

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6052257号
(P6052257)

(45) 発行日 平成28年12月27日 (2016.12.27)

(24) 登録日 平成28年12月9日 (2016.12.9)

(51) Int.Cl.

F I

F O 1 N 3/08 (2006.01)

F O 1 N 3/08 D

F O 1 N 3/20 (2006.01)

F O 1 N 3/08 A

F O 1 N 3/32 (2006.01)

F O 1 N 3/20 S

F O 1 N 3/36 (2006.01)

F O 1 N 3/32 3 O 1 D

F O 1 N 3/36 R

請求項の数 5 (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2014-190155 (P2014-190155)
 (22) 出願日 平成26年9月18日 (2014.9.18)
 (65) 公開番号 特開2016-61233 (P2016-61233A)
 (43) 公開日 平成28年4月25日 (2016.4.25)
 審査請求日 平成28年2月8日 (2016.2.8)

(73) 特許権者 000004260
 株式会社デンソー
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
 (74) 代理人 100106149
 弁理士 矢作 和行
 (74) 代理人 100121991
 弁理士 野々部 泰平
 (74) 代理人 100145595
 弁理士 久保 貴則
 (72) 発明者 矢羽田 茂人
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
 社デンソー内
 (72) 発明者 衣川 真澄
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
 社デンソー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】還元剤添加装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

内燃機関（10）の吸気を加圧して供給する過給機（11）と、前記内燃機関の排気通路（10ex）に配置されて排気中のNOxを還元触媒上で浄化するNOx浄化装置（12）と、を備えた燃焼システムに設けられ、前記排気通路のうち前記還元触媒の上流側へ還元剤を添加する還元剤添加装置において、

空気中の酸素により前記還元剤を酸化させる反応室（20a）を形成し、前記酸化により前記還元剤を改質させる反応容器（20）と、

空気中の酸素からオゾンを生成するオゾン生成器（30）と、

前記オゾン生成器へ空気を送風するエアポンプ（30p）と、

前記オゾン生成器により生成されたオゾンを含んだ空気である含オゾン空気を、前記反応室へ導く含オゾン空気配管（26）と、

前記過給機により加圧された空気である加圧空気の一部を、前記反応室へ導く加圧空気配管（25）と、

前記含オゾン空気を前記反応室へ供給するエアポンプモード、および前記加圧空気を前記反応室へ供給する過給機モードを切り替える切替装置（25v、26v）と、

前記還元触媒の温度である触媒温度および前記排気通路の圧力である排気圧力に基づき、前記切替装置による切替作動を制御する切替制御手段（41a）と、を備えることを特徴とする還元剤添加装置。

【請求項2】

10

20

前記触媒温度に基づき、前記還元触媒上での NO_x の還元が可能な還元可能状態であるか否かを判定する還元可否判定手段（S21）と、

前記触媒温度に基づき、前記還元可能状態である時に前記含オゾン空気を前記反応室へ供給する必要がある還元時オゾン要求状態であるか否かを判定する還元時オゾン要否判定手段（S22）と、

前記排気圧力に基づき、前記エアポンプによる前記還元剤の前記排気通路への添加が可能な還元時低排圧状態であるか否かを判定する還元時エアポンプ可否判定手段（S23）と、
を備え、

前記切替制御手段は、前記還元可能状態、かつ前記還元時オゾン要求状態、かつ前記還元時低排圧状態と判定されていることに基づき、前記エアポンプモードに切り替えることを特徴とする請求項1に記載の還元剤添加装置。

10

【請求項3】

前記切替制御手段は、前記還元可能状態であり、かつ前記還元時オゾン要求状態であり、かつ前記還元時低排圧状態でないと判定されていることに基づき、前記過給機モードに切り替えることを特徴とする請求項2に記載の還元剤添加装置。

【請求項4】

前記切替制御手段は、前記還元可能状態であり、かつ前記還元時オゾン要求状態でないと判定されていることに基づき、前記過給機モードに切り替えることを特徴とする請求項2または3に記載の還元剤添加装置。

20

【請求項5】

前記触媒温度に基づき、前記還元触媒への NO_x の吸着が可能な吸着可能状態であるか否かを判定する吸着可否判定手段（S12）と、

前記触媒温度に基づき、前記吸着可能状態である時に前記含オゾン空気の添加が要求される吸着時オゾン要求状態であるか否かを判定する吸着時オゾン要否判定手段（S14）と、

前記排気圧力に基づき、前記エアポンプによる前記含オゾン空気の排気通路への添加が可能な吸着時低排圧状態であるか否かを判定する吸着時エアポンプ可否判定手段（S15）と、
を備え、

30

前記切替制御手段は、前記吸着可能状態、かつ前記吸着時オゾン要求状態、かつ前記吸着時低排圧状態と判定されていることに基づき、前記エアポンプモードに切り替えることを特徴とする請求項1～4のいずれか1つに記載の還元剤添加装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、 NO_x の還元に用いる還元剤を、排気通路のうち還元触媒の上流側へ添加する還元剤添加装置に関する。

【背景技術】

【0002】

40

特許文献1に記載の還元剤添加装置は、オゾンを生成するオゾン生成器と、生成したオゾンを含む空気を送風するエアポンプと、還元剤としての燃料を噴射する噴射弁と、ヒータとを備える。そして、送風される空気と噴射された燃料との混合気をヒータで加熱することにより、空気中の酸素による燃料の酸化反応を生じさせ、燃料を改質する。そして、その改質燃料を、排気通路のうち NO_x 触媒上流側に添加することで、改質燃料による NO_x の還元反応を NO_x 触媒上で生じさせ、排気中の NO_x を浄化する。なお、空気にオゾンを含ませることで、燃料の酸化反応が促進され、 NO_x 浄化率が向上する。

【0003】

また、特許文献2に記載の還元剤添加装置は、過給機により加圧された吸気の一部を吸気管から取り出す分岐管を備え、分岐管により取り出された空気をエアポンプで送風させ

50

、燃料と混合させて改質している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2000-54833号公報

【特許文献2】米国特許出願公開第2005/0011184号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記特許文献1に係る装置の場合には以下の懸念がある。すなわち、例えば内燃機関の高負荷運転時等、排気通路内の圧力（排気圧）が高い場合には、エアポンプの吐出圧が不足して、混合気を排気通路へ添加できなくなる懸念がある。

10

【0006】

この懸念に対し、上記特許文献2に係る装置の場合には、過給機による加圧空気をエアポンプで送風させるので、排気圧が高くても混合気を排気通路へ添加できるようになる。しかし、吸気には、ブローパイガスや内部EGRガス等により汚物が多く含まれる場合があるので、吸気を送風する特許文献2の装置の場合には、エアポンプが汚染されて故障する懸念が新たに生じる。特に、空気にオゾンを含ませてNOx浄化率向上を図ろうとした場合には、オゾン生成器も汚染されて故障する懸念が生じる。

【0007】

20

本発明は、上記問題を鑑みてなされたもので、その目的は、オゾンによるNOx浄化率向上を図るとともに、高排気圧であっても還元剤の排気通路への添加を可能にすることを、エアポンプの汚染を抑制しつつ実現できる還元剤添加装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

ここに開示される発明は上記目的を達成するために以下の技術的手段を採用する。なお、特許請求の範囲およびこの項に記載した括弧内の符号は、後述する実施形態に記載の具体的手段との対応関係を示すものであって、発明の技術的範囲を限定するものではない。

【0009】

開示される発明のひとつは、内燃機関（10）の吸気を加圧して供給する過給機（11）と、内燃機関の排気通路（10ex）に配置されて排気中のNOxを還元触媒上で浄化するNOx浄化装置（12）と、を備えた燃焼システムに設けられ、排気通路のうち還元触媒の上流側へ還元剤を添加する還元剤添加装置において、空気中の酸素により還元剤を酸化させる反応室（20a）を形成し、酸化により還元剤を改質させる反応容器（20）と、空気中の酸素からオゾンを生成するオゾン生成器（30）と、オゾン生成器へ空気を送風するエアポンプ（30p）と、オゾン生成器により生成されたオゾンを含んだ空気である含オゾン空気を、反応室へ導く含オゾン空気配管（26）と、過給機により加圧された空気である加圧空気の一部を、反応室へ導く加圧空気配管（25）と、含オゾン空気を反応室へ供給するエアポンプモード、および加圧空気を反応室へ供給する過給機モードを切り替える切替装置（25v、26v）と、還元触媒の温度である触媒温度および排気通路の圧力である排気圧力に基づき、切替装置による切替作動を制御する切替制御手段（41a）と、を備えることを特徴とする。

30

【0010】

この発明によれば、含オゾン空気を反応室へ導く含オゾン空気配管と、加圧空気を反応室へ導く加圧空気配管とを別々に備える。そして、エアポンプおよびオゾン生成器は含オゾン空気配管の経路に配置され、加圧空気配管の経路からは隔離されることとなる。そのため、エアポンプおよびオゾン生成器が、吸気に含まれる汚物で汚染されることを抑制できる。

