

(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
2023年6月29日(29.06.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/120397 A1

(51) 国際特許分類:

F23N 1/02 (2006.01) *F23C 1/10* (2006.01)
F23C 99/00 (2006.01) *F23C 1/12* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/046337

(22) 国際出願日: 2022年12月16日(16.12.2022)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2021-210535 2021年12月24日(24.12.2021) JP

(71) 出願人(KRを除く全ての指定国について):三菱
重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY

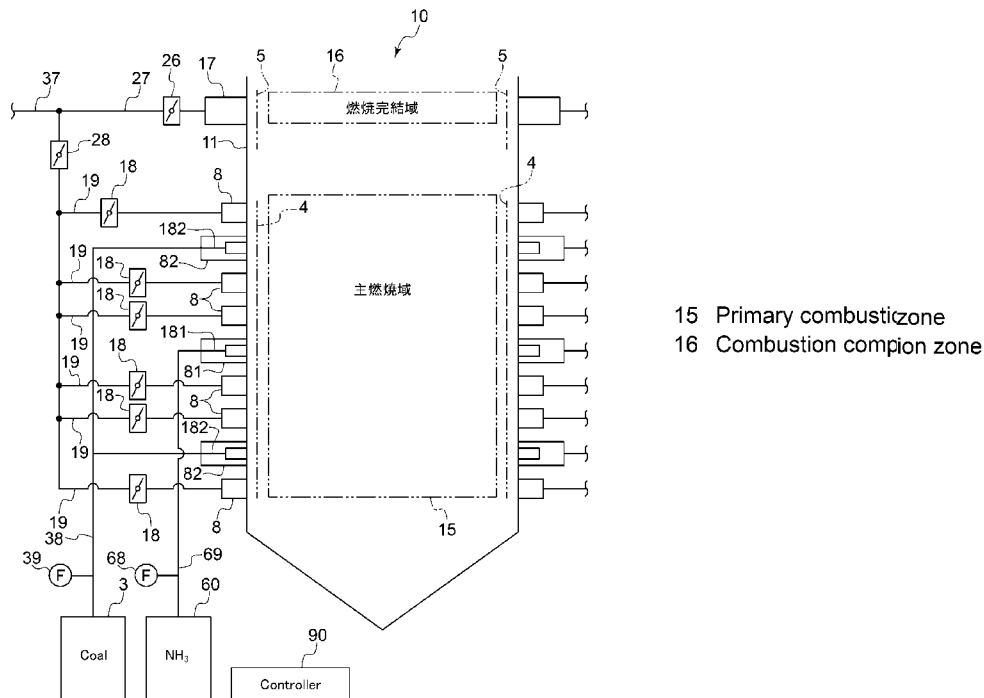
INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1008332 東京都
千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).

(71) 出願人(KRについてのみ): 三菱パワー株
式会社(MITSUBISHI POWER, LTD.) [JP/JP];
〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみら
い三丁目3番1号 Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 富永 幸洋 (TOMINAGA, Yukihiro);
〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番
3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). ▲高
▼山 明正 (TAKAYAMA, Akimasa); 〒1008332
東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱
重工業株式会社内 Tokyo (JP). 嶺 聡彦(MINE,
Toshihiko); 〒1008332 東京都千代田区丸の
内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内

(54) Title: AMMONIA FUEL BOILER SYSTEM

(54) 発明の名称: アンモニア燃料ボイラシステム



(57) Abstract: This ammonia fuel boiler system comprises: a furnace that has a burner arrangement region and an additional air loading region that is located downstream of the burner arrangement region; a first burner that is disposed in the burner arrangement region and is for causing a first fuel that includes an ammonia fuel to combust; a second burner that is disposed in the burner arrangement region and is for causing a second fuel other than the ammonia fuel to combust; an air nozzle that is disposed in the burner arrangement region and is for injecting combustion air for causing the first fuel and

Tokyo (JP). 山内 康弘(YAMAUCHI, Yasuhiro);
〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番
3 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 竹井
康裕(TAKEI, Yasuhiro); 〒1008332 東京都千代
田区丸の内三丁目 2 番 3 号 三菱重工業株式
会社内 Tokyo (JP). 甘利 猛(AMARI, Takeshi);
〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3
号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: S S I P 弁理士法人(SSIP PATENT
ATTORNEY CORPORATION); 〒1080073 東
京都港区三田三丁目 1 3 番 1 6 号 三田 4
3 MTビル 1 3 階 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE,
KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE,
SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

the second fuel to combust; and a controller that, if a boiler load is a partial load, controls a burner section air ratio to be no greater than a specified value, the burner section air ratio being the ratio of the amount of combustion air supplied to the burner arrangement region to the theoretical amount of air required for combustion of the first fuel and the second fuel.

(57) 要約: アンモニア燃料ボイラシステムは、バーナ配置領域および該バーナ配置領域の下流側に位置する追加空気投入領域を有する火炉と、バーナ配置領域に設けられ、アンモニア燃料を含む第1燃料を燃焼させるための第1バーナと、バーナ配置領域に設けられ、アンモニア燃料以外の第2燃料を燃焼させるための第2バーナと、バーナ配置領域に設けられ、第1燃料及び第2燃料を燃焼させるための燃焼用空気を噴射するための空気ノズルと、ボイラ負荷が部分負荷であるとき、第1燃料及び第2燃料の燃焼に必要な理論空気量に対する、バーナ配置領域への燃焼用空気の供給量の比であるバーナ部空気比を規定値以下に制御するように構成されるコントローラとを備える。

明 細 書

発明の名称： アンモニア燃料ボイラシステム

技術分野

[0001] 本開示は、アンモニア燃料ボイラシステムに関する。

本願は、2021年12月24日に日本国特許庁に出願された特願2021-210535号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 従来、アンモニアが燃料として火炉内に供給されるアンモニア燃料ボイラが知られている。例えば、特許文献1で開示されるアンモニア燃料ボイラでは、炉本体に設けられたバーナに、微粉炭とアンモニアとの両方が供給される。これにより、炉本体の燃焼室内ではアンモニアと微粉炭の混焼が行われる。また同文献では、バーナの配置パターンを工夫することによって、NO_x排出量の低減が図られている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2020-112280号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] アンモニア燃焼ボイラシステムでは、上記特許文献1に開示される構成が採用されるか否かに関わらず、NO_xの排出を抑制するために別の対策があることが好ましい。

[0005] 本開示の目的は、NO_xの排出を抑制できるアンモニア燃料ボイラシステムを提供することである。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の少なくとも一実施形態に係るアンモニア燃料ボイラシステムは、バーナ配置領域および該バーナ配置領域の下流側に位置する追加空気投入領域を有する火炉と、

