(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 8 月 7 日(07.08.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/118891 A1

(51) 国際特許分類:
F02D 41/14 (2006.01) *G01N 27/00* (2006.01)
F02D 45/00 (2006.01) *G01N 27/02* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2013/051910

(22) 国際出願日: 2013 年 1 月 29 日(29.01.2013)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): トヨタ自動車株式会社 (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町１番地 Aichi (JP).

(72) 発明者; および

(71) 出願人 (米国についてのみ): 佐々木 敬規(SASAKI, Takanori) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町１番地 トヨタ自動車株式会社内 Aichi (JP). 林下 剛(HAYASHITA, Go) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町１番地 トヨタ自動車株式会社内 Aichi (JP). 三好 悠司(MIYOSHI, Yuji) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町１番地 トヨタ自動車株式会社内 Aichi (JP).

(74) 代理人: 青木 篤, 外(AOKI, Atsushi et al.); 〒1058423 東京都港区虎ノ門三丁目５番１号 虎ノ門３７森ビル青和特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

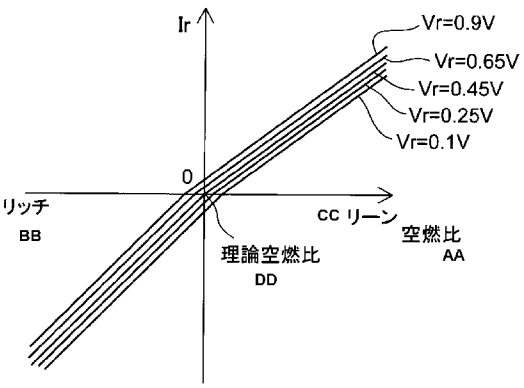
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

[続葉有]

(54) **Title**: CONTROL DEVICE FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) 発明の名称 : 内燃機関の制御装置

図9



AA Air-fuel ratio
BB Rich
CC Lean
DD Theoretical air-fuel ratio

(57) **Abstract**: A control device for an internal combustion engine, equipped with: an exhaust purification catalyst (20) provided in the exhaust passage of the internal combustion engine and capable of absorbing oxygen; a downstream air-fuel ratio sensor (41) provided downstream from the exhaust purification catalyst in the direction of the exhaust flow; and an engine control device that controls the internal combustion engine in response to the output from the downstream air-fuel ratio sensor. The downstream air-fuel ratio sensor is configured such that the applied voltage for which the output current is zero changes in response to the exhaust air-fuel ratio, and such that when the exhaust air-fuel ratio equals the theoretical air-fuel ratio and the applied voltage in the downstream air-fuel ratio sensor is increased, the output current increases in conjunction therewith. When the air-fuel ratio of the exhaust gas is detected by the downstream air-fuel ratio sensor, the applied voltage in the downstream air-fuel ratio sensor is fixed at a constant voltage, with this constant voltage being a voltage for which the output current is zero when the exhaust air-fuel ratio is a predetermined air-fuel ratio that is leaner than the theoretical air-fuel ratio.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/118891 A1

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

内燃機関の制御装置は、内燃機関の排気通路に設けられた酸素を吸蔵可能な排気浄化触媒２０と、排気浄化触媒よりも排気流れ方向下流側に設けられた下流側空燃比センサ４１と、下流側空燃比センサの出力に応じて内燃機関を制御する機関制御装置とを具備する。下流側空燃比センサは、排気空燃比に応じて出力電流が零となる印加電圧が変化すると共に、排気空燃比が理論空燃比であるときに下流側空燃比センサにおける印加電圧を増大させるとこれに伴って出力電流が増大するように構成されている。下流側空燃比センサによって排気ガスの空燃比を検出するときには、下流側空燃比センサにおける印加電圧は一定電圧に固定され、該一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比よりもリーンである予め定められた空燃比であるときに出力電流が零となる電圧である。

明　細　書

発明の名称 ： 内燃機関の制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、空燃比センサの出力に応じて内燃機関を制御する内燃機関の制御装置に関する。

背景技術

[0002] 従来から、内燃機関の排気通路に空燃比センサを設け、この空燃比センサの出力に基づいて内燃機関に供給する燃料量を制御する内燃機関の制御装置が広く知られている（例えば、特許文献１～４を参照）。

[0003] 例えば、特許文献１に記載の制御装置では、空燃比センサとして排気通路内を流れる排気ガスに曝された第一電極と、大気に曝された第二電極と、第一電極と第二電極との間に配置されたジルコニア等の固体電解質層とを備えたセンサが用いられる。この空燃比センサによって排気ガスの空燃比（以下、「排気空燃比」ともいう）を検出するときには、これら電極間に０．４Ｖの電圧が印加されると共に、これら電極間に流れる電流が出力電流として検出される。そして、この出力電流に基づいて排気空燃比が算出される。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２００４－３１６５５３号公報

特許文献2：特開２００５－３５１０９６号公報

特許文献3：特開２００３－３２９６３７号公報

特許文献4：特開平８－２３２７２３号公報

特許文献5：特開２０００－３５６６１８号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、特許文献１に記載されたような空燃比センサは、一般に、図２に実線Ａで示した出力特性を有するように構成されている。すなわち、斯か

る空燃比センサでは、排気空燃比が大きくなるほど（すなわち、リーンになるほど）、空燃比センサからの出力電流が大きくなる。加えて、斯かる空燃比センサは、排気空燃比が理論空燃比であるときに出力電流が零になるように構成される。

[0006] ところが、図２における傾き、すなわち排気空燃比の増加量に対する出力電流の増加量の比率（以下、「出力電流変化率」という）は、同様な生産工程を経ても必ずしも同一にはならず、同一型式の空燃比センサであっても個体間でバラツキが生じてしまう。加えて、同一の空燃比センサにおいても、経年劣化等により出力電流変化率は変化する。この結果、たとえ同一型式のセンサを用いても、使用したセンサや使用期間等によって、図２に破線Ｂで示したように出力電流変化率が小さくなったり、一点鎖線Ｃで示したように出力電流変化率が大きくなったりする。

[0007] このため、同一型式の空燃比センサを用いて同一の空燃比の排気ガスの計測を行っても、使用したセンサや使用期間等によって、空燃比センサの出力電流は異なるものとなってしまう。例えば、空燃比センサが実線Ａで示したような出力特性を有する場合には、空燃比がaf_1である排気ガスの計測を行ったときの出力電流は、I_2になる。しかしながら、空燃比センサが破線Ｂや一点鎖線Ｃで示したような出力特性を有する場合には、空燃比がaf_1である排気ガスの計測を行ったときの出力電流は、それぞれI_1及びI_3となり、上述したI_2とは異なる出力電流となってしまう。

[0008] したがって、斯かる空燃比センサでは、理論空燃比及び理論空燃比に対してリッチ及びリーンであることについては正確に検出することができるが、排気ガスの空燃比が理論空燃比でないときにその絶対値（すなわち、リッチ度合いやリーン度合い）を正確に検出することはできなかった。

[0009] 特に、内燃機関の排気通路に設けられた排気浄化触媒から排出される排気ガスにおいて最も問題になるのはＮＯｘである。このため、排気浄化触媒の排気流れ方向下流側に設けられた空燃比センサでは、排気浄化触媒から流出する排気ガス中にＮＯｘが含まれている場合、すなわち排気浄化触媒から流

出する排気ガスの空燃比が理論空燃比よりもリーンである空燃比（以下、「リーン空燃比」という）である場合に、その絶対値を正確に検出することが必要になる。

[0010] そこで、上記課題に鑑みて、本発明の目的は、排気ガスの空燃比がリーン空燃比であるときであっても排気ガスの空燃比の絶対値を検出することができる空燃比センサを用いた内燃機関の制御装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0011] 上記課題を解決するために、第１の発明では、内燃機関の排気通路に設けられた酸素を吸蔵可能な排気浄化触媒と、該排気浄化触媒よりも排気流れ方向下流側において前記排気通路に設けられた下流側空燃比センサと、該下流側空燃比センサの出力に応じて内燃機関を制御する機関制御装置とを具備する、内燃機関の制御装置において、前記下流側空燃比センサは、排気空燃比に応じて出力電流が零となる印加電圧が変化すると共に、排気空燃比が理論空燃比であるときに当該下流側空燃比センサにおける印加電圧を増大させるとこれに伴って出力電流が増大するように構成されており、前記下流側空燃比センサによって排気ガスの空燃比を検出するときには、該下流側空燃比センサにおける印加電圧は一定電圧に固定され、該一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比よりもリーンである予め定められた空燃比であるときに出力電流が零となる電圧である、内燃機関の制御装置が提供される。

[0012] 第２の発明では、第１の発明において、前記機関制御装置は、前記下流側空燃比センサの出力電流が零になったときに排気空燃比が前記予め定められた空燃比であると判断する。

[0013] 第３の発明では、第１又は第２の発明において、前記排気浄化触媒よりも排気流れ方向上流側において前記排気通路に設けられた上流側空燃比センサを更に具備し、前記機関制御装置は、前記上流側空燃比センサによって検出される空燃比が目標空燃比となるように前記排気浄化触媒に流入する排気ガスの空燃比を制御する。

[0014] 第４の発明では、第３の発明において、前記上流側空燃比センサは、排気

空燃比に応じて出力電流が零となる印加電圧が変化すると共に、排気空燃比が理論空燃比であるときに当該上流側空燃比センサにおける印加電圧を増大させるとこれに伴って出力電流が増大するように構成されており、前記上流側空燃比センサによって排気ガスの空燃比を検出するときには、前記上流側空燃比センサにおける印加電圧は一定電圧に固定され、該一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比であるときに出力電流が零となる電圧である。

[0015] 第５の発明では、第３又は第４の発明において、前記上流側空燃比センサは、排気空燃比に応じて出力電流が零となる印加電圧が変化すると共に、排気空燃比が理論空燃比であるときに当該上流側空燃比センサにおける印加電圧を増大させるとこれに伴って出力電流が増大するように構成されており、前記下流側空燃比センサにおける印加電圧は、前記上流側空燃比センサの印加電圧よりも低い。

[0016] 第６の発明では、第３～第５のいずれか一つの発明において、前記機関制御装置は、前記上流側空燃比センサの出力電流が零以上となったときには、前記排気浄化触媒に流入する排気ガスの目標空燃比を理論空燃比よりもリッチとする。

[0017] 第７の発明では、第６の発明において、前記機関制御装置は、前記下流側空燃比センサの出力電流が理論空燃比よりもリッチなリッチ判定空燃比に相当する値以下となったときに、前記排気浄化触媒の酸素吸蔵量が最大酸素吸蔵量よりも少ない所定の吸蔵量となるまで、前記排気浄化触媒に流入する排気ガスの目標空燃比を継続的又は断続的に理論空燃比よりもリーンにする酸素吸蔵量増加手段と、前記排気浄化触媒の酸素吸蔵量が前記所定の吸蔵量以上になったときに、該酸素吸蔵量が最大酸素吸蔵量に達することなく零に向けて減少するように、前記目標空燃比を継続的又は断続的に理論空燃比よりもリッチにする酸素吸蔵量減少手段とを具備する。

[0018] 第８の発明では、第６の発明において、前記機関制御装置は、前記下流側空燃比センサの出力電流が理論空燃比よりもリッチなリッチ判定空燃比に相当する値以下となったときに、前記排気浄化触媒に流入する排気ガスの目標

空燃比を理論空燃比よりもリーンのリーン設定空燃比まで変化させる空燃比リーン切替手段と、該空燃比リーン切替手段によって前記目標空燃比を変化させた後であって前記下流側空燃比センサの出力電流が零以上になる前に前記目標空燃比を前記リーン設定空燃比よりも理論空燃比からの差が小さいリーン空燃比に変化させるリーン度合い低下手段と、前記下流側空燃比センサの出力電流が零以上なったときに、前記目標空燃比を理論空燃比よりもリッチのリッチ設定空燃比まで変化させる空燃比リッチ切替手段と、該空燃比リッチ切替手段によって前記目標空燃比を変化させた後であって前記下流側空燃比センサの出力電流が前記リッチ判定空燃比に相当する値以下となる前に前記目標空燃比を前記リッチ設定空燃比よりも理論空燃比からの差が小さいリッチ空燃比に変化させるリッチ度合い低下手段とを具備する。

[0019] 第９の発明では、第１～第８のいずれか一つの発明において、前記下流側空燃比センサは、拡散律速層を介して空燃比の検出対象である排気ガスに曝される第一電極と、基準雰囲気に曝される第二電極と、前記第一電極と前記第二電極との間に配置された固体電解質層と、前記第一電極と前記第二電極との間に電圧を印加する電圧印加装置とを具備し、前記印加電圧は電圧印加装置によって印加された電圧であり、

前記下流側空燃比センサは、各排気空燃比毎に、印加電圧の増大に伴って出力電流が増大する電圧領域である電流増大領域と、前記拡散律速層を設けたことにより印加電圧の増加量に対する出力電流の増加量が前記電流増大領域よりも小さくなる電圧領域である電流微増領域とを有するように構成されており、前記下流側空燃比センサにおける一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比であるときの前記電流微増領域内の電圧である。

[0020] 第１０の発明では、第１～第８のいずれか一つの発明において、前記下流側空燃比センサは、各排気空燃比毎に前記出力電流が限界電流となる電圧領域である限界電流領域を有するように構成されており、前記下流側空燃比センサにおける一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比であるときの前記限界電流領域内の電圧である。

[0021] 第１１の発明では、第１～第８のいずれか一つの発明において、前記下流側空燃比センサは、各排気空燃比毎に、前記印加電圧と出力電流との関係について、印加電圧の増大に比例して出力電流が増大する電圧領域である比例領域と、水の分解が発生したことによって印加電圧の変化に応じて出力電流が変化する電圧領域である水分解領域と、これら比例領域と水分解領域との間の電圧領域である中間領域とを有するように構成されており、前記下流側空燃比センサにおける一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比であるときの前記中間領域内の電圧である。

[0022] 第１２の発明では、第１～第８のいずれか一つの発明において、前記下流側空燃比センサにおける一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比よりも１％高いときに出力電流が零となる電圧以上であって排気空燃比が理論空燃比であるときに出力電流が零となる電圧よりも低い電圧とされる。

[0023] 第１３の発明では、第１～第８のいずれか一つの発明において、前記下流側空燃比センサは、各排気空燃比毎に、前記印加電圧と出力電流との関係について、印加電圧が増大するにつれて第一の屈曲点まで出力電流が増大し、第一の屈曲点から印加電圧が増大するにつれて第二の屈曲点まで出力電流が増大し、第二の屈曲点から印加電圧が増大するにつれて出力電流が増大すると共に、第一の屈曲点と第二の屈曲点の間における電圧領域においては他の電圧領域よりも印加電圧の増加量に対する出力電流の増加量が小さくなるように構成されており、前記下流側空燃比センサにおける一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比であるときの前記第一の屈曲点及び第二の屈曲点との間の電圧とされる。

[0024] 第１４の発明では、第１～第８のいずれか一つの発明において、前記下流側空燃比センサが、拡散律速層を介して空燃比の検出対象である排気ガスに曝される第一電極と、基準雰囲気に曝される第二電極と、前記第一電極と前記第二電極との間に配置された固体電解質層と、前記第一電極と前記第二電極との間に電圧を印加する電圧印加装置とを具備し、前記拡散律速層がアルミナで形成され、前記印加電圧は電圧印加装置によって印加された電圧であ

り、前記下流側空燃比センサにおける一定電圧が、０．１Ｖ以上であって０．４５Ｖよりも低い電圧とされる。

[0025] 第１５の発明では、第３～第８のいずれか一つの発明において、前記下流側空燃比センサが、拡散律速層を介して空燃比の検出対象である排気ガスに曝される第一電極と、基準雰囲気に曝される第二電極と、前記第一電極と前記第二電極との間に配置された固体電解質層と、前記第一電極と前記第二電極との間に電圧を印加する電圧印加装置とを具備し、前記拡散律速層がアルミナで形成され、前記印加電圧は電圧印加装置によって印加された電圧であり、前記上流側空燃比センサにおける一定電圧が、０．４Ｖ以上０．４５Ｖ以下とされる。

[0026] 第１６の発明では、第１～第１５のいずれか一つの発明において、前記下流側空燃比センサは、拡散律速層を介して空燃比の検出対象である排気ガスに曝される第一電極と、基準雰囲気に曝される第二電極と、前記第一電極と前記第二電極との間に配置された固体電解質層と、前記第一電極と前記第二電極との間に電圧を印加する電圧印加装置と、前記第一電極と前記第二電極との間に流れる電流を検出する電流検出装置とを具備し、前記印加電圧は電圧印加装置によって印加された電圧であり、前記出力電流は前記電流検出装置によって検出された電流である。

発明の効果

[0027] 本発明によれば、排気ガスの空燃比がリーン空燃比であるときであっても排気ガスの空燃比の絶対値を検出することができる空燃比センサを用いた内燃機関の制御装置が提供される。

図面の簡単な説明

[0028] [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、空燃比センサの出力特性を示す図である。

[図3]図３は、空燃比センサの概略的な断面図である。

[図4]図４は、空燃比センサの動作を概略的に示した図である。

[図5]図５は、電圧印加装置及び電流検出装置を構成する具体的な回路の一例を示す図である。

[図6]図６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7]図７は、各センサ印加電圧における排気空燃比と出力電流との関係を示す図である。

[図8]図８は、図６にＸ－Ｘで示した領域を拡大して示した図である。

[図9]図９は、図７にＹ－Ｙで示した領域を拡大して示した図である。

[図10]図１０は、空燃比センサのセンサ印加電圧と出力電流との関係を示す図である。

[図11]図１１は、空燃比センサの空燃比と出力電流との関係を示す図である。

[図12]図１２は、センサ印加電圧と出力電流との関係を示す図である。

[図13]図１３は、排気浄化触媒の酸素吸蔵量と排気浄化触媒から流出する排気ガス中のＮＯｘ又は未燃ガスの濃度との関係を示す。

[図14]図１４は、上流側排気浄化触媒の酸素吸蔵量等のタイムチャートである。

[図15]図１５は、制御装置の機能ブロック図である。

[図16]図１６は、空燃比補正量の算出制御の制御ルーチンを示すフローチャートである。

[図17]図１７は、上流側排気浄化触媒の酸素吸蔵量等のタイムチャートである。

[図18]図１８は、上流側排気浄化触媒の酸素吸蔵量等のタイムチャートである。

発明を実施するための形態

[0029] 以下、図面を参照して本発明の内燃機関の制御装置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。図１は、本発明の第一実施形態に係る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。

[0030] ＜内燃機関全体の説明＞

図１を参照すると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。

[0031] 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燃料噴射弁１１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、燃料噴射弁１１は、吸気ポート７内に燃料を噴射するように配置されてもよい。また、本実施形態では、燃料として排気浄化触媒における理論空燃比が１４．６であるガソリンが用いられる。しかしながら、本発明の内燃機関は他の燃料を用いても良い。

[0032] 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によって回動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。

[0033] 一方、各気筒の排気ポート９は排気マニホルド１９に連結される。排気マニホルド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。

[0034] 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、排気マニホルド１９の集合部には排気マニホルド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。なお、これら空燃比センサ４０、４１の構成については後述する。

[0035] また、アクセルペダル４２にはアクセルペダル４２の踏込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、各種センサ等の出力に基づいて内燃機関を制御する制御手段として機能する。

[0036] ＜空燃比センサの構成＞

次に、図３を参照して、本実施形態における空燃比センサ４０、４１の構成について説明する。図３は、空燃比センサ４０、４１の概略的な断面図である。図３から分かるように、本実施形態における空燃比センサ４０、４１は、固体電解質層及び一対の電極から成るセルが１つである１セル型の空燃比センサである。

[0037] 図３に示したように、空燃比センサ４０、４１は、固体電解質層５１と、固体電解質層５１の一方の側面上に配置された排気側電極（第一電極）５２と、固体電解質層５１の他方の側面上に配置された大気側電極（第二電極）５３と、通過する排気ガスの拡散律速を行う拡散律速層５４と、拡散律速層５４を保護する保護層５５と、空燃比センサ４０、４１の加熱を行うヒータ部５６とを具備する。

[0038] 固体電解質層５１の一方の側面上には拡散律速層５４が設けられ、拡散律速層５４の固体電解質層５１側の側面とは反対側の側面上には保護層５５が設けられる。本実施形態では、固体電解質層５１と拡散律速層５４との間には被測ガス室５７が形成される。この被測ガス室５７には拡散律速層５４を介して空燃比センサ４０、４１による検出対象であるガス、すなわち排気ガスが導入せしめられる。また、排気側電極５２は被測ガス室５７内に配置され、したがって、排気側電極５２は拡散律速層５４を介して排気ガスに曝されることになる。なお、被測ガス室５７は必ずしも設ける必要はなく、排気側電極５２の表面上に拡散律速層５４が直接接触するように構成されてもよい。

