

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7091377号  
(P7091377)

(45)発行日 令和4年6月27日(2022.6.27)

(24)登録日 令和4年6月17日(2022.6.17)

(51)国際特許分類	F I
F 2 3 D 14/32 (2006.01)	F 2 3 D 14/32
F 2 3 D 14/22 (2006.01)	F 2 3 D 14/22 D

請求項の数 10 (全18頁)

(21)出願番号	特願2020-15783(P2020-15783)	(73)特許権者	320011650 大陽日酸株式会社 東京都品川区小山一丁目3番26号
(22)出願日	令和2年1月31日(2020.1.31)	(74)代理人	110001634 特許業務法人 志賀国際特許事務所
(65)公開番号	特開2021-124212(P2021-124212 A)	(72)発明者	山本 康之 東京都品川区小山一丁目3番26号 大陽日酸株式会社内
(43)公開日	令和3年8月30日(2021.8.30)	(72)発明者	萩原 義之 東京都品川区小山一丁目3番26号 大陽日酸株式会社内
審査請求日	令和3年2月1日(2021.2.1)	(72)発明者	斉藤 岳志 東京都品川区小山一丁目3番26号 大陽日酸株式会社内
		審査官	磯部 賢

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 酸素富化バーナ及びその燃焼方法

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

先端側の中心部に設けられた燃料ガス噴出口に向けて燃料ガスを供給する燃料ガス流路と、前記燃料ガス噴出口の周囲を囲むように設けられた一次酸化剤噴出口に向けて一次酸化剤を供給する一次酸化剤流路とを有するメインノズルと、  
前記メインノズルの下側に少なくとも2つ以上配置されて、それぞれの先端側から二次酸化剤を噴射するサブノズルとを備え、  
前記メインノズルは、前記燃料ガスを前記一次酸化剤により一次燃焼させることによって、その先端側から火炎を噴射し、  
前記サブノズルは、その先端側の中心部に設けられた二次酸素噴出口に向けて二次酸素を供給する二次酸素流路を構成する第1のノズル部材と、前記二次酸素噴出口の周囲を囲むように設けられた二次空気噴出口に向けて二次空気を供給する二次空気流路を構成する第2のノズル部材とを有し、  
前記第1のノズル部材及び前記第2のノズル部材は、前記サブノズルの先端まで延長して設けられ、  
前記二次酸素噴出口は、前記第1のノズル部材により形成された第1の孔部の先端により構成され、  
前記二次空気噴出口は、前記第2のノズル部材により形成された第2の孔部の先端により構成され、  
前記二次酸素噴出口及び前記二次空気噴出口から前記二次酸化剤となる前記二次酸素及び

前記二次空気を前記火炎に向けて噴射することにより前記火炎を二次燃焼させることを特徴とする酸素富化バーナ。

【請求項 2】

前記サブノズルは、その先端側に設けられた二次酸化剤噴出口に向けて二次酸化剤を供給する二次酸化剤流路を有することを特徴とする請求項 1 に記載の酸素富化バーナ。

【請求項 3】

正面視で前記メインノズルの中心と前記サブノズルの中心との間の距離を  $L$  [mm] とし、前記燃料ガスの燃焼熱量 [MJ/h] を  $Q$  としたときに、 $50 \times (Q / 40.6)^{1/3} \leq L \leq 200 \times (Q / 40.6)^{1/3}$  の関係を満足することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の酸素富化バーナ。

10

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載の酸素富化バーナを用いた酸素富化バーナの燃焼方法であって、

前記サブノズルから前記火炎の 1/2 火炎長よりも先端側に向けて噴射された前記二次酸化剤により前記火炎を二次燃焼させることを特徴とする酸素富化バーナの燃焼方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の酸素富化バーナを用いた酸素富化バーナの燃焼方法であって、前記二次酸素の酸化力を前記二次空気で囲むことによって低くすることを特徴とする酸素富化バーナの燃焼方法。

【請求項 6】

前記燃料ガスの噴出速度を  $20 \sim 100$  m/s の範囲とし、  
前記一次酸化剤の噴出速度を  $5 \sim 40$  m/s の範囲とし、  
前記一次酸化剤の噴出速度に対する前記燃料ガスの噴出速度の比率を  $2 \sim 10$  の範囲とすることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の酸素富化バーナの燃焼方法。

20

【請求項 7】

前記一次酸化剤及び前記二次酸化剤の流量の合計に対する前記一次酸化剤の流量の比率を百分率で  $10 \sim 40$  % の範囲とすることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の酸素富化バーナの燃焼方法。

【請求項 8】

前記二次酸化剤の噴射速度を  $50 \sim 150$  m/s の範囲とすることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の酸素富化バーナの燃焼方法。

30

【請求項 9】

前記一次酸化剤の酸素濃度を  $20.9$  % 以上、且つ、前記一次酸化剤及び前記二次酸化剤の合計の酸素濃度以下とすることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の酸素富化バーナの燃焼方法。

【請求項 10】

前記燃料ガスとして、炭化水素系燃料ガスと、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{COG}$ 、 $\text{BFG}$ 、 $\text{M}$  ガスの中から選ばれる何れかのガスとの混合ガスを用いることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の酸素富化バーナの燃焼方法。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、酸素富化バーナ及びその燃焼方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、鉄や非鉄金属、セラミックスなどの被加熱物を加熱する加熱炉では、空気燃焼バーナが用いられている。また、加熱炉の出口には、熱交換器が設けられており、燃焼用空気を  $200 \sim 500$  まで予熱している。

【0003】

バーナにおける熱効率の向上を図る方法として、燃焼用空気に酸化剤である酸素を添加す

50

る酸素富化燃焼がある。酸素富化燃焼では、燃焼時の酸素濃度を高くすることによって、火炎の温度及び輝度が向上する。これにより、輻射伝熱効率が向上するため、バーナにおける熱効率の向上を図ることが可能である。

【0004】

ところで、上述した従来の酸素富化バーナでは、空気燃焼バーナに比べて熱効率の向上を図ることができる一方で、火炎の温度が上昇するために、窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )の生成が増加する課題がある。特に、加熱炉のように、燃焼用空気を予熱する場合、 $\text{NO}_x$ の生成量が極端に増加する場合がある。

