

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-211395

(P2016-211395A)

(43) 公開日 平成28年12月15日(2016.12.15)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
FO2D 41/04 (2006.01)	FO2D 41/04 325Z	3G091
FO2D 41/34 (2006.01)	FO2D 41/34 C	3G301
FO2D 41/32 (2006.01)	FO2D 41/32 C	3G384
FO2D 41/02 (2006.01)	FO2D 41/02 301H	
FO1N 3/24 (2006.01)	FO2D 41/02 305	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 35 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-93496 (P2015-93496)
 (22) 出願日 平成27年4月30日 (2015.4.30)

(71) 出願人 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 100123582
 弁理士 三橋 真二
 (74) 代理人 100147555
 弁理士 伊藤 公一
 (74) 代理人 100153729
 弁理士 森本 有一

最終頁に続く

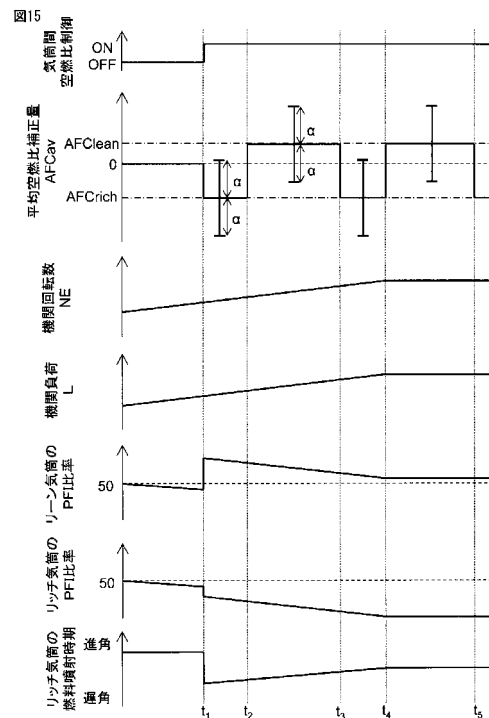
(54) 【発明の名称】 内燃機関

(57) 【要約】

【課題】 硫黄成分による触媒貴金属の活性低下を抑制しつつ、各気筒での燃焼の悪化を抑制する。

【解決手段】 複数の気筒を有する内燃機関は、ポート燃料噴射弁12と、筒内燃料噴射弁11と、機関排気通路に配置される排気浄化触媒20と、下流側空燃比センサ41と、燃焼空燃比及び両燃料噴射弁からの燃料の供給比率を制御する制御装置31とを具備する。制御装置は、平均空燃比をリッチ空燃比とリーン空燃比とに交互に制御する平均空燃比制御と、各気筒の燃焼空燃比を平均空燃比よりもリッチ及びリーンになるように各気筒の燃焼空燃比を制御する気筒間空燃比制御と、を実行可能である。制御装置は、気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比が平均空燃比よりもリーンとされている気筒について、ポート燃料噴射弁からの燃料供給量が前記筒内燃料噴射弁からの燃料供給量よりも多くなるように供給比率を制御する。

【選択図】 図15



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

各気筒に通じる吸気通路内に燃料を噴射するポート燃料噴射弁と、各気筒の燃焼室内に燃料を噴射する筒内燃料噴射弁と、機関排気通路に配置されると共に酸素を吸蔵可能な排気浄化触媒と、該排気浄化触媒の排気流れ方向下流側に配置された下流側空燃比センサと、各気筒において燃焼が行われるときの燃焼空燃比を制御すると共に前記ポート燃料噴射弁と前記筒内燃料噴射弁との両方からの燃料の供給比率を制御する制御装置とを具備する、複数の気筒を有する内燃機関において、

前記制御装置は、全ての気筒での燃焼空燃比の平均値である平均空燃比を理論空燃比よりもリッチなリッチ空燃比と理論空燃比よりもリーンなリーン空燃比とに交互に制御する平均空燃比制御と、

前記平均空燃比制御によって前記平均空燃比がリーン空燃比に制御されているときにおいても、前記複数の気筒のうち少なくとも一つの気筒では燃焼空燃比がリッチ空燃比になるように且つ少なくとも一つの気筒では燃焼空燃比が前記平均空燃比よりもリーンになるように、各気筒の燃焼空燃比を制御する気筒間空燃比制御と、を実行可能であり、

前記平均空燃比制御では、前記平均空燃比をリーン空燃比に制御したときの該平均空燃比と理論空燃比との差であるリーンシフト量が、前記平均空燃比をリッチ空燃比に制御したときの該平均空燃比と理論空燃比との差であるリッチシフト量よりも小さくなるように、前記平均空燃比が制御され、

前記制御装置は、前記気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比が前記平均空燃比よりもリーンとされている気筒について、前記ポート燃料噴射弁からの燃料供給量が前記筒内燃料噴射弁からの燃料供給量よりも多くなるように前記供給比率を制御する、内燃機関。

【請求項 2】

前記制御装置は、前記気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比が前記平均空燃比よりもリッチとされている気筒について、前記筒内燃料噴射弁からの燃料供給量が前記ポート燃料噴射弁からの燃料供給量よりも多くなるように前記供給比率を制御する、請求項 1 に記載の内燃機関。

【請求項 3】

前記制御装置は、前記気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比が前記平均空燃比よりもリッチとされている気筒について、前記ポート燃料噴射弁からの燃料供給量が前記筒内燃料噴射弁からの燃料供給量よりも多くなるように前記供給比率を制御する、請求項 1 に記載の内燃機関。

【請求項 4】

前記制御装置は、前記気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比が前記平均空燃比よりもリーンとされている気筒における総噴射量に対する前記ポート燃料噴射弁からの燃料供給量の比率が、燃焼空燃比が前記平均空燃比よりもリッチとされている気筒における前記比率以上となるように前記供給比率を制御する、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の内燃機関。

【請求項 5】

前記制御装置は、前記気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比が前記平均空燃比よりもリーンとされている気筒について、前記筒内燃料噴射弁から燃料を供給せず前記ポート燃料噴射弁のみから燃料を供給するように前記供給比率を制御する、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の内燃機関。

【請求項 6】

前記制御装置は、機関負荷が高いほど且つ機関回転数が高いほど、各気筒への総噴射量に対する前記筒内燃料噴射弁からの燃料供給量が多くなるように前記供給比率を制御する、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の内燃機関。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

10

20

30

40

50

【0001】

本発明は、複数の気筒を有する内燃機関に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、各気筒に通じる吸気通路内に燃料を噴射するポート燃料噴射弁と、各気筒の燃焼室内に燃料を噴射する筒内燃料噴射弁とを具備する内燃機関が知られている。加えて、複数の気筒を有すると共に、各気筒内で燃焼が行われるときの空燃比（以下、「燃焼空燃比」という）を気筒間で変更するようにした内燃機関も知られている（例えば、特許文献1）。

【0003】

気筒間で燃焼空燃比を変更する内燃機関では、複数の気筒のうち一部の気筒では燃焼空燃比が理論空燃比よりもリッチな空燃比（以下、「リッチ空燃比」という）とされ、残りの気筒では理論空燃比よりもリーンな空燃比（以下、「リーン空燃比」という）とされる。このように気筒間で燃焼空燃比を変更する制御はディザ制御と呼ばれ、内燃機関の排気系を昇温するために行われる。

【0004】

特に、特許文献1に記載の内燃機関では、燃焼空燃比がリーン空燃比とされる気筒ではポート燃料噴射弁からの燃料供給のみを行い、燃焼空燃比がリッチ空燃比とされる気筒ではポート燃料噴射弁と筒内燃料噴射弁との双方から燃料供給を行うようにしている。特許文献1によれば、これによりディザ制御を行った際の気筒間におけるトルク変動を抑制することができる。20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2007-332867号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、燃焼室から排出される排気ガス中には硫黄成分が含まれている。斯かる硫黄成分は、一定の条件下で、排気浄化触媒の担体上に担持されている触媒貴金属の表面に吸着又は吸蔵され、触媒貴金属の表面を被覆する。この結果、触媒貴金属の活性が低下し、排気浄化触媒に流入した排気ガス中の未燃HC、COやNOx等の浄化能力の低下を招く。30

【0007】

そこで、本願の発明者らは、全ての気筒での燃焼空燃比の平均値である平均空燃比をリッチ空燃比とリーン空燃比とに交互に制御すると共に、平均空燃比がリーン空燃比に制御されているときにおいても少なくとも一つの気筒では燃焼空燃比がリッチ空燃比になるように且つ一部の気筒では燃焼空燃比が平均空燃比よりもリーンな空燃比になるように各気筒の燃焼空燃比を制御することを提案している。これにより、硫黄成分による触媒貴金属の活性低下を抑制することができる。40

【0008】

しかしながら、このような制御を行った場合、上述した一部の気筒では平均空燃比がリーン空燃比となっている状態で燃焼空燃比がその平均空燃比よりもリーンな空燃比になる。このため、この一部の気筒では、燃焼空燃比がリーン度合いの高いリーン空燃比になり、燃焼室内での燃焼の悪化を招く。

【0009】

そこで、上記課題に鑑みて、本発明の目的は、硫黄成分による触媒貴金属の活性低下を抑制しつつ、各気筒での燃焼の悪化を抑制することができる内燃機関を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

10

20

30

40

50

【0010】

上記課題を解決するために、第1の発明では、各気筒に通じる吸気通路内に燃料を噴射するポート燃料噴射弁と、各気筒の燃焼室内に燃料を噴射する筒内燃料噴射弁と、機関排気通路に配置されると共に酸素を吸蔵可能な排気浄化触媒と、該排気浄化触媒の排気流れ方向下流側に配置された下流側空燃比センサと、各気筒において燃焼が行われるときの燃焼空燃比を制御すると共に前記ポート燃料噴射弁と前記筒内燃料噴射弁との両方からの燃料の供給比率を制御する制御装置とを具備する、複数の気筒を有する内燃機関において、前記制御装置は、全ての気筒での燃焼空燃比の平均値である平均空燃比を理論空燃比よりもリッチなリッチ空燃比と理論空燃比よりもリーンなリーン空燃比とに交互に制御する平均空燃比制御と、前記平均空燃比制御によって前記平均空燃比がリーン空燃比に制御されているときにおいても、前記複数の気筒のうち少なくとも一つの気筒では燃焼空燃比がリッチ空燃比になるように且つ少なくとも一つの気筒では燃焼空燃比が前記平均空燃比よりもリーンになるように、各気筒の燃焼空燃比を制御する気筒間空燃比制御と、を実行可能であり、前記平均空燃比制御では、前記平均空燃比をリーン空燃比に制御したときの該平均空燃比と理論空燃比との差であるリーンシフト量が、前記平均空燃比をリッチ空燃比に制御したときの該平均空燃比と理論空燃比との差であるリッチシフト量よりも小さくなるように、前記平均空燃比が制御され、前記制御装置は、前記気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比が前記平均空燃比よりもリーンとされている気筒について、前記ポート燃料噴射弁からの燃料供給量が前記筒内燃料噴射弁からの燃料供給量よりも多くなるように前記供給比率を制御する、内燃機関が提供される。

10

20

【0011】

第2の発明では、第1の発明において、前記制御装置は、前記気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比が前記平均空燃比よりもリッチとされている気筒について、前記筒内燃料噴射弁からの燃料供給量が前記ポート燃料噴射弁からの燃料供給量よりも多くなるように前記供給比率を制御する。

【0012】

第3の発明では、第1の発明において、前記制御装置は、前記気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比が前記平均空燃比よりもリッチとされている気筒について、前記ポート燃料噴射弁からの燃料供給量が前記筒内燃料噴射弁からの燃料供給量よりも多くなるように前記供給比率を制御する。

30

【0013】

第4の発明では、第1～第3のいずれか一つの発明において、前記制御装置は、前記気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比が前記平均空燃比よりもリーンとされている気筒における総噴射量に対する前記ポート燃料噴射弁からの燃料供給量の比率が、燃焼空燃比が前記平均空燃比よりもリッチとされている気筒における前記比率以上となるように前記供給比率を制御する。

【0014】

第5の発明では、第1～第4のいずれか一つの発明において、前記制御装置は、前記気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比が前記平均空燃比よりもリーンとされている気筒について、前記筒内燃料噴射弁から燃料を供給せずに前記ポート燃料噴射弁のみから燃料を供給するように前記供給比率を制御する。

40

【0015】

第6の発明では、第1～第5のいずれか一つの発明において、前記制御装置は、機関負荷が高いほど且つ機関回転数が高いほど、各気筒への総噴射量に対する前記筒内燃料噴射弁からの燃料供給量が多くなるように前記供給比率を制御する。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、硫黄成分による触媒貴金属の活性低下を抑制しつつ、各気筒での燃焼の悪化を抑制することができる内燃機関が提供される。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 1 7 】

【 図 1 】 図 1 は、本発明の制御装置が用いられる内燃機関を概略的に示す図である。

【 図 2 】 図 2 は、各排気空燃比におけるセンサ印加電圧と出力電流との関係を示す図である。

【 図 3 】 図 3 は、センサ印加電圧を一定にしたときの排気空燃比と出力電流との関係を示す図である。

【 図 4 】 図 4 は、本実施形態に係る内燃機関による空燃比制御を行った場合の、平均空燃比補正量等のタイムチャートである。

【 図 5 】 図 5 は、空燃比補正量及び燃焼空燃比のタイムチャートである。

【 図 6 】 図 6 は、排気浄化触媒の担体表面を模式的に表した図である。

10

【 図 7 】 図 7 は、上流側排気浄化触媒の前端面からの距離と単位体積あたりにおける SOx の吸蔵量との関係を示す図である。

【 図 8 】 図 8 は、制御装置の機能ブロック図である。

【 図 9 】 図 9 は、第一実施形態における空燃比補正量の算出処理の制御ルーチンを示すフローチャートである。

【 図 1 0 】 図 1 0 は、上流側排気浄化触媒の温度等のタイムチャートである。

【 図 1 1 】 図 1 1 は、気筒間空燃比制御が実行されていないときの P F I 比率を表すマップの例を示す図である。

【 図 1 2 】 図 1 2 は、気筒間空燃比制御が実行されているときのリーン側の気筒における P F I 比率を表すマップの例を示す図である。

20

【 図 1 3 】 図 1 3 は、気筒間空燃比制御が実行されているときのリッチ側の気筒における P F I 比率を表すマップの例を示す図である。

【 図 1 4 】 図 1 4 は、気筒間空燃比制御が実行されているときのリッチ側の気筒における筒内燃料噴射弁からの燃料供給時期を表すマップの例を示す図である。

【 図 1 5 】 図 1 5 は、気筒間空燃比制御が開始されるとき平均空燃比補正量等のタイムチャートである。

【 図 1 6 】 図 1 6 は、各気筒における P F I 比率設定処理の制御ルーチンを示すフローチャートである。

【 図 1 7 】 図 1 7 は、気筒間空燃比制御が開始されるとき平均空燃比補正量等の、図 1 5 と同様なタイムチャートである。

30

【 図 1 8 】 図 1 8 は、第二実施形態における各気筒における P F I 比率設定処理の制御ルーチンを示すフローチャートである。

【 図 1 9 】 図 1 9 は、平均空燃比補正量 A F C a v 等の、図 4 と同様なタイムチャートである。

【 図 2 0 】 図 2 0 は、図 8 と同様な機能ブロック図である。

【 図 2 1 】 図 2 1 は、第二実施形態における空燃比補正量の算出処理の制御ルーチンを示すフローチャートである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 8 】

以下、図面を参照して本発明の実施形態について詳細に説明する。なお、以下の説明では、同様な構成要素には同一の参照番号を付す。

40

【 0 0 1 9 】

< 内燃機関全体の説明 >

図 1 は、本発明の内燃機関を概略的に示す図である。図 1 において、1 は機関本体、2 はシリンダブロック、3 はシリンダブロック 2 内で往復動するピストン、4 はシリンダブロック 2 上に固定されたシリンダヘッド、5 はピストン 3 とシリンダヘッド 4 との間に形成された燃焼室、6 は吸気弁、7 は吸気ポート、8 は排気弁、9 は排気ポートをそれぞれ示す。吸気弁 6 は吸気ポート 7 を開閉し、排気弁 8 は排気ポート 9 を開閉する。本実施形態の内燃機関は、直列 4 気筒内燃機関であり、よって機関本体 1 は 4 つの燃焼室 5 を有する。しかしながら、複数の気筒を有する内燃機関であれば、6 気筒内燃機関や V 型内燃機

