボード同定器２２７も、前述したオンボード同定器２２３と同様の逐次型同定アルゴリズムにより、予測副吸気カム位相Ｐｒｅ＿θｍｓｉと副吸気カム位相θｍｓｉとの偏差である同定誤差ｉｄｅ’が最小となるように（すなわち、予測副吸気カム位相Ｐｒｅ＿θｍｓｉが副吸気カム位相θｍｓｉに一致するように）、上記式（２９）におけるモデルパラメータの行列成分α１’，α２’，βｊ’および補償パラメータγ１’のベクトルθｓ’を同定するものである。

【０１４７】

具体的には、図３２に示す式（３０）～（３５）により、ベクトルθｓ’（ｍ）を算出する。これらの式（３０）～（３５）は、前述した式（８）～（１３）と同様に構成されているので、その説明は省略する。

【０１４８】

次に、スライディングモードコントローラ（以下「ＳＬＤコントローラ」という）２２８について説明する。このＳＬＤコントローラ２２８は、スライディングモード制御アルゴリズムに基づいて、副吸気カム位相θｍｓｉが目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄに収束するように、制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉを算出するものである。

【０１４９】

具体的には、図３３の式（３６）～（４１）に示すアルゴリズムにより、制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉが算出される。すなわち、同図の式（３６）に示すように、追従誤差Ｅｓ’を、副吸気カム位相θｍｓｉと目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄとの偏差として定義すると、切換関数σｓ’および切換関数設定パラメータＳｓ’はそれぞれ、同図の式（３７）（３８）に示すように定義される。また、制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉは、同図の式（３９）に示すように、等価制御入力Ｕｅｑ’および到達則入力Ｕｒｃｈ’の総和として定義され、等価制御入力Ｕｅｑ’および到達則入力Ｕｒｃｈ’はそれぞれ、同図の式（４０），（４１）に示すように定義される。式（３９）に示すように、このＳＬＤコントローラ２２８では、副吸気カム位相θｍｓｉを目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄに収束するように制御すればよいので、前述したバルブ制御入力Ｕｖｔが、制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉの入力成分から省略されている。

【０１５０】

以上のように、この第２ＳＰＡＳコントローラ２２５でも、状態予測器２２６において、補償パラメータγ１’を加えた状態予測アルゴリズムにより予測副吸気カム位相Ｐｒｅ＿θｍｓｉが算出されるとともに、この補償パラメータγ１’がオンボード同定器２２７により逐次同定されるので、定常偏差およびモデル化誤差を補償しながら、予測副吸気カム位相Ｐｒｅ＿θｍｓｉを精度よく算出することができる。

【０１５１】

また、ＳＬＤコントローラ２２７においては、到達則入力Ｕｒｃｈ’および等価制御入力Ｕｅｑ’により、副吸気カム位相θｍｓｉを目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄに収束させることができると同時に、その収束挙動および収束速度を、切換関数設定パラメータＳｓ’の設定により任意に指定することができる。したがって、副吸気カム位相θｍｓｉの目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄへの収束速度を、制御対象（副吸気カム位相可変機構７０などを含む系）の特性に応じた適切な値に設定することができ、それにより、制御性を向上させることができる。

【０１５２】

なお、以上の２つの切換関数設定パラメータＳｓ，Ｓｓ’において、これらを－１＜Ｓｓ＜Ｓｓ’＜０の関係が成立する値に設定すると、第２ＳＰＡＳコントローラ２２５による制御の速応性を、第１ＳＰＡＳコントローラ２２１による制御よりも高めることができ、副吸気カム位相コントローラ２２０の制御性、すなわち気筒吸入空気量Ｇｃｙｌの目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄへの収束性を向上させることができる。

【０１５３】
次に、吸気カム間位相コントローラ２３０について説明する。図３４に示すように、エアフローセンサ２１によりＴＨ通過吸入空気量Ｇｔｈを検出した場合、各気筒の吸気挙動に起因して吸気の脈動も検出される。この吸気の脈動は、気筒間に吸入空気量のばらつきが生じた場合には、同図に示すように、不規則なものとなる。なお、同図は、第４気筒＃４におけるＴＨ通過吸入空気量Ｇｔｈが他の気筒よりも少ない例を示している。
【０１５４】
この吸気カム間位相コントローラ２３０は、上記のような気筒間の吸入空気量のばらつきを推定し、それを補正するための、３つの吸気カム間位相可変機構８０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｓｓｉ＃２～＃４をそれぞれ算出するものであり、適応オブザーバ２４０、３つの差分器２５０および吸気ばらつきコントローラ２６０などで構成されている（図２２参照）。この吸気カム間位相コントローラ２３０では、以下に述べるアルゴリズムにより、適応オブザーバ２４０において、４つの吸気量ばらつき係数Φ＃１～＃４が気筒毎に算出され、３つの差分器２５０において、３つの偏差ＥΦ＃２～＃４がそれぞれ算出され、さらに、吸気ばらつきコントローラ２６０において、３つの制御入力ＤＵＴＹ＿ｓｓｉ＃２～＃４がそれぞれ算出される。
【０１５５】
次に、上記適応オブザーバ２４０のアルゴリズムについて説明する。まず、図３５に示すように、エンジン３の吸気系を、４つの模擬値Ｇｃｙｌ＿ＯＳ＃１～Ｇｃｙｌ＿ＯＳ＃４および４つの吸気量ばらつき係数Φ＃１～Φ＃４で表される系として見なす。これらの模擬値Ｇｃｙｌ＿ＯＳ＃ｉ（ｉ＝１～４）は、吸入空気の吸気開始タイミングおよび吸気挙動を気筒毎に模擬化した値であり、吸気量ばらつき係数Φ＃ｉ（ｉ＝１～４）は、気筒間の吸入空気量のばらつきおよび吸気挙動の変動分を表す値である。この系を離散時間系モデルとしてモデル化すると、図３６に示す式（４２）が得られる。
【０１５６】
同式（４２）において、記号ｋは離散化した時間を表しており、記号（ｋ）付きの各離散データは、ＴＤＣ信号が発生する毎にサンプリングされたデータであることを示している（なお、離散データを、ＣＲＫ信号が発生する毎にサンプリングしたデータとしてもよい）。また、ｄ’は、吸気管８内を流れる空気がエアフローセンサ２１から各気筒に到達するまでのむだ時間を表しており、本実施形態では、所定の一定値に予め設定される。なお、むだ時間ｄ’をエンジン３の運転状態（エンジン回転数ＮＥなど）に応じて設定してもよい。
【０１５７】
本実施形態の適応オブザーバ２４０では、上記式（４２）の左辺をＴＨ通過吸入空気量の推定値Ｇｔｈ＿ｅｓｔ（ｋ）に置き換えた式、すなわち図３６の式（４３）がモデルとして用いられ、模擬値Ｇｃｙｌ＿ＯＳ＃ｉが、後述するように信号発生器２４１により生成されるとともに、式（４３）のモデルパラメータとしての吸気量ばらつき係数Φ＃ｉのベクトルφ（ｋ）が、推定値Ｇｔｈ＿ｅｓｔ（ｋ）をＴＨ通過吸入空気量Ｇｔｈ（ｋ－ｄ’）に一致させるように、図３６の式（４４）～（５０）に示す逐次型最小２乗法アルゴリズムにより、同定される。
【０１５８】
このベクトルφ（ｋ）は、その転置行列が同図の式（４９）のように定義される。また、式（４４）において、ＫＲ（ｋ）はゲイン係数のベクトルを表しており、このゲイン係数ＫＲ（ｋ）は、式（４５）により算出される。この式（４５）のＲ（ｋ）は、式（４８）で定義される４次の正方行列であり、ζ’（ｋ）は、その転置行列が式（５０）のように定義されるベクトルである。さらに、式（４４）のｉｄｅ’（ｋ）は、同定誤差を表しており、この同定誤差ｉｄｅ’（ｋ）は、式（４６），（４７）により算出される。
【０１５９】
以上のように、この適応オブザーバ２４０では、上記式（４４）～（５０）に示す逐次型最小２乗法アルゴリズムにより、吸気量ばらつき係数Φ＃ｉのベクトルφ（ｋ）が同定さ

れる。それにより、エンジン３の運転状態が急変することなどに伴う吸気挙動のノイズ的な変動成分を、吸気量ばらつき係数Φ＃ｉから除去（フィルタリング）することができ、吸気量ばらつき係数Φ＃ｉを、気筒間の吸入空気量のばらつきを実質的に示す値として算出することができる。

【０１６０】

以上の適応オブザーバ２４０の構成は、図３７のブロック図に示すものとなる。すなわち、同図に示すように、この適応オブザーバ２４０では、信号発生器２４１により、模擬値Ｇｃｙｌ＿ＯＳ＃ｉのベクトルζ’（ｋ）が生成される。より具体的には、この信号発生器２４１では、図３８に示すように、模擬値Ｇｃｙｌ＿ＯＳ＃ｉは、互いの和が常に値１になるように、三角波や台形波などを交互に組み合わせたような信号値として生成される。さらに、乗算器２４２において、この模擬値のベクトルζ’（ｋ）に、遅延素子２４３で遅延された吸気量ばらつき係数のベクトルφ（ｋ－１）を乗算した値として、ＴＨ通過吸入空気量の推定値Ｇｔｈ＿ｅｓｔ（ｋ）が生成される。そして、差分器２４４により、遅延素子２４５で遅延されたＴＨ通過吸入空気量Ｇｔｈ（ｋ－ｄ’）と、推定値Ｇｔｈ＿ｅｓｔ（ｋ）との偏差として、同定誤差ｉｄｅ’（ｋ）が生成される。

【０１６１】

また、論理演算器２４６により、模擬値のベクトルζ’（ｋ）に基づいて、ゲイン係数のベクトルＫＲ（ｋ）が生成され、乗算器２４７において、同定誤差ｉｄｅ’（ｋ）とゲイン係数のベクトルＫＲ（ｋ）の積［ｉｄｅ’（ｋ）・ＫＲ（ｋ）］が生成される。次に、加算器２４８により、積［ｉｄｅ’（ｋ）・ＫＲ（ｋ）］と、遅延素子２４３で遅延された吸気量ばらつき係数のベクトルφ（ｋ－１）との和として、吸気量ばらつき係数のベクトルφ（ｋ）が生成される。

【０１６２】

以上のように、適応オブザーバ２４０において、４つの吸気量ばらつき係数Φ＃１～＃４が算出され、前述した３つの差分器２５０では、これらの吸気量ばらつき係数Φ＃１～＃４に基づき、図３９の式（５１）により３つの偏差ＥΦ＃２～＃４がそれぞれ算出される。

【０１６３】

次に、前述した吸気ばらつきコントローラ２６０について説明する。図４０に示すように、吸気ばらつきコントローラ２６０は、目標吸気カム間位相コントローラ２６１および第３ＳＰＡＳコントローラ２６２を備えている。この目標吸気カム間位相コントローラ２６１は、気筒間のＴＨ通過吸入空気量Ｇｔｈのばらつきを補正するために目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄを算出するものである。

【０１６４】

具体的には、目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄは、３つの偏差ＥΦ＃２～＃４に基づいて、図３９の式（５２），（５３）に示す応答指定型制御アルゴリズム（スライディングモード制御アルゴリズムまたはバックステッピング制御アルゴリズム）により算出される。なお、式（５２）のσ’（ｋ）は切換関数を示している。目標吸気カム間位相コントローラ２６１では、この応答指定型制御アルゴリズムにより、ＥΦ＃ｉ（＃ｉ＝２～４）が値０になるように、目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄ（＃ｉ＝２～４）が算出される。言い換えれば、第１気筒＃１の吸気量ばらつき係数Φ＃１に、他の３つの気筒の吸気量ばらつき係数Φ＃２～＃４が一致するように、目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄが算出される。

【０１６５】

また、第３ＳＰＡＳコントローラ２６２では、吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉが上記のように算出された目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄに収束するように、吸気カム間位相可変機構８０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｓｓｉ＃ｉが算出される。この制御入力ＤＵＴＹ＿ｓｓｉ＃ｉは、具体的には、前述した第２ＳＰＡＳコントローラ２２５における制御アルゴリズムと同じアルゴリズムにより算出されるので、その説明は省略する。

【０１６６】

以上のように、吸気カム間位相コントローラ２３０では、目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄが、第１気筒＃１の吸気量ばらつき係数Φ＃１に他の３つの気筒の吸気量ばらつき係数Φ＃２～＃４が一致するように、算出され、さらに、吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉが目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄに収束するように、制御入力ＤＵＴＹ＿ｓｓｉ＃ｉが算出される。すなわち、第２～第４気筒＃２～＃４の吸入空気量が第１気筒＃１の吸入空気量と一致するように制御され、その結果、気筒間の吸入空気量のばらつきを補正することができる。

【０１６７】

なお、図３４に示すように、吸気管内絶対圧センサ２４で吸気管内絶対圧ＰＢＡを検出した場合でも、吸気の脈動を検出することができるので、以上の式（４２）～（５３）において、「Ｇｔｈ」で表されるパラメータを「ＰＢＡ」で表されるパラメータに置き換えたアルゴリズムと、吸気管内絶対圧センサ２４で検出された吸気管内絶対圧ＰＢＡとを用いることにより、気筒間の吸入空気量のばらつきを補正するための吸気カム間位相コントローラ２３０を構成することができる。

【０１６８】

図４１に示すように、制御装置１は、副排気カム位相コントローラ２８０をさらに備えている。この副排気カム位相コントローラ２８０は、後述する触媒暖機制御において、副排気カム位相可変機構１２０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｅを算出するものであり、目標副排気カム位相コントローラ２８１および第４ＳＰＡＳコントローラ２８２を備えている。

【０１６９】

この目標副排気カム位相コントローラ２８１では、エンジン回転数ＮＥおよび目標回転数ＮＥ＿ｃｍｄに基づいて、目標副排気カム位相θｍｓｅ＿ｃｍｄが算出される。具体的には、目標副排気カム位相θｍｓｅ＿ｃｍｄは、図４２の式（５４）～（５６）に示す制御アルゴリズムにより算出される。同図の式（５４）において、θｍｓｅ＿ａｓｔは、後述するように、テーブル検索により設定される目標副排気カム位相の触媒暖機用値であり、ｄθｍｓｅは、式（５５），（５６）の応答指定型制御アルゴリズム（スライディングモード制御アルゴリズムまたはバックステッピング制御アルゴリズム）により算出される補正量を示している。この式（５５）において、Ｋａｓｔｒ，Ｋａｓｔａはそれぞれ、フィードバックゲインを示しており、σａｓｔは、式（５６）のように定義される切換関数を示している。また、式（５６）において、Ｓａｓｔは、－１＜Ｓａｓｔ＜０の範囲の値に設定される切換関数設定パラメータであり、また、ＮＥ＿ｃｍｄは所定の一定値（例えば１８００ｒｐｍ）に設定される目標回転数である。

【０１７０】

また、第４ＳＰＡＳコントローラ２８２では、副排気カム位相θｍｓｅが上記のように算出された目標副排気カム位相θｍｓｅ＿ｃｍｄに収束するように、副排気カム位相可変機構１２０への制御入力ＤＵＴＹ＿θｍｓｅが算出される。この制御入力ＤＵＴＹ＿θｍｓｅは、具体的には、前述した第２ＳＰＡＳコントローラ２２５における制御アルゴリズムと同じアルゴリズムにより算出されるので、その説明は省略する。

【０１７１】

以上のように、この副排気カム位相コントローラ２８０では、エンジン回転数ＮＥおよび目標回転数ＮＥ＿ｃｍｄに基づいて、目標副排気カム位相θｍｓｅ＿ｃｍｄが算出され、この目標副排気カム位相θｍｓｅ＿ｃｍｄに副排気カム位相θｍｓｅが収束するように、排気カム位相可変機構１２０への制御入力ＤＵＴＹ＿θｍｓｅが算出される。その結果、エンジン回転数ＮＥを目標回転数ＮＥ＿ｃｍｄに精度よく制御することができる。

【０１７２】

以下、図４３を参照しながら、ＥＣＵ２により実行されるエンジン制御処理について説明する。同図は、エンジン制御処理の主要な制御内容を示しており、このプログラムでは、まず、ステップ１（図では「Ｓ１」と略す。以下同じ）において、燃料制御処理を実行する。この燃料制御処理は、エンジン３の運転状態に応じて、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇ、主燃料噴射率Ｒｔ＿Ｐｒｅ、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌ、目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃ

ｍｄおよび燃料噴射量ＴＯＵＴ＿ｍａｉｎ，ＴＯＵＴ＿ｓｕｂなどを算出するものであり、その具体的な内容は後述する。

【０１７３】

次いで、ステップ２で、過給圧制御処理を実行する。この過給圧制御処理は、エンジン３の運転状態に応じて、ウエストゲート弁１０ｄへの制御入力Ｄｕｔ＿ｗｇを算出するものであり、その具体的な内容は後述する。

【０１７４】

次に、ステップ３で、吸気弁制御処理を実行する。この吸気弁制御処理は、エンジン３の運転状態に応じて、前述した各種の制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｉ、ＤＵＴＹ＿ｍｓｉおよびＤＵＴＹ＿ｓｓｉ＃２～＃４を算出するものであり、その具体的な内容は後述する。

【０１７５】

次いで、ステップ４で、排気弁制御処理を実行する。この排気弁制御処理は、エンジン３の運転状態に応じて、前述した各種の制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｅ、ＤＵＴＹ＿ｍｓｅおよびＤＵＴＹ＿ｓｓｅ＃２～＃４をそれぞれ算出するものであり、その具体的な内容は後述する。

【０１７６】

次に、ステップ５で、スロットル弁制御処理を実行する。このスロットル弁制御処理は、エンジン３の運転状態に応じて、前述した制御入力ＤＵＴＹ＿ｔｈを算出するものであり、その具体的な内容は後述する。

【０１７７】

次いで、ステップ６で、点火時期制御処理を実行した後、本プログラムを終了する。この点火時期制御処理は、その詳細な説明は省略するが、エンジン３の運転状態に応じて、点火プラグ５による混合気の点火時期θｉｇを算出するものである。より具体的には、点火時期θｉｇは、エンジン３の始動制御中は通常のアイドル運転用値θｉｇｉｄｌｅ（図６６参照）よりも進角側の値に設定され、始動後の触媒暖機制御中はアイドル運転用値θｉｇｉｄｌｅよりも遅角側の値に設定される。すなわち、点火時期のリタード制御が実行される。さらに、通常運転中は、エンジン３の運転状態に応じて設定される。

