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

特許第5240094号
(P5240094)

(45)発行日　平成25年7月17日(2013.7.17)　(24)登録日　平成25年4月12日(2013.4.12)

(51)Int.Cl.		F I		
F02D 41/18	(2006.01)	F02D	41/18	E
F02D 45/00	(2006.01)	F02D	45/00	364D
		F02D	45/00	370B

請求項の数 5　(全 24 頁)

(21)出願番号　特願2009-151392 (P2009-151392)
(22)出願日　平成21年6月25日 (2009.6.25)
(65)公開番号　特開2011-7109 (P2011-7109A)
(43)公開日　平成23年1月13日 (2011.1.13)
審査請求日　平成24年1月20日 (2012.1.20)

(73)特許権者　000003207
トヨタ自動車株式会社
愛知県豊田市トヨタ町１番地
(74)代理人　100099759
弁理士　青木　篤
(74)代理人　100092624
弁理士　鶴田　準一
(74)代理人　100102819
弁理士　島田　哲郎
(74)代理人　100130133
弁理士　曽根　太樹
(74)代理人　100123582
弁理士　三橋　真二
(74)代理人　100141081
弁理士　三橋　庸良

最終頁に続く

(54)【発明の名称】内燃機関の制御装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
内燃機関の運転期間中に吸気弁を閉止状態で停止させることができ、スロットル弁の通過空気流量に基づいて吸気弁の上流側の空気圧力である吸気管内圧力を算出し、算出した吸気管内圧力に基づいて、気筒内に流入する筒内流入空気流量を算出する内燃機関の制御装置であって、
筒内流入空気流量は、吸気管内圧力を変数とし、少なくとも一つの定数を含むモデル計算式から算出されており、
吸気弁の駆動が継続しているときに筒内流入空気流量を算出するための駆動中の定数、および吸気弁が閉止状態で停止して吸気管内圧力がほぼ大気圧で一定である状態から再駆動すべきときに筒内流入空気流量を算出するための再駆動時の定数を有しており、
再駆動時の定数は、駆動中の定数と異なる定数が設定されており、
吸気弁の駆動が継続しているときには、駆動中の定数を用いたモデル計算式により筒内流入空気流量を算出し、
吸気弁が閉止状態で停止している状態から再駆動すべきときには、１回目の計算においては再駆動時の定数を用いたモデル計算式により筒内流入空気流量を算出し、吸気弁の再駆動後に駆動中の定数を用いたモデル計算式に切り替えて筒内流入空気流量を算出することを特徴とする、内燃機関の制御装置。
【請求項２】
筒内流入空気流量は、下記の式（１）のモデル計算式により算出されており、

吸気弁の駆動が継続しているときには、駆動中の定数ａおよび定数ｂを用いて筒内流入空気流量を算出し、
吸気弁が閉止状態で停止している状態から再駆動すべきときには、再駆動時の定数ａおよび定数ｂを用いて筒内流入空気流量を算出することを特徴とする、請求項１に記載の内燃機関の制御装置。
【数１】

$$mc = \frac{Ta}{Tm} \cdot (a \cdot Pm - b) \qquad \cdots (1)$$

（但し、ｍｃは筒内流入空気流量、Ｐｍは吸気管内圧力、Ｔａは大気温度、Ｔｍは吸気管内温度である）
【請求項３】
内燃機関の運転状態に依存した複数個の再駆動時の定数を有し、内燃機関の運転状態に基づいて、再駆動時の定数を選定することを特徴とする、請求項１または２に記載の内燃機関の制御装置。
【請求項４】
内燃機関の運転期間中に吸気弁を閉止状態で停止させることができ、スロットル弁の通過空気流量に基づいて吸気弁の上流側の空気圧力である吸気管内圧力を算出し、算出した吸気管内圧力に基づいて、気筒内に流入する筒内流入空気流量を算出する内燃機関の制御装置であって、
吸気弁が閉止状態で停止している状態では、吸気管内圧力がほぼ大気圧で一定であり、
吸気弁が閉止状態で停止している状態から再駆動すべきときには、算出された吸気管内圧力から予め定められた補正圧力を減算した圧力に基づいて筒内流入空気流量を算出し、
予め定められた補正圧力は、吸気弁の再駆動後の吸気管内圧力の低下量に基づいて設定されていることを特徴とする、内燃機関の制御装置。
【請求項５】
内燃機関の運転状態に依存した複数個の予め定められた補正圧力を有し、内燃機関の運転状態に基づいて、予め定められた補正圧力を選定することを特徴とする、請求項４に記載の内燃機関の制御装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、内燃機関の制御装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
内燃機関の運転を適切に行なうためには、燃焼時の空燃比を目標空燃比にできるだけ近づけることが好ましい。このために、吸気弁が閉止した時に気筒内に充填された空気量を推定し、この筒内充填空気量に応じて燃料噴射量を定める方法が知られている。筒内充填空気量を推定する方法としては、内燃機関の各種パラメータを検出するセンサの出力値を変数として筒内充填空気量を算出するマップを予め用意しておき、センサの出力値とマップとから筒内充填空気量を推定する方法が知られている。また、スロットル弁や吸気管等のモデルから導き出されるモデル計算式を予め用意しておき、内燃機関の各種パラメータの値とモデル計算式を用いた数値計算によって筒内充填空気量を推定する方法が知られている。
【０００３】
このうち、数値計算を利用した方法としては、スロットル弁の開度及び吸気管内圧力に基づいてスロットル弁通過空気流量を算出するスロットルモデルと、スロットル通過空気流量及び筒内流入空気流量に基づいて吸気管内圧力及び吸気管内温度を算出する吸気管モ

デルと、吸気管内圧力及び吸気管内温度に基づいて筒内流入空気流量を算出する吸気弁モデルとからなるエアモデルが提案されている（例えば、特許文献１参照）。この方法では、エアモデルから算出された筒内流入空気流量に基づいて筒内充填空気量を算出することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【特許文献１】特開２００５－６９０１９号公報

【特許文献２】特開２０００－８７７６７号公報

【特許文献３】特開２００６－２２７０８号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

多くの内燃機関では、機関減速運転時に燃焼室への燃料の供給を停止する燃料カット制御を行っている。燃料カット制御中に、吸気弁や排気弁を通常運転と同様に開弁させると、機関排気通路内に配置された排気浄化触媒に空気が流入する。排気浄化触媒に空気が流入すると、いわゆる排気浄化触媒の酸素被毒を招いてしまい、排気浄化触媒の浄化性能を低下させることになる。このため、多くの内燃機関では、通常の運転期間中には吸気弁の駆動を継続し、燃料カット制御中には、排気浄化触媒に酸素が流入することを防止するために、吸気弁を閉止状態で停止させている。

【０００６】

燃料カット制御等において吸気弁を閉止状態で停止する内燃機関では、吸気弁を閉止状態で停止することにより吸気管から流出する実際の空気流量は零になる。吸気弁を閉止状態で停止している期間では、スロットル弁が微開の状態で維持されるために、吸気管内圧力が上昇する。吸気管内圧力は、ほぼ大気圧で定常になる。

【０００７】

筒内流入空気流量を推定するエアモデルでは、スロットル弁を通過した空気流量を推定する。スロットル弁を通過した空気流量に基づいて、スロットル弁の下流の吸気管内の圧力を推定する。この圧力は、時間で平均した圧力である。また、エアモデルでは、吸気弁のモデル計算式により、算出された吸気管内圧力を用いて気筒内に流入する筒内流入空気流量を算出する。

【０００８】

吸気弁を閉止状態で停止させる内燃機関において、吸気弁を閉止状態で停止させている状態から吸気弁を再駆動したときには、吸気弁が継続的に駆動しているときの吸気弁のモデル計算式を用いて筒内流入空気流量を算出することが可能である。しかしながら、吸気弁が継続的に駆動しているときのモデル計算式と同一のモデル計算式を用いて、筒内流入空気流量を算出すると誤差が大きくなっていた。すなわち、吸気弁を再駆動したときに、エアモデルにより算出される筒内充填空気量の誤差が大きくなっていた。

【０００９】

気筒内に供給される燃料の量は、筒内充填空気量に応じて決定される。筒内流入空気流量の誤差が大きくなると筒内充填空気量の誤差も大きくなる。このため、気筒内に噴射される燃料の量の誤差も大きくなり、燃料が燃焼する時の空燃比の誤差が大きくなってしまうという問題があった。

【００１０】

本発明は、吸気弁が閉止状態で停止する内燃機関において、吸気弁が閉止状態で停止している状態から再駆動したときに気筒に流入する空気量を精度良く推定できる内燃機関の制御装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１１】

本発明の第１の内燃機関の制御装置は、内燃機関の運転期間中に吸気弁を閉止状態で停

止させることができ、スロットル弁の通過空気流量に基づいて吸気弁の上流側の空気圧力である吸気管内圧力を算出し、算出した吸気管内圧力に基づいて、気筒内に流入する筒内流入空気流量を算出する内燃機関の制御装置であって、筒内流入空気流量は、吸気管内圧力を変数とし、少なくとも一つの定数を含むモデル計算式から算出されている。吸気弁の駆動が継続しているときに筒内流入空気流量を算出するための駆動中の定数および、吸気弁が閉止状態で停止している状態から再駆動すべきときに筒内流入空気流量を算出するための再駆動時の定数を有している。内燃機関の制御装置は、吸気弁が閉止状態で停止している状態から再駆動すべきときには、再駆動時の定数を用いたモデル計算式により筒内流入空気流量を算出する。