50

関等、他の形式の内燃機関にも適用可能である。

【0020】

図1に示したようにシリンダヘッド4の内壁面の中央部には点火プラグ10が配置され、シリンダヘッド4の内壁面周辺部には筒内に直接燃料を噴射・供給する筒内燃料噴射弁11が配置される。加えて、シリンダヘッド4の吸気ポート7周辺には、吸気ポート7内（すなわち、吸気通路内）に燃料を噴射・供給するポート燃料噴射弁12が配置される。点火プラグ10は、点火信号に応じて火花を発生させるように構成される。また、燃料噴射弁11、12は、噴射信号に応じて、所定量の燃料を燃焼室5内に噴射する。なお、本実施形態では、燃料として理論空燃比が14.6であるガソリンが用いられる。しかしながら、本実施形態の内燃機関は他の燃料を用いても良い。

10

【0021】

各気筒の吸気ポート7はそれぞれ対応する吸気枝管13を介してサージタンク14に連結され、サージタンク14は吸気管15を介してエアクリーナ16に連結される。吸気ポート7、吸気枝管13、サージタンク14、吸気管15は吸気通路を形成する。また、吸気管15内にはスロットル弁駆動アクチュエータ17によって駆動されるスロットル弁18が配置される。スロットル弁18は、スロットル弁駆動アクチュエータ17によって回転せしめられることで、吸気通路の開口面積を変更することができる。

【0022】

一方、各気筒の排気ポート9は排気マニホールド19に連結される。排気マニホールド19は、各排気ポート9に連結される複数の枝部とこれら枝部が集合した集合部とを有する。排気マニホールド19の集合部は上流側排気浄化触媒20を内蔵した上流側ケーシング21に連結される。上流側ケーシング21は、排気管22を介して下流側排気浄化触媒24を内蔵した下流側ケーシング23に連結される。排気ポート9、排気マニホールド19、上流側ケーシング21、排気管22及び下流側ケーシング23は、排気通路を形成する。

20

【0023】

電子制御ユニット（ECU）31はデ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を具備する。吸気管15には、吸気管15内を流れる空気流量を検出するためのエアフロメータ39が配置され、このエアフロメータ39の出力は対応するAD変換器38を介して入力ポート36に入力される。また、排気マニホールド19の集合部には排気マニホールド19内を流れる排気ガス（すなわち、上流側排気浄化触媒20に流入する排気ガス）の空燃比を検出する上流側空燃比センサ40が配置される。加えて、排気管22内には排気管22内を流れる排気ガス（すなわち、上流側排気浄化触媒20から流出して下流側排気浄化触媒24に流入する排気ガス）の空燃比を検出する下流側空燃比センサ41が配置される。これら空燃比センサ40、41の出力も対応するAD変換器38を介して入力ポート36に入力される。さらに、上流側排気浄化触媒20には上流側排気浄化触媒20の温度を検出するための温度センサ46が配置され、この温度センサ46の出力も対応するAD変換器38を介して入力ポート36に入力される。

30

【0024】

また、アクセルペダル42にはアクセルペダル42の踏み量に比例した出力電圧を発生する負荷センサ43が接続され、負荷センサ43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。クランク角センサ44は例えばクランクシャフトが15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ではこのクランク角センサ44の出力パルスから機関回転数が計算される。一方、出力ポート37は対応する駆動回路45を介して点火プラグ10、燃料噴射弁11、12及びスロットル弁駆動アクチュエータ17に接続される。なお、ECU31は、内燃機関及び排気浄化装置の制御を行う制御装置として機能する。

40

【0025】

なお、本実施形態に係る内燃機関は、ガソリンを燃料とする無過給内燃機関であるが、

50

本発明に係る内燃機関の構成は、上記構成に限定されるものではない。例えば、本発明に係る内燃機関は、気筒配列、燃料の噴射態様、吸排気系の構成、動弁機構の構成、過給器の有無、及び過給態様等が、上記内燃機関と異なるものであってもよい。

【0026】

<排気浄化触媒の説明>

上流側排気浄化触媒20及び下流側排気浄化触媒24は、いずれも同様な構成を有する。排気浄化触媒20、24は、酸素吸蔵能力を有する三元触媒である。具体的には、排気浄化触媒20、24は、セラミックから成る担体上に、触媒作用を有する貴金属（例えば、白金（Pt））及び酸素吸蔵能力を有する物質（例えば、セリア（CeO₂））。以下、「酸素吸蔵物質」ともいう）を担持させた三元触媒である。三元触媒は、三元触媒に流入する排気ガスの空燃比が理論空燃比に維持されていると、未燃HC、CO及びNO_xを同時に浄化する機能を有する。加えて、この三元触媒は酸素吸蔵能力を有しているため、排気浄化触媒20、24に流入する排気ガスの空燃比が理論空燃比に対してリッチ側或いはリーン側に若干ずれたとしても未燃HC、COおよびNO_xとが同時に浄化される。

10

【0027】

すなわち、斯かる三元触媒は、酸素吸蔵能力を有しているため、排気浄化触媒20、24に流入する排気ガスの空燃比が理論空燃比よりもリーンな空燃比（以下、単に「リーン空燃比」という）になったときには、排気ガス中に含まれる過剰な酸素を吸蔵する。これにより、排気浄化触媒20、24の表面上が理論空燃比に維持され、排気浄化触媒20、24の表面上において未燃HC、CO及びNO_xが同時に浄化される。このとき、排気浄化触媒20、24から排出される排気ガスの空燃比は理論空燃比となる。ただし、三元触媒は、その酸素吸蔵量が、吸蔵可能な酸素量の最大値である最大吸蔵可能酸素量C_{max}に達すると、それ以上酸素を吸蔵することができなくなる。したがって、三元触媒の酸素吸蔵量がほぼ最大吸蔵可能酸素量C_{max}に達した状態で排気浄化触媒20、24に流入する排気ガスの空燃比がリーン空燃比になると、排気浄化触媒20、24ではもはやその表面上を理論空燃比に維持することができなくなる。このため、この場合、排気浄化触媒20、24から排出される排気ガスの空燃比はリーン空燃比になる。

20

【0028】

一方、斯かる三元触媒では、排気浄化触媒20、24に流入する排気ガスの空燃比が理論空燃比よりもリッチな空燃比（以下、単に「リッチ空燃比」という）になったときには、排気ガス中に含まれる未燃HC、COを還元させるのに不足している酸素が排気浄化触媒20、24から放出される。この場合にも排気浄化触媒20、24の表面上が理論空燃比に維持され、排気浄化触媒20、24の表面上において未燃HC、CO及びNO_xが同時に浄化される。このとき、排気浄化触媒20、24から排出される排気ガスの空燃比は理論空燃比となる。ただし、三元触媒は、その酸素吸蔵量がゼロに達すると、それ以上、酸素を放出することができなくなる。したがって、三元触媒の酸素吸蔵量がほぼゼロに達した状態で排気浄化触媒20、24に流入する排気ガスの空燃比がリッチ空燃比になると、排気浄化触媒20、24ではもはやその表面上を理論空燃比に維持することができなくなる。このため、この場合、排気浄化触媒20、24から排出される排気ガスの空燃比はリッチ空燃比になる。

30

40

【0029】

以上のように、本実施形態において用いられる排気浄化触媒20、24によれば、排気浄化触媒20、24に流入する排気ガスの空燃比及び酸素吸蔵量に応じて排気ガス中の未燃HC、CO及びNO_xの浄化特性が変化する。

【0030】

<空燃比センサの出力特性>

次に、図2及び図3を参照して、本実施形態における空燃比センサ40、41の出力特性について説明する。図2は、本実施形態における空燃比センサ40、41の電圧-電流（V-I）特性を示す図であり、図3は、印加電圧を一定に維持したときの、空燃比センサ40、41周りを流通する排気ガスの空燃比（以下、「排気空燃比」という）と出力電

50

流 I との関係を示す図である。なお、本実施形態では、両空燃比センサ 40、41 として同一構成の空燃比センサが用いられる。

【0031】

図 2 からわかるように、本実施形態の空燃比センサ 40、41 では、出力電流 I は、排気空燃比が高くなるほど（リーンになるほど）、大きくなる。また、各排気空燃比における V - I 線には、V 軸にほぼ平行な領域、すなわちセンサ印加電圧が変化しても出力電流がほとんど変化しない領域が存在する。この電圧領域は限界電流領域と称され、このときの電流は限界電流と称される。図 2 では、排気空燃比が 18 であるときの限界電流領域及び限界電流をそれぞれ W_{18} 、 I_{18} で示している。したがって、空燃比センサ 40、41 は限界電流式の空燃比センサであるといえることができる。

10

【0032】

図 3 は、印加電圧を 0.45 V 程度で一定にしたときの、排気空燃比と出力電流 I との関係を示す図である。図 3 からわかるように、空燃比センサ 40、41 では、排気空燃比が高くなるほど（すなわち、リーンになるほど）、空燃比センサ 40、41 からの出力電流 I が大きくなるように、排気空燃比に対して出力電流がリニアに（比例するように）変化する。加えて、空燃比センサ 40、41 は、排気空燃比が理論空燃比であるときに出力電流 I が零になるように構成される。

【0033】

なお、上記例では、空燃比センサ 40、41 として限界電流式の空燃比センサを用いている。しかしながら、排気空燃比に対して出力電流がリニアに変化するものであれば、空燃比センサ 40、41 として、限界電流式ではない空燃比センサ等、如何なる空燃比センサを用いてもよい。また、両空燃比センサ 40、41 は互いに異なる構造の空燃比センサであってもよい。加えて、下流側空燃比センサ 41 としては、排気空燃比に対して出力電流がリニアに変化するものではないセンサが用いられてもよい。具体的には、下流側空燃比センサ 41 として、例えば、理論空燃比近傍で出力値が大きく変化する酸素センサ等を用いることもできる。

20

【0034】

< 空燃比制御の概要 >

次に、本実施形態の内燃機関における空燃比制御の概要を説明する。本実施形態では、上流側空燃比センサ 40 の出力空燃比に基づいて、上流側空燃比センサ 40 出力空燃比が目標空燃比に一致するように燃料噴射弁 11、12 からの各気筒への燃料供給量を制御するフィードバック制御が行われる。なお、「出力空燃比」は、空燃比センサの出力値に相当する空燃比を意味する。

30

【0035】

ここで、後述するように、本実施形態では、燃料噴射弁 11、12 からの各気筒への燃料供給量を気筒間で異なる量にさせる場合がある。この場合、上流側空燃比センサ 40 の出力空燃比は 1 サイクル中に多少変動する。このような場合でも、本実施形態では、上流側空燃比センサ 40 の出力空燃比の平均値（以下、「平均出力空燃比」という）が、気筒間で異なる目標空燃比の平均値である目標平均空燃比に一致するように燃料噴射弁 11、12 からの燃料供給量を制御するようにしている。

40

【0036】

加えて、本実施形態の空燃比制御では、平均空燃比制御と気筒間空燃比制御（ディザ制御）とが行われる。平均空燃比制御は、下流側空燃比センサ 41 の出力空燃比に基づいて目標平均空燃比を設定する制御である。したがって、平均空燃比制御は、各気筒において燃焼が行われるときの混合気の空燃比（以下、「燃焼空燃比」という。各気筒に供給される混合気の空燃比に相当する。）の全気筒における平均値（1 サイクル中の各気筒の燃焼空燃比を合計したものを気筒数で割った値）である平均燃焼空燃比を制御しているといえる。換言すると、上流側排気浄化触媒 20 に流入する排気ガスの平均排気空燃比を制御しているといえる。一方、気筒間空燃比制御は、各気筒毎に異なる目標空燃比を設定する制御であり、換言すると、各気筒における燃焼空燃比を制御するものである。

50

【 0 0 3 7 】

< 平均空燃比制御 >

最初に、平均空燃比制御について説明する。平均空燃比制御では、まず、目標平均空燃比を後述するリッチ設定空燃比に設定している状態で、下流側空燃比センサ 4 1 の出力空燃比がリッチ空燃比になったと判断されると、目標平均空燃比がリーン設定空燃比に切り替えられる。これにより、平均燃焼空燃比及び平均排気空燃比（以下、これらをまとめて「平均空燃比」と称する）がリーン設定空燃比に変化する。ここで、本実施形態では、下流側空燃比センサ 4 1 の出力空燃比が理論空燃比よりも僅かにリッチなリッチ判定空燃比（例えば、14.55）以下になったときに、下流側空燃比センサ 4 1 の出力空燃比がリッチ空燃比になったと判断される。したがって、平均空燃比制御では、平均空燃比をリッチ空燃比に制御しているときに下流側空燃比センサ 4 1 の出力空燃比がリッチ判定空燃比以下になったときに平均空燃比がリーン空燃比に切り替えられる。また、リーン設定空燃比は、理論空燃比（制御中心となる空燃比）よりも僅かにリーンである予め定められた空燃比であり、例えば、14.7程度とされる。

10

【 0 0 3 8 】

一方、平均空燃比制御では、目標平均空燃比をリーン設定空燃比に設定している状態で、下流側空燃比センサ 4 1 の出力空燃比がリーン空燃比になったと判断されると、目標平均空燃比がリッチ設定空燃比に切り替えられる。これにより、平均空燃比がリッチ設定空燃比に変化する。ここで、本実施形態では、下流側空燃比センサ 4 1 の出力空燃比が理論空燃比よりも僅かにリーンなリーン判定空燃比（例えば、14.65）以上になったときに、下流側空燃比センサ 4 1 の出力空燃比がリーン空燃比になったと判断される。したがって、平均空燃比制御では、平均空燃比をリーン空燃比に制御しているときに下流側空燃比センサ 4 1 の出力空燃比がリーン判定空燃比以上になったときに平均空燃比がリッチ空燃比に切り替えられる。また、リッチ設定空燃比は、理論空燃比（制御中心となる空燃比）よりも或る程度リッチである予め定められた空燃比であり、例えば、14.4程度とされる。なお、リーン設定空燃比と理論空燃比との差（以下、「リーンシフト量」ともいう）は、リッチ設定空燃比と理論空燃比との差（以下、「リッチシフト量」ともいう）よりも小さい。

20

【 0 0 3 9 】

この結果、平均空燃比制御では、目標平均空燃比がリッチ空燃比とリーン空燃比とに交互に設定され、これにより上流側排気浄化触媒 2 0 に流入する排気ガスの平均空燃比がリッチ空燃比とリーン空燃比に交互に制御されることになる。

30

【 0 0 4 0 】

なお、リッチ判定空燃比及びリーン判定空燃比は、理論空燃比の 1 % 以内、好ましくは 0.5 % 以内、より好ましくは 0.35 % 以内の空燃比とされる。したがって、リッチ判定空燃比及びリーン判定空燃比の理論空燃比からの差は、理論空燃比が 14.6 の場合には、0.15 以下、好ましくは 0.073 以下、より好ましくは 0.051 以下とされる。また、目標平均空燃比における設定空燃比（例えば、リッチ設定空燃比やリーン設定空燃比）は、理論空燃比からの差が上述した差よりも大きくなるように設定される。

【 0 0 4 1 】

図 4 を参照して、平均空燃比制御について具体的に説明する。図 4 は、本実施形態に係る内燃機関における空燃比制御を行った場合の、平均空燃比補正量 AFC_{av} 、上流側空燃比センサ 4 0 の出力空燃比 AFC_{up} 、上流側排気浄化触媒 2 0 の酸素吸蔵量 OSA 、及び下流側空燃比センサ 4 1 の出力空燃比 AFC_{down} のタイムチャートである。

40

【 0 0 4 2 】

なお、平均空燃比補正量 AFC_{av} は、上流側排気浄化触媒 2 0 に流入する排気ガスの目標平均空燃比に対応する補正量である。平均空燃比補正量 AFC_{av} が 0 のときには、目標平均空燃比が制御中心となる空燃比（以下、「制御中心空燃比」という）に等しい空燃比（本実施形態では、基本的に理論空燃比）であることを意味する。また、平均空燃比補正量 AFC_{av} が正の値であるときには目標平均空燃比が制御中心空燃比よりもリーン

50

な空燃比（本実施形態では、リーン空燃比）であることを意味する。また、このときの平均空燃比補正量 AFC_{av} の絶対値は、目標平均空燃比と制御中心空燃比との差或いは平均空燃比と制御中心空燃比との差であるリーンシフト量に相当する。なお、「制御中心空燃比」は、機関運転状態に応じて平均空燃比補正量 AFC_{av} を加算する対象となる空燃比、すなわち平均空燃比補正量 AFC_{av} に応じて目標平均空燃比を変動させる際に基準となる空燃比を意味する。