前記バーナ配置領域に設けられ、アンモニア燃料を含む第 1 燃料を燃焼させるための第 1 バーナと、

前記バーナ配置領域に設けられ、前記アンモニア燃料以外の第 2 燃料を燃焼させるための第 2 バーナと、

前記バーナ配置領域に設けられ、前記第 1 燃料及び前記第 2 燃料を燃焼させるための燃焼用空気を噴射するための空気ノズルと、

ボイラ負荷が部分負荷であるとき、前記第 1 燃料及び前記第 2 燃料の燃焼に必要な理論空気量に対する、前記バーナ配置領域への前記燃焼用空気の供給量の比であるバーナ部空気比を規定値以下に制御するように構成されるコントローラと

を備える。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、 NO_x の排出を抑制できるアンモニア燃料ボイラシステムを提供できる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]一実施形態に係るアンモニア燃料ボイラシステムの概念図である。

[図2]一実施形態に係るボイラを示す概念図である。

[図3]一実施形態に係るボイラ負荷に応じた燃焼用空気の供給量、追加空気の供給量を示すグラフである。

[図4]一実施形態に係る第 1 バーナ空気比と NO_x 排出量との関係を示すグラフである。

[図5]一実施形態に係る混焼率、バーナ部空気比、及び NO_x 排出量の関係を示すグラフである。

[図6]一実施形態に係るバーナ部空気比制御処理を示すフローチャートである。

[図7]一実施形態に係るバーナ部空気比と NO_x 排出量との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、本開示に係る好適な実施形態を図面を参照して説明する。なお、この実施形態により本発明が限定されるものではなく、また、実施形態が複数ある場合には、各実施形態を組み合わせるものも含むものである。以降の説明で、上や上方とは鉛直方向上側を示し、下や下方とは鉛直方向下側を示すものであり、鉛直方向は厳密ではなく誤差を含むものである。

また、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本開示の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

例えば、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態であることを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

例えば、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

一方、一の構成要素を「備える」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

なお、同様の構成については同じ符号を付し説明を省略することがある。

[0010] <アンモニア燃料ボイラシステム1の概要>

図1は、本開示の一実施形態に係るアンモニア燃料ボイラシステム1を表す概略図である。本例のアンモニア燃料ボイラシステム1は、火力発電プラントに組み込まれる。アンモニア燃料ボイラシステム1を構成するボイラ10は、アンモニア燃料を含む第1燃料と、アンモニア燃料以外の第2燃料とを燃焼させて、燃焼により発生した熱を給水や蒸気と熱交換して過熱蒸気を

生成することが可能である。アンモニア燃料は、液体アンモニアまたはアンモニアガスのいずれであってもよい。また、液体アンモニアは、純物質としての液相のアンモニアであってもよいし、液相のアンモニアに水が微小比率で混合された混合液であってもよい。第2燃料は、アンモニア燃料以外であればどのような燃料であってもよく、固体燃料、液体燃料、または気体燃料のいずれであってもよい。以下では、第2燃料に石炭が含まれる実施形態を例示する。燃料としての石炭は微粉炭である。ボイラ10では、石炭の専焼、石炭とアンモニア燃料との混焼、またはアンモニア燃料の専焼のいずれが行われてもよい。

[0011] 本実施形態において、図1に示すように、ボイラ10は、火炉11と燃烧装置12と燃烧ガス通路13を有している。火炉11は、四角筒の中空形状をなして鉛直方向に沿って設置されている。火炉11を構成する火炉壁101は、複数の伝熱管とこれらを接続するフィンとで構成され、微粉炭燃料またはアンモニアガスの少なくとも一方の燃烧により発生した熱を伝熱管の内部を流通する水や蒸気と熱交換して、火炉壁101の温度上昇を抑制している。

[0012] 燃烧装置12は、火炉11を構成する火炉壁101の下部側に設けられている。本実施形態では、燃烧装置12は、火炉壁101に装着された複数のバーナ（例えば21，22，23，24，25）を有している。一実施形態に係るボイラ10は、旋回燃烧型ボイラであり、各段に設けられたバーナは、火炉20の周方向に沿って等間隔に複数配置される。例えばバーナ21，22，23，24，25は、火炉11の周方向に沿って均等間隔で配設されたものが1セットとして、鉛直方向に沿って複数段（例えば、図1では5段）配置されている。但し、火炉の形状や一つの段におけるバーナの数、段数、配置などはこの実施形態に限定されるものではない。他の実施形態に係るボイラ10は、対向燃烧型ボイラである。この場合、各段のバーナは、互いに対向する位置に少なくとも一対設けられる。

[0013] バーナ21，22，23には、ボイラ10にアンモニア燃料を供給するた

めのアンモニア燃料供給ユニット 60 がアンモニア供給管 69 を介して連結されている。アンモニア供給管 69 は一例として、アンモニアを貯留するタンクに接続される。以下の説明では、バーナ 21, 22, 23 を第 1 バーナ 81 という場合がある。

[0014] 第 1 バーナ 81 が液体アンモニアを噴射する液体アンモニア噴射方式が採用される実施形態では、アンモニア供給管 69 は、高圧状態の液体アンモニアを第 1 バーナ 81 に供給する。この場合、液体アンモニアの気化を防止するためにアンモニア供給管 69 に断熱材が設けられてもよい。第 1 バーナ 81 がアンモニアガスを噴射するアンモニアガス噴射方式が採用される実施形態では、アンモニア供給管 69 には、液体アンモニアに対して気化処理を施すための少なくとも 1 つのアンモニア気化器が設けられてもよい。アンモニア気化器は、ボイラ 10 において発生する蒸気、ボイラ 10 における燃焼ガス、またはボイラシステムの系外にある海水を直接的または間接的な熱源として利用し、液体アンモニアを気化するように構成されてもよい。第 1 バーナ 81 は、アンモニア燃料に加えて、別の燃料を噴射するように構成されてもよい。つまり、第 1 バーナ 81 は、アンモニア燃料を含む第 1 燃料を燃焼させるように構成されたバーナであると了解される。

[0015] バーナ 24, 25 は、微粉炭供給管 29, 33 を介して複数の粉砕機（ミル）34, 35 に連結されている（以下の説明では、バーナ 24, 25 を総称して第 2 バーナ 82 という場合があり、粉砕機 34, 35 を総称して粉砕機 3 という場合があり、微粉炭供給管 29, 33 を総称して微粉炭供給管 38 という場合がある）。第 2 バーナ 82 は、アンモニア燃料以外の第 2 燃料（本例では微粉炭）を燃焼させるように構成されたバーナであると了解される。粉砕機 3 では、例えば、ハウジング内に粉砕テーブル（図示省略）が駆動回転可能に支持され、この粉砕テーブルの上方に複数の粉砕ローラ（図示省略）が粉砕テーブルの回転に連動回転可能に支持されて構成されている。石炭が、複数の粉砕ローラと粉砕テーブルとの間に投入されると、粉砕され、搬送用ガス（1 次空気、酸化性ガス、燃焼用空気、搬送用空気）により粉