【０１７８】

次に、図４４を参照しながら、上記ステップ１の燃料制御処理について説明する。同図に示すように、このプログラムでは、まず、ステップ１０において、吸排気弁故障フラグＦ＿ＶＬＶＮＧまたはスロットル弁故障フラグＦ＿ＴＨＮＧが「１」であるか否かを判別する。この吸排気弁故障フラグＦ＿ＶＬＶＮＧは、可変式吸気弁駆動装置４０または可変式排気弁駆動装置９０が故障しているときには「１」に、双方が正常であるときには「０」にそれぞれ設定されるものである。また、スロットル弁故障フラグＦ＿ＴＨＮＧは、スロットル弁機構１６が故障しているときには「１」に、正常であるときには「０」にそれぞれ設定されるものである。

【０１７９】

ステップ１０の判別結果がＮＯで、可変式吸気弁駆動装置４０、可変式排気弁駆動装置９０およびスロットル弁機構１６がいずれも正常であるときには、ステップ１１に進み、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇを、エンジン回転数ＮＥおよびアクセル開度ＡＰに応じて、図４５に示すマップを検索することにより算出する。

【０１８０】

図中のアクセル開度ＡＰの所定値ＡＰ１～３は、ＡＰ１＞ＡＰ２＞ＡＰ３の関係が成立するように設定されているとともに、所定値ＡＰ１は、アクセル開度ＡＰの最大値すなわち最大踏み込み量に設定されている。同図に示すように、このマップでは、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇは、ＮＥ≦ＮＥＲ２（所定値）の範囲では、エンジン回転数ＮＥが高いほど、またアクセル開度ＡＰが大きいほど、より大きな値に設定されている。これは、エンジン３の負荷が大きいほど、要求されるエンジントルクが大きくなることによる。なお、ＡＰ＝ＡＰ１の場合、ＮＥＲ１（所定値）＜ＮＥ≦ＮＥＲ２の範囲では、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇは、その最大値に設定される。さらに、ＮＥＲ２＜ＮＥの範囲では、要求

駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇは、アクセル開度ＡＰが大きいほど、より大きな値に設定されていると同時に、エンジン回転数ＮＥが高いほど、より小さな値に設定されている。これは、エンジン回転数ＮＥに対するエンジントルクの出力特性に起因する。

【０１８１】

ステップ１１に続くステップ１２では、ステップ１１で算出した要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが、所定の成層燃焼運転しきい値ＴＲＱ＿ｄｉｓｃよりも小さいか否かを判別する。なお、成層燃焼運転とは、主燃料噴射弁４による気筒内への燃料噴射を圧縮行程中に行うことにより混合気を成層燃焼させる運転を表している。

【０１８２】

このステップ１２の判別結果がＹＥＳで、エンジン３を成層燃焼運転すべきときには、ステップ１３に進み、成層燃焼運転用の目標空燃比ＫＣＭＤ＿ｄｉｓｃを、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇ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する。なお、このテーブルでは、成層燃焼運転用の目標空燃比ＫＣＭＤ＿ｄｉｓｃは、所定の極リーン域の値（例えばＡ／Ｆ＝３０～４０）に設定されている。

【０１８３】

次に、ステップ１４に進み、目標空燃比ＫＣＭＤを成層燃焼運転用の目標空燃比ＫＣＭＤ＿ｄｉｓｃに設定した後、ステップ１５で、主燃料噴射率Ｒｔ＿Ｐｒｅを所定の最大値Ｒｔｍａｘ（１００％）に設定する。これにより、後述するように、副燃料噴射弁１５による燃料噴射が停止される。ステップ１６に進み、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌおよび目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄを算出する。

【０１８４】

これらの気筒吸入空気量Ｇｃｙｌおよび目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄは、具体的には、図４６に示すプログラムにより算出される。すなわち、まず、同図のステップ３０で、前述した式（１）により、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌを算出する。

【０１８５】

次いで、ステップ３１で、目標吸入空気量の基本値Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄ＿ｂａｓｅを、エンジン回転数ＮＥおよび要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇに応じて、図４７に示すマップを検索することにより算出する。なお、このマップにおける要求駆動トルクの所定値ＴＲＱ＿ｅｎｇ１～３は、ＴＲＱ＿ｅｎｇ１＞ＴＲＱ＿ｅｎｇ２＞ＴＲＱ＿ｅｎｇ３の関係が成立するように設定されている。同図に示すように、目標吸入空気量の基本値Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄ＿ｂａｓｅは、エンジン回転数ＮＥが高いほど、または要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、より大きな値に設定されている。これは、エンジン３の負荷が大きいほど、より大きなエンジン出力が要求されることで、より多くの吸入空気量が要求されることによる。

【０１８６】

次に、ステップ３２で、空燃比補正係数Ｋｇｃｙｌ＿ａｆを、目標空燃比ＫＣＭＤに応じて、図４８に示すテーブルを検索することにより算出する。このテーブルでは、空燃比補正係数Ｋｇｃｙｌ＿ａｆは、目標空燃比ＫＣＭＤがリッチ側であるほど、より小さい値に設定されている。これは、混合気の空燃比がよりリッチ側に制御されるほど、必要な吸入空気量がより小さくなることによる。なお、同図の値ＫＣＭＤＳＴは、理論空燃比に相当する値である。

【０１８７】

次いで、ステップ３３に進み、目標吸入空気量の基本値および空燃比補正係数の積（Ｋｇｃｙｌ＿ａｆ・Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄ＿ｂａｓｅ）を、目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄとして設定した後、本プログラムを終了する。

【０１８８】

図４４に戻り、以上のようにステップ１６を実行した後、ステップ１７に進み、燃料噴射制御処理を実行する。この燃料噴射制御処理では、具体的には、以下のように、主・副燃料噴射弁４，１５への制御入力が算出される。

【０１８９】

まず、主燃料噴射弁４の燃料噴射量である主燃料噴射量ＴＯＵＴ＿ｍａｉｎ、および副燃料噴射弁１５の燃料噴射量である副燃料噴射量ＴＯＵＴ＿ｓｕｂを算出する。すなわち、エンジン３の運転状態および前述した目標空燃比ＫＣＭＤに基づいて、最終的な気筒毎の総燃料噴射量ＴＯＵＴを気筒毎に算出し、次いで、下式（５７），（５８）により、主・副燃料噴射量ＴＯＵＴ＿ｍａｉｎ，ＴＯＵＴ＿ｓｕｂをそれぞれ算出する。

TOUT_main＝［TOUT・Rt_Pre］／100　　……（５７）

TOUT_sub ＝［TOUT・（100－Rt_Pre）］／100　　……（５８）

この式（５８）を参照すると、Ｒｔ＿Ｐｒｅ＝Ｒｔｍａｘ（１００％）のときには、ＴＯＵＴ＿ｓｕｂ＝０となり、副燃料噴射弁１５による燃料噴射が停止されることが判る。

【０１９０】

次いで、算出された主・副燃料噴射量ＴＯＵＴ＿ｍａｉｎ，ＴＯＵＴ＿ｓｕｂに応じて、図示しないテーブルを検索することにより、主・副燃料噴射弁４，１５への制御入力を算出する。以上のようにステップ１７を実行した後、本プログラムを終了する。

【０１９１】

一方、ステップ１２の判別結果がＮＯのときには、エンジン３を成層燃焼運転ではなく、均一燃焼運転のうちの予混合リーン運転すべきであるとして、ステップ１８に進み、予混合リーン運転用の目標空燃比ＫＣＭＤ＿ｌｅａｎを、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇ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する。なお、このテーブルでは、予混合リーン運転用の目標空燃比ＫＣＭＤ＿ｌｅａｎは、所定のリーン域の値（例えばＡ／Ｆ＝１８～２１）に設定されている。

【０１９２】

次いで、ステップ１９に進み、目標空燃比ＫＣＭＤを予混合リーン運転用の目標空燃比ＫＣＭＤ＿ｌｅａｎに設定した後、ステップ２０において、主燃料噴射率Ｒｔ＿Ｐｒｅを、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇに応じて、図４９に示すテーブルを検索することにより算出する。なお、同図を含む以下のテーブルおよびマップにおいて、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇの各種の所定値ＴＲＱ＿ｉｄｌｅ、ＴＲＱ＿ｄｉｓｃ、ＴＲＱｏｔｔおよびＴＲＱ１～ＴＲＱ４はそれぞれ、ＴＲＱ＿ｉｄｌｅ＜ＴＲＱ＿ｄｉｓｃ＜ＴＲＱ１＜ＴＲＱｏｔｔ＜ＴＲＱ２＜ＴＲＱ３＜ＴＲＱ４の関係が成立する値に設定されている。また、ＴＲＱ＿ｉｄｌｅは、所定のアイドル運転用値を表している。

【０１９３】

同図に示すように、このテーブルでは、主燃料噴射率Ｒｔ＿Ｐｒｅは、ＴＲＱ１＜ＴＲＱ＿ｅｎｇ＜ＴＲＱ４の範囲では、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、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、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、過給圧Ｐｃが高くなるように制御されることで、吸入空気の温度が上昇するため、ノッキングが発生しやすくなる。したがって、このようなノッキングを回避するために、副燃料噴射弁１５の燃料噴射量ＴＯＵＴ＿ｓｕｂを増大させることで、前述した燃料気化冷却装置１２による吸入空気の冷却効果を高める必要があるので、主燃料噴射率Ｒｔ＿Ｐｒｅが上記のように設定されている。

【０１９４】

また、このテーブルでは、主燃料噴射率Ｒｔ＿Ｐｒｅは、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが所定値ＴＲＱ４以上の範囲では、所定の最小値Ｒｔｍｉｎ（１０％）に設定され、所定値ＴＲＱ１以下の範囲では、前述した最大値Ｒｔｍａｘに設定されている。

【０１９５】

このステップ２０の実行後は、前述したステップ１６，１７を実行した後、本プログラムを終了する。

【０１９６】

一方、ステップ１０の判別結果がＹＥＳで、可変式吸気弁駆動装置４０、可変式排気弁駆動装置９０およびスロットル弁機構１６のいずれかが故障しているときには、ステップ２１に進み、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇを所定の故障時用値ＴＲＱ＿ｆｓに設定する。この後、ステップ２２に進み、主燃料噴射率Ｒｔ＿Ｐｒｅを前述した最大値Ｒｔｍａｘに

設定する。次いで、前述したように、ステップ１６，１７を実行した後、本プログラムを終了する。

【０１９７】

次に、図５０を参照しながら、前述した過給圧制御処理について説明する。同図に示すように、このプログラムでは、まず、ステップ４０において、前述した吸排気弁故障フラグＦ＿ＶＬＶＮＧまたはスロットル弁故障フラグＦ＿ＴＨＮＧが「１」であるか否かを判別する。

【０１９８】

この判別結果がＮＯで、可変式吸気弁駆動装置４０、可変式排気弁駆動装置９０およびスロットル弁機構１６がいずれも正常であるときには、ステップ４１に進み、エンジン始動フラグＦ＿ＥＮＧＳＴＡＲＴが「１」であるか否かを判別する。このエンジン始動フラグＦ＿ＥＮＧＳＴＡＲＴは、図示しない判定処理において、エンジン回転数ＮＥおよびＩＧ・ＳＷ３６の出力状態に応じて、エンジン始動制御中すなわちクランキング中であるか否かを判定することにより設定されるものであり、具体的には、エンジン始動制御中であるときには「１」に、それ以外のときには「０」にそれぞれ設定される。

【０１９９】

このステップ４１の判別結果がＹＥＳで、エンジン始動制御中であるときには、ステップ４３に進み、ウエストゲート弁１０ｄへの制御入力Ｄｕｔ＿ｗｇを、所定の全開値Ｄｕｔ＿ｗｇｍａｘに設定した後、本プログラムを終了する。これにより、ウエストゲート弁１０ｄが全開状態に制御され、ターボチャージャ装置１０による過給動作が実質的に停止される。

【０２００】

一方、ステップ４１の判別結果がＮＯで、エンジン始動制御中でないときには、ステップ４２に進み、エンジンの始動終了直後からの経過時間である触媒暖機制御の実行時間Ｔｃａｔが所定値Ｔｃａｔｌｍｔ（例えば、３０ｓｅｃ）より小さいか否かを判別する。この触媒暖機制御は、エンジン始動後に触媒装置１９ａ，１９ｂ内の触媒を急速に活性化させるためのものである。

【０２０１】

このステップ４２の判別結果がＹＥＳで、Ｔｃａｔ＜Ｔｃａｔｌｍｔのときには、ステップ４４に進み、アクセル開度ＡＰが所定値ＡＰＲＥＦより小さいか否かを判別する。この所定値ＡＰＲＥＦは、アクセルペダルが踏まれていないことを判定するためのものであり、アクセルペダルが踏まれていないことを判定可能な値（例えば１°）に設定されている。

【０２０２】

このステップ４４の判別結果がＹＥＳで、アクセルペダルが踏まれていないときには、触媒暖機制御を実行すべきであるとして、ステップ４５に進み、上記ステップ４３と同様に、ウエストゲート弁１０ｄへの制御入力Ｄｕｔ＿ｗｇを、前述した全開値Ｄｕｔ＿ｗｇｍａｘに設定した後、本プログラムを終了する。

【０２０３】

一方、ステップ４２またはステップ４４の判別結果がＮＯのとき、すなわち、エンジン始動制御中でなくかつＴｃａｔ≧Ｔｃａｔｌｍｔであるとき、またはアクセルペダルが踏まれているときには、ステップ４６に進み、制御入力Ｄｕｔ＿ｗｇの基本値Ｄｕｔ＿ｗｇ＿ｂｓを、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇに応じて、図５１に示すテーブルを検索することにより算出する。

【０２０４】

同図に示すように、このテーブルでは、基本値Ｄｕｔ＿ｗｇ＿ｂｓは、ＴＲＱ１＜ＴＲＱ＿ｅｎｇ＜ＴＲＱ２の範囲では、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、より小さい値に設定されている。これは、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、過給による充填効率の上昇を目的として過給圧Ｐｃをより高める必要があるからである。また、基本値Ｄｕｔ＿ｗｇ＿ｂｓは、ＴＲＱ２≦ＴＲＱ＿ｅｎｇ≦ＴＲＱ３の範囲では、所定の全

閉値Ｄｕｔ＿ｗｇｍｉｎに設定されており、これは、エンジン３の負荷が高負荷域にあるのに応じて、過給効果を最大限に得るためである。さらに、基本値Ｄｕｔ＿ｗｇ＿ｂｓは、ＴＲＱ３＜ＴＲＱ＿ｅｎｇの範囲では、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、より小さい値に設定されており、これは、ノッキングの発生を回避するためである。

【０２０５】

次いで、ステップ４７で、目標過給圧Ｐｃ＿ｃｍｄを、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇに応じて、図５２に示すテーブルを検索することにより算出する。同図に示すように、このテーブルでは、目標過給圧Ｐｃ＿ｃｍｄは、ＴＲＱ＿ｉｄｌｅ＜ＴＲＱ＿ｅｎｇ＜ＴＲＱ２の範囲では、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、より大きい値に設定されている。これは、上述したように、過給による充填効率をより高めるためである。また、目標過給圧Ｐｃ＿ｃｍｄは、ＴＲＱ２≦ＴＲＱ＿ｅｎｇ≦ＴＲＱ３の範囲では、所定値に設定されており、これは、上述したように過給効果を最大限に得るためである。さらに、目標過給圧Ｐｃ＿ｃｍｄは、ＴＲＱ３＜ＴＲＱ＿ｅｎｇ＜ＴＲＱ４の範囲では、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、より小さい値に設定されており、これは、ノッキングの発生を回避するためである。なお、同図におけるＰａｔｍは大気圧を示しており、この点は以下においても同様である。

【０２０６】

次に、ステップ４８に進み、下式（５９）に示すＩ－Ｐ制御アルゴリズムにより、制御入力Ｄｕｔ＿ｗｇを算出した後、本プログラムを終了する。これにより、過給圧Ｐｃが目標過給圧Ｐｃ＿ｃｍｄに収束するように、フィードバック制御される。

Dut_wg＝Dut_wg_bs＋Kpwg・Pc＋Kiwg・Σ(Pc-Pc_cmd)　　……（５９）

ここで、ＫｐｗｇはＰ項ゲインを、ＫｉｗｇはＩ項ゲインをそれぞれ表している。

【０２０７】

一方、ステップ４０の判別結果がＹＥＳで、可変式吸気弁駆動装置４０、可変式排気弁駆動装置９０およびスロットル弁機構１６のいずれかが故障しているときには、ステップ４９に進み、前述したステップ４３，４５と同様に、ウエストゲート弁１０ｄへの制御入力Ｄｕｔ＿ｗｇを、全開値Ｄｕｔ＿ｗｇｍａｘに設定した後、本プログラムを終了する。

【０２０８】

次に、図５３，５４を参照しながら、前述したステップ３の吸気弁制御処理について説明する。同図に示すように、このプログラムでは、まず、ステップ６０で、前述した吸排気弁故障フラグＦ＿ＶＬＶＮＧが「１」であるか否かを判別し、この判別結果がＮＯで、可変式吸気弁駆動装置４０および可変式排気弁駆動装置９０がいずれも正常であるときには、ステップ６１に進み、前述したエンジン始動フラグＦ＿ＥＮＧＳＴＡＲＴが「１」であるか否かを判別する。

【０２０９】

この判別結果がＹＥＳで、エンジン始動制御中であるときには、ステップ６２に進み、主吸気カム位相θｍｉの目標値である目標主吸気カム位相θｍｉ＿ｃｍｄを所定のアイドル用値θｍｉ＿ｉｄｌｅに設定する。

【０２１０】

次いで、ステップ６３に進み、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄを所定の始動用値θｍｓｉ＿ｓｔに設定する。この始動用値θｍｓｉ＿ｓｔは、吸気弁６の遅閉じ用の所定値として設定されている。この後、ステップ６４に進み、目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄ（＃ｉ＝＃２～＃４）をいずれも値０に設定する。