[0039] 固体電解質層５１の他方の側面上にはヒータ部５６が設けられる。固体電解質層５１とヒータ部５６との間には基準ガス室５８が形成され、この基準ガス室５８内には基準ガスが導入される。本実施形態では、基準ガス室５８は大気に開放されており、よって基準ガス室５８内には基準ガスとして大気が導入される。大気側電極５３は、基準ガス室５８内に配置され、したがって、大気側電極５３は、基準ガス（基準雰囲気）に曝される。本実施形態では、基準ガスとして大気が用いられているため、大気側電極５３は大気に曝

されることになる。

[0040] ヒータ部５６には複数のヒータ５９が設けられており、これらヒータ５９によって空燃比センサ４０、４１の温度、特に固体電解質層５１の温度を制御することができる。ヒータ部５６は、固体電解質層５１を活性化するまで加熱するのに十分な発熱容量を有している。

[0041] 固体電解質層５１は、ZrO_2（ジルコニア）、HfO_2、ThO_2、Bi_2O_3等にＣａＯ、ＭｇＯ、Y_2O_3、Yb_2O_3等を安定剤として配当した酸素イオン伝導性酸化物の焼結体により形成されている。また、拡散律速層５４は、アルミナ、マグネシア、けい石質、スピネル、ムライト等の耐熱性無機物質の多孔質焼結体により形成されている。さらに、排気側電極５２及び大気側電極５３は、白金等の触媒活性の高い貴金属により形成されている。

[0042] また、排気側電極５２と大気側電極５３との間には、ＥＣＵ３１に搭載された電圧印加装置６０によりセンサ印加電圧Ｖｒが印加される。加えて、ＥＣＵ３１には、電圧印加装置６０によってセンサ印加電圧Ｖｒを印加したときに固体電解質層５１を介してこれら電極５２、５３間に流れる電流（出力電流）を検出する電流検出装置６１が設けられる。この電流検出装置６１によって検出される電流が空燃比センサ４０、４１の出力電流である。

[0043] ＜空燃比センサの動作＞

次に、図４を参照して、このように構成された空燃比センサ４０、４１の動作の基本的な概念について説明する。図４は、空燃比センサ４０、４１の動作を概略的に示した図である。使用時において、空燃比センサ４０、４１は、保護層５５及び拡散律速層５４の外周面が排気ガスに曝されるように配置される。また、空燃比センサ４０、４１の基準ガス室５８には大気が導入される。

[0044] 上述したように、固体電解質層５１は、酸素イオン伝導性酸化物の焼結体で形成される。したがって、高温により活性化した状態で固体電解質層５１の両側面間に酸素濃度の差が生じると、濃度の高い側面側から濃度の低い側面側へと酸素イオンを移動させようとする起電力Ｅが発生する性質（酸素電

池特性）を有している。

[0045] 逆に、固体電解質層５１は、両側面間に電位差が与えられると、この電位差に応じて固体電解質層の両側面間で酸素濃度比が生じるように、酸素イオンの移動を引き起こそうとする特性（酸素ポンプ特性）を有する。具体的には、両側面間に電位差が与えられた場合には、正極性を与えられた側面における酸素濃度が、負極性を与えられた側面における酸素濃度に対して、電位差に応じた比率で高くなるように、酸素イオンの移動が引き起こされる。また、図３及び図４に示したように、空燃比センサ４０、４１では、大気側電極５３が正極性、排気側電極５２が負極性となるように、これら電極５２、５３間に一定のセンサ印加電圧Ｖｒが印加されている。

[0046] 空燃比センサ４０、４１周りにおける排気空燃比が理論空燃比よりもリーンのときには、固体電解質層５１の両側面間での酸素濃度の比はそれほど大きくない。このため、センサ印加電圧Ｖｒを適切な値に設定すれば、固体電解質層５１の両側面間ではセンサ印加電圧Ｖｒに対応した酸素濃度比よりも実際の酸素濃度比の方が小さくなる。このため、固体電解質層５１の両側面間の酸素濃度比がセンサ印加電圧Ｖｒに対応した酸素濃度比に向けて大きくなるように、図４（Ａ）に示した如く、排気側電極５２から大気側電極５３に向けて酸素イオンの移動が起こる。その結果、センサ印加電圧Ｖｒを印加する電圧印加装置６０の正極から、大気側電極５３、固体電解質層５１、及び排気側電極５２を介して電圧印加装置６０の負極へと電流が流れる。

[0047] このとき流れる電流（出力電流）Ｉｒの大きさは、センサ印加電圧Ｖｒを適切な値に設定すれば、排気中から拡散律速層５４を通って被測ガス室５７へと拡散によって流入する酸素量に比例する。したがって、この電流Ｉｒの大きさを電流検出装置６１によって検出することにより、酸素濃度を知ることができ、ひいてはリーン領域における空燃比を知ることができる。

[0048] 一方、空燃比センサ４０、４１周りにおける排気空燃比が理論空燃比よりもリッチのときには、排気中から拡散律速層５４を通って未燃ガスが被測ガス室５７内に流入するため、排気側電極５２上に酸素が存在しても、未燃ガ

スと反応して除去される。このため、被測ガス室５７内では酸素濃度が極めて低くなり、その結果、固体電解質層５１の両側面間での酸素濃度の比は大きなものとなる。このため、センサ印加電圧Ｖｒを適切な値に設定すれば、固体電解質層５１の両側面間ではセンサ印加電圧Ｖｒに対応した酸素濃度比よりも実際の酸素濃度比の方が大きくなる。このため、固体電解質層５１の両側面間の酸素濃度比がセンサ印加電圧Ｖｒに対応した酸素濃度比に向けて小さくなるように、図４（Ｂ）に示した如く、大気側電極５３から排気側電極５２に向けて酸素イオンの移動が起こる。その結果、大気側電極５３から、センサ印加電圧Ｖｒを印加する電圧印加装置６０を通って排気側電極５２へと電流が流れる。

[0049] このとき流れる電流（出力電流）Ｉｒの大きさは、センサ印加電圧Ｖｒを適切な値に設定すれば、固体電解質層５１中を大気側電極５３から排気側電極５２へと移動せしめられる酸素イオンの流量によって決まる。その酸素イオンは、排気中から拡散律速層５４を通って被測ガス室５７へと拡散によって流入する未燃ガスと排気側電極５２上で反応（燃焼）する。よって、酸素イオンの移動流量は被測ガス室５７内に流入した排気ガス中の未燃ガスの濃度に対応する。したがって、この電流Ｉｒの大きさを電流検出装置６１によって検出することで、未燃ガス濃度を知ることができ、ひいてはリッチ領域における空燃比を知ることができる。

[0050] また、空燃比センサ４０、４１周りにおける排気空燃比が理論空燃比のときには、被測ガス室５７へ流入する酸素及び未燃ガスの量が化学当量比となっている。このため、排気側電極５２の触媒作用によって両者は完全に燃焼し、被測ガス室５７内の酸素及び未燃ガスの濃度に変動は生じない。この結果、固体電解質層５１の両側面間の酸素濃度比は、変動せずに、センサ印加電圧Ｖｒに対応した酸素濃度比のまま維持される。このため、図４（Ｃ）に示したように、酸素ポンプ特性による酸素イオンの移動は起こらず、その結果、回路を流れる電流は生じない。

[0051] ＜電圧印加装置及び電流検出装置の回路＞

図５に、電圧印加装置６０及び電流検出装置６１を構成する具体的な回路の一例を示す。図示した例では、酸素電池特性により生じる起電力をＥ、固体電解質層５１の内部抵抗をＲｉ、両電極５２、５３間の電位差をＶｓと表している。

[0052] 図５からわかるように、電圧印加装置６０は、基本的に、酸素電池特性により生じる起電力Ｅがセンサ印加電圧Ｖｒに一致するように、負帰還制御を行っている。換言すると、電圧印加装置６０は、固体電解質層５１の両側面間の酸素濃度比の変化によって両電極５２、５３間の電位差Ｖｓが変化した際にも、この電位差Ｖｓがセンサ印加電圧Ｖｒとなるように負帰還制御を行っている。

[0053] したがって、排気空燃比が理論空燃比となっていて、固体電解質層５１の両側面間に酸素濃度比の変化が生じない場合には、固体電解質層５１の両側面間の酸素濃度比はセンサ印加電圧Ｖｒに対応した酸素濃度比となっている。この場合、起電力Ｅはセンサ印加電圧Ｖｒに一致し、両電極５２、５３間の電位差Ｖｓもセンサ印加電圧Ｖｒとなっており、その結果、電流Ｉｒは流れない。

[0054] 一方、排気空燃比が理論空燃比とは異なる空燃比となっていて、固体電解質層５１の両側面間に酸素濃度比の変化が生じる場合には、固体電解質層５１の両側面間の酸素濃度比がセンサ印加電圧Ｖｒに対応した酸素濃度比とはなっていない。この場合、起電力Ｅはセンサ印加電圧Ｖｒとは異なる値となる。このため、負帰還制御により、起電力Ｅがセンサ印加電圧Ｖｒと一致するように固体電解質層５１の両側面間で酸素イオンの移動をさせるべく、両電極５２、５３間に電位差Ｖｓが付与される。そして、このときの酸素イオンの移動に伴って電流Ｉｒが流れる。この結果、起電力Ｅはセンサ印加電圧Ｖｒに収束し、起電力Ｅがセンサ印加電圧Ｖｒに収束すると、やがて電位差Ｖｓもセンサ印加電圧Ｖｒに収束することになる。

[0055] したがって、電圧印加装置６０は、実質的に、両電極５２、５３間にセンサ印加電圧Ｖｒを印加しているということができる。なお、電圧印加装置６

０の電気回路は必ずしも図５に示したようなものである必要はなく、両電極５２、５３間にセンサ印加電圧Ｖｒを実質的に印加することができれば、如何なる態様の装置であってもよい。

[0056] また、電流検出装置６１は、実際に電流を検出するのではなく、電圧E_0を検出してこの電圧E_0から電流を算出している。ここで、E_0は、下記式（１）のように表せる。

$$E_0 = V_r + V_0 + I_r R \quad \cdots (1)$$

ここで、V_0はオフセット電圧（E_0が負値とならないように印加しておく電圧であり、例えば３Ｖ）、Ｒは図５に示した抵抗の値である。

[0057] 式（１）において、センサ印加電圧Ｖｒ、オフセット電圧V_0及び抵抗値Ｒは一定であるから、電圧E_0は電流Ｉｒに応じて変化する。このため、電圧E_0を検出すれば、その電圧E_0から電流Ｉｒを算出することが可能である。

[0058] したがって、電流検出装置６１は、実質的に、両電極５２、５３間に流れる電流Ｉｒを検出しているということができる。なお、電流検出装置６１の電気回路は必ずしも図５に示したようなものである必要はなく、両電極５２、５３間を流れる電流Ｉｒを検出することができれば、如何なる態様の装置であってもよい。

[0059] ＜空燃比センサの出力特性＞

上述したように構成され且つ動作する空燃比センサ４０、４１は、図６に示したような電圧－電流（Ｖ－Ｉ）特性を有する。図６からわかるように、センサ印加電圧Ｖｒが０以下及び０近傍の領域では、排気空燃比が一定である場合には、センサ印加電圧Ｖｒを負の値から徐々に増加していくと、これに伴って出力電流Ｉｒが増加していく。

[0060] すなわち、この電圧領域では、センサ印加電圧Ｖｒが低いため、固体電解質層５１を介して移動可能な酸素イオンの流量が少ない。このため、拡散律速層５４を介した排気ガスの流入速度よりも固体電解質層５１を介して移動可能な酸素イオンの流量が少なくなり、よって、出力電流Ｉｒは固体電解質層５１を介して移動可能な酸素イオンの流量に応じて変化する。固体電解質

層５１を介して移動可能な酸素イオンの流量はセンサ印加電圧Ｖｒに応じて変化するため、結果的にセンサ印加電圧Ｖｒの増加に伴って出力電流が増加する。なお、このようにセンサ印加電圧Ｖｒに比例して出力電流Ｉｒが変化する電圧領域は比例領域と称される。また、センサ印加電圧Ｖｒが０のときに出力電流Ｉｒが負値をとるのは、酸素電池特性により固体電解質層５１の両側面間の酸素濃度比に応じた起電力Ｅが生じるためである。

[0061] その後、排気空燃比を一定としたまま、センサ印加電圧Ｖｒを徐々に増加していくと、これに対する出力電流の増加の割合は次第に小さくなり、ついにはほぼ飽和状態となる。その結果、センサ印加電圧Ｖｒを増加しても出力電流はほとんど変化しなくなる。このほぼ飽和した電流は限界電流と称され、以下では、この限界電流が発生する電圧領域を限界電流領域と称する。

[0062] すなわち、この限界電流領域では、センサ印加電圧Ｖｒが或る程度高いため、固体電解質層５１を介して移動可能な酸素イオンの流量が多い。このため、拡散律速層５４を介した排気ガスの流入速度よりも固体電解質層５１を介して移動可能な酸素イオンの流量の方が多くなる。したがって、出力電流Ｉｒは拡散律速層５４を介して被測ガス室５７に流入する排気ガス中の酸素濃度や未燃ガス濃度に応じて変化する。排気空燃比を一定としてセンサ印加電圧Ｖｒを変化させても、基本的には拡散律速層５４を介して被測ガス室５７に流入する排気ガス中の酸素濃度や未燃ガス濃度は変化しないことから、出力電圧Ｉｒは変化しない。

[0063] ただし、排気空燃比が異なれば、拡散律速層５４を介して被測ガス室５７に流入する排気ガス中の酸素濃度や未燃ガス濃度も異なることから、出力電流Ｉｒは排気空燃比に応じて変化する。図６からわかるように、リーン空燃比とリッチ空燃比（理論空燃比よりもリッチである空燃比）とでは限界電流の流れる向きが逆になっており、リーン空燃比であるときには空燃比が大きくなるほど、リッチ空燃比であるときには空燃比が小さくなるほど、限界電流の絶対値が大きくなる。

[0064] その後、排気空燃比を一定としたまま、センサ印加電圧Ｖｒをさらに増加

していくと、これに伴って再び出力電流Ｉｒが増加し始める。このように高いセンサ印加電圧Ｖｒを印加すると、排気側電極５２上では排気ガス中に含まれる水分の分解が発生し、これに伴って電流が流れる。また、センサ印加電圧Ｖｒをさらに増加していくと、水の分解だけでは電流をまかなえなくなり、今度は固体電解質層５１の分解が発生する。以下では、このように水や固体電解質層５１の分解が生じる電圧領域を水分解領域と称する。

[0065] 図７は、各センサ印加電圧Ｖｒにおける排気空燃比と出力電流Ｉｒとの関係を示す図である。図７からわかるように、センサ印加電圧Ｖｒが０．１Ｖから０．９Ｖ程度であれば、少なくとも理論空燃比の近傍においては、排気空燃比に応じて出力電流Ｉｒが変化する。また、図７からわかるように、センサ印加電圧Ｖｒが０．１Ｖから０．９Ｖ程度であれば、理論空燃比の近傍においては、排気空燃比と出力電流Ｉｒとの関係はセンサ印加電圧Ｖｒに無関係にほぼ同一である。

[0066] 一方、図７からわかるように、或る一定の排気空燃比以下に排気空燃比が低くなると、排気空燃比が変化しても出力電流Ｉｒがほとんど変化しなくなる。この一定の排気空燃比はセンサ印加電圧Ｖｒに応じて変化し、センサ印加電圧Ｖｒが高いほど高い。このため、センサ印加電圧Ｖｒを或る特定の値以上に増大させると、図中に一点鎖線で示したように、排気空燃比が如何なる値であっても出力電流Ｉｒが０にならなくなる。

[0067] 一方、或る一定の排気空燃比以上に排気空燃比が高くなると、排気空燃比が変化しても出力電流Ｉｒがほとんど変化しなくなる。この一定の排気空燃比もセンサ印加電圧Ｖｒに応じて変化し、センサ印加電圧Ｖｒが低いほど低い。このため、センサ印加電圧Ｖｒを或る特定の値以下に低下させると、図中に二点鎖線で示したように、排気空燃比が如何なる値であっても出力電流Ｉｒが０にならなくなる（例えば、センサ印加電圧Ｖｒを０Ｖとした場合には排気空燃比に関わらず出力電流Ｉｒは０にならない）。

[0068] ＜理論空燃比近傍における微視的特性＞

ところで、本発明者らが鋭意研究を行ったところ、センサ印加電圧Ｖｒと

出力電流Ｉｒとの関係（図６）や排気空燃比と出力電流Ｉｒとの関係（図７）を巨視的に見ると上述したような傾向になるが、これら関係を理論空燃比近傍で微視的に見るとこれとは異なる傾向になることを見出した。以下、これについて説明する。

[0069] 図８は、図６の電圧－電流線図について、出力電流Ｉｒが０近傍となる領域（図６においてＸ－Ｘで示した領域）を拡大して示した図である。図８からわかるように、限界電流領域においても、排気空燃比を一定としたときに、センサ印加電圧Ｖｒが増大するのに伴って出力電流Ｉｒもごく僅かながら増大する。例えば、排気空燃比が理論空燃比（１４．６）である場合を例にとってみると、センサ印加電圧Ｖｒが０．４５Ｖ程度のときには出力電流Ｉｒは０となる。これに対して、センサ印加電圧Ｖｒを０．４５Ｖよりも或る程度低く（例えば、０．２Ｖ）すると、出力電流は０よりも低い値となる。一方、センサ印加電圧Ｖｒを０．４５Ｖよりも或る程度高く（例えば、０．７Ｖ）すると、出力電流は０よりも高い値となる。

[0070] 図９は、図７の空燃比－電流線図について、排気空燃比が理論空燃比近傍であって且つ出力電流Ｉｒが０近傍である領域（図７においてＹ－Ｙで示した領域）を拡大して示した図である。図９からは、理論空燃比近傍の領域においては、同一の排気空燃比に対する出力電流Ｉｒがセンサ印加電圧Ｖｒ毎に僅かに異なることがわかる。例えば、図示した例では、排気空燃比が理論空燃比である場合、センサ印加電圧Ｖｒを０．４５Ｖとしたときに出力電流Ｉｒが０になる。そして、センサ印加電圧Ｖｒを０．４５Ｖよりも大きくすると出力電流Ｉｒも大きくなり、センサ印加電圧Ｖｒを０．４５Ｖよりも小さくすると出力電流Ｉｒも小さくなる。

[0071] 加えて、図９からは、センサ印加電圧Ｖｒ毎に、出力電流Ｉｒが０となるときの排気空燃比（以下、「電流零時の排気空燃比」という）が異なることがわかる。図示した例では、センサ印加電圧Ｖｒが０．４５Ｖである場合には排気空燃比が理論空燃比であるときに出力電流Ｉｒが０になる。これに対して、センサ印加電圧Ｖｒが０．４５Ｖよりも大きい場合には、排気空燃比

が理論空燃比よりもリッチであるときに出力電流Ｉｒが０になり、センサ印加電圧Ｖｒが大きくなるほど電流零時の排気空燃比は小さくなる。逆に、センサ印加電圧Ｖｒが０．４５Ｖよりも小さい場合には、排気空燃比が理論空燃比よりもリーンであるときに出力電流Ｉｒが０になり、センサ印加電圧Ｖｒが小さくなるほど電流零時の排気空燃比は大きくなる。すなわち、センサ印加電圧Ｖｒを変化させることにより、電流零時の排気空燃比を変化させることができる。

[0072] ここで、図２を用いて説明したように、出力電流変化率には空燃比センサの個体間でバラツキが生じたり、同一の空燃比センサにおいても経年劣化等によってバラツキが生じたりする。しかしながら、図２からも分かるように、たとえ斯かるバラツキが生じたとしても、電流零時の排気空燃比（図２の例では理論空燃比）はほとんど変化しない。すなわち、出力電流Ｉｒが零以外の値をとるときには、排気空燃比の絶対値を正確に検出することは困難であるのに対して、出力電流Ｉｒが零となるときには、排気空燃比の絶対値（図２の例では理論空燃比）を正確に検出することができる。