砕機 3 のハウジング内の分級機（図示省略）に搬送されて、所定の粒径範囲内に分級された微粉炭燃料を、微粉炭供給管 29, 33（38）からバーナ 24, 25（第 2 バーナ 82）に供給することができる。なお、搬送用ガスは微粉炭燃料を乾燥させる役割も併せて担う。

[0016] 上述の搬送用ガスは、外気を取り込む 1 次空気通風機 31（P A F : P r i m a r y A i r F a n）から空気管 30 を介して粉碎機 3 に送出される。空気管 30 は、1 次空気通風機 31 から送出された空気のうちエアヒータ 42 で加熱された熱空気が流れる熱空気誘導管 30 A と、1 次空気通風機 31 から送出された空気のうちエアヒータ 42 を経由しない常温に近い冷空気が流れる冷空気誘導管 30 B と、熱空気と冷空気が合流して流れるための搬送用ガス流路 30 C とを備える。熱空気誘導管 30 A と冷空気誘導管 30 B にはそれぞれ、熱空気ダンパ 30 D と冷空気ダンパ 30 E が設けられる。これらダンパの各々の開度が、微粉炭燃料の供給条件に応じて調整されることで、搬送用ガス流路 30 C を流れる搬送用ガスの流量及び温度が調整される。

[0017] また、火炉 11 は、バーナ 21, 22, 23, 24, 25 の装着位置に風箱 36 が設けられており、この風箱 36 に空気ダクト（風道）37 の一端部が連結されている。空気ダクト 37 は、他端部に押込通風機（F D F : F o r c e d D r a f t F a n）32 が設けられている。また、空気ダクト 37 には、風箱 36 に供給される空気の供給量を調整するための風箱ダンパ 28 が設けられている。風箱ダンパ 28 の開度は後述のコントローラ 90（図 2 参照）によって制御される。

[0018] 火炉 11 のバーナ 21 の装着位置より上方（風箱 36 より上方）には、火炉 11 内の燃焼完結域 16（図 2 参照）に燃焼用の追加空気（A A : A d d i t i o n a l A i r）を供給するための複数の追加空気ポート（A A ポート）17 が設けられている。追加空気ポート 17 には、空気ダクト 37 から分岐した追加空気ダクト（A A ダクト）27 の端部が連結されており、押込通風機 32 から供給された空気の一部を、燃焼用の追加空気として、追加

空気ダクト 27 を介して追加空気ポート 17 に供給することができる。本実施形態では、追加空気ポート 17 には、追加空気調整ダンパ 26 が設けられている。追加空気調整ダンパ 26 の開度は後述のコントローラ 90（図 2 参照）によって制御される。

[0019] 燃焼ガス通路 13 は、図 1 に示すように、火炉 11 の鉛直方向上部に連結されている。燃焼ガス通路 13 は、燃焼ガスの熱を回収するための熱交換器として、過熱器 102, 103, 104、再熱器 105, 106、節炭器 107 が設けられており、火炉 11 で発生した燃焼ガスと各熱交換器の内部を流通する給水や蒸気との間で熱交換が行われる。

一実施形態の火炉 11 は、火炉 11 内に向けて突出するノーズ 11A を含む。ノーズ 11A は、火炉 11 内の主燃焼域 15（図 2 参照）及び燃焼完結域 16（図 2 参照）で生じたガス（例えば燃焼ガス及び未燃焼ガス）が、火炉 11 の下流側にある煙道 14 に適正に流れるように構成される。一実施形態に係るノーズ 11A には、ノーズ 11A の内壁面の温度であるノーズ温度を計測するためのガス温度計 6 が設けられる。ノーズ温度は、火炉 11 内の燃焼ガスの温度として扱われてもよい。

[0020] 燃焼ガス通路 13 は、図 1 に示すように、その下流側に熱交換を行った燃焼ガスが排出される煙道 14 が連結されている。煙道 14 には、空気ダクト 37 と空気管 30 の各々を流れる空気を加熱するためのエアヒータ 42 が設けられる。エアヒータ 42 において、空気ダクト 37 を流れる外気と、煙道 14 を流れる燃焼ガスとの間で熱交換が行われ、バーナ 21, 22, 23, 24, 25 に供給する燃焼用空気を昇温することができる。また、エアヒータ 42 において、熱空気誘導管 30A に向けて流れる外気と、煙道 14 を流れる燃焼ガスとの間で熱交換が行われ、外気は熱空気に変化することができる。従って、エアヒータ 42 はボイラ 10 の排熱を用いて外気を加熱するように構成されていると了解される。

[0021] また、煙道 14 は、エアヒータ 42 より上流側の位置に脱硝装置 43 が設けられている。脱硝装置 43 は、アンモニア、尿素水等の窒素酸化物を還元

する作用を有する還元剤を煙道 14 内に供給し、還元剤が供給された燃焼ガス中の窒素酸化物と還元剤との反応を、脱硝装置 43 内に設置された脱硝触媒の触媒作用により促進させることで、燃焼ガス中の窒素酸化物を除去、低減するものである。煙道 14 に連結されるガスダクト 41 は、エアヒータ 42 より下流側の位置に、電気集塵機などの集塵装置 44、誘引通風機（I D F : I n d u c e d D r a f t F a n）45、脱硫装置 46 などが設けられ、下流端部に煙突 50 が設けられている。

[0022] 一方、複数の粉碎機 34, 35 (3) が駆動すると、生成された微粉炭燃料が搬送用ガス（1 次空気、酸化性ガス、燃焼用空気、搬送用空気）と共に微粉炭供給管 29, 33 (38) を通してバーナ 24, 25 (第 2 バーナ 82) に供給される。また、煙道 14 から排出された排ガスとエアヒータ 42 で熱交換することで、加熱された燃焼用空気（1 次空気、2 次空気、酸化性ガス）が、空気ダクト 37 から風箱 36 を介してバーナ 21, 22, 23, 24, 25 に供給される。バーナ 24, 25 (第 2 バーナ 82) は、微粉炭燃料と搬送用ガスとが混合した微粉炭燃料混合気を火炉 11 に吹き込むと共に燃焼用空気を火炉 11 に吹き込み、このときに微粉炭燃料混合気着火することで火炎を形成することができる。火炉 11 内の下部で火炎が生じ、高温の燃焼ガスがこの火炉 11 内を上昇し、燃焼ガス通路 13 に排出される。微粉炭燃料混合気の吹込み開始と同時に（あるいは微粉炭燃料混合気の着火後）、バーナ 21, 22, 23 (第 1 バーナ 81) がアンモニア燃料を含む第 1 燃料を火炉 11 に吹き込むことで、第 1 燃料の燃焼が起こり、微粉炭とアンモニアの混焼が行われる。なお、酸化性ガスとして、本実施形態では空気をを用いる。空気よりも酸素割合が多いものや逆に少ないものであってもよく、燃料流量との適正化を図ることで使用可能になる。