【0005】

また、酸素富化バーナでは、火炎長が短くなることによって、炉内の温度分布に影響を及ぼし、被加熱物の温度分布が不均一になるといった課題がある。このため、バーナの構造や炉体の構造を根本的に変更する必要があった。

【0006】

例えば、酸素富化を適用した低 $\text{NO}_x$ バーナが提案されている(例えば、下記特許文献1を参照。)。しかしながら、このようなバーナの場合、中心の燃料と補助空気により形成された火炎周りに、酸素濃度の高い主空気が供給されることになり、火炎温度が上昇し、 $\text{NO}_x$ の生成量が増加する。

【0007】

一方、ノズルから火炎を形成するための保炎板を有し、ノズルの先端部において、酸素を燃料流路中で直角に吹込む構造の酸素富化燃焼バーナが提案されている(例えば、下記特許文献2を参照。)。しかしながら、このような構造の場合、ノズルの先端から高温の火炎が噴射されるため、 $\text{NO}_x$ の生成量が多くなる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【文献】特開平11-173506号公報

特開平08-325425号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明は、このような従来の事情に鑑みて提案されたものであり、酸素富化の燃焼条件においても $\text{NO}_x$ の生成を抑制しながら、空気燃焼に比べて熱効率の向上を図ることができる酸素富化バーナ、並びに、そのような酸素富化バーナを用いた酸素富化バーナの燃焼方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するために、本発明は以下の手段を提供する。

(1) 先端側の中心部に設けられた燃料ガス噴出口に向けて燃料ガスを供給する燃料ガス流路と、前記燃料ガス噴出口の周囲を囲むように設けられた一次酸化剤噴出口に向けて一次酸化剤を供給する一次酸化剤流路とを有するメインノズルと、

前記メインノズルの下側に少なくとも2つ以上配置されて、それぞれの先端側から二次酸化剤を噴射するサブノズルとを備え、

前記メインノズルは、前記燃料ガスを前記一次酸化剤により一次燃焼させることによって、その先端側から火炎を噴射し、

前記サブノズルは、その先端側の中心部に設けられた二次酸素噴出口に向けて二次酸素を供給する二次酸素流路を構成する第1のノズル部材と、前記二次酸素噴出口の周囲を囲むように設けられた二次空気噴出口に向けて二次空気を供給する二次空気流路を構成する第2のノズル部材とを有し、

前記第1のノズル部材及び前記第2のノズル部材は、前記サブノズルの先端まで延長して設けられ、

10

20

30

40

50

前記二次酸素噴出口は、前記第 1 のノズル部材により形成された第 1 の孔部の先端により構成され、

前記二次空気噴出口は、前記第 2 のノズル部材により形成された第 2 の孔部の先端により構成され、

前記二次酸素噴出口及び前記二次空気噴出口から前記二次酸化剤となる前記二次酸素及び前記二次空気を前記火炎に向けて噴射することにより前記火炎を二次燃焼させることを特徴とする酸素富化バーナ。

〔 2 〕 前記サブノズルは、その先端側に設けられた二次酸化剤噴出口に向けて二次酸化剤を供給する二次酸化剤流路を有することを特徴とする前記〔 1 〕に記載の酸素富化バーナ。

〔 3 〕 正面視で前記メインノズルの中心と前記サブノズルの中心との間の距離を  $L$  [ m ] とし、前記燃料ガスの燃焼熱量 [ MJ / h ] を  $Q$  としたときに、 $50 \times (Q / 40.6)^{1/3} \leq L \leq 200 \times (Q / 40.6)^{1/3}$  の関係を満足することを特徴とする前記〔 1 〕又は〔 2 〕に記載の酸素富化バーナ。

〔 4 〕 前記〔 1 〕～〔 3 〕の何れか一項に記載の酸素富化バーナを用いた酸素富化バーナの燃焼方法であって、

前記サブノズルから前記火炎の  $1/2$  火炎長よりも先端側に向けて噴射された前記二次酸化剤により前記火炎を二次燃焼させることを特徴とする酸素富化バーナの燃焼方法。

〔 5 〕 前記〔 1 〕に記載の酸素富化バーナを用いた酸素富化バーナの燃焼方法であって、前記二次酸素の酸化力を前記二次空気で囲むことによって低くすることを特徴とする酸素富化バーナの燃焼方法。

〔 6 〕 前記燃料ガスの噴出速度を  $20 \sim 100$  m / s の範囲とし、

前記一次酸化剤の噴出速度を  $5 \sim 40$  m / s の範囲とし、

前記一次酸化剤の噴出速度に対する前記燃料ガスの噴出速度の比率を  $2 \sim 10$  の範囲とすることを特徴とする前記〔 4 〕又は〔 5 〕に記載の酸素富化バーナの燃焼方法。

〔 7 〕 前記一次酸化剤及び前記二次酸化剤の流量の合計に対する前記一次酸化剤の流量の比率を百分率で  $10 \sim 40$  % の範囲とすることを特徴とする前記〔 4 〕又は〔 5 〕に記載の酸素富化バーナの燃焼方法。

〔 8 〕 前記二次酸化剤の噴射速度を  $50 \sim 150$  m / s の範囲とすることを特徴とする前記〔 4 〕又は〔 5 〕に記載の酸素富化バーナの燃焼方法。

〔 9 〕 前記一次酸化剤の酸素濃度を  $20.9$  % 以上、且つ、前記一次酸化剤及び前記二次酸化剤の合計の酸素濃度以下とすることを特徴とする前記〔 4 〕又は〔 5 〕に記載の酸素富化バーナの燃焼方法。

〔 10 〕 前記燃料ガスとして、炭化水素系燃料ガスと、 $NH_3$ 、 $H_2$ 、 $COG$ 、 $BFG$ 、 $M$  ガスの中から選ばれる何れかのガスとの混合ガスを用いることを特徴とする前記〔 4 〕又は〔 5 〕に記載の酸素富化バーナの燃焼方法。