40

【0011】

さらに上記発明は、切替装置および切替制御手段を備える。そのため、排気通路の圧力

50

(排気圧)が高くエアポンプでは添加困難な場合には、過給機モードに切り替えて、反応室で改質された還元剤を添加できる。また、エアポンプでの添加が可能な程度に排気圧が低く、かつ、オゾンによる NO_x 浄化率向上が見込めるような還元触媒温度である場合には、エアポンプモードに切り替えて、含オゾン空気で改質された還元剤を添加できる。

【0012】

以上により、上記発明によれば、オゾンによる NO_x 浄化率向上を図ることができ、それでいて、高排気圧であっても改質還元剤の添加を可能にすることを、エアポンプおよびオゾン生成器の汚染を抑制しつつ実現できる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の一実施形態に係る還元剤添加装置、およびその装置が適用される燃焼システムを示す模式図。

【図2】冷炎反応と熱炎反応の2段階で酸化反応が生じることを説明するグラフ。

【図3】冷炎反応の反応経路を説明する図。

【図4】雰囲気温度および当量比の、2段階酸化反応が生じる範囲を示す図。

【図5】図1に示す還元剤添加装置に係る、制御の処理手順を説明するフローチャート。

【図6】図5に示すフローチャートの続き。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、図面を参照しながら発明を実施するための複数の形態を説明する。各形態において、先行する形態で説明した事項に対応する部分には同一の参照符号を付して重複する説明を省略する場合がある。各形態において、構成の一部のみを説明している場合は、構成の他の部分については先行して説明した他の形態を参照し適用することができる。

【0015】

図1に示す燃焼システムは、以下に詳述する内燃機関10、過給機11、 NO_x 浄化装置12、微粒子捕集装置(DPF13)、および還元剤添加装置を備える。燃焼システムは車両に搭載されたものであり、当該車両は、内燃機関10の出力を駆動源として走行する。内燃機関10は、圧縮自着火式のディーゼルエンジンであり、燃焼に用いる燃料には、炭化水素化合物である軽油を用いている。内燃機関10は、基本的にはリーン状態で燃焼させるように作動する。つまり、燃焼室に噴射された燃料と燃焼室に吸入される空気との比率である空燃比が、空気過剰に設定された状態で燃焼(リーン燃焼)させている。

【0016】

過給機11は、タービン11a、回転軸11bおよびコンプレッサ11cを備える。タービン11aは、内燃機関10の排気通路10exに配置され、排気の運動エネルギーにより回転する。回転軸11bは、タービン11aおよびコンプレッサ11cの各インペラを結合することで、タービン11aの回転力をコンプレッサ11cに伝達する。コンプレッサ11cは、内燃機関10の吸気通路10inに配置され、吸気を圧縮して内燃機関10へ過給する。

【0017】

吸気通路10inのうちコンプレッサ11cの下流側には、コンプレッサ11cで圧縮された吸気(加圧空気)を冷却する冷却器(図示せず)が配置されている。冷却器により冷却された圧縮吸気は、スロットルバルブ(図示せず)により流量調整され、内燃機関10が有する複数の燃焼室へ分配される。排気通路10exのうちタービン11aの下流側には NO_x 浄化装置12が配置され、さらにその下流側にはDPF13(Diesel Particulate Filter)が配置されている。DPF13は、排気に含まれている微粒子を捕集する。

【0018】

排気通路10exのうち NO_x 浄化装置12の上流側には、還元剤添加装置の供給管23が接続されている。この供給管23から排気通路10exへ、還元剤添加装置により生成された改質燃料が還元剤として添加される。改質燃料とは、還元剤として用いる炭化水

10

20

30

40

50

素化合物（燃料）を部分的に酸化して、アルデヒド等の部分酸化炭化水素に改質したものであり、図3を用いて後に詳述する。

【0019】

NO_x浄化装置12は、ハウジング内にハニカム状の担体を収容して構成される。担体の表面にはコーティング材が設けられており、そのコーティング材には還元触媒が担持されている。NO_x浄化装置12は、排気中のNO_xを還元触媒上で改質燃料と反応させてN₂に還元することで、排気に含まれているNO_xを浄化する。なお、排気中にはNO_xの他にO₂（酸素）も含まれているが、改質燃料はO₂存在下においてNO_xと選択的に反応する。

【0020】

10

還元触媒には、NO_xを吸着する機能を有したものが用いられている。詳細には、還元反応が可能となる活性化温度よりも触媒温度が低い場合に、還元触媒は排気中のNO_xを吸着する機能を発揮する。例えば、担体に担持された銀アルミナによる還元触媒により、NO_x吸着機能を有したNO_x浄化装置12が提供される。詳細には、担体表面にコーティングされたアルミナに、還元触媒としての銀を担持させた構造である。吸着されていたNO_xは、触媒温度が活性化温度以上の場合には、還元触媒から脱離する。そして、脱離したNO_xは改質燃料により還元されて浄化される。

【0021】

次に、改質燃料を生成して供給管23から排気通路10exへ添加する還元剤添加装置について説明する。還元剤添加装置は、以下に詳述する反応容器20、ヒータ21、噴射弁22、オゾン生成器30およびエアポンプ30pを備える。さらに還元剤添加装置は、以下に詳述する供給管23、共用配管24、加圧空気配管25および含オゾン空気配管26を備え、さらに電子制御装置（ECU40）を備える。

20

【0022】

オゾン生成器30は、内部に流路32aを形成するハウジング32を備え、流路32aには複数の電極31が配置されている。これらの電極31は、互いに平行に対向するように配置された平板形状であり、高電圧が印加される電極と接地電圧の電極とが交互に配置されている。電極31への電圧印加は、ECU40が備えるマイクロコンピュータ（マイコン41）により制御される。

【0023】

30

オゾン生成器30のハウジング32には、エアポンプ30pにより送風された空気が流入する。エアポンプ30pは電動モータにより駆動され、その電動モータはマイコン41により制御される。エアポンプ30pにより送風された空気は、ハウジング32内の流路32aに流入し、電極31間の通路である電極間通路31aを流通する。

【0024】

オゾン生成器30は、含オゾン空気配管26および共用配管24を介して反応容器20に接続される。すなわち、オゾン生成器30の下流側部分には含オゾン空気配管26の上流端部が接続され、含オゾン空気配管26の下流端部は共用配管24の上流端部に接続されている。共用配管24の下流端部は反応容器20の流入口20inに接続されている。反応容器20の流出口20outには供給管23の上流端部が接続されている。供給管23の下流端部は、排気通路10exのうちNO_x浄化装置12の上流側部分に接続されている。

40

【0025】

含オゾン空気配管26には、電磁駆動式の逆止弁26vが取り付けられている。逆止弁26vの開閉駆動はマイコン41により制御される。したがって、エアポンプ30pを駆動させて逆止弁26vを開弁駆動させると、電極間通路31aを流通した空気は、含オゾン空気配管26、共用配管24、反応容器20および供給管23を順に流通して排気通路10exへ流入することとなる。

【0026】

加圧空気配管25の上流端部は、吸気通路10inのうちコンプレッサ11cの下流側

50

部分に接続され、加圧空気配管 25 の下流端部は共用配管 24 の上流端部に接続されている。要するに、共用配管 24 の上流端部は、加圧空気配管 25 および含オゾン空気配管 26 の両方が接続するように分岐している。換言すれば、加圧空気配管 25 および含オゾン空気配管 26 は共用配管 24 に対して並列に接続されている。

【0027】

加圧空気配管 25 には、電磁駆動式の調量弁 25v が取り付けられている。調量弁 25v の開閉駆動はマイコン 41 により制御される。したがって、調量弁 25v を開弁駆動させると、吸気通路 10in を流通する加圧空気の一部は、加圧空気配管 25、共用配管 24、反応容器 20 および供給管 23 を順に流通して排気通路 10ex へ流入することとなる。このような調量弁 25v の開弁時において、逆止弁 26v の作用により、加圧空気

10

【0028】

逆止弁 26v の弁体は、全開位置と全閉位置とに切り替え制御される。一方、調量弁 25v の弁体については、反応容器 20 へ流入させる加圧空気の流量を調整するように弁体の開度位置が制御（調量制御）される。また、逆止弁 26v および調量弁 25v の両方を同時に開弁させることのないよう、逆止弁 26v および調量弁 25v の一方を開弁させる場合には他方を閉弁させるようにマイコン 41 は制御する。

【0029】

反応容器 20 には、ヒータ 21 および噴射弁 22 が取り付けられており、反応容器 20 の内部には、流入口 20in および流出口 20out と連通する反応室 20a が形成されている。ヒータ 21 は、通電により発熱する発熱部を有し、発熱部への通電はマイコン 41 により制御される。具体的には、発熱部への電力供給量をマイコン 41 がデューティ制御することにより、発熱量が制御される。発熱部は反応室 20a に配置され、噴射弁 22 から反応室 20a へ噴射された燃料を加熱する。反応室 20a の温度は反応室温度センサ 27 により検出される。反応室温度センサ 27 は、検出した温度の情報（反応室温度）を ECU 40 へ出力する。