[0023] その後、燃焼ガスは、図 1 に示すように、燃焼ガス通路 13 に配置される第 2 過熱器 103、第 3 過熱器 104、第 1 過熱器 102、（以下単に過熱器と記載する場合もある）、第 2 再熱器 106、第 1 再熱器 105（以下単に再熱器と記載する場合もある）、節炭器 107 で熱交換した後、脱硝装置

43により窒素酸化物が還元除去され、集塵装置44で粒子状物質が除去され、脱硫装置46にて硫黄酸化物が除去された後、煙突50から大気中に排出される。なお、各熱交換器は燃焼ガス流れに対して、必ずしも前記記載順に配置されなくともよい。

[0024] また、図1では燃焼ガス通路13内の各熱交換器（過熱器102，103，104、再熱器105，106、節炭器107）の位置を正確に示しているものではなく、各熱交換器の燃焼ガス流れに対する配置順も図1の記載に限定されるものではない。

[0025] また、第2バーナ82が噴射する第2燃料としては、バイオマス燃料や石油精製時に発生するPC（石油コークス：Petroleum Coke）燃料、石油残渣などの固体燃料であってもよい。また、燃料として固体燃料に限らず、重油、軽油、重質油などの石油類や工場廃液などの液体燃料も使用することができ、更には、燃料として気体燃料（天然ガス、副生ガスなど）も使用することができる。さらに、これら燃料を組み合わせる使用の混焼焚きボイラにも適用することができる。

[0026] <ボイラ10の構造の詳細の例示>

図2は、本開示の一実施形態に係るボイラ10の詳細を示す概略図である。ボイラ10の火炉11は、バーナ配置領域4と、該バーナ配置領域4の下流側に位置する追加空気投入領域5とを有する。バーナ配置領域4には第1バーナ81と第2バーナ82が設けられ、追加空気投入領域5には追加空気ポート17が設けられる。さらに、バーナ配置領域4には、空気ダクト37から供給される燃焼用空気を噴射するように構成される空気ノズル8が設けられる。本実施形態に係る空気ノズル8から噴射される燃焼用空気は2次空気である。なお、図2で示される空気ノズル8とは別の空気ノズル8、または、同図で示される空気ノズル8の少なくとも1つが、第1バーナ81または第2バーナ82に組み込まれてもよい。例えば、空気ノズル8が、第1バーナ81の第1ノズル（後述）を取り囲むように配置されてもよいし、第2バーナ82の第2ノズル（後述）を取り囲むように配置されてもよい。この

場合、空気ノズル 8 によって噴射される燃焼用空気は 1 次空気であってもよいし、2 次空気であってもよい。

[0027] 発明者らは、第 1 燃料と第 2 燃料の燃焼に伴う NO_x の生成量を抑制するには、バーナ部空気比を適正範囲に収める必要があることを見出した。バーナ部空気比は、第 1 燃料と第 2 燃料の燃焼に必要な理論空気量に対する、バーナ配置領域 4 への燃焼用空気の供給量の比である。そして、バーナ配置領域 4 への空気供給量は、第 1 バーナ 8 1、第 2 バーナ 8 2、及び空気ノズル 8 への燃焼用空気の総供給量である。このバーナ部空気比は、ボイラ 1 0 の構成要素としてのコントローラ 9 0 によって制御される。

[0028] より具体的な一例として、コントローラ 9 0 は、ボイラ負荷が部分負荷であるときに、バーナ部空気比を規定値以下に制御するように構成される。例えば、ボイラ 1 0 が定格運転をしている場合において、ボイラ負荷を定格負荷よりも下げる運転指令がコントローラ 9 0 に入力されると、ボイラ負荷は部分負荷に切り替わる。別の例を挙げると、起動して間もないボイラ 1 0 が定格運転状態に達する前、ボイラ負荷は部分負荷である。なお、ボイラ負荷は、アンモニア燃料ボイラシステム 1 のオペレータによる設定によって決まり、設定されたボイラ負荷がコントローラ 9 0 に入力される。

[0029] ボイラ負荷が部分負荷である場合には、第 1 燃料と第 2 燃料の供給量はいずれも比較的少なく、バーナ部空気比が過剰になり易い。実施例 1 で後述するように、バーナ部空気比が例えば 1. 0 を超えると NO_x 排出量は急増するおそれがある。そのため、ボイラ負荷が部分負荷になる場合には、ボイラ 1 0 に供給される燃焼用空気を調整することで、 NO_x 排出量の抑制が図られることが好ましい。

[0030] 上記構成によれば、ボイラ負荷が部分負荷であるとき、コントローラ 9 0 は、バーナ部空気比が規定値以下になるよう制御を実行する。従って、第 1 燃料と第 2 燃料の供給量が少なくバーナ部空気比が過多になることに起因した NO_x の増加を抑制できる。よって、 NO_x の排出を抑制できるアンモニア燃料ボイラシステム 1 が実現する。

[0031] バーナ配置領域4における、第1バーナ81、第2バーナ82、及び空気ノズル8の配置パターンを以下に例示する。バーナ配置領域4では、鉛直方向の上側から順に、空気ノズル8、第2バーナ82、空気ノズル8、第1バーナ81、空気ノズル8、第2バーナ82、及び空気ノズル8が設けられる。上記空気ノズル8は、それぞれ、空気ダンパ18が設けられた空気供給管19に接続される。空気供給管19はそれぞれ、空気ダクト37と空気ノズル8とを連通させるように構成される。各空気ノズル8への燃焼用空気の供給量は、各空気ノズル8に対応する空気ダンパ18の開度変更によって調整される。本実施形態の空気ダンパ18は、例えば角度調整用IPコンバータ（図示外）を介してコントローラ90と接続されている。コントローラ90から送られる指令に応じて、各空気ダンパ18の開度は調整される。なお、図2で例示される実施形態では、第1バーナ81と第2バーナ82の間においては複数の空気ノズル8が鉛直方向に配列されている。