【0043】

同様に、平均空燃比補正量 AFC_{av} が負の値であるときには目標平均空燃比が制御中心空燃比よりもリッチな空燃比（本実施形態では、リッチ空燃比）であることを意味する。また、このときの平均空燃比補正量 AFC_{av} の絶対値は、目標平均空燃比と制御中心空燃比との差或いは平均空燃比と制御中心空燃比との差であるリッチシフト量に相当する。

10

【0044】

図4に示した例では、時刻 t_1 以前の状態では、平均空燃比補正量 AFC_{av} がリーン設定補正量 AFC_{lean} （リーン設定空燃比に相当）に設定されている。すなわち、目標平均空燃比はリーン空燃比とされており、これに伴って上流側空燃比センサ40の出力空燃比 AFC_{up} 、すなわち上流側排気浄化触媒20に流入する排気ガスの空燃比がリーン空燃比となっている。上流側排気浄化触媒20に流入する排気ガス中に含まれている過剰な酸素は上流側排気浄化触媒20に吸蔵され、これに伴って上流側排気浄化触媒20の酸素吸蔵量 OSA は徐々に増加していく。一方、上流側排気浄化触媒20において酸素が吸蔵されることにより上流側排気浄化触媒20から流出する排気ガス中には酸素は含まれていないため、下流側空燃比センサ41の出力空燃比 AFC_{down} はほぼ理論空燃比となる。

20

【0045】

上流側排気浄化触媒20の酸素吸蔵量 OSA が徐々に増大すると、やがて酸素吸蔵量 OSA は最大吸蔵可能酸素量 C_{max} に近づき、これに伴って、上流側排気浄化触媒20に流入した酸素の一部は上流側排気浄化触媒20で吸蔵されずに流出し始める。これにより、下流側空燃比センサ41の出力空燃比 AFC_{down} が徐々に上昇し、時刻 t_1 においてリーン判定空燃比 AFC_{lean} に到達する。

【0046】

本実施形態では、下流側空燃比センサ41の出力空燃比 AFC_{down} がリーン判定空燃比 AFC_{lean} 以上になると、酸素吸蔵量 OSA を減少させるべく、平均空燃比補正量 AFC_{av} がリッチ設定補正量 AFC_{rich} （リッチ設定空燃比に相当）に切り替えられる。したがって、目標平均空燃比がリッチ空燃比に切り替えられる。

30

【0047】

なお、本実施形態では、下流側空燃比センサ41の出力空燃比 AFC_{down} が理論空燃比からリッチ空燃比に変化してすぐではなく、リッチ判定空燃比 AFC_{rich} に到達してから、平均空燃比補正量 AFC_{av} の切替を行っている。これは、上流側排気浄化触媒20の酸素吸蔵量 OSA が十分であっても、上流側排気浄化触媒20から流出する排気ガスの空燃比が理論空燃比から極僅かにずれてしまう場合があるためである。逆に言うと、リッチ判定空燃比は、上流側排気浄化触媒20の酸素吸蔵量 OSA が十分であるときには、上流側排気浄化触媒20から流出する排気ガスの空燃比が通常は到達することのないような空燃比とされる。なお、上述したリーン判定空燃比についても同じことがいえる。

40

【0048】

時刻 t_1 において、目標平均空燃比をリッチ空燃比に切り替えると、これに伴って上流側空燃比センサ40の出力空燃比 AFC_{up} 、すなわち平均空燃比がリッチ空燃比に変化する。上流側排気浄化触媒20に流入する排気ガス中に含まれている過剰な未燃 HC 、 CO は、上流側排気浄化触媒20で浄化され、これに伴って上流側排気浄化触媒20の酸素吸蔵量 OSA は徐々に減少していく。一方、上流側排気浄化触媒20において未燃 HC 、 CO が浄化されることから上流側排気浄化触媒20から流出する排気ガス中には未燃 HC 、 CO は含まれていないため、下流側空燃比センサ41の出力空燃比 AFC_{down} はほぼ理論

50

空燃比となる。

【0049】

上流側排気浄化触媒20の酸素吸蔵量OSAが徐々に減少すると、やがて酸素吸蔵量OSAはゼロに近づき、これに伴って、上流側排気浄化触媒20に流入した未燃HC、COの一部は上流側排気浄化触媒20で浄化されずに流出し始める。これにより、下流側空燃比センサ41の出力空燃比AFdownが徐々に低下し、時刻 t_2 においてリッチ判定空燃比AFrichに到達する。

【0050】

本実施形態では、下流側空燃比センサ41の出力空燃比AFdownがリッチ判定空燃比AFrich以下になると、酸素吸蔵量OSAを増大させるべく、平均空燃比補正量AFCAVがリーン設定補正量AFCleanに切り替えられる。したがって、目標空燃比がリーン空燃比へと切り替えられる。その後は、時刻 t_3 以降において、上述した操作と同様な操作が繰り返される。

10

【0051】

また、本実施形態の平均空燃比制御では、リーン設定補正量AFCleanの絶対値は、リッチ設定補正量AFCrichの絶対値よりも小さい値とされる。したがって、平均空燃比をリーン空燃比に制御したときの平均空燃比と制御中心空燃比(理論空燃比)との差であるリーンシフト量が、平均空燃比をリッチ空燃比に制御したときの平均空燃比と制御中心空燃比との差であるリッチシフト量よりも小さくされる。これにより、目標平均空燃比がリーン設定補正量AFCleanに設定されている期間(例えば、時刻 $t_2 \sim t_3$)は、目標空燃比がリッチ設定補正量AFCrichに設定されている期間(例えば、時刻 $t_1 \sim t_2$)よりも長くなる。

20

【0052】

< 気筒間空燃比制御 >

次に、気筒間空燃比制御について説明する。気筒間空燃比制御では、気筒間で少なくとも部分的に燃焼空燃比が異なる空燃比となるように燃料噴射弁11、12からの各気筒への燃料供給量が制御される。特に、本実施形態では、一部の気筒では燃焼空燃比が目標平均空燃比よりもリッチとされ、残りの気筒では燃焼空燃比が目標空燃比よりもリーンとされる。

30

【0053】

図5は、各気筒の空燃比補正量AFC及び燃焼空燃比のタイムチャートである。本実施形態では、内燃機関が直列4気筒の内燃機関であるため、燃焼室5での混合気の燃焼は、1番気筒、3番気筒、4番気筒、2番気筒の順に行われる。図5に示した例では、1サイクルにおいて最初に燃焼が行われる1番気筒において、この気筒の空燃比補正量AFCが平均空燃比補正量AFCAVよりも減量される。すなわち、1番気筒では、燃焼室5に供給される混合気の空燃比が平均目標空燃比よりもリッチとされる。したがって、1番気筒では、燃焼空燃比が平均空燃比よりもリッチな空燃比となる。

【0054】

そして、次に燃焼が行われる3番気筒では、各気筒の空燃比補正量AFCが平均空燃比補正量AFCAVよりも増量される。この結果、3番気筒では、燃焼空燃比が平均空燃比よりもリーンな空燃比とされる。そして、次に燃焼が行われる4番気筒では燃焼空燃比が平均空燃比よりもリッチな空燃比とされ、その次に燃焼が行われる2番気筒では燃焼空燃比が平均空燃比よりもリーンな空燃比とされる。

40

【0055】

また、本実施形態では、気筒間空燃比制御における平均空燃比補正量AFCAVからの変更量は、平均空燃比よりもリッチとされる気筒(図中の1番気筒及び4番気筒。以下、「リッチ側の気筒」ともいう)同士で同一とされる。図5に示した例では、1番気筒及び4番気筒における空燃比補正量の変更量はいずれもとなっている。この結果、これら気筒における燃焼空燃比は平均空燃比からAF(変更量に相当)だけリッチな空燃比とされる。同様に、本実施形態では、気筒間空燃比制御における平均空燃比補正量AFC

50

a_v からの変更量は、平均空燃比よりもリーンとされる気筒（図中の2番気筒及び3番気筒。以下、「リーン側の気筒」ともいう）同士で同一とされる。図5に示した例では、2番気筒及び3番気筒における空燃比補正量の変更量はいずれも となっている。この結果、これら気筒における燃焼空燃比は平均空燃比から AF （変更量 に相当）だけリーンな空燃比とされる。

【0056】

さらに、本実施形態では、リッチ側の気筒とリーン側の気筒との間でも、平均空燃比補正量 $AF C a_v$ からの変更量が で同一とされる。この結果、平均空燃比よりもリッチとされる気筒の燃焼空燃比と平均空燃比との差は、平均空燃比よりもリーンとされる気筒の燃焼空燃比と平均空燃比との差に等しくなる。

10

【0057】

図4中の X は、気筒間空燃比制御における燃焼空燃比の平均空燃比補正量 $AF C a_v$ からの変更量を表している。図4からわかるように、平均空燃比補正量 $AF C a_v$ がリッチ設定補正量 $AF C r i c h$ に設定されている時刻 $t_1 \sim t_2$ においては、リッチ側の気筒（1番気筒、4番気筒）では、各気筒の空燃比補正量 $AF C$ がリッチ設定補正量 $AF C r i c h$ から変更量 を減算した値になる（ $AF C r i c h -$ ）。この結果、リッチ側の気筒では、燃焼空燃比が平均空燃比から AF （変更量 に相当）だけリッチな空燃比とされる。また、時刻 $t_1 \sim t_2$ においては、リーン側の気筒では、各気筒の空燃比補正量 $AF C$ がリッチ設定補正量 $AF C r i c h$ に変更量 を加算した値になる（ $AF C r i c h +$ ）。この結果、リーン側の気筒では、燃焼空燃比が平均空燃比から AF （変更量 に相当）だけリーンな空燃比とされる。加えて、変更量 は、リッチ設定補正量 $AF C r i c h$ の絶対値よりも大きな値とされる。このため、リーン側の気筒では燃焼空燃比がリーン空燃比になるように燃焼空燃比が制御されることになる。

20

【0058】

同様に、平均空燃比補正量 $AF C a_v$ がリーン設定補正量 $AF C l e a n$ に設定されている時刻 $t_2 \sim t_3$ においては、リーン側の気筒（2番気筒、3番気筒）では、各気筒の空燃比補正量 $AF C$ がリーン設定補正量 $AF C l e a n$ に変更量 を加算した値になる（ $AF C l e a n +$ ）。この結果、リーン側の気筒では、燃焼空燃比が平均空燃比から AF （変更量 に相当）だけリーンな空燃比とされる。また、時刻 $t_2 \sim t_3$ においては、リッチ側の気筒では、各気筒の空燃比補正量 $AF C$ がリーン設定補正量 $AF C l e a n$ から変更量 を減算した値になる（ $AF C l e a n -$ ）。この結果、リッチ側の気筒では、燃焼空燃比が平均空燃比から AF （変更量 に相当）だけリッチな空燃比とされる。加えて、変更量 は、リーン設定補正量 $AF C l e a n$ の絶対値よりも大きな値とされる。このため、リッチ側の気筒では燃焼空燃比がリッチ空燃比になるように燃焼空燃比が制御されることになる。

30

【0059】

なお、変更量 は、リッチ設定補正量 $AF C r i c h$ 及びリーン設定補正量 $AF C l e a n$ の絶対値よりも大きい。このため、気筒間空燃比制御において平均空燃比よりもリッチにされる気筒の燃焼空燃比と平均空燃比よりもリーンにされる気筒の燃焼空燃比との差（すなわち、気筒間空燃比制御における振幅）は、平均空燃比制御におけるリッチ設定空燃比とリーン設定空燃比との差（すなわち、平均空燃比制御における空燃比の振幅）よりも大きい。

40

【0060】

<平均空燃比制御及び気筒間空燃比制御の効果>

次に、図6及び図7を参照して、平均空燃比制御及び気筒間空燃比制御による効果について説明する。まず、図6を参照して、上述したような平均空燃比制御を行うことの効果について説明する。図6は、排気浄化触媒20、24の担体表面を模式的に表した図である。図6に示した例では、排気浄化触媒20、24の担体には、触媒作用を有する貴金属として白金（Pt）が、酸素吸蔵能力を有する物質としてセリア（ CeO_2 ）が担持されている。

50

【 0 0 6 1 】

ところで、内燃機関に供給される燃料中には微量ながら硫黄分が含まれているため、燃焼室 5 から排出される排気ガス中には微量の硫黄酸化物 (SO_x) が含まれている。排気浄化触媒 20、24 の温度がそれほど高くないとき (例えば、600 以下) には、排気ガス中に含まれる SO_x は、排気浄化触媒 20、24 に流入すると、排気ガスの空燃比がほぼ理論空燃比であっても、担体上のセリアにファンデルワールス力により物理吸着する。しかしながら、排気ガス中に含まれる SO_x は、排気ガスの空燃比がリーン空燃比であると担体上のセリアにより強固に吸蔵される。

【 0 0 6 2 】

図 6 (A) は、排気浄化触媒 20、24 の温度がそれほど高くないとき (例えば、600 以下) に、排気浄化触媒 20、24 にリーン空燃比の排気ガスが流入している状態を示している。したがって、図 6 (A) に示した状態では、排気浄化触媒 20、24 に流入する排気ガス中には多量の過剰な酸素が含まれている。このように排気浄化触媒 20、24 に流入する排気ガス中に過剰な酸素が含まれていると、排気ガス中に含まれる SO_x は SO_3 としてセリアに化学吸着される。このような化学吸着によれば、 SO_x は上述した物理吸着よりも強固にセリアに吸着されることになる。また、排気ガス中に含まれる過剰な酸素がさらに多くなると、すなわち排気ガスの空燃比のリーン度合いが大きくなると、排気ガス中に含まれる SO_x はセリアと反応して $Ce_2(SO_4)_3$ となって吸収される。このような吸収によれば、 SO_x は上述した化学吸着よりも強固にセリアに吸収されることになる。なお、以下の説明では、 SO_x がセリアに「吸着」されること及び「吸収」されることをまとめて、 SO_x がセリアに「吸蔵」されると表現する。

【 0 0 6 3 】

このような状態で、排気浄化触媒 20、24 にリッチ空燃比の排気ガスが流入すると、セリアに吸蔵されている SO_x の硫黄分が白金上に移動する。この様子を、図 6 (B) に示す。図 6 (B) に示したように、排気浄化触媒 20、24 にリッチ空燃比の排気ガスが流入すると、排気ガス中には多量の過剰な未燃 HC、CO が含まれている。このため、これら未燃 HC、CO によりセリアに吸蔵されている SO_x は分解されて、水 (H_2O) と二酸化炭素 (CO_2) が生じる。加えて、 SO_x の分解によって生じた硫黄成分は、白金の表面上に吸着する。このように白金の表面上に吸着した硫黄成分が増大して白金の表面を被覆すると、白金が周囲の気体と接する面積が減少し、白金の触媒活性の低下を招く。

【 0 0 6 4 】

なお、セリアに吸蔵されている硫黄の分解は、 SO_x のセリアへの吸蔵が強固であるほど起こりにくい。したがって、 SO_x がセリアに化学吸着されている場合に比べて、 SO_x がセリアに $Ce_2(SO_4)_3$ として吸収されている場合の方が、セリアに吸蔵されている硫黄の分解が起こりにくく、よってセリアから白金への硫黄成分の移動が起こりにくい。このため、 SO_x がセリアに吸収されている場合における硫黄成分の移動は、 SO_x がセリアに化学吸着されている場合に比べて、排気ガスの空燃比のリッチ度合いが大きくなると、または、排気浄化触媒 20、24 の温度が高くないと発生しない。

【 0 0 6 5 】

このように白金の表面上に硫黄成分が吸着している状態で、排気浄化触媒 20、24 が高温 (例えば、720 以上) になり、排気浄化触媒 20、24 にリッチ空燃比の排気ガスが流入すると、白金の表面上に吸着している硫黄成分が離脱せしめられる。この様子を、図 6 (C) に示す。図 6 (C) に示したように、排気浄化触媒 20、24 にリッチ空燃比の排気ガスが流入すると、流入する排気ガス中には多量の過剰な未燃 HC、CO が含まれていることになる。また、排気ガスの空燃比がリッチ空燃比であっても、排気ガス中には僅かながら酸素が含まれている。このため、排気浄化触媒 20、24 が高温であると、白金表面上に吸着している硫黄成分は、排気ガス中の未燃 HC、CO 及び酸素と反応して、 SO_x 、 H_2S となって、白金表面から離脱せしめられる。なお、このときには、セリアに吸蔵されている SO_x も、白金表面に吸着されることなく離脱せしめられる。