20

【0030】

噴射弁 22 は、噴孔が形成されたボデー、電気アクチュエータおよび弁体を有する。電気アクチュエータを通電オンさせると、弁体が開弁作動して噴孔から反応室 20a へ燃料が噴射され、通電オフさせると弁体が閉弁作動して燃料噴射が停止される。マイコン 41 は、電気アクチュエータへの通電を制御することで、反応室 20a への単位時間当たりの燃料噴射量を制御する。図示しない燃料タンク内の液体燃料は、図示しない燃料ポンプにより噴射弁 22 へ供給される。燃料タンク内の燃料は、先述した燃焼用の燃料としても用いられており、内燃機関 10 の燃焼に用いる燃料と、還元剤として用いる燃料は共用される。

30

【0031】

噴射弁 22 から反応室 20a へ噴射された燃料は、発熱部に衝突し、加熱されて気化する。気化した燃料は、流入口 20in から反応室 20a へ流入した空気と混合される。その結果、空気中の酸素により気体燃料が部分的に酸化され、アルデヒド等の部分酸化炭化水素に改質される。このように改質された気体燃料（改質燃料）は、供給管 23 を通じて排気通路 10ex に流入する。

40

【0032】

さて、オゾン生成器 30 の電極 31 へ通電すると、電極 31 から放出された電子が、電極間通路 31a の空気中に含まれる酸素分子に衝突する。すると、酸素分子からオゾンが生成される。つまり、オゾン生成器 30 は、放電により酸素分子をプラズマ状態にして、活性酸素としてのオゾンを生成する。したがって、オゾン生成器 30 への通電時には、含オゾン空気配管 26 を流通する空気にオゾンが含まれる。

【0033】

反応室 20a では以下に詳述する冷炎反応が生じている。この冷炎反応は、流入口 20

50

i n から流入する空気中の酸素により気体燃料が部分的に酸化される反応である。このように部分的に酸化された燃料（改質燃料）の具体例として、燃料（炭化水素化合物）の一部がアルデヒド基（ CHO ）に酸化された状態の部分酸化物（例えばアルデヒド）が挙げられる。

【0034】

ここで、冷炎反応について図2および図3を用いて詳述する。

【0035】

図2は、燃料（ヘキサデカン）をヒータ21に噴き付けて気化させ、気化した燃料がヒータ21近傍に滞留して改質される現象を模擬したシミュレーション結果である。具体的には、気体燃料（ヘキサデカン）を430 に暴露した場合における、暴露開始からの経過時間に対する各種物理量の変化を示す。すなわち、図中の（a）は雰囲気温度の変化を示す。（b）は、燃料（ヘキサデカン）のモル濃度の変化を示す。（c）は、酸化で消費された酸素分子、酸化で生成された水分子および二酸化炭素分子について、各々のモル濃度の変化を示す。（d）は、冷炎反応により生成された改質燃料であるアセトアルデヒドおよびプロピオンアルデヒドのモル濃度の変化を示す。燃料噴射開始時点での初期条件は、1気圧、ヘキサデカン濃度2200 ppm、酸素濃度20%、二酸化炭素濃度9%、水濃度2%である。

10

【0036】

図2に示されるように、燃料を噴射すると直ぐ、雰囲気温度が上昇するとともに燃料のモル濃度が減少し、かつ、改質燃料のモル濃度が増加している。この現象は、燃料が酸素に酸化されて発熱していることと、燃料から改質燃料が生成されていることを意味する。つまり、冷炎反応が生じていることを意味する。但し、このような温度上昇や各種モル濃度の変化は一時的なものであり、燃料噴射開始から4秒ほどの期間は、温度上昇やモル濃度の変化は現れない。

20

【0037】

そして、約4秒経過した時点で、雰囲気温度がさらに上昇するとともに改質燃料のモル濃度が減少し、かつ、二酸化炭素および水の生成量と、酸素の消費量が増加している。この現象は、改質燃料が酸素に酸化されて発熱していることと、改質燃料が完全燃焼して二酸化炭素および水が生成されていることを意味する。つまり、熱炎反応が生じていることを意味する。なお、冷炎反応による温度上昇量は、熱炎反応による温度上昇量よりも小さい。また、冷炎反応による酸素消費量は、熱炎反応による酸素消費量よりも少ない。

30

【0038】

2段階で酸化反応が生じる場合には、冷炎反応が為されてから熱炎反応が開始されるまでの期間に、改質燃料が中間生成物として現れる。中間生成物には、アルデヒドやケトン等、様々な炭化水素化合物が具体例として挙げられる。図3では、アルデヒドが生成される主要な反応経路の一例を示す。

【0039】

先ず、図中の（1）に示すように、炭化水素（軽油）が酸素分子と反応して炭化水素ペルオキシラジカルが生成される。この炭化水素ペルオキシラジカルは、アルデヒドと炭化水素ラジカルに分解される（（2）参照）。この炭化水素ラジカルと酸素分子とが反応して別の炭化水素ペルオキシラジカルが生成される（（3）参照）。この炭化水素ペルオキシラジカルは、アルデヒドと炭化水素ラジカルに分解される（（4）参照）。この炭化水素ラジカルと酸素分子とが反応して別の炭化水素ペルオキシラジカルが生成される（（5）参照）。このように、炭素数を減らしながら繰り返し炭化水素ペルオキシラジカルが生成され、その生成の都度、アルデヒドが生成されていく。なお、熱炎反応では、燃料が完全燃焼して二酸化炭素と水が生成され、中間生成物は現れない。すなわち、冷炎反応により生成された中間生成物は、酸化されて二酸化炭素と水になる。

40

【0040】

図2に示すシミュレーションでは、暴露温度を430 としていた。これに対し、さらに本発明者らは、暴露温度を異ならせてシミュレーションによる解析を実施した。その結

50

果、暴露温度が530の場合には冷炎反応で留まる期間が殆ど無く、1段で酸化反応が完了する。暴露温度を330にすると、430にした場合に比べて冷炎反応の開始時期が遅くなる。暴露温度を230以下にすると、冷炎反応および熱炎反応のいずれもが生じなくなり、酸化反応が生じない。

【0041】

図2に示すシミュレーションでは、噴射した燃料と供給される空気の比率である当量比を0.23としていた。これに対し、さらに本発明者らは、当量比を異ならせてシミュレーションによる解析を実施した。なお、当量比を厳密に定義すると、「実際の混合気を含む燃料の重量」を、「完全燃焼できる燃料の重量」で除算した値である。当量比を1.0にすると、冷炎反応で留まる期間が殆ど無く、1段で酸化反応が完了する。また、当量比を0.37にすると、当量比を0.23にした場合に比べて、冷炎反応の開始時期が早くなる。また、冷炎反応速度が速くなり、冷炎反応期間が短くなる。また、冷炎反応が終了した時点での雰囲気温度が高くなる。

【0042】

図4は、これらの解析結果をまとめて表したものである。つまり暴露温度（雰囲気温度）および当量比と、冷炎反応発生有無との関係を表しており、図4の横軸はヒータ温度（雰囲気温度）、縦軸は当量比を示す。図中のドットを付した領域は、2段酸化反応が生じる領域を表す。図示されるように、雰囲気温度が下限値よりも低い領域では、酸化反応が生じない無反応領域となる。雰囲気温度が下限値よりも高い場合であっても、当量比が1.0以上の領域であれば、1段で酸化反応が完了する1段酸化反応領域となる。

【0043】

また、2段酸化反応領域と1段酸化反応領域との境界線は、雰囲気温度および当量比に応じて変化する。つまり、雰囲気温度が所定の温度範囲であり、かつ、当量比が所定の当量比範囲である場合に、2段酸化反応が生じる。これらの温度範囲および当量比範囲は、図4中のドットを付した領域の範囲に相当する。所定の温度範囲のうち最適温度（例えば370）に雰囲気温度を調整すると、上記境界線における当量比が最大値（例えば1.0）となる。したがって、冷炎反応を早期に生じさせるには、ヒータ温度を最適温度に調整し、当量比を1.0にすればよい。但し、当量比が1.0を超えると冷炎反応が生じなくなるので、1.0よりも余裕分だけ小さい値に当量比を調整することが望ましい。

【0044】

図2に示すシミュレーションでは、空気中のオゾン濃度をゼロにしている。これに対し、さらに本発明者らは、空気中のオゾン濃度を異ならせたシミュレーションによる解析を実施した。このシミュレーションでの初期条件は、1気圧、ヘキサデカン濃度2200ppm、雰囲気温度330である。その結果、オゾン濃度が大きいほど、冷炎反応の開始時期が早くなることが確認された。このようなオゾンによる現象は以下の理由により生じる。すなわち、図3中の(1)(3)(5)では、炭化水素ラジカルと酸素分子とが反応しているが、空気中にオゾンが含まれている場合にはこの反応が促進され、アルデヒドが短時間で生成されることとなる。