【発明の効果】

【 0011】

以上のように、本発明によれば、酸素富化の燃焼条件においても  $NO_x$  の生成を抑制しながら、空気燃焼に比べて熱効率の向上を図ることができる酸素富化バーナ、並びに、そのような酸素富化バーナを用いた酸素富化バーナの燃焼方法を提供することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【 0012】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態に係る酸素富化バーナの軸線方向に沿った断面図である。

【図 2】図 1 に示す酸素富化バーナを先端側から見た正面図である。

【図 3】本発明の第 2 の実施形態に係る酸素富化バーナの軸線方向に沿った断面図である。

【図 4】図 3 に示す酸素富化バーナを先端側から見た正面図である。

【図 5】実施例 3 における距離  $L$  を変更したときの ( A )  $NO_x$  濃度の変化を測定したグラフ、( B )  $CO$  濃度の変化を測定したグラフである。

【図 6】実施例 4 における燃料ガスの噴出速度を変更したときの  $NO_x$  濃度の変化を測定

10

20

30

40

50

したグラフである。

【図 7】実施例 4 における一次酸化剤の噴出速度を変更したときの NO<sub>x</sub> 濃度の変化を測定したグラフである。

【図 8】実施例 4 における一次酸化剤及び二次酸化剤の流量の合計に対する一次酸化剤の流量の比率を変更したときの NO<sub>x</sub> 濃度の変化を測定したグラフである。

【図 9】実施例 6 における二次酸化剤の噴出速度を変更したときの NO<sub>x</sub> 濃度の変化を測定したグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

10

なお、以下の説明で用いる図面は、特徴をわかりやすくするために、便宜上特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などが実際と同じであるとは限らないものとする。また、以下の説明において例示される材料、寸法等は一例であって、本発明はそれらに必ずしも限定されるものではなく、その要旨を変更しない範囲で適宜変更して実施することが可能である。

【0014】

(第 1 の実施形態)

まず、本発明の第 1 の実施形態として、例えば図 1 及び図 2 に示す酸素富化バーナ 1 A について説明する。なお、図 1 は、酸素富化バーナ 1 A の軸線方向に沿った断面図である。図 2 は、酸素富化バーナ 1 A を先端側から見た正面図である。

20

【0015】

本実施形態のバーナ 1 A は、図 1 及び図 2 に示すように、燃料ガス G を一次酸化剤 S<sub>1</sub> により一次燃焼させることによって、その先端側から火炎 F を噴射するメインノズル 2 と、火炎 F に向けて噴射された二次酸化剤 S<sub>2</sub> により火炎 F を二次燃焼させる少なくとも 2 つ以上 (本実施形態では 2 つ) のサブノズル 3 とを備えている。

【0016】

また、メインノズル 2 及びサブノズル 3 は、それぞれバーナタイル T を貫通する孔部 H<sub>1</sub>、H<sub>2</sub> の内側に設置されている。バーナタイル T は、耐火材として加熱炉内の炉壁を構成している。

【0017】

メインノズル 2 は、正面視でバーナタイル T のほぼ中央に位置する孔部 H<sub>1</sub> に、その先端側が挿入された状態で配置されている。メインノズル 2 は、先端側の中心部に設けられた燃料ガス噴出口 4 と、燃料ガス噴出口 4 の周囲を囲むように設けられた一次酸化剤噴出口 5 と、燃料ガス噴出口 4 に向けて燃料ガス G を供給する燃料ガス流路 6 と、一次酸化剤噴出口 5 に向けて一次酸化剤 S<sub>1</sub> を供給する一次酸化剤流路 7 とを有している。

30

【0018】

メインノズル 2 は、その中心部に配置された第 1 のノズル部材 8 と、第 1 のノズル部材 8 の外側に同心円状に配置された第 2 のノズル部材 9 とを含む二重ノズル構造を有している。

【0019】

第 1 のノズル部材 8 は、その中心部を軸線方向に貫通する断面円形状の第 1 の孔部 8 a を有して、全体として略円筒状に形成されている。燃料ガス流路 6 は、この第 1 の孔部 8 a により構成され、燃料ガス噴出口 4 は、この第 1 の孔部 8 a の先端により構成されている。

40

【0020】

第 2 のノズル部材 9 は、その中心部を軸線方向に貫通する断面円形状の第 2 の孔部 9 a を有して、全体として略円筒状に形成されている。一次酸化剤流路 7 は、この第 2 の孔部 9 a により構成され、一次酸化剤噴出口 5 は、この第 2 の孔部 9 a の先端により構成されている。また、第 2 の孔部 9 a は、その途中から先端側に向かって縮径され、その縮径された形状のまま先端まで延長されている。

【0021】

サブノズル 3 は、メインノズル 2 の下側に配置されている。本実施形態では、正面視でバ

50

ーナタイルTの孔部H1よりも下方側に位置し、且つ、孔部H1を挟んで対称に並ぶ2つの孔部H2に、それぞれサブノズル3の先端側が挿入された状態で配置されている。サブノズル3は、その先端側に設けられた二次酸化剤噴出口10と、二次酸化剤噴出口10に向けて二次酸化剤S2を供給する二次酸化剤流路11とを有している。

【0022】

サブノズル3は、その中心部を軸線方向に貫通する断面円形状の第3の孔部12aを有して、全体として略円筒状に形成された第3のノズル部材12により構成されている。二次酸化剤流路11は、この第3の孔部12aにより構成され、二次酸化剤噴出口10は、この第3の孔部12aの先端により構成されている。また、第3の孔部12aは、その途中から先端側に向かって僅かに縮径され、その縮径された形状のまま先端まで延長されている。

10

【0023】

本実施形態の酸素富化バーナ1Aでは、燃料ガス噴出口4から噴出された燃料ガスGを一次酸化剤噴出口5から噴出された一次酸化剤S1により一次燃焼させることによって、メインノズル2の先端側から火炎Fを噴射する。また、本実施形態の酸素富化バーナ1Aでは、各サブノズル3の先端側から火炎Fに向けて噴射された二次酸化剤S2により火炎Fを二次燃焼させる。