【０２１１】

次に、図５４のステップ６５に進み、主吸気カム位相可変機構６０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｉを、目標主吸気カム位相θｍｉ＿ｃｍｄ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する。この後、ステップ６６で、副吸気カム位相可変機構７０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉを、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄ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する。なお、このステップ６６において、後述するステップ７５と同様の手法により、制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉを算出してもよい。

【０２１２】
次いで、ステップ６７で、吸気カム間位相可変機構８０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｓｓｉ＃ｉを、目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄ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した後、本プログラムを終了する。
【０２１３】
図５３に戻り、ステップ６１の判別結果がＮＯで、エンジン始動制御中でないときには、ステップ６８に進み、前述した触媒暖機制御の実行時間Ｔｃａｔが所定値Ｔｃａｔｌｍｔより小さいか否かを判別する。この判別結果がＹＥＳであるときには、ステップ６９に進み、アクセル開度ＡＰが所定値ＡＰＲＥＦより小さいか否かを判別する。
【０２１４】
このステップ６９の判別結果がＹＥＳで、アクセルペダルが踏まれていないときには、触媒暖機制御を実行すべきであるとして、ステップ７０に進み、目標主吸気カム位相θｍｉ＿ｃｍｄを前述した所定のアイドル用値θｍｉ＿ｉｄｌｅに設定する。
【０２１５】
次いで、ステップ７１に進み、目標副吸気カム位相の触媒暖機用値θｍｓｉ＿ｃｗを、前述した触媒暖機制御の実行時間Ｔｃａｔに応じて、図５５に示すテーブルを検索することにより算出する。同図における値θｍｓｉｏｔｔは、吸気弁６のバルブタイミングがオットー吸気カムと同じになる副吸気カム位相θｍｓｉのオットー位相値（＝カム角９０ｄｅｇ）を示しており、この点は以下の説明においても同様である。
【０２１６】
次に、ステップ７２で、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄを上記触媒暖機用値θｍｓｉ＿ｃｗに設定した後、ステップ７３で、上記ステップ６４と同様に、目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄ（＃ｉ＝＃２～＃４）をいずれも値０に設定する。
【０２１７】
次いで、図５４のステップ７４に進み、主吸気カム位相可変機構６０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｉを、目標主吸気カム位相θｍｉ＿ｃｍｄおよび主吸気カム位相θｍｉに応じて、算出する。この制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｉは、前述した第２ＳＰＡＳコントローラ２２５による制御アルゴリズムと同じアルゴリズムにより算出される。
【０２１８】
次いで、ステップ７５で、第２ＳＰＡＳコントローラ２２５の制御アルゴリズムにより、副吸気カム位相可変機構７０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉを算出する。すなわち、前述した式（２９）の予測アルゴリズム、式（３０）～（３５）の同定アルゴリズム、および式（３６）～（４１）のスライディングモード制御アルゴリズムをそれぞれ適用することにより、制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉを算出する。
【０２１９】
次に、ステップ７６で、第３ＳＰＡＳコントローラ２６２の制御アルゴリズムにより、ステップ７３で算出した目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄおよび吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉに応じて、吸気カム間位相可変機構８０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｓｓｉ＃ｉ（＃ｉ＝＃２～＃４）を算出した後、本プログラムを終了する。なお、この制御入力ＤＵＴＹ＿ｓｓｉ＃ｉは、前述したように、第２ＳＰＡＳコントローラ２２５の制御アルゴリズム、すなわち上記制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉの算出に用いる制御アルゴリズムと同じアルゴリズムにより算出される。
【０２２０】
図５３に戻り、ステップ６８またはステップ６９の判別結果がＮＯのとき、すなわち、エンジン始動制御中でなくかつＴｃａｔ≧Ｔｃａｔｌｍｔであるとき、またはアクセルペダルが踏まれているときには、ステップ７７に進み、目標主吸気カム位相の通常運転値θｍｉ＿ｄｒｖを、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇおよびエンジン回転数ＮＥに応じて、図５６に示すマップを検索することにより算出する。
【０２２１】
同図において、エンジン回転数ＮＥの所定値ＮＥ１～ＮＥ３はそれぞれ、ＮＥ１＞ＮＥ２

＞ＮＥ３の関係が成立するように設定されており、この点は、以下においても同様である。このマップでは、通常運転値θｍｉ＿ｄｒｖは、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、またはエンジン回転数ＮＥが高いほど、より進角側の値に設定されている。これは、エンジン負荷が高いほど、主吸気カム位相θｍｉを進角させ、吸気弁６の開閉タイミングを進角させることにより、エンジン出力を適切に確保するためである。

【０２２２】

次に、ステップ７８で、目標主吸気カム位相θｍｉ＿ｃｍｄを上記通常運転値θｍｉ＿ｄｒｖに設定した後、ステップ７９に進み、前述した副吸気カム位相の基本値θｍｓｉ＿ｂａｓｅを、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇに応じて、図５７に示すテーブルを検索することにより算出する。

【０２２３】

同図に示すように、このテーブルにおいて、基本値θｍｓｉ＿ｂａｓｅは、ＴＲＱ＿ｅｎｇ＜ＴＲＱ＿ｄｉｓｃの範囲、すなわちエンジン３の成層燃焼運転域では、遅閉じ側の一定値に設定されている。これは、成層燃焼運転を実行するような低負荷域での燃焼状態を安定させるためである。また、基本値θｍｓｉ＿ｂａｓｅは、ＴＲＱ＿ｄｉｓｃ≦ＴＲＱ＿ｅｎｇ≦ＴＲＱｏｔｔの範囲では、基本値θｍｓｉ＿ｂａｓｅは、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、遅閉じ度合いが小さくなるように設定されている。これは、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、吸気弁６の遅閉じ度合いに起因するインテークマニホールド内への燃料の吹き戻し量がより大きくなるので、それを回避するためである。また、ＴＲＱ＿ｅｎｇ＝ＴＲＱｏｔｔのときには、基本値θｍｓｉ＿ｂａｓｅがオットー位相値θｍｓｉｏｔｔに設定されている。

【０２２４】

さらに、基本値θｍｓｉ＿ｂａｓｅは、ＴＲＱｏｔｔ＜ＴＲＱ＿ｅｎｇ＜ＴＲＱ２の範囲では、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、早閉じ度合いが大きくなるように設定されており、これは、高膨張比サイクル運転によって燃焼効率を高めるためである。

【０２２５】

また、ＴＲＱ２≦ＴＲＱ＿ｅｎｇ＜ＴＲＱ４の範囲では、基本値θｍｓｉ＿ｂａｓｅは、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、吸気弁６の早閉じ度合いが小さくなるように設定されている。これは、以下の理由による。すなわち、ＴＲＱ２≦ＴＲＱ＿ｅｎｇ＜ＴＲＱ４のような高負荷域では、後述するように、ノッキングの発生を回避するために過給動作が制限されるので、そのような過給動作の制限により充填効率が低下した状態で、吸気弁６の早閉じ度合いを大きい状態に制御すると、発生トルクの低下を招いてしまう。したがって、このような発生トルクの低下を補償するために、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、吸気弁６の早閉じ度合いが小さくなるように設定されている。

【０２２６】

ステップ７９に続くステップ８０では、前述した第１ＳＰＡＳコントローラ２２１の制御アルゴリズムにより目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄを算出する。すなわち、前述した式（７）の予測アルゴリズム、式（８）～（１３）の同定アルゴリズム、および式（１５）～（２１）のスライディングモード制御アルゴリズムを適用することにより、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄを算出する。

【０２２７】

次いで、ステップ８１で、前述した吸気カム間位相コントローラ２３０の制御アルゴリズムにより、目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄ（＃ｉ＝＃２～＃４）を算出する。すなわち、式（４４）～（５０）の同定アルゴリズムにより、吸気量ばらつき係数Φ＃１～Φ＃４が同定され、式（５１）により、これらの吸気量ばらつき係数Φ＃１～Φ＃４の偏差ＥΦ＃２～＃４が算出され、式（５２），（５３）の応答指定型制御アルゴリズムにより、これらの偏差ＥΦ＃２～＃４が値０に収束するように、目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄが算出される。次に、前述したように図５４のステップ７４～７６を実行した後、本プログラムを終了する。

【０２２８】

図５３に戻り、ステップ６０の判別結果がＹＥＳで、可変式吸気弁駆動装置４０または可変式排気弁駆動装置９０が故障しているときには、ステップ８２に進み、目標主吸気カム位相θｍｉ＿ｃｍｄを所定のアイドル用値θｍｉ＿ｉｄｌｅに設定した後、ステップ８３に進み、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄを所定の故障用値θｍｓｉ＿ｆｓに設定する。

【０２２９】

次いで、ステップ８４に進み、前述したステップ６４，７３と同様に、目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄ（＃ｉ＝＃２～＃４）をいずれも値０に設定する。この後、前述したように、図５４のステップ６５～６７を実行した後、本プログラムを終了する。

【０２３０】

次に、図５８，５９を参照しながら、前述したステップ４の排気弁制御処理について説明する。同図に示すように、このプログラムでは、まず、ステップ９０で、前述した吸排気弁故障フラグＦ＿ＶＬＶＮＧが「１」であるか否かを判別し、この判別結果がＮＯで、可変式吸気弁駆動装置４０および可変式排気弁駆動装置９０がいずれも正常であるときには、ステップ９１に進み、前述したエンジン始動フラグＦ＿ＥＮＧＳＴＡＲＴが「１」であるか否かを判別する。

【０２３１】

この判別結果がＹＥＳで、エンジン始動制御中であるときには、ステップ９２に進み、主排気カム位相θｍｅの目標値である目標主排気カム位相θｍｅ＿ｃｍｄを所定のアイドル用値θｍｅ＿ｉｄｌｅに設定する。

【０２３２】

次いで、ステップ９３に進み、目標副排気カム位相θｍｓｅ＿ｃｍｄを所定の始動用値θｍｓｅ＿ｓｔに設定する。この始動用値θｍｓｅ＿ｓｔは、排気弁７の遅開け用の所定値として設定されている。この後、ステップ９４に進み、目標排気カム間位相θｓｓｅ＃ｉ＿ｃｍｄ（＃ｉ＝＃２～＃４）をいずれも値０に設定する。

【０２３３】

次に、図５９のステップ９５に進み、主排気カム位相可変機構１１０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｅを、目標主排気カム位相θｍｅ＿ｃｍｄ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する。この後、ステップ９６で、副排気カム位相可変機構１２０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｅを、目標副排気カム位相θｍｓｅ＿ｃｍｄ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する。なお、このステップ９６において、後述するステップ１０６と同様の手法により、制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｅを算出してもよい。

【０２３４】

次いで、ステップ９７で、排気カム間位相可変機構１３０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｓｓｅ＃ｉを、目標排気カム間位相θｓｓｅ＃ｉ＿ｃｍｄ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した後、本プログラムを終了する。

【０２３５】

図５８に戻り、ステップ９１の判別結果がＮＯで、エンジン始動制御中でないときには、ステップ９８に進み、前述した触媒暖機制御の実行時間Ｔｃａｔが所定値Ｔｃａｔｌｍｔより小さ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９９に進み、アクセル開度ＡＰが所定値ＡＰＲＥＦより小さいか否かを判別する。

【０２３６】

この判別結果がＹＥＳで、アクセルペダルが踏まれていないときには、触媒暖機制御を実行すべきであるとして、ステップ１００に進み、目標主排気カム位相θｍｅ＿ｃｍｄを前述した所定のアイドル用値θｍｅ＿ｉｄｌｅに設定する。

【０２３７】

次いで、ステップ１０１に進み、前述した触媒暖機制御の実行時間Ｔｃａｔに応じて、図６０に示すテーブルを検索することにより、目標副排気カム位相の触媒暖機用値θｍｓｅ＿ａｓｔを算出する。同図において、θｍｓｅｏｔｔは、排気弁７のバルブタイミングが、オットー排気カムによるものと同じになる副排気カム位相θｍｓｅのオットー位相値（

＝９０ｄｅｇ）を示している。同図に示すように、触媒暖機用値θｍｓｅ＿ａｓｔは、触媒暖機制御の実行時間Ｔｃａｔが所定値Ｔｃａｔｒｅｆに達するまでの間は遅開け側の値に設定され、それ以降は早開け側の値に設定される。このように早開け側の値に設定される理由は、膨張行程の途中で排気弁７を開弁することにより、高温の排気ガスを触媒装置１９ａ，１９ｂに供給し、それにより、触媒装置１９ａ，１９ｂ内の触媒の早期活性化を図るためである。

【０２３８】

ステップ１０１に続くステップ１０２では、目標副排気カム位相の補正量ｄθｍｓｅを、前述した式（５５），（５６）の応答指定型制御アルゴリズムにより算出する。

【０２３９】

次に、ステップ１０３に進み、上記ステップ１０１，１０２で算出したθｍｓｅ＿ａｓｔ,ｄθｍｓｅを用い、前述した式（５４）により目標副排気カム位相θｍｓｅ＿ｃｍｄを算出する。

【０２４０】

次いで、ステップ１０４で、ステップ９４と同様に、目標排気カム間位相θｓｓｅ＃ｉ＿ｃｍｄ（＃ｉ＝＃２～＃４）をいずれも値０に設定した後、図５９のステップ１０５に進み、主排気カム位相可変機構１１０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｅを、目標主排気カム位相θｍｅ＿ｃｍｄおよび主排気カム位相θｍｅに応じて、算出する。この制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｅは、前述した第２ＳＰＡＳコントローラ２２５の制御アルゴリズムと同じアルゴリズムにより算出される。

【０２４１】

次に、ステップ１０６で、第４ＳＰＡＳコントローラ２８２の制御アルゴリズムにより、副排気カム位相可変機構１２０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｅを算出する。すなわち、前述したように、第２ＳＰＡＳコントローラ２２５の制御アルゴリズムと同じアルゴリズムにより、制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｅを算出する。

【０２４２】

次いで、ステップ１０７に進み、目標排気カム間位相θｓｓｅ＃ｉ＿ｃｍｄおよび排気カム間位相θｓｓｅ＃ｉに応じて、排気カム間位相可変機構１３０への制御入力ＤＵＴＹ＿ｓｓｅ＃ｉ（＃ｉ＝＃２～＃４）を算出した後、本プログラムを終了する。なお、この制御入力ＤＵＴＹ＿ｓｓｅ＃ｉは、上記制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｅの算出に用いる制御アルゴリズムと同じアルゴリズムにより算出される。

【０２４３】

図５８に戻り、ステップ９８またはステップ９９の判別結果がＮＯのとき、すなわち、エンジン始動制御中でなくかつＴｃａｔ≧Ｔｃａｔｌｍｔであるとき、またはアクセルペダルが踏まれているときには、ステップ１０８に進み、目標主排気カム位相の通常運転値θｍｅ＿ｄｒｖを、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇおよびエンジン回転数ＮＥに応じて、図６１に示すマップを検索することにより算出する。

【０２４４】

同図に示すように、このマップでは、通常運転値θｍｅ＿ｄｒｖは、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、またはエンジン回転数ＮＥが高いほど、より進角側の値に設定されている。これは、エンジン負荷が高いほど、主排気カム位相θｍｅを進角させ、排気弁７の開閉タイミングを進角させることにより、排気の掃気効率を高め、エンジン出力を適切に確保するためである。

【０２４５】

次に、ステップ１０９で、目標主排気カム位相θｍｅ＿ｃｍｄを上記通常運転値θｍｅ＿ｄｒｖに設定した後、ステップ１１０に進み、目標副排気カム位相θｍｓｅ＿ｃｍｄを、所定値θｍｓｅ＿ｂａｓｅに設定する。この所定値θｍｓｅ＿ｂａｓｅは、排気弁７のバルブタイミングがオットー排気カムと同じになるような値（９０ｄｅｇ）に設定されている。

【０２４６】

ステップ１１０に続くステップ１１１では、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇおよびエンジン回転数ＮＥに応じて、図示しないマップを検索することにより、目標排気カム間位相θｓｓｅ＃ｉ＿ｃｍｄ（＃ｉ＝＃２～＃４）を算出する。このマップでは、目標排気カム間位相θｓｓｅ＃ｉ＿ｃｍｄは、排気系の脈動効果による掃気効率の気筒間のばらつきを補償するような値に設定されている。次に、図５９のステップ１０５～１０７を前述したように実行した後、本プログラムを終了する。

【０２４７】

図５８に戻り、ステップ９０の判別結果がＹＥＳで、可変式吸気弁駆動装置４０または可変式排気弁駆動装置９０が故障しているときには、ステップ１１２に進み、目標主排気カム位相θｍｅ＿ｃｍｄを前述した所定のアイドル用値θｍｅ＿ｉｄｌｅに設定した後、ステップ１１３に進み、目標副排気カム位相θｍｓｅ＿ｃｍｄを所定の故障用値θｍｓｅ＿ｆｓに設定する。この所定の故障用値θｍｓｅ＿ｆｓは、排気弁７のバルブタイミングがオットー排気カムと同じになるような値（９０ｄｅｇ）に設定されている。

【０２４８】

次いで、ステップ１１４に進み、前述したステップ９４，１０４と同様に、目標排気カム間位相θｓｓｅ＃ｉ＿ｃｍｄ（＃ｉ＝＃２～＃４）をいずれも値０に設定する。この後、前述したように、図５９のステップ９５～９７を実行した後、本プログラムを終了する。

【０２４９】

次に、図６２を参照しながら、前述したステップ５のスロットル弁制御処理について説明する。同図に示すように、このプログラムでは、まず、ステップ１２０で、前述した吸排気弁故障フラグＦ＿ＶＬＶＮＧが「１」であるか否かを判別し、この判別結果がＮＯで、可変式吸気弁駆動装置４０および可変式排気弁駆動装置９０がいずれも正常であるときには、ステップ１２１に進み、前述したエンジン始動フラグＦ＿ＥＮＧＳＴＡＲＴが「１」であるか否かを判別する。