【0045】

ECU40が備えるマイコン41は、プログラムを記憶する記憶装置と、記憶されたプログラムにしたがって演算処理を実行する中央演算処理装置と、を備える。ECU40は、アクセルペダル踏込量（エンジン負荷）、機関回転速度（エンジン回転数）、吸気圧、排気圧等の各種検出値に基づき、内燃機関10の作動を制御する。

【0046】

概略、ECU40は、エンジン回転数およびエンジン負荷に応じて、図示しない燃料噴射弁から噴射される燃焼用燃料の噴射量および噴射時期を制御する。さらにECU40は、反応室温度センサ27、触媒温度センサ42および排気圧センサ43により検出された物理量に基づき、還元剤添加装置の作動を制御する。

【0047】

すなわち、図5および図6に示す手順のプログラムをマイコン41が所定周期で繰り返

10

20

30

40

50

し実行することで、反応室温度に基づき改質燃料の生成とオゾンの生成を切り替える。上記プログラムは、内燃機関10の作動期間中は常時実行される。さらに、上記プログラムを実行するマイコン41は、触媒温度および排気圧に基づき、エアポンプモードと過給機モードとを切り替えるように制御する。

【0048】

エアポンプモードとは、含オゾン空気配管26を通じて、エアポンプ30pから送風される空気を反応室20aへ供給するモードである。エアポンプモードでは、オゾン生成器30により生成されたオゾンを含んだ含オゾン空気をエアポンプ30pで供給する場合と、オゾン生成器30を停止させてオゾンを含まない空気をエアポンプ30pで供給する場合がある。過給機モードとは、加圧空気配管25を通じて、コンプレッサ11cで加圧された吸気（加圧空気）の一部を反応室20aへ供給するモードである。

10

【0049】

調量弁25vおよび逆止弁26vは、エアポンプモードおよび過給機モードを切り替える切替装置を提供する。調量弁25vおよび逆止弁26vの作動を制御している時のマイコン41は、切替装置による切替作動を制御する切替制御手段41a（図1参照）を提供する。なお、触媒温度センサ42は、NOx浄化装置12に取り付けられ、還元触媒の雰囲気温度（触媒温度）を検出する。排気圧センサ43は、排気管に取り付けられ、排気通路10exのうち供給管23が接続される部分での排気の圧力（排気圧）を検出する。

【0050】

まず、図5のステップS10において、排気圧センサ43により検出された排気管内の圧力（排気圧Pex）を取得する。続くステップS11では、触媒温度センサ42により検出された還元触媒の温度（触媒温度Tcat）を取得する。続くステップS12では、吸着要求が生じているか否かを判定する。具体的には、取得した触媒温度Tcatが、還元触媒の活性化温度（例えば200）よりも低い場合、吸着要求ありと判定する。但し、NOx吸着量が飽和状態になっていると推定された場合には、触媒温度Tcatが活性化温度未満であっても吸着要求なしと判定する。NOx吸着量は、内燃機関10の運転状態とその時の触媒温度Tcatの推移の履歴に基づき推定される。

20

【0051】

ステップS12で吸着要求ありと判定された場合には、続くステップS13において、噴射弁22およびヒータ21への通電を停止させる。これにより、噴射弁22による反応室20aへの燃料噴射が停止されるとともに、ヒータ21による反応室20aの加熱が停止される。

30

【0052】

続くステップS14では、NOxを還元触媒に吸着させるにあたり、供給管23から排気通路10exへオゾンを添加させる要求が生じているか否かを判定する。具体的には、取得した触媒温度Tcatが所定の第1温度T1未満であるか否かを判定する。第1温度T1は、触媒の酸化活性が生じる温度（例えば200）よりも低い温度に設定されている。触媒温度Tcatが所定の第1温度T1未満である場合、オゾン要求ありと判定する。

【0053】

要するに、第1温度以上であれば、触媒の酸化活性によりNOがNO₂に酸化されるため、オゾンを添加せずとも十分にNOx（つまりNO₂）を吸着できる。これに対し、触媒温度Tcatが第1温度未満であれば、オゾンを添加して排気中のNOをNO₂に酸化させることで、十分に吸着できるように図ることが要求される。

40

【0054】

ステップS14にてオゾン要求ありと判定された場合には、続くステップS15において、エアポンプ30pの空気吐出圧（エアポンプ吐出圧）が排気圧Pexに対して十分に大きく、排気通路10exへ含オゾン空気を添加できるか否かを判定する。具体的には、ステップS10で取得した排気圧Pexが、所定の閾値Pth未満であるか否かを判定する。閾値Pthは、エアポンプ30pによる最大吐出圧、または最大吐出圧よりも僅かに

50

小さい値に設定されている。

【 0 0 5 5 】

ステップ S 1 5 により排気圧 P_{ex} が閾値 P_{th} 未満と判定された場合、つまりエアポンプ吐出圧で添加可能であると判定された場合、続くステップ S 1 6 にて放電制御を実施してオゾン生成器 3 0 の電極 3 1 へ通電して放電を生じさせる。続くステップ S 1 7 ではエアポンプ制御を実施して、オゾン生成器 3 0 へ空気を送風する。具体的には、予め設定されている電力量でエアポンプ 3 0 p を作動させる。続くステップ S 1 8 では、調量弁 2 5 v および逆止弁 2 6 v をエアポンプモードで制御（バルブ制御）する。具体的には、調量弁 2 5 v を閉弁作動させ、逆止弁 2 6 v を開弁作動させる。

10

【 0 0 5 6 】

以上のステップ S 1 6、S 1 7、S 1 8 の作動によるエアポンプモードによれば、オゾン生成器 3 0 でオゾンが生成される。そして、生成されたオゾンを含む含オゾン空気が、含オゾン空気配管 2 6、共用配管 2 4、反応容器 2 0 および供給管 2 3 を順に流通して排気通路 1 0 e x へ添加される。よって、排気中の NO が酸化されて NO_2 に変化することがオゾンにより促進されるので、還元触媒への NO_x 吸着量を増大できる。

【 0 0 5 7 】

なお、ヒータ 2 1 への通電を実施していると、オゾンは加熱されて崩壊する。また、燃料噴射を実施していると、オゾンは燃料と反応してしまう。これらの点を鑑み、ステップ S 1 4 にてオゾン要求ありと判定されてエアポンプモードで作動している場合には、ステップ S 1 3 にてヒータ 2 1 による加熱および燃料噴射を停止させるので、オゾンが燃料と反応することや加熱崩壊が回避される。よって、生成したオゾンがそのまま排気通路 1 0 e x へ添加されることとなる。

20

【 0 0 5 8 】

一方、ステップ S 1 5 にて排気圧 P_{ex} が閾値 P_{th} 以上と判定された場合、つまりエアポンプ吐出圧では添加できないと判定された場合、或いはステップ S 1 4 にてオゾン要求なしと判定された場合には、次のステップ S 1 9 の処理を実行する。ステップ S 1 9 では、オゾン生成器 3 0 およびエアポンプ 3 0 p への通電を停止させる。続くステップ S 2 0 では、調量弁 2 5 v および逆止弁 2 6 v を全閉モードで制御（バルブ制御）する。具体的には、調量弁 2 5 v および逆止弁 2 6 v を共に閉弁作動させる。

30

【 0 0 5 9 】

以上のステップ S 1 9、S 2 0 の作動による全閉モードによれば、オゾン生成器 3 0 でのオゾン生成が停止され、エアポンプ 3 0 p による空気の送風も停止される。また、加圧空気配管 2 5 からの加圧空気の供給も停止される。つまり、供給管 2 3 から排気通路 1 0 e x へは、オゾンも空気も燃料も添加されない。

【 0 0 6 0 】

ステップ S 1 4 にて触媒温度 T_{cat} が第 1 温度 T_1 以上であると判定されて、ステップ S 1 9、S 2 0 による全閉モードを実行した場合においては、不必要なオゾンの供給を回避できる。よって、オゾン生成器 3 0 およびエアポンプ 3 0 p を停止させることによる省電費を図ることができる。

40

【 0 0 6 1 】

ステップ S 1 5 にて排気圧 P_{ex} が閾値 P_{th} 以上と判定されて、ステップ S 1 9、S 2 0 による全閉モードを実行した場合においては、排気通路 1 0 e x 中の排気が、含オゾン空気配管 2 6 を逆流することを回避できる。よって、オゾン生成器 3 0 およびエアポンプ 3 0 p が排気で汚染されることを回避できる。

【 0 0 6 2 】

次に、ステップ S 1 2 にて吸着要求なしと判定された場合の処理について、図 6 を用いて説明する。

【 0 0 6 3 】

先ず、図 6 のステップ S 2 1 において、還元要求が生じているか否かを判定する。具体

50

的には、ステップS 1 1で取得した触媒温度 T_{cat} が、還元触媒の活性化温度以上、かつ上限温度未満である場合に、還元要求ありと判定する。触媒温度 T_{cat} が活性化温度以上であっても上限温度以上であれば、還元剤を添加しても還元反応が殆ど生じなくなるからである。