【００１２】

上記発明においては、筒内流入空気流量は、下記の式（１）のモデル計算式により算出されており、吸気弁の駆動が継続しているときには、駆動中の定数ａおよび定数ｂを用いて筒内流入空気流量を算出し、吸気弁が閉止状態で停止している状態から再駆動すべきときには、再駆動時の定数ａおよび定数ｂを用いて筒内流入空気流量を算出することができる。

【００１３】

【数１】

$$mc = \frac{Ta}{Tm} \cdot (a \cdot Pm - b) \qquad \cdots (1)$$

【００１４】

但し、ｍｃは筒内流入空気流量、Ｐｍは吸気管内圧力、Ｔａは大気温度、Ｔｍは吸気管内温度である。

上記発明においては、内燃機関の運転状態に依存した複数個の再駆動時の定数を有し、内燃機関の運転状態に基づいて、再駆動時の定数を選定することが好ましい。この構成により、筒内流入空気流量の推定精度が向上する。

【００１５】

本発明の第２の内燃機関の制御装置は、内燃機関の運転期間中に吸気弁を閉止状態で停止させることができ、スロットル弁の通過空気流量に基づいて吸気弁の上流側の空気圧力である吸気管内圧力を算出し、算出した吸気管内圧力に基づいて、気筒内に流入する筒内流入空気流量を算出する内燃機関の制御装置であって、吸気弁が閉止状態で停止している状態から再駆動すべきときには、算出された吸気管内圧力から予め定められた補正圧力を減算した圧力に基づいて筒内流入空気流量を算出する。

【００１６】

上記発明においては、内燃機関の運転状態に依存した複数個の予め定められた補正圧力を有し、内燃機関の運転状態に基づいて、予め定められた補正圧力を選定することが好ましい。この構成により、筒内流入空気流量の推定精度が向上する。

【発明の効果】

【００１７】

本発明によれば、吸気弁が閉止状態で停止している状態から再駆動したときに、気筒に流入する空気量を精度良く推定できる内燃機関の制御装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１８】

【図１】本発明の制御装置を備えた内燃機関の全体図である。

【図２】実施の形態１における筒内充填空気量を算出するためのエアモデルのブロック図である。

【図３】スロットル開度と流量係数との関係を示すグラフである。

【図４】スロットル開度と開口断面積との関係を示すグラフである。
【図５】関数Φ（Ｐｍ／Ｐａ）を示すグラフである。
【図６】スロットルモデルの基本概念を示す図である。
【図７】吸気管モデルの基本概念を示す図である。
【図８】吸気弁モデルの基本概念を示す図である。
【図９】筒内充填空気量及び筒内流入空気流量の定義に関する図である。
【図１０】実施の形態１における内燃機関の運転状態を説明するタイムチャートである。
【図１１】吸気弁停止制御中におけるエアモデルのパラメータの流れを説明するブロック図である。
【図１２】吸気弁が完全に閉止した時の気筒の概略図である。
【図１３】内燃機関を第１の機関回転数で運転したときの吸気管内圧力の時間変動を説明するグラフである。
【図１４】内燃機関を第２の機関回転数で運転したときの吸気管内圧力の時間変動を説明するグラフである。
【図１５】実施の形態２において、吸気弁停止制御を終了して吸気弁を再駆動したときのタイムチャートである。
【発明を実施するための形態】
【００１９】
（実施の形態１）
図１から図１４を参照して、実施の形態１における内燃機関の制御装置について説明する。本実施の形態においては、筒内噴射型火花点火式の内燃機関を例示するが、本発明はポート噴射型火花点火式等の他の火花点火式の内燃機関や、圧縮自着火式の内燃機関等にも適用することができる。
【００２０】
図１は、本実施の形態における内燃機関の全体の概略図である。内燃機関は、機関本体１を備える。本実施の形態における機関本体１は、シリンダブロック２と、シリンダブロック２内で往復動するピストン３と、シリンダブロック２上に固定されたシリンダヘッド４とを備える。ピストン３とシリンダヘッド４との間には気筒（燃焼室）５が形成されている。シリンダヘッド４には、それぞれの気筒５ごとに吸気弁６と、吸気ポート７と、排気弁８と、排気ポート９とが配置されている。さらに、シリンダヘッド４の内壁面の中央部には点火プラグ１０が配置されている。シリンダヘッド４の内壁面周辺部には、燃料Ｆを気筒５内に供給する燃料噴射弁１１が配置されている。また、ピストン３の頂面には、燃料噴射弁１１の噴射口の下方から点火プラグ１０の下方まで延びるキャビティ１２が形成されている。
【００２１】
吸気ポート７は、それぞれの気筒５毎に吸気枝管１３を介してサージタンク１４に連結される。サージタンク１４は、上流側吸気管１５を介してエアクリーナ１６に連結される。上流側吸気管１５内には、ステップモータ１７によって駆動されるスロットル弁１８が配置される。一方、排気ポート９は、排気管１９に連結される。排気管１９は排気浄化触媒２０に連結される。
【００２２】
また、吸気弁６には、吸気弁６の位相角及び作用角を変更可能な可変動弁機構２１が設けられている。可変動弁機構２１により、吸気弁６の開弁時期または閉弁時期に相当するバルブタイミング、および吸気弁６が開いている期間に相当する作用角を自由に変更することができる。また、可変動弁機構２１により、吸気弁６が閉止した状態で停止させることができる。すなわち、燃焼サイクルの吸気工程に相当する期間において、吸気弁６が閉止した状態を維持することができる。
【００２３】
本実施の形態における内燃機関の制御装置は、電子制御ユニット３１を備える。電子制御ユニット（ＥＣＵ）３１は、ディジタルコンピュータからなり、双方向性バス３２を介

して相互に接続されたＲＡＭ（ランダムアクセスメモリ）３３、ＲＯＭ（リードオンリメモリ）３４、ＣＰＵ（マイクロプロセッサ）３５、入力ポート３６および出力ポート３７を備える。

【００２４】

また、内燃機関は、スロットル弁１８の開度を検出するためのスロットル開度センサ４３を備える。スロットル開度センサ４３の出力信号は、対応するＡＤ変換器３８を介して入力ポート３６に入力される。内燃機関は、内燃機関周囲の大気の圧力、または、エアクリーナ１６を通じて上流側吸気管１５に吸入された空気の圧力（吸気圧）を検出するための大気圧センサ４５と、内燃機関周囲の大気の温度、または、エアクリーナ１６を通じて上流側吸気管１５に吸入された空気の温度（吸気温）を検出するための大気温センサ４４とを備える。これらセンサ４４，４５は、それぞれ、大気圧および大気温度に比例した出力電圧を発生し、これら出力電圧は対応するＡＤ変換器３８を介して入力ポート３６に入力される。上流側吸気管１５内には、空気の流量を計測するためのエアフロメータ４２が配置されている。エアフロメータ４２の出力信号は、対応するＡＤ変換器３８を介して入力ポート３６に入力される。

【００２５】

アクセルペダル４６には、アクセルペダル４６の踏込み量に比例した出力電圧を発生する負荷センサ４７が接続される。負荷センサ４７の出力電圧は、対応するＡＤ変換器３８を介して入力ポート３６に入力される。また、内燃機関は、クランク角センサ４８を具備する。クランク角センサ４８は、例えば、クランクシャフトが３０度回転する毎に出力パルスを発生し、この出力パルスが入力ポート３６に入力される。ＣＰＵ３５は、クランク角センサ４８の出力パルスから機関回転数を算出する。

【００２６】

一方、出力ポート３７は対応する駆動回路３９を介して点火プラグ１０、燃料噴射弁１１、スロットル弁用のステップモータ１７に接続される。

【００２７】

ところで、燃料噴射弁１１から気筒５内に噴射すべき燃料の量（以下、「燃料噴射量」という）は、気筒５内に充填された空気量に基づいて、気筒５内の混合気の空燃比が目標空燃比となるように決定される。したがって、気筒５内の混合気の空燃比を目標空燃比にするためには、気筒５内に充填された空気量（以下、「筒内充填空気量」という）を推定する必要がある。本実施の形態においては、それぞれの機器のモデルから導き出されるモデル計算式を利用した数値計算によって筒内充填空気量を算出する。

【００２８】

図２は、本実施の形態における筒内充填空気量を推定するエアモデルのブロック図である。図２に示すエアモデルは、多くの種類のエアモデルのうち単純なモデルである。なお、以下では、図２に示したエアモデルを例に取り上げて説明するが、本発明の制御装置は、種々の機器のモデル計算式を用いて筒内充填空気量を算出するエアモデルに適用することができる。