【 0 0 6 6 】

10

20

30

40

50

ここで、内燃機関の運転中には、排気浄化触媒 20、24 の温度は常に高温（例えば、720 以上）に維持されるわけではなく、機関運転状態によっては或る程度低い温度（例えば、720 未満）に維持されることもある。このように排気浄化触媒 20、24 が或る程度低い温度に維持されている場合には、排気浄化触媒 20、24 に流入する排気ガスの空燃比がリッチ空燃比になると、図 6（B）に示したように硫黄成分がセリアから白金表面上に移動し、白金の触媒活性の低下を招いてしまう。

【0067】

これに対して、本実施形態の内燃機関では、平均空燃比制御においてリーンシフト量がリッチシフト量よりも小さくされる。これにより、平均空燃比がリーンである期間は、平均空燃比がリッチである期間よりも長くなる。このように本実施形態では、上流側排気浄化触媒 20 に流入する排気ガスの平均排気空燃比がリーンである期間が長くなり、また平均排気空燃比がリッチである期間が短くなる。このため、硫黄成分がセリアから白金表面上に移動しにくくなり、よって白金の触媒活性の低下を抑制することができる。

10

【0068】

なお、平均排気空燃比がリーンである期間を長くし、平均排気空燃比がリッチである期間を短くするという観点からは、リーンシフト量ができるだけ小さく且つリッチシフト量ができるだけ大きいことが好ましい。すなわち、リーンシフト量とリッチシフト量の差はできるだけ大きいことが好ましい。

【0069】

次に、図 7 を参照して、気筒間空燃比制御を行うことの効果について説明する。図 7 は、上流側排気浄化触媒の排気流れ方向上流側端面（前端面）からの距離と、排気浄化触媒単位体積あたりにおける SOx の貴金属及び担体への吸蔵量との関係を示しており、硫黄成分濃度が高い燃料を用いて内燃機関の運転を一定時間行った際の実験結果を示している。

20

【0070】

図 7（A）は、上流側排気浄化触媒に流入する排気ガスの平均排気空燃比をリーン空燃比に維持すると共に、上述した気筒間空燃比制御を行っていない場合の結果を示している。したがって、図 7（A）は、全ての気筒において燃焼空燃比がリーン空燃比に維持された場合の結果を示している。図 7（A）からわかるように、気筒間空燃比制御を行っていない場合には、上流側排気浄化触媒の排気流れ方向全域に亘って SOx が吸蔵されると共に、特に後方に多くの SOx が吸蔵される。

30

【0071】

一方、図 7（B）は、上流側排気浄化触媒に流入する排気ガスの平均排気空燃比をリーン空燃比に維持すると共に、上述した気筒間空燃比制御を行った場合の結果を示している。したがって、図 7（B）は、リーン空燃比を中心に気筒毎に燃焼空燃比をリッチ側及びリーン側にシフトさせた場合の結果を示している。図 7（B）からわかるように、気筒間空燃比制御を行った場合には、上流側排気浄化触媒の排気流れ方向前方に多くの SOx が吸蔵されていると共に、後方にはほとんど SOx が吸蔵されていない。

【0072】

このように、気筒間空燃比制御を行った場合に SOx が上流側排気浄化触媒の前方に吸蔵される理由としては、SOx の吸蔵と酸素の吸放出とに関連性が存在することが考えられる。気筒間空燃比制御を行った場合には、燃焼空燃比がリッチ空燃比の気筒からは過剰な未燃 HC、CO を含んだ排気ガスが排出される。一方、燃焼空燃比がリーン空燃比の気筒からは過剰な酸素を含んだ排気ガスが排出される。この結果、上流側排気浄化触媒に流入する排気ガスには、その平均排気空燃比が理論空燃比であっても、未燃 HC、CO 及び酸素が多量に含まれる。

40

【0073】

この結果、気筒間空燃比制御を行った場合（図 7（B））には、上流側排気浄化触媒の前方において酸素の吸放出が活発に行われる。ここで、上流側排気浄化触媒の担体への SOx の吸蔵は酸素の吸放出が活発な上流側排気浄化触媒の領域において起こりやすいと考

50

えられる。このため、気筒間空燃比制御を行った場合には酸素の吸放出が活発に行われている上流側排気浄化触媒の前方において SO_x が多く吸蔵され、この結果、後方においては SO_x が吸蔵されなくなる。

【0074】

一方、気筒間空燃比制御を行わなかった場合（図7（A））には、上流側排気浄化触媒に流入する排気ガス中に含まれる未燃HC、CO及び酸素はそれほど多くない。このため、上流側排気浄化触媒の前方側ではそれほど活発な反応が生じず、よって前方側では活発な酸素の吸放出が行われない。この結果、上流側排気浄化触媒の中程から後方において酸素の吸放出が活発に行われる。このため、気筒間空燃比制御を行わなかった場合には、排気流れ方向全域に亘って SO_x が吸蔵されると共に、特に上流側排気浄化触媒の中程から後方において SO_x が多く吸蔵されると考えられる。なお、図7に示した例では、上流側排気浄化触媒に流入する排気ガスの平均排気空燃比を理論空燃比に維持した場合を示したが、上流側排気浄化触媒に流入する排気ガスの平均排気空燃比をリーン空燃比に維持した場合にも同様な傾向となる。

10

【0075】

ここで、上流側排気浄化触媒の最大吸蔵可能酸素量 C_{max} はその SO_x 吸蔵状態に応じて変化する。具体的には、上流側排気浄化触媒の或る領域において SO_x が吸蔵されるとその領域における吸蔵可能酸素量が減少する。すなわち、 SO_x が吸蔵された領域では、その硫黄成分の一部が貴金属表面上に吸着している。このように、貴金属表面上に硫黄成分が吸着すると貴金属における触媒活性が低下するため、この貴金属周りの担体に酸素が吸蔵されている状態で未燃HCやCOを含んだ排気ガスが上流側排気浄化触媒に流入しても、吸蔵されている酸素と未燃HC、COとを反応させることができなくなる。よって、上流側排気浄化触媒に吸蔵されている酸素を放出することができなくなり、結果的に最大吸蔵可能酸素量 C_{max} の減少を招くことになる。

20

【0076】

したがって、気筒間空燃比制御を行わなかった場合（図7（A））には、上流側排気浄化触媒の排気流れ方向全域に亘って SO_x が吸蔵されるため、上流側排気浄化触媒の最大吸蔵可能酸素量 C_{max} は少なくなる。これに対して、気筒間空燃比制御を行った場合（図7（B））には、上流側排気浄化触媒の後方において SO_x がほとんど吸蔵されていない領域が残る。この結果、この場合には、最大吸蔵可能酸素量 C_{max} の低下を抑制することができる。

30

【0077】

また、平均空燃比補正量 $AFCAV$ がリーン設定補正量 $AFCLean$ であるとき（例えば、図4の時刻 $t_2 \sim t_3$ ）に、気筒間空燃比制御を実行すると、リーン側の気筒では空燃比補正量 AFC はリーン設定補正量 $AFCLean$ に変更量を加算した値となる。この結果、リーン側の気筒の燃焼空燃比はリーン度合いの大きいリーンとなる。

【0078】

ここで、図6（A）を参照して説明したように、上流側排気浄化触媒20に流入する排気ガスの空燃比のリーン度合いが大きくなるほど、 SO_x がセリアに強固に吸蔵されることになる。したがって、平均空燃比制御に加えて気筒間空燃比制御を行うことにより、 SO_x をセリアに強固に吸蔵させることができ、よってセリアから白金表面上への硫黄成分の移動を抑制することができる。

40

【0079】

以上より、本実施形態によれば、上述したような平均空燃比制御を行うことにより、担体（セリア等）に吸着された硫黄成分が貴金属（白金等）上に移動するのを抑制することができ、これにより貴金属の触媒活性低下を抑制することができる。加えて、上述したような気筒間空燃比制御を行うことにより、上流側排気浄化触媒20の後方において担体への SO_x の吸蔵を抑制することができ、これにより最大吸蔵可能酸素量の低下を抑制することができる。さらに、上述した気筒間空燃比制御を行うことによっても担体に吸着された硫黄成分が貴金属上に移動するのを抑制することができる。

50

【 0 0 8 0 】

なお、上記実施形態では、気筒間空燃比制御において、リッチ側の気筒全てにおいて変更量が同一となっており、よって燃焼空燃比が同一となっている。しかしながら、リッチ側の気筒全てにおいて変更量を一定にする必要はなく、リッチ側の気筒間でも変更量を異なる値にしてもよい。この場合、リッチ側の気筒間で燃焼空燃比が異なるものとなる。また、同じ事が、リーン側の気筒についてもいえる。

【 0 0 8 1 】

また、上記実施形態では、気筒間空燃比制御において、全ての気筒において燃焼空燃比が平均空燃比に対してリッチ側及びリーン側のいずれかにシフトせしめられる。しかしながら、気筒間空燃比制御において、一部の気筒については変更量をゼロにして、燃焼空燃比を平均空燃比に一致させるようにしてもよい。

10

【 0 0 8 2 】

加えて、上記実施形態では、気筒間空燃比制御においてリッチ側の気筒の数とリーン側の気筒の数とが同一となっている。しかしながら、リッチ側の気筒の数とリーン側の気筒の数とは必ずしも同一でなくてもよい。したがって、例えば、4気筒内燃機関の場合、1つの気筒のみをリッチ側にシフトさせる気筒とし、残りのみ3つの気筒、或いは残り3つのうち2つの気筒をリーン側にシフトさせる気筒としてもよい。

【 0 0 8 3 】

ただし、いずれの場合においても、平均空燃比制御によって平均空燃比がリーン空燃比に制御されているときに、複数の気筒のうち少なくとも一つの気筒では燃焼空燃比がリッチ空燃比になるように気筒間空燃比制御が行われることが必要である。また、平均空燃比制御によって平均空燃比がリッチ空燃比に制御されているときにおいても、複数の気筒のうち少なくとも一つの気筒では燃焼空燃比がリーン空燃比になるように気筒間空燃比制御が行われることが好ましい。また、気筒間空燃比制御では、複数の気筒のうち一部の気筒では平均空燃比よりもリッチになるように且つ複数の気筒のうち残りの気筒では平均空燃比よりもリーンになるように各気筒の燃焼空燃比が制御されるのが好ましい。

20

【 0 0 8 4 】

< 具体的な制御の説明 >

次に、図8及び図9を参照して、上記実施形態における内燃機関の制御装置について具体的に説明する。本実施形態における制御装置は、機能ブロック図である図8に示したように、A1～A8の各機能ブロックを含んで構成されている。以下、図8を参照しながら各機能ブロックについて説明する。これら各機能ブロックA1～A8における操作は、基本的にECU31において実行される。

30

【 0 0 8 5 】

< 燃料噴射量の算出 >

まず、燃料噴射量の算出について説明する。燃料噴射量の算出に当たっては、筒内吸入空気量算出手段A1、基本燃料噴射量算出手段A2、及び燃料噴射量算出手段A3が用いられる。

【 0 0 8 6 】

筒内吸入空気量算出手段A1は、吸入空気流量Gaと、機関回転数NEと、ECU31のROM34に記憶されたマップ又は計算式とに基づいて、各気筒への吸入空気量Mcを算出する。吸入空気流量Gaはエアフロメータ39によって計測され、機関回転数NEはクランク角センサ44の出力に基づいて算出される。

40

【 0 0 8 7 】

基本燃料噴射量算出手段A2は、筒内吸入空気量算出手段A1によって算出された筒内吸入空気量Mcを、気筒毎に目標空燃比AFTで除算することにより、基本燃料噴射量Qbaseを算出する($Q_{base} = M_c / AFT$)。目標空燃比AFTは、後述する目標空燃比設定手段A6によって算出される。

【 0 0 8 8 】

燃料噴射量算出手段A3は、基本燃料噴射量算出手段A2によって算出された基本燃料

50

噴射量 Q_{base} に、後述する F/B 補正量 DF_i を加えることで燃料噴射量 Q_i を算出する ($Q_i = Q_{base} + DF_i$)。このようにして算出された燃料噴射量 Q_i の燃料が燃料噴射弁 11、12 から供給されるように、燃料噴射弁 11、12 に対して噴射指示が行われる。

【0089】

< 目標空燃比の算出 >

次に、目標空燃比の算出について説明する。目標空燃比の算出に当たっては、空燃比補正量算出手段 A5 及び目標空燃比設定手段 A6 が用いられる。

【0090】

空燃比補正量算出手段 A5 では、下流側空燃比センサ 41 の出力空燃比 AF_{down} に基づいて、平均空燃比補正量 AF_{Cav} 及び各気筒の空燃比補正量 AF_C が算出される。具体的には、図 9 に示したフローチャートに基づいて平均空燃比補正量 AF_{Cav} 及び各気筒の空燃比補正量 AF_C が算出される。

10

【0091】

目標空燃比設定手段 A6 は、制御中心空燃比 (本実施形態では理論空燃比) AF_R に、空燃比補正量算出手段 A5 で算出された平均空燃比補正量 AF_{Cav} 及び各気筒の空燃比補正量 AF_C を加算することで、目標平均空燃比 AF_{Tav} 及び各気筒の目標空燃比 AF_T をそれぞれ算出する。このようにして算出された目標空燃比 AF_T は、基本燃料噴射量算出手段 A2 に入力され、目標平均空燃比 AF_{Tav} は後述する空燃比偏差算出手段 A7 に入力される。

20

【0092】

< F/B 補正量の算出 >

次に、上流側空燃比センサ 40 の出力空燃比 AF_{up} に基づいた F/B 補正量の算出について説明する。 F/B 補正量の算出に当たっては、空燃比偏差算出手段 A7、 F/B 補正量算出手段 A8 が用いられる。

【0093】

空燃比偏差算出手段 A7 は、上流側空燃比センサ 40 の出力空燃比 AF_{up} から目標空燃比設定手段 A6 によって算出された目標平均空燃比 AF_{Tav} を減算することによって空燃比偏差 DAF を算出する ($DAF = AF_{up} - AF_{Tav}$)。この空燃比偏差 DAF は、目標平均空燃比 AF_{Tav} に対する燃料供給量の過不足を表す値である。

30

【0094】

F/B 補正量算出手段 A8 は、空燃比偏差算出手段 A7 によって算出された空燃比偏差 DAF を、比例・積分・微分処理 (PID 処理) することで、下記式 (1) に基づいて燃料供給量の過不足を補償するための F/B 補正量 DF_i を算出する。このようにして算出された F/B 補正量 DF_i は、燃料噴射量算出手段 A3 に入力される。

$$DF_i = K_p \cdot DAF + K_i \cdot SDAF + K_d \cdot DDAF \quad \dots (1)$$

【0095】

なお、上記式 (1) において、 K_p は予め設定された比例ゲイン (比例定数)、 K_i は予め設定された積分ゲイン (積分定数)、 K_d は予め設定された微分ゲイン (微分定数) である。また、 $DDAF$ は、空燃比偏差 DAF の時間微分値であり、今回更新された空燃比偏差 DAF と前回更新されていた空燃比偏差 DAF との偏差を更新間隔に対応する時間で除算することで算出される。また、 $SDAF$ は、空燃比偏差 DAF の時間積分値であり、この時間積分値 $DDAF$ は前回更新された時間積分値 $DDAF$ に今回更新された空燃比偏差 DAF を加算することで算出される ($SDAF = DDAF + DAF$)。

40

【0096】

< フローチャート >

図 9 は、本実施形態における空燃比補正量の算出処理の制御ルーチンを示すフローチャートである。図示した制御ルーチンは、一定時間間隔の割り込みによって行われる。

【0097】

まず、ステップ S11 において、平均空燃比制御の実行条件が成立しているか否かが判

50

定される。平均空燃比制御の実行条件が成立する場合としては、例えば、空燃比センサ 40、41 が活性温度以上であること及び図 10 を参照して説明するように上流側排気浄化触媒 20 の温度が一定温度以上であること等が挙げられる。平均空燃比制御の実行条件が成立していないと判定された場合には制御ルーチンが終了せしめられる。一方、平均空燃比制御の実行条件が成立していると判定された場合には、ステップ S 12 へと進む。ステップ S 12 では、リッチフラグ Fr が 1 であるか否かが判定される。リッチフラグ Fr は、平均空燃比制御において平均空燃比がリッチ空燃比に制御されているときに 1 とされ、リーン空燃比に制御されているときに 0 とされるフラグである。