【0064】

ステップS 2 1で還元要求ありと判定された場合には、続くステップS 2 2において、還元剤で NO_x を還元させるにあたり、反応室20aへオゾンを供給させる要求が生じているか否かを判定する。具体的には、触媒温度 T_{cat} が所定の第2温度 T_2 未満であるか否かを判定する。第2温度 T_2 は、活性化温度よりも高い温度（例えば300）に設定されている。触媒温度 T_{cat} が所定の第2温度 T_2 未満である場合、オゾン要求ありと判定する。

10

【0065】

要するに、触媒温度 T_{cat} が第2温度 T_2 未満であれば、オゾンを供給することにより反応室20aで生じる図3の反応速度が速くなり、燃料の改質が促進される。しかし、触媒温度 T_{cat} が第2温度 T_2 以上であれば、オゾンを供給しなくても反応速度が十分に速くなるので、オゾンを供給することによる改質促進の効果が小さくなる。この点を鑑み、ステップS 2 2では触媒温度 T_{cat} が第2温度 T_2 未満である場合にオゾン要求ありと判定するので、第2温度 T_2 以上である場合に無駄にオゾンを供給することを回避でき、オゾン生成器30での消費電力を低減できる。

【0066】

20

ステップS 2 2にてオゾン要求ありと判定された場合には、続くステップS 2 3において、エアポンプ30pの空気吐出圧（エアポンプ吐出圧）が排気圧 P_{ex} に対して十分に大きく、排気通路10exへ改質還元剤を添加できるか否かを判定する。具体的には、ステップS 1 5と同様にして、排気圧 P_{ex} が閾値 P_{th} 未満であるか否かを判定する。

【0067】

ステップS 2 3により排気圧 P_{ex} が閾値 P_{th} 未満と判定された場合、つまりエアポンプ吐出圧で添加可能であると判定された場合、続くステップS 2 4にて放電制御を実施してオゾンを生成する。具体的には、後述するステップS 2 7で設定される燃料噴射量に応じたオゾン生成量となるよう、電極31への供給電力を調整する。

【0068】

30

続くステップS 2 5ではエアポンプ制御を実施して、オゾン生成器30へ空気を送風する。具体的には、ステップS 2 7で噴射される燃料と供給される空気の比率である当量比が、後述する目標当量比 trg となるよう、エアポンプ30pへの供給電力を調整して空気送風量を調整する。続くステップS 2 6では、調量弁25vおよび逆止弁26vをエアポンプモードで制御（バルブ制御）する。具体的には、調量弁25vを閉弁作動させ、逆止弁26vを開弁作動させる。

【0069】

続くステップS 2 7では、 NO_x 浄化装置12へ流入した NO_x の全てを還元するにあたり、過不足なく NO_x 浄化装置12へ供給するための還元剤添加量を、目標燃料量 F_{trg} として設定する。上記目標燃料量 F_{trg} とは、単位時間あたりに NO_x 浄化装置12へ供給する燃料の質量である。

40

【0070】

具体的には、以下に説明する NO_x 流入量および触媒温度 T_{cat} に基づき、目標燃料量 F_{trg} を設定する。上記 NO_x 流入量とは、単位時間あたりに NO_x 浄化装置12へ流入する NO_x の質量である。例えば、内燃機関10の運転状態に基づき、 NO_x 流入量を推定できる。そして、 NO_x 流入量が多いほど、目標燃料量 F_{trg} を増大させる。また、 NO_x 触媒温度に応じて還元触媒上で NO_x が還元される量（還元力）が異なってくるので、 NO_x 触媒温度による還元力の違いに応じて目標燃料量 F_{trg} を設定する。そして、設定した目標燃料量 F_{trg} に基づき、噴射弁22の作動を制御して燃料噴射を実施する。具体的には、目標燃料量 F_{trg} が多いほど噴射弁22の開弁時間を長くする。

50

或いは、今回の噴射終了から次の噴射開始までのインターバルを短くする。

【0071】

さらにステップS27では、ステップS25のエアポンプ制御で用いる目標当量比 t_{rg} を、反応室温度センサ27により検出された反応室温度および目標燃料量 F_{trg} に基づき、冷炎反応を生じさせるように設定する。具体的には、2段酸化反応領域における当量比の最大値であって、雰囲気温度に対応する当量比の最大値、またはその最大値から所定の余裕分だけ減算した値を、目標当量比 t_{rg} としてマップ化してマイコン41に記憶させておく。検出された反応室温度に対応する目標当量比 t_{rg} を、マップを参照して算出する。上述の如く余裕分を見込んで目標当量比 t_{rg} を設定することにより、実際の当量比が目標当量比 t_{rg} より大きくなったとしても、上記当量比の最大値を超えるおそれを低減でき、冷炎反応にとどまらず熱炎反応にまで至るおそれを低減できる。

10

【0072】

続くステップS28では、取得した反応室温度が、予め設定しておいた目標温度 T_{trg} と一致するよう、ヒータ21をフィードバック制御する。例えば、ヒータ21への電力供給量を、反応室温度センサ27による検出値と目標温度 T_{trg} との差分に応じてデューティ制御する。或いは、反応室温度が目標温度 T_{trg} よりも所定以上高くなった場合にヒータ21への電力供給量を停止させるといったオンオフ制御を実行する。目標温度 T_{trg} は、図4に示す2段酸化反応領域のうち、当量比が最大となる雰囲気温度（例えば370）に設定されている。

20

【0073】

以上のステップS24、S25、S26、S27、S28の作動によるエアポンプモードによれば、オゾン生成器30でオゾンが生成される。そして、生成されたオゾンを含む含オゾン空気が、含オゾン空気配管26および共用配管24を流通して反応容器20へ供給される。よって、反応容器20での燃料の改質がオゾンにより促進されるので、還元触媒でのNOx浄化率を向上できる。

【0074】

また、上述のごとく目標燃料量 F_{trg} に応じてエアポンプ30pおよびヒータ21を制御することにより、反応室温度および当量比は、2段酸化反応領域に調整される。よって、冷炎反応を生じさせて先述した改質燃料が生成される。反応室温度が調整される温度範囲の下限は、1段酸化領域および2段酸化領域と無反応領域との境界線となる260である。上記温度範囲の上限は、1段酸化領域と2段酸化領域の境界線のうちの最大温度である。当量比が調整される範囲の上限は、1段酸化領域と2段酸化領域の境界線のうちの最大値であって、370に対応する当量比である。

30

【0075】

一方、ステップS23にて排気圧 P_{ex} が閾値 P_{th} 以上と判定された場合、つまりエアポンプ吐出圧では添加できないと判定された場合、或いはステップS22にてオゾン要求なしと判定された場合には、次のステップS29の処理を実行する。ステップS29では、コンプレッサ11cにより圧縮された加圧空気の圧力（過給圧）を取得する。例えば、エンジン回転数やエンジン負荷等の内燃機関10の運転状態に基づき、過給圧を推定する。続くステップS30では、取得した過給圧が、ステップS10で取得した排気圧 P_{ex} より大きいかなかを判定する。

40

【0076】

過給圧が排気圧 P_{ex} より大きいと判定された場合には、次のステップS31において、オゾン生成器30およびエアポンプ30pへの通電を停止させる。続くステップS32では、調量弁25vおよび逆止弁26vを過給機モードで制御（バルブ制御）する。具体的には、調量弁25vを開弁作動させ、逆止弁26vを閉弁作動させる。次に、先述したステップS27による燃料噴射制御、およびステップS28によるヒータ制御を実行する。

【0077】

以上のステップS32、S27、S28の作動による過給機モードによれば、コンプレ

50

ッサ 11c による加圧空気が、加圧空気配管 25 および共用配管 24 を流通して反応室 20a へ供給される。つまり、燃料の部分酸化反応に必要な酸素が反応室 20a へ供給される。そして、排気圧 P_{ex} が閾値 P_{th} 以上であるにも拘らず、加圧空気の圧力で、改質燃料が排気通路 10ex へ添加される。このように、改質燃料が NO_x 浄化装置 12 へ流入するので、未改質の燃料を添加する場合に比べれば、還元触媒での NO_x 浄化率を向上できる。

【0078】

一方、ステップ S30 にて過給圧が排気圧 P_{ex} 以下であると判定された場合、つまり加圧空気に係る過給圧では改質燃料を排気通路 10ex に添加できないと判定された場合、次のステップ S33 においてステップ S15 と同様の判定を実行する。すなわち、エアポンプ吐出圧が排気圧 P_{ex} に対して十分に大きく、排気通路 10ex へ含オゾン空気を添加できるか否かを判定する。排気圧 P_{ex} が閾値 P_{th} 未満と判定された場合、つまりエアポンプ吐出圧で添加可能であると判定された場合、続くステップ S34 にてオゾン生成器 30 への通電を停止させる。その後、先述したステップ S25 によるエアポンプ制御、ステップ S26 によるエアポンプモードでのバルブ制御、ステップ S27 による燃料噴射制御、およびステップ S28 によるヒータ制御を実行する。

10

【0079】

なお、上述の如く排気圧 P_{ex} が過給圧以上 (S30 : NO) かつ閾値 P_{th} 未満である状態は、例えば次の状況で生じうる。すなわち、排気圧 P_{ex} の上昇に伴い生じる過給圧の上昇にはタイムラグがある。そのため、排気圧 P_{ex} が低圧の状態から上昇する際に、上記状態が生じうる。