【0024】

本実施形態では、燃料ガスGとして、例えば、天然ガス(LNG)、都市ガス、LPガス、プロパンガス、ブタンガスなどの炭化水素系燃料ガスの他に、NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>、コークス炉ガス(COG: Coke Oven Gas)、高炉ガス(BFG: Blast Furnace Gas)、ミックガス(Mガス)の中から選ばれる何れかのガスと炭化水素系燃料ガスとの混合ガスを用いることができる。一方、一次酸化剤S1及び二次酸化剤S2には、空気又は酸素を用いることができる。

20

【0025】

なお、COGは、石炭をコークス炉で乾留したときに発生する副生ガスであり、その主要成分は、水素、メタン、一酸化炭素、炭化水素である。BFGは、高炉で鉄鉱石をコークスで還元して銑鉄を製造する際に発生する副生ガスであり、その主要成分は、一酸化炭素、二酸化炭素、窒素である。Mガスは、余剰のCOGとBFGを混合したガスである。

【0026】

本実施形態の酸素富化バーナ1Aでは、上述した燃料ガスGを一次酸化剤S1により一次燃焼させることによって、火炎(一次火炎/還元火炎)Fが形成され、この火炎Fの中心から離れた位置から供給される二次酸化剤S2により火炎Fを二次燃焼させることによって、燃料ガスGが完全燃焼させることが可能である。

30

【0027】

特に、本実施形態の酸素富化バーナ1Aでは、サブノズル3から火炎Fの1/2火炎長よりも先端側に向けて噴射された二次酸化剤S2により火炎Fを二次燃焼させることが好ましい。

【0028】

この場合、火炎Fの後流側で徐々に燃料ガスGと二次酸化剤S2とが反応するため、局所的な高温部が形成されず、NO<sub>x</sub>の生成を抑制することができる。また、メインノズル2よりも下方に位置するサブノズル3から二次酸化剤S2を供給することによって、火炎Fと二次酸化剤S2との混合が遅くなり、NO<sub>x</sub>の生成を抑制することができる。一方、火炎Fの全周囲から二次酸化剤S2が供給される場合、火炎Fと二次酸化剤S2との混合が速くなり、NO<sub>x</sub>生成の抑制効果が小さくなってしまふ。

40

【0029】

また、燃料ガスGとして、上述した炭化水素系燃料の他に、NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>、COG、BFG、Mガスを用いた場合でも、NO<sub>x</sub>の生成を抑えることができる。また、加熱炉向けに、NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>、COG、BFG、Mガスを燃料ガスGとして用いた場合でも、酸素富化することが可能となる。さらに、これらの燃料ガスGを用いることによって、CO<sub>2</sub>の発

50

生量を大幅に削減することが可能となる。

【 0 0 3 0 】

また、本実施形態の酸素富化バーナ 1 A では、燃料ガス G の噴出速度  $V_g$  を  $20 \sim 100$  m / s の範囲とし、一次酸化剤 S 1 の噴出速度  $V_{s1}$  を  $5 \sim 40$  m / s の範囲とし、一次酸化剤 S 1 の噴出速度  $V_{s1}$  に対する燃料ガス G の噴出速度  $V_g$  の比率 ( $V_g / V_{s1}$ ) を  $2 \sim 10$  の範囲とすることが好ましい。

【 0 0 3 1 】

燃料ガス G の噴出速度  $V_g$  が  $20$  m / s より遅くなると、燃料ガス G が二次酸化剤 S 2 の流れに巻き込まれて、燃料ガス G と二次酸化剤 S 2 との混合が速くなり、 $NO_x$  の生成量が増加することになる。一方、燃料ガス G の噴出速度  $V_g$  が  $100$  m / s より速くなると、燃料ガス G の流れに二次酸化剤 S 2 が巻き込まれて、 $NO_x$  の生成量が増加することになる。

10

【 0 0 3 2 】

一次酸化剤 S 1 の噴出速度  $V_{s1}$  が  $5$  m / s より遅くなると、燃料ガス G と一次酸化剤 S 1 との混合が悪くなり、燃料ガス G の燃焼状態が悪化することになる。一方、一次酸化剤 S 1 の噴出速度  $V_{s1}$  が  $40$  m / s より速くなると、燃料ガス G と一次酸化剤 S 1 との混合が速くなり、火炎 F の温度が上昇して  $NO_x$  の生成量が増加することになる。

【 0 0 3 3 】

また、本実施形態の酸素富化バーナ 1 A では、一次酸化剤 S 1 及び二次酸化剤 S 2 の流量の合計に対する一次酸化剤 S 1 の流量の比率を百分率で  $10 \sim 40$  % の範囲とすることが好ましい。

20

【 0 0 3 4 】

一次酸化剤 S 1 の流量を上記範囲内とすることによって、還元雰囲気的一次火炎が形成され、 $NO_x$  の生成を抑制することができる。一方、一次酸化剤 S 1 の流量が  $10$  % より少なくなると、一次火炎が長くなり、全体の火炎長が長くなったり、未燃焼などの問題が生じることになる。一方、一次酸化剤 S 1 の流量が  $40$  % より多くすると、一次火炎の還元性が弱くなり、 $NO_x$  の生成量が増加することになる。

【 0 0 3 5 】

また、本実施形態の酸素富化バーナ 1 A では、二次酸化剤 S 2 の噴射速度を  $50 \sim 150$  m / s の範囲とすることが好ましい。

30

【 0 0 3 6 】

二次酸化剤 S 2 の噴射速度を上記範囲内とすることによって、一次火炎への二次酸化剤 S 2 の混合を適正化し、 $NO_x$  の生成を抑制することができる。一方、二次酸化剤 S 2 の噴射速度が  $50$  m / s より遅くなると、一次火炎との混合が緩慢になり過ぎて、未燃焼ガスが発生することになる。一方、また、二次酸化剤 S 2 の噴射速度が  $150$  m / s より速くなると、一次火炎との混合が速くなり、 $NO_x$  の生成量が増加することになる。

【 0 0 3 7 】

また、本実施形態の酸素富化バーナ 1 A では、一次酸化剤 S 1 の酸素濃度を  $20.9$  % 以上、且つ、一次酸化剤 S 1 及び二次酸化剤 S 2 の合計の酸素濃度以下とすることが好ましい。