[0032] 本実施形態に係る第1バーナ81は、アンモニア燃料を含む第1燃料を噴射するための第1ノズルと、第1ノズルにアンモニア燃料を供給するためのアンモニア供給路181とを含む。アンモニア供給路181は、上述したアンモニア供給管69に接続されている。詳細な図示は省略するが、アンモニア供給管69には、第1バーナ81へのアンモニア燃料の供給量を調整するための調整部が設けられる。本実施形態に係る調整部は、液体アンモニアの流量を調整するための流量調整弁である。他の実施形態に係る調整部は、液体アンモニアを送液するためのアンモニアポンプであってもよく、アンモニアポンプの駆動量を変更することで、アンモニア燃料の供給量が調整されてもよい。いずれの実施形態においても、調整部はアンモニア燃料供給ユニット60の構成要素であり、コントローラ90が調整部を制御する。

[0033] また、上記の複数の第2バーナ82はそれぞれ、石炭を噴射するための第2ノズルと、搬送用空気を用いて石炭（微粉炭）を供給するための石炭供給路182とを含む。石炭供給路182は、上述の微粉炭供給管38に接続されている。つまり、石炭供給路182は、搬送用空気を用いて微粉炭燃料を

第2ノズルに供給するように構成される。微粉炭燃料の供給量は、粉砕機3の駆動量を変更することによって調整される。そして、粉砕機3の駆動量はコントローラ90によって制御される。

[0034] 上記構成において、バーナ部空気比 (λ) は、以下のように定義される。

$$\lambda = (Q_{a1} + Q_{a2} + Q_{a2f}) / Q_{th} \quad \cdots (A)$$

(Q_{a1} : 第1燃料(アンモニア燃料)の燃焼用空気の流量、 Q_{a2} : 第2燃料(本例では微粉炭燃料)の2次空気の流量、 Q_{a2f} : 第2燃料の搬送用空気の流量、 Q_{th} : 第1燃料と第2燃料の理論空気量)

ボイラ負荷が部分負荷である場合、コントローラ90は、バーナ部空気比(λ)を規定値以下にするための制御を実行する。また、ボイラ負荷が部分負荷である場合、コントローラ90はバーナ部空気比が下限値以上になるように制御する。バーナ部空気比が下限値を下回ると、火炉11内で失火等が発生するおそれがあるからである。

式(A)における理論空気量(Q_{th})は、微粉炭供給管38に設けられる微粉炭流量計39と、アンモニア供給管69に設けられるアンモニア流量計68とのそれぞれの出力結果に基づき特定してもよい。また、式(A)におけるバーナ配置領域4への燃焼用空気の供給量($Q_{a1} + Q_{a2} + Q_{a2f}$)は、空気ダクト37、追加空気ダクト27、及び空気管30のそれぞれに設けられる空気流量計(図示外)の出力結果、及び、各空気ダンパ18の開度に基づき特定してもよい。なお、空気ダクト37に設けられる空気流量計が、追加空気ダクト27の上流端よりも風箱に近い位置に設けられるのであれば、追加空気ダクト27の空気流量計の出力結果は参照されなくてもよい。

[0035] なお、図2で例示されるバーナ配置領域4に配置される第1バーナ81、第2バーナ82、及び空気ノズル8の配置パターンは一例に過ぎない。例えば、最上段の第2バーナ82よりも上方において、複数の空気ノズル8が鉛直方向に配列されてもよいし、第1バーナ81と第2バーナ82の間の鉛直方向位置に配置される空気ノズル8の個数は1個でもよい。

[0036] また、他の実施形態に係る第1燃料には、アンモニア燃料以外の燃料として、油または微粉炭などが含まれてもよい。この場合、第1バーナ81の第1ノズルによって噴射される第1燃料が、アンモニア燃料と油（もしくは微粉炭）との間で切り替わってもよい。第1燃料に油が含まれる実施形態においては、アンモニア供給路181は、燃料としての油を供給するための油供給管（図示外）にも接続される。同様に、他の実施形態に係る第2燃料には、石炭（微粉炭）に加えて油が含まれてもよい。この場合、石炭供給路182は、燃料としての油を供給するための油供給管にも接続される。

[0037] <バーナ部空気比の詳細>

幾つかの実施形態では、式（A）によって規定されるバーナ部空気比（ λ ）の規定値は0.95である。即ち、ボイラ負荷が部分負荷であるとき、コントローラ90はバーナ部空気比を0.95以下に制御するように構成される。バーナ部空気比が0.95以下であることによってNO_xの発生量が抑えることの検証については、実施例1で後述する。本実施形態では、コントローラ90は、ボイラ負荷とアンモニア混焼率（以下、単に混焼率という場合がある）とを取得する。そして、その取得結果に応じて、コントローラ90は、第1バーナ81への燃焼用空気の供給量、第2バーナ82への燃焼用空気（1次空気及び2次空気）の供給量をそれぞれ制御する。より具体的には、コントローラ90が、空気ダンパ18、及び風箱ダンパ28の開度を調整することで、バーナ部空気比は0.95以下に制御される。上記構成によれば、バーナ部空気比が0.95以下に制御されることによって、ボイラ10内でのNO_xの発生を効果的に抑制できるアンモニア燃料ボイラシステム1が実現する。

[0038] 図3は、ボイラ負荷に応じた、第1バーナ81への燃焼用空気の供給量、第2バーナ82への燃焼用空気（1次空気及び2次空気）の供給量、追加空気ポート17への追加空気の供給量を示すグラフである。グラフの縦軸では、第1燃料と第2燃料の燃焼に必要な理論空気量が1に該当する。グラフの横軸の100%は、ボイラ10の定格負荷に該当する。同グラフで示される

通り、ボイラ負荷の低下に伴い、追加空気ポート 17、空気ノズル 8、第 1 バーナ 81、及び第 2 バーナ 82 のそれぞれに供給される空気の供給量は低下する傾向にある。但し、第 2 バーナ 82 の 1 次空気（微粉炭の搬送用空気）は、ボイラ負荷が約 50% 以下の範囲では、ボイラ負荷によらず一定である。これは、微粉炭を搬送するための搬送用空気は、一定量確保される必要があるからである。

[0039] 図 2 に戻り、幾つかの実施形態に係る第 2 燃料は石炭（微粉炭）を含み、第 2 バーナ 82 は、搬送用空気を用いて石炭を供給するための石炭供給路 182 を含む。そして、バーナ配置領域 4 へ供給される空気は、搬送用空気と、空気ノズル 8 に供給される 2 次空気とを含む。本実施形態のコントローラ 90 は、少なくとも空気ノズル 8 に供給される 2 次空気の供給量を調整して、バーナ部空気比を規定値以下に制御するように構成される。2 次空気の供給量は、コントローラ 90 が空気ダンパ 18 の開度を制御することによって調整される。他の実施形態では、コントローラ 90 は、FDF 38（図 1 参照）の駆動量を変更することで、2 次空気の供給量を調整してもよい。燃焼用空気の供給量の調整に 2 次空気の供給量の調整が含まれる利点は、以下の通りである。