【0098】

平均空燃比制御において、平均空燃比がリッチ空燃比に制御されていると、ステップ S 12 においてリッチフラグ Fr が 1 であると判定され、ステップ S 13 へと進む。ステップ S 13 では、下流側空燃比センサ 41 の出力空燃比 A F d w n がリッチ判定空燃比 A F r i c h 以下であるか否かが判定される。上流側排気浄化触媒 20 から流出する排気ガスの空燃比がほぼ理論空燃比となっていると、ステップ S 13 において下流側空燃比センサ 41 の出力空燃比 A F d w n がリッチ判定空燃比 A F r i c h よりも大きいと判定され、ステップ S 14 へと進む。ステップ S 14 では、平均空燃比補正量 A F C a v がリッチ設定補正量 A F C r i c h に設定される。これにより、平均空燃比がリッチ空燃比に維持される。

【0099】

次いで、ステップ S 21 では、気筒間空燃比制御（ディザ制御）の実行条件が成立しているか否かが判定される。気筒間空燃比制御の実行条件が成立する場合としては、例えば、空燃比センサ 40、41 が活性温度以上であること及び図 10 を参照して説明するように上流側排気浄化触媒 20 の温度が一定範囲内にあること等が挙げられる。気筒間空燃比制御の実行条件が成立していないと判定された場合には、制御ルーチンが終了せしめられる。一方、気筒間空燃比制御の実行条件が成立していると判定された場合には、ステップ S 22 へと進む。ステップ S 22 では、平均空燃比補正量 A F C a v から予め定められた所定の変更量を減算した値がリッチ側の気筒の空燃比補正量 A F C (R) とされる。次いで、ステップ S 23 では、平均空燃比補正量 A F C a v に予め定められた所定の変更量を加算した値がリーン側の気筒の空燃比補正量 A F C (L) とされ、制御ルーチンが終了せしめられる。

【0100】

その後、上流側排気浄化触媒 20 から流出する排気ガスの空燃比がリッチ空燃比になると、次の制御ルーチンでは、ステップ S 13 において、下流側空燃比センサ 41 の出力空燃比 A F d w n がリッチ判定空燃比 A F r i c h 以下であると判定され、ステップ S 15 へと進む。ステップ S 15 では、平均空燃比補正量 A F C a v がリーン設定補正量 A F C l e a n に設定される。次いで、ステップ S 16 では、リッチフラグ Fr が 1 にセットされて、ステップ S 21 へと進む。

【0101】

リッチフラグ Fr が 1 にセットされると、次の制御ルーチンでは、ステップ S 12 からステップ S 17 へと進む。ステップ S 17 では、下流側空燃比センサ 41 の出力空燃比 A F d w n がリーン判定空燃比 A F l e a n 以上であるか否かが判定される。上流側排気浄化触媒 20 から流出する排気ガスの空燃比がほぼ理論空燃比になっていると、ステップ S 17 において下流側空燃比センサ 41 の出力空燃比 A F d w n がリーン判定空燃比 A F l e a n よりも小さいと判定され、ステップ S 18 へと進む。ステップ S 18 では、平均空燃比補正量 A F C a v がリーン設定補正量 A F C l e a n に設定される。これにより、平均空燃比がリーン空燃比に維持され、ステップ S 21 へと進む。

【0102】

その後、上流側排気浄化触媒 20 から流出する排気ガスの空燃比がリーン空燃比になると、次の制御ルーチンでは、ステップ S 17 において下流側空燃比センサ 41 の出力空燃比 A F d w n がリーン判定空燃比 A F l e a n 以上であると判定され、ステップ S 19 へ

10

20

30

40

50

と進む。ステップ S 1 9 では、平均空燃比補正量 AFC_{av} がリッチ設定補正量 AFC_{rich} に設定される。次いで、ステップ S 2 0 では、リッチフラグ Fr が 0 にリセットされて、ステップ S 2 1 へと進む。

【0103】

< 平均空燃比制御及び気筒間空燃比制御の実行時期 >

次に、図 1 0 を参照して、上流側排気浄化触媒 2 0 の温度と平均空燃比制御及び気筒間空燃比制御の実行時期との関係について説明する。図 1 0 は、上流側排気浄化触媒 2 0 の温度、平均空燃比制御の実行の有無、気筒間空燃比制御の実行の有無のタイムチャートである。

【0104】

図 1 0 からわかるように、本実施形態では、上流側排気浄化触媒 2 0 の温度がその活性温度（例えば、浄化率が 5 0 % 程度となる 4 0 0 ） T_{actc} 未満である場合には、上述した気筒間空燃比制御が実行されない。代わりに、この場合には、全ての気筒において燃焼空燃比が等しくなるように各気筒の燃焼空燃比が制御される。加えて、本実施形態では、上流側排気浄化触媒 2 0 がその活性温度 T_{actc} 未満である場合には、平均空燃比制御が実行されない。代わりに、この場合には、全ての気筒の空燃比補正量 AFC はゼロに維持され、よって全ての気筒において燃焼空燃比がほぼ理論空燃比とされる。

【0105】

また、図 1 0 からわかるように、本実施形態では、上流側排気浄化触媒 2 0 の温度が上限温度（例えば、8 0 0 ） T_{limc} よりも高い場合には、気筒間空燃比制御が実行されない。代わりに、この場合には、全ての気筒において燃焼空燃比が等しくなるように各気筒の燃焼空燃比が制御される。このとき、平均空燃比制御の実行は維持されることから、各気筒の燃焼空燃比は目標平均空燃比に一致するように制御される。ただし、本実施形態では、上流側排気浄化触媒 2 0 の温度が上限温度 T_{limc} よりも高い温度から低下していく場合には、上流側排気浄化触媒 2 0 の温度が上限温度 T_{limc} 以下になっても上限温度 T_{limc} よりも低く且つ活性温度 T_{actc} よりも高い切換温度（例えば、7 5 0 ） T_{sw} に到達するまでは、気筒間空燃比制御は実行されない。この場合にも、代わりに、全て気筒において燃焼空燃比が等しくなるように各気筒の燃焼空燃比が制御される。そして、上流側排気浄化触媒 2 0 の温度が切換温度 T_{sw} 以下になったときに、気筒間空燃比制御が実行される。

【0106】

次に、このように温度に応じて平均空燃比制御及び気筒間空燃比制御の実行状態を変更することによる効果について説明する。ここで、上述した平均空燃比制御や気筒間空燃比制御を行うと、上流側排気浄化触媒 2 0 には未燃 HC 、 CO 及び NO_x が流入する。このため、上流側排気浄化触媒 2 0 が活性温度に達していないと、これら未燃 HC 、 CO 及び NO_x が上流側排気浄化触媒 2 0 で浄化されずに流出してしまう可能性がある。本実施形態では、上流側排気浄化触媒 2 0 が活性温度よりも低い場合には、平均空燃比制御及び気筒間空燃比制御を行わないようにしている。このため、上流側排気浄化触媒 2 0 に流入する排気ガス中の未燃 HC 、 CO 濃度が低下し、よって上流側排気浄化触媒 2 0 からの未燃 HC 、 CO 等の流出を抑制することができる。

【0107】

また、上流側排気浄化触媒 2 0 の温度が上限温度よりも高くなると、その温度が高くなるほど上流側排気浄化触媒 2 0 上に担持された貴金属が焼結し、よって触媒活性が低下してしまう。一方、気筒間空燃比制御を実行すると、上流側排気浄化触媒 2 0 には未燃 HC 、 CO 及び酸素が流入するため、上流側排気浄化触媒 2 0 においてこれら未燃 HC 、 CO が燃焼し、上流側排気浄化触媒 2 0 の温度が上昇する。これに対して、本実施形態では、上流側排気浄化触媒 2 0 の温度が上限温度以上になると、気筒間空燃比制御の実行が停止される。これにより、上流側排気浄化触媒 2 0 の温度が上限温度に到達した後も上昇していくことが抑制され、よって上流側排気浄化触媒 2 0 上に担持されている貴金属の焼結を抑制することができる。なお、本実施形態では、「上限温度」は上流側排気浄化触媒 2 0

10

20

30

40

50

の温度上昇により触媒活性が一定以下に低下してしまうような温度を意味する。

【0108】

< 燃料噴射弁の制御 >

上述したように、本実施形態の内燃機関は、筒内燃料噴射弁11とポート燃料噴射弁12との二つの燃料噴射弁を有する。このように構成された内燃機関では、機関運転状態に応じて、燃焼室5に供給される燃料のうち一部の燃料が筒内燃料噴射弁11から供給され、残りの燃料がポート燃料噴射弁12から供給される。筒内燃料噴射弁11からの燃料供給量とポート燃料噴射弁12からの燃料供給量との比率は、機関運転状態に応じて変化する。

【0109】

図11は、気筒間空燃比制御が実行されていないときの各気筒への総燃料供給量に対するポート燃料噴射弁12からの燃料供給量の比率（以下、「PFI比率」という）を表すマップの例を示す図である。図11からわかるように、PFI比率は機関回転数が低いほど且つ機関負荷が低いほど大きくなるように設定される。以下、PFI比率をこのように設定する理由について説明する。

【0110】

筒内燃料噴射弁11から燃料供給をすると、燃焼室5内に供給された混合気は燃焼室5内において気化する。このときの気化熱により燃焼室5内の混合気の温度を低下させることができる。このため、ピストン3が圧縮上死点に到達したときの混合気の温度（圧縮端温度）を低下させることができ、これによりノッキングの発生等を抑制したり熱効率を高めたりすることができる。したがって、ノッキングの発生を抑制するとの観点からは、PFI比率を低く設定することが好ましい。

【0111】

一方、筒内燃料噴射弁11からの燃料供給は圧縮行程中に行われる。このため、筒内燃料噴射弁11からの燃料供給が行われてから点火プラグ10による点火が行われるまでの時間は比較的短い。このため、筒内燃料噴射弁11から燃料供給が行われた場合には、供給された燃料が空気中に分散しにくく、空気と混合しにくい。このため、燃料と空気の混合気は不均質な混合気となり、混合気の燃焼が不安定になり易い。

【0112】

他方、ポート燃料噴射弁12から燃料を供給した場合、ポート燃料噴射弁12からの燃料供給が行われてから点火プラグ10による点火が行われるまでの時間は比較的長い。このため、ポート燃料噴射弁12から燃料供給が行われた場合には、供給された燃料は吸気ポート7内及び燃焼室5内で空気と十分に混合する。このため、燃料と空気の混合気は比較的均質な混合気となり、混合気の燃焼が安定し易い。このため、PFI比率を高くするほど、混合気が均質な混合気となり易く、その燃焼が安定し易い。

【0113】

ところで、機関負荷が高いほど、各気筒の燃焼室5内に供給される吸入空気量が多くなる。吸入空気量が多くなるほど、燃焼室5内に流入する吸気ガスの流速は速くなり、この結果、燃焼室5内の吸気ガスに大きな乱れが生じる。このように吸気ガスに大きな乱れが生じると、燃焼室5内の燃料と空気とが混合し易くなる。したがって、機関負荷が高い場合にはPFI比率を低く設定しても、燃料と空気とは十分に混合して均質な混合気が形成される。したがって、本実施形態では、図11に示したように、機関負荷が高いほど、すなわち燃焼室5内の混合気に生じる乱れが大きくなるほど、PFI比率を低く設定するように、すなわち各気筒への総噴射量に対する筒内燃料噴射弁11からの燃料供給量が多くなるようにしている。これにより、混合気の燃焼を安定させつつノッキングの発生をできる限り抑制することができる。

【0114】

一方、機関回転数が高くなるほど、各気筒の燃焼室5内に供給される空気の流速が速くなり、この結果、燃焼室5内の吸気ガスに大きな乱れが生じ、よって燃焼室5内の燃料と空気とが混合し易くなる。したがって、機関回転数が高い場合にはPFI比率を低く設定

10

20

30

40

50

しても、燃料と空気とは十分に混合して均質な混合気が形成される。したがって、本実施形態では、図 1 1 に示したように、機関回転数が高いほど、すなわち燃焼室 5 内の混合気に生じる乱れが大きくなるほど、PFI 比率を低く設定するように、すなわち各気筒への総噴射量に対する筒内燃料噴射弁 1 1 からの燃料供給量が多くなるようにしている。これにより、混合気の燃焼を安定させつつノッキングの発生をできる限り抑制することができる。

【0115】

また、上述したように、図 1 1 は、気筒間空燃比制御が実行されていないとき、したがって例えば上流側排気浄化触媒 2 0 の温度が上限温度 T_{limc} よりも高いときにおける PFI 比率を示している。図 1 1 からわかるように、機関負荷が高く且つ機関回転数が高い領域では、PFI 比率は 0 ~ 20 % に設定される。したがって、この領域では、燃料のほとんどは筒内燃料噴射弁 1 1 から供給されることになる。また、図 1 1 に示した例では、機関負荷及び機関回転数からなる領域のうち半分以上の領域において、PFI 比率は 50 % 以下となっている。

10

【0116】

なお、図 1 1 に示した PFI 比率のマップは一例であり、気筒間空燃比制御が実行されていないときの PFI 比率は必ずしも図 1 1 に示したように設定されなくてもよい。しかしながら、いずれにせよ、気筒間空燃比制御が実行されていないときの PFI 比率は、機関負荷及び機関回転数からなる領域のうち少なくとも一部の領域において 50 % 以下となる。

20

【0117】

< 上記制御における問題点 >

ところで、図 4 を参照して説明したように、平均空燃比制御では平均空燃比がリッチ空燃比とリーン空燃比とに交互に切り替えられる。加えて、気筒間空燃比制御では、一部の気筒では燃焼空燃比が平均空燃比よりもリーンな空燃比とされる。この結果、この一部の気筒では、燃焼空燃比がリーン度合いの大きいリーン空燃比となる。このように、燃焼空燃比がリーン度合いの大きいリーン空燃比となると、混合気の燃焼が悪化し易くなる。

【0118】

したがって、気筒間空燃比制御が実行されている場合にも、図 1 1 に示したように気筒間空燃比制御が実行されていない場合と同様に PFI 比率を設定すると、燃焼空燃比が平均空燃比よりもリーンに設定されている気筒では燃焼の悪化を招いてしまう。

30

【0119】

< 気筒間空燃比制御実行時における PFI 比率の制御 >

そこで、本実施形態では、気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比が平均空燃比よりもリーンに設定されている気筒（リーン側の気筒）について、ポート燃料噴射弁 1 2 からの燃料供給量が筒内燃料噴射弁 1 1 からの燃料供給量よりも多くなるように供給比率を制御するようにしている。すなわち、気筒間空燃比制御におけるリーン側の気筒について、PFI 比率が 50 % よりも大きくなるように供給比率を制御するようにしている。

【0120】

また、本実施形態では、気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比が平均空燃比よりもリッチに設定されている気筒（リッチ側の気筒）についてポート燃料噴射弁 1 2 からの燃料供給量が筒内燃料噴射弁 1 1 からの燃料供給量よりも少なくなるように供給比率を制御するようにしている。すなわち、気筒間空燃比制御におけるリッチ側の気筒について、PFI 比率が 50 % 未満になるように供給比率を制御するようにしている。

40

【0121】

以上より、本実施形態では、気筒間空燃比制御が行われているときには、リーン側の気筒における PFI 比率がリッチ側の気筒における PFI 比率以上になるように、好ましくはリッチ側の気筒における PFI 比率よりも大きくなるように供給比率を制御しているといえる。

50

【 0 1 2 2 】

図 1 2 は、気筒間空燃比制御が実行されているときのリーン側の気筒における P F I 比率を表すマップの例を示す図である。図 1 2 からわかるように、P F I 比率は機関回転数が低いほど且つ機関負荷が低いほど大きくなるように設定される。P F I 比率がこのように設定される理由は、図 1 1 を参照して説明した理由と同様である。

【 0 1 2 3 】

加えて、図 1 2 に示したように、機関負荷が高く且つ機関回転数が高い領域では、P F I 比率は 5 0 ~ 6 0 % に設定される。加えて、P F I 比率は機関負荷が低いほど且つ機関回転数が低いほど大きくなるように設定されるため、P F I 比率は全域において 5 0 % よりも大きくなるように設定される。特に、図 1 2 に示した例では、機関負荷が低く且つ機関回転数が低い領域では、P F I 比率は 7 0 % よりも大きな値に設定される。

10

【 0 1 2 4 】

このように、本実施形態によれば、リーン側の気筒における P F I 比率が全域において 5 0 % よりも大きくなるように設定される。このため、リーン側の気筒では、燃料供給が主にポート燃料噴射弁 1 2 から行われることになる。したがって、リーン側の気筒において燃焼空燃比がリーン度合いの大きいリーン空燃比になっても、混合気の燃焼悪化を抑制することができる。