【００２９】

エアモデルＭ１０は、スロットル弁をモデル化したスロットルモデルＭ１１と、スロットル弁から吸気弁までの機関吸気通路をモデル化した吸気管モデルＭ１２と、吸気弁をモデル化した吸気弁モデルＭ１３とを備える。スロットルモデルＭ１１には、スロットル開度センサ４３によって検出されたスロットル弁１８の開度（スロットル開度）θｔと、大気圧センサ４５によって検出された大気圧（または、スロットル弁１８の上流側の吸気管に吸入される空気の圧力）Ｐａと、大気温センサ４４によって検出された大気温度（または、スロットル弁１８の上流側の吸気管に吸入される空気の温度）Ｔａと、吸気管モデルＭ１２において算出されたスロットル弁１８から吸気弁６までの機関吸気通路における圧力（以下、「吸気管内圧力」という）Ｐｍとが入力され、これら入力された各パラメータの値をスロットルモデルＭ１１のモデル計算式に代入することで、単位時間当たりにスロットル弁１８を通過する空気の流量（以下、「スロットル弁通過空気流量」という）ｍｔ

が算出される。

【００３０】

また、吸気管モデルＭ１２には、上述したスロットルモデルＭ１１において算出されたスロットル弁通過空気流量ｍｔと、吸気弁モデルＭ１３において算出された単位時間当たりに気筒５内に流入する空気の流量（以下、「筒内流入空気流量」という。）ｍｃと、大気温度Ｔａとが入力される。これらの入力された各パラメータの値を吸気管モデルＭ１２のモデル計算式に代入することで、吸気管内圧力Ｐｍと、スロットル弁１８から吸気弁６までの機関吸気通路における空気の温度（以下、「吸気管内温度」という）Ｔｍとが算出される。

【００３１】

また、吸気弁モデルＭ１３には、上述した吸気管モデルＭ１２において算出された吸気管内圧力Ｐｍと、吸気管内温度Ｔｍと、大気温度Ｔａとが入力される。これら入力された各パラメータの値を吸気弁モデルＭ１３のモデル計算式に代入することで、筒内流入空気流量ｍｃが算出される。

【００３２】

そして、この方法では、筒内流入空気流量ｍｃを利用して、吸気弁６が閉止した時に気筒５内に充填されている空気の量である筒内充填空気量Ｍｃが算出される。

【００３３】

エアモデルＭ１０では、各モデルにおいて算出されるパラメータ値が別のモデルに入力されるパラメータ値として利用されるので、エアモデルＭ１０全体では、実際に入力されるパラメータ値は、スロットル開度θｔ、大気圧Ｐａ、および大気温度Ｔａの３つのパラメータである。すなわち、３つのパラメータから筒内充填空気量Ｍｃを算出することができる。

【００３４】

次に、各機器のモデルＭ１１～Ｍ１３について詳細に説明する。スロットルモデルＭ１１では、大気圧Ｐａと大気温度Ｔａと吸気管内圧力Ｐｍとスロットル開度θｔとを次の式（２）に入力し、この式を解くことによって、スロットル弁通過空気流量ｍｔが算出される。

【００３５】

【数２】

$$mt = \mu t(\theta t) \cdot At(\theta t) \cdot \frac{Pa}{\sqrt{R \cdot Ta}} \cdot \Phi\left(\frac{Pm}{Pa}\right) \qquad \cdots (2)$$

【００３６】

式（２）において、μｔはスロットル弁における流量係数であり、スロットル開度θｔの関数であって、図３に示したマップから定まる。また、Ａｔはスロットル弁１８の開口断面積であり、スロットル開度θｔの関数であって、図４に示したマップから定まる。なお、これら流量係数μｔおよび開口断面積Ａｔをまとめたμｔ・Ａｔをスロットル開度θｔの関数として１つのマップから求めるようにしてもよい。また、Ｒは気体定数に関する定数であり、いわゆる気体定数Ｒ*を１モル当たりの空気の質量Ｍａで除算した値である（Ｒ＝Ｒ*／Ｍａ）。

また、Φ（Ｐｍ／Ｐａ）は、次の式（３）に示すように、Ｐｍ／Ｐａを変数とする関数である。

【００３７】

【数３】

$$\Phi\left(\frac{Pm}{Pa}\right)=\begin{cases}\dfrac{\sqrt{\dfrac{\kappa}{2(k+1)}}}{\sqrt{\left\{\left(\dfrac{\kappa-1}{2\kappa}\right)\cdot\left(1-\dfrac{Pm}{Pa}\right)+\dfrac{Pm}{Pa}\right\}\cdot\left(1-\dfrac{Pm}{Pa}\right)}} & \cdots\dfrac{Pm}{Pa}\le\dfrac{1}{\kappa+1}\\ & \cdots\dfrac{Pm}{Pa}>\dfrac{1}{\kappa+1}\end{cases}$$

… （３）

【００３８】
式（３）において、κは比熱比であり、本実施の形態においては一定値としている。
【００３９】
なお、関数Φ（Ｐｍ／Ｐａ）とＰｍ／Ｐａとの間には、図５に示したような関係がある。そこで、式（３）の代わりに、Ｐｍ／Ｐａを変数とする関数Φ（Ｐｍ／Ｐａ）算出用のマップをＲＯＭ３４に予め記憶しておき、Ｐｍ／Ｐａとこのマップとから関数Φ（Ｐｍ／Ｐａ）の値を算出するようにしてもよい。
【００４０】
なお、これら式（２）および式（３）は、スロットル弁１８上流の空気の圧力を大気圧Ｐａとし、スロットル弁１８上流の空気の温度を大気温度Ｔａとし、スロットル弁１８を通過した空気の圧力を吸気管内圧力Ｐｍとして、スロットル弁１８に関し、図６に示したようなモデルを基礎として、スロットル弁１８上流の空気とスロットル弁１８を通過した空気との間において質量保存則、エネルギ保存則、および、運動量保存則上成立する関係式、ならびに、気体の状態方程式、比熱比の定義式（κ＝Ｃｐ／Ｃｖ）、および、マイヤーの関係式（Ｃｐ＝Ｃｖ＋Ｒ*）を利用して導き出される。ここで、Ｃｐは定圧比熱であり、Ｃｖは定量比熱であり、Ｒ*はいわゆる気体定数である。
【００４１】
次に、吸気管モデルＭ１２について説明する。吸気管モデルＭ１２では、スロットル弁通過空気流量ｍｔと筒内流入空気流量ｍｃと大気温度Ｔａとを次の式（４）および（５）に入力し、これらの式を解くことによって、吸気管内圧力Ｐｍおよび吸気管内温度Ｔｍが算出される。
【００４２】
【数４】

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{Pm}{Tm}\right)=\frac{R}{V}\cdot(mt-mc)\qquad\cdots(4)$$

$$\frac{dPm}{dt}=\kappa\cdot\frac{R}{V}\cdot(mt\cdot Ta-mc\cdot Tm)\qquad\cdots(5)$$

【００４３】
式（４）および式（５）において、Ｖはスロットル弁１８から吸気弁６までの上流側吸気管１５、サージタンク１４、吸気枝管１３、および吸気ポート７（以下、これらをまとめて「吸気管部分」という）の容積の総和であり、通常は一定値である。
【００４４】
なお、これらの式（４）および式（５）は、吸気管部分に関し、図７に示したようなモデルを基礎にして、吸気管部分２３に流入する空気と吸気管部分２３から流出して気筒内

に流入する空気との間において質量保存則、および、エネルギ保存則上成立する関係式から導き出される。

【００４５】

詳細には、吸気管部分内の空気量の総和をＭとすると、この空気量Ｍの時間的変化は、吸気管部分に流入する空気の流量（スロットル弁通過空気流量）ｍｔと吸気管部分から流出して気筒内に流入する空気の流量（筒内流入空気流量）ｍｃとの差に等しいことから、質量保存則上、次の式（６）が成立する。

【００４６】

【数５】

$$\frac{dM}{dt} = mt - mc \qquad \cdots (6)$$

【００４７】

そして、この式（６）と、気体の状態方程式（Ｐｍ・Ｖ＝Ｍ・Ｒ*・Ｔｍ）とから、上記の式（４）が導き出される。

【００４８】

また、吸気管部分内の空気のエネルギ量Ｍ・Ｃｖ・Ｔｍの時間的変化量は、吸気管部分に流入する空気のエネルギ量と吸気管部分から流出して気筒内に流入する空気のエネルギ量との差に等しいことから、吸気管部分に流入する空気の温度を大気温度Ｔａとし、吸気管部分から流出して気筒内に流入する空気の温度を吸気管内温度Ｔｍとすると、エネルギ保存則上、次式（７）が成立する。

【００４９】

【数６】

$$\frac{d(M \cdot Cv \cdot Tm)}{dt} = Cp \cdot mt \cdot Ta - Cp \cdot mc \cdot Tm \qquad \cdots (7)$$

【００５０】

そして、この式（７）と、上述した気体の状態方程式とから、上記式（５）が導き出される。

【００５１】

次に、吸気弁モデルＭ１３について説明する。吸気弁モデルＭ１３では、吸気管内圧力Ｐｍと吸気管内温度Ｔｍと大気温度Ｔａとを次の式（８）に入力し、この式を解くことによって、筒内流入空気流量ｍｃが算出される。