[0073] そして、図９を用いて説明したように、空燃比センサ４０、４１では、センサ印加電圧Ｖｒを変化させることにより、電流零時の排気空燃比を変化させることができる。すなわち、センサ印加電圧Ｖｒを適切に設定すれば、理論空燃比以外の排気空燃比の絶対値を正確に検出することができる。特に、センサ印加電圧Ｖｒを後述する「特定電圧領域」内で変化させた場合には、電流零時の排気空燃比を理論空燃比（１４．６）に対して僅かにのみ（例えば、±１％の範囲（約１４．４５～約１４．７５）内）調整することができる。したがって、センサ印加電圧Ｖｒを適切に設定することにより、理論空燃比とは僅かに異なる空燃比の絶対値を正確に検出することができるようになる。

[0074] ＜特定電圧領域の説明＞

ところで、上述したように、センサ印加電圧Ｖｒを変化させることにより、電流零時の排気空燃比を変化させることができる。しかしながら、センサ

印加電圧Ｖｒを或る上限電圧よりも大きくするか又は或る下限電圧よりも小さくすると、センサ印加電圧Ｖｒの変化量に対する電流零時の排気空燃比の変化量が大きくなる。したがって、斯かる電圧領域では、センサ印加電圧Ｖｒが僅かにずれると、電流零時の排気空燃比が大きく変化してしまう。したがって、斯かる電圧領域では、排気空燃比の絶対値を正確に検出するためには、センサ印加電圧Ｖｒを精密に制御することが必要になり、あまり実用的ではない。このため、排気空燃比の絶対値を正確に検出する観点からは、センサ印加電圧Ｖｒは或る上限電圧と或る下限電圧との間の「特定電圧領域」内の値とすることが必要になる。

[0075] 斯かる特定電圧領域は、様々な方法で定義することができる。以下では、図１０～図１２を用いて、幾つかの定義の例について説明する。

[0076] まず、一つ目の例について説明する。図１０（Ａ）の電圧－電流線図に示したように、空燃比センサ４０、４１は、各排気空燃比毎に、センサ印加電圧Ｖｒの増大に伴って出力電流Ｉｒが増大する電圧領域である電流増大領域と、拡散律速層を設けたことによりセンサ印加電圧Ｖｒの増加量に対する出力電流Ｉｒの増加量が電流増大領域よりも小さくなる電圧領域である電流微増領域とを有する（図１０（Ａ）では排気空燃比が理論空燃比であるときについてのみ電流増大領域及び電流微増領域を示している）。一つ目の例では、排気空燃比が理論空燃比であるときの電流微増領域が「特定電圧領域」とされる。

[0077] 次に、二つ目の例について説明する。図１０（Ｂ）の電圧－電流線図に示したように、空燃比センサ４０、４１は、各排気空燃比毎に、出力電流Ｉｒが限界電流となる電圧領域である限界電流領域を有する（図１０（Ｂ）では排気空燃比が理論空燃比であるときについてのみ限界電流領域を示している）。二つ目の例では、排気空燃比が理論空燃比であるときの限界電流領域が「特定電圧領域」とされる。

[0078] 次に、三つ目の例について説明する。図１０（Ｃ）の電圧－電流線図に示したように、空燃比センサ４０、４１は、各排気空燃比毎に、印加電圧の増

大に比例して出力電流が増大する電圧領域である比例領域と、水や固体電解質層５１の分解が発生したことによって印加電圧の変化に応じて出力電流が変化する電圧領域である水分解領域と、これら比例領域と水分解領域との間の電圧領域である中間領域とを有する（図１０（Ｃ）では排気空燃比が理論空燃比であるときについてのみ比例領域、水分解領域及び中間領域を示している）。三つ目の例では、排気空燃比が理論空燃比であるときの中間領域が「特定電圧領域」とされる。

[0079] 次に、四つ目の例について説明する。図９に示したように、電流零時の排気空燃比は、センサ印加電圧Ｖｒに応じて変化し、センサ印加電圧Ｖｒが高いほど電流零時の排気空燃比が低くなる。図１１に示したように、本実施形態の空燃比センサ４０、４１では、センサ印加電圧Ｖｒを上限電圧値としたときに電流零時の排気空燃比が理論空燃比ＡＦｓｔよりも例えば０．５～２％程度（好ましくは、１％程度）低い空燃比となる。一方、センサ印加電圧Ｖｒを下限電圧値としたときに電流零時の排気空燃比が理論空燃比ＡＦｓｔよりも例えば０．５～２％程度（好ましくは、１％程度）高い空燃比となる。四つ目の例では、上記上限電圧値（電流零時の排気空燃比が理論空燃比ＡＦｓｔよりも例えば１％低い空燃比となる電圧値）と上記下限電圧値（電流零時の排気空燃比が理論空燃比ＡＦｓｔよりも例えば１％高い空燃比となる電圧値）との間の電圧領域が、「特定電圧領域」とされる。

[0080] 次に、図１２を参照して、五つ目の例について説明する。図１２（Ａ）は、電圧に対する電流の変化を示している。図１２（Ａ）に示したように、本実施形態の空燃比センサ４０、４１では、各排気空燃比毎に、センサ印加電圧Ｖｒが負である状態から増大するにつれて第一の屈曲点B_1まで出力電流Ｉｒが増大し、第一の屈曲点B_1からセンサ印加電圧Ｖｒが増大するにつれて第二の屈曲点B_2まで出力電流Ｉｒが増大し、第二の屈曲点からセンサ印加電圧Ｖｒが増大するにつれて出力電流Ｉｒが増大する。第一の屈曲点B_1と第二の屈曲点B_2の間における電圧領域においては他の電圧領域よりもセンサ印加電圧Ｖｒの増加量に対する印加電流Ｉｒの増加量が小さい。五つ目の例では、

排気空燃比が理論空燃比であるときの前記第一の屈曲点及び第二の屈曲点との間の電圧が、「特定電圧領域」とされる。

[0081] 次に、六つ目の例について説明する。六つ目の例では、「特定電圧領域」の上限電圧値と下限電圧値は具体的な数値で特定される。具体的には、「特定電圧領域」は、０．０５Ｖ以上、０．９５Ｖ以下、好ましくは０．１Ｖ以上、０．９Ｖ以下、より好ましくは０．１５Ｖ以上、０．８Ｖ以下とされる。

[0082] なお、図７を用いて説明したように、センサ印加電圧Ｖｒを或る特定の値（最大電圧）以上に増大させると、図中に一点鎖線で示したように、排気空燃比が如何なる値であっても出力電流Ｉｒが０にならなくなる。一方、センサ印加電圧Ｖｒを或る特定の値（最小電圧）以下に低下させると、図中に二点鎖線で示したように、排気空燃比が如何なる値であっても出力電流Ｉｒが０にならなくなる。

[0083] したがって、センサ印加電圧Ｖｒが最大電圧と最小電圧との間の電圧であれば、出力電流が零となる排気空燃比が存在する。逆に、センサ印加電圧Ｖｒが最大電圧よりも高い電圧或いは最小電圧よりも低い電圧であれば、出力電流が零となる排気空燃比が存在しない。したがって、センサ印加電圧Ｖｒは、少なくとも、排気空燃比がいずれかの空燃比であるときに出力電流が零となる電圧であること、すなわち、最大電圧と最小電圧との間の電圧であることが必要になる。上述した「特定電圧領域」は、最大電圧と最小電圧との間の電圧領域である。

[0084] ＜各空燃比センサにおける印加電圧＞

本実施形態では、上述した微視的特性に鑑みて、上流側空燃比センサ４０によって排気ガスの空燃比を検出するときには、上流側空燃比センサ４０におけるセンサ印加電圧Ｖｒｕｐは、排気空燃比が理論空燃比（本実施形態では１４．６）であるときに出力電流が零となるような一定電圧（例えば、０．４Ｖ～０．４５Ｖ）に固定される。換言すると、上流側空燃比センサ４０では電流零時の排気空燃比が理論空燃比となるようにセンサ印加電圧Ｖｒｕ

ｐが設定される。

[0085] 一方、下流側空燃比センサ４１によって排気ガスの空燃比を検出するときには、下流側空燃比センサ４１におけるセンサ印加電圧Ｖｒは、排気空燃比が理論空燃比よりも僅かにリーンである予め定められた所定空燃比（例えば、１４．６５。以下、「リーン判定空燃比」という）であるときに出力電流が零となるような電圧（例えば、０．２Ｖ）とされる。換言すると、下流側空燃比センサ４１では、電流零時の排気空燃比が理論空燃比よりも僅かにリーンであるリーン判定空燃比となるようにセンサ印加電圧Ｖｒｄｗｎが設定される。

[0086] したがって、下流側空燃比センサ４１におけるセンサ印加電圧Ｖｒは、排気空燃比が理論空燃比であるときに出力電流が零となる電圧よりも低い電圧とされる。また、排気空燃比が理論空燃比であるときの出力電流は０．４５Ｖ程度となることから、下流側空燃比センサ４１におけるセンサ印加電圧Ｖｒは０．４５Ｖよりも低い電圧とされる。

[0087] いずれにせよ、本実施形態では、下流側空燃比センサ４１におけるセンサ印加電圧Ｖｒｄｗｎが上流側空燃比センサ４０におけるセンサ印加電圧Ｖｒｕｐよりも低い電圧とされる。

[0088] したがって、両空燃比センサ４０、４１に接続されたＥＣＵ３１は、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐが零になったときに上流側空燃比センサ４０周りの排気空燃比は理論空燃比であると判断する。一方、ＥＣＵ３１は、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが零になったときには下流側空燃比センサ４１周りの排気空燃比はリーン判定空燃比、すなわち、理論空燃比よりもリーンである予め定められた空燃比であると判断する。

[0089] なお、空燃比センサによって排気ガスの空燃比を検出するときとは、たとえば、後述する燃料カット制御を実行していないときや、空燃比センサによって検出される空燃比が１８以上の高い値となっていないとき等が挙げられる。

[0090] ＜排気浄化触媒の説明＞

次に、本実施形態で用いられる排気浄化触媒２０、２４について説明する。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。以下では、上流側排気浄化触媒２０についてのみ説明するが、下流側排気浄化触媒２４も同様な構成及び作用を有する。

[0091] 上流側排気浄化触媒２０は、酸素吸蔵能力を有する三元触媒である。具体的には、上流側排気浄化触媒２０は、セラミックから成る担体に、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（CeO_2））を担持させたものである。上流側排気浄化触媒２０は、所定の活性温度に達すると、未燃ガス（ＨＣやＣＯ等）と窒素酸化物（ＮＯｘ）とを同時に浄化する触媒作用に加えて、酸素吸蔵能力を発揮する。

[0092] 上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵能力によれば、上流側排気浄化触媒２０は、上流側排気浄化触媒２０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（リーン空燃比）であるときには排気ガス中の酸素を吸蔵する。一方、上流側排気浄化触媒２０は、流入する排気ガスの空燃比が理論空燃比よりもリッチ（リッチ空燃比）であるときには、上流側排気浄化触媒２０に吸蔵されている酸素を放出する。なお、「排気ガスの空燃比」は、その排気ガスが生成されるまでに供給された空気の質量に対する燃料の質量の比率を意味するものであり、通常はその排気ガスが生成されるにあたって燃焼室５内に供給された空気の質量に対する燃料の質量の比率を意味する。

[0093] 上流側排気浄化触媒２０は、触媒作用及び酸素吸蔵能力を有することにより、酸素吸蔵量に応じてＮＯｘ及び未燃ガスの浄化作用を有する。図１３に、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量と上流側排気浄化触媒２０から流出する排気ガス中のＮＯｘ及び未燃ガス（ＨＣ、ＣＯ等）の濃度との関係を示す。図１３（Ａ）は、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であるときの、酸素吸蔵量と上流側排気浄化触媒２０から流出する排気ガス中のＮＯｘ濃度との関係を示す。一方、図１３（Ｂ）は、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ッチ空燃比であると

きの、酸素吸蔵量と上流側排気浄化触媒２０から流出する排気ガス中の未燃ガスの濃度との関係を示す。

[0094] 図１３（Ａ）からわかるように、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量が少ないときには、最大酸素吸蔵量まで余裕がある。このため、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（すなわち、この排気ガスがＮＯｘ及び酸素を含む）であっても、排気ガス中の酸素は排気浄化触媒に吸蔵され、これに伴ってＮＯｘも還元浄化される。この結果、上流側排気浄化触媒２０から流出する排気ガス中にはほとんどＮＯｘは含まれない。

[0095] しかしながら、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量が多くなると、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比がリーン空燃比である場合、上流側排気浄化触媒２０において排気ガス中の酸素を吸蔵しにくくなり、これに伴って排気ガス中のＮＯｘも還元浄化されにくくなる。このため、図１３（Ａ）からわかるように、酸素吸蔵量が或る上限吸蔵量Ｃｕｐｌｉｍを超えて増大すると上流側排気浄化触媒２０から流出する排気ガス中のＮＯｘ濃度が急激に上昇する。

[0096] 一方、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量が多いときには、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ッチ空燃比（すなわち、この排気ガスが未燃ガスを含む）であると、上流側排気浄化触媒２０に吸蔵されている酸素が放出される。このため、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガス中の未燃ガスは酸化浄化される。この結果、図１３（Ｂ）からわかるように、上流側排気浄化触媒２０から流出する排気ガス中にはほとんど未燃ガスは含まれない。

[0097] しかしながら、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量が少なくなると、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比がリッチ空燃比である場合、上流側排気浄化触媒２０から放出される酸素が少なくなり、これに伴って上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガス中の未燃ガスも酸化浄化されにくくなる。このため、図１３（Ｂ）からわかるように、酸素吸蔵量が或る

下限吸蔵量Ｃｌｏｗｌｉｍを超えて減少すると上流側排気浄化触媒２０から流出する排気ガス中の未燃ガスの濃度が急激に上昇する。

[0098] このように、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ＮＯｘ及び未燃ガスの浄化特性が変化する。なお、触媒作用及び酸素吸蔵能力を有していれば、排気浄化触媒２０、２４は三元触媒とは異なる触媒であってもよい。

[0099] ＜空燃比制御の概要＞

次に、本発明の内燃機関の制御装置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の出力電流Ｉｒｕｐに基づいて上流側空燃比センサ４０の出力電流（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）Ｉｒｕｐが目標空燃比に相当する値となるようにフィードバック制御が行われる。

[0100] 上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの目標空燃比は、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎに基づいて設定される。具体的には、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定基準値Ｉｒｅｆｒｉ以下となったときに、目標空燃比はリーン設定空燃比とされ、その空燃比に維持される。出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定基準値Ｉｒｅｆｒｉ以下になるときとは、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理論空燃比よりも僅かにリッチである予め定められたリッチ判定空燃比（例えば、１４．５５）以下になったことを意味する。また、リーン設定空燃比は、理論空燃比よりも或る程度リーンである予め定められた空燃比であり、例えば、１４．６５～２０、好ましくは１４．６８～１８、より好ましくは１４．７～１６程度とされる。

[0101] 目標空燃比がリーン設定空燃比に変更されると、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが推定される。酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの推定は、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐ及びエアフロメータ３９等に基づいて算出される燃焼室５内への吸入空気量の推定値又は燃料噴射弁１１から

の燃料噴射量等に基づいて行われる。そして、酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの推定値が予め定められた判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆ以上になると、それまでリーン設定空燃比だった目標空燃比が、弱リッチ設定空燃比とされ、その空燃比に維持される。弱リッチ設定空燃比は、理論空燃比よりも僅かにリッチである予め定められた空燃比であり、例えば、１３．５～１４．５８、好ましくは１４～１４．５７、より好ましくは１４．３～１４．５５程度とされる。その後、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが再びリッチ判定基準値Ｉｒｅｆｒｉ以下となったときに、再び目標空燃比が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。

[0102] 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目標空燃比がリーン設定空燃比と弱リッチ設定空燃比とに交互に設定される。特に、本実施形態では、リーン設定空燃比の理論空燃比からの差は、弱リッチ設定空燃比の理論空燃比からの差よりも大きい。したがって、本実施形態では、目標空燃比は、短期間のリーン設定空燃比と、長期間の弱リッチ設定空燃比とに交互に設定されることになる。

[0103] ＜タイムチャートを用いた通常制御の説明＞

図１４を参照して、上述したような操作について具体的に説明する。図１４は、本発明の内燃機関の制御装置における空燃比制御を行った場合における、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃ、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎ、空燃比補正量ＡＦＣ、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐ、及び上流側排気浄化触媒２０から流出する排気ガス中のＮＯｘ濃度のタイムチャートである。

[0104] なお、上述したように、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐは、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比が理論空燃比であるときに零になり、当該排気ガスの空燃比がリッチ空燃比であるときに負の値となり、当該排気ガスの空燃比がリーン空燃比であるときに正の値となる。また、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ッチ空燃比又はリーン空燃比であるときには、理論空燃比からの差が大きくなるほど、上

流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐの絶対値が大きくなる。

[0105] 一方、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎ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リーン判定空燃比（理論空燃比よりも僅かにリーン）であるときに零になり、この排気ガスの空燃比がリーン判定空燃比よりもリッチであるときに負の値となり、この排気ガスの空燃比がリーン判定空燃比よりもリーンであるときに正の値となる。また、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判定空燃比よりもリーンであるときには、リーン判定空燃比からの差が大きくなるほど、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎの絶対値が大きくなる。

[0106] また、空燃比補正量ＡＦＣは、目標空燃比に関する補正量である。空燃比補正量ＡＦＣが０のときには目標空燃比は理論空燃比とされ、空燃比補正量ＡＦＣが正の値であるときには目標空燃比はリーン空燃比となり、空燃比補正量ＡＦＣが負の値であるときには目標空燃比はリッチ空燃比となる。

[0107] 図示した例では、時刻t_1以前の状態では、空燃比補正量ＡＦＣが弱リッチ設定補正量ＡＦＣｒｉｃｈとされている。弱リッチ設定補正量ＡＦＣｒｉｃｈは、弱リッチ設定空燃比に相当する値であり、０よりも小さな値である。したがって、目標空燃比はリッチ空燃比とされ、これに伴って上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐが負の値となる。上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガス中には未燃ガスが含まれることになるため、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは徐々に減少していく。しかしながら、排気ガス中に含まれている未燃ガスは、上流側排気浄化触媒２０で浄化され、上流側排気浄化触媒２０から流出する排気ガスの空燃比はほぼ理論空燃比となる。このため、下流側空燃比センサの出力電流Ｉｒｄｗｎは負の値（理論空燃比に相当）となる。このとき、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となっているため、上流側排気浄化触媒２０からのＮＯｘ排出量は抑制される。

[0108] 上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが徐々に減少すると、酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは時刻t_1において下限吸蔵量（図１３のＣｌｏｗｌｉｍ

参照）を超えて減少する。酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが下限吸蔵量よりも減少すると、上流側排気浄化触媒２０に流入した未燃ガスの一部は上流側排気浄化触媒２０で浄化されずに流出する。このため、時刻t_1以降、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが減少するのに伴って、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが徐々に低下する。このときも、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となっているため、上流側排気浄化触媒２０からのＮＯｘ排出量は抑制される。

[0109] その後、時刻t_2において、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定空燃比に相当するリッチ判定基準値Ｉｒｅｆｒｉに到達する。本実施形態では、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定基準値Ｉｒｅｆｒｉになると、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの減少を抑制すべく、空燃比補正量ＡＦＣがリーン設定補正量ＡＦＣｌｅａｎに切り替えられる。リーン設定補正量ＡＦＣｌｅａｎは、リーン設定空燃比に相当する値であり、０よりも大きな値である。したがって、目標空燃比はリーン空燃比とされる。

[0110] なお、本実施形態では、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定基準値Ｉｒｅｆｒｉに到達してから、すなわち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判定空燃比に到達してから、空燃比補正量ＡＦＣ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わずかにずれてしまう場合があるためである。すなわち、仮に出力電流Ｉｒｄｗｎが理論空燃比に相当する値から僅かにずれた場合にも酸素吸蔵量が下限吸蔵量を超えて減少していると判断してしまうと、実際には十分な酸素吸蔵量があっても、酸素吸蔵量が下限吸蔵量を超えて減少したと判断される可能性がある。そこで、本実施形態では、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リッチ判定空燃比に到達して始めて酸素吸蔵量が下限吸蔵量を超えて減少したと判断することとしている。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ほとんど到達することのないような空燃比とされる。

[0111] 時刻t_2において、目標空燃比をリーン空燃比に切り替えると、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比もリッチ空燃比からリーン空燃比に変化する（実際には、目標空燃比を切り替えてから上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比が変化するまでには遅れが生じるが、図示した例では便宜上同時に変化するものとしている）。