[0040] 石炭供給路 182 において石炭（本例では微粉炭）を搬送する搬送用空気の供給量は、石炭が供給過程で沈降するのを抑制するために、一定量確保される必要がある。具体的な一例として、粉砕機 3 のミル負荷（給炭量）が規定値以下であるときには、ミル負荷の低下に応じて搬送用空気の流量を低減すると、石炭が第 2 ノズルなどで沈降するリスクがある。そのため、ボイラ負荷が部分負荷であっても、搬送用空気を低減することが困難となるおそれがある。この点、上記構成によれば、コントローラ 90 は、少なくとも 2 次空気の供給量を調整することでバーナ部空気比が規定値以下になるよう制御する。よって、石炭とアンモニア燃料の混焼時にボイラ負荷が部分負荷であっても、NO_xの排出を抑制できる。

[0041] 幾つかの実施形態では、バーナ部空気比は第 1 バーナ空気比と第 2 バーナ

空気比とを含む。第1バーナ空気比は、第1燃料の理論空気量に対する第1燃料の燃焼用空気の比である。第2バーナ空気比は、第2燃料の理論空気量に対する第2燃料の燃焼用空気の比である。そして、バーナ部空気比が規定値以下になるよう、コントローラ90は、第1バーナ81と第2バーナ82のそれぞれにおける空気比（第1バーナ空気比と第2バーナ空気比）を独立して制御するように構成される。本実施形態に係るコントローラ90が、複数の空気ノズル8のそれぞれに対応する空気ダンパ18の開度を制御すると共に、粉砕機3における給炭量、アンモニア燃料供給ユニット60におけるアンモニア燃料の供給量を制御する。上記構成によれば、第1バーナ空気比と第2バーナ空気比とを独立して制御することで、NO_xの発生量を低減するためにバーナ部空気比をより微細に制御することができる。

[0042] なお上記実施形態では、各空気ノズル8から噴射される燃焼用空気がどの程度、第1燃料の燃焼と第2燃料の燃焼のそれぞれに寄与するか規定する必要がある。そこで上記実施形態では、複数の空気ノズル8のそれぞれに設定される上記寄与度を示すデータが、例えばコントローラ90を構成するメモリに記憶されてもよい。より具体的な一例として、図2で示される最上段の空気ノズル8から噴射される燃焼用空気は、全て、最上段の第2バーナ82から噴射される第2燃料の燃焼のみに寄与することを示すデータが記憶される。また、第1バーナ81と第2バーナ82の間において鉛直方向に配列する2つの空気ノズル8のうち第1バーナ81に近接する一方の空気ノズル8は、第1燃料の燃焼に寄与する燃焼用空気のみを噴射することを示すデータが記憶されてもよい。また、他方の空気ノズル8は、第2燃料の燃焼に寄与する燃焼用空気のみを噴射することを示すデータが記憶されてもよい。このようなデータが記憶されていれば、各空気ダンパ18の開度を通じて、第1バーナ空気比と第2バーナ空気比とを算出することが可能であり、両空気比を独立して制御することが可能である。なお、寄与度を示すデータは、上記した例に限定されない。特定の空気ノズル8から噴射される燃焼用空気の一部が第1燃料の燃焼に寄与し、且つ残る燃焼用空気が第2燃料の燃焼に寄与

することを示すデータが記憶されてもよい。

[0043] 幾つかの実施形態に係るコントローラ 90 は、ボイラ負荷が部分負荷に切り替わるとき、第 1 燃料の供給量よりも先に第 1 バーナ 81 への燃焼用空気の供給量を下げないように構成される。より具体的な一例としてコントローラ 90 は、第 1 燃料の燃焼用空気（2 次空気）を噴射する空気ノズル 8 に対応した空気ダンパ 18 の開度を、粉砕機 3 の給炭量を低減する前に小さくする。このような制御が実行される利点は、以下の通りである。

[0044] 図 4 は、第 1 バーナ空気比と NO_x 排出量との関係を燃焼実験により検証した結果を示すグラフである。本燃焼実験では、第 1 バーナ 81 に供給される第 1 燃料はアンモニア燃料のみを含む。同グラフから判る通り、第 1 バーナ空気比が規定値（図 4 の例では 0.6）を超えて増加すると、 NO_x 排出量が増加する傾向にある。この増加傾向は、第 1 バーナ空気比が 0.6 を下回って低下するにつれて NO_x 排出量が増加する傾向よりも激しい。ここで、ボイラ負荷が部分負荷に切り替わるとき、第 1 燃料の供給量が減るため、第 1 バーナ空気比は増加する傾向にある。この点、上記構成によれば、ボイラ負荷が部分負荷に切り替わるとき、第 1 燃料の供給量（つまり、第 1 燃料の理論空気量）よりも先に第 1 バーナ 81 への燃焼用空気の供給量が下がるので、第 1 バーナ空気比が規定値を超えて増加するのを抑制できる。よって、 NO_x の発生量を低減することができる。

[0045] 幾つかの実施形態に係るコントローラ 90 は、ボイラ負荷が部分負荷に切り替わるとき、第 2 バーナ 82 への燃焼用空気の供給量よりも先に第 2 燃料の供給量（本例では給炭量）を下げるように構成される。上記構成によれば、ボイラ負荷が部分負荷に切り替わるときに、第 2 燃料の燃焼用空気が不足するのを抑制できるので、火炉 11 内における失火を抑制することができる。また、第 2 バーナ 82 における空気比が過剰に低くなるのを抑制できるため、 NO_x の発生量を低減することもできる。よって、安定した着火を維持しつつ、 NO_x の増加を抑制できる。

[0046] 幾つかの実施形態では、ボイラ負荷が部分負荷であるとき、ボイラ負荷が

部分負荷でないときと比べてバーナ部空気比の許容値が高い。つまり幾つかの実施形態では、コントローラ 90 は、ボイラ負荷が部分負荷でないとき、バーナ部空気比を定常値以下になるよう制御し、ボイラ負荷が部分負荷であるとき、バーナ部空気比を定常値よりも高い規定値以下になるよう制御するように構成される。バーナ部空気比の定常値は一例として 0.9 である。バーナ部空気比の規定値は一例として 0.95 である。なお、ボイラ負荷が部分負荷であるか否かに関わらず、火炉 11 内の失火を回避するために、バーナ部空気比は 0.6 以上であることが好ましい。上記構成によれば、ボイラ負荷が部分負荷であるとき、バーナ部空気比が一時的に定常値よりも高くなることを許容することができる。従って、バーナ部空気比の一時的な大きな変動を許容しつつ、NO_xの排出を継続的に抑制することができる。