【００５２】

【数７】

$$mc = \frac{Ta}{Tm} \cdot (a \cdot Pm - b) \qquad \cdots (8)$$

【００５３】

吸気弁モデルＭ１３のモデル計算式である式（８）において、定数ａは比例係数であり、定数ｂは排気弁８の閉弁時に気筒５内に残存していたガスの量を表す値である。また、

本実施の形態における定数ａおよび定数ｂは、後述するように機関回転数ＮＥを検出して適宜変更している。機関回転数ＮＥを関数とした定数ａおよび定数ｂが、電子制御ユニット３１のＲＯＭ３４に記憶されている。

【００５４】

式（８）は、吸気弁６に関し、図８に示したようなモデルを基礎にして、筒内流入空気流量ｍｃが吸気管内圧力Ｐｍに比例するとみなして、理論および経験則から導き出される。さらに、内燃機関の運転状態が変化しているとき、すなわち、過渡運転時には、吸気管内温度Ｔｍが大きく変化することがあるので、この吸気管内温度Ｔｍの変化を補償するための補正係数として、理論および経験則から導かれたＴａ／Ｔｍが乗じられている。式（８）の導出については後述する。

【００５５】

なお、式（８）によって算出される筒内流入空気流量ｍｃは、単位時間当たりに吸気管部分から流出する空気の流量の平均値であるので、筒内流入空気流量ｍｃに、内燃機関の１サイクルにかかる時間を気筒数で割った時間を乗じることによって、各気筒５における筒内充填空気量Ｍｃを算出することができる。

【００５６】

次に、図９を参照して、４つの気筒を備えた内燃機関を例に取り上げて、筒内流入空気流量および筒内充填空気量について説明する。横軸は、クランク角度（回転角度）であり、縦軸が単位時間当たりに吸気管部分から気筒５に流入する空気の量である。また、図９に示した例では、吸気行程が第１気筒、第３気筒、第４気筒、第２気筒の順で行われる。このように吸気行程が行われると、吸気管部分から各気筒５に流入する空気の流量は、図９において破線で示したように変化し、その結果、吸気管部分から流出する空気の流量は、図９において実線で示したように変化することになる。

【００５７】

そして、吸気管部分から流出する空気の流量（図９の実線）の平均値が筒内流入空気流量ｍｃであり、一点鎖線で示されている。したがって、各気筒５における筒内充填空気量Ｍｃは、筒内流入空気流量ｍｃ（図９の一点鎖線）に、内燃機関の１サイクルにかかる時間（図９に示した例では、クランクシャフトが７２０°回転するのにかかる時間）を気筒数で割った時間、すなわち、図９に示した例では、クランクシャフトが１８０°回転するのにかかる時間を乗算することによって算出される。このように算出された各気筒５における筒内充填空気量Ｍｃは、例えば、図９の斜線を付した部分に相当する。

【００５８】

次に、上述したエアモデルＭ１０を内燃機関に実装したときの筒内充填空気量Ｍｃの算出方法について説明する。

【００５９】

筒内充填空気量Ｍｃは、エアモデルＭ１０の各モデルの式（２）～（５）および（８）から求められるが、これら５つの式は、内燃機関に実装されるときには、電子制御ユニット３１で処理可能なように離散化される。すなわち、時刻をｔとし、計算間隔（計算周期）をΔｔとすると、これら５つの式は、次の式（９）～（１３）に示すように離散化される。

【００６０】

【数８】

$$mt(t) = \mu\left(\theta t(t)\right) \cdot A\left(\theta t(t)\right) \cdot \frac{Pa}{\sqrt{R \cdot Ta}} \cdot \Phi\left(\frac{Pm(t)}{Pa}\right) \qquad \cdots (9)$$

$$\Phi\left(\frac{Pm(t)}{Pa}\right) = \begin{cases} \sqrt{\dfrac{\kappa}{2(k+1)}} & \cdots \dfrac{Pm(t)}{Pa} \le \dfrac{1}{\kappa+1} \\ \sqrt{\left\{\left(\dfrac{\kappa-1}{2\kappa}\right) \cdot \left(1 - \dfrac{Pm(t)}{Pa}\right) + \dfrac{Pm(t)}{Pa}\right\} \cdot \left(1 - \dfrac{Pm(t)}{Pa}\right)} & \cdots \dfrac{Pm(t)}{Pa} > \dfrac{1}{\kappa+1} \end{cases} \qquad \cdots (10)$$

$$\frac{Pm}{Tm}(t + \Delta t) = \frac{Pm}{Tm}(t) + \Delta t \cdot \frac{R}{V} \cdot \left(mt(t) - mc(t)\right) \qquad \cdots (11)$$

$$Pm(t + \Delta t) = Pm(t) + \Delta t \cdot \kappa \cdot \frac{R}{V} \cdot \left(mt(t) \cdot Ta - mc(t) \cdot Tm(t)\right) \qquad \cdots (12)$$

$$mc(t) = \frac{Ta}{Tm(t)} \cdot (a \cdot Pm(t) - b) \qquad \cdots (13)$$

【００６１】
このように離散化されて内燃機関に実装されたエアモデルＭ１０によれば、スロットルモデルＭ１１において算出される時刻ｔにおけるスロットル弁通過空気流量ｍｔ（ｔ）と、吸気弁モデルＭ１３において算出される時刻ｔにおける筒内流入空気流量ｍｃ（ｔ）と、時刻ｔにおける吸気管内温度Ｔｍ（ｔ）とを吸気管モデルＭ１２の式（１１）および（１２）に入力し、これらの式（１１）および式（１２）を解くことによって、時刻（ｔ＋Δｔ）における吸気管内圧力Ｐｍ（ｔ＋Δｔ）および吸気管内温度Ｔｍ（ｔ＋Δｔ）が算出される。

【００６２】
そして、吸気管モデルＭ１２において算出された吸気管内圧力Ｐｍ（ｔ＋Δｔ）と時刻ｔにおけるスロットル開度θｔ（ｔ）とをスロットルモデルＭ１１の式（９）および（１０）に入力し、これら式を解くことによって、時刻（ｔ＋Δｔ）におけるスロットル弁通過空気流量ｍｔ（ｔ＋Δｔ）が算出される。

【００６３】
さらに、吸気管モデルＭ１２において算出された吸気管内圧力Ｐｍ（ｔ＋Δｔ）および吸気管内温度Ｔｍ（ｔ＋Δｔ）を吸気弁モデルＭ１３の式（１３）に入力し、この式を解くことによって、時刻（ｔ＋Δｔ）における筒内流入空気流量ｍｃ（ｔ＋Δｔ）が算出される。

【００６４】
こうした計算を繰り返すことによって、任意の時刻における筒内流入空気流量ｍｃが算出される。そして、こうして算出された筒内流入空気流量ｍｃに、上述したように、１サイクルにかかる時間を気筒数で割った時間をかけることによって、任意の時刻における各気筒の筒内充填空気量Ｍｃが算出される。

【００６５】
なお、内燃機関の始動時、すなわち、時刻ｔ＝０においては、吸気管内圧力Ｐｍは大気圧Ｐａと等しい（Ｐｍ（０）＝Ｐａ）とされ、一方、吸気管内温度Ｔｍは大気温度Ｔａと

等しい（Ｔｍ（０）＝Ｔａ）とされ、各モデルＭ１１～Ｍ１３における計算が開始される。

【００６６】

また、上述したエアモデルＭ１０において使用される大気圧Ｐａおよび大気温度Ｔａとして、エアモデルＭ１０の計算が開始されたときの大気圧および大気温度を常に用いてもよいし、時刻ｔにおける大気圧Ｐａ（ｔ）および大気温度Ｔａ（ｔ）を用いて計算を行なっても構わない。このように、それぞれの機器のモデル式を用いて推定値を算出することができる。

【００６７】

ところで、本実施の形態の内燃機関では、機関減速運転時に気筒５への燃料の供給を停止する燃料カット制御を実行している。このように燃料カット制御を実行する際に、気筒５内に空気を流通させると、すなわち吸気弁６を介して空気を気筒５内に流入させると共に排気弁８を介して空気を気筒５内から流出させると、排気浄化触媒２０には多量の空気が流入する。

【００６８】

排気浄化触媒２０に空気、特に酸素が流入すると、酸素は排気浄化触媒２０の表面上に吸着する。また、排気浄化触媒２０に担持されている貴金属は高温になると互いに結合して大粒となり、この結合反応は排気浄化触媒２０の表面上に吸着されている酸素によって促進される。このため、排気浄化触媒２０に多量の空気が流入して、排気浄化触媒２０の表面上に保持されている酸素の量が増大すると、貴金属の酸化能力等が低下する（酸素被毒）。

【００６９】

このため、本実施の形態の内燃機関では、燃料カット制御を実行する場合には、吸気弁６を閉止状態で停止させる吸気弁停止制御を実行することとしている。これにより、燃料カット制御中であっても排気浄化触媒２０に酸素が流入することが抑制され、その結果、排気浄化触媒２０の酸素被毒が抑制される。