【 0 1 2 5 】

図 1 3 は、気筒間空燃比制御が実行されているときのリッチ側の気筒における P F I 比率を表すマップの例を示す図である。図 1 3 に示したマップにおいても、図 1 2 に示したマップと同様に、P F I 比率は機関回転数が低いほど且つ機関負荷が低いほど大きくなるように設定される。

20

【 0 1 2 6 】

加えて、図 1 3 に示したように、機関負荷が低く且つ機関回転数が低い領域では、P F I 比率は 4 0 ~ 5 0 % に設定される。加えて、P F I 比率は機関負荷が高いほど且つ機関回転数が高いほど小さくなるように設定されるため、P F I 比率は全域において 5 0 % 未満になるように設定される。特に、図 1 2 に示した例では、機関負荷が高く且つ機関回転数が高い領域では、P F I 比率は 0 ~ 1 0 % に設定される。

【 0 1 2 7 】

本実施形態では、上述したように、気筒間空燃比制御が実行されているときには、リーン側の気筒においては P F I 比率は常に 5 0 % よりも大きくなるように設定され、リッチ側の気筒においては P F I 比率は常に 5 0 % 未満になるように設定される。この結果、本実施形態では、気筒間空燃比制御が行われているときには、リーン側の気筒における P F I 比率がリッチ側の気筒における P F I 比率よりも大きくなる。

30

【 0 1 2 8 】

このように、本実施形態によれば、リッチ側の気筒における P F I 比率が全域において 5 0 % 未満になるように設定される。このため、リッチ側の気筒では、燃料供給が主に筒内燃料噴射弁 1 1 から行われることになる。ここで、上述したように、リッチ側の気筒では、上述したリーン側の気筒のような燃焼悪化は生じにくい。したがって、燃料供給が主に筒内燃料噴射弁 1 1 から行われてもリッチ側の気筒内で燃焼悪化はそれほど生じない。一方、燃料供給が主に筒内燃料噴射弁 1 1 から行われることにより、リッチ側の気筒では上述したように熱効率を高めることができる。

40

【 0 1 2 9 】

加えて、本実施形態では、気筒間空燃比制御が実行されているときのリッチ側の気筒では、成層燃焼が行われるように筒内燃料噴射弁 1 1 からの燃料供給時期が設定される。したがって、気筒間空燃比制御が実行されているときのリッチ側の気筒では、圧縮行程後期に筒内燃料噴射弁 1 1 から燃料供給が行われる。

【 0 1 3 0 】

図 1 4 は、気筒間空燃比制御が実行されているときのリッチ側の気筒における筒内燃料噴射弁 1 1 からの燃料供給時期を表すマップの例を示す図である。図 1 4 からわかるよう

50

に、筒内燃料噴射弁 1 1 からの燃料供給時期は機関負荷が低いほど且つ機関回転数が低いほど遅角されるように設定される。以下、燃料供給時期を機関負荷及び機関回転数に基づいてこのように設定する理由について説明する。

【 0 1 3 1 】

機関負荷が高くなると、これに伴って筒内燃料噴射弁 1 1 からの燃料噴射量が増大する。筒内燃料噴射弁 1 1 から単位時間当たり供給される燃料量は決まっているため、燃料噴射量を増大させるためには筒内燃料噴射弁 1 1 からの燃料供給時間を増大させる必要がある。このため、機関負荷にかかわらず点火プラグ 1 0 による点火時期までに全ての燃料を供給すべく、本実施形態では、機関負荷が高くなるほど、筒内燃料噴射弁 1 1 からの燃料供給時期が進角される。

10

【 0 1 3 2 】

また、同一の時期（クランク角）において筒内燃料噴射弁 1 1 から燃料供給を行い、同一の時期（クランク角）において点火プラグ 1 0 によって点火を行っても、機関回転数が高くなるほど燃料供給から点火までの時間が短くなる。一方、筒内燃料噴射弁 1 1 から供給された燃料が点火プラグ 1 0 周りに十分拡散するのに必要な時間は機関回転数が変化してもそれほど変わらない。したがって、本実施形態では、機関回転数が高くなるほど、筒内燃料噴射弁 1 1 からの燃料供給時期を進角することによって燃料が成層燃焼を行うのに必要なだけ点火プラグ 1 0 周りに拡散するのに必要な時間を確保するようにしている。

【 0 1 3 3 】

このように、気筒間空燃比制御が実行されているときのリッチ側の気筒では成層燃焼が行われる。このように成層燃焼が行われると、均質燃焼に比べて燃焼室 5 内で未燃 H C や C O が発生し易い。このため、リッチ側の気筒の燃焼室 5 から、より多くの未燃 H C 、 C O を流出させることができる。上述したように、気筒間空燃比制御は、リッチ側の気筒から流出する未燃 H C 、 C O とリーンの側の気筒から流出する酸素とが上流側排気浄化触媒 2 0 における酸素の吸放出を活発にさせることを目的としている。したがって、リッチ側の気筒において成層燃焼を行うことでリッチ側の気筒から流出する未燃 H C 、 C O の流出量を増大させることができ、この結果、上流側排気浄化触媒 2 0 における酸素の吸放出を活発にさせることができる。これにより、最大吸蔵可能酸素量 C m a x の低下を抑制することができる。

20

【 0 1 3 4 】

< タイムチャートを用いた説明 >

図 1 5 は、気筒間空燃比制御が開始されるとき、気筒間空燃比制御の実行の有無、平均空燃比補正量 A F C a v 、機関回転数 N E 、機関負荷 L 、リーンの側の気筒の P F I 比率、リッチ側の気筒の P F I 比率、リッチ側の気筒の燃料噴射時期のタイムチャートである。

30

【 0 1 3 5 】

図 1 5 に示した例では、時刻 t_1 以前の状態では、気筒間空燃比制御が実行されておらず、加えて平均空燃比制御も実行されていない。したがって、このときには、全ての気筒において P F I 比率は同一の比率とされている。また、このときの P F I 比率は、図 1 1 に示したようなマップに基づいて設定される。図 1 5 に示した例では、時刻 t_1 以前において、機関回転数 N E 及び機関負荷 L は徐々に増大しており、これに伴って P F I 比率は徐々に減少せしめられる。

40

【 0 1 3 6 】

その後、図 1 5 に示した例では、時刻 t_1 において、平均空燃比制御及び気筒間空燃比制御が開始せしめられる。時刻 t_1 において気筒間空燃比制御が開始せしめられると、リーンの側の気筒における P F I 比率は、図 1 2 に示したようなマップに基づいて設定される。このため、時刻 t_1 において、リーンの側の気筒における P F I 比率は時刻 t_1 以前の P F I 比率に比べて急激に増大せしめられる。一方、時刻 t_1 において気筒間空燃比制御が開始せしめられると、リッチ側の気筒における P F I 比率は、図 1 3 に示したようなマップに基づいて設定される。このため、時刻 t_1 において、リッチ側の気筒における P F I 比

50

率は僅かに減少せしめられる。加えて、リッチ側の気筒において成層燃焼を行うため、時刻 t_1 において、リッチ側の気筒における燃料供給時期が遅角せしめられる。

【0137】

図15に示した例では、時刻 t_1 以降も、機関回転数 NE 及び機関負荷 L は徐々に増大している。このため、これに伴って、リッチ側の気筒における $PF I$ 比率及びリーン側の気筒における $PF I$ 比率はいずれも徐々に減少せしめられる。加えて、時刻 t_1 以降、リッチ側の気筒における燃料供給時期は徐々に進角せしめられる。なお、図15に示した例では、時刻 t_1 、 t_3 、 t_5 において平均空燃比補正量 $AF C a v$ がリッチ設定補正量 $AF C r i c h$ に切り替えられ、時刻 t_2 、 t_4 において平均空燃比補正量 $AF C a v$ がリーン設定補正量 $AF C l e a n$ に切り替えられている。

10

【0138】

また、図15に示した例では、時刻 t_4 以降、機関回転数 NE 及び機関負荷 L が一定のまま維持される。このため、時刻 t_4 以降、リッチ側の気筒における $PF I$ 比率及びリーン側の気筒における $PF I$ 比率はいずれも一定のまま維持される。同様に、時刻 t_4 以降、リッチ側の気筒における燃料供給時期は一定のまま維持される。

【0139】

< $PF I$ 比率設定処理のフローチャート >

図16は、各気筒における $PF I$ 比率設定処理の制御ルーチンを示すフローチャートである。図示した制御ルーチンは一定時間間隔の割り込みによって行われる。

【0140】

まず、ステップ $S 3 1$ において、図9のステップ $S 2 1$ と同様に、気筒間空燃比制御（ディザ制御）の実行条件が成立しているか否かが判定される。気筒間空燃比制御の実行条件が成立していないと判定されたとき、すなわち気筒間空燃比制御が実行されていないときにはステップ $S 3 2$ へと進む。ステップ $S 3 2$ では、負荷センサ43によって検出された機関負荷 L 及びクランク角センサ44によって検出された機関回転数に基づいて、図11に示したようなマップを用いて全ての気筒の $PF I$ 比率が算出せしめられ、制御ルーチンが終了せしめられる。

20

【0141】

一方、ステップ $S 3 1$ において、気筒間空燃比制御の実行条件が成立していると判定されたとき、すなわち気筒間空燃比制御が実行されているときには、ステップ $S 3 3$ へと進む。ステップ $S 3 3$ では、負荷センサ43やクランク角センサ44によって検出された機関負荷及び機関回転数に基づいて、図12に示したようなマップを用いてリーン側の気筒における $PF I$ 比率が算出せしめられる。次いで、ステップ $S 3 4$ では、検出された機関負荷及び機関回転数に基づいて、図13に示したようなマップを用いてリッチ側の気筒における $PF I$ 比率が算出せしめられ、制御ルーチンが終了せしめられる。

30

【0142】

< 第二実施形態 >

次に、図17及び図18を参照して、本発明の第二実施形態に係る内燃機関について説明する。第二実施形態に係る内燃機関における構成及び制御は、以下に説明する点を除いて、第一実施形態に係る内燃機関における構成及び制御と同様である。

40

【0143】

本実施形態では、気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比がリーン空燃比とされている気筒（リーン側の気筒）について、筒内燃料噴射弁11から燃料を供給せず、ポート燃料噴射弁12のみから燃料を供給するように供給比率を制御するようにしている。加えて、本実施形態では、気筒間空燃比制御が行われているときには、燃焼空燃比がリッチ空燃比とされている気筒（リッチ側の気筒）についても、筒内燃料噴射弁11から燃料を供給せず、ポート燃料噴射弁12のみから燃料を供給するように供給比率を制御するようにしている。

【0144】

図17は、気筒間空燃比制御が開始されるとき、平均空燃比補正量 $AF C a v$ 等の、

50

図 1 5 と同様なタイムチャートである。図 1 7 に示した例でも、図 1 5 に示した例と同様に、時刻 t_1 以前の状態では、気筒間空燃比制御が実行されておらず、加えて平均空燃比制御も実行されていない。また、このときの P F I 比率は、図 1 1 に示したようなマップに基づいて設定される。図 1 7 に示した例では、機関回転数 NE 及び機関負荷 L は徐々に増大しており、これに伴って P F I 比率は徐々に減少せしめられる。

【 0 1 4 5 】

その後、時刻 t_1 において、平均空燃比制御及び気筒間空燃比制御が開始せしめられる。時刻 t_1 において気筒間空燃比制御が開始せしめられると、リーン側の気筒及びリッチ側の気筒における P F I 比率は 1 0 0 % に設定される。したがって、時刻 t_1 以降は、機関回転数 NE 及び機関負荷 L に関わらず、ポート燃料噴射弁 1 2 のみから燃料が供給される。

10

【 0 1 4 6 】

本実施形態によれば、このように気筒間空燃比制御の実行中に、ポート燃料噴射弁 1 2 のみから燃料が供給されることにより、特にリーン側の気筒において燃焼の悪化を最大限に抑制することができる。

【 0 1 4 7 】

図 1 8 は、第二実施形態における各気筒における P F I 比率設定処理の制御ルーチンを示すフローチャートである。図示した制御ルーチンは一定時間間隔の割り込みによって行われる。

【 0 1 4 8 】

まず、ステップ $S 4 1$ において、図 9 のステップ $S 2 1$ と同様に、気筒間空燃比制御（ディザ制御）の実行条件が成立しているか否かが判定される。気筒間空燃比制御の実行条件が成立していないと判定されたときにはステップ $S 4 2$ へと進む。ステップ $S 4 2$ では、検出された機関負荷 L 及び機関回転数 NE に基づいて、図 1 1 に示したようなマップを用いて全ての気筒の P F I 比率が算出せしめられ、制御ルーチンが終了せしめられる。一方、ステップ $S 4 1$ において、気筒間空燃比制御の実行条件が成立していると判定されたときには、ステップ $S 4 3$ へと進む。ステップ $S 4 3$ では、全ての気筒の P F I 比率が 1 0 0 % に設定せしめられ、制御ルーチンが終了せしめられる。

20

【 0 1 4 9 】

< その他の実施形態 >

なお、上記第一実施形態では、気筒間空燃比制御の実行中に、リーン側の気筒において P F I 比率を 5 0 % よりも大きな値に設定し、リッチ側の気筒において P F I 比率を 5 0 % 未満に設定するようにしている。また、第二実施形態では、気筒間空燃比制御の実行中に、リーン側の気筒及びリッチ側の気筒の全ての気筒において P F I 比率を 1 0 0 % としている。しかしながら、P F I 比率の設定態様はこれら実施形態に限定されるものではない。

30

【 0 1 5 0 】

特に、気筒間空燃比制御の実行中に、リーン側の気筒において P F I 比率が 5 0 % よりも大きい値に設定されていれば、リーン側の気筒及びリッチ側の気筒における P F I 比率は如何なる比率に設定されてもよい。したがって、リーン側の気筒において P F I 比率を 5 0 % よりも大きい値に設定すると共に、リッチ側の気筒において P F I 比率を 0 %、5 0 % 以上、1 0 0 %、0 ~ 1 0 0 % のいずれかの値又は範囲に設定するようにしてもよい。加えて、リーン気筒において P F I 比率を 1 0 0 % に設定するとともに、リッチ側の気筒において P F I 比率を 0 %、5 0 % 未満、5 0 % 以上、0 ~ 1 0 0 % のいずれかの値又は範囲に設定するようにしてもよい。

40

【 0 1 5 1 】

ただし、この場合、気筒間空燃比制御が行われているときには、リーン側の気筒における P F I 比率がリッチ側の気筒における P F I 比率以上になるように、又はリッチ側の気筒における P F I 比率よりも大きい値になることが好ましい。これにより、リーン側の気筒における燃焼悪化を抑制することができる。

50

【 0 1 5 2 】

< 平均空燃比制御の別の態様 >

次に、図 20 ~ 図 22 を参照して、平均空燃比制御の別の態様について説明する。本実施形態の平均空燃比制御では、まず、目標平均空燃比をリッチ設定空燃比に設定している状態で、下流側空燃比センサ 41 の出力空燃比がリッチ空燃比になったと判断されると、目標平均空燃比がリーン設定空燃比に切り替えられる。これにより、平均空燃比がリーン空燃比に変化する。

【 0 1 5 3 】

目標平均空燃比がリーン設定空燃比に切り替えられると、上流側排気浄化触媒 20 に流入する排気ガスの酸素過不足量が積算される。酸素過不足量は、上流側排気浄化触媒 20 に流入する排気ガスの空燃比を理論空燃比にしようとしたときに過剰となる酸素の量又は不足する酸素の量（過剰な未燃 HC、CO 等の量）を意味する。特に、目標平均空燃比がリーン設定空燃比となっているときには上流側排気浄化触媒 20 に流入する排気ガス中の酸素は過剰となり、この過剰な酸素は上流側排気浄化触媒 20 に吸蔵される。したがって、酸素過不足量の積算値（以下、「積算酸素過不足量」という）は、上流側排気浄化触媒 20 の酸素吸蔵量 OSA を表しているといえる。

【 0 1 5 4 】

なお、酸素過不足量の算出は、上流側空燃比センサ 40 の出力空燃比、及び上流側排気浄化触媒 20 を流通する排気ガスの流量又は燃料噴射弁 11、12 からの燃料供給量等に基づいて行われる。具体的には、上流側排気浄化触媒 20 に流入する排気ガスにおける酸素過不足量 OED は、例えば、下記式（2）により算出される。

$$OED = 0.23 \times Qi \times (AFUp - AFR) \quad \dots (2)$$

ここで、0.23 は空気中の酸素濃度、Qi は燃料噴射量、AFUp は上流側空燃比センサ 40 の出力空燃比、AFR は制御中心となる空燃比（本実施形態では、理論空燃比）をそれぞれ表している。