[0047] また、より具体的な一例として、第 2 燃料として石炭（微粉炭）が採用される実施形態では、第 2 バーナ空気比は、ボイラ負荷が部分負荷でないとき 0.9 以下となり、且つ、ボイラ負荷が部分負荷であるときは 1.0 以下となってもよい。なぜなら、ボイラ負荷の負荷が変動する間、NO_x発生量の第 2 バーナ空気比に対する感度は比較的低いからである。

[0048] 幾つかの実施形態では、ボイラ負荷が部分負荷である場合に第 1 燃料と第 2 燃料のそれぞれの供給量が下がる。そして、第 1 燃料の供給量である第 1 供給量を下げる開始タイミングと、第 2 燃料の供給量である第 2 供給量を下げる開始タイミングの相対的な関係は、混焼率に応じて変化する。より具体的な一例を以下に説明する。

[0049] 幾つかの実施形態に係るコントローラ 90 は、ボイラ負荷が部分負荷である場合に、混焼率が規定混焼率を下回るとき、第 1 供給量を下げるための制御の開始タイミングを、第 2 供給量を下げるための制御の開始タイミングよりも早めるように構成されている。図 5 は、混焼率、バーナ部空気比、及び NO_x排出量の関係を示すグラフである。同グラフから判る通り、バーナ部空気比に関わらず、混焼率が規定混焼率 R を下回る範囲では、混焼率が下がるほど NO_xの発生量は低下する。この点、上記構成によれば、混焼率が規

定混焼率を下回るときには、第1供給量が第2供給量よりも先に下がるので、アンモニア混焼率は積極的に下がり、NO_xの発生量を抑制できる。

[0050] また、幾つかの実施形態に係るコントローラ90は、ボイラ負荷が部分負荷である場合に、混焼率が規定混焼率以上であるとき、第2供給量を下げるときの制御の開始タイミングを、第1供給量を下げるときの制御の開始タイミングよりも早めるように構成される。図5で示すグラフから判る通り、混焼率が規定混焼率R以上の範囲では、混焼率が上がるほどNO_xの発生量は低下する。この点、上記構成によれば、混焼率が規定混焼率以上である場合には、第2供給量が第1供給量よりも先に下がるので、混焼率は上がり易く、NO_xの発生量を抑制できる。

[0051] なお、幾つかの実施形態に係るコントローラ90は、プロセッサ、ROM、RAM、及びメモリを含む。プロセッサは、ROMに記憶されるボイラ運転プログラムを読み出してRAMにロードし、ボイラ運転プログラムに含まれる命令を実行するように構成される。ボイラ運転プログラムには、後述のバーナ部空気比制御処理（図6参照）を実行するためのバーナ部空気比制御プログラムが含まれる。プロセッサは、CPU、GPU、MPU、DSP、これら以外の各種演算装置、又はこれらの組み合わせである。プロセッサは、PLD、ASIC、FPGA、及びMCU等の集積回路により実現されてもよい。メモリは、ボイラ運転プログラムの実行に伴い各種データが記憶される。メモリは一例としてフラッシュメモリである。

[0052] <バーナ部空気比制御処理の例示>

図6を参照し、アンモニア燃料ボイラシステム1のコントローラ90によって実行されるバーナ部空気比制御処理を例示する。以下の説明では、第1燃料はアンモニア燃料のみを含み、第2燃料が石炭である実施形態の制御処理を説明する。

[0053] はじめに、コントローラ90は、ボイラ10の火炉11における燃焼条件を取得する（S11）。燃焼条件は、ボイラ負荷、混焼率、及びバーナ部空気比を含む。これら燃焼条件の少なくとも一部は、例えばオペレータによっ

て入力されてもよい。例えば、オペレータがボイラ負荷を入力すると、コントローラ 90 は入力結果に応じた混焼率とバーナ部空気比を規定の処理に基づき取得してもよい。また、コントローラ 90 は、式 (A) によって規定されるバーナ部空気比に加えて、第 1 バーナ空気比と第 2 バーナ空気比とを取得してもよい。

[0054] 次いで、コントローラ 90 は、S 11 で取得された燃焼条件に基づいて、アンモニア燃料と石炭の供給量を、例えば演算によって取得する (S 13)。さらに、コントローラ 90 は、燃焼用空気と追加空気の供給量を、例えば演算によって取得する (S 15)。この燃焼用空気は、第 1 バーナ 81、第 2 バーナ 82、及び空気ノズル 8 に供給される燃焼用空気である。さらに、コントローラ 90 は、S 15 で取得した燃焼用空気と追加空気の供給量に基づいて、各種ダンパの開度を取得する (S 17)。各種ダンパには、複数の空気ダンパ 18 及び風箱ダンパ 28 が含まれる。

[0055] 次いで、コントローラ 90 は、S 17 で取得された各種ダンパの開度と、S 13 で取得されたアンモニア燃料と石炭の供給量とに基づいて、各種ダンパと、粉砕機 3、アンモニア燃料供給ユニット 60 の調整部を制御する (S 19)。コントローラ 90 は、バーナ部空気比制御処理を終了する。

[0056] (実施例 1)

図 7 を参照して、バーナ部空気比と NO_x 排出量との関係を燃焼試験により特定した結果を説明する。図 7 は、バーナ部空気比と NO_x 排出量との関係を示すグラフである。本燃焼試験では、鉛直方向に延びるドロップチューブ炉 (DTF) と、単一バーナ試験炉とが用いられた。DTF で行われた燃焼試験は、アンモニアの専焼、アンモニアと微粉炭の混焼、及び微粉炭の専焼である。アンモニア混焼時の混焼率は熱量換算で 25% または 50% である。また、単一バーナ試験炉で行われた燃焼試験は、微粉炭の専焼である。

[0057] アンモニア専焼におけるバーナ部空気比と NO_x 排出量との関係について検討する。図 7 で示される通り、バーナ部空気比が 1.0 となるアンモニア専焼の NO_x 排出量は、DTF または単一バーナ試験炉での微粉炭専焼の N

NO_x排出量の2倍以上である。一方で、バーナ部空気比が0.9以下となるアンモニア専焼のNO_x排出量は、微粉炭専焼時よりも低くなることが判った。特にバーナ部空気比が0.8のアンモニア専焼のNO_x排出量は、本燃焼試験において最も低くなることが判った。さらに、バーナ部空気比が0.8未満となるアンモニア専焼のNO_x排出量は、バーナ部空気比が0.8のときの排出量以下になる（図5参照）。従って、アンモニア専焼がボイラ10の定格運転において行われる場合、バーナ部空気比は0.9以下に設定するのが好ましいことが了解される。