20

【0080】

以上のステップ S25、S26、S27、S28 の作動によるエアポンプモードによれば、オゾンを含まない空気が、含オゾン空気配管 26 および共用配管 24 を流通して反応容器 20 へ供給される。つまり、燃料の部分酸化反応に必要な酸素が反応室 20a へ供給される。そして、過給圧が排気圧 P_{ex} 以下であるにも拘らず、エアポンプ 30p の送風圧力で、改質燃料が排気通路 10ex へ添加される。このように、改質燃料が NO_x 浄化装置 12 へ流入するので、未改質の燃料を添加する場合に比べれば、還元触媒での NO_x 浄化率を向上できる。

【0081】

30

一方、ステップ S33 において排気圧 P_{ex} が閾値 P_{th} 以上であると判定された場合、つまり加給圧で添加できないのみならず、エアポンプ 30p の送風圧力でも添加できないと判定された場合、 NO_x 浄化装置 12 の作動を停止させる。具体的には、次のステップ S35 において、ステップ S20 と同様にして調量弁 25v および逆止弁 26v を全閉モードで制御 (バルブ制御) する。続くステップ S36 では、オゾン生成器 30、エアポンプ 30p、ヒータ 21 および噴射弁 22 への通電を停止させる。

【0082】

要するに、還元要求があると判定された場合 (S21 : YES) であっても、エアポンプ 30p の送風圧力および過給圧のいずれもが排気圧 P_{ex} より低圧である場合 (S33 : NO) には、全閉モードにして NO_x 浄化装置 12 の作動を停止させる。また、吸着要求がなく (S12 : NO)、還元要求がないと判定された場合 (S21 : NO) においても、全閉モードで NO_x 浄化装置 12 の作動を停止させる。吸着要求および還元要求がない場面の具体例として、 NO_x 触媒温度が活性化温度未満であり、かつ、 NO_x 吸着量が飽和状態になっている場面や、 NO_x 触媒温度が還元可能範囲を超えて高温になっている場面が挙げられる。

40

【0083】

また、触媒温度 T_{cat} が活性化温度未満であり、かつ、 NO_x 吸着量が飽和状態になっている場合や、触媒温度 T_{cat} が還元可能範囲を超えて高温になっている場合にも、全閉モードでの NO_x 浄化装置 12 の作動停止が為されることとなる。

【0084】

50

以上により、本実施形態に係る還元剤添加装置は、反応容器 20 と、オゾン生成器 30 と、エアポンプ 30 p と、含オゾン空気配管 26 と、加圧空気配管 25 と、調量弁 25 v および逆止弁 26 v から構成される切替装置と、切替制御手段 41 a と、を備える。つまり、含オゾン空気を反応室 20 a へ導く含オゾン空気配管 26 と、加圧空気を反応室 20 a へ導く加圧空気配管 25 とを別々に備える。そして、エアポンプ 30 p およびオゾン生成器 30 は、含オゾン空気配管 26 の経路に配置され、加圧空気配管 25 の経路からは隔離されることとなる。

【0085】

そのため、エアポンプ 30 p のインペラやインペラケース、オゾン生成器 30 の電極 31 等が、吸気に含まれる汚物で汚染されることを抑制できる。汚物の具体例としては、内燃機関 10 の吸気に含まれる潤滑オイルの成分や未燃焼の燃料成分等が挙げられる。特に本実施形態では、含オゾン空気配管 26 のうち、オゾン生成器 30 およびエアポンプ 30 p の下流側部分に逆止弁 26 v が設けられている。この逆止弁 26 v は、オゾン生成器 30 およびエアポンプ 30 p へ加圧空気が流入することを防止する流入防止手段を提供する。そのため、オゾン生成器 30 およびエアポンプ 30 p が吸気により汚染されることの回避の確実性を向上できる。

【0086】

また、本実施形態では上述した切替装置および切替制御手段を備えるため、排気圧 P_{ex} が高くエアポンプ 30 p では添加困難な場合 (S23: NO) には、過給機モードに切り替える (S32)。よって、上記の場合であっても反応室 20 a で改質された還元剤を添加できる。また、エアポンプ 30 p での添加が可能な程度に排気圧 P_{ex} が低く (S23: YES)、かつ、オゾンによる NO_x 浄化率向上が見込めるような還元触媒温度である場合 (S22: YES) には、エアポンプモードに切り替える (S26)。よって、上記の場合には含オゾン空気配管 26 で改質された還元剤を添加できる。

【0087】

以上により、本実施形態によれば、オゾンによる NO_x 浄化率向上を図ることができ、それでいて、排気圧 P_{ex} が高くても改質還元剤の添加を可能にすることを、エアポンプ 30 p およびオゾン生成器 30 の汚染を抑制しつつ実現できる。

【0088】

ここで、先述した特許文献 2 に記載の還元剤添加装置では、過給機で加圧された吸気をエアポンプでアシストして添加している。つまり、本実施形態に係る含オゾン空気配管 26 を備えておらず、加圧空気配管 25 にエアポンプを設けている。そのため、内燃機関の低負荷運転時には過給圧が低くなり、エアポンプに負荷をかける懸念が生じる。これに対し本実施形態では、含オゾン空気配管 26 と加圧空気配管 25 とを別々に備えるので、上記懸念を解消できる。

【0089】

また、加圧空気配管 25 には調量弁 25 v が設けられており、エアポンプモード時には調量弁 25 v を閉弁作動させるので、過給圧が低い場合であっても、エアポンプ 30 p による送風空気や排気が加圧空気配管 25 に逆流することを防止できる。

【0090】

さらに、本実施形態に係る還元剤添加装置は、還元可否判定手段と、還元時オゾン要否判定手段と、還元時エアポンプ可否判定手段と、を備える。還元可否判定手段は、ステップ S21 の処理を実行しているマイコン 41 により提供され、触媒温度 T_{cat} に基づき、還元触媒上での NO_x の還元が可能な還元可能状態であるか否かを判定する。還元時オゾン要否判定手段は、ステップ S22 の処理を実行しているマイコン 41 により提供され、触媒温度 T_{cat} に基づき、還元可能状態である時に含オゾン空気を反応室 20 a へ供給する必要がある還元時オゾン要求状態であるか否かを判定する。還元時エアポンプ可否判定手段は、ステップ S23 の処理を実行しているマイコン 41 により提供され、排気圧 P_{ex} に基づき、エアポンプ 30 p による還元剤の排気通路 10 ex への添加が可能な還元時低排圧状態であるか否かを判定する。切替制御手段 41 a は、還元可能状態 (S21

10

20

30

40

50

：YES)、かつ還元時オゾン要求状態(S22: YES)、かつ還元時低排圧状態(S23: YES)と判定されていることに基づき、エアポンプモードに切り替える。

【0091】

これにより、エアポンプ30pで添加できる程度に排気圧Pexが低ければ、エアポンプモードに切り替えて含オゾン空気を反応室20aへ供給できるので、改質還元剤の活性化を促進でき、NOx浄化率向上を図ることができる。

【0092】

さらに、本実施形態に係る切替制御手段41aは、還元可能状態(S21: YES)、かつ還元時オゾン要求状態(S22: YES)、かつ還元時低排圧状態でない(S23: NO)と判定されていることに基づき、過給機モードに切り替える。

10

【0093】

これにより、エアポンプ30pでは添加できない程度に排気圧Pexが高くても、過給機モードに切り替えることで、オゾンの効果は得られないものの改質還元剤を排気通路10exに添加できる。よって、改質還元剤を添加できない事態に陥る機会を低減できる。

【0094】

さらに、本実施形態に係る切替制御手段41aは、還元可能状態(S21: YES)、かつ還元時オゾン要求状態でない(S22: NO)と判定されていることに基づき、過給機モードに切り替える。

【0095】

これにより、エアポンプ30pでは添加できない程度に排気圧Pexが高くても、過給機モードに切り替えることで、改質還元剤を排気通路10exに添加できる。よって、改質還元剤を添加できない事態に陥る機会を低減できる。なお、排気圧Pexが高い場合には、内燃機関10の高負荷運転に伴い排気温度が高く、還元時オゾン要求状態にならない程度に触媒温度Tcatが高くなっていることが多い。

20

【0096】

また、本実施形態に係る過給機モードでは、エアポンプ30pおよびオゾン生成器30への通電を停止させるので、エアポンプ30pおよびオゾン生成器30での消費電力を低減できる。