40

【 0 0 3 8 】

酸素富化燃焼において、燃料ガス G を酸素濃度の低い一次酸化剤 S 1 と反応させることにより、一次火炎の温度を抑えることができる。また、局所酸素濃度を下げることによって、 $NO_x$  の生成を抑制することができる。

【 0 0 3 9 】

また、本実施形態の酸素富化バーナ 1 A では、正面視でメインノズル 2 の中心とサブノズル 3 の中心との間の距離を  $L$  [ mm ] とし、燃料ガス G の燃焼熱量 [ MJ / h ] を  $Q$  としたときに、下記式 ( 1 ) の関係を満足することが好ましい。

$$50 \times (Q / 40.6)^{1/3} \leq L \leq 200 \times (Q / 40.6)^{1/3} \quad \dots (1)$$

【 0 0 4 0 】

50

これにより、一次燃焼に形成された火炎Fへの二次酸化剤S2の混合が適正化され、NOxの発生を抑制することができる。一方、二次酸化剤S2の供給位置がメインノズル2に近過ぎると、二次酸化剤S2の混合が早くなり、高濃度のNOxが発生することになる。一方、二次酸化剤S2の供給位置がメインノズル2から遠すぎると、二次酸化剤S2の混合が悪くなり、燃焼悪化によりCO等の未燃焼ガスが発生することになる。

【0041】

以上のように、本実施形態によれば、酸素富化の燃焼条件においてもNOxの生成を抑制しながら、空気燃焼に比べて熱効率の向上を図ることができる酸素富化バーナ1A、並びに、そのような酸素富化バーナ1Aを用いた酸素富化バーナの燃焼方法を提供することが可能である。

【0042】

(第2の実施形態)

次に、本発明の第2の実施形態として、例えば図3及び図4に示す酸素富化バーナ1Aについて説明する。なお、図3は、酸素富化バーナ1Bの軸線方向に沿った断面図である。図4は、酸素富化バーナ1Bを先端側から見た正面図である。また、以下の説明では、上記酸素富化バーナ1Aと同等の部位については、説明を省略すると共に、図面において同じ符号を付すものとする。

【0043】

本実施形態の酸素富化バーナ1Bは、図3及び図4に示すように、上記サブノズル3の構成が異なる以外は、上記酸素富化バーナ1Aと基本的に同じ構成を有している。

【0044】

具体的に、この酸素富化バーナ1Bが備えるサブノズル3は、その先端側の中心部に設けられた二次酸素噴出口21と、二次酸素噴出口21の周囲を囲むように設けられた二次空気噴出口22と、二次酸素噴出口21に向けて二次酸素S2Oを供給する二次酸素流路23と、二次空気噴出口22に向けて二次空気S2Aを供給する二次空気流路24とを有している。

【0045】

サブノズル3は、その中心部に配置された第1のノズル部材25と、第1のノズル部材25の外側に同心円状に配置された第2のノズル部材26とを含む二重ノズル構造を有している。

【0046】

第1のノズル部材25は、その中心部を軸線方向に貫通する断面円形状の第1の孔部25aを有して、全体として略円筒状に形成されている。二次酸素流路23は、この第1の孔部25aにより構成され、二次酸素噴出口21は、この第1の孔部25aの先端により構成されている。また、第1の孔部25aは、その途中から先端側に向かって僅かに縮径され、その縮径された形状のまま先端まで延長されている。

【0047】

第2のノズル部材26は、その中心部を軸線方向に貫通する断面円形状の第2の孔部26aを有して、全体として略円筒状に形成されている。二次空気流路24は、この第2の孔部26aにより構成され、二次空気噴出口22は、この第2の孔部26aの先端により構成されている。また、第2の孔部26aは、その途中から先端側に向かって縮径され、その縮径された形状のまま先端まで延長されている。

【0048】

本実施形態の酸素富化バーナ1Bでは、燃料ガス噴出口4から噴出された燃料ガスGを一次酸化剤噴出口5から噴出された一次酸化剤S1により一次燃焼させることによって、メインノズル2の先端側から火炎Fを噴射する。また、本実施形態の酸素富化バーナ1Bでは、二次酸素噴出口21から噴出された二次酸素S2Oと、二次空気噴出口22から噴出された二次空気S2Aとを二次酸化剤S2として、各サブノズル3の先端側から火炎Fに向けて噴射し、この二次酸化剤S2(二次酸素S2O及び二次空気S2A)により火炎Fを二次燃焼させる。

10

20

30

40

50

## 【0049】

本実施形態の酸素富化バーナ1Bでは、上述した燃料ガスGを一次酸化剤S1により一次燃焼させることによって、火炎（一次火炎/還元火炎）Fが形成され、この火炎Fの中心から離れた位置から供給される二次酸化剤S2（二次酸素S2O及び二次空気S2A）により火炎Fを二次燃焼させることによって、燃料ガスGが完全燃焼させることが可能である。

## 【0050】

特に、本実施形態の酸素富化バーナ1Bでは、酸化力の高い二次酸素S2Oを酸化力の低い二次空気S2Aで囲んだ状態で噴射することが好ましい。

## 【0051】

この場合、サブノズル3から噴射される二次酸化剤S2のうち、その外周付近の二次空気S2Aによる酸化力を低くし（すなわち低酸素濃度とし）、その中心付近の二次酸素S2Oによる酸化力を高くする（すなわち高酸素濃度とする）ことで、メインノズル2の先端近くでは、一次燃焼に形成された火炎Fが酸素濃度の低い二次酸化剤S2と反応し、火炎Fの温度の上昇が抑えられる。これにより、NOxの生成を抑制することができる。

## 【0052】

また、本実施形態の酸素富化バーナ1Bでは、上述した酸素富化バーナ1Aと同じ燃焼方法を用いることによって、酸素富化バーナ1Aを用いた場合と同様の効果を得ることが可能である。

## 【0053】

以上のように、本実施形態によれば、酸素富化の燃焼条件においてもNOxの生成を抑制しながら、空気燃焼に比べて熱効率の向上を図ることができる酸素富化バーナ1B、並びに、そのような酸素富化バーナ1Bを用いた酸素富化バーナの燃焼方法を提供することが可能である。