【０２５０】

この判別結果がＹＥＳで、エンジン始動制御中であるときには、ステップ１２２に進み、目標開度ＴＨ＿ｃｍｄを所定の始動用値ＴＨｃｍｄ＿ｓｔに設定する。この所定の始動用値ＴＨｃｍｄ＿ｓｔは、後述するアイドル用値ＴＨｃｍｄ＿ｉｄｌｅよりも若干、大きい値に設定されている。次いで、ステップ１２３に進み、スロットル弁機構１６への制御入力ＤＵＴＹ＿ｔｈを算出した後、本プログラムを終了する。この制御入力ＤＵＴＹ＿ｔｈは、具体的には、目標開度ＴＨ＿ｃｍｄ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。

【０２５１】

一方、ステップ１２１の判別結果がＮＯで、エンジン始動制御中でないときには、ステップ１２４に進み、前述した触媒暖機制御の実行時間Ｔｃａｔが所定値Ｔｃａｔｌｍｔより小さ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１２５に進み、アクセル開度ＡＰが所定値ＡＰＲＥＦより小さいか否かを判別する。

【０２５２】

このステップ１２５の判別結果がＹＥＳで、アクセルペダルが踏まれていないときには、触媒暖機制御を実行すべきであるとして、ステップ１２６に進み、目標開度の触媒暖機用値ＴＨｃｍｄ＿ａｓｔを、前述した触媒暖機制御の実行時間Ｔｃａｔに応じて、図６３に示すテーブルを検索することにより算出する。

【０２５３】

図中の値ＴＨｃｍｄ＿ｉｄｌｅは、アイドル運転のときに用いられるアイドル用値を示している。同図に示すように、このテーブルでは、触媒暖機用値ＴＨｃｍｄ＿ａｓｔは、実行時間Ｔｃａｔが所定値Ｔｃａｔ１に達するまでの間は、実行時間Ｔｃａｔが短いほど、より大きい値に設定され、実行時間Ｔｃａｔが所定値Ｔｃａｔ１に達した後は、アイドル用値ＴＨｃｍｄ＿ｉｄｌｅに設定されている。

【０２５４】

次いで、ステップ１２７に進み、目標開度ＴＨ＿ｃｍｄを上記触媒暖機用値ＴＨｃｍｄ＿

ａｓｔに設定し、次に、前述したようにステップ１２３を実行した後、本プログラムを終了する。

【０２５５】

一方、ステップ１２４またはステップ１２５の判別結果がＮＯのとき、すなわちエンジン始動制御中でなくかつＴｃａｔ≧Ｔｃａｔｌｍｔであるとき、またはアクセルペダルが踏まれているときには、ステップ１２８に進み、目標開度の通常運転値ＴＨｃｍｄ＿ｄｒｖを、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇおよびエンジン回転数ＮＥに応じて、図６４に示すマップを検索することにより算出する。

【０２５６】

同図に示すように、このマップでは、通常運転値ＴＨｃｍｄ＿ｄｒｖは、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、またはエンジン回転数ＮＥが高いほど、より大きい値に設定されている。これは、エンジン３の負荷が高いほど、より大きなエンジン出力を確保するために、より多量の吸入空気が必要とされることによる。

【０２５７】

次に、ステップ１２９で、目標開度ＴＨ＿ｃｍｄを上記通常運転値ＴＨｃｍｄ＿ｄｒｖに設定し、次いで、前述したように、ステップ１２３を実行した後、本プログラムを終了する。

【０２５８】

一方、ステップ１２０の判別結果がＹＥＳで、可変式吸気弁駆動装置４０または可変式排気弁駆動装置９０が故障しているときには、ステップ１３０に進み、目標開度の故障用値ＴＨｃｍｄ＿ｆｓを、アクセル開度ＡＰおよびエンジン回転数ＮＥに応じて、図６５に示すマップを検索することにより算出する。同図に示すように、このマップでは、故障用値ＴＨｃｍｄ＿ｆｓは、アクセル開度ＡＰが大きいほど、またはエンジン回転数ＮＥが高いほど、より大きい値に設定されている。これは、上記通常運転値ＴＨｃｍｄ＿ｄｒｖの算出で説明した内容と同じ理由による。

【０２５９】

次いで、ステップ１３１に進み、目標開度ＴＨ＿ｃｍｄを上記故障用値ＴＨｃｍｄ＿ｆｓに設定し、次に、前述したように、ステップ１２３を実行した後、本プログラムを終了する。

【０２６０】

なお、以上の制御処理により、各種の制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｉ，ＤＵＴＹ＿ｍｓｉ，ＤＵＴＹ＿ｓｓｉ＃ｉ，ＤＵＴＹ＿ｍｅ，ＤＵＴＹ＿ｍｓｅ，ＤＵＴＹ＿ｓｓｅ＃ｉ，ＤＵＴＹ＿ｔｈは、算出結果に応じたデューティ比のパルス信号、電流信号および電圧信号のいずれか１つに設定される。

【０２６１】

以上のようなエンジン制御を実行した際の動作について、図６６を参照しながら、エンジン始動および触媒暖機制御中の動作を中心に説明する。

【０２６２】

同図に示すように、エンジン始動制御中（ｔ０～ｔ１）は、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄが、所定の始動用値θｍｓｉ＿ｓｔに設定される（ステップ６３）ことで、副吸気カム位相θｍｓｉが遅閉じ側の値に制御されると同時に、目標開度ＴＨ＿ｃｍｄが所定の始動用値ＴＨｃｍｄ＿ｓｔに設定される（ステップ１２２）ことで、スロットル弁開度ＴＨが半開状態に制御される。それにより、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌは、エンジン始動可能な程度の小さい値に制御される。このように、始動の際、スロットル弁１７の絞りのみでは制御不能な気筒吸入空気量Ｇｃｙｌを、過不足なくエンジン始動可能な値まで抑制することができるので、それに応じて燃料噴射量を低減できる。その結果、排気ガスボリュームを低減することができ、始動制御中の未燃成分の総排出量を低減することができる。

【０２６３】

また、目標副排気カム位相θｍｓｅ＿ｃｍｄが所定の始動用値θｍｓｅ＿ｓｔに設定される（ステップ９３）ことで、副排気カム位相θｍｓｅが遅開け側に制御され、それにより

、燃焼ガスが気筒内により長く保持されることで、排気ガス中の未燃ＨＣを低減することができる。さらに、目標空燃比ＫＣＭＤが理論空燃比に相当する値ＫＣＭＤＳＴよりも若干、リッチ側の値に制御され、かつ点火時期θｉｇが通常のアイドル運転用値θｉｇｉｄｌｅよりも進角側の値に制御されることにより、混合気の着火性を向上させることができる。

【０２６４】

以上のエンジン始動制御により、エンジン３が完全始動（完爆）すると（時刻ｔ１）、触媒暖機制御が実行される。具体的には、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄが触媒暖機用値θｍｓｉ＿ｃｗに設定される（ステップ７２）ことにより、副吸気カム位相θｍｓｉは、遅閉じ側の値からオットー位相値θｍｓｉｏｔｔに近づくように制御される。それにより、吸気弁６の遅閉じ度合いが減少することにより、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌが増大するように制御され、それにより、排気ガスボリュームが増大する。また、目標副排気カム位相θｍｓｅ＿ｃｍｄが、触媒暖機用値θｍｓｅ＿ａｓｔと補正量ｄθｍｓｅの和に設定される（ステップ１０３）ことにより、副排気カム位相θｍｓｅは、遅開け側から早開け側に変化するように制御されることにより、圧縮行程中の高温の排気ガスが排出される。これに加えて、点火時期θｉｇが所定値ｄθｉｇ分、リタードされることにより、排気ガス温度が高められる。以上により、触媒装置１９ａ，１９ｂ内の触媒を早期に活性化することができる。

【０２６５】

また、目標空燃比ＫＣＭＤがリーン側の値に制御されることにより、未燃ＨＣを低減することができる。さらに、エンジン回転数ＮＥは、目標回転数ＮＥ＿ｃｍｄになるように制御される。

【０２６６】

さらに、触媒暖機制御の終了以降（時刻ｔ２以降）は、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇなどの運転状態に応じ、前述したプログラムに基づいて通常運転制御が実行される。

【０２６７】

次に、通常運転制御中の動作について、図６７を参照しながら、下記の（Ｌ１）～（Ｌ６）の要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇの範囲毎に説明する。

【０２６８】

（Ｌ１）ＴＲＱ＿ｉｄｌｅ≦ＴＲＱ＿ｅｎｇ＜ＴＲＱ＿ｄｉｓｃの範囲

この範囲では、前述した基本値θｍｓｉ＿ｂａｓｅの設定により、副吸気カム位相θｍｓｉが遅閉じ側のほぼ一定の値に制御される。また、スロットル弁１７により吸入空気量が絞られないことで、吸気管内絶対圧ＰＢＡは、大気圧Ｐａｔｍよりも若干低いほぼ一定値に制御される。さらに、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌがほぼ一定値に制御される。また、主燃料噴射率Ｒｔ＿Ｐｒｅが最大値Ｒｔｍａｘに設定され、目標空燃比ＫＣＭＤが前述した極リーン域の値に設定されるとともに、成層燃焼運転が実行される。

【０２６９】

（Ｌ２）ＴＲＱ＿ｄｉｓｃ≦ＴＲＱ＿ｅｎｇ≦ＴＲＱ１の範囲

この範囲では、前述した基本値θｍｓｉ_ｂａｓｅの設定により、副吸気カム位相θｍｓｉは、上記（Ｌ１）の範囲のときの値よりもかなり遅閉じ側の値に制御されるとともに、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、遅閉じ度合いがより小さくなるように制御される。また、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌは、上記（Ｌ１）の範囲のときの値よりも小さい値に制御されるとともに、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、より大きい値になるように制御される。さらに、目標空燃比ＫＣＭＤは、上記（Ｌ１）の範囲の値よりもリッチ側の前述したリーン域の値を保持するように制御され、吸気管内絶対圧ＰＢＡおよび主燃料噴射率Ｒｔ＿Ｐｒｅはいずれも、上記（Ｌ１）の範囲での値を保持するように制御される。

【０２７０】

（Ｌ３）ＴＲＱ１＜ＴＲＱ＿ｅｎｇ≦ＴＲＱｏｔｔの範囲

この範囲では、前述した基本値θｍｓｉ_ｂａｓｅの設定により、副吸気カム位相θｍｓ

ｉは、上記（Ｌ２）の範囲と同様の傾向に制御される。特に、ＴＲＱ＿ｅｎｇ＝ＴＲＱｏｔｔのときには、副吸気カム位相θｍｓｉは、オットー位相値θｍｓｉｏｔｔになるように制御される。すなわち、エンジン３はオットーサイクルで運転される。また、目標空燃比ＫＣＭＤおよび気筒吸入空気量Ｇｃｙｌも、上記（Ｌ２）の範囲と同様の傾向に制御される。さらに、この範囲では、ターボチャージャ装置１０による過給動作が実行され、それにより、吸気管内絶対圧ＰＢＡは、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、より高い値になるように制御される。また、主燃料噴射率Ｒｔ＿Ｐｒｅは、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、より小さい値になるように制御される。すなわち、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、副燃料噴射弁１５の燃料噴射量ＴＯＵＴ＿ｓｕｂがより大きい値になるように制御される。これは、燃料気化冷却装置１２による吸入空気の冷却効果を得るためである。

【０２７１】

（Ｌ４）ＴＲＱｏｔｔ＜ＴＲＱ＿ｅｎｇ＜ＴＲＱ２の範囲

この範囲では、副吸気カム位相θｍｓｉは、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、より早閉じ度合いが大きくなるように制御される。これは、前述したように、高膨張比サイクル運転によって燃焼効率を高めるためである。また、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌ、目標空燃比ＫＣＭＤ、主燃料噴射率Ｒｔ＿Ｐｒｅおよび吸気管内絶対圧ＰＢＡは、上記（Ｌ３）の範囲と同様の傾向を示すように制御される。特に、吸気管内絶対圧ＰＢＡは、上記と同様に、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、より高い値になるように制御されている。これは、副吸気カム位相θｍｓｉが早閉じ側に制御されると、発生トルクの低下を招いてしまうので、その補償を目的として過給により充填効率を高め、発生トルクを増大させるためである。

【０２７２】

（Ｌ５）ＴＲＱ２≦ＴＲＱ＿ｅｎｇ＜ＴＲＱ４の範囲

この範囲では、副吸気カム位相θｍｓｉは、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、より早閉じ度合いが小さくなるように制御され、その結果、有効圧縮体積が増大する。これは、前述したように、過給動作の制限により充填効率が低下した状態で、吸気弁６の早閉じ度合いを大きい状態に制御すると、発生トルクの低下を招いてしまうので、上記のように副吸気カム位相θｍｓｉを制御することにより、発生トルクの低下を補償するためである。

【０２７３】

また、吸気管内絶対圧ＰＢＡは、ＴＲＱ２≦ＴＲＱ＿ｅｎｇ≦ＴＲＱ３の範囲では、一定値を維持するように制御され、ＴＲＱ３＜ＴＲＱ＿ｅｎｇ＜ＴＲＱ４の範囲では、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、より低い値になるように制御される。さらに、主燃料噴射率Ｒｔ＿Ｐｒｅは、上記（Ｌ３）の範囲と同様に、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、より小さい値になるように制御される。以上のように、この（Ｌ５）の範囲では、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、ターボチャージャ装置１０による過給動作が制限されると同時に、燃料気化冷却装置１２による冷却効果が上昇するように制御されることにより、点火時期のリタード制御を行うことなく、ノッキングの発生を回避することができる。なお、従来のターボチャージャ装置付きのエンジンの場合、この（Ｌ５）の範囲では、点火時期のリタード制御を実行しないと、ノッキングが発生してしまう。

【０２７４】

（Ｌ６）ＴＲＱ４≦ＴＲＱ＿ｅｎｇの範囲

この範囲では、極高負荷域であることにより、上述したターボチャージャ装置１０による過給動作の制限、および燃料気化冷却装置１２による冷却効果では、ノッキングの発生を回避できないので、点火時期のリタード制御が実行される。すなわち、目標空燃比ＫＣＭＤは、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇが大きいほど、リッチ側になるように制御される。これと同時に、副吸気カム位相θｍｓｉは、オットー位相値θｍｓｉｏｔｔになるように制御され、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌはほぼ一定になるように制御され、主燃料噴射率Ｒｔ

＿Ｐｒｅは最小値Ｒｔｍｉｎに制御され、吸気管内絶対圧ＰＢＡは、ほぼ一定値を維持するように制御される。

【０２７５】

以上のように、本実施形態の制御装置１によれば、式（７）の予測アルゴリズムにより、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌが算出されるとともに、この予測式（７）における複数の予測係数には、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌと気筒吸入空気量Ｇｃｙｌとの間の定常偏差を補償するための補償パラメータγ１が加算項として含まれているので、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌを、補償パラメータγ１が直接的に反映された値として算出することができる。また、そのように算出された予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌと気筒吸入空気量Ｇｃｙｌとの偏差である同定誤差ｉｄｅが最小になるように、式（８）～（１３）の同定アルゴリズムにより、補償パラメータγ１を含む予測係数ベクトルθｓが同定されるので、この予測係数ベクトルを、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌと気筒吸入空気量Ｇｃｙｌとの間の動特性を精度よく合致させる値として同定でき、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌと気筒吸入空気量Ｇｃｙｌとの間の定常偏差を補償することができる。特に、上述したように同定される補償パラメータγ１が、加算項として予測式（７）に含まれているので、この補償パラメータγ１により、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌと気筒吸入空気量Ｇｃｙｌとの間の定常偏差を効果的に補償することができる。これに加えて、そのような補償パラメータγ１を、前述したように、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌに直接的に反映させることができるので、予測吸入空気量Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌの予測精度を向上させることができる。

【０２７６】

さらに、上記のように同定された予測係数ベクトルθｓに応じて、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌが目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄに収束するように、式（１５）～（２１）のスライディングモード制御アルゴリズムにより、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄが算出されるので、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌを、振動的およびオーバーシュート的な挙動を回避しながら、迅速かつ安定した挙動で目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄに収束させることができる。また、スライディングモード制御アルゴリズムでは、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄがフィードフォワード項であるバルブ制御入力Ｕｖｔを含む３つの入力の総和（Ｕｅｑ＋Ｕｒｃｈ＋Ｕｖｔ）として算出されるので、このバルブ制御入力Ｕｖｔにより、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄの解として、２つの解（早閉じ側および遅閉じ側の値）あるときでも、２つの解の一方を、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄの解として強制的に選択させることができる。これに加えて、オンボード同定器２２３により同定される予測係数ベクトルθｓに補償パラメータγ１が含まれていることにより、このバルブ制御入力Ｕｖｔの影響を補償しながら、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌを目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄに上記のように収束させることができる。

【０２７７】

なお、副吸気カム位相可変機構７０において、高い応答性が要求されない場合（例えば、前述した吸気弁制御処理において、吸気弁６を遅閉じ側または早閉じ側の一方にのみ制御すればよい場合）には、油圧ピストン機構７３およびモータ７４に代えて、主吸気カム位相可変機構６０と同様に、油圧ポンプ６３および電磁弁機構６４を用いてもよい。その場合には、制御装置１を、図６８に示すように構成すればよい。

【０２７８】

同図に示すように、この制御装置１では、実施形態におけるＤＵＴＹ＿ｔｈ算出部２００および副吸気カム位相コントローラ２２０に代えて、ＤＵＴＹ＿ｍｓｉ算出部３００およびスロットル弁開度コントローラ３０１が設けられている。このＤＵＴＹ＿ｍｓｉ算出部３００では、要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇに応じて、テーブルを検索することにより、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄを算出した後、この算出した目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄに応じて、テーブルを検索することにより、制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉが算出される。また、スロットル弁開度コントローラ３０１では、気筒吸入空気量Ｇｃｙｌおよび目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄに応じて、前述した第１ＳＰＡＳコントローラ２

２１と同じ制御アルゴリズムにより、目標開度ＴＨ＿ｃｍｄを算出した後、この算出した目標開度ＴＨ＿ｃｍｄに応じて、第２ＳＰＡＳコントローラ２２５と同じ制御アルゴリズムにより、制御入力ＤＵＴＹ＿ｔｈが算出される。以上のように構成した場合、副吸気カム位相可変機構７０の応答性が低いときでも、その影響を回避しながら、副吸気カム位相θｍｓｉを適切に制御することができる。