【0097】

さらに、本実施形態に係る還元剤添加装置は、吸着可否判定手段と、吸着時オゾン要否判定手段と、吸着時エアポンプ可否判定手段と、を備える。吸着可否判定手段は、ステップS12の処理を実行しているマイコン41により提供され、触媒温度Tcatに基づき、還元触媒へのNOxの吸着が可能な吸着可能状態であるか否かを判定する。吸着時オゾン要否判定手段は、ステップS14の処理を実行しているマイコン41により提供され、触媒温度Tcatに基づき、吸着可能状態である時に含オゾン空気の添加が要求される吸着時オゾン要求状態であるか否かを判定する。吸着時エアポンプ可否判定手段は、ステップS15の処理を実行しているマイコン41により提供され、排気圧力に基づき、エアポンプ30pによる含オゾン空気の排気通路10exへの添加が可能な吸着時低排圧状態であるか否かを判定する。切替制御手段41aは、吸着可能状態(S12: YES)、かつ吸着時オゾン要求状態(S14: YES)、かつ吸着時低排圧状態(S15: YES)と判定されていることに基づき、エアポンプモードに切り替える。

30

40

【0098】

これにより、エアポンプ30pで添加できる程度に排気圧Pexが低ければ、エアポンプモードに切り替えてオゾンを排気通路10exへ添加できるので、排気中のNOをNO₂に酸化させることを促進でき、還元触媒にNOxを吸着させることを促進できる。よって、還元触媒で吸着されずに大気へ放出されてしまうNOx量を低減でき、ひいてはNOx浄化率を向上できる。

【0099】

さらに本実施形態では、還元触媒は少なくとも銀を含む物質である。具体的には、担体にコーティングされたアルミナ上に銀触媒が担持されている。このように銀触媒を採用す

50

ることで、例えば白金触媒を採用した場合に比べて図3の部分酸化反応が生じやすくなる。よって、銀触媒を採用する本実施形態によれば、白金触媒を採用した場合に比べてNOx浄化率を向上できる。特に、触媒温度 T_{cat} が活性化している温度領域のうち、低温の領域において、NOx浄化率向上の効果が顕著に発揮されるようになる。

【0100】

さらに本実施形態では、改質手段は、還元剤を加熱するヒータ21（加熱手段）を有し、加熱手段により所定温度以上に加熱された還元剤を、空気中に含まれる酸素により部分的に酸化させて改質することを特徴とする。これによれば、燃料が部分酸化することを容易に実現でき、還元剤の改質を容易に実現できる。また、ヒータ21で燃料を加熱することにより、炭素数の少ない炭化水素化合物に燃料を分解させるクラッキングが生じるよう

10

【0101】

さらに本実施形態では、オゾン生成器30を備え、冷炎反応を生じさせる時には、オゾン生成器30により生成されたオゾンを供給する。そのため、冷炎反応の開始時期の早期化と、冷炎反応時間の短縮化を図ることができる。よって、反応室20aでの燃料の滞留時間が短くなるように反応容器20を小型化しても、上記滞留時間内に冷炎反応が完了するようにできる。よって、反応容器20の小型化を図ることができる。

【0102】

さらに本実施形態では、触媒温度 T_{cat} が活性化温度よりも低温の場合には、噴射弁22による燃料噴射を停止させつつ、オゾン生成器30により生成されたオゾンを空気通路23bへ供給させることで、排気通路10exへオゾンを添加する。これによれば、NOx浄化装置12の還元触媒が活性化していないにも拘わらず還元剤を添加することを防止できる。そして、オゾンの添加により、排気中のNOをNO₂に酸化させてNOx浄化触媒に吸着させるので、NOx浄化装置12へのNOx吸着量を増大できる。

20

【0103】

（他の実施形態）

以上、発明の好ましい実施形態について説明したが、発明は上述した実施形態に何ら制限されることなく、以下に例示するように種々変形して実施することが可能である。各実施形態で具体的に組合せが可能であることを明示している部分同士の組合せばかりではなく、特に組合せに支障が生じなければ、明示してなくとも実施形態同士を部分的に組み合わせることも可能である。

30

【0104】

図1に示す実施形態では、排気圧センサ43を備え、排気通路10exの圧力である排気圧 P_{ex} を直接検出している。これに対し、排気圧センサ43を廃止して、例えば内燃機関10の運転状態やDPF13での圧力損失等に基づき、排気圧 P_{ex} を推定してもよい。

【0105】

図1に示す実施形態では、NOx浄化装置12に取り付けられた触媒温度センサ42を備え、還元触媒の雰囲気温度（触媒温度 T_{cat} ）を直接検出している。これに対し、触媒温度センサ42を廃止して、例えば内燃機関10の運転状態等に基づき、触媒温度 T_{cat} を推定してもよい。

40

【0106】

図1に示す実施形態では、エアポンプ30pを、含オゾン空気配管26のうちオゾン生成器30の上流側に配置しているが、オゾン生成器30の下流側に配置してもよい。図1に示す実施形態では、DPF13を、排気通路10exのうちNOx浄化装置12の下流側に配置しているが、NOx浄化装置12の上流側に配置してもよい。

【0107】

図5に示す実施形態では、ステップS14の判定に用いる第1温度 T_1 を活性化温度よりも低い値に設定しているが、第1温度 T_1 を活性化温度に設定してもよい。

50

【0108】

図5に示す実施形態では、触媒温度 T_{cat} に基づく吸着要求の有無判定(S12)および排気圧 P_{ex} に基づく判定(S15)に応じて、エアポンプモードおよび全閉モードを切り替えている。これに対し、排気圧 P_{ex} に拘らず、吸着要求有りの場合にはエアポンプモードに設定し、ステップS20による全閉モードを廃止してもよい。

【0109】

図1に示す実施形態では、電磁駆動式の逆止弁26vを採用し、逆止弁26vの開閉作動をマイコン41が電子制御している。これに対し、弁体を閉弁させる向きに弾性力を付与させ、弁体の上流側圧力が下流側圧力よりも高く、その差圧により弾性力に抗して弁体を開弁作動させる、機械式の逆止弁を採用してもよい。

10

【0110】

図1に示す実施形態では、調量弁25vと逆止弁26vを別体に構成しているが、一体に構成してもよい。図1に示す実施形態では、過給機11は、排気の運動エネルギーによりコンプレッサ11cを回転させているが、電動モータによりコンプレッサ11cを駆動させる過給機を採用してもよい。

【0111】

上記実施形態では、触媒温度 T_{cat} が活性化温度以上かつ第2温度 T_2 未満であることを条件として、オゾンを用いた改質を実施する。これに対し、触媒温度 T_{cat} が活性化温度以上の場合において、触媒温度 T_{cat} が第2温度 T_2 よりも高温の第3温度(例えば350)以上であれば、オゾン供給を停止させて酸素供給した状態で、加熱された燃料を部分酸化させるようにしてもよい。第3温度以上の高温であれば、オゾンを供給しなくても十分に燃料は部分酸化するので、上述の如くオゾン供給を停止させれば、オゾン生成器30における電力消費を低減できる。要するに、オゾン無しでもヒータ21により燃料を加熱して酸素と反応させれば、燃料の部分酸化は可能である。但し、オゾンを用いて改質した方が、図3の反応を促進できる。

20

【0112】

図1に示す吸気通路10inに、コンプレッサ11cで加圧された吸気を冷却する冷却器が備えられている場合において、加圧空気配管25を冷却器の上流側に接続して冷却前の吸気を反応容器20へ供給するように構成することが望ましい。但し、加圧空気配管25を冷却器の下流側に接続して冷却後の吸気を反応容器20へ供給するように構成してもよい。

30

【0113】

上記実施形態では、銀を含んだ触媒を還元触媒として用いているが、本発明はこのような銀触媒に限定されるものではなく、例えば銅または鉄を含んだ触媒を還元触媒として用いてもよい。

【0114】

また、図1に示す実施形態では、 NO_x を物理的に捕捉(つまり吸着)する還元触媒が採用されているが、 NO_x を化学的結合により捕捉(つまり吸蔵)する還元触媒が採用された燃焼システムに、還元剤添加装置を適用させてもよい。このように吸蔵する還元触媒の具体例として、バリウム等のアルカリ土類金属やリチウム等のアルカリ金属を白金に組合せた触媒が挙げられる。

40

【0115】

上記実施形態に係る改質では、還元剤に含まれるアルデヒドの割合が所定割合(例えば10%)となるように改質している。これに対し、アルデヒドの割合がほぼ100%になるように改質してもよい。また、本発明に係る改質還元剤は、アルデヒドを含むことに限定されるものではない。例えば、アルコール、アセテート、一酸化炭素、水素を部分酸化物として用いた還元剤添加装置であってもよい。

【0116】

内燃機関10が理論空燃比よりもリーンな状態で燃焼させている時に、 NO_x 浄化装置12が NO_x を吸着し、リーン燃焼以外の時に NO_x を還元させる燃焼システムに、還元

50

剤添加装置を適用させてもよい。この場合、リーン燃焼時にはオゾンを生成し、リーン燃焼以外の時に改質燃料を生成させればよい。このようにリーン燃焼時に NO_x を捕捉する触媒の具体例としては、担体に担持された白金とバリウムによる吸蔵還元触媒が挙げられる。