[0112] 時刻t_2において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に変化すると、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは増大する。また、これに伴って、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へと変化し、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎも理論空燃比に相当する負の値に収束する。なお、図示した例では、目標空燃比を切り替えた直後は、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが低下している。これは、目標空燃比を切り替えてからその排気ガスが下流側空燃比センサ４１に到達するまでに遅れが生じるためである。

[0113] このとき、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ーン空燃比となっているが、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵能力には十分な余裕があるため、流入する排気ガス中の酸素は上流側排気浄化触媒２０に吸蔵され、ＮＯｘは還元浄化される。このため、上流側排気浄化触媒２０からのＮＯｘ排出量は抑制される。

[0114] その後、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが増大すると、時刻t_3において酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆに到達する。本実施形態では、酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆ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、空燃比補正量ＡＦＣが弱リッチ設定補正量ＡＦＣｒｉｃｈ（０よりも小さな値）に切り替えられる。したがって、目標空燃比はリッチ空燃比とされる。

[0115] ただし、上述したように、目標空燃比を切り替えてから上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比が実際に変化するまでには遅れが生じる

。このため、時刻t_3にて切替を行っても、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比は或る程度時間が経過してからリーン空燃比からリッチ空燃比に変化する。したがって、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ッチ空燃比に変化するまでは、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは増大していく。

[0116] しかしながら、判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆは最大酸素吸蔵量Ｃｍａｘや上限吸蔵量（図１３のＣｕｐｌｉｍ参照）よりも十分に低く設定されているため、時刻t_3においても酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは最大酸素吸蔵量Ｃｍａｘや上限吸蔵量には到達しない。逆に言うと、判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆは、目標空燃比を切り替えてから上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比が実際に変化するまで遅延が生じても、酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが最大酸素吸蔵量Ｃｍａｘや上限吸蔵量に到達しないように十分少ない量とされる。例えば、判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆは、最大酸素吸蔵量Ｃｍａｘ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。したがって、時刻t_2～t_3においても、上流側排気浄化触媒２０からのＮＯｘ排出量は抑制される。

[0117] 時刻t_3以降においては、空燃比補正量ＡＦＣが弱リッチ設定補正量ＡＦＣｒｉｃｈとされている。したがって、目標空燃比はリッチ空燃比とされ、これに伴って上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐが負の値となる。上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガス中には未燃ガスが含まれることになるため、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは徐々に減少していき、時刻t_4において、時刻t_1と同様に、酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが下限吸蔵量を超えて減少する。このときも、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となっているため、上流側排気浄化触媒２０からのＮＯｘ排出量は抑制される。

[0118] 次いで、時刻t_5において、時刻t_2と同様に、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定基準値Ｉｒｅｆｒｉに到達する。これにより、空燃比補正量ＡＦＣがリーン設定空燃比に相当する値ＡＦＣｌｅａｎに切

り替えられる。その後、上述した時刻t_1～t_5のサイクルが繰り返される。

[0119] 以上の説明から分かるように上記実施形態によれば、上流側排気浄化触媒２０からのＮＯｘ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ＮＯｘ排出量を少ないものとすることができる。また、本実施形態においては、実質的に、時刻t_2～t_3においてのみ酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの推定を行えばよい。このため、長期間に亘って酸素吸蔵量を推定しなければならない場合よりも酸素吸蔵量の推定値に誤差が生じにくく、斯かる観点からも上流側排気浄化触媒２０からのＮＯｘ排出量を抑制することができる。加えて、排気浄化触媒の酸素吸蔵量が一定に維持されると、その排気浄化触媒の酸素吸蔵能力が低下する。これに対して、本実施形態によれば、酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは常に上下に変動しているため、酸素吸蔵能力が低下することが抑制される。

[0120] なお、上記実施形態では、時刻t_2～t_3において、空燃比補正量ＡＦＣはリーン設定補正量ＡＦＣｌｅａｎに維持される。しかしながら、斯かる期間において、空燃比補正量ＡＦＣは必ずしも一定に維持されている必要はなく、徐々に減少させたり、一時的にリッチ空燃比にしたりする等、変動するように設定されてもよい。同様に、上記実施形態では、時刻t_3～t_5において、空燃比補正量ＡＦＣは弱リッチ設定補正量ＡＦｒｉｃｈに維持される。しかしながら、斯かる期間において、空燃比補正量ＡＦＣは必ずしも一定に維持されている必要はなく、徐々に減少させたり、一時的にリーン空燃比にしたりする等、変動するように設定されてもよい。

[0121] ただし、この場合であっても、時刻t_2～t_3における空燃比補正量ＡＦＣは、当該期間における目標空燃比の平均値と理論空燃比との差が、時刻t_3～t_5における目標空燃比の平均値と理論空燃比との差よりも大きくなるように設定される。

[0122] また、上記実施形態では、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐ及び燃焼室５内への吸入空気量の推定値等に基づいて、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが推定されている。しかしながら、酸素吸蔵量Ｏ

ＳＡｓｃはこれらパラメータに加えて他のパラメータに基づいて算出されてもよいし、これらパラメータとは異なるパラメータに基づいて推定されてもよい。また、上記実施形態では、酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの推定値が判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆ以上になると、目標空燃比がリーン設定空燃比から弱リッチ設定空燃比へと切り替えられる。しかしながら、目標空燃比をリーン設定空燃比から弱リッチ設定空燃比へと切り替えるタイミングは、例えば目標空燃比を弱リッチ設定空燃比からリーン設定空燃比へ切り替えてからの機関運転時間等、他のパラメータを基準としてもよい。ただし、この場合であっても、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが最大酸素吸蔵量よりも少ないと推定される間に、目標空燃比をリーン設定空燃比から弱リッチ設定空燃比へと切り替えることが必要となる。

[0123] 以上を考慮すると、本実施形態では、ＥＣＵ３１は、下流側空燃比センサ４１によって検出された排気ガスの空燃比がリッチ判定空燃比以下となったときに、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆとなるまで、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの目標空燃比を継続的又は断続的にリーン設定空燃比にする酸素吸蔵量増加手段と、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆ以上となったときに、酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが最大酸素吸蔵量Ｃｍａｘに達することなく零に向けて減少するように、目標空燃比を継続的又は断続的に弱リッチ設定空燃比にする酸素吸蔵量減少手段とを具備するといえる。

[0124] ところで、上述したような空燃比制御を行っている場合であっても、上流側排気浄化触媒２０からＮＯｘを含む排気ガスが流出してしまう場合がある。例えば、上流側排気浄化触媒２０が劣化して、上流側排気浄化触媒２０の最大酸素吸蔵量Ｃｍａｘが減少したような場合には、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆに達する前に最大酸素吸蔵量Ｃｍａｘに達する。また、例えば、何らかの要因で上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比が一時的に理論空燃比よりも大きくリーンになったりリーン継続時間が長くなってしまった場合においても、上流側

排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは最大酸素吸蔵量Ｃｍａｘに到達することがある。

[0125] そこで、本実施形態では、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが最大酸素吸蔵量Ｃｍａｘ近傍にまで到達して、上流側排気浄化触媒２０からＮＯｘ及び酸素が流出するような場合には、目標空燃比を弱リッチ設定空燃比に切り替えることとしている。具体的には、下流側空燃比センサ４１によって検出された空燃比が、理論空燃比よりも僅かにリーンなリーン判定空燃比以上となった場合には、目標空燃比を弱リッチ設定空燃比に切り替えることとしている。

[0126] 図１４における中央の波線よりも右側の領域は、例として、上流側排気浄化触媒２０が劣化して、上流側排気浄化触媒２０の最大酸素吸蔵量Ｃｍａｘが、減少した場合を示している。時刻t_6では、時刻t_1と同様に、酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが下限吸蔵量を超えて減少し、上流側排気浄化触媒２０に流入した排気ガス中の酸素及びＮＯｘの一部は上流側排気浄化触媒２０から流出する。その後、時刻t_7において、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定基準値Ｉｒｅｆｒｉ以下になるため、空燃比補正量ＡＦＣがリーン設定補正量ＡＦＣｌｅａｎに切り替えられる。したがって、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの目標空燃比はリーン空燃比とされる。

[0127] その後、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが増大していくと、最大酸素吸蔵量Ｃｍａｘが減少していることから、酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは時刻t_8において上限吸蔵量（図１３Ｃｕｐｌｉｍ参照）を超えて増大する。酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが上限吸蔵量よりも増大すると、上流側排気浄化触媒２０に流入したＮＯｘ及び酸素の一部は上流側排気浄化触媒２０で浄化又は吸蔵されずに流出する。このため、時刻t_8以降、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが増大するのに伴って、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが徐々に増大する。

[0128] その後、時刻t_9において、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリーン判定空燃比に相当する零に達する。本実施形態では、下流側空燃比

センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが零になると、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの増大を抑制すべく、空燃比補正量ＡＦＣが弱リッチ設定補正量に切り替えられる。したがって、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの目標空燃比はリッチ空燃比とされる。なお、本実施形態では、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが零になると、空燃比補正量ＡＦＣを弱リッチ設定補正量としているが、目標空燃比をリッチ空燃比とすることができれば、他の値であってもよい。

[0129] 時刻t_gにおいて、目標空燃比をリッチ空燃比に切り替えると、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比もリーン空燃比からリッチ空燃比に変化し、その結果、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは減少する。また、これに伴って、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へと変化し、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎも理論空燃比に相当する値に収束する。なお、図示した例では、目標空燃比を切り替えた直後は、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが増大している。これは、目標空燃比を切り替えてからその排気ガスが下流側空燃比センサ４１に到達するまでに遅れが生じるためである。

[0130] このように、本実施形態では、上流側排気浄化触媒２０から流出する排気ガス中に酸素が含まれていること、すなわちＮＯｘが含まれていることが下流側空燃比センサ４１によって検出されると、目標空燃比がリッチ空燃比に切り替えられる。これにより、上流側排気浄化触媒２０からＮＯｘが流出するのを最小限に抑えることができる。

[0131] さらに、本実施形態では、上述したように、下流側空燃比センサ４１によってリーン判定空燃比における絶対値を正確に検出することができる。図２を用いて説明したように、従来の空燃比センサでは、理論空燃比以外の空燃比についてその絶対値を正確に検出することは困難であった。このため、従来の空燃比センサにおいて経年劣化や個体差等によりその出力電流に誤差が生じると、上流側排気浄化触媒２０から流出する排気ガスの実際の空燃比がリーン判定空燃比とは異なる場合でも、空燃比センサの出力電流がリーン判

定空燃比に相当する値となってしまう。この結果、上流側排気浄化触媒２０からの酸素及びＮＯｘの流出に伴って空燃比補正量ＡＦＣを弱リッチ設定補正量ＡＦＣｒｉｃｈへ切り替えるタイミングが遅れたり、或いは切替不要なタイミングで斯かる切替が行われたりする。これに対して、本実施形態では、下流側空燃比センサ４１によってリーン判定空燃比における絶対値を正確に検出することができる。このため空燃比補正量ＡＦＣの弱リッチ設定補正量ＡＦＣｒｉｃｈへの切替タイミングにおける遅れや、切替不要なタイミングでの切替を抑制することができる。

[0132] ＜具体的な制御の説明＞

次に、図１５及び図１６を参照して、上記実施形態における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１５に示したように、Ａ１～Ａ９の各機能ブロックを含んで構成されている。以下、図１５を参照しながら各機能ブロックについて説明する。

[0133] ＜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。

[0134] 筒内吸入空気量算出手段Ａ１は、エアフロメータ３９によって計測される吸入空気流量Ｇａと、クランク角センサ４４の出力に基づいて算出される機関回転数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。

[0135] 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、後述する目標空燃比設定手段Ａ６によって算出された目標空燃比ＡＦＴで除算することにより、基本燃料噴射量Ｑｂａｓｅを算出する（Ｑｂａｓｅ＝Ｍｃ／ＡＦＴ）。

[0136] 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噴射量Ｑｂａｓｅに、後述するＦ／Ｂ補正量ＤＱｉを加えることで燃料噴射量Ｑｉを算出する（Ｑｉ＝Ｑｂａｓｅ＋ＤＱｉ）。このように

して算出された燃料噴射量Ｑｉの燃料が燃料噴射弁１１から噴射されるように、燃料噴射弁１１に対して噴射指示が行われる。

[0137] ＜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、酸素吸蔵量算出手段Ａ４、目標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。

[0138] 酸素吸蔵量算出手段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Ｑｉ及び上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐに基づいて上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量の推定値ＯＳＡｅｓｔを算出する。例えば、酸素吸蔵量算出手段Ａ４は、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐに対応する空燃比と理論空燃比との差分に燃料噴射量Ｑｉを乗算すると共に、求めた値を積算することによって酸素吸蔵量の推定値ＯＳＡｅｓｔを算出する。なお、酸素吸蔵量算出手段Ａ４による上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量の推定は、常時行われていなくてもよい。例えば目標空燃比がリッチ空燃比からリーン空燃比へ実際に切り替えられたとき（図１４における時刻t_2）から、酸素吸蔵量の推定値ＯＳＡｅｓｔが判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆに到達する（図１４における時刻t_3）までの間のみ酸素吸蔵量を推定してもよい。

[0139] 目標空燃比補正量算出手段Ａ５では、酸素吸蔵量算出手段Ａ４によって算出された酸素吸蔵量の推定値ＯＳＡｅｓｔと、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎとに基づいて、目標空燃比の空燃比補正量ＡＦＣが算出される。具体的には、空燃比補正量ＡＦＣは、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定空燃比に相当するリッチ判定基準値Ｉｒｅｆｒｉ以下となったときに、リーン設定補正量ＡＦＣｌｅａｎとされる。その後、酸素吸蔵量の推定値ＯＳＡｅｓｔが判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆに到達すると、空燃比補正量ＡＦＣは、弱リッチ設定補正量ＡＦＣｒｉｃｈとされ、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定基準値Ｉｒｅｆｒｉ以下となるまで、弱リッチ設定補正量ＡＦＣｒｉｃｈに維持される。加えて

、本実施形態では、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが零以上となったときには、空燃比補正量ＡＦＣは、弱リッチ設定補正量ＡＦＣｌｅａｎとされる。

[0140] 目標空燃比設定手段Ａ６は、基準となる空燃比、本実施形態では理論空燃比ＡＦＲに、目標空燃比補正量算出手段Ａ５で算出された空燃比補正量ＡＦＣを加算することで、目標空燃比ＡＦＴを算出する。したがって、目標空燃比ＡＦＴは、理論空燃比ＡＦＲよりも僅かにリッチである弱リッチ設定空燃比（空燃比補正量ＡＦＣが弱リッチ設定補正量ＡＦＣｒｉｃｈの場合）か、又は理論空燃比ＡＦＲよりも或る程度リーンであるリーン設定空燃比（空燃比補正量ＡＦＣがリーン設定補正量ＡＦＣｌｅａｎの場合）のいずれかとされる。このようにして算出された目標空燃比ＡＦＴは、基本燃料噴射量算出手段Ａ２及び後述する空燃比差算出手段Ａ８に入力される。

[0141] 図１６は、空燃比補正量ＡＦＣの算出制御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。

[0142] 図１６に示したように、まず、ステップＳ１１において空燃比補正量ＡＦＣの算出条件が成立しているか否かが判定される。空燃比補正量の算出条件が成立している場合とは、例えば燃料カット制御中ではないこと等が挙げられる。ステップＳ１１において目標空燃比の算出条件が成立していると判定された場合には、ステップＳ１２へと進む。Ｓ１２では、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐ、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎ、燃料噴射量Ｑｉが取得せしめられる。次いでステップＳ１３では、ステップＳ１２で取得された上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐ及び燃料噴射量Ｑｉに基づいて酸素吸蔵量の推定値ＯＳＡｅｓｔが算出される。

[0143] 次いでステップＳ１４において、リーン設定フラグＦｒが０に設定されているか否かが判定される。リーン設定フラグＦｒは、空燃比補正量ＡＦＣがリーン設定補正量ＡＦＣｌｅａｎに設定されると１とされ、それ以外の場合には０とされる。ステップＳ１４においてリーン設定フラグＦｒが０に設定

されている場合には、ステップＳ１５へと進む。ステップＳ１５では、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリーン判定基準値Ｉｒｅｆｒｉ以下であるか否かが判定される。下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリーン判定基準値Ｉｒｅｆｒｉよりも大き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。

[0144] 一方、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが減少して、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低下すると、ステップＳ１５において下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリーン判定基準値Ｉｒｅｆｒｉ以下であると判定される。この場合には、ステップＳ１６へと進み、空燃比補正量ＡＦＣがリーン設定補正量ＡＦＣｌｅａｎとされる。次いで、ステップＳ１７では、リーン設定フラグＦｒが１に設定され、制御ルーチンが終了せしめられる。

[0145] 次の制御ルーチンにおいては、ステップＳ１４において、リーン設定フラグＦｒが０に設定されていないと判定されて、ステップＳ１８へと進む。ステップＳ１８では、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが零よりも小さいか否かが判定される。下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが零よりも小さいと判定された場合にはステップＳ１９へと進む。ステップＳ１９では、ステップＳ１３で算出された酸素吸蔵量の推定値ＯＳＡｅｓｔが判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆよりも少ないか否かが判定される。酸素吸蔵量の推定値ＯＳＡｅｓｔが判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆよりも少ないと判定された場合にはステップＳ２０へと進み、空燃比補正量ＡＦＣが引き続きリーン設定補正量ＡＦＣｌｅａｎとされる。

[0146] 一方、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量が増大すると、やがてステップＳ１８において酸素吸蔵量の推定値ＯＳＡｅｓｔが判定基準吸蔵量Ｃｒｅｆ以上であると判定されてステップＳ２１へと進む。また、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量が最大酸素吸蔵量近傍にまで達して、上流側排気浄化触媒２０からＮＯｘ及び酸素が流出すると、ステップＳ１８において、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが零以上であると判定され、ステ

ップＳ２１へと進む。ステップＳ２１では、空燃比補正量ＡＦＣが弱リッチ設定補正量ＡＦＣｒｉｃｈとされ、次いで、ステップＳ２２では、リーン設定フラグＦｒが０にリセットされ、制御ルーチンが終了せしめられる。

[0147] ＜Ｆ／Ｂ補正量の算出＞

再び図１５に戻って、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐ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、数値変換手段Ａ７、空燃比差算出手段Ａ８、Ｆ／Ｂ補正量算出手段Ａ９が用いられる。

[0148] 数値変換手段Ａ７は、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐと、空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐと空燃比との関係を規定したマップ又は計算式とに基づいて、出力電流Ｉｒｕｐに相当する上流側排気空燃比ＡＦｕｐを算出する。したがって、上流側排気空燃比ＡＦｕｐは、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比に相当する。

[0149] 空燃比差算出手段Ａ８は、数値変換手段Ａ７によって求められた上流側排気空燃比ＡＦｕｐから目標空燃比設定手段Ａ６によって算出された目標空燃比ＡＦＴを減算することによって空燃比差ＤＡＦを算出する（ＤＡＦ＝ＡＦｕｐ－ＡＦＴ）。この空燃比差ＤＡＦは、目標空燃比ＡＦＴに対する燃料供給量の過不足を表す値である。

[0150] Ｆ／Ｂ補正量算出手段Ａ９は、空燃比差算出手段Ａ８によって算出された空燃比差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ＤＦｉを算出する。このようにして算出されたＦ／Ｂ補正量ＤＦｉは、燃料噴射量算出手段Ａ３に入力される。

ＤＦｉ＝Ｋｐ・ＤＡＦ＋Ｋｉ・ＳＤＡＦ＋Ｋｄ・ＤＤＡＦ　　…（１）

[0151] なお、上記式（１）において、Ｋｐは予め設定された比例ゲイン（比例定数）、Ｋｉは予め設定された積分ゲイン（積分定数）、Ｋｄは予め設定された微分ゲイン（微分定数）である。また、ＤＤＡＦは、空燃比差ＤＡＦの時間微分値であり、今回更新された空燃比差ＤＡＦと前回更新されていた空燃

比差ＤＡＦとの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差ＤＡＦを加算することで算出される（ＳＤＡＦ＝ＤＤＡＦ＋ＤＡＦ）。

[0152] なお、上記実施形態では、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比を上流側空燃比センサ４０によって検出している。しかしながら、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比の検出精度は必ずしも高い必要はないことから、例えば、燃料噴射弁１１からの燃料噴射量及びエアフロメータ３９の出力に基づいてこの排気ガスの空燃比を推定するようにしてもよい。