## 【実施例】

## 【0054】

以下、実施例により本発明の効果をより明らかなものとする。なお、本発明は、以下の実施例に限定されるものではなく、その要旨を変更しない範囲で適宜変更して実施することができる。

## 【0055】

## （実施例1）

実施例1では、上記酸素富化バーナ1Aを試験炉に設置して、下記表1の燃焼条件で燃焼試験を行い、炉出口におけるNOx濃度を測定した。その測定結果を下記表2に示す。

## 【0056】

10

20

30

40

50

【表 1】

		実施例 1			
		条件 1	条件 2	条件 3	条件 4
天然ガス流量	[Nm <sup>3</sup> /h]	17.0	11.8	10.4	9.0
酸素比	[-]	1.05	1.05	1.05	1.05
全体の酸素濃度	[%]	21	25	30	40
一次酸化剤流量割合	[-]	0.2	0.2	0.2	0.2
一次酸化剤	流量 [Nm <sup>3</sup> /h]	26.8	22.4	18.7	14.0
	酸素濃度 [%]	21	25	30	40
二次酸化剤	流量 [Nm <sup>3</sup> /h]	107.1	89.8	74.8	56.1
	酸素濃度 [%]	21	25	30	40
LNG 噴出速度	[m/s]	40	40	40	40
一次酸化剤噴出速度	[m/s]	10	10	10	10

10

20

【 0 0 5 7 】

【表 2】

	条件 1	条件 2	条件 3	条件 4
NO <sub>x</sub> 濃度 [ppm, O <sub>2</sub> 11%換算]	20	26	30	49
CO 濃度 [ppm]	18	17	18	19

30

【 0 0 5 8 】

本燃焼試験では、メインノズル 2 の中心とサブノズル 3 の中心との間の距離 L は、125 mm とした。また、酸素富化バーナ 1 A による燃焼量は、炉内温度が 1270 となるように調整した。

【 0 0 5 9 】

本燃焼試験では、上記表 1 中に示す条件 1 ~ 4 のように、一次酸化剤 S 1 及び二次酸化剤 S 2 の酸素濃度を変えて、NO<sub>x</sub> 濃度への影響を確認した。その結果、何れの条件においても、加熱炉の NO<sub>x</sub> 濃度の規制値である 130 ppm (O<sub>2</sub> 11%換算) 対して、十分低いレベルに抑制できることを確認した。また、CO 濃度も低いレベルにあることを確認した。

40

【 0 0 6 0 】

(実施例 2)

実施例 2 では、上記酸素富化バーナ 1 B を試験炉に設置して、下記表 3 の燃焼条件で燃焼試験を行い、炉出口における NO<sub>x</sub> 濃度を測定した。その測定結果を下記表 4 に示す。

【 0 0 6 1 】

50

【表 3】

		実施例 2		
		条件 1	条件 2	条件 3
天然ガス流量	[Nm <sup>3</sup> /h]	9.0	9.0	9.0
酸素比	[-]	1.05	1.05	1.05
全体の酸素濃度	[%]	40	40	40
一次酸化剤流量割合	[-]	0.2	0.2	0.2
一次酸化剤	流量	26.8	14.0	5.6
	[Nm <sup>3</sup> /h]			
二次酸化剤	酸素濃度	43.3	56.1	64.5
	流量			
二次酸化剤	[Nm <sup>3</sup> /h]	51.8	40	34.8
	酸素濃度			
LNG 噴出速度	[m/s]	40	40	40
一次酸化剤噴出速度	[m/s]	10	10	10

10

20

【0062】

【表 4】

	条件 1	条件 2	条件 3
NO <sub>x</sub> 濃度 [ppm, O <sub>2</sub> 11%換算]	24	40	90
CO 濃度 [ppm]	21	19	19

30

【0063】

本燃焼試験では、メインノズル 2 の中心とサブノズル 3 の中心との間の距離 L は、125 mm とした。また、酸素富化バーナ 1 A による燃焼量は、炉内温度が 1270 となるように調整した。

【0064】

本燃焼試験では、上記表 3 中に示す条件 1 ~ 3 のように、一次酸化剤 S 1 及び二次酸化剤 S 2 (二次酸素 S 2 O 及び二次空気 S 2 A) の酸素濃度を変えて、NO<sub>x</sub> 濃度への影響を確認した。その結果、何れの条件においても、加熱炉の NO<sub>x</sub> 濃度の規制値である 130 ppm (O<sub>2</sub> 11%換算) に対して、十分低いレベルに抑制できることを確認した。また、CO 濃度も低いレベルにあることを確認した。

40

【0065】

また、実施例 1 の条件 4 と実施例 2 の条件 2 とは、メインノズル 3 の燃焼条件が同じであるが、一次酸化剤 S 1 の酸素濃度が低い実施例 2 の条件 2 の方が NO<sub>x</sub> が抑制できることを確認した。

【0066】

(実施例 3)

実施例 3 では、上記酸素富化バーナ 1 A を試験炉に設置して、下記表 5 の燃焼条件で距離 L を変更しながら燃焼試験を行い、炉出口における NO<sub>x</sub> 濃度及び CO 濃度を測定した。その測定結果をまとめたグラフを図 5 (A), (B) に示す。

【0067】

50

【表 5】

		実施例3
天然ガス流量	Nm <sup>3</sup> /h	9
酸素比	—	1.05
全体の酸素濃度	%	40
1次酸化剤流量比率	—	0.2
天然ガス噴出速度	[m/s]	40
1次酸化剤噴出速度	[m/s]	10
距離L	[mm]	70~500

10

## 【0068】

本燃焼試験における燃料ガスの燃焼熱量は、365.4 MJ/hである。したがって、上記式(1)を満足する距離Lの範囲は、104 L 416 mmである。

## 【0069】

本燃焼試験では、図5(A)に示すように、距離Lが上記式(1)を満足する範囲で、加熱炉のNO<sub>x</sub>濃度の規制値である130 ppm(O<sub>2</sub> 11%換算)に対して、十分低いレベルに抑制できることを確認した。また、図5(B)に示すように、距離Lが上記式(1)を満足する範囲で、CO濃度を50 ppm以下の低いレベルに抑制できることを確認した。