【0117】

図1に示す実施形態では、車両に搭載された燃焼システムに還元剤添加装置を適用させている。これに対し、定置式の燃焼システムに還元剤添加装置を適用させてもよい。図1に示す実施形態では、圧縮自着火式のディーゼルエンジンに還元剤添加装置を適用させており、燃焼用の燃料として用いる軽油を還元剤として用いている。これに対し、点火着火式のガソリンエンジンに還元剤添加装置を適用させて、燃焼用の燃料として用いるガソリンを還元剤として用いてもよい。

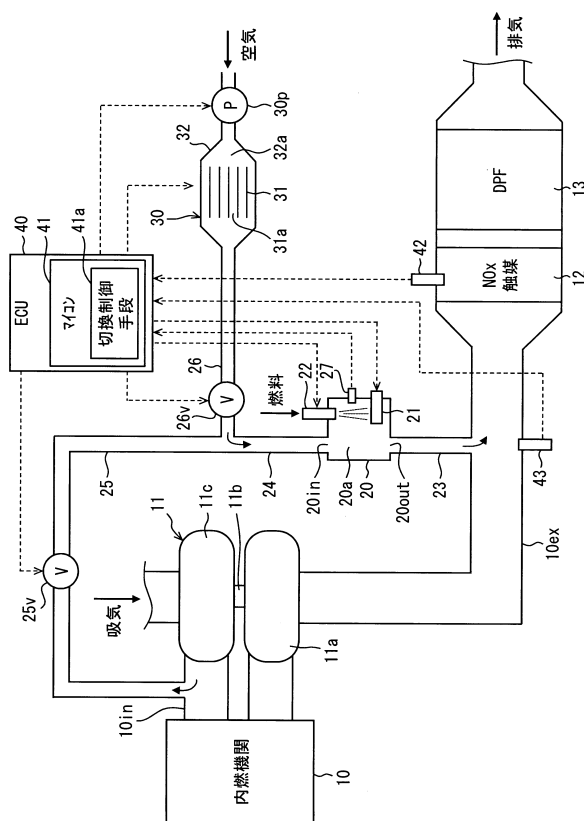
10

【符号の説明】

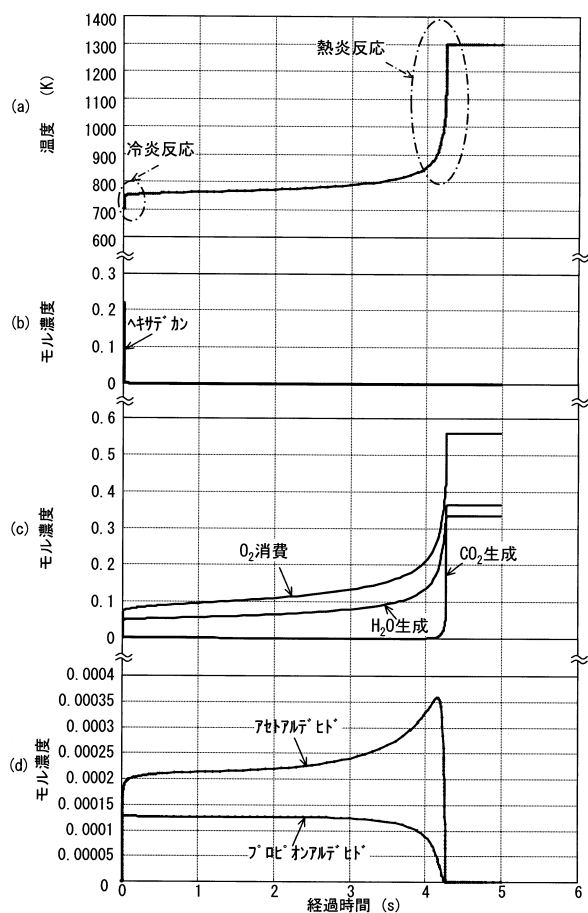
【0118】

10...内燃機関、10ex...排气通路、11...過給機、12... NO_x 浄化装置、20a...反応室、20...反応容器、25...加圧空気配管、25v...調量弁(切替装置)、26...含オゾン空気配管、26v...逆止弁(切替装置)、30...オゾン生成器、30p...エアポンプ、41a...切替制御手段。

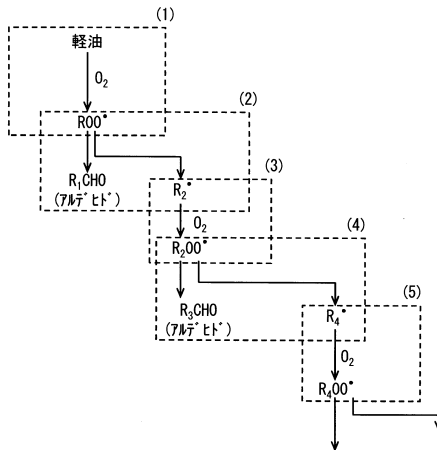
【図1】



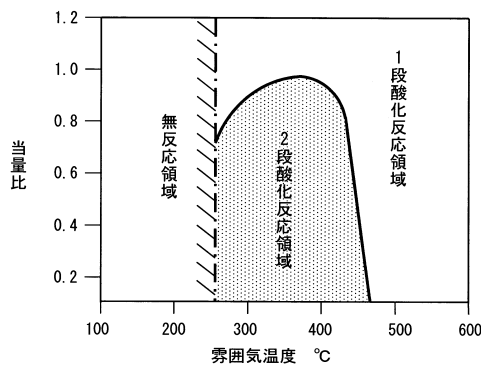
【図2】



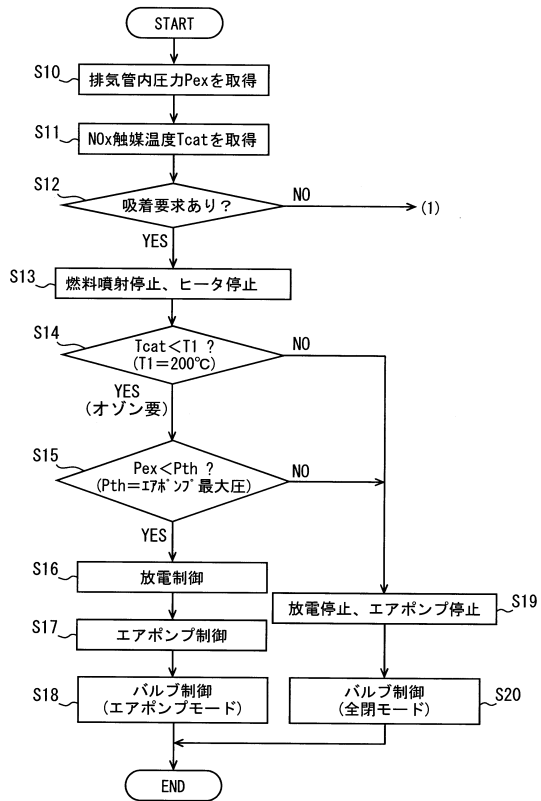
【図 3】



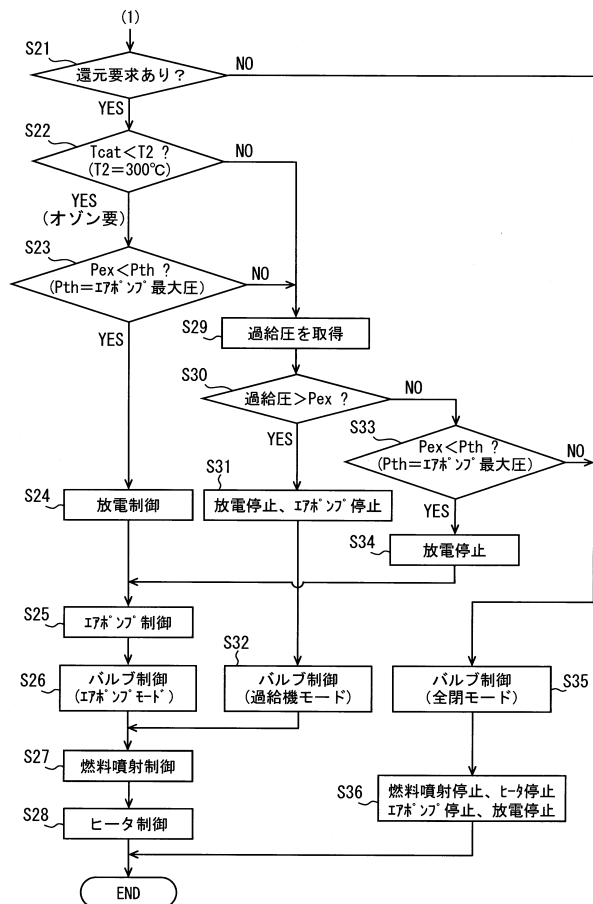
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
F 0 1 N 3/36 L

- (72)発明者 樽澤 祐季
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
(72)発明者 細田 真央
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
(72)発明者 真島 佑輔
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

審査官 稲村 正義

- (56)参考文献 特開2004-11428(JP,A)
国際公開第2013/035663(WO,A1)
特許第5465361(JP,B2)
特開2012-193620(JP,A)
特開2000-54833(JP,A)
米国特許出願公開第2005/0011184(US,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
F 0 1 N 3 / 0 0 - 3 / 3 8