【０２７９】

また、実施形態は、第１ＳＰＡＳコントローラ２２１において、目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄを算出するための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を用いた例であるが、これに代えて、バックステッピング制御アルゴリズムなどの応答指定型制御アルゴリズムを用いてもよい。さらに、実施形態は、副吸気カム位相コントローラ２２０として、第１ＳＰＡＳコントローラ２２１および第２ＳＰＡＳコントローラ２２５の双方を備えた例ではあるが、これに代えて、第１ＳＰＡＳコントローラ２２１のみを備えたものを用いてもよい。その場合には、制御入力ＤＵＴＹ＿ｍｓｉを、例えばテーブルを参照することにより、第１ＳＰＡＳコントローラ２２１で算出した目標副吸気カム位相θｍｓｉ＿ｃｍｄに応じて、算出すればよい。

【０２８０】

また、実施形態は、本発明の制御装置をプラントとしての車両用の内燃機関の吸気系に適用した例であるが、本発明の制御装置はこれに限らず、プラントとしての様々な産業機器に適用可能であることは言うまでもない。さらに、本発明の制御装置は、実施形態の車両用の内燃機関に限らず、船舶用などの各種の内燃機関にも適用可能である。

【０２８１】

【発明の効果】

以上のように、本発明の制御装置によれば、プラントの出力の予測値と検出された出力との間の定常偏差を補償することができ、それにより、制御精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の一実施形態に係る制御装置が適用された内燃機関の概略構成を示す図である。

【図２】内燃機関の可変式吸気弁駆動装置および可変式排気弁駆動装置の概略構成を示す図である。

【図３】制御装置の概略構成を示す図である。

【図４】燃料気化冷却装置の概略構成を示す図である。

【図５】可変式吸気弁駆動装置および可変式排気弁駆動装置の概略構成を平面的に示す模式図である。

【図６】可変式吸気弁駆動装置の吸気弁駆動機構の概略構成を示す図である。

【図７】主吸気カム位相可変機構の概略構成を示す図である。

【図８】副吸気カム位相可変機構の概略構成を示す図である。

【図９】副吸気カム位相可変機構の変形例の概略構成を示す図である。

【図１０】吸気カム間位相可変機構の概略構成を示す図である。

【図１１】主吸気カムおよび副吸気カムのカムプロフィールを説明するための図である。

【図１２】副吸気カム位相θｍｓｉ＝０ｄｅｇの場合の（ａ）吸気弁駆動機構の動作状態を示す図と（ｂ）吸気弁の動作を説明するためのバルブリフト曲線などを示す図である。

【図１３】副吸気カム位相θｍｓｉ＝９０ｄｅｇの場合の（ａ）吸気弁駆動機構の動作状態を示す図と（ｂ）吸気弁の動作を説明するためのバルブリフト曲線などを示す図である。

【図１４】副吸気カム位相θｍｓｉ＝１２０ｄｅｇの場合の（ａ）吸気弁駆動機構の動作状態を示す図と（ｂ）吸気弁の動作を説明するためのバルブリフト曲線などを示す図である。

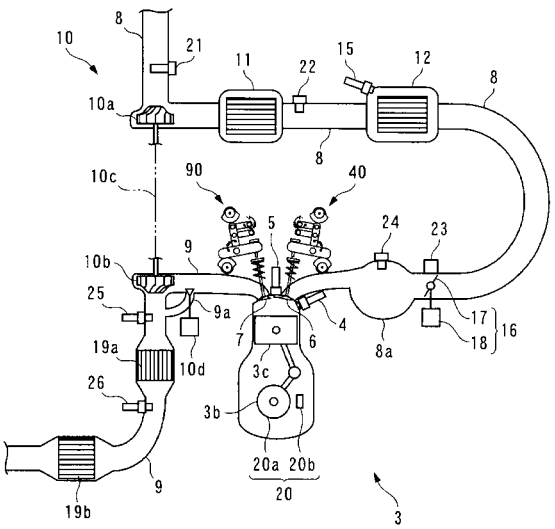
【図１５】副吸気カム位相θｍｓｉ＝１８０ｄｅｇの場合の（ａ）吸気弁駆動機構の動作状態を示す図と（ｂ）吸気弁の動作を説明するためのバルブリフト曲線などを示す図であ

る。
【図１６】副吸気カム位相θｍｓｉを１２０ｄｅｇから１８０ｄｅｇに変化させた場合における吸気弁の動作を説明するためのバルブリフト量およびバルブタイミングの変化を示す図である。
【図１７】主排気カムおよび副排気カムのカムプロフィールを説明するための図である。
【図１８】副排気カム位相θｍｓｅ＝０ｄｅｇの場合における排気弁の動作を説明するためのバルブリフト曲線などを示す図である。
【図１９】副排気カム位相θｍｓｅ＝４５ｄｅｇの場合における排気弁の動作を説明するためのバルブリフト曲線などを示す図である。
【図２０】副排気カム位相θｍｓｅ＝９０ｄｅｇの場合における排気弁の動作を説明するためのバルブリフト曲線などを示す図である。
【図２１】副排気カム位相θｍｓｅ＝１５０ｄｅｇの場合における排気弁の動作を説明するためのバルブリフト曲線などを示す図である。
【図２２】制御装置における、スロットル弁機構、副吸気カム位相可変機構および吸気カム間位相可変機構を制御するための構成を示すブロック図である。
【図２３】副吸気カム位相コントローラの概略構成を示すブロック図である。
【図２４】気筒吸入空気量Ｇｃｙｌの算出式と、第１ＳＰＡＳコントローラにおける状態予測器の予測アルゴリズムの数式を示す図である。
【図２５】第１ＳＰＡＳコントローラにおけるオンボード同定器の同定アルゴリズムの数式を示す図である。
【図２６】第１ＳＰＡＳコントローラにおけるスライディングモード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２７】図２６の式（１９）の導出方法を説明するための数式を示す図である。
【図２８】スライディングモード制御アルゴリズムを説明するための位相平面および切換直線を示す図である。
【図２９】スライディングモードコントローラにおいて、切換関数設定パラメータＳｓを変化させた場合における追従誤差Ｅｓの収束挙動の一例を示す図である。
【図３０】第２ＳＰＡＳコントローラの概略構成を示すブロック図である。
【図３１】第２ＳＰＡＳコントローラにおける状態予測器の予測アルゴリズムの数式を示す図である。
【図３２】第２ＳＰＡＳコントローラにおけるオンボード同定器の同定アルゴリズムの数式を示す図である。
【図３３】第２ＳＰＡＳコントローラにおけるスライディングモード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３４】エアフローセンサにより検出される吸気の脈動を示す図である。
【図３５】吸気カム間位相コントローラの適応オブザーバにおける吸気量ばらつき係数Φ＃１～＃４の算出アルゴリズムを説明するための模式図である。
【図３６】吸気カム間位相コントローラの適応オブザーバにおける吸気量ばらつき係数Φ＃１～＃４の算出アルゴリズムの数式を示す図である。
【図３７】適応オブザーバの構成を示すブロック図である。
【図３８】適応オブザーバの信号発生器から出力される模擬値Ｇｃｙｌ＿ＯＳ＃１～＃４を示す図である。
【図３９】吸気カム間位相コントローラにおける、差分器による偏差ＥΦ＃２～＃４の算出式、および吸気ばらつきコントローラによる目標吸気カム間位相θｓｓｉ＃ｉ＿ｃｍｄの算出アルゴリズムの数式を示す図である。
【図４０】吸気ばらつきコントローラの構成を示すブロック図である。
【図４１】副排気カム位相コントローラの構成を示すブロック図である。
【図４２】副排気カム位相コントローラの制御アルゴリズムの数式を示す図である。
【図４３】エンジン制御処理の主要な制御内容を示すフローチャートである。
【図４４】燃料制御処理を示すフローチャートである。

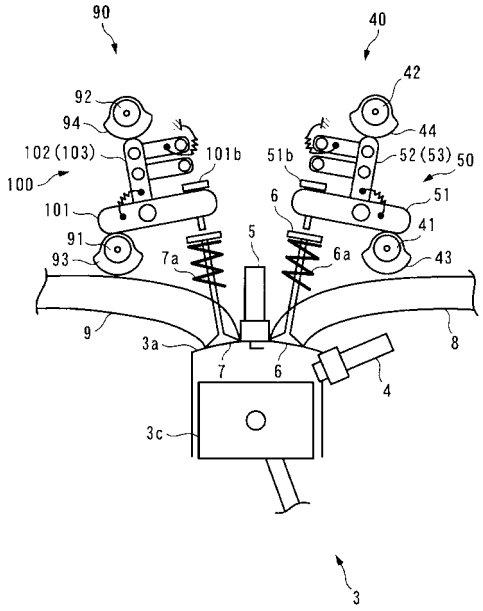
【図４５】要求駆動トルクＴＲＱ＿ｅｎｇの算出に用いるマップの一例を示す図である。
【図４６】気筒吸入空気量Ｇｃｙｌおよび目標吸入空気量Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄの算出処理を示すフローチャートである。
【図４７】目標吸入空気量の基本値Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄ＿ｂａｓｅの算出に用いるマップの一例を示す図である。
【図４８】空燃比補正係数Ｋｇｃｙｌ＿ａｆの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。
【図４９】主燃料噴射率Ｒｔ＿Ｐｒｅの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。
【図５０】過給圧制御処理を示すフローチャートである。
【図５１】ウエストゲート弁への制御入力の基本値Ｄｕｔ＿ｗｇ＿ｂａｓｅの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。
【図５２】目標過給圧Ｐｃ＿ｃｍｄの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。
【図５３】吸気弁制御処理を示すフローチャートである。
【図５４】図５３の続きを示すフローチャートである。
【図５５】目標副吸気カム位相の触媒暖機用値θｍｓｉ＿ｃｗの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。
【図５６】目標主吸気カム位相の通常運転値θｍｉ＿ｄｒｖの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。
【図５７】目標副吸気カム位相の基本値θｍｓｉ＿ｂａｓｅの算出に用いるマップの一例を示す図である。
【図５８】排気弁制御処理を示すフローチャートである。
【図５９】図５８の続きを示すフローチャートである。
【図６０】目標副排気カム位相の触媒暖機用値θｍｓｅ＿ａｓｔの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。
【図６１】目標主排気カム位相の通常運転値θｍｅ＿ｄｒｖの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。
【図６２】スロットル弁制御処理を示すフローチャートである。
【図６３】目標開度の触媒暖機用値ＴＨｃｍｄ＿ａｓｔの算出に用いるテーブルの一例を示す図である。
【図６４】目標開度の通常運転値ＴＨｃｍｄ＿ｄｒｖの算出に用いるマップの一例を示す図である。
【図６５】目標開度の故障用値ＴＨｃｍｄ＿ｆｓの算出に用いるマップの一例を示す図である。
【図６６】制御装置によるエンジン始動および触媒暖機制御の動作例を示すタイミングチャートである。
【図６７】制御装置によるエンジン制御の動作例を示す図である。
【図６８】制御装置の変形例の概略構成を示すブロック図である。
【符号の説明】
１　制御装置
２　ＥＣＵ（出力検出手段、目標値設定手段、予測手段、同定手段、制御指令値決定手段、気筒吸入空気量検出手段）
３　内燃機関
#1～#4　第１～第４気筒
６　吸気弁
２１　エアフローセンサ（出力検出手段、気筒吸入空気量検出手段）
２４　吸気管内絶対圧センサ（出力検出手段、気筒吸入空気量検出手段）
４０　可変式吸気弁駆動装置（吸気バルブタイミング可変装置）
２２２　状態予測器（予測手段）
２２３　オンボード同定器（同定手段）
２２４　スライディングモードコントローラ（制御指令値決定手段）

Ｇｃｙｌ　気筒吸入空気量（プラントの出力）
Ｇｃｙｌ＿ｃｍｄ　目標吸入空気量（プラントの出力の目標値、気筒吸入空気量の目標値）
Ｐｒｅ＿Ｇｃｙｌ　予測吸入空気量（プラントの出力の予測値、気筒吸入空気量の予測値）
θｍｓｉ　副吸気カム位相（プラントの入力、吸気弁のバルブタイミングを表す値）
θｍｓｉ＿ｃｍｄ　目標副吸気カム位相（制御指令値）
α1,α2,β1～βd-1　予測係数
γ１　補償パラメータ（予測係数）
θｓ　予測係数ベクトル（複数の予測係数）
ｉｄｅ　同定誤差（偏差）
Ｕｅｑ　等価制御入力（指令値成分）
Ｕｒｃｈ　到達則入力（指令値成分）
Ｕｖｔ　バルブ制御入力（指令値成分、選択指令値成分）

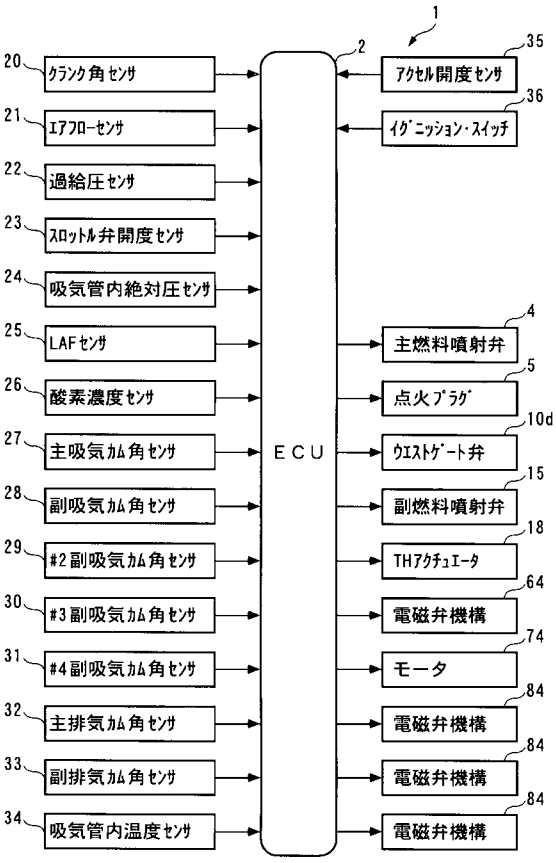
【図１】



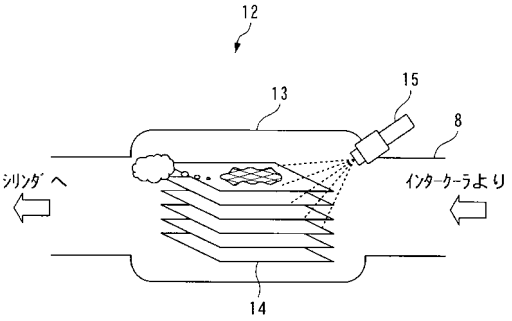
【図２】



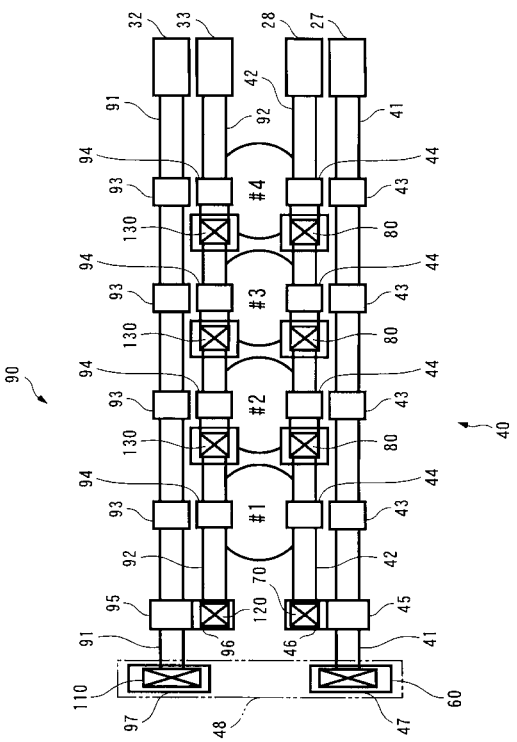
【図３】


1
2
ECU
20 クランク角センサ
21 エアフローセンサ
22 過給圧センサ
23 スロットル弁開度センサ
24 吸気管内絶対圧センサ
25 LAFセンサ
26 酸素濃度センサ
27 主吸気カム角センサ
28 副吸気カム角センサ
29 #2副吸気カム角センサ
30 #3副吸気カム角センサ
31 #4副吸気カム角センサ
32 主排気カム角センサ
33 副排気カム角センサ
34 吸気管内温度センサ
35 アクセル開度センサ
36 イグニッション・スイッチ
4 主燃料噴射弁
5 点火プラグ
10d ウエストゲート弁
15 副燃料噴射弁
18 THアクチュエータ
64 電磁弁機構
74 モータ
84 電磁弁機構
84 電磁弁機構
84 電磁弁機構