[0153] ＜第二実施形態＞

次に、図１７を参照して、本発明の第二実施形態に係る内燃機関の制御装置について説明する。第二実施形態に係る内燃機関の制御装置の構成は、基本的に、第一実施形態に係る内燃機関の制御装置の構成と同様である。しかしながら、本実施形態の制御装置は、第一実施形態における制御とは異なる空燃比制御を行っている。

[0154] ＜第二実施形態における空燃比制御の概要＞

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目標空燃比は、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎ及び上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃに基づいて設定される。具体的には、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定基準値Ｉｒｒｉｃｈ以下となったときに、下流側空燃比センサ４１によって検出された排気ガスの空燃比がリッチ空燃比になったと判断される。この場合、リーン切替手段により、目標空燃比がリーン設定空燃比とされ、その空燃比に維持される。リーン設定空燃比は、理論空燃比よりも或る程度リーンである予め定められた空燃比であり、例えば、１４．６５～２０、好ましくは１４．６８～１８、より好ましくは１４．７～１６程度とされる。

[0155] その後、目標空燃比をリーン設定空燃比に設定した状態で上流側排気浄化

触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが零よりも多い所定の吸蔵量に到達すると、リーン度合い低下手段により、目標空燃比が弱リーン設定空燃比に切り替えられる（なお、このときの酸素吸蔵量を「リーン度合い変更基準吸蔵量」という）。弱リーン設定空燃比は、リーン設定空燃比よりも理論空燃比からの差が小さいリーン空燃比であり、例えば、１４．６２～１５．７、好ましくは１４．６３～１５．２、より好ましくは１４．６５～１４．９程度とされる。また、リーン度合い変更基準吸蔵量は、零からの差が所定の変更基準差αである吸蔵量とされる。

[0156] 一方、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが零（理論空燃比よりも僅かにリーンである予め定められたリーン判定空燃比に相当）以上となったときには、下流側空燃比センサ４１によって検出された排気ガスの空燃比がリーン空燃比になったと判断される。この場合、リッチ切替手段により、目標空燃比がリッチ設定空燃比に設定される。リッチ設定空燃比は、理論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、１０～１４．５５、好ましくは１２～１４．５２、より好ましくは１３～１４．５程度とされる。

[0157] その後、目標空燃比をリッチ設定空燃比に設定した状態で上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが最大吸蔵量よりも少ない所定の吸蔵量に到達すると、リッチ度合い低下手段により、目標空燃比が弱リッチ設定空燃比に切り替えられる（なお、このときの酸素吸蔵量を「リッチ度合い変更基準吸蔵量」という）。弱リッチ設定空燃比は、リッチ設定空燃比よりも理論空燃比からの差が小さいリッチ空燃比であり、例えば、１３．５～１４．５８、好ましくは１４～１４．５７、より好ましくは１４．３～１４．５５程度とされる。また、リッチ度合い変更基準吸蔵量は、最大酸素吸蔵量からの差が上記所定の変更基準差αである吸蔵量とされる。

[0158] この結果、本実施形態では、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定基準値Ｉｒｒｉｃｈ以下になると、まず、目標空燃比がリーン設定空燃比に設定され、その後、酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが或る程度多くな

ると弱リーン設定空燃比に設定される。その後、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが零以上になると、まず、目標空燃比がリッチ設定空燃比に設定され、その後、酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃがある程度少なくなると弱リッチ設定空燃比に設定され、同様な操作が繰り返される。

[0159] ＜タイムチャートを用いた制御の説明＞

図１７を参照して、上述したような操作について具体的に説明する。図１７は、本実施形態に係る内燃機関の制御装置における空燃比制御を行った場合の、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃ等のタイムチャートである。

[0160] 図示した例では、時刻t_1以前の状態では、目標空燃比の空燃比補正量ＡＦＣが弱リッチ設定補正量ＡＦＣｓｒｉｃｈとされている。弱リッチ設定補正量ＡＦＣｓｒｉｃｈは、弱リッチ設定空燃比に相当する値であり、０よりも小さな値である。したがって、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの目標空燃比はリッチ空燃比とされ、これに伴って上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐが負の値となる。上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガス中には未燃ガスが含まれることになるため、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは徐々に減少していく。なお、このときには、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガス中の未燃ガスは上流側排気浄化触媒２０に吸蔵されている酸素により酸化、浄化される。このため、上流側排気浄化触媒２０からの酸素（及びＮＯｘ）排出量のみならず未燃ガス排出量も抑制される。

[0161] 上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが徐々に減少すると、時刻t_1において、酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは下限吸蔵量（図１３のＣｌｏｗｌｉｍ参照）を超えて減少する。酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが下限吸蔵量よりも減少すると、上流側排気浄化触媒２０に流入した未燃ガスの一部は上流側排気浄化触媒２０で浄化されずに流出する。このため、時刻t_1以降、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが減少するのに伴って、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが徐々に低下する。なお、上流側排気浄化触

媒２０から流出した排気ガス中に含まれる未燃ガスは、下流側排気浄化触媒２４によって酸化、浄化される。

[0162] その後、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎは徐々に低下して、時刻t_2においてリッチ判定空燃比に相当するリッチ判定基準値Ｉｒｒｉｃｈに到達する。本実施形態では、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定基準値Ｉｒｒｉｃｈ以下になると、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの減少を抑制すべく、空燃比補正量ＡＦＣがリーン設定補正量ＡＦＣｇｌｅａｎに切り替えられる。リーン設定補正量ＡＦＣｇｌｅａｎは、リーン設定空燃比に相当する値であり、０よりも大きい値である。

[0163] なお、本実施形態では、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定基準値Ｉｒｒｉｃｈに到達してから、すなわち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判定空燃比に到達してから、空燃比補正量ＡＦＣ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わずかにずれてしまう場合があるためである。すなわち、仮に出力電流Ｉｒｄｗｎが理論空燃比に相当する値から僅かにずれた場合にも上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量が下限吸蔵量を超えて減少していると判断してしまうと、実際には十分な酸素吸蔵量があっても酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが下限吸蔵量を超えて減少したと判断される可能性がある。そこで、本実施形態では、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リッチ判定空燃比に到達して始めて酸素吸蔵量が下限吸蔵量を超えて減少したと判断することとしている。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ほとんど到達することのないような空燃比とされる。なお、後述するリーン判定空燃比についても同じことがいえる。

[0164] 時刻t_2において、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの目標空燃

比をリーン設定空燃比に切り替えると、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比もリッチ空燃比からリーン空燃比に変化する。時刻t_2において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に変化すると、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐは正の値になると共に、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは増大し始める。

[0165] なお、図示した例では、目標空燃比を切り替えた直後は、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが低下している。これは、目標空燃比を切り替えてからその排気ガスが上流側排気浄化触媒２０に到達するまでに遅れが生じ、上流側排気浄化触媒２０から未燃ガスが流出したままとなるためである。

[0166] その後、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの増大に伴って、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へと変化し、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎも大きくなる。このため、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎは、時刻t_3以降においてリッチ判定基準値Ｉｒｒｉｃｈよりも大きくなる。この間も、目標空燃比の空燃比補正量ＡＦＣは、リーン設定補正量ＡＦＣｇｌｅａｎに維持され、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐは正の値に維持される。

[0167] 上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの増大が続くと、時刻t_4においてリーン度合い変更基準吸蔵量Ｃｌｅａｎに到達する。本実施形態では、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃがリーン度合い変更基準吸蔵量Ｃｌｅａｎ以上になると、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの増加速度を遅くすべく、空燃比補正量ＡＦＣが弱リーン設定補正量ＡＦＣｓｌｅａｎに切り替えられる。弱リーン設定補正量ＡＦＣｓｌｅａｎは、弱リーン設定空燃比に相当する値であって、ＡＦＣｇｌｅａｎよりも小さく且つ０よりも大きな値である。

[0168] 時刻t_4において、目標空燃比を弱リーン設定空燃比に切り替えると、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比の理論空燃比に対する差も小さくなる。これに伴って、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐの

値は小さくなると共に、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの増加速度が低下する。なお、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガス中の酸素及びＮＯｘは、上流側排気浄化触媒２０に吸蔵及び浄化される。このため、上流側排気浄化触媒２０からの未燃ガス排出量のみならずＮＯｘ排出量も抑制される。

[0169] 時刻t_4以降においては、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは、その増加速度が遅いながらも徐々に増加していく。上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが徐々に増加すると、時刻t_5において、酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは上限吸蔵量（図１３のＣｕｐｌｉｍ参照）を超えて増加する。酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが上限吸蔵量よりも増大すると、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する。このため、時刻t_5以降、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃが増加するのに伴って、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが徐々に上昇する。なお、上流側排気浄化触媒２０において酸素の一部が吸蔵されなくなるのに伴ってＮＯｘも還元、浄化されなくなるが、このＮＯｘは下流側排気浄化触媒２４によって還元、浄化される。

[0170] その後、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎは徐々に上昇して、時刻t_6においてリーン判定空燃比に相当する零に到達する。本実施形態では、下流側空燃比センサ４１の出力電流が零以上になると、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの増大を抑制すべく、空燃比補正量ＡＦＣがリッチ設定補正量ＡＦＣｇｒｉｃｈに切り替えられる。リッチ設定補正量ＡＦＣｇｒｉｃｈは、リッチ設定空燃比に相当する値であり、０よりも小さい値である。

[0171] 時刻t_6において、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの目標空燃比をリッチ設定空燃比に切り替えると、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比もリーン空燃比からリッチ空燃比に変化する。時刻t_6において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ッチ空燃比に変化すると、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐは負の値になると

共に、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは減少し始める。

[0172] その後、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの減少に伴って、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へと変化し、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎも小さくなる。このため、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎは、時刻t_7以降において零以下になる。この間も、目標空燃比の空燃比補正量ＡＦＣは、リッチ設定補正量ＡＦＣｇｒｉｃｈに維持され、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐは負の値に維持される。

[0173] 上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの減少が続くと、時刻t_8においてリッチ度合い変更基準吸蔵量Ｃｒｉｃｈに到達する。本実施形態では、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃがリッチ度合い変更基準吸蔵量Ｃｒｉｃｈ以下になると、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの減少速度を遅くすべく、空燃比補正量ＡＦＣが弱リッチ設定補正量ＡＦＣｓｒｉｃｈに切り替えられる。弱リッチ設定補正量ＡＦＣｓｒｉｃｈは、弱リッチ設定空燃比に相当する値であり、ＡＦＣｇｒｉｃｈよりも大きく且つ０よりも小さな値である。

[0174] 時刻t_8において、目標空燃比を弱リッチ設定空燃比に切り替えると、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの空燃比の理論空燃比に対する差も小さくなる。これに伴って、上流側空燃比センサ４０の出力電流Ｉｒｕｐの値は大きくなると共に、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの減少速度が低下する。なお、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガス中の未燃ガスは、上流側排気浄化触媒２０において酸化、浄化される。このため、上流側排気浄化触媒２０からの酸素及びＮＯｘ排出量のみならず未燃ガス排出量も抑制される。

[0175] 時刻t_8以降においては、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃは、その減少速度が遅いながらも徐々に減少していき、その結果、上流側排気浄化触媒２０から未燃ガスが流出し始め、その結果、時刻t_2と同様に下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定基準値Ｉｒｒｉｃｈ

に到達する。その後は、時刻t_1～t_8の操作と同様な操作が繰り返される。

[0176] ＜本実施形態の制御における作用効果＞

上述した本実施形態の空燃比制御によれば、時刻t_2において目標空燃比がリッチ空燃比からリーン空燃比に変更された直後、及び時刻t_6において目標空燃比がリーン空燃比からリッチ空燃比に変更された直後には、理論空燃比からの差が大きなものとされる（すなわち、リッチ度合い又はリーン度合いが大きいものとされる）。このため、時刻t_2において上流側排気浄化触媒２０から流出していた未燃ガス及び時刻t_6において上流側排気浄化触媒２０から流出していたＮＯｘを迅速に減少させることができる。したがって、上流側排気浄化触媒２０からの未燃ガス及びＮＯｘの流出を抑制することができる。

[0177] また、本実施形態の空燃比制御によれば、時刻t_2において目標空燃比をリーン設定空燃比に設定した後、上流側排気浄化触媒２０からの未燃ガスの流出が止まり且つ上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃがある程度回復してから、時刻t_4において目標空燃比が弱リーン設定空燃比に切り替えられる。このように目標空燃比の理論空燃比からの差を小さくすることにより、時刻t_4から時刻t_5において、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの増加速度を遅くすることができる。これにより、時刻t_4から時刻t_6までの時間間隔を長くすることができる。この結果、単位時間当たりにおける上流側排気浄化触媒２０からのＮＯｘや未燃ガスの流出量を減少させることができる。さらに、上記空燃比制御によれば、時刻t_5において、上流側排気浄化触媒２０からＮＯｘが流出するときにもその流出量を少なく抑えることができる。したがって、上流側排気浄化触媒２０からのＮＯｘの流出を抑制することができる。

[0178] 加えて、本実施形態の空燃比制御によれば、時刻t_6において目標空燃比をリッチ設定空燃比に設定した後、上流側排気浄化触媒２０からのＮＯｘ（酸素）の流出が止まり且つ上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃがある程度減少してから、時刻t_8において目標空燃比が弱リッチ設定空燃比に

切り替えられる。このように目標空燃比の理論空燃比からの差を小さくすることにより、時刻t_8から時刻t_1において、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃの減少速度を遅くすることができる。これにより、時刻t_8から時刻t_1までの時間間隔を長くすることができる。この結果、単位時間当たりにおける上流側排気浄化触媒２０からのＮＯｘや未燃ガスの流出量を減少させることができる。さらに、上記空燃比制御によれば、時刻t_1において、上流側排気浄化触媒２０から未燃ガスが流出するときにもその流出量を少なく抑えることができる。したがって、上流側排気浄化触媒２０からの未燃ガスの流出を抑制することができる。

[0179] さらに、本実施形態においても、上述したように、下流側空燃比センサ４１によってリーン判定空燃比における絶対値を正確に検出することができる。このため、空燃比補正量ＡＦＣの弱リッチ設定補正量ＡＦＣｒｉｃｈへの切替タイミングに遅れが生じて、上流側排気浄化触媒２０からＮＯｘが流出してしまうことが抑制される。加えて、切替不要なタイミングでの切替を抑制することができる。

[0180] なお、上記実施形態では、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃがリーン度合い変更基準吸蔵量Ｃｌｅａｎ以上となったときに、目標空燃比を理論空燃比からの差が小さくなるように変化させている。しかしながら、目標空燃比を理論空燃比からの差が小さくなるように変化させるタイミングは、時刻t_2～t_6の間のいつでもよい。例えば、図１８に示したように、下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎがリッチ判定基準値Ｉｒｒｉｃｈ以上になったときに、目標空燃比を理論空燃比からの差を小さくなるように変化させてもよい。

[0181] 同様に、上記実施形態では、上流側排気浄化触媒２０の酸素吸蔵量ＯＳＡｓｃがリッチ度合い変更基準吸蔵量Ｃｒｉｃｈ以下となったときに、目標空燃比を理論空燃比からの差が小さくなるように変化させている。しかしながら、目標空燃比を理論空燃比からの差が小さくなるように変化させるタイミングは、時刻t_6～t_2の間のいつでもよい。例えば、図１８に示したように、

下流側空燃比センサ４１の出力電流Ｉｒｄｗｎが零以下になったときに、目標空燃比を理論空燃比からの差が小さくなるように変化させてもよい。

[0182] さらに、上記実施形態では、時刻t_4～t_6の間、及び時刻t_8～t_2の間、目標空燃比は弱リーン設定空燃比又は弱リッチ設定空燃比に固定されている。しかしながら、これら期間において、目標空燃比は、その差が段階的に小さくなるように設定されてもよいし、その差が連続的に小さくなるように設定されてもよい。

[0183] これらをまとめて表現すると、本発明によれば、ＥＣＵ３１は、下流側空燃比センサ４１の出力電流が理論空燃比よりもリッチなリッチ判定空燃比に相当する値以下になったときに、上流側排気浄化触媒２０に流入する排気ガスの目標空燃比をリーン設定空燃比まで変化させる空燃比リーン切替手段と、空燃比リーン切替手段によって目標空燃比を変化させた後であって下流側空燃比センサ４１の出力電流が零以上になる前に目標空燃比をリーン設定空燃比よりも理論空燃比からの差が小さいリーン空燃比に変化させるリーン度合い低下手段と、下流側空燃比センサ４１の出力電流が零以上になったときに、目標空燃比をリッチ設定空燃比まで変化させる空燃比リッチ切替手段と、空燃比リッチ切替手段によって空燃比を変化させた後であって下流側空燃比センサ４１の出力電流が前記リッチ判定空燃比に相当する値以下となる前に目標空燃比をリッチ設定空燃比よりも理論空燃比からの差が小さいリッチ空燃比に変化させるリッチ度合い低下手段とを具備すると言える。

[0184] なお、本明細書において、排気浄化触媒の酸素吸蔵量は、最大酸素吸蔵量と零との間で変化するものとして説明している。このことは、排気浄化触媒によって更に吸蔵可能な酸素の量が、零（酸素吸蔵量が最大酸素吸蔵量である場合）と最大値（酸素吸蔵量が零である場合）の間で変化することを意味するものである。

符号の説明

[0185] ５ 燃焼室

６ 吸気弁

８　排気弁

１０　点火プラグ

１１　燃料噴射弁

１３　吸気枝管

１５　吸気管

１８　スロットル弁

１９　排気マニホルド

２０　上流側排気浄化触媒

２１　上流側ケーシング

２２　排気管

２３　下流側ケーシング

２４　下流側排気浄化触媒

３１　ＥＣＵ

３９　エアフロメータ

４０　上流側空燃比センサ

４１　下流側空燃比センサ

請求の範囲

[請求項1] 内燃機関の排気通路に設けられた酸素を吸蔵可能な排気浄化触媒と、該排気浄化触媒よりも排気流れ方向下流側において前記排気通路に設けられた下流側空燃比センサと、該下流側空燃比センサの出力に応じて内燃機関を制御する機関制御装置とを具備する、内燃機関の制御装置において、

前記下流側空燃比センサは、排気空燃比に応じて出力電流が零となる印加電圧が変化すると共に、排気空燃比が理論空燃比であるときに当該下流側空燃比センサにおける印加電圧を増大させるとこれに伴って出力電流が増大するように構成されており、

前記下流側空燃比センサによって排気ガスの空燃比を検出するときには、該下流側空燃比センサにおける印加電圧は一定電圧に固定され、該一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比よりもリーンである予め定められた空燃比であるときに出力電流が零となる電圧である、内燃機関の制御装置。

[請求項2] 前記機関制御装置は、前記下流側空燃比センサの出力電流が零になったときに排気空燃比が前記予め定められた空燃比であると判断する、請求項１に記載の内燃機関の制御装置。

[請求項3] 前記排気浄化触媒よりも排気流れ方向上流側において前記排気通路に設けられた上流側空燃比センサを更に具備し、

前記機関制御装置は、前記上流側空燃比センサによって検出される空燃比が目標空燃比となるように前記排気浄化触媒に流入する排気ガスの空燃比を制御する、請求項１又は２に記載の内燃機関の制御装置。

[請求項4] 前記上流側空燃比センサは、排気空燃比に応じて出力電流が零となる印加電圧が変化すると共に、排気空燃比が理論空燃比であるときに当該上流側空燃比センサにおける印加電圧を増大させるとこれに伴って出力電流が増大するように構成されており、

前記上流側空燃比センサによって排気ガスの空燃比を検出するときには、前記上流側空燃比センサにおける印加電圧は一定電圧に固定され、該一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比であるときに出力電流が零となる電圧である、請求項３に記載の内燃機関の制御装置。

［請求項5］ 前記上流側空燃比センサは、排気空燃比に応じて出力電流が零となる印加電圧が変化すると共に、排気空燃比が理論空燃比であるときに当該上流側空燃比センサにおける印加電圧を増大させるとこれに伴って出力電流が増大するように構成されており、

前記下流側空燃比センサにおける印加電圧は、前記上流側空燃比センサの印加電圧よりも低い、請求項３又は４に記載の内燃機関の制御装置。

［請求項6］ 前記機関制御装置は、前記上流側空燃比センサの出力電流が零以上となったときには、前記排気浄化触媒に流入する排気ガスの目標空燃比を理論空燃比よりもリッチとする、請求項３～５のいずれか１項に記載の内燃機関の制御装置。