【００７０】

図１０に、本実施の形態における内燃機関において、燃料カット制御を行うときのタイムチャートを示す。時刻ｔｓまでは、吸気弁が継続的に駆動する通常運転を実行している。本実施の形態における内燃機関は、時刻ｔｓまでは、いずれかの気筒の吸気弁が開状態になっているために連続的に気筒に空気が流入している。時刻ｔｓまでは、実際の吸気管内圧力は大気圧よりも低くなる。

【００７１】

時刻ｔｓにおいて、燃料カット制御を開始している。燃料カット制御の期間中には、吸気弁を閉止状態で停止させる吸気弁停止制御を行っている。時刻ｔｓにおいて、筒内流入空気流量が零になる。吸気弁停止制御の期間では、吸気管部分における空気の流れが停止する。スロットル弁１９は、完全には閉止せずに微開状態が維持され、空気が流通する。このために、吸気管内圧力が徐々に上昇し、大気圧でほぼ一定の値になる。

【００７２】

時刻ｔｅにおいて、燃料カット制御を終了すると共に吸気弁停止制御を終了している。時刻ｔｅにおいて吸気弁を再駆動している。吸気弁が再駆動することにより実際の吸気管内圧力は再び減少し、機関本体の運転状態に対応した圧力になる。

【００７３】

図１１に、吸気弁停止制御を行っているときのエアモデルのブロック図を示す。吸気弁停止制御が実行されているときには、吸気管部分から気筒内へは空気は流入しない。このため、本実施の形態では、吸気弁停止制御中には、吸気弁モデルＭ１３による筒内流入空気流量の算出を停止すると共に、吸気管モデルＭ１２に入力される筒内流入空気流量ｍｃが零とされる。

【００７４】

吸気管モデルＭ１２では、上記の式（４）および（５）にｍｃ＝０を代入することによ

り、次の式（１４）および式（１５）が導出される。式（１４）および式（１５）により吸気管内圧力Ｐｍおよび吸気管内温度Ｔｍが算出される。吸気弁停止制御を実行している期間中であっても吸気管内圧力Ｐｍを連続的に算出することができる。

【００７５】

【数９】

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{Pm}{Tm}\right)=\frac{R}{V}\cdot mt \qquad \cdots(14)$$

$$\frac{dPm}{dt}=\kappa\cdot\frac{R}{V}\cdot mt\cdot Ta \qquad \cdots(15)$$

【００７６】

吸気弁が再駆動した後においては、通常運転時のエアモデルを用いて筒内充填空気量の推定を行なうことができる。たとえば、図２に示すように、吸気管モデルＭ１２により吸気管内圧力Ｐｍおよび吸気管内温度Ｔｍを算出し、吸気弁モデルＭ１３により算出された筒内流入空気流量ｍｃを用いて、筒内充填空気量Ｍｃを算出することができる。

【００７７】

次に、本実施の形態における吸気弁モデルのモデル計算式の導出について例示する。

【００７８】

図１２に、本実施の形態における内燃機関の気筒の部分の概略図を示す。図１２は、燃焼サイクルの吸気工程において、吸気弁が完全に閉止にした時の概略図である。すなわち、吸気弁６が閉じて気筒５が密閉空間になった瞬間を示している。吸気弁６が完全に閉止した時に、気筒５内の圧力Ｐｃ、気筒５内の温度Ｔｃ、気筒５内の容積Ｖｃおよび気筒５内に存在する空気量Ｍｔとの関係は、気体の状態方程式により次の式（１６）に定めることができる。

【００７９】

【数１０】

$$Pc\cdot Vc=Mt\cdot R\cdot Tc \qquad \cdots(16)$$

【００８０】

ここで、吸気弁６が完全に閉止した時の吸気管内圧力Ｐｍは、気筒５内の圧力Ｐｃと等しいとみなすことができる（Ｐｃ　Ｐｍ）。そこで、式（１６）に、Ｐｃ＝Ｐｍを代入して変形すると次の式（１７）を得ることができる。

【００８１】

【数１１】

$$Mt=\frac{Vc}{R\cdot Tc}Pm \qquad \cdots(17)$$

【００８２】

次に、吸気工程において気筒５内に流入する新規の空気量（筒内充填空気量）Ｍｃと、

吸気工程の開始時に気筒５内に残留していた空気量Ｍｅと、吸気工程において吸気弁６が完全に閉止した時に気筒５内に存在する空気量Ｍｔとの関係は、次の式（１８）になる。

【００８３】

【数１２】

$$Mt = Mc + Me \qquad \cdots (18)$$

【００８４】

上記の式（１７）および式（１８）により、吸気工程において気筒５内に流入する新規の空気量である筒内充填空気量Ｍｃは、次の式（１９）で表すことができる。

【００８５】

【数１３】

$$Mc = \frac{Vc}{R \cdot Tc} Pm - Me \qquad \cdots (19)$$

【００８６】

式（１９）により、筒内充填空気量Ｍｃは、吸気管内圧力Ｐｍに比例するとみなすことができる。ここで、筒内充填空気量Ｍｃは、吸気弁６の開弁期間中において気筒５内に流入する空気の流量（筒内流入空気流量）ｍｃを、吸気弁６の開弁期間に亘って時間積分することによって求まる。すなわち、筒内充填空気量Ｍｃと筒内流入空気流量ｍｃとの間には、筒内流入空気流量ｍｃの時間積分値が筒内充填空気量Ｍｃであるという関係がある。上記の式（１９）において、近似的に、Ｍｃ＝ｍｃ・ｔｏ（ｔｏ：吸気弁の開弁時間）を代入して変形すると、筒内流入空気流量ｍｃは、次の式（２０）で表すことができる。

【００８７】

【数１４】

$$mc = \frac{Vc}{to \cdot R \cdot Tc} Pm - \frac{Me}{to} \qquad \cdots (20)$$

【００８８】

式（２０）において、項［Ｖｃ／（ｔｏ・Ｒ・Ｔｃ）］を定数ａとし、項（Ｍｅ／ｔｏ）を定数ｂとして、更に、吸気管内温度Ｔｍの変化を補償するための補正係数（Ｔａ／Ｔｍ）を乗じることにより、前述の式（８）を導出することができる。

【００８９】

ところで、上記の式（１９）を参照して、筒内充填空気量Ｍｃは、吸気弁が完全に閉止した時（気筒が密閉になった瞬間）の吸気管部分１３の圧力に比例する。すなわち、吸気弁６が完全に閉じた時の吸気管内圧力が高い場合には、筒内充填空気量Ｍｃが大きくなり、吸気弁６が完全に閉じた時の吸気管内圧力が小さい場合には、筒内充填空気量Ｍｃが小さくなる。

【００９０】

図１３に、本実施の形態の内燃機関を第１の機関回転数で運転しているときの吸気管内圧力のグラフを示す。横軸が時刻であり、縦軸が吸気管内圧力である。図１３に示す例に

おいては、吸気弁が継続的に駆動し、内燃機関の運転状態が定常である場合を示している。

【００９１】

吸気弁の駆動が継続している期間では、燃焼サイクルの吸気工程において、いずれかの気筒の吸気弁が開いて空気が気筒に流入することにより吸気管内圧力は減少する。吸気弁が閉止することにより減少した吸気管内圧力が回復する。このように、吸気弁の駆動に伴って吸気管内圧力の変動が生じるために、実際の吸気管内圧力は脈動している。実際の吸気管内圧力の上下動が発現している期間中に、時刻ｔｃにおいて吸気弁が完全に閉止している。すなわち、時刻ｔｃにおいて、吸気弁の閉止が完了している。

【００９２】

一方で、本実施の形態におけるエアモデルにて算出される吸気管内圧力Ｐｍは、脈動する圧力の平均値となっている。図１３に示す例においては、実際の吸気管内圧力が、吸気管モデルＭ１２により算出される吸気管内圧力Ｐｍよりも大きいときに、吸気弁が完全に閉止している。

【００９３】

前述の式（１９）を参照して、筒内充填空気量は、吸気弁が完全に閉止した瞬間における吸気管内圧力に依存する。このため、図１３に示す例では、吸気管モデルＭ１２により算出された吸気管内圧力Ｐｍを用いて筒内充填空気量Ｍｃを算出すると、実際の筒内充填空気量よりも小さな値が算出される。このため、本実施の形態における吸気弁モデルＭ１３では、筒内流入空気流量ｍｃを算出する式（８）における定数ａ，ｂを適合している。たとえば、図１３に示す例では、定数ａは、大きな定数が用いられる。吸気弁モデルのモデル計算式である式（８）において、適合した定数ａ，ｂを用いることにより、吸気管内圧力の脈動に対して吸気弁が完全に閉止するタイミングを考慮することができ、筒内充填空気流量の推定精度が向上する。

【００９４】

ここで、脈動が生じている圧力範囲のうち、吸気弁が完全に閉止する時の吸気管内圧力については、内燃機関の運転状態に依存する。たとえば、吸気管内圧力が脈動する圧力範囲のうち吸気弁が完全に閉止する時は、内燃機関の機関回転数に依存する。