【 0 1 5 5 】

このようにして算出された酸素過不足量を積算した積算酸素過不足量が、予め定められた切替基準値（予め定められた切替基準吸蔵量 Creff に相当）以上になると、それまでリーン設定空燃比に設定されていた目標平均空燃比が、リッチ設定空燃比に切り替えられる。すなわち、平均空燃比をリーン空燃比に制御し始めてからの上流側排気浄化触媒 20 の酸素吸蔵量 OSA が予め定められた切替基準吸蔵量 Creff に達した時に平均空燃比がリッチ空燃比に切り替えられる。

【 0 1 5 6 】

その後、下流側空燃比センサ 41 の出力空燃比が再びリッチ判定空燃比以下となったときに、目標平均空燃比が再びリーン設定空燃比とされ、その後、同様な操作が繰り返される。このように本実施形態においても、上流側排気浄化触媒 20 に流入する排気ガスの目標平均空燃比がリーン設定空燃比とリッチ設定空燃比とに交互に設定される。

【 0 1 5 7 】

図 19 を参照して、本実施形態の平均空燃比制御について具体的に説明する。図 19 は、平均空燃比補正量 AFCav 等の、図 4 と同様なタイムチャートである。図 19 に示した例では、時刻 t1 ~ t2 において、平均空燃比補正量 AFCav がリッチ設定補正量 AFCrich に設定されている。すなわち、目標平均空燃比はリッチ空燃比とされており、これに伴って上流側空燃比センサ 40 の出力空燃比 AFUp がリッチ空燃比となっている。上流側排気浄化触媒 20 に流入する排気ガス中に含まれている未燃 HC、CO は、上流側排気浄化触媒 20 で浄化され、これに伴って上流側排気浄化触媒 20 の酸素吸蔵量 OSA が徐々に減少していく。一方、上流側排気浄化触媒 20 における未燃 HC、CO の浄化により、下流側空燃比センサ 41 の出力空燃比 AFdown はほぼ理論空燃比となる。

【 0 1 5 8 】

その後、上流側排気浄化触媒 20 の酸素吸蔵量 OSA が減少してゼロに近づくと、上流側排気浄化触媒 20 に流入した未燃 HC、CO の一部が上流側排気浄化触媒 20 から流出

し始める。このため、図示した例では、時刻 t_2 において、下流側空燃比センサ 41 の出力空燃比 $A F d w n$ がリッチ判定空燃比 $A F r i c h$ に到達する。

【0159】

本実施形態では、下流側空燃比センサ 41 の出力空燃比 $A F d w n$ がリッチ判定空燃比 $A F r i c h$ 以下になると、酸素吸蔵量 $O S A$ を増大させるべく、平均空燃比補正量 $A F C a v$ がリーン設定補正量 $A F C l e a n$ に切り替えられる。したがって、目標平均空燃比がリーン空燃比へと切り替えられる。このとき、積算酸素過不足量 $O E D$ はゼロにリセットされる。

【0160】

時刻 t_2 において、平均空燃比補正量 $A F C a v$ をリーン設定補正量 $A F C l e a n$ に切り替えると、上流側排気浄化触媒 20 に流入する排気ガスの空燃比はリッチ空燃比からリーン空燃比に変化する。また、これに伴って、上流側空燃比センサ 40 の出力空燃比 $A F u p$ がリーン空燃比となる。加えて、時刻 t_2 以降、上流側排気浄化触媒 20 の酸素吸蔵量 $O S A$ は徐々に増大し、また積算酸素過不足量 $O E D$ も徐々に増大する。また、下流側空燃比センサ 41 の出力空燃比 $A F d w n$ が理論空燃比に収束する。

10

【0161】

その後、上流側排気浄化触媒 20 の酸素吸蔵量 $O S A$ が増加すると、時刻 t_3 において、上流側排気浄化触媒 20 の酸素吸蔵量 $O S A$ が切替基準吸蔵量 $C r e f$ に到達する。このとき、積算酸素過不足量 $O E D$ は、切替基準吸蔵量 $C r e f$ に相当する切替基準値 $O E D r e f$ に到達する。本実施形態では、積算酸素過不足量 $O E D$ が切替基準値 $O E D r e f$ 以上になると、上流側排気浄化触媒 20 への酸素の吸蔵を中止すべく、平均空燃比補正量 $A F C a v$ がリッチ設定補正量 $A F C r i c h$ に切り替えられる。したがって、目標平均空燃比はリッチ空燃比とされる。また、このとき、積算酸素過不足量 $O E D$ がゼロにリセットされる。その後、平均空燃比制御では、時刻 $t_1 \sim t_3$ の制御が繰り返される。

20

【0162】

なお、切替基準吸蔵量 $C r e f$ は上流側排気浄化触媒 20 が未使用であるときの最大吸蔵可能酸素量 $C m a x$ よりも十分に低く設定される。このため、実際の排気ガスの空燃比が意図せずに目標平均空燃比から瞬間的に大きくずれたりしたときであっても、酸素吸蔵量 $O S A$ は最大吸蔵可能酸素量 $C m a x$ には到達しない。逆に言うと、切替基準吸蔵量 $C r e f$ は、上述したような意図しない空燃比のずれが生じてても、酸素吸蔵量 $O S A$ が最大吸蔵可能酸素量 $C m a x$ には到達しないように十分少ない量とされる。例えば、切替基準吸蔵量 $C r e f$ は、上流側排気浄化触媒 20 が未使用であるときの最大吸蔵可能酸素量 $C m a x$ の $3/4$ 以下、好ましくは $1/2$ 以下、より好ましくは $1/5$ 以下とされる。

30

【0163】

本実施形態によれば、上流側排気浄化触媒 20 から酸素や $N O x$ が流出する前に目標平均空燃比がリーン空燃比からリッチ空燃比に切り替えられることになる。このため、上流側排気浄化触媒 20 からの $N O x$ 排出量を常に抑制することができる。すなわち、上述した制御を行っている限り、基本的には上流側排気浄化触媒 20 からの $N O x$ 排出量をほぼゼロとすることができる。また、積算酸素過不足量 $O E D$ を算出する際の積算期間が短い

40

【0164】

なお、本実施形態では、平均空燃比補正量 $A F C a v$ がリッチ設定補正量 $A F C r i c h$ に設定されている期間（例えば、時刻 $t_1 \sim t_2$ ）においても、リーン設定補正量 $A F C l e a n$ に設定されている期間（例えば、時刻 $t_2 \sim t_3$ ）においても、気筒間空燃比制御が実行される。特に、図 19 に示した例では、リッチ側の気筒では空燃比補正量 $A F C$ が平均空燃比補正量 $A F C a v$ から変更量を減算した値に設定される。一方、リーン側の気筒では、空燃比補正量 $A F C$ が平均空燃比補正量 $A F C a v$ に変更量を加算した値に設定される。ただし、上述した第一実施形態の変更例と同様に、平均空燃比補正量 $A F C$

50

a v がリッチ設定補正量に設定されている期間中は気筒間空燃比制御を実行しないようにしてもよい。

【0165】

<具体的な制御の説明及びフローチャート>

次に、図20を参照して、上記実施形態における排気浄化装置の制御装置について具体的に説明する。図20は、図8と同様な機能ブロック図であり、図8に示した機能ブロック図に対して酸素過不足量算出手段A4が加えられている。

【0166】

酸素過不足量算出手段A4は、燃料噴射量算出手段A3によって算出された燃料噴射量 Q_i 及び上流側空燃比センサ40の出力空燃比 A_{Fup} に基づいて積算酸素過不足量OEDを算出する。酸素過不足量算出手段A4は、例えば、上記式(2)により上流側空燃比センサ40の出力空燃比と制御中心空燃比との差分に燃料噴射量 Q_i を乗算すると共に、求めた値を積算することによって積算酸素過不足量OEDを算出する。また、本実施形態においては、空燃比補正量算出手段A5では、下流側空燃比センサ41の出力空燃比 A_{Fdown} に加えて、酸素過不足量算出手段A4によって算出された積算酸素過不足量OEDに基づいて、平均空燃比補正量 $A_{Fca v}$ 及び各気筒の空燃比補正量AFCが算出される。

10

【0167】

図21は、第二実施形態における空燃比補正量の算出処理の制御ルーチンを示すフローチャートである。図示した制御ルーチンは一定時間間隔の割り込みによって行われる。図21のステップS61～S66及びステップS68～S73は、図9のステップS11～S16及びステップS18～S23と同様であるため説明を省略する。

20

【0168】

図21に示した制御ルーチンでは、ステップS62においてリッチフラグFrが1でないと判定された場合には、ステップS67へと進む。ステップS67では、平均空燃比補正量 $A_{Fca v}$ が切り替えられてからの積算酸素過不足量OEDが切替基準値 OED_{ref} 以上であるか否かが判定される。積算酸素過不足量OEDが切替基準値 OED_{ref} よりも少ない場合にはステップS68へと進む。一方、積算酸素過不足量OEDが切替基準値 OED_{ref} 以上であると判定された場合には、ステップS69へと進む。

30

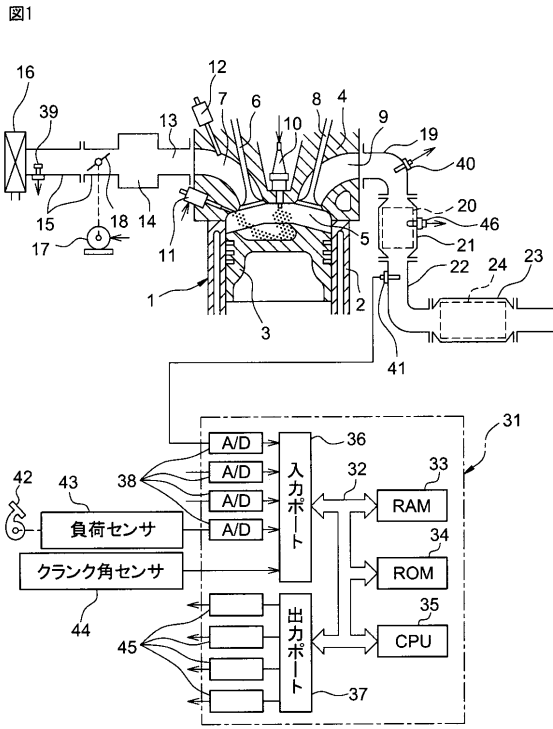
【符号の説明】

【0169】

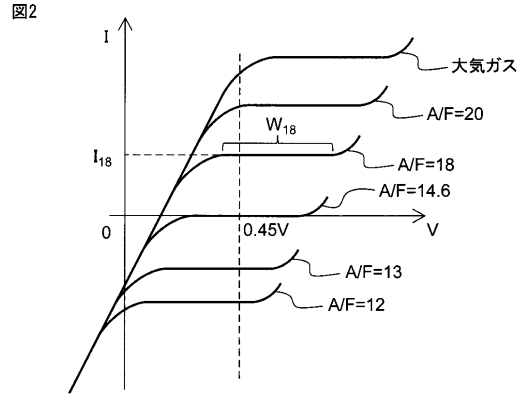
- 1 機関本体
- 5 燃焼室
- 7 吸気ポート
- 9 排気ポート
- 19 排気マニホールド
- 20 上流側排気浄化触媒
- 24 下流側排気浄化触媒
- 31 ECU
- 40 上流側空燃比センサ
- 41 下流側空燃比センサ
- 46 温度センサ