［請求項7］ 前記機関制御装置は、前記下流側空燃比センサの出力電流が理論空燃比よりもリッチなリッチ判定空燃比に相当する値以下となったときに、前記排気浄化触媒の酸素吸蔵量が最大酸素吸蔵量よりも少ない所定の吸蔵量となるまで、前記排気浄化触媒に流入する排気ガスの目標空燃比を継続的又は断続的に理論空燃比よりもリーンにする酸素吸蔵量増加手段と、前記排気浄化触媒の酸素吸蔵量が前記所定の吸蔵量以上になったときに、該酸素吸蔵量が最大酸素吸蔵量に達することなく零に向けて減少するように、前記目標空燃比を継続的又は断続的に理論空燃比よりもリッチにする酸素吸蔵量減少手段とを具備する、請求項６に記載の内燃機関の制御装置。

［請求項8］ 前記機関制御装置は、前記下流側空燃比センサの出力電流が理論空燃比よりもリッチなリッチ判定空燃比に相当する値以下となったときに、前記排気浄化触媒に流入する排気ガスの目標空燃比を理論空燃比

よりもリーンのリーン設定空燃比まで変化させる空燃比リーン切替手段と、

該空燃比リーン切替手段によって前記目標空燃比を変化させた後であって前記下流側空燃比センサの出力電流が零以上になる前に前記目標空燃比を前記リーン設定空燃比よりも理論空燃比からの差が小さいリーン空燃比に変化させるリーン度合い低下手段と、

前記下流側空燃比センサの出力電流が零以上なったときに、前記目標空燃比を理論空燃比よりもリッチのリッチ設定空燃比まで変化させる空燃比リッチ切替手段と、

該空燃比リッチ切替手段によって前記目標空燃比を変化させた後であって前記下流側空燃比センサの出力電流が前記リッチ判定空燃比に相当する値以下となる前に前記目標空燃比を前記リッチ設定空燃比よりも理論空燃比からの差が小さいリッチ空燃比に変化させるリッチ度合い低下手段とを具備する、請求項６に記載の内燃機関の制御装置。

［請求項9］ 前記下流側空燃比センサは、拡散律速層を介して空燃比の検出対象である排気ガスに曝される第一電極と、基準雰囲気に曝される第二電極と、前記第一電極と前記第二電極との間に配置された固体電解質層と、前記第一電極と前記第二電極との間に電圧を印加する電圧印加装置とを具備し、前記印加電圧は電圧印加装置によって印加された電圧であり、

前記下流側空燃比センサは、各排気空燃比毎に、印加電圧の増大に伴って出力電流が増大する電圧領域である電流増大領域と、前記拡散律速層を設けたことにより印加電圧の増加量に対する出力電流の増加量が前記電流増大領域よりも小さくなる電圧領域である電流微増領域とを有するように構成されており、

前記下流側空燃比センサにおける一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比であるときの前記電流微増領域内の電圧である、請求項１～８のいずれか１項に記載の内燃機関の制御装置。

[請求項10] 前記下流側空燃比センサは、各排気空燃比毎に前記出力電流が限界電流となる電圧領域である限界電流領域を有するように構成されており、

前記下流側空燃比センサにおける一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比であるときの前記限界電流領域内の電圧である、請求項１～８のいずれか１項に記載の内燃機関の制御装置。

[請求項11] 前記下流側空燃比センサは、各排気空燃比毎に、前記印加電圧と出力電流との関係について、印加電圧の増大に比例して出力電流が増大する電圧領域である比例領域と、水の分解が発生したことによって印加電圧の変化に応じて出力電流が変化する電圧領域である水分解領域と、これら比例領域と水分解領域との間の電圧領域である中間領域とを有するように構成されており、

前記下流側空燃比センサにおける一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比であるときの前記中間領域内の電圧である、請求項１～８のいずれか１項に記載の内燃機関の制御装置。

[請求項12] 前記下流側空燃比センサにおける一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比よりも１％高いときに出力電流が零となる電圧以上であって排気空燃比が理論空燃比であるときに出力電流が零となる電圧よりも低い電圧とされる、請求項１～８のいずれか１項に記載の内燃機関の制御装置。

[請求項13] 前記下流側空燃比センサは、各排気空燃比毎に、前記印加電圧と出力電流との関係について、印加電圧が増大するにつれて第一の屈曲点まで出力電流が増大し、第一の屈曲点から印加電圧が増大するにつれて第二の屈曲点まで出力電流が増大し、第二の屈曲点から印加電圧が増大するにつれて出力電流が増大すると共に、第一の屈曲点と第二の屈曲点の間における電圧領域においては他の電圧領域よりも印加電圧の増加量に対する出力電流の増加量が小さくなるように構成されており、

前記下流側空燃比センサにおける一定電圧は、排気空燃比が理論空燃比であるときの前記第一の屈曲点及び第二の屈曲点との間の電圧とされる、請求項１～８のいずれか１項に記載の内燃機関の制御装置。

［請求項14］ 前記下流側空燃比センサが、拡散律速層を介して空燃比の検出対象である排気ガスに曝される第一電極と、基準雰囲気に曝される第二電極と、前記第一電極と前記第二電極との間に配置された固体電解質層と、前記第一電極と前記第二電極との間に電圧を印加する電圧印加装置とを具備し、前記拡散律速層がアルミナで形成され、前記印加電圧は電圧印加装置によって印加された電圧であり、

前記下流側空燃比センサにおける一定電圧が、０．１Ｖ以上であって０．４５Ｖよりも低い電圧とされる、請求項１～８のいずれか１項に記載の内燃機関の制御装置。

［請求項15］ 前記上流側空燃比センサが、拡散律速層を介して空燃比の検出対象である排気ガスに曝される第一電極と、基準雰囲気に曝される第二電極と、前記第一電極と前記第二電極との間に配置された固体電解質層と、前記第一電極と前記第二電極との間に電圧を印加する電圧印加装置とを具備し、前記拡散律速層がアルミナで形成され、前記印加電圧は電圧印加装置によって印加された電圧であり、

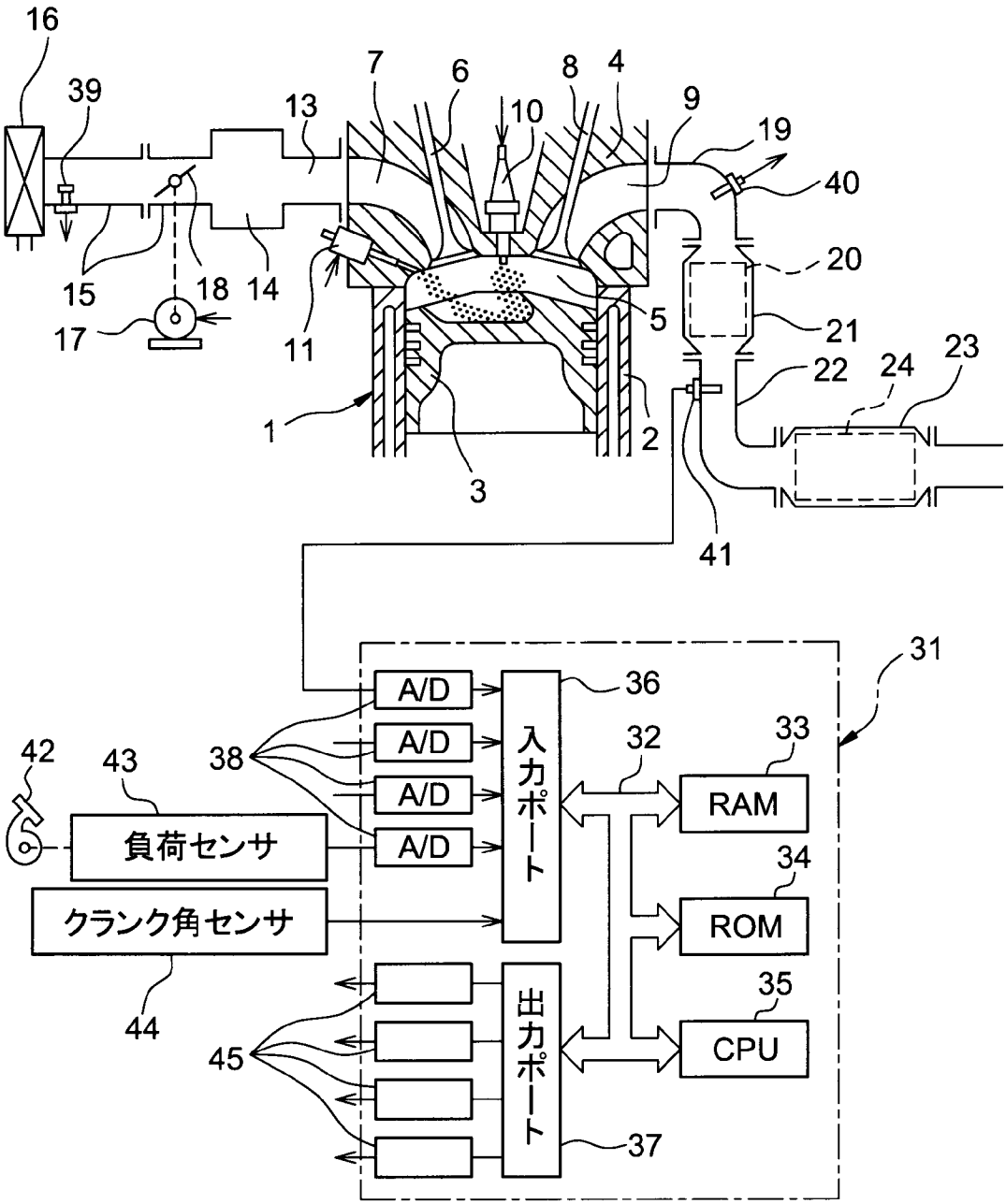
前記上流側空燃比センサにおける一定電圧が、０．４Ｖ以上０．４５Ｖ以下とされる、請求項３～８のいずれか１項に記載の内燃機関の制御装置。

［請求項16］ 前記下流側空燃比センサは、拡散律速層を介して空燃比の検出対象である排気ガスに曝される第一電極と、基準雰囲気に曝される第二電極と、前記第一電極と前記第二電極との間に配置された固体電解質層と、前記第一電極と前記第二電極との間に電圧を印加する電圧印加装置と、前記第一電極と前記第二電極との間に流れる電流を検出する電流検出装置とを具備し、前記印加電圧は電圧印加装置によって印加された電圧であり、前記出力電流は前記電流検出装置によって検出され

た電流である、請求項１～１５のいずれか１項に記載の内燃機関の制御装置。

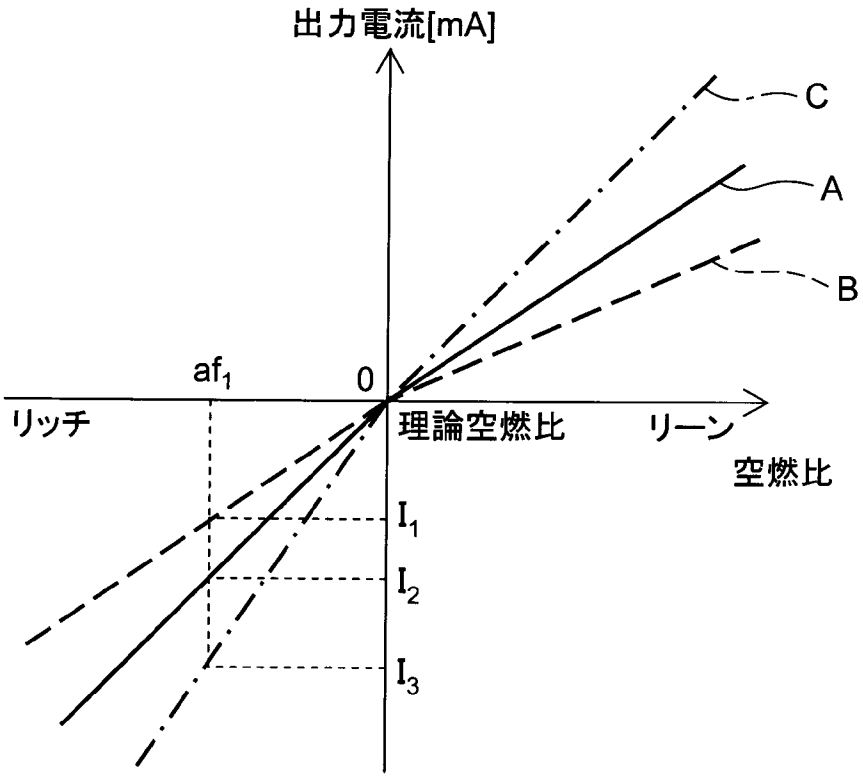
[図1]

図1


16
39
13
7
6
8
4
9
10
19
40
20
21
22
24
23
15
18
14
17
11
5
1
2
3
41
31
A/D
A/D
A/D
A/D
入力ポート
36
32
33
RAM
34
ROM
35
CPU
出力ポート
37
42
43
38
負荷センサ
クランク角センサ
44
45

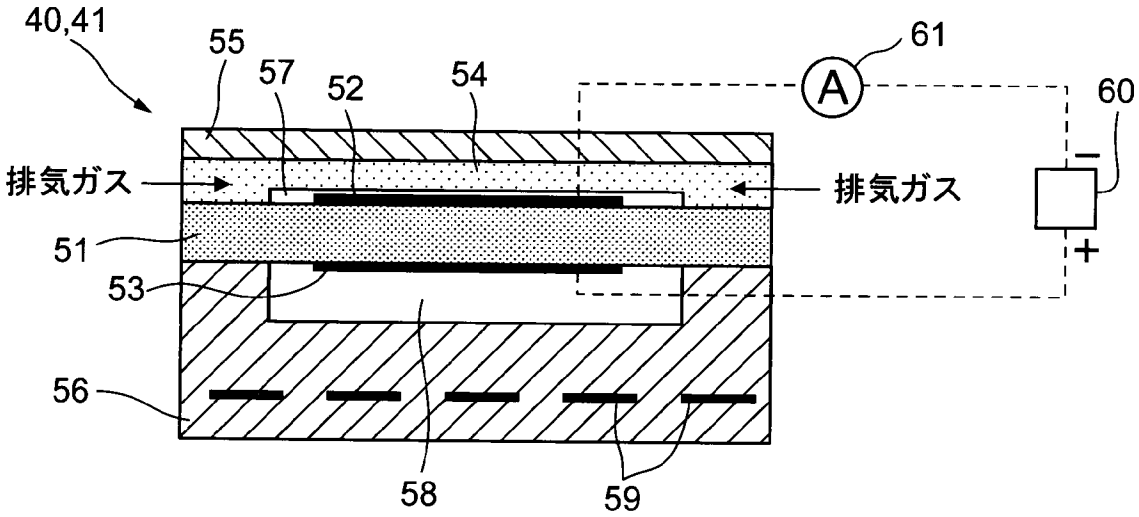
[図2]

図2


出力電流[mA]
C
A
B
af1
0
リッチ
理論空燃比
リーン
空燃比
I1
I2
I3

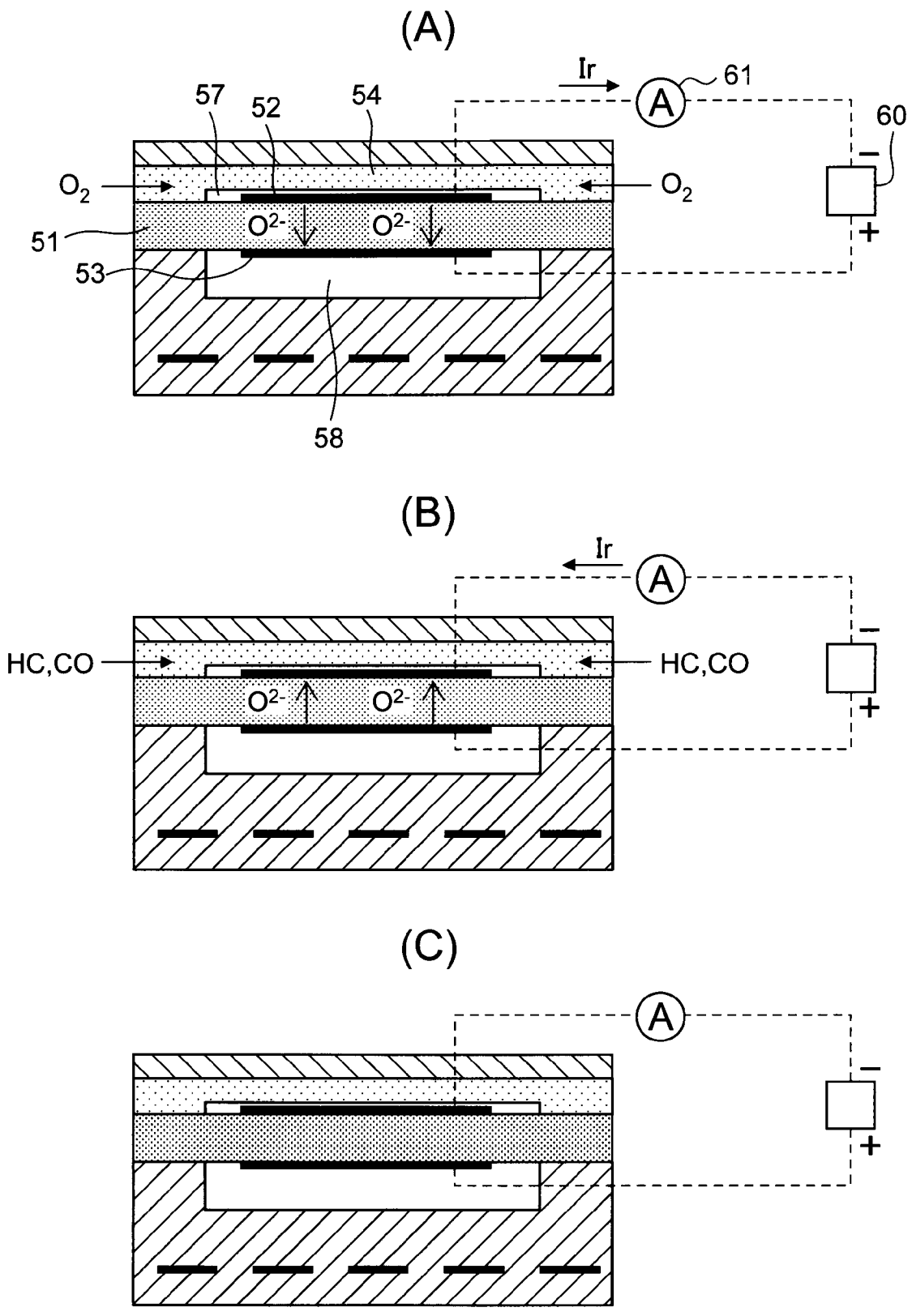
[図3]

図3


40,41
55
57
52
54
61
A
60
排気ガス
排気ガス
51
53
56
58
59
−
+

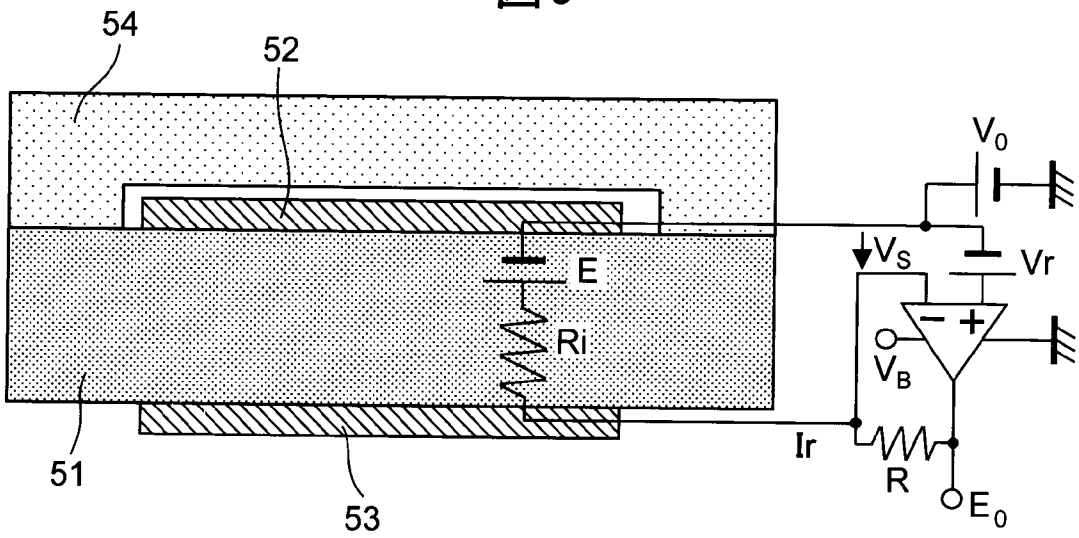
[図4]