【００９５】

図１４に、本実施の形態の内燃機関を第２の機関回転数で運転しているときの吸気管内圧力のグラフを示す。図１４に示す例においても、内燃機関の運転状態が定常である場合を示している。時刻ｔｃにおいて吸気弁が完全に閉止している。図１４に示す例においては、実際の吸気管内圧力が、吸気管モデルＭ１２により算出される吸気管内圧力Ｐｍよりも小さいときに吸気弁が完全に閉止している。吸気管モデルにより算出される吸気管内圧力Ｐｍを用いて、筒内充填空気量を算出した場合には、実際の筒内充填空気量よりも大きくなってしまう。このため、図１４に示す例では、たとえば吸気弁モデルのモデル計算式における定数ａは、小さな定数を採用することが好ましい。

【００９６】

このように、図１３に示す第１の機関回転数の例では、吸気管内圧力が脈動する圧力範囲のうち、比較的高い圧力のときに吸気弁が完全に閉止し、図１４に示す第２の機関回転数の例では、比較的低い圧力のときに吸気弁が完全に閉止している。１つの内燃機関においても機関回転数が異なることにより、吸気弁が完全に閉止する時が異なる。このため、機関回転数に依存して、吸気弁モデルのモデル計算式における最適な定数ａ，ｂが互いに異なる。

【００９７】

本実施の形態における内燃機関の制御装置は、機関回転数を関数にした複数個の定数ａ，ｂが電子制御ユニット３１に記憶されている。吸気弁が継続的に駆動しているときに、機関回転数を検出する。検出した機関回転数に基づいて、複数個の定数ａ，ｂから機関回転数に対応した定数ａ，ｂを選定する。選定した定数ａ，ｂを用いた式（８）により、筒内流入空気流量を算出している。

【００９８】
たとえば、図１３に示すように、実際の吸気管内圧力が比較的高い時に吸気弁が完全に閉止する機関回転数においては、複数個の定数ａのうち大きな定数ａが選定される。図１４に示すように、実際の吸気管内圧力が比較的低い時に吸気弁が完全に閉止する機関回転数においては、複数個の定数ａのうち小さな定数ａが選定される。
【００９９】
本実施の形態におけるエアモデルでは、機関回転数を関数にして適合した定数ａおよび定数ｂを選定することにより、吸気管内圧力の脈動の影響を修正した筒内流入空気流量を算出することができる。この結果、より精度良く筒内充填空気量を算出することができる。
【０１００】
吸気弁モデルのモデル計算式における定数ａ，ｂは、実験により適合した値を求めることができる。例えば、内燃機関を一つの機関回転数で定常的に運転しているときには、エアフロメータの計測値が筒内に流入する空気流量に対応する。このために、内燃機関を一つの機関回転数で定常的に運転している状態で、エアフロメータの計測値と、エアモデルにより算出される筒内流入空気流量とが一致するように定数ａ，ｂを適合することができる。このように、定数ａ，ｂは、吸気弁を継続的に運転しているときの吸気管内圧力が吸気弁モデルのモデル計算式に入力されて計算されたときに、正確な筒内流入空気流量を算出するように適合されることが好ましい。
【０１０１】
このように、吸気弁モデルのモデル計算式の定数は、機関回転数等の運転状態に応じて選定することができる。運転状態としては、機関回転数の他に、可変動弁機構の駆動状態を例示することができる。可変動弁機構における吸気弁の開弁または閉弁の時（バルブタイミング）や作用角を関数にして、吸気弁モデルのモデル計算式の定数を選定することができる。その他の運転状態としては、例えば、気筒内に流入する空気に旋回流を生じさせて燃焼を促進するためのスワールコントロールバルブ（SCV : Swirl Control Valve）を備える内燃機関においては、スワールコントロールバルブの開閉状態を例示することができる。スワールコントロールバルブの開閉状態に応じて、吸気弁モデルのモデル計算式の定数を選定することができる。
【０１０２】
または、内燃機関が、吸気管部分の長さを変化させることにより吸気流量を調整する可変吸気システム（ACIS : Acoustic Control Induction System）を備える場合には、可変吸気システムの状態を関数にして、吸気弁モデルのモデル計算式の定数を選定することができる。または、内燃機関が、筒内噴射による燃料供給とポート噴射による燃料供給とを同時に行なう場合には、筒内噴射の燃料噴射量とポート噴射の燃料噴射量との割合を関数にして、吸気弁モデルのモデル計算式の定数を選定することができる。
【０１０３】
ところで、図１０を参照して、吸気弁の駆動が継続している通常運転を行なっているときには、実際の吸気管内圧力が脈動する一方で、吸気弁停止制御を開始して所定の時間の経過後には、実際の吸気管内圧力がほぼ定常状態になる。すなわち、吸気弁が閉止状態で停止して定常状態になったときの実際の吸気管内圧力は、ほとんど脈動しておらず、大気圧であり、ほぼ一定である。この時にも内燃機関は、所定の機関回転数で駆動している。
【０１０４】
吸気弁モデルの式（８）において、吸気弁の駆動を継続しているときに採用される駆動中の定数ａ，ｂには、前述のとおり、機関回転数に依存した脈動の影響が考慮されている。時刻ｔｅにおいて吸気弁を再駆動すべき場合に、吸気弁の駆動を継続しているときの駆動中の定数ａ，ｂを用いて筒内流入空気流量を算出すると誤差が大きくなる。すなわち、実際の吸気管内圧力にほとんど脈動が発現していない場合に、吸気弁の駆動中の定数ａ，ｂを適用すると誤差が大きくなる。
【０１０５】

たとえば、スロットル弁が全開で内燃機関の運転状態が定常になった場合には、実際の吸気管内圧力が、ほぼ大気圧になり、吸気弁閉止制御中の吸気管内圧力とほぼ等しくなる。ところが、吸気弁の駆動中には吸気管内圧力に脈動が生じている。このために、実際の吸気管内圧力および機関回転数等の運転状態が互いに同じであっても、吸気弁の駆動中にスロットル弁が全開で気筒内に流入する空気流量と、吸気弁を再駆動した時に気筒内に流入する空気流量とは、互いに異なる。このように、吸気弁の駆動中に用いられる定数ａ，ｂを用いて、吸気弁を再駆動すべき時の筒内流入空気流量を算出すると誤差が大きくなる。

【０１０６】

本実施の形態の内燃機関は、吸気弁の駆動が継続しているときに筒内流入空気流量を算出するための駆動中の定数ａ，ｂに加えて、吸気弁停止制御を行っている状態から吸気弁を再駆動すべきときに、筒内流入空気流量を算出するための再駆動時の定数ａ，ｂを有している。すなわち、吸気弁モデルのモデル計算式において、通常運転時に用いる定数ａ，ｂの他に、吸気弁を再駆動すべき時に用いる定数ａ，ｂが、たとえば電子制御ユニット３１に記憶されている。吸気弁が閉止している状態から再駆動すべきときには、再駆動時の定数ａ，ｂを用いて、筒内流入空気流量を算出する。この制御により、吸気弁を再駆動したときに、筒内流入空気流量を精度良く推定することができる。筒内充填空気量を精度良く推定することができる。この結果、燃料が燃焼する時の空燃比を、目標空燃比に近づけることができる。再駆動時の定数ａ，ｂは、駆動中の定数ａ，ｂと同様の方法により、適合することができる。

【０１０７】

吸気弁が再駆動した後において、エアモデルの２回目以降の計算では、吸気弁モデルのモデル計算式の定数ａ，ｂは、吸気弁の駆動中の定数を採用することができる。本実施の形態のエアモデルは、差分式で筒内流入空気流量を算出している。すなわち微小時間前の計算結果を現在の計算に用いている。このために、吸気弁の再駆動直後の筒内流入空気流量の推定精度が向上することにより、それ以降に算出される筒内流入空気流量の推定精度も向上する。

【０１０８】

また、吸気弁の再駆動時の定数ａ，ｂは、吸気弁の駆動中の定数ａ，ｂと同様に、運転状態に依存した複数個の定数ａ，ｂを予め作成しておき、内燃機関の運転状態に基づいて再駆動時の定数ａ，ｂを選定することができる。運転状態に依存した複数個の定数ａ，ｂを電子制御ユニット３１に記憶させておき、吸気弁を再駆動すべき時に運転状態を検出し、最適な定数ａ，ｂを選定することができる。この制御により、筒内充填空気量の推定精度を向上させることができる。

【０１０９】

たとえば、内燃機関の制御装置は、吸気弁モデルのモデル計算式のための定数ａ，ｂとして、機関回転数ＮＥを関数にした複数個の定数ａ，ｂを備えることができる。または、可変動弁機構における吸気弁の開弁または閉弁の時期や作用角を関数にした複数個の定数ａ,ｂを備えることができる。または、スワールコントロールバルブを備える内燃機関においては、スワールコントロールバルブの開閉状態に応じた複数個の定数ａ，ｂを備えることができる。または、可変吸気システムを備える内燃機関においては、可変吸気システムの状態を応じた複数個の定数ａ，ｂを備えることができる。または、筒内噴射による燃料供給とポート噴射による燃料供給とを同時に行なう内燃機関の場合には、筒内噴射の燃料噴射量とポート噴射の燃料噴射量との割合を関数にした複数個の定数ａ，ｂを備えることができる。