40

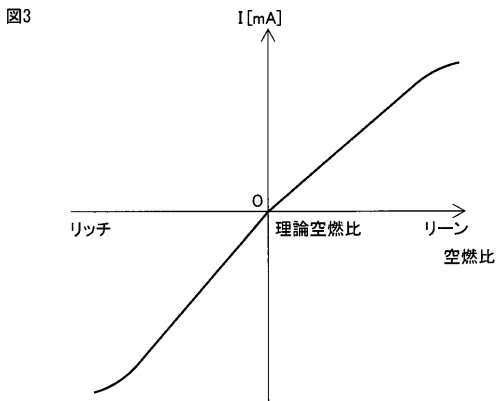
【 図 1 】



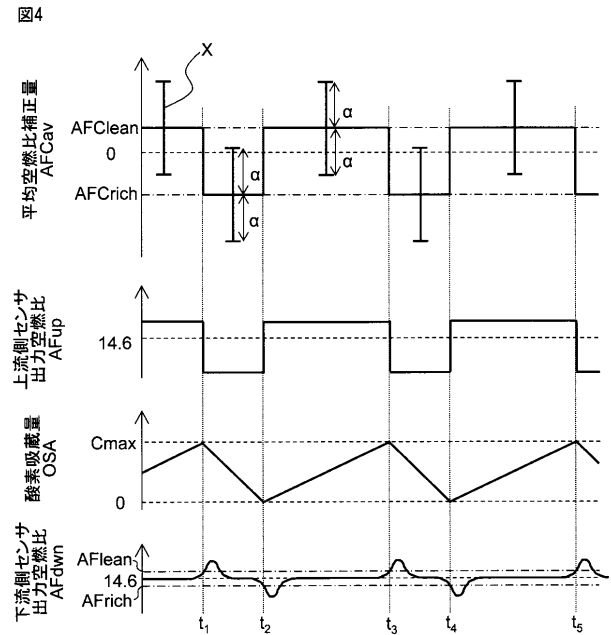
【 図 2 】



【 図 3 】

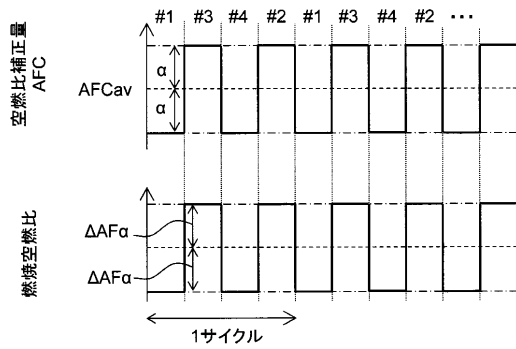


【 図 4 】



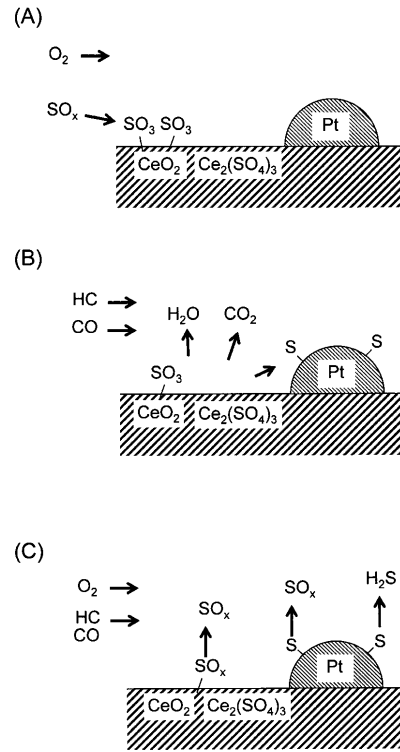
【 図 5 】

図5



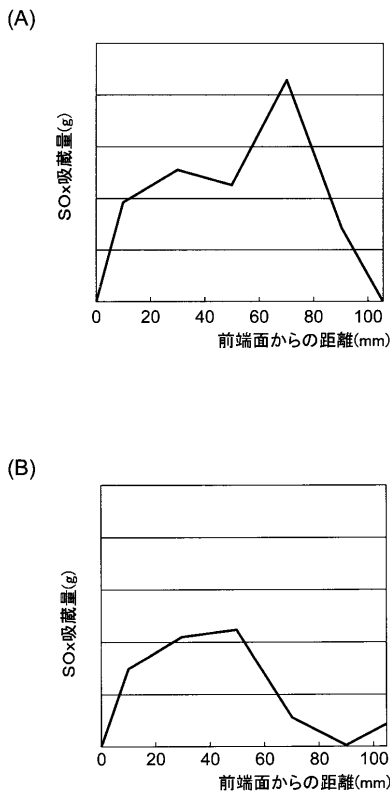
【 図 6 】

図6



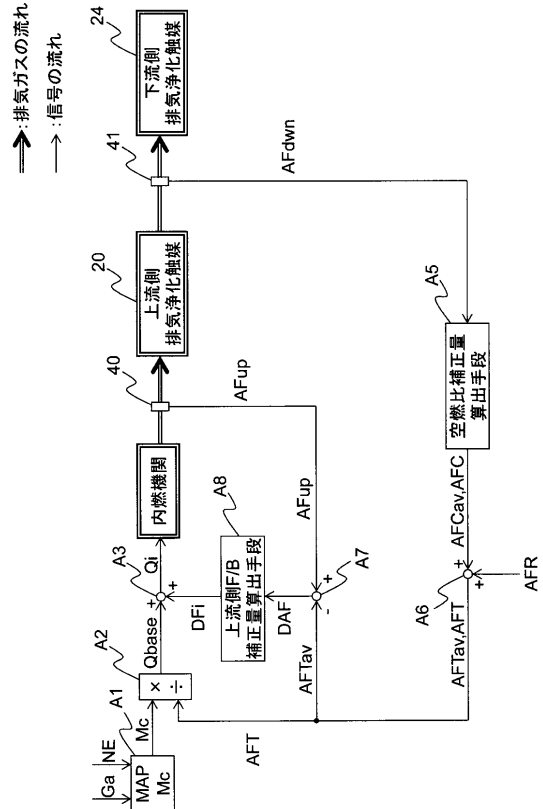
【 図 7 】

図7



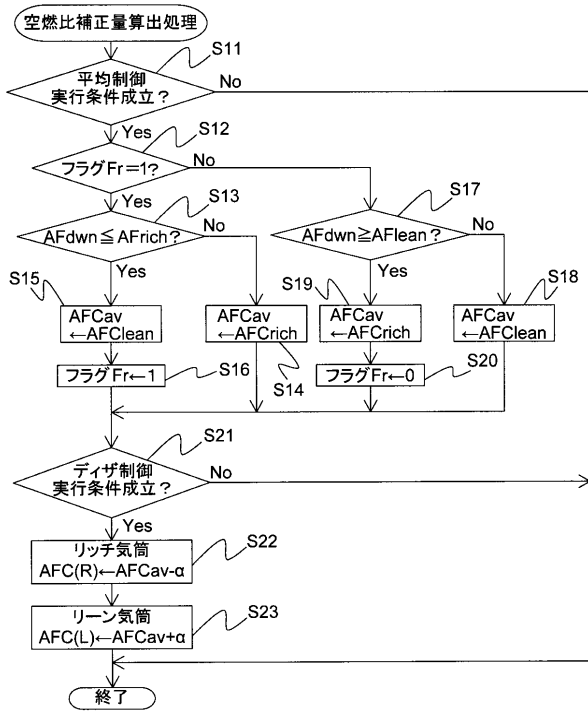
【 図 8 】

図8



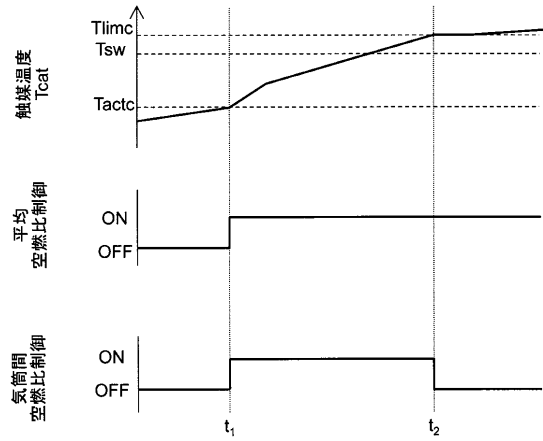
【 図 9 】

図9



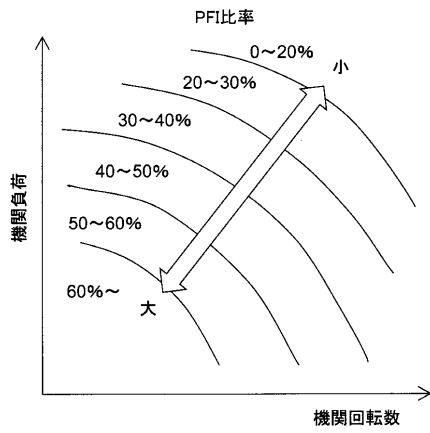
【 図 1 0 】

図10



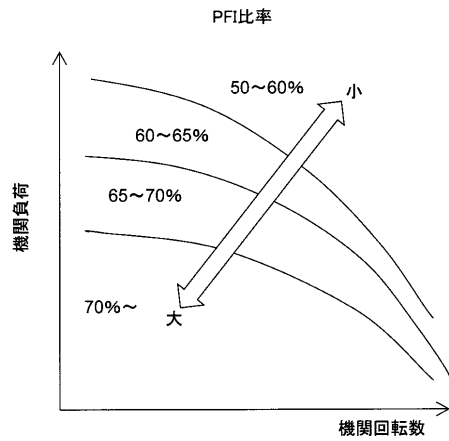
【 図 1 1 】

図11



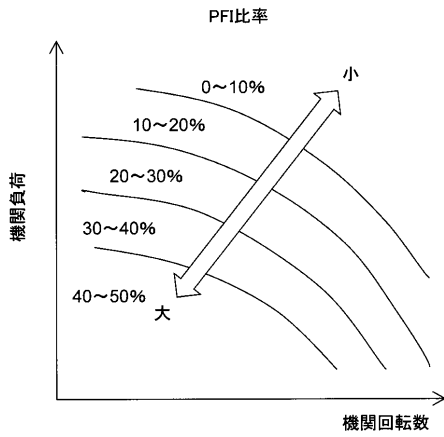
【 図 1 2 】

図12



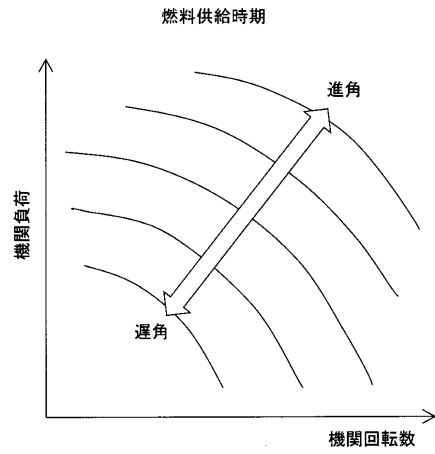
【 図 1 3 】

図13



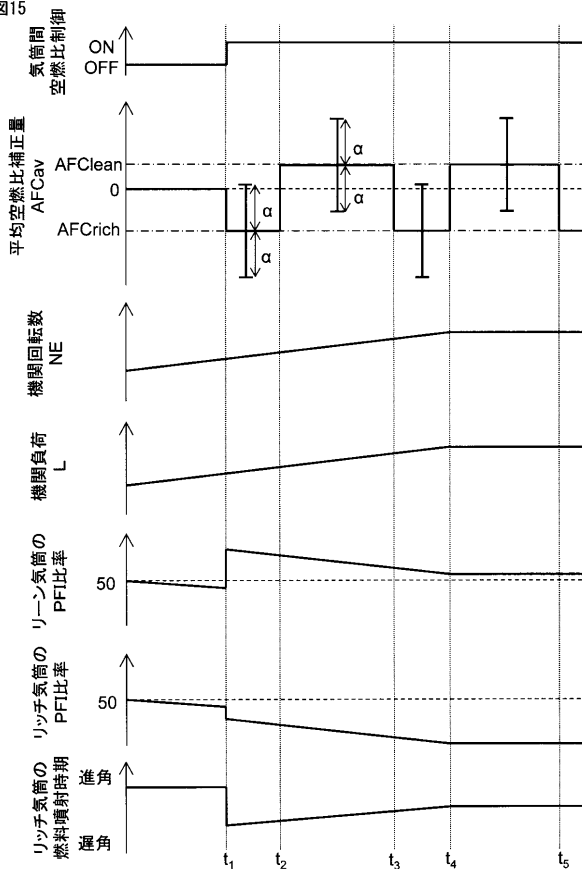
【 図 1 4 】

図14



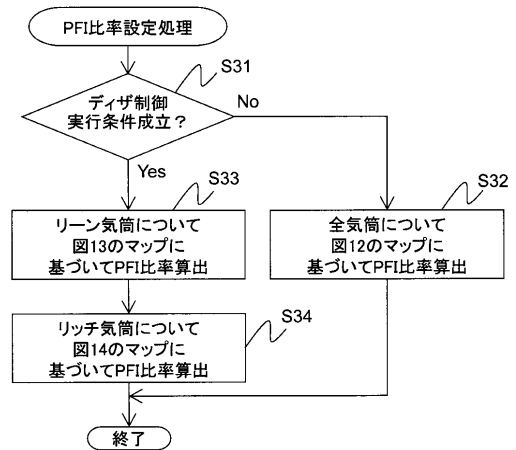
【 図 1 5 】

図15

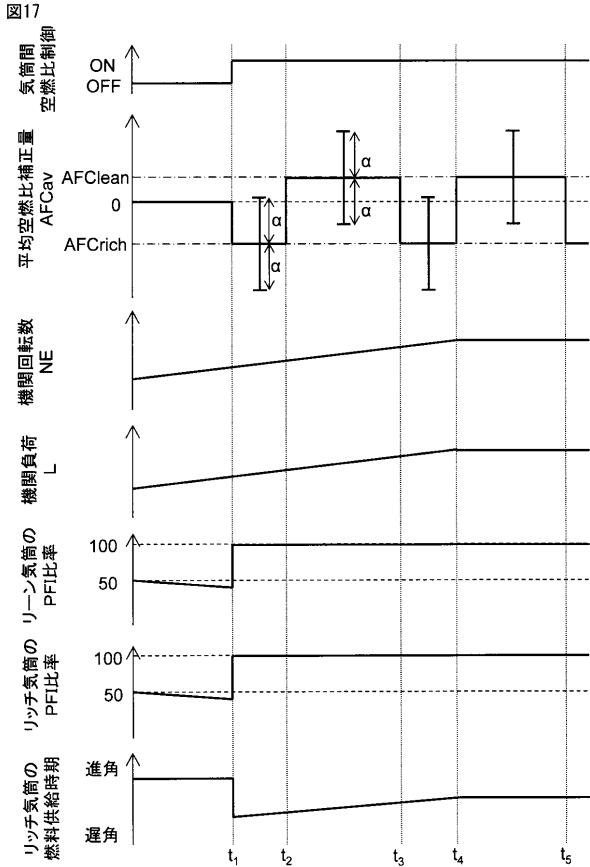


【 図 1 6 】

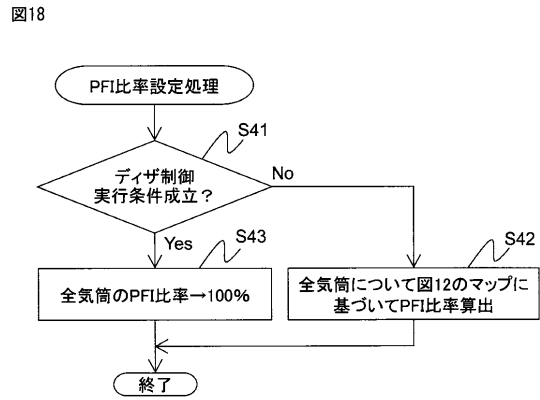
図16



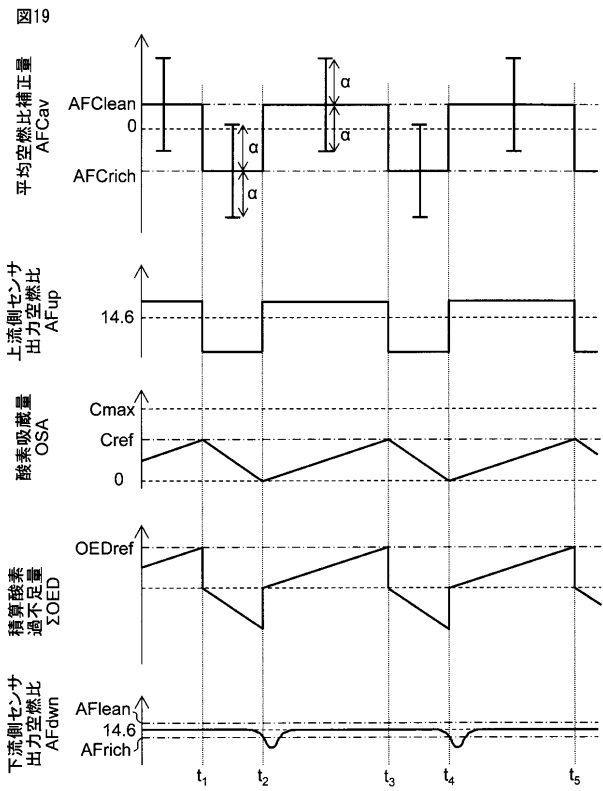
【 図 17 】



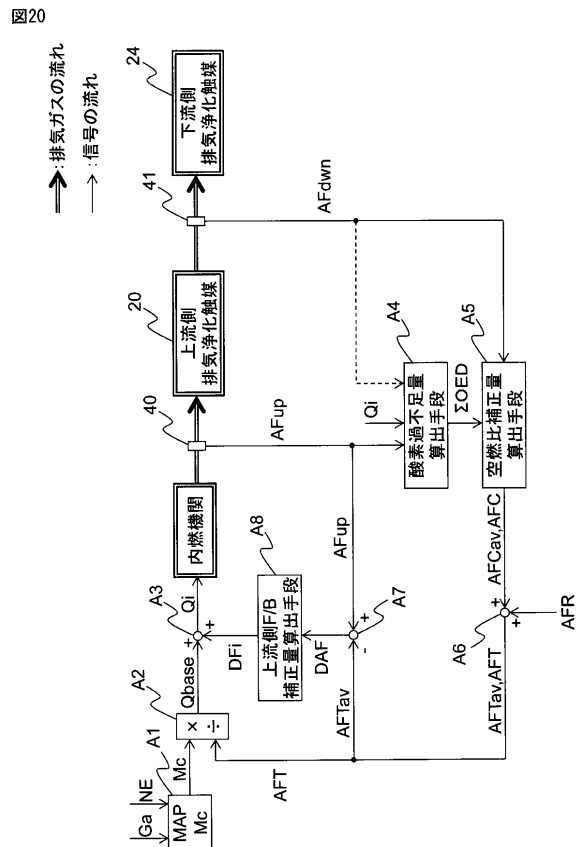
【 図 18 】



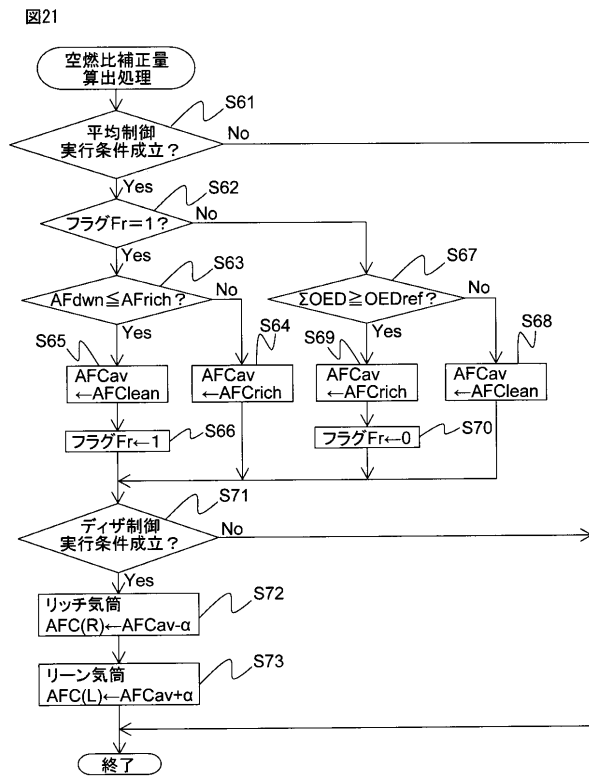
【 図 19 】



【 図 20 】



【 図 2 1 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード(参考)
F 0 2 D 45/00	(2006.01)	F 0 2 D	41/04	3 3 0 P
		F 0 1 N	3/24	R
		F 0 2 D	45/00	3 0 1 K
		F 0 2 D	45/00	3 0 1 C

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

(72)発明者 鈴木 一也
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(72)発明者 三好 悠司
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(72)発明者 星 幸一
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

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

Fターム(参考) 3G091 AA13 AA17 AA28 BA11 CB01 CB02 CB03 DA01 DA02 DB10
EA01 EA02 EA08 EA09 EA36 FA07 FA11 GB06W
3G301 HA01 HA06 HA18 JA21 KA06 KA23 LB01 LB04 MA01 MA11
MA18 NA01 NC02 NE01 NE02 PD12Z PE05Z
3G384 AA01 AA11 BA09 BA13 BA31 CA04 CA16 DA14 EB01 EB02
EB08 FA14Z FA56Z FA62Z