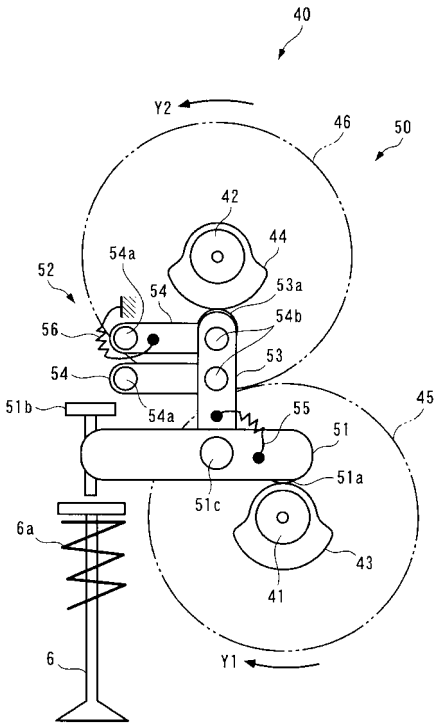
【図４】


12
13
15
8
シリンダへ
インタークーラより
14

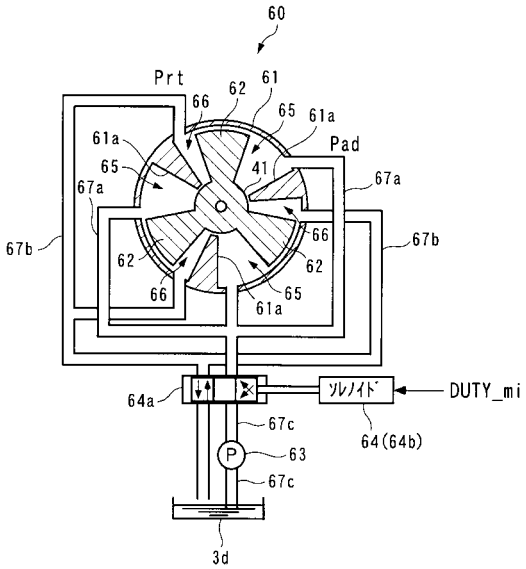
【図５】


90
40
#1
#2
#3
#4

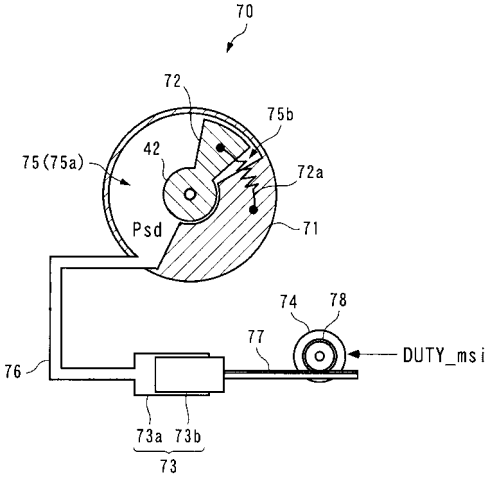
【図６】


40
Y2
Y1
46
50
45
52
42
44
54a
54
53a
54b
56
53
55
51
51a
51b
51c
6a
6
43
41

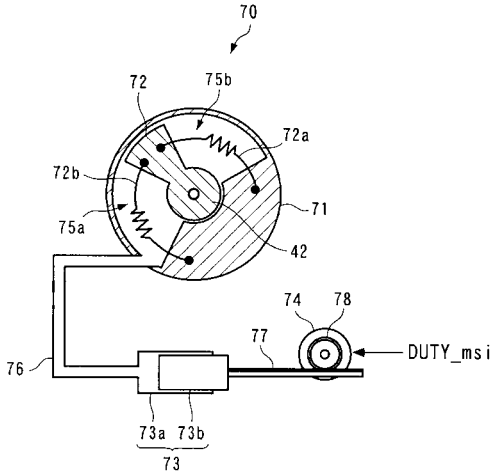
【図７】


60
Prt
66
62
61
65
61a
Pad
61a
65
41
67a
67a
67b
67b
66
62
62
66
65
61a
64a
ソレノイド
DUTY_mi
67c
64(64b)
P
63
67c
3d

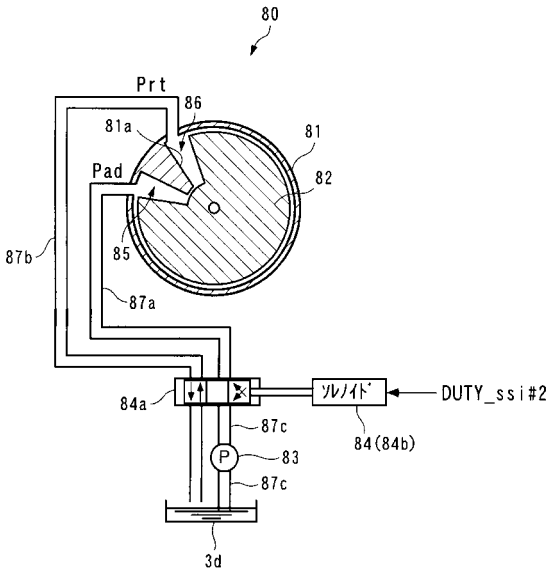
【図８】


70
72
75b
75(75a)
42
72a
Psd
71
74
78
77
DUTY_msi
76
73a
73b
73

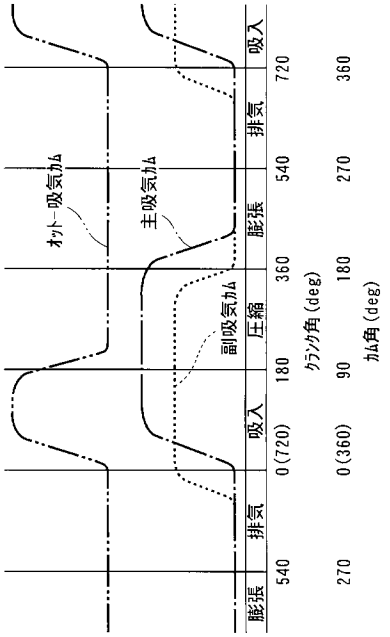
【図９】


70
72
75b
72a
72b
71
75a
42
74
78
77
DUTY_msi
76
73a
73b
73

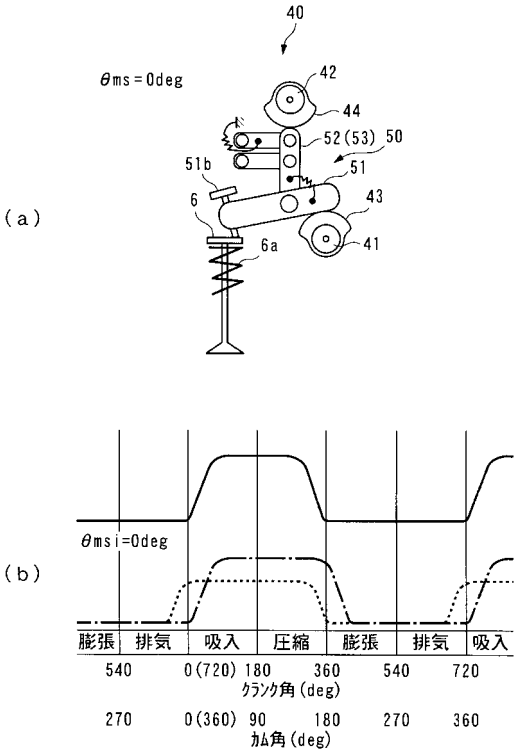
【図１０】


80
Prt
86
81a
81
Pad
82
87b
85
87a
84a
ソレノイド
DUTY_ssi#2
87c
84(84b)
P
83
87c
3d

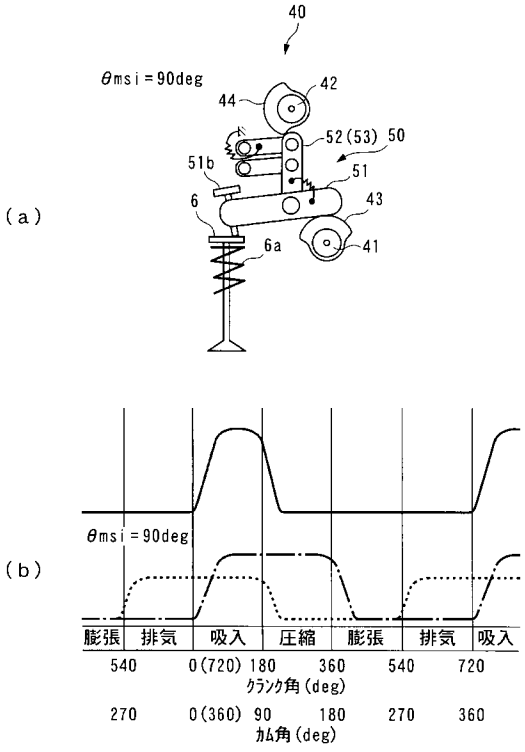
【図１１】



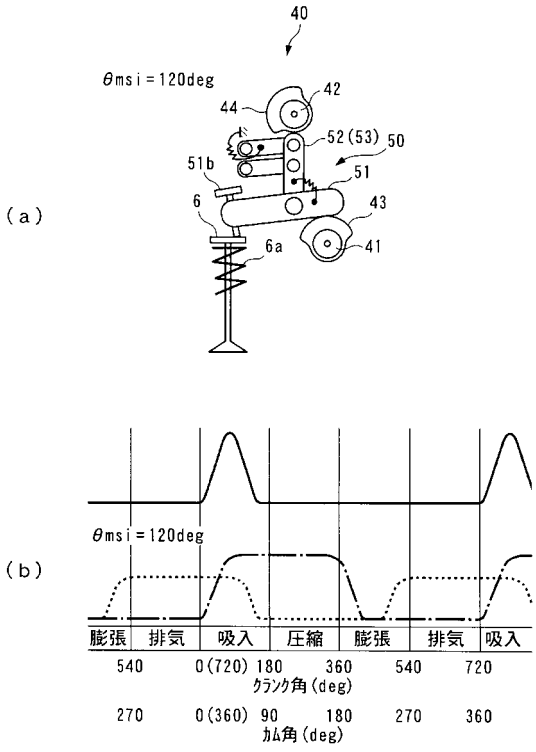
【図１２】



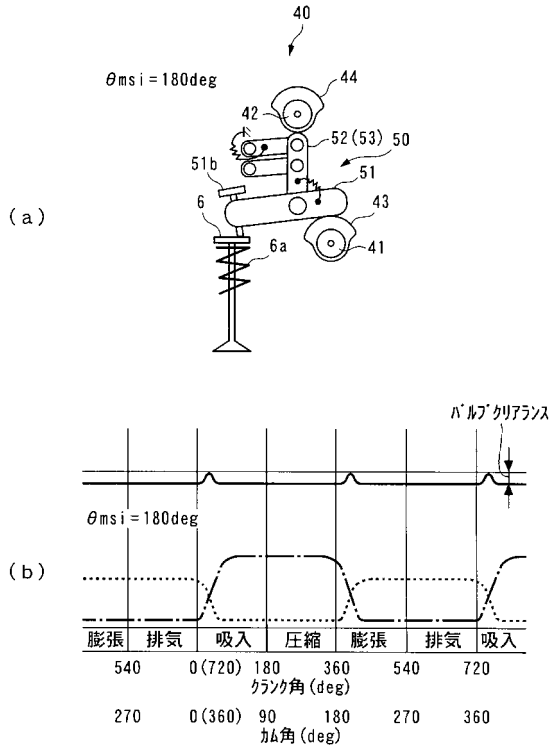
【図１３】



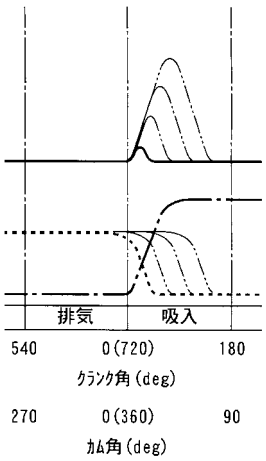
【図１４】



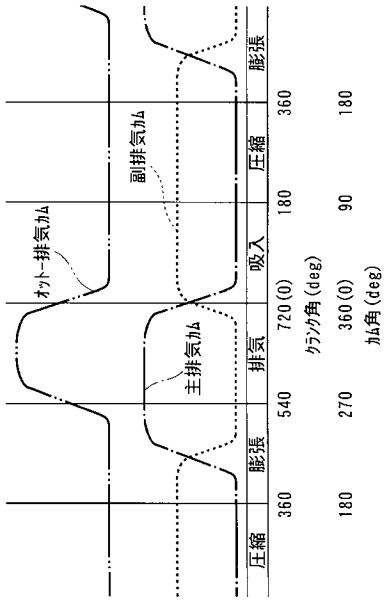
【図１５】



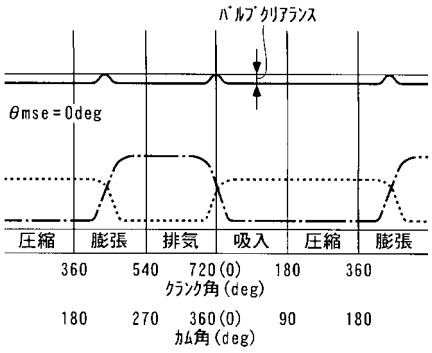
【図１６】



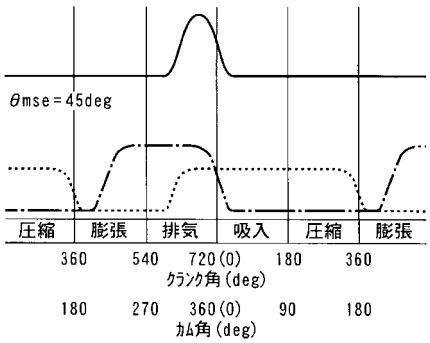
【図１７】



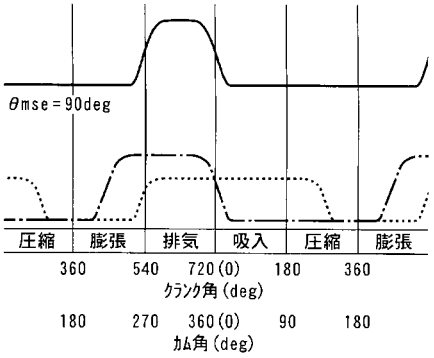
【図１８】



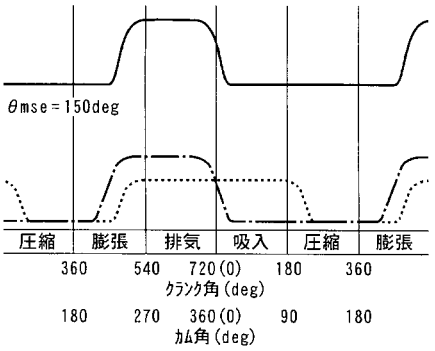
【図１９】



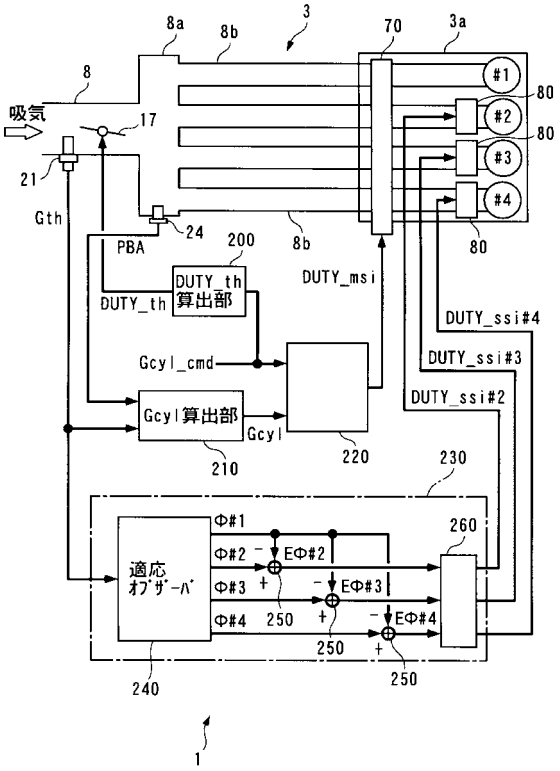
【図２０】



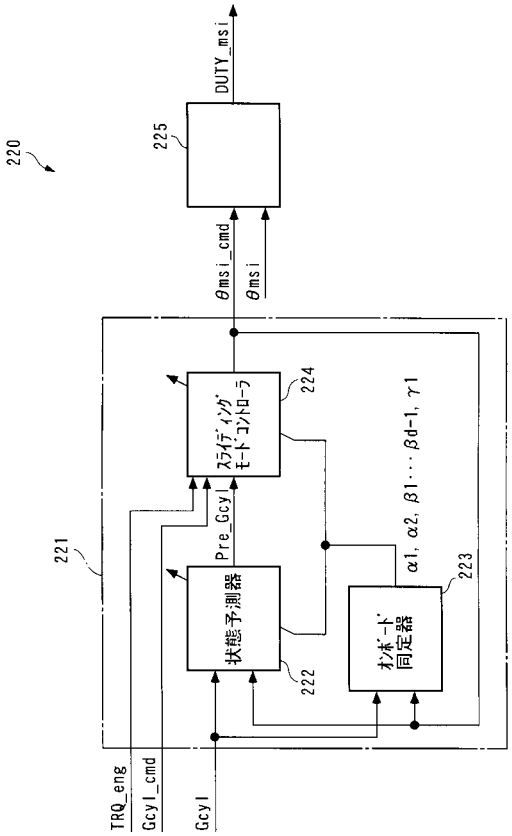
【図２１】



【図２２】



【図２３】



【図２４】

$$Gcyl(n)=Gth(n)-\frac{VB\cdot[PBA(n)-PBA(n-1)]}{R\cdot TB} \quad \cdots\cdots (1)$$

$$Gcyl(n)=a1\cdot Gcyl(n-1)+a2\cdot Gcyl(n-2)+b1\cdot \theta msi(n-d) \quad \cdots\cdots (2)$$

$$Gcyl(n+d-1)=a1\cdot Gcyl(n+d-2)+a2\cdot Gcyl(n+d-3)+b1\cdot \theta msi(n-1) \quad \cdots\cdots (3)$$

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

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

$$Gcyl(n+d-1)=\alpha1\cdot Gcyl(n)+\alpha2\cdot Gcyl(n-1)+\beta1\cdot \theta msi(n-1)+\beta2\cdot \theta msi(n-2)+\cdots+\beta d-1\cdot \theta msi(n-d+1) \quad \cdots\cdots (6)$$

$\alpha1$: $\boldsymbol{A}^{d-1}$ の１行１列成分
$\alpha2$: $\boldsymbol{A}^{d-1}$ の１行２列成分
βj : $\boldsymbol{A}^{j-1}\boldsymbol{B}$ の１行成分(j=0～d-1)

$$Pre_Gcyl(n)=\alpha1\cdot Gcyl(n)+\alpha2\cdot Gcyl(n-1)+\beta1\cdot \theta msi(n-1)+\beta2\cdot \theta msi(n-2)+\cdots+\beta d-1\cdot \theta msi(n-d+1)+\gamma1 \fallingdotseq Gcyl(n+d-1) \quad \cdots\cdots (7)$$

【図２５】

$$\theta s(n)=\theta s(n-1)+KPs(n)\cdot ide(n) \quad \cdots\cdots (8)$$

$$KPs(n)=\frac{Ps(n)\cdot \zeta s(n)}{1+\zeta s(n)^{T}\cdot Ps(n)\cdot \zeta s(n)} \quad \cdots\cdots (9)$$

$$Ps(n+1)=\frac{1}{\lambda 1}\left[I-\frac{\lambda 2\cdot Ps(n)\cdot \zeta s(n)\cdot \zeta s(n)^{T}}{\lambda 1+\lambda 2\cdot \zeta s(n)^{T}\cdot Ps(n)\cdot \zeta s(n)}\right] Ps(n) \quad \cdots\cdots (10)$$