図4



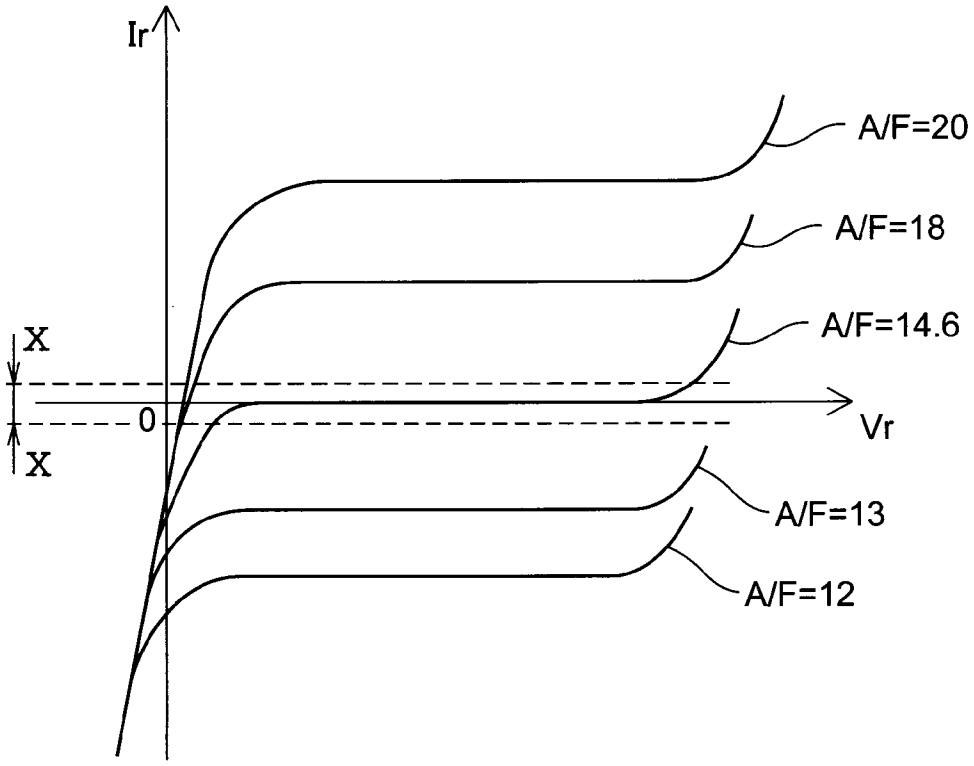
[図5]

図5


54
52
E
Ri
51
53
Ir
V_0
V_S
Vr
V_B
R
E_0

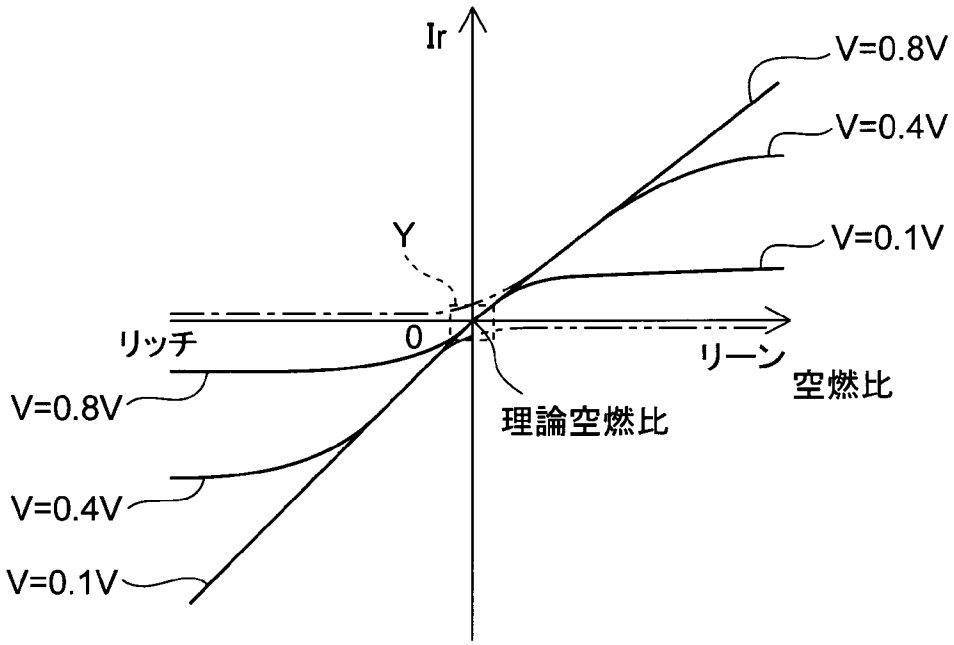
[図6]

図6


Ir
A/F=20
A/F=18
A/F=14.6
X
0
X
Vr
A/F=13
A/F=12

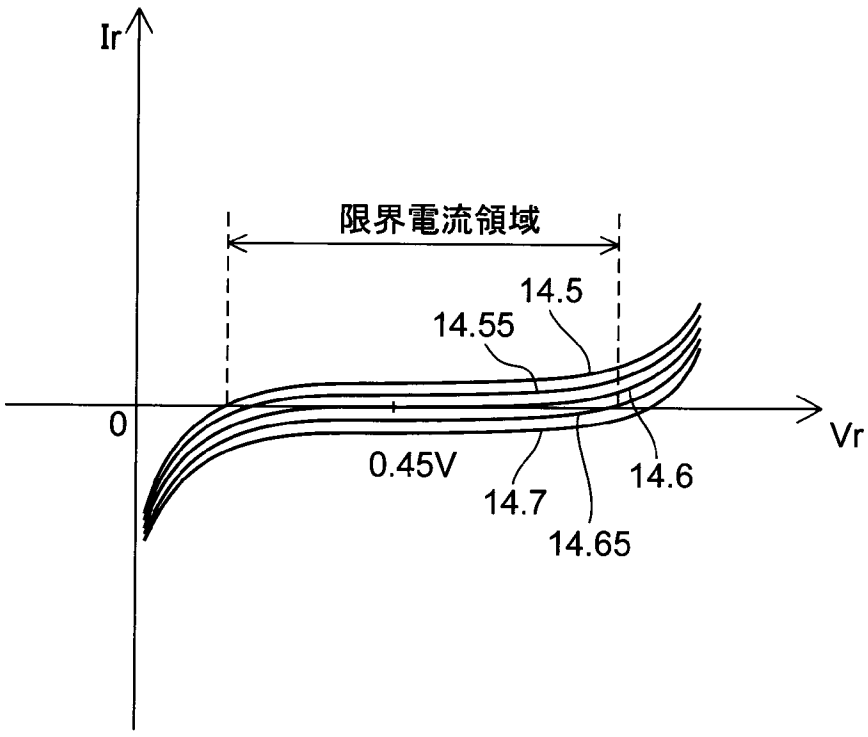
[図7]

図7


Ir
V=0.8V
V=0.4V
V=0.1V
Y
リッチ
0
リーン
空燃比
理論空燃比
V=0.8V
V=0.4V
V=0.1V

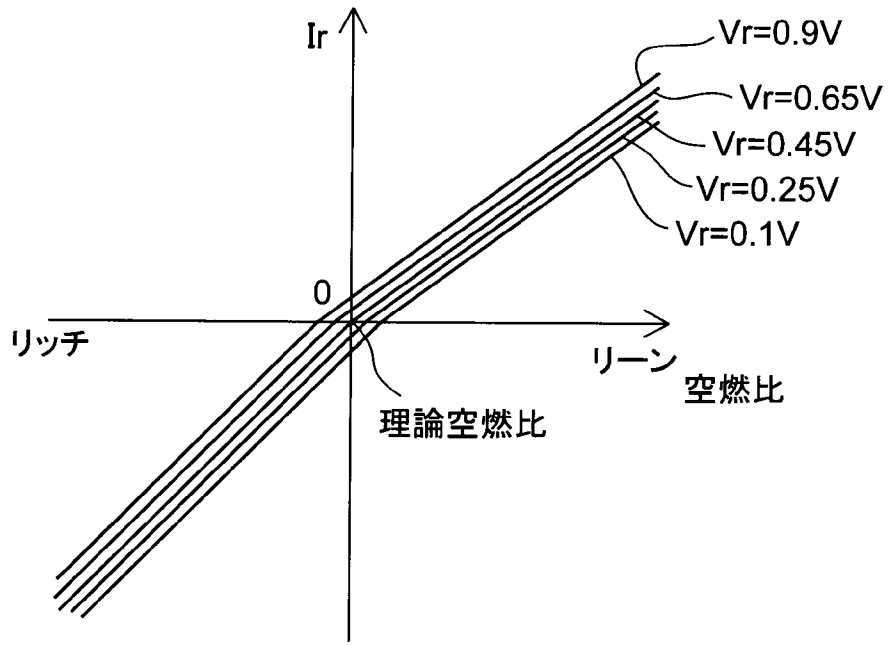
[図8]

図8


Ir
限界電流領域
14.5
14.55
0
Vr
0.45V
14.7
14.65
14.6

[図9]

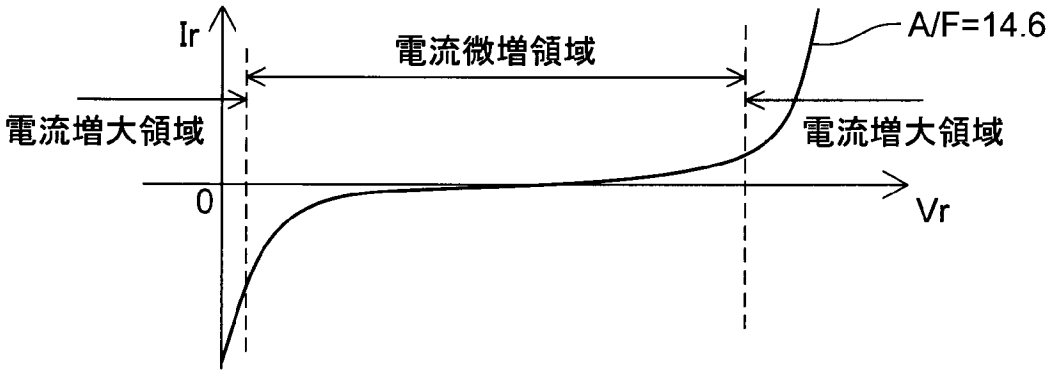
図9



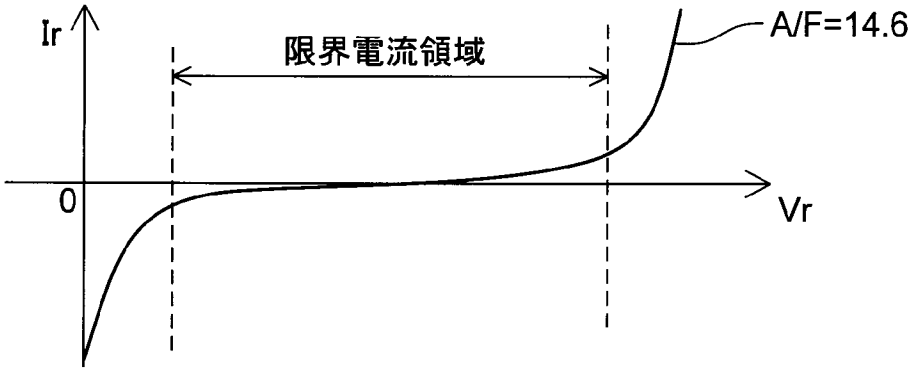
[図10]

図10

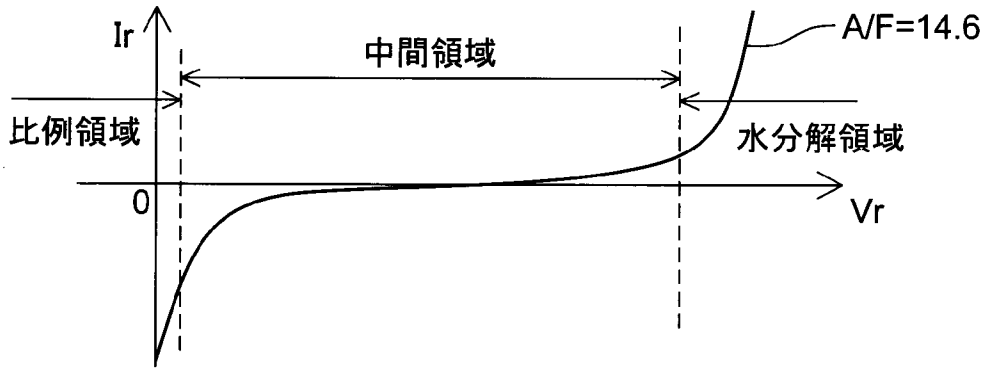
(A)


Ir
電流微増領域
A/F=14.6
電流増大領域
電流増大領域
0
Vr

(B)

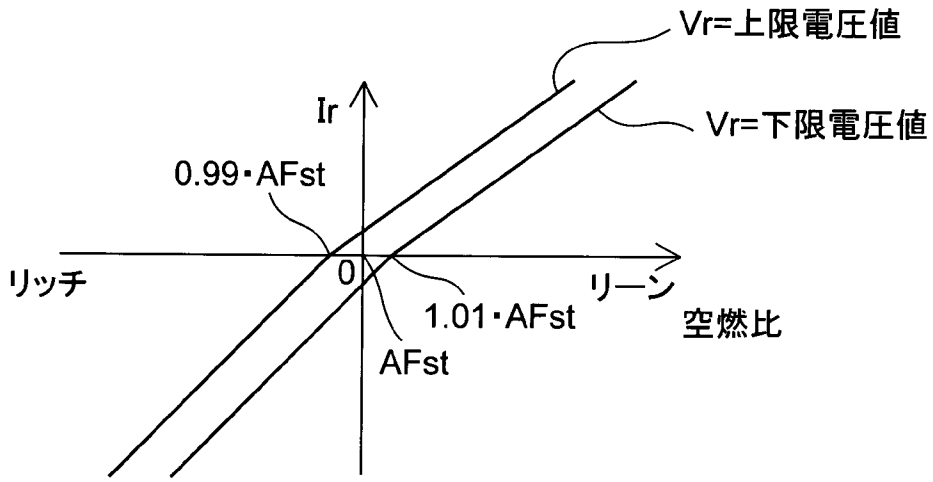

Ir
限界電流領域
A/F=14.6
0
Vr

(C)


Ir
中間領域
A/F=14.6
比例領域
水分解領域
0
Vr

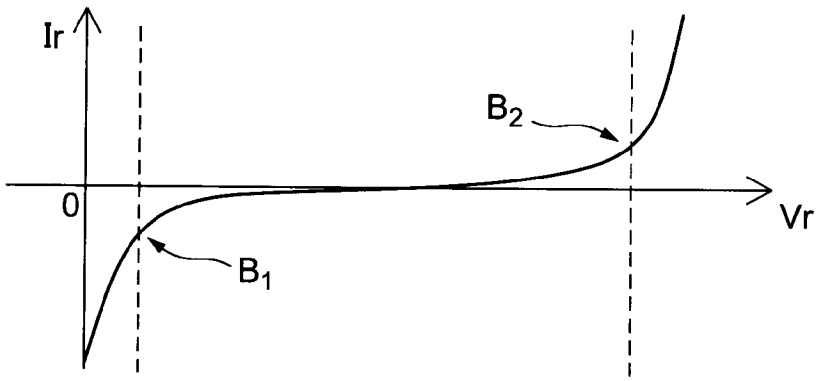
[図11]

図11



[図12]

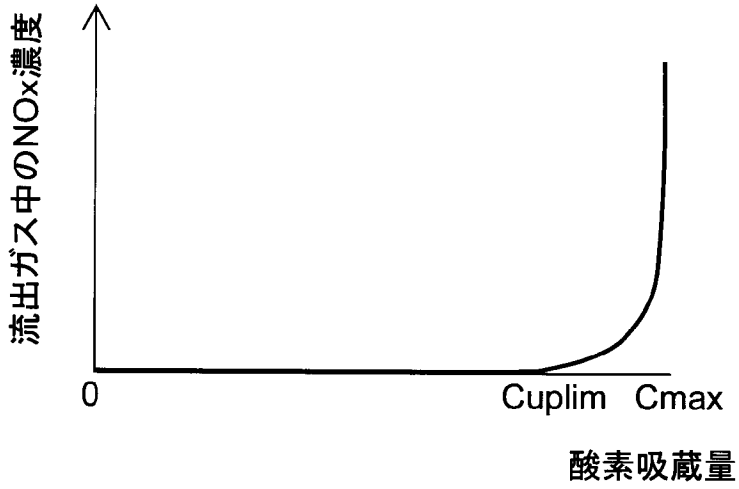
図12



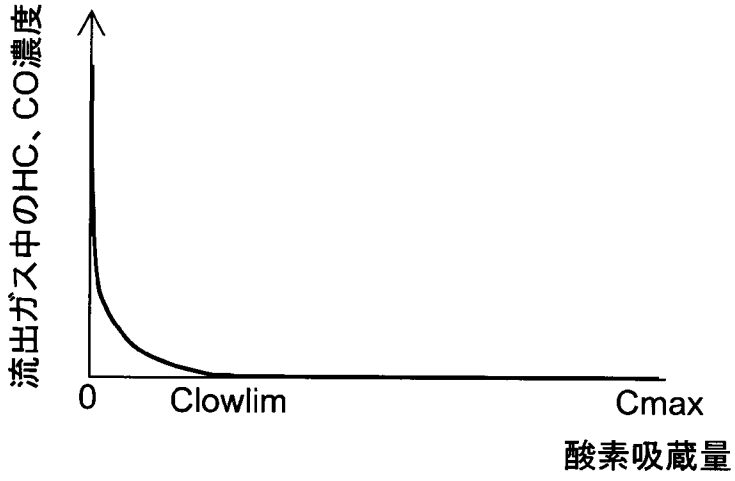
[図13]

図13

(A)


流出ガス中のNOx濃度
0
Cuplim
Cmax
酸素吸蔵量

(B)


流出ガス中のHC、CO濃度
0
Clowlim
Cmax
酸素吸蔵量

[図14]