【０１１０】

本実施の形態においては、吸気弁を再駆動すべき時に、吸気弁モデルのモデル計算式における全ての定数を変更しているが、この形態に限られず、１つ以上の定数を変更することができる。たとえば、本実施の形態における吸気弁モデルのモデル計算式において、定数ｂは変更せずに定数ａのみを変更しても構わない。

【０１１１】
本実施の形態においては、筒内充填空気量を算出するためのモデル計算式として、前述の式（８）を用いて筒内流入空気流量を算出し、算出した筒内流入空気流量から筒内充填空気量を算出しているが、この形態に限られず、吸気管内圧力を変数として、少なくとも１つの定数を含むモデル計算式により筒内流入空気流量を算出するエアモデルに、本発明を適用することができる。
【０１１２】
（実施の形態２）
図１５を参照して、実施の形態２における内燃機関の制御装置について説明する。本実施の形態における内燃機関の構成は、実施の形態１と同様である（図１参照）。気筒内に流入する空気量を推定するために、エアモデルＭ１０を用いることも、実施の形態１と同様である（図２参照）。また、吸気弁を閉止状態で停止させる吸気弁停止制御を行なうことも実施の形態１と同様である（図１０および図１１参照）。
【０１１３】
図１５は、本実施の形態における内燃機関において、吸気弁停止制御を終了して通常運転を再開したときのタイムチャートの拡大図である。本実施の形態においては、４気筒の内燃機関を例に取り上げて説明する。本実施の形態における内燃機関は、第１気筒、第２気筒、第３気筒および第４気筒を含む。吸気工程は、第１気筒、第３気筒、第４気筒および第２気筒の順に行なわれる。
【０１１４】
時刻ｔｅにおいて吸気弁停止制御を終了して吸気弁を再駆動する。吸気弁停止制御の期間中では、実際の吸気管内圧力は、ほぼ大気圧であり、ほぼ一定である。吸気弁が再駆動すると、実際の吸気管内圧力は、通常運転時の吸気管内圧力になるまで時間とともに減少する。時刻ｔｅにおいて、第１気筒の吸気弁の駆動が開始し、時刻ｔｘにおいて第１気筒の吸気弁の駆動が完了している。たとえば、時刻ｔｘにおける実際の吸気管内圧力は、吸気弁停止制御中の圧力からΔＰ減少している。時刻ｔｅから時刻ｔｘまでの実際の平均的な吸気管内圧力は、たとえば、吸気弁停止制御中の圧力からΔＰの略半分を減算した圧力になる。
【０１１５】
図２を参照して、エアモデルＭ１０における吸気管内圧力Ｐｍは、時間平均した吸気管内圧力を採用している。吸気弁を再駆動すべきときには、吸気管モデルＭ１２により算出される吸気管内圧力Ｐｍは、ほぼ大気圧になっている。吸気弁を再駆動すべきときのエアモデルＭ１０の計算において、吸気弁停止制御の期間中に算出された吸気管内圧力Ｐｍを入力すると、吸気弁が再駆動した直後の平均的な吸気管内圧力よりも大きな圧力が入力されることとなる。このために、推定される筒内充填空気量の誤差が大きくなる。たとえば、実際の平均的な吸気管内圧力よりも大きな圧力に基づいて計算されると、エアモデルにより算出される筒内充填空気量は、実際の筒内充填空気量よりも大きくなる。
【０１１６】
本実施の形態における内燃機関の制御装置は、吸気弁を再駆動すべきときには、吸気管モデルＭ１２により算出された吸気管内圧力Ｐｍから予め定められた補正圧力Ｐｍｄを減算した圧力に基づいて、筒内流入空気流量を算出している。補正圧力Ｐｍｄは、たとえば、吸気弁停止制御中の定常状態における吸気管内圧力と、吸気弁を再駆動した直後の１番目の気筒の開弁から閉弁までの期間における平均圧力との差圧を採用することができる。図１５を参照して、補正圧力Ｐｍｄは、時刻ｔｅより前の吸気弁停止制御中における吸気管内圧力の平均値と、時刻ｔｅから時刻ｔｘまでの吸気管内圧力の平均値との差圧を採用することができる。または、補正圧力Ｐｍｄとして、近似的に圧力降下ΔＰの１／２の値を採用することができる。
【０１１７】
または、補正圧力Ｐｍｄは、この形態に限られず、たとえば、吸気弁停止制御中の定常状態における吸気管内圧力と、吸気弁が再駆動した瞬間からエアモデルＭ１０の１回の計

算が行なわれる時間が経過するまでの期間における平均圧力との差圧を採用しても構わない。このような補正圧力Ｐｍｄは、高応答の流量計、圧力計またはモデル式による数値計算等により求めることができる。

【０１１８】

本実施の形態においては、吸気弁を再駆動すべきときに用いる補正圧力Ｐｍｄを予め定めて、電子制御ユニット３１に記憶させておく。吸気弁を再駆動すべきときには、筒内流入空気流量を算出するための１回目のエアモデルの計算において、吸気管モデルＭ１２により算出された吸気管内圧力Ｐｍから補正圧力Ｐｍｄを減算した圧力（Ｐｍ－Ｐｍｄ）を、吸気弁モデルＭ１３に入力する。すなわち、吸気弁が再駆動した直後の吸気管内圧力の圧力降下ΔＰを考慮した吸気管内圧力に基づいて筒内流入空気流量を算出する。

【０１１９】

本実施の形態における吸気弁モデルＭ１３では、補正圧力Ｐｍｄを考慮したときに、モデル計算式としての式（８）は、次の式（２１）に変形することができる。次の式（２１）に基づいて、筒内流入空気流量を算出することができる。

【０１２０】

【数１５】

$$mc = \frac{Ta}{Tm} \cdot \{a \cdot (Pm - Pmd) - b\} \qquad \cdots (21)$$

【０１２１】

また、式（２１）を離散化した式は、次の式（２２）に表すことができる。

【０１２２】

【数１６】

$$mc(t) = \frac{Ta}{Tm(t)} \cdot \{a(Pm(t) - Pmd) - b\} \qquad \cdots (22)$$

【０１２３】

このように、吸気弁停止制御を終了して吸気弁を再駆動すべきときに、予め定められた補正圧力を減算した吸気管内圧力に基づいて、筒内流入空気流量を算出することにより、筒内充填空気量を精度良く推定することができる。

【０１２４】

ところで、補正圧力Ｐｍｄは、内燃機関の運転状態に依存する。内燃機関の制御装置は、運転状態に依存する複数個の補正圧力Ｐｍｄを備えることができる。内燃機関の運転状態に応じて、補正圧力Ｐｍｄを選定することができる。例えば、補正圧力Ｐｍｄは、吸気弁が完全に閉止した時の気筒の容積に依存する。このために、内燃機関が可変動弁機構を備える場合には、補正圧力Ｐｍｄを吸気弁が再駆動すべきときのバルブタイミングの関数にすることができる。バルブタイミングを関数にする複数個の補正圧力Ｐｍｄを電子制御ユニット３１のＲＯＭ３４に記憶させておき、吸気弁を再駆動すべき時のバルブタイミングに応じて補正圧力Ｐｍｄを選定することができる。

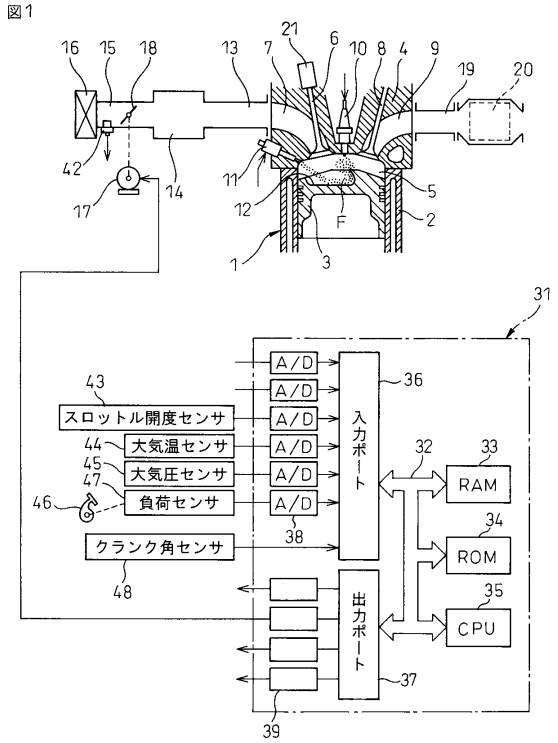
【０１２５】

このように、内燃機関の運転状態に基づいて、予め定められた補正圧力を選定することにより、より正確に筒内流入空気流量を推定することができる。内燃機関の運転状態としては、可変動弁機構の運転状態のほかに、実施の形態１と同様に、スワールコントロールバルブの開閉状態等を例示することができる。