I：d+2次の単位行列
λ1, λ2：重みパラメータ

$$ide(n)=Pre_Gcyl(n-d+1)-Gcyl(n)$$
$$=\theta s(n-1)^{T}\cdot \zeta s(n)-Gcyl(n) \quad \cdots\cdots (11)$$

$$\theta s(n)^{T}=[\alpha 1,\ \alpha 2,\ \beta 1,\ \beta 2,\ \cdots \beta d-1,\ \gamma 1] \quad \cdots\cdots (12)$$

$$\zeta s(n)^{T}=[Gcyl(n-d),\ Gcyl(n-d-1),$$
$$\theta msi(n-d),\ \theta msi(n-d-1),\ \cdots,\ \theta msi(n-2d+2),\ 1] \quad \cdots\cdots (13)$$

【図２６】

$$Gcyl(n+d)=\alpha 1\cdot Gcyl(n+1)+\alpha 2\cdot Gcyl(n)$$
$$+\beta 1\cdot \theta msi(n)+\beta 2\cdot \theta msi(n-1)$$
$$+\cdots+\beta d-1\cdot \theta msi(n-d+2)+\gamma 1 \quad \cdots\cdots (14)$$

$$Es(n)=Gcyl(n)-Gcyl_cmd(n) \quad \cdots\cdots (15)$$

$$\sigma s(n)=Es(n)+Ss\cdot Es(n-1) \quad \cdots\cdots (16)$$

$$-1<Ss<0 \quad \cdots\cdots (17)$$

$$\theta msi_cmd(n)=Uspas(n)$$
$$=Ueq(n)+Urch(n)+Uvt(n) \quad \cdots\cdots (18)$$

$$Ueq(n)=\frac{1}{\beta 1}\{Pre_Gcyl(n)+Ss\cdot Pre_Gcyl(n-1)$$
$$-\alpha 1\cdot Pre_Gcyl(n-d+1)-\alpha 2\cdot Gcyl(n)$$
$$-\beta 2\cdot \theta msi(n-1)-\cdots-\beta d-1\cdot \theta msi(n-d+2)-\gamma 1$$
$$+Gcyl_cmd(n+d)+(Ss-1)\cdot Gcyl_cmd(n+d-1)$$
$$-Ss\cdot Gcyl_cmd(n+d-2)\} \quad \cdots\cdots (19)$$

$$Urch(n)=\frac{-F}{\beta 1}\cdot \sigma s(n+d-1) \quad \cdots\cdots (20)$$

F：到達則ゲイン(0<F<2)

$$Uvt(n)=\theta msi_base(n) \quad \cdots\cdots (21)$$

【図２７】

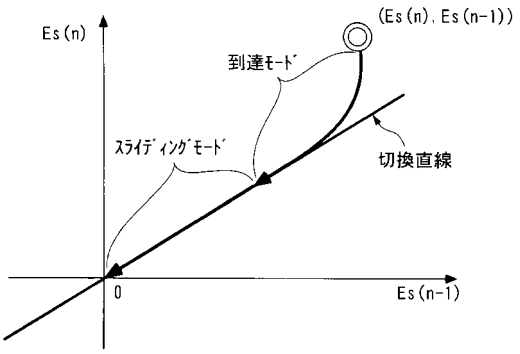
$$\sigma s(n+d)=\sigma s(n+d-1) \quad \cdots\cdots (22)$$

$$Es(n+d)+Ss\cdot Es(n+d-1)=Es(n+d-1)+Ss\cdot Es(n+d-2) \quad \cdots\cdots (23)$$

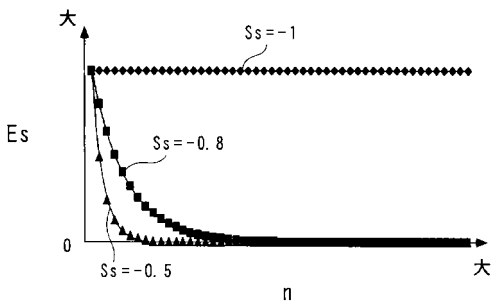
$$\alpha 1\cdot Gcyl(n+1)+\alpha 2\cdot Gcyl(n)+\beta 1\cdot \theta msi(n)+\beta 2\cdot \theta msi(n-1)$$
$$+\cdots+\beta d-1\cdot \theta msi(n-d+2)+\gamma 1-Gcyl_cmd(n+d)$$
$$+Ss\cdot Gcyl(n+d-1)-Ss\cdot Gcyl_cmd(n+d-1)$$
$$=Gcyl(n+d-1)-Gcyl_cmd(n+d-1)$$
$$+Ss\cdot Gcyl(n+d-2)-Ss\cdot Gcyl_cmd(n+d-2) \quad \cdots\cdots (24)$$

$$\theta msi(n)=\frac{1}{\beta 1}\{Gcyl(n+d-1)+Ss\cdot Gcyl(n+d-2)$$
$$-\alpha 1\cdot Gcyl(n+1)-\alpha 2\cdot Gcyl(n)$$
$$-\beta 2\cdot \theta msi(n-1)-\cdots-\beta d-1\cdot \theta msi(n-d+2)-\gamma 1$$
$$+Gcyl_cmd(n+d)+(Ss-1)\cdot Gcyl_cmd(n+d-1)$$
$$-Ss\cdot Gcyl_cmd(n+d-2)\} \quad \cdots\cdots (25)$$

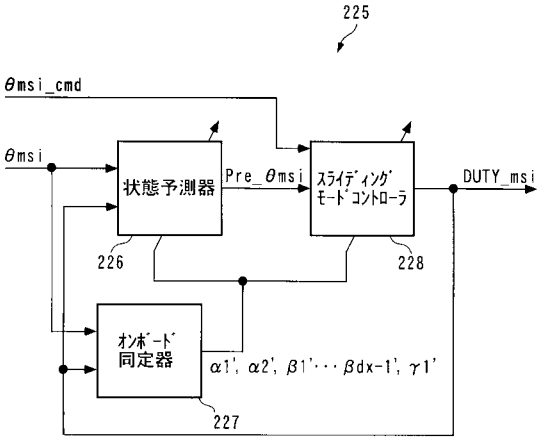
【図２８】



【図２９】



【図３０】



【図３１】

$$\theta msi(m)=a1'\cdot\theta msi(m-1)+a2'\cdot\theta msi(m-2)+b1'\cdot DUTY_msi(m-dx) \quad \cdots\cdots (26)$$

$$\boldsymbol{A'}=\begin{bmatrix} a1' & a2' \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots (27)$$

$$\boldsymbol{B'}=\begin{bmatrix} b1' \\ 0 \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots (28)$$

$$\begin{aligned} Pre_\theta msi(m) &= \alpha1'\cdot\theta msi(m)+\alpha2'\cdot\theta msi(m-1) \\ &\quad +\beta1'\cdot DUTY_msi(m-1)+\beta2'\cdot DUTY_msi(m-2) \\ &\quad +\cdots+\beta dx-1'\cdot DUTY_msi(m-dx+1)+\gamma1' \\ &\fallingdotseq \theta msi(m+dx-1) \end{aligned} \quad \cdots\cdots (29)$$

$\alpha1'$：$\boldsymbol{A'}^{dx-1}$ の１行１列成分
$\alpha2'$：$\boldsymbol{A'}^{dx-1}$ の１行２列成分
$\beta j'$：$\boldsymbol{A'}^{j'-1}\boldsymbol{B'}$ の１行成分(j'=0～dx-1)

【図３２】

$$\theta s'(m)=\theta s'(m-1)+KPs'(m)\cdot ide'(m) \quad \cdots\cdots (30)$$

$$KPs'(m)=\frac{Ps'(m)\cdot\zeta s'(m)}{1+\zeta s'(m)^{T}\cdot Ps'(m)\cdot\zeta s'(m)} \quad \cdots\cdots (31)$$

$$Ps'(m+1)=\frac{1}{\lambda1'}\left[I'-\frac{\lambda2'\cdot Ps'(m)\cdot\zeta s'(m)\cdot\zeta s'(m)^{T}}{\lambda1'+\lambda2'\cdot\zeta s'(m)^{T}\cdot Ps'(m)\cdot\zeta s'(m)}\right]Ps'(m) \quad \cdots\cdots (32)$$

I'：dx+2次の単位行列
λ1', λ2'：重みパラメータ

$$\begin{aligned} ide'(m) &= Pre_\theta msi(m-dx+1)-\theta msi(m) \\ &= \theta s'(m-1)^{T}\cdot\zeta s'(m)-\theta msi(m) \end{aligned} \quad \cdots\cdots (33)$$

$$\theta s'(m)^{T}=[\alpha1', \alpha2', \beta1', \beta2', \cdots\beta dx-1', \gamma1'] \quad \cdots\cdots (34)$$

$$\begin{aligned} \zeta s'(m)^{T}=[&\theta msi(m-dx), \theta msi(m-dx-1), \\ &DUTY_msi(m-dx), DUTY_msi(m-dx-1), \cdots \\ &\cdots, DUTY_msi(m-2dx+2), 1] \end{aligned} \quad \cdots\cdots (35)$$

【図３３】

$$Es'(m)=\theta msi(m)-\theta msi_cmd(m) \quad \cdots\cdots (36)$$

$$\sigma s'(m)=Es'(m)+Ss'\cdot Es'(m-1) \quad \cdots\cdots (37)$$

$$-1<Ss'<0 \quad \cdots\cdots (38)$$

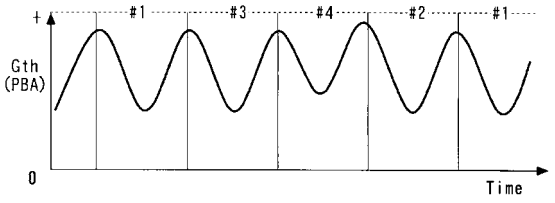
$$DUTY_msi(m)=Uspas'(m)=Ueq'(m)+Urch'(m) \quad \cdots\cdots (39)$$

$$\begin{aligned} Ueq'(m)=\frac{1}{\beta1'}\{&Pre_\theta msi(m)+Ss'\cdot Pre_\theta msi(m-1) \\ &-\alpha1'\cdot Pre_\theta msi(m-dx+1)-\alpha2'\cdot\theta msi(m) \\ &-\beta2'\cdot DUTY_msi(m-1)-\cdots-\beta dx-1'\cdot DUTY_msi(m-dx+2)-\gamma1' \\ &+\theta msi_cmd(m+dx)+(Ss'-1)\cdot\theta msi_cmd(m+dx-1) \\ &-Ss'\cdot\theta msi_cmd(m+dx-2)\} \end{aligned} \quad \cdots\cdots (40)$$

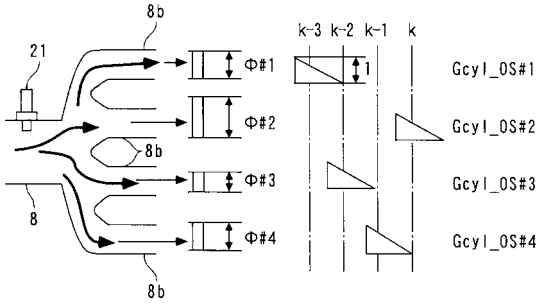
$$Urch'(n)=\frac{-F'}{\beta1'}\cdot\sigma s'(m+dx-1) \quad \cdots\cdots (41)$$

F'：到達則ゲイン(0<F'<2)

【図３４】



【図３５】



【図３６】

$$Gth(k-d') = \Phi\#1(k)\cdot Gcyl_OS\#1(k) + \Phi\#2(k)\cdot Gcyl_OS\#2(k) + \Phi\#3(k)\cdot Gcyl_OS\#3(k) + \Phi\#4(k)\cdot Gcyl_OS\#4(k) \quad \cdots\cdots (42)$$

$$Gth_est(k) = \Phi\#1(k)\cdot Gcyl_OS\#1(k) + \Phi\#2(k)\cdot Gcyl_OS\#2(k) + \Phi\#3(k)\cdot Gcyl_OS\#3(k) + \Phi\#4(k)\cdot Gcyl_OS\#4(k) \quad \cdots\cdots (43)$$

$$\phi(k) = \phi(k-1) + KR(k)\cdot ide'(k) \quad \cdots\cdots (44)$$

$$KR(k) = \frac{R(k)\cdot \zeta'(k)}{1+\zeta'(k)^T\cdot R(k)\cdot \zeta'(k)} \quad \cdots\cdots (45)$$

$$ide'(k) = Gth(k-d') - Gth_est(k) \quad \cdots\cdots (46)$$

$$Gth_est(k) = \phi(k-1)^T\,\zeta'(k) \quad \cdots\cdots (47)$$

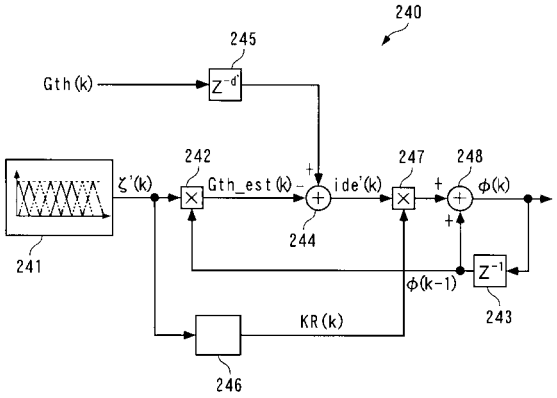
$$R(k+1) = \frac{1}{\lambda 1''}\left[I - \frac{\lambda 2''\cdot R(k)\cdot \zeta'(k)\cdot \zeta'(k)^T}{\lambda 1'' + \lambda 2''\cdot \zeta'(k)^T\cdot R(k)\cdot \zeta'(k)}\right] R(k) \quad \cdots\cdots (48)$$

I：単位行列
λ1″，λ2″：重みパラメータ

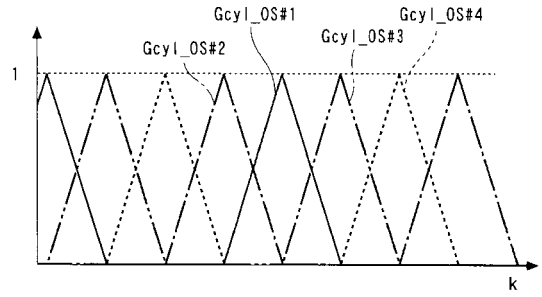
$$\phi(k)^T = [\Phi\#1(k),\ \Phi\#2(k),\ \Phi\#3(k),\ \Phi\#4(k)] \quad \cdots\cdots (49)$$

$$\zeta'(k)^T = [Gcyl_OS\#1(k),\ Gcyl_OS\#2(k),\ Gcyl_OS\#3(k),\ Gcyl_OS\#4(k)] \quad \cdots\cdots (50)$$

【図３７】



【図３８】



【図３９】

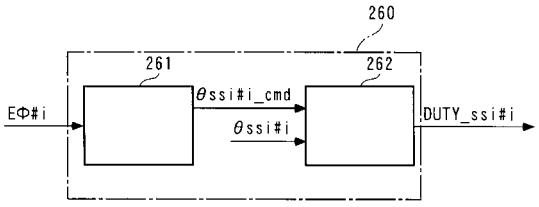
$$E\Phi\#i(k) = \Phi\#i(k) - \Phi\#1(k) \quad (i=2\sim 4) \quad \cdots\cdots (51)$$

$$\sigma'(k) = E\Phi\#i(k) + S'E\Phi\#i(k-1) \quad \cdots\cdots (52)$$

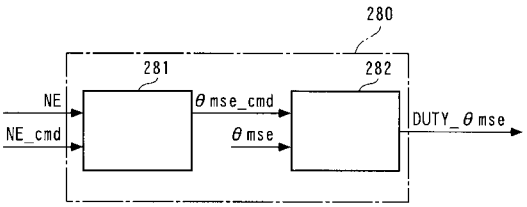
$$\theta ss\#i_cmd(k) = -Fs'\cdot \sigma'(k) - Gs'\cdot \sum_{j=0}^{k} \sigma'(j) - Hs'\cdot E\Phi\#i(k) \quad \cdots\cdots (53)$$

Fs′, Gs′, Hs′：フィードバックゲイン
S′　　：切換関数設定パラメータ(-1＜S′＜1)

【図４０】



【図４１】



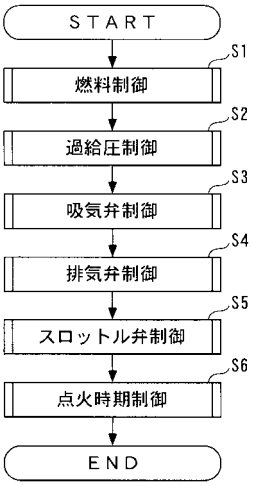
【図４２】

$$\theta mse_cmd(n)=\theta mse_ast(n)+d\theta mse(n) \quad \cdots\cdots (54)$$

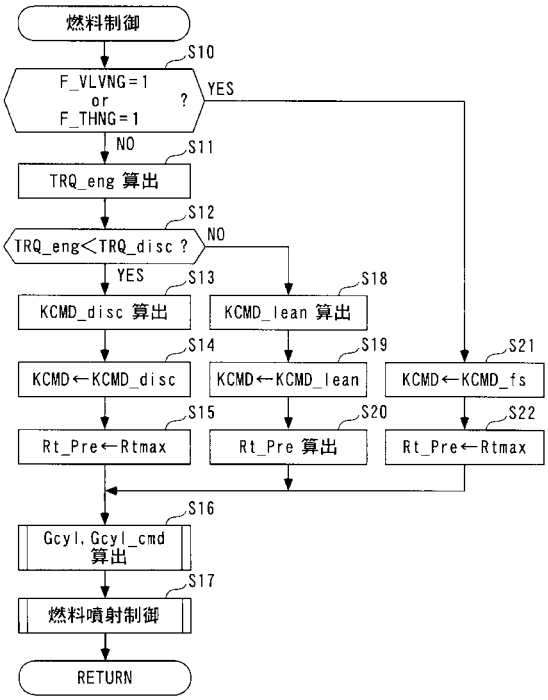
$$d\theta mse(n)=-Kastr\cdot\sigma ast(n)+\left[-Kasta\cdot\sum_{i=0}^{n}\sigma ast(i)\right] \quad \cdots\cdots (55)$$

$$\sigma ast(n)=NE(n)-NE_cmd(n)+Sast\cdot[NE(n-1)-NE_cmd(n-1)] \quad \cdots\cdots (56)$$