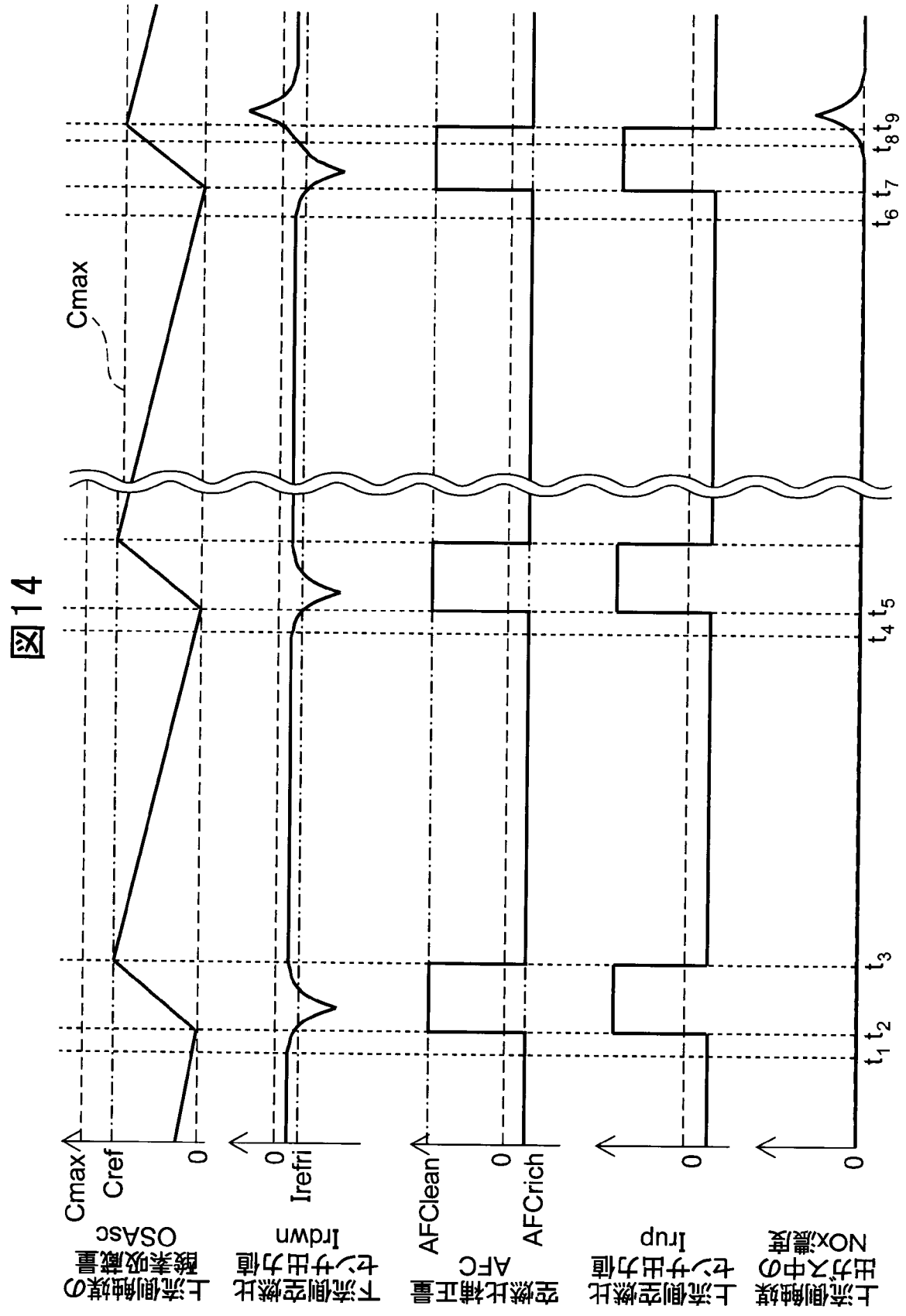
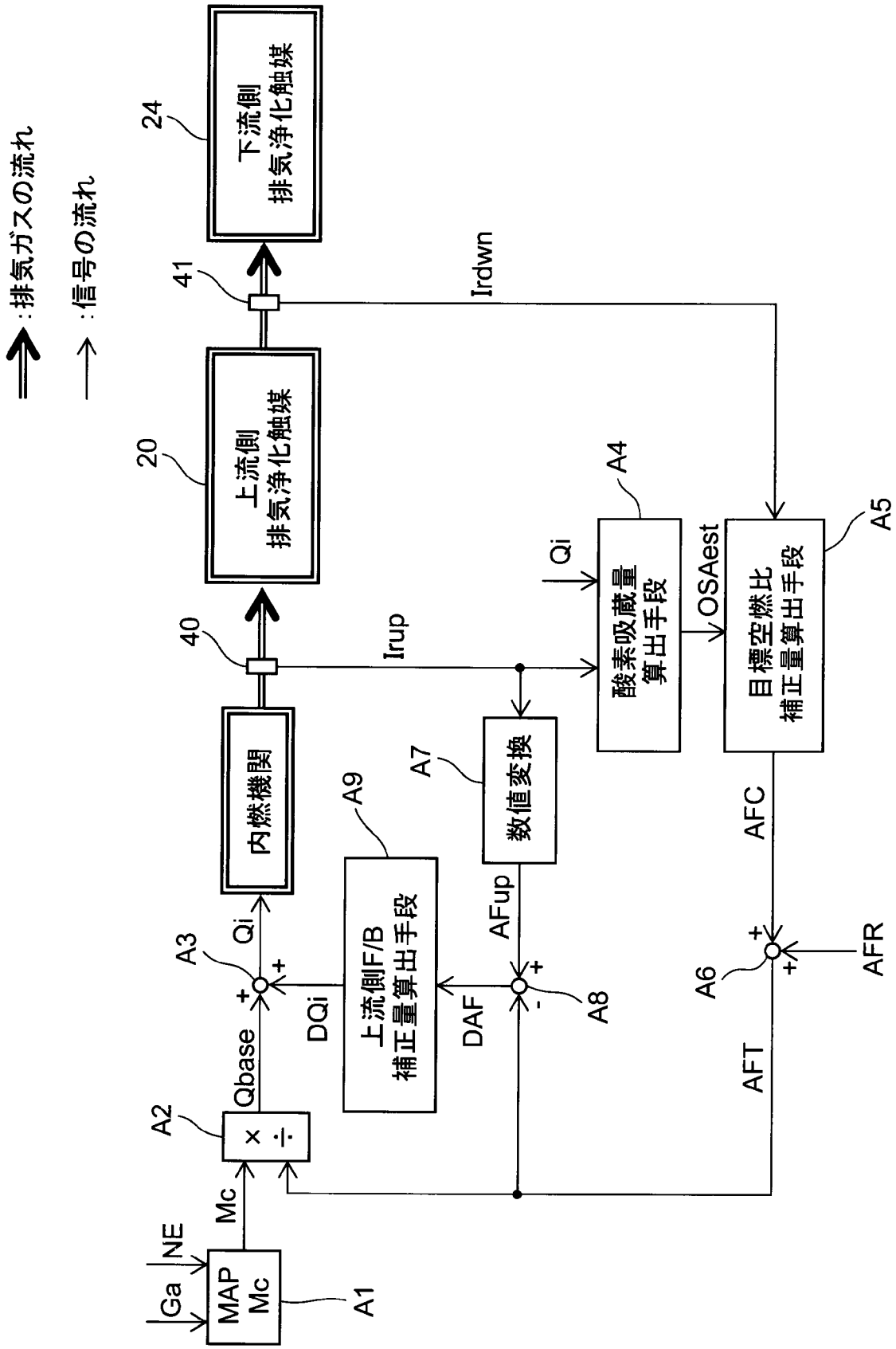

上流側触媒
出ガス中の
NOx濃度
上流側空燃比
ヒンサ出力値
Irup
空燃比補正量
AFC
AFClean
AFCrich
下流側空燃比
ヒンサ出力値
Irdwn
Irefri
上流側触媒の
酸素吸蔵量
OSAsc
Cmax
Cref
0
t1 t2
t3
t4 t5
t6 t7
t8 t9

図14

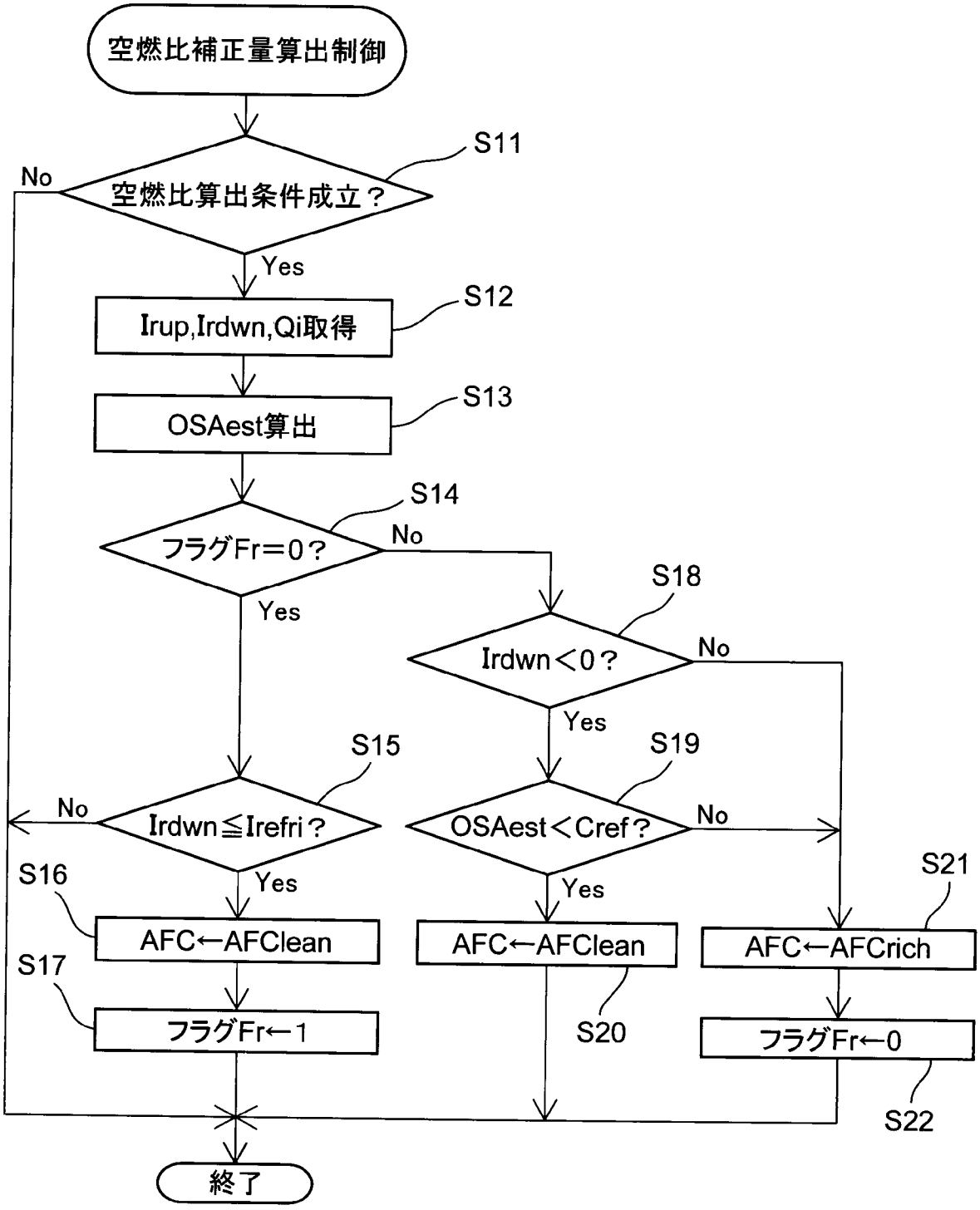
[図15]

図15


:排気ガスの流れ
:信号の流れ
24
下流側
排気浄化触媒
41
Irdwn
20
上流側
排気浄化触媒
A4
Qi
酸素吸蔵量
算出手段
OSAest
A5
目標空燃比
補正量算出手段
40
Irup
内燃機関
A7
数値変換
A9
上流側F/B
補正量算出手段
A3
Qi
AFup
AFC
DQi
DAF
A8
A6
AFR
Qbase
A2
AFT
Mc
NE
Ga
MAP
Mc
A1

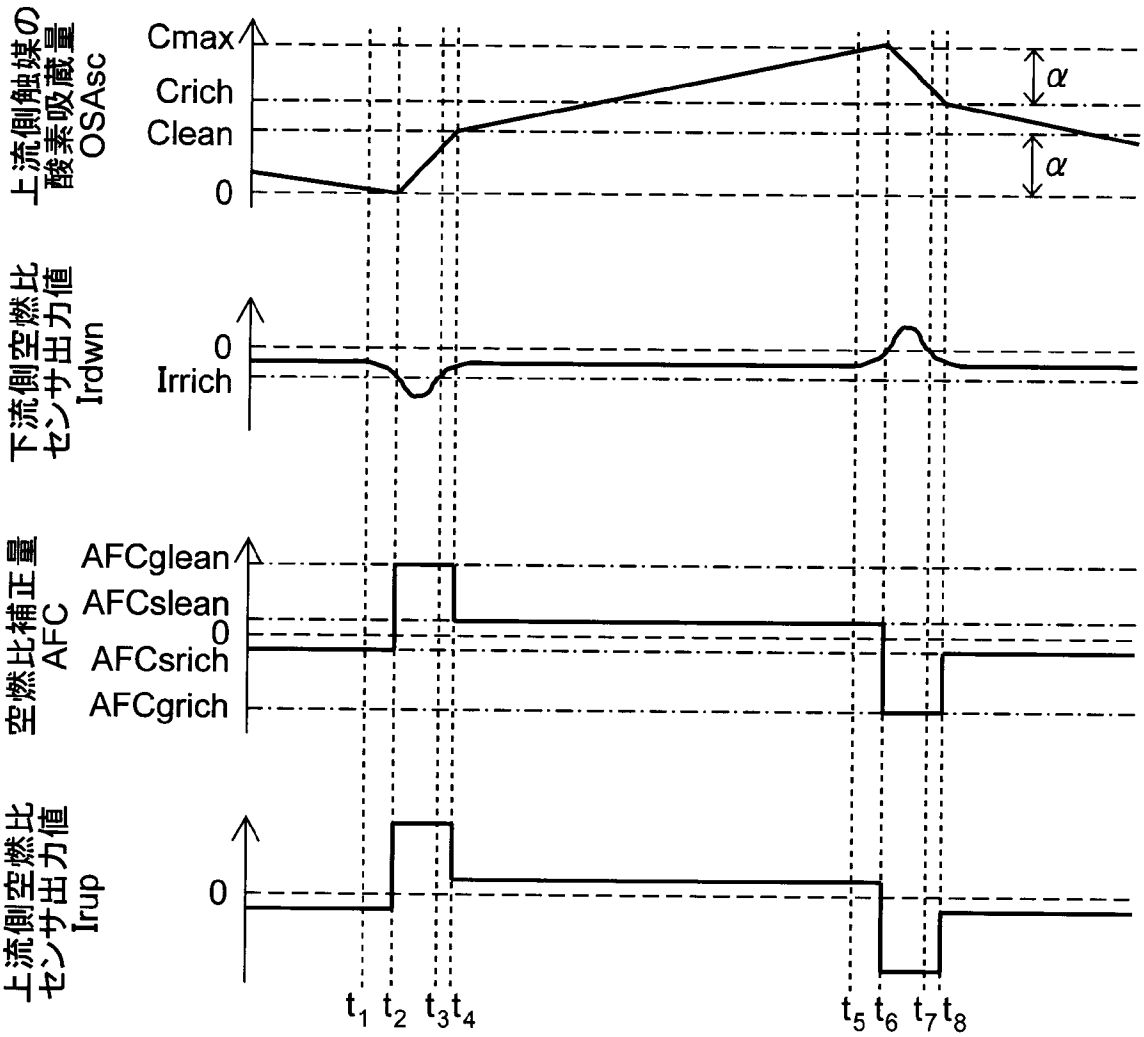
[図16]

図16


空燃比補正量算出制御
S11
空燃比算出条件成立？
No
Yes
S12
Irup,Irdwn,Qi取得
S13
OSAest算出
S14
フラグFr＝0？
No
Yes
S18
Irdwn＜0？
No
Yes
S15
Irdwn≦Irefri？
No
Yes
S19
OSAest＜Cref？
No
Yes
S16
AFC←AFClean
S17
フラグFr←1
AFC←AFClean
S20
S21
AFC←AFCrich
フラグFr←0
S22
終了

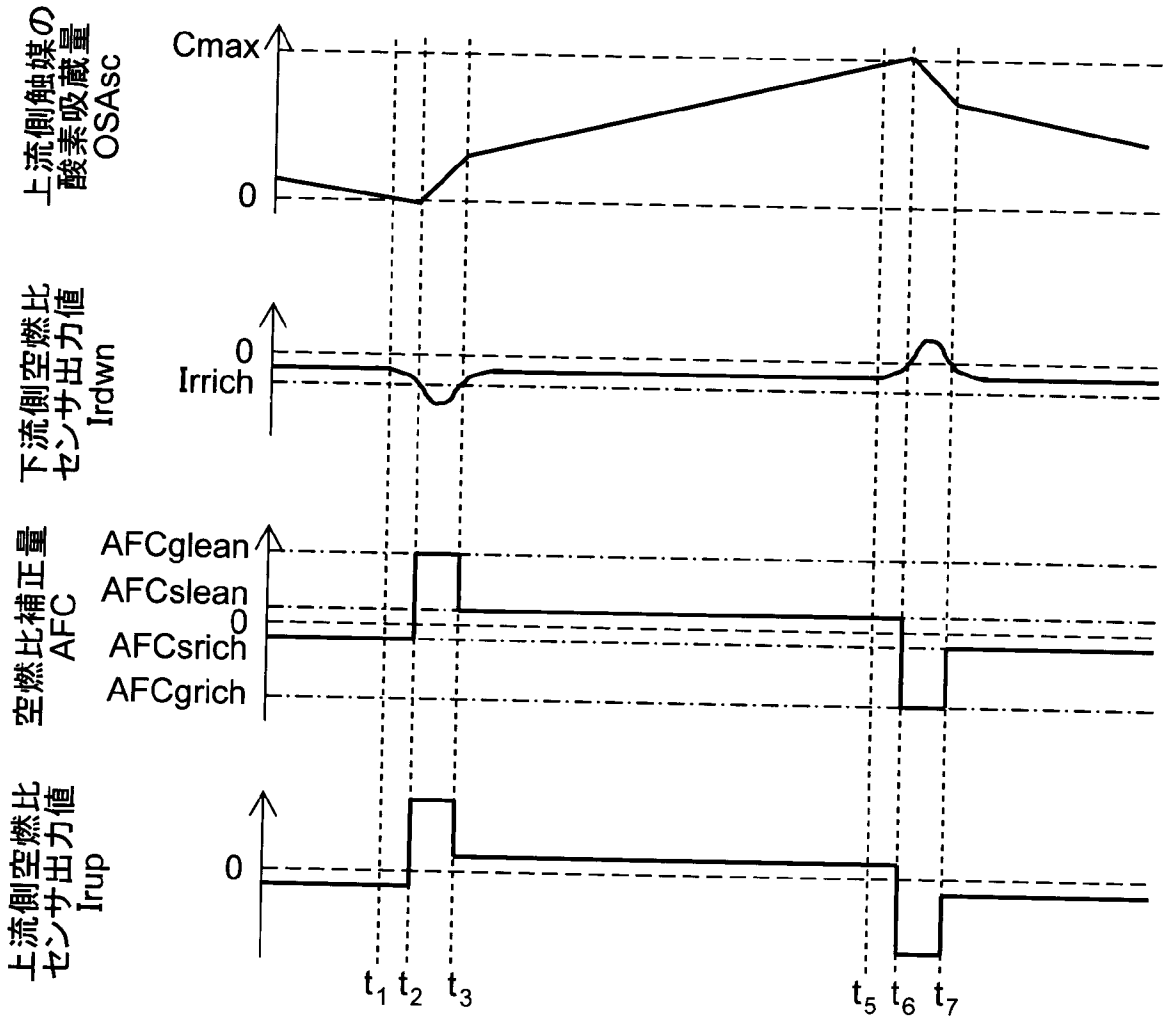
[図17]

図17


上流側触媒の酸素吸蔵量 OSAsc
Cmax
Crich
Clean
0
α
α
下流側空燃比センサ出力値 Irdwn
0
Irrich
空燃比補正量 AFC
AFCglean
AFCslean
0
AFCsrich
AFCgrich
上流側空燃比センサ出力値 Irup
0
t1 t2 t3 t4
t5 t6 t7 t8

[図18]

図18


上流側触媒の
酸素吸蔵量
OSAsc
Cmax
0
下流側空燃比
センサ出力値
Irdwn
0
Irrich
空燃比補正量
AFC
AFCglean
AFCslean
0
AFCsrich
AFCgrich
上流側空燃比
センサ出力値
Irup
0
t1 t2 t3
t5 t6 t7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/051910

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
F02D41/14(2006.01)i, *F02D45/00*(2006.01)i, *G01N27/00*(2006.01)i, *G01N27/02*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F02D41/14, F02D45/00, G01N27/00, G01N27/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 4-204370 A (NGK Spark Plug Co., Ltd.), 24 July 1992 (24.07.1992), page 5, lower right column, line 14 to page 6, upper left column, line 18; fig. 3 (Family: none)	1-16
A	JP 2002-202285 A (Denso Corp.), 19 July 2002 (19.07.2002), paragraphs [0066] to [0071]; fig. 4 to 5 & US 2002/0050455 A1 & EP 1202048 A2	1-16
A	JP 10-082760 A (Denso Corp.), 31 March 1998 (31.03.1998), paragraphs [0011] to [0013]; fig. 1, 14 & US 6055972 A & DE 19728466 A	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
28 February, 2013 (28.02.13)	12 March, 2013 (12.03.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１３／０５１９１０

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　F02D41/14(2006.01)i, F02D45/00(2006.01)i, G01N27/00(2006.01)i, G01N27/02(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　F02D41/14, F02D45/00, G01N27/00, G01N27/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１３年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 4-204370 A (日本特殊陶業株式会社) 1992.07.24, 第５ページ右下欄第14行-第６ページ左上欄第18行目，第３図 (ファミリーなし)	1-16
A	JP 2002-202285 A (株式会社デンソー) 2002.07.19, 段落【0066】-【0071】，図4-5 & US 2002/0050455 A1 & EP 1202048 A2	1-16
A	JP 10-082760 A (株式会社デンソー) 1998.03.31,	1-16

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２８．０２．２０１３	１２．０３．２０１３

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｚ　４１３２
米澤　篤
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３５５

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
	段落【0011】～【0013】，図1，14 & US 6055972 A & DE 19728466 A	