【０１２６】
吸気弁を再駆動した後のエアモデルＭ１０の２回目以降の計算では、例えば、通常運転時におけるエアモデルＭ１０により筒内充填空気量を算出することができる。吸気弁モデルでは、前述の式（８）のモデル計算式を用いて筒内流入空気流量を算出することができる。
【０１２７】
本実施の形態における内燃機関の制御装置においても、微小時間前の計算結果を用いて現在のパラメータ値を推定するために、吸気弁を再駆動すべき時のエアモデルの１回目の推定精度が向上することにより、２回目以降の推定精度も向上する。
【０１２８】
その他の構成、作用および効果については、実施の形態１と同様であるので、ここでは説明を繰り返さない。
【０１２９】
上記の実施の形態は、適宜組み合わせることができる。上述のそれぞれの図において、同一または相当する部分には同一の符号を付している。なお、上記の実施の形態は例示であり発明を限定するものではない。また、実施の形態においては、特許請求の範囲に含まれる変更が意図されている。
【符号の説明】
【０１３０】
１　機関本体
５　気筒
６　吸気弁
７　吸気ポート
８　排気弁
１１　燃料噴射弁
２３　吸気管部分
１８　スロットル弁
Ｍ１０　エアモデル
Ｍ１１　スロットルモデル
Ｍ１２　吸気管モデル
Ｍ１３　吸気弁モデル

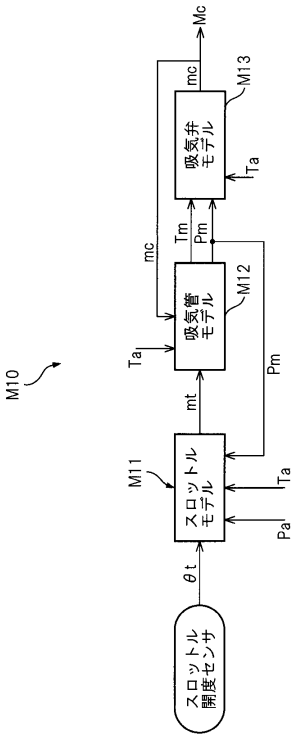
【図１】

図1



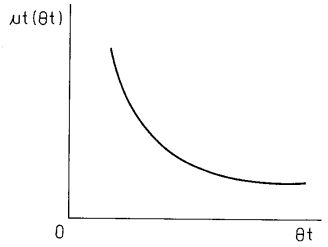
【図２】

図2



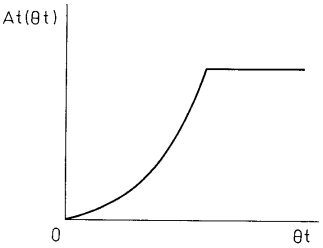
【図３】

図3



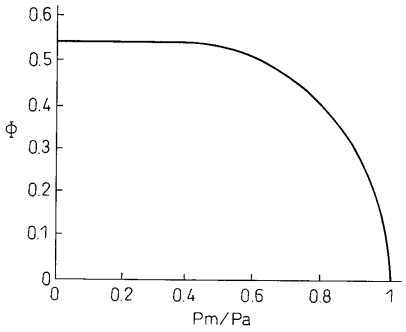
【図４】

図4



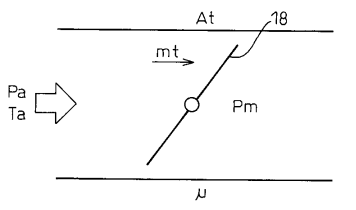
【図５】

図5



【図６】

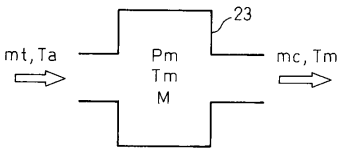
図6



Pm：吸気管内圧力(kPa)
Pa：大気圧(kPa)
Ta：大気温度(K)
At：スロットル弁開口断面積(m^2)
mt：スロットル弁通過空気流量(g/sec)
μ：流量係数

【図７】

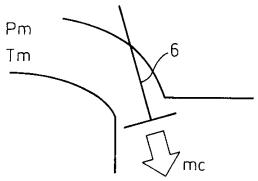
図7



mt：吸気管に流入する気体の流量(g/sec)
mc：吸気管から流出する気体の流量(g/sec)
Pm：吸気管内圧力(kPa)
Ta：流入する気体の温度(K)
Tm：吸気管内温度(K)
M：吸気管内の総気体量
R：気体定数
Vm：吸気管容積(m^3)
Cp：空気の定圧比熱
Cv：空気の定圧比熱
K：比熱比

【図８】

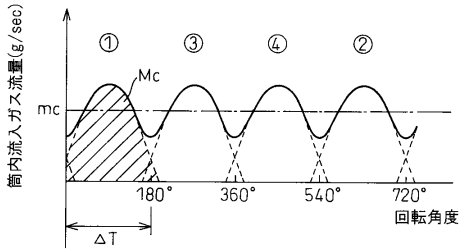
図8



Pm：吸気弁上流の圧力(kPa)
Tm：吸気弁上流の温度(K)
Ta：大気温度(K)
mc：筒内流入空気流量(g/sec)
a,b：適合パラメータ

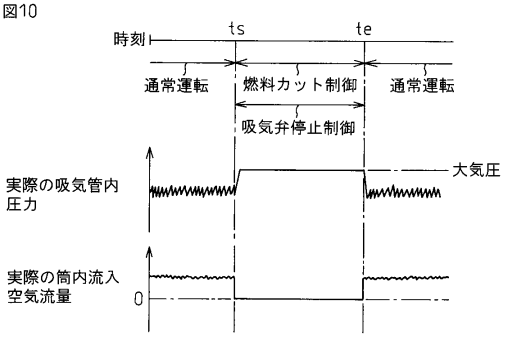
【図９】

図9



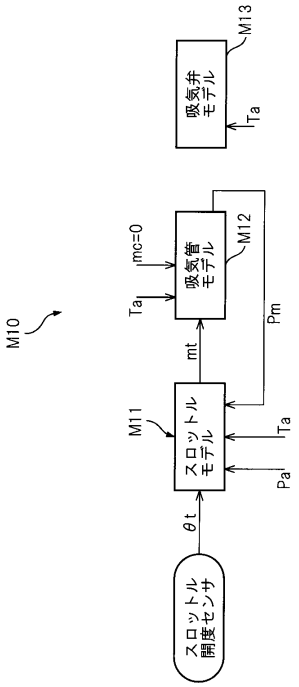
【図１０】

図10



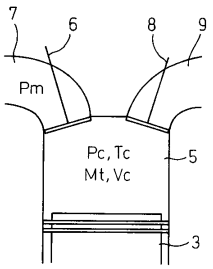
【図１１】

図11



【図１２】

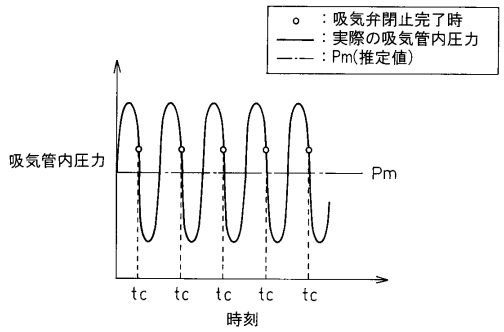
図12



Pm：吸気管内圧力(kPa)
Pc：気筒内圧力(kPa)
Tc：気筒内温度(K)
Mt：気筒内の総気体量
Vc：気筒内の容積(m^3)

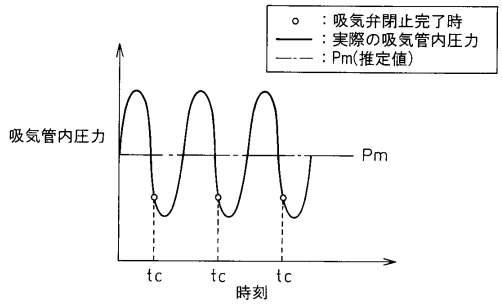
【図１３】

図13



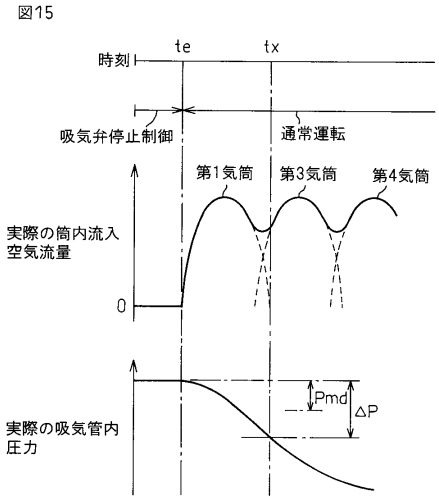
【図１４】

図14



【図１５】

図15



フロントページの続き

(72)発明者　勝俣　真知子
愛知県豊田市トヨタ町１番地　トヨタ自動車株式会社内

審査官　堀川　泰宏

(56)参考文献　特開２００９－０８５２２７（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－０６９０１９（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－０７７６２０（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｆ０２Ｄ　４１／００－４１／４０
Ｆ０２Ｄ　４３／００－４５／００