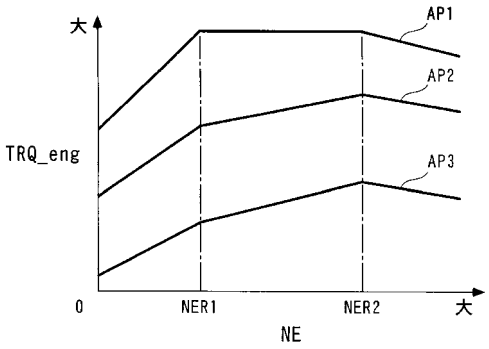
【図４３】



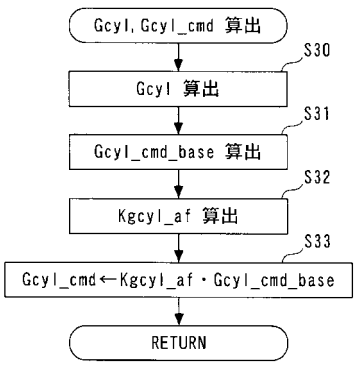
【図４４】



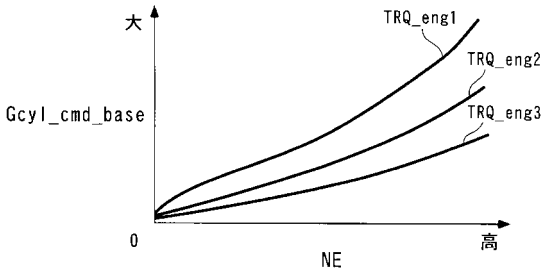
【図４５】



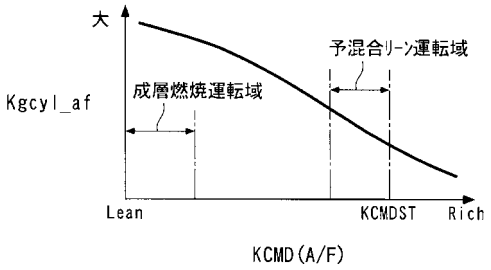
【図４６】



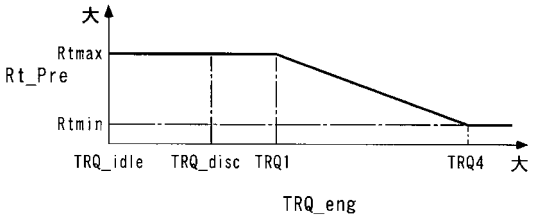
【図４７】



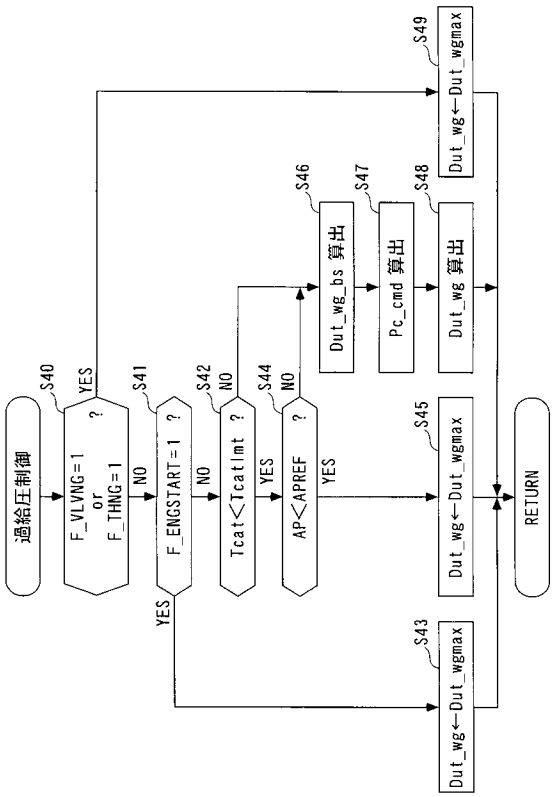
【図４８】



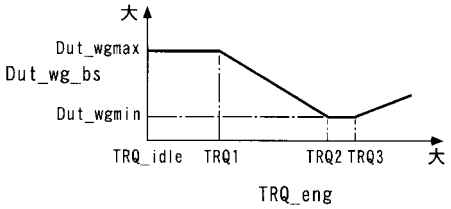
【図４９】



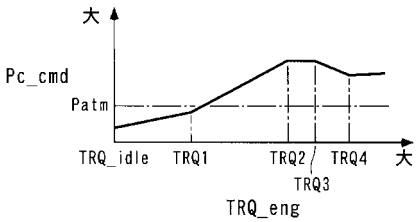
【図５０】



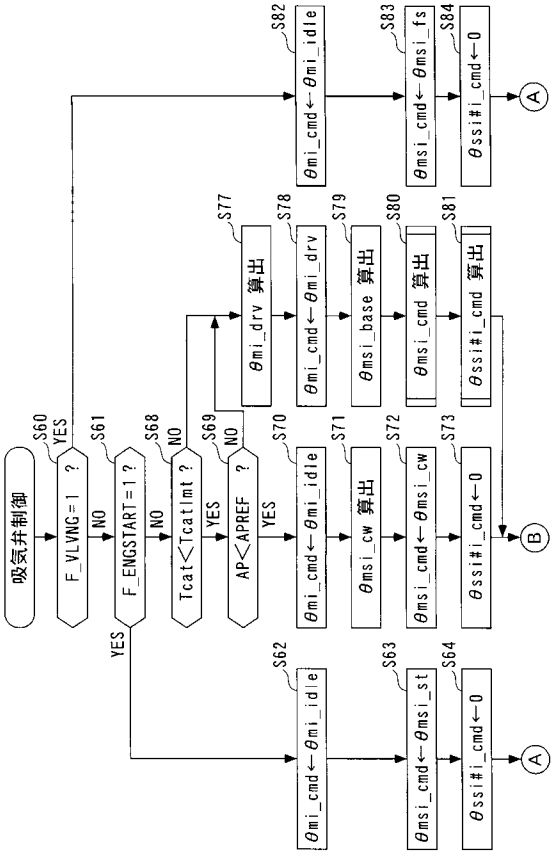
【図５１】



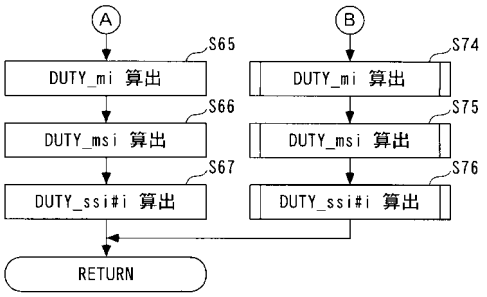
【図５２】



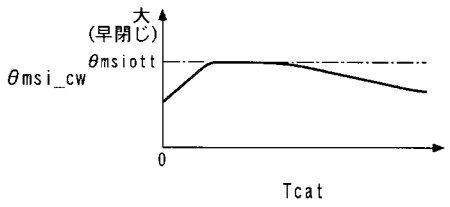
【図５３】



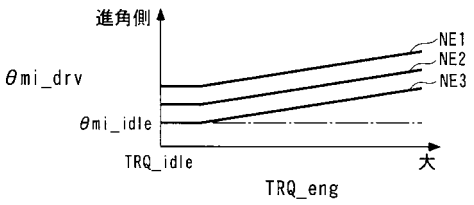
【図５４】



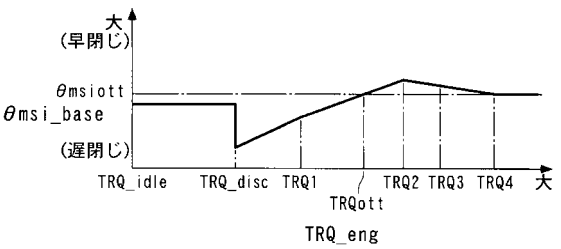
【図５５】



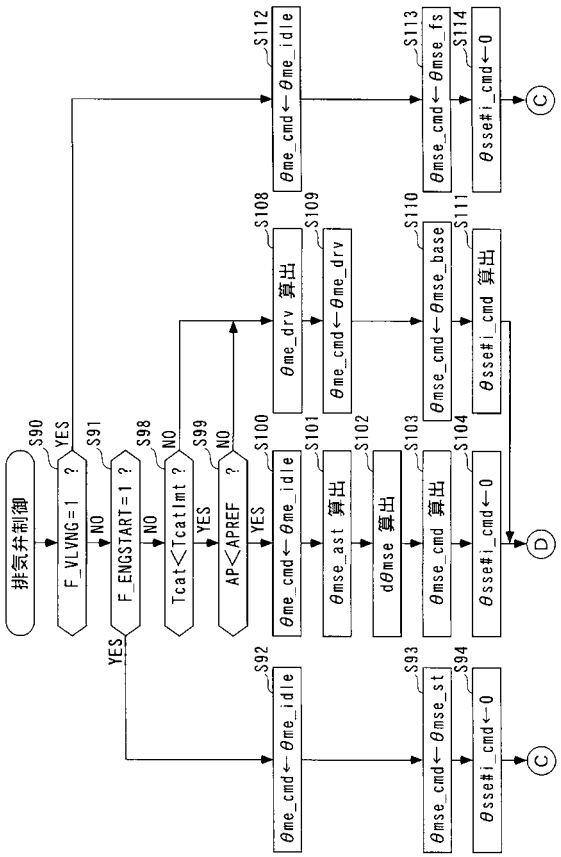
【図５６】



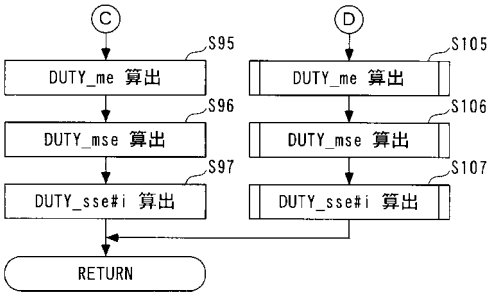
【図５７】



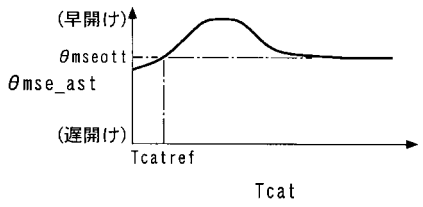
【図５８】



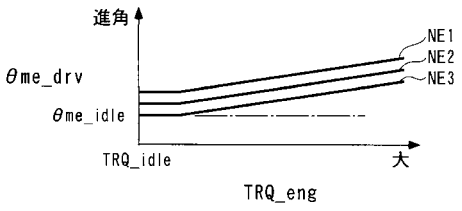
【図５９】



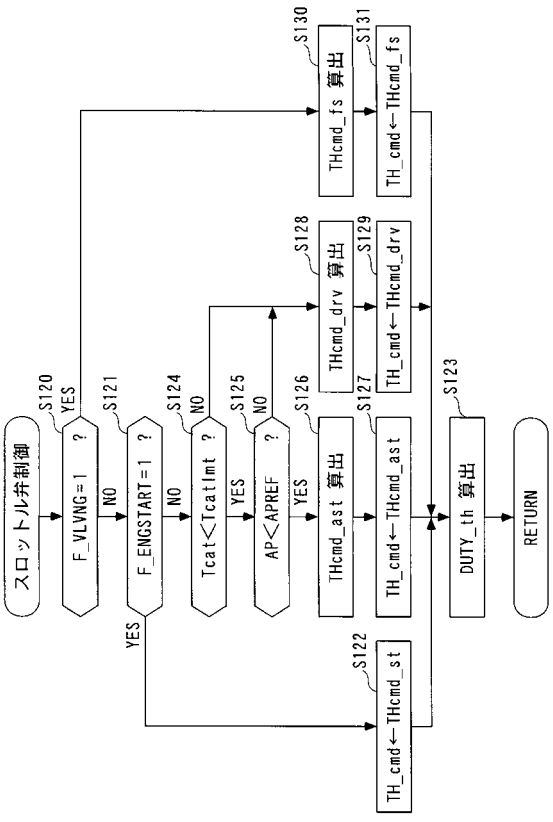
【図６０】



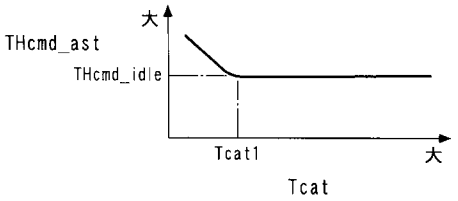
【図６１】



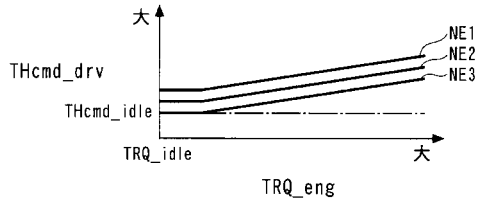
【図６２】



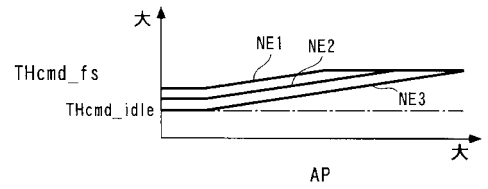
【図６３】



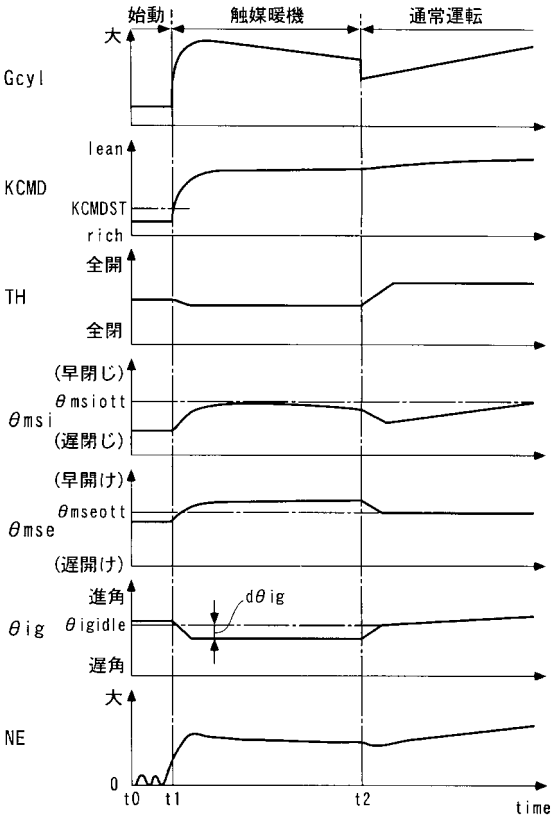
【図６４】



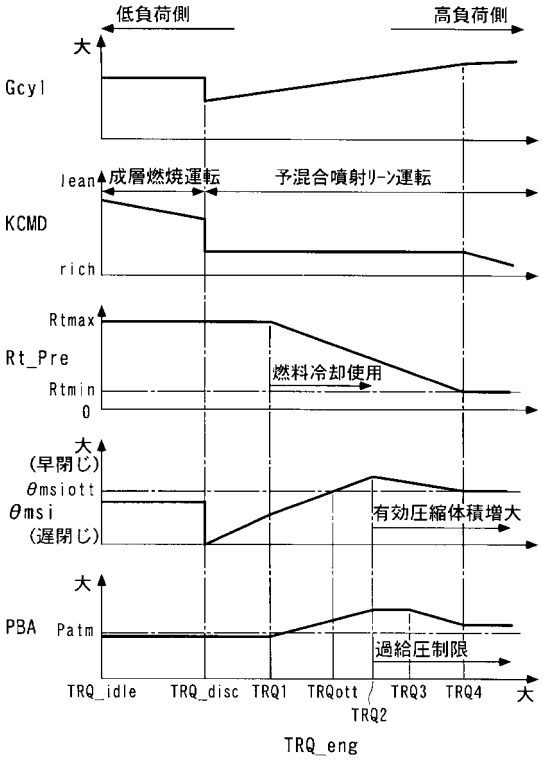
【図６５】



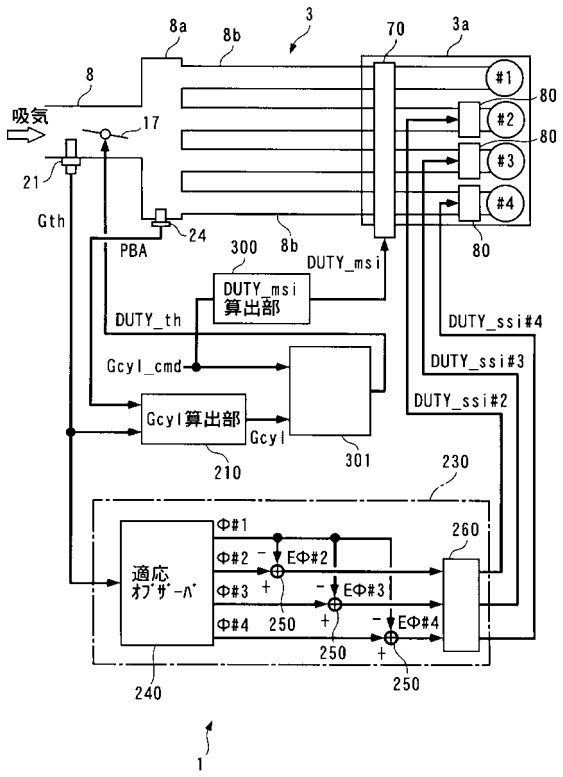
【図６６】



【図６７】



【図６８】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			FI		
G05B	***11/36***	***(2006.01)***	F02D	45/00	320Z
G05B	***13/04***	***(2006.01)***	F02D	45/00	372Z
G05B	*13/00*	*(2006.01)*	G05B	11/36	M
			G05B	13/04	
			G05B	13/00	A

(56)参考文献 特開２０００－１７９３８５（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－０９０２５２（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－１０８２０２（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
G05B 13/00
F02D 41/04
F02D 13/00