20

## 【0070】

## (実施例4)

実施例4では、上記酸素富化バーナ1Aを試験炉に設置して、下記表6の燃焼条件(条件1)で燃料ガスの噴出速度を変更しながら燃焼試験を行い、炉出口におけるNO<sub>x</sub>濃度を測定した。その測定結果をまとめたグラフを図6に示す。

## 【0071】

また、実施例4では、上記酸素富化バーナ1Aを試験炉に設置して、下記表6の燃焼条件(条件2)で一次酸化剤の噴出速度を変更しながら燃焼試験を行い、炉出口におけるNO<sub>x</sub>濃度を測定した。その測定結果をまとめたグラフを図7に示す。

30

## 【0072】

## 【表6】

		実施例4	
		条件1	条件2
天然ガス流量	Nm <sup>3</sup> /h	9	9
酸素比	—	1.05	1.05
全体の酸素濃度	%	40	40
1次酸化剤流量比率	—	0.2	0.2
天然ガス噴出速度	[m/s]	10~150	40
1次酸化剤噴出速度	[m/s]	10	5~80
距離L	[mm]	150	150

40

## 【0073】

本燃焼試験では、図6に示すように、燃料ガスの噴出速度が20~100 m/sとなる範囲で、加熱炉のNO<sub>x</sub>濃度の規制値である130 ppm(O<sub>2</sub> 11%換算)に対して、十分低いレベルに抑制できることを確認した。

50

## 【 0 0 7 4 】

本燃焼試験では、図 7 に示すように、一次酸化剤の噴出速度が 5 ~ 4 0 m / s となる範囲で、加熱炉の NO<sub>x</sub> 濃度の規制値である 1 3 0 p p m ( O<sub>2</sub> 1 1 % 換算 ) 対して、十分低いレベルに抑制できることを確認した。

## 【 0 0 7 5 】

( 実施例 5 )

実施例 5 では、上記酸素富化バーナ 1 A を試験炉に設置して、下記表 7 の燃焼条件で一次酸化剤及び二次酸化剤の流量の合計に対する一次酸化剤の流量の比率を変更しながら燃焼試験を行い、炉出口における NO<sub>x</sub> 濃度を測定した。その測定結果をまとめたグラフを図 8 に示す。

## 【 0 0 7 6 】

【表 7】

		実施例5
天然ガス流量	Nm <sup>3</sup> /h	9
酸素比	—	1.05
全体の酸素濃度	%	40
1次酸化剤流量比率	—	0~1
天然ガス噴出速度	[m/s]	40
1次酸化剤噴出速度	[m/s]	10
距離L	[mm]	150

## 【 0 0 7 7 】

本燃焼試験では、図 8 に示すように、一次酸化剤の比率が 0 . 1 ~ 0 . 4 ( 1 0 ~ 4 0 % ) となる範囲で、加熱炉の NO<sub>x</sub> 濃度の規制値である 1 3 0 p p m ( O<sub>2</sub> 1 1 % 換算 ) 対して、十分低いレベルに抑制できることを確認した。

## 【 0 0 7 8 】

( 実施例 6 )

実施例 6 では、上記酸素富化バーナ 1 A を試験炉に設置して、下記表 8 の燃焼条件で二次酸化剤の噴射速度を変更しながら燃焼試験を行い、炉出口における NO<sub>x</sub> 濃度及び CO 濃度を測定した。その測定結果をまとめたグラフを図 9 ( A ) , ( B ) に示す。

## 【 0 0 7 9 】

【表 8】

		実施例6
天然ガス流量	Nm <sup>3</sup> /h	9
酸素比	—	1.05
全体の酸素濃度	%	40
1次酸化剤流量比率	—	0.2
天然ガス噴出速度	[m/s]	40
1次酸化剤噴出速度	[m/s]	10
2次酸化剤噴出速度	[m/s]	30~200
距離L	[mm]	150

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 0 】

本燃焼試験では、図 9 ( A ) に示すように、二次酸化剤の噴射速度が 5 0 ~ 1 5 0 m / s となる範囲で、加熱炉の N O x 濃度の規制値である 1 3 0 p p m ( O 2 1 1 % 換算 ) 対して、十分低いレベルに抑制できることを確認した。また、図 9 ( B ) に示すように、距離 L が上記式 ( 1 ) を満足する範囲で、C O 濃度を 5 0 p p m 以下の低いレベルに抑制できることを確認した。

## 【符号の説明】

## 【 0 0 8 1 】

1 A , 1 B ... 酸素富化バーナ 2 ... メインノズル 3 ... サブノズル 4 ... 燃料ガス噴出口  
 5 ... 一次酸化剤噴出口 6 ... 燃料ガス流路 7 ... 一次酸化剤流路 8 ... 第 1 のノズル部材 10  
 9 ... 第 2 のノズル部材 1 0 ... 二次酸化剤噴出口 1 1 ... 二次酸化剤流路 1 2 ... 第 3 のノ  
 ズル部材 2 1 ... 二次酸素噴出口 2 2 ... 二次空気噴出口 2 3 ... 二次酸素流路 2 4 ... 二  
 次空気流路 2 5 ... 第 1 のノズル部材 2 6 ... 第 2 のノズル部材 G ... 燃料ガス S 1 ... 一  
 次酸化剤 S 2 ... 二次酸化剤 S 2 O ... 二次酸素 S 2 A ... 二次空気

10

20

30

40

50

【図面】  
【図 1】

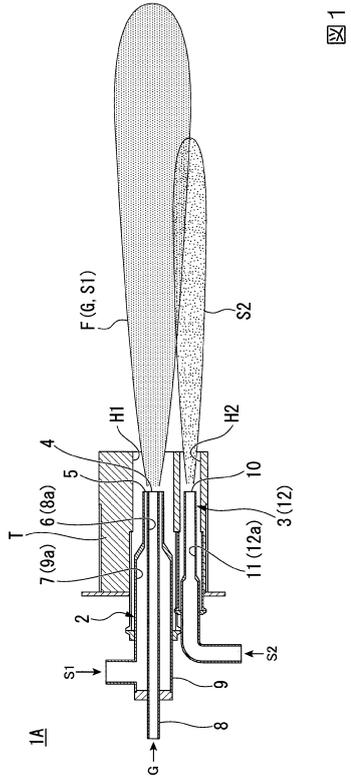


図 1

【図 2】

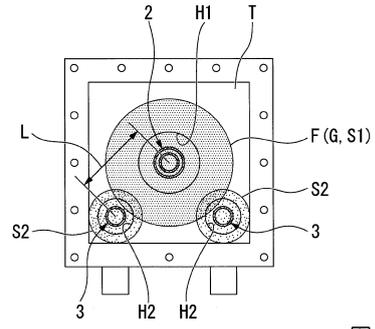


図 2

10

20

【図 3】

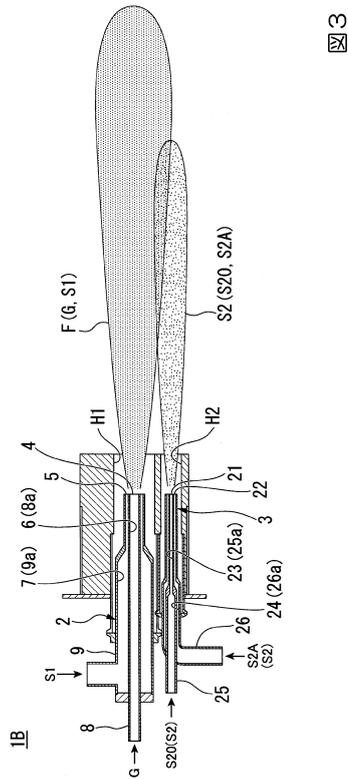


図 3

【図 4】

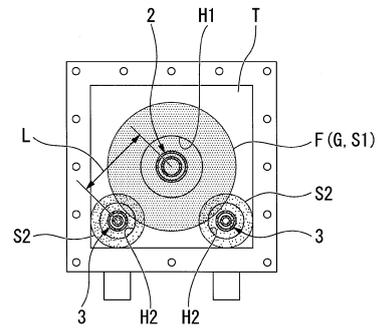


図 4

30

40

50

【 図 5 】

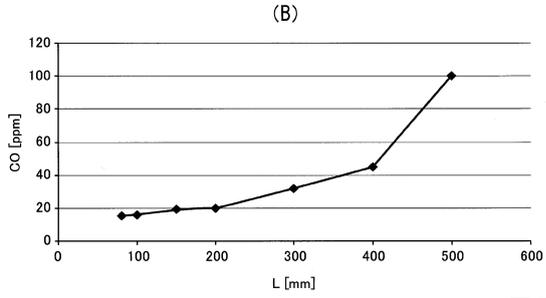
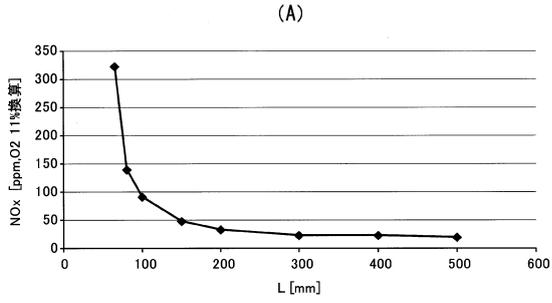


図5

【 図 6 】

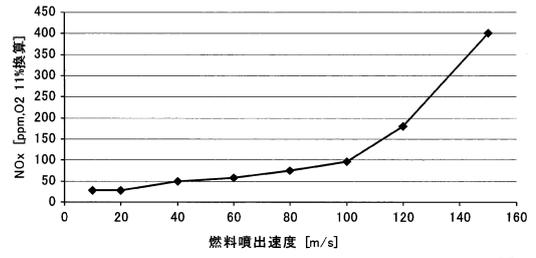


図6

10

【 図 7 】

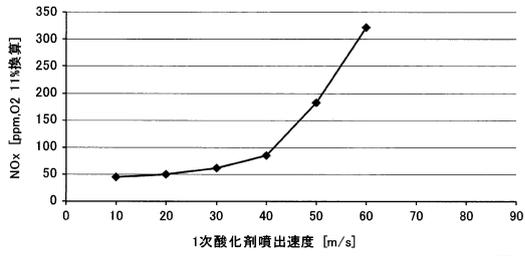


図7

【 図 8 】

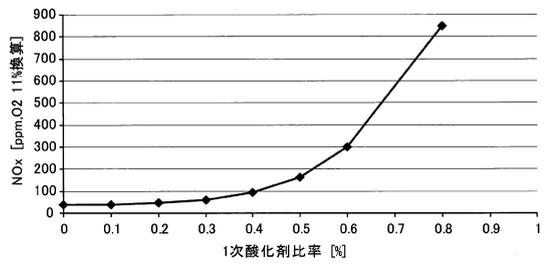


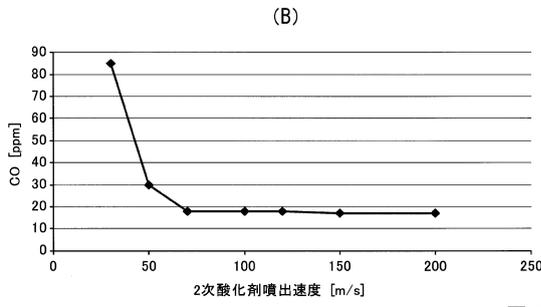
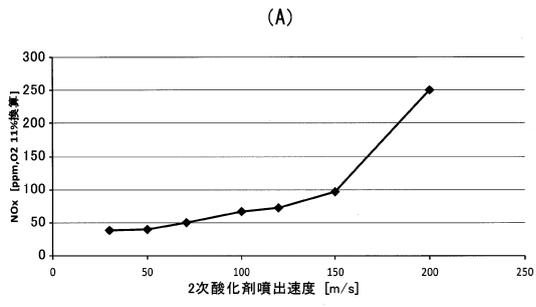
図8

30

40

50

【 9 】



9

10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2009-281615(JP,A)  
特開2000-146129(JP,A)  
特開平06-213410(JP,A)  
特開平11-294722(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- F23D 1/00 - 99/00  
F23L 7/00