[0058] アンモニアと微粉炭との混焼におけるNO_x排出量は、アンモニア専焼におけるNO_x排出量よりも多い（図5参照）。そして、アンモニア専焼において、バーナ部空気比が1.0近傍を堺にNO_xが急増するおそれがあるが、同様の傾向がアンモニア混焼においても現れることが予測される。火炉11内空間の酸素が過多になるからである。従って、アンモニア専焼とアンモニア混焼のいずれの燃焼が起こる場合であっても、ボイラ10の定格運転が行われる場合には、バーナ部空気比は0.9以下であることが好ましいことが判る。

[0059] しかしながら、ボイラ負荷が変動するときには、バーナ部空気比も定格運転時に比べて大きく変動しうる。そのため、バーナ部空気比の上限値に一定程度のマージンが反映されることが好ましい。そして、図7のアンモニア専焼のグラフから判る通り、バーナ部空気比0.9～0.95に対応するNO_x排出量の増加傾向は、バーナ部空気比が0.95～1.0に対応するNO_x排出量の増加傾向よりも緩やかである。従って、ボイラ負荷が部分負荷である場合に限っては、バーナ部空気比の制限条件を0.9以下から0.95以下まで緩めることもできることが了解される。アンモニア混焼が実行される場合も同様の結論が得られる。

[0060] なお、火力発電に用いられる一般的な体格を有するボイラ10が稼働する場合、バーナ部空気比が0.6未満となることは現実的ではない（このことは、アンモニア混焼または微粉炭専焼が行われるときにも該当する）。従っ

て、バーナ部空気比の下限値は0.6以上である。コントローラ90はバーナ部空気比が0.6以上となるように制御を実行することが好ましい。

[0061] <まとめ>

上述した幾つかの実施形態に記載の内容は、例えば以下のように把握されるものである。

[0062] 1) 本発明の少なくとも一実施形態に係るアンモニア燃料ボイラシステム(1)は、

バーナ配置領域(4)および該バーナ配置領域の下流側に位置する追加空気投入領域(5)を有する火炉(11)と、

前記バーナ配置領域に設けられ、アンモニア燃料を含む第1燃料を燃焼させるための第1バーナ(81)と、

前記バーナ配置領域に設けられ、前記アンモニア燃料以外の第2燃料を燃焼させるための第2バーナ(82)と、

前記バーナ配置領域に設けられ、前記第1燃料及び前記第2燃料を燃焼させるための燃焼用空気を噴射するための空気ノズル(8)と、

ボイラ負荷が部分負荷であるとき、前記第1燃料及び前記第2燃料の燃焼に必要な理論空気量に対する、前記バーナ配置領域への前記燃焼用空気の供給量の比であるバーナ部空気比を規定値以下に制御するように構成されるコントローラ(90)とを備える。

[0063] 発明者らは、アンモニア燃料が燃料として用いられるボイラのNO_x排出量は、バーナ部空気比に依存することを究明した。上記1)の構成によれば、ボイラ負荷が部分負荷であるとき、コントローラは、バーナ部空気比が規定値以下になるよう制御を実行する。従って、第1燃料と第2燃料の供給量が少なくバーナ部空気比が過多になることに起因したNO_xの増加を抑制できる。よって、NO_xの排出を抑制できるアンモニア燃料ボイラシステムが実現する。

[0064] 2) 幾つかの実施形態では、上記1)に記載のアンモニア燃料ボイラシステ

ムであって、

前記バーナ部空気比の前記規定値は、0.95以下の値である。

[0065] 発明者らの知見によれば、バーナ部空気比が0.95以下になることによって、ボイラ内での NO_x の発生を効果的に抑制することができる。従って、上記2)の構成によれば、 NO_x の排出を効果的に抑制できるアンモニア燃料ボイラシステムが実現する。

[0066] 3) 幾つかの実施形態では、上記1)または2)に記載のアンモニア燃料ボイラシステムであって、

前記第2燃料は、石炭を含み、

前記第2バーナは、搬送用空気を用いて前記石炭を供給するための石炭供給路(182)を含み、

前記バーナ配置領域へ供給される前記燃焼用空気は、前記搬送用空気と、前記空気ノズルに供給される2次空気とを含み、

前記コントローラは、少なくとも前記2次空気の供給量を調整して、前記バーナ部空気比を前記規定値以下に制御するように構成される。

[0067] 石炭供給路において石炭を搬送する搬送用空気の供給量は、石炭が供給過程で沈降するのを抑制するために、一定量確保される必要がある。そのため、石炭とアンモニア燃料との混焼のボイラ負荷が部分負荷である場合において、搬送用空気を低減することが困難となるおそれがある。この点、上記3)の構成によれば、コントローラは、少なくとも2次空気の供給量を調整することでバーナ部空気比が規定値以下になるよう制御する。よって、石炭とアンモニア燃料の混焼時にボイラ負荷が部分負荷であっても、 NO_x の排出を抑制できる。

[0068] 4) 幾つかの実施形態では、上記1)から3)のいずれかに記載のアンモニア燃料ボイラシステムであって、

前記バーナ部空気比は、

前記第1燃料の前記理論空気量に対する前記第1燃料の前記燃焼用空気の比である第1バーナ空気比と、

前記第2燃料の前記理論空気量に対する前記第2燃料の前記燃焼用空気の比である第2バーナ空気比と、を含み、

前記コントローラは、

前記ボイラ負荷が部分負荷に切り替わるとき、前記バーナ部空気比が前記規定値以下になるよう、前記第1バーナ空気比と前記第2バーナ空気比とを独立して制御するように構成される。

[0069] 上記4)の構成によれば、第1バーナ空気比と第2バーナ空気比とを独立して制御することで、 NO_x の発生量を低減するためにバーナ部空気比をより微細に制御することができる。

[0070] 5)幾つかの実施形態では、上記1)から4)のいずれかに記載のアンモニア燃料ボイラシステムであって、

前記コントローラは、

前記ボイラ負荷が部分負荷に切り替わるとき、前記第1燃料の供給量よりも先に前記第1バーナへの前記燃焼用空気の供給量を下げるように構成される。

[0071] 発明者らの知見によれば、第1バーナにおける空気比が規定値を超えてさらに増加すると、 NO_x の生成量は急増する傾向にある。また、ボイラ負荷が部分負荷に切り替わるとき、第1燃料の供給量が減るため、第1バーナにおける空気比は増加する傾向にある。この点、上記5)の構成によれば、ボイラ負荷が部分負荷に切り替わるとき、第1燃料の供給量よりも先に第1バーナへの燃焼用空気の供給量が下がるので、第1バーナにおける空気比が規定値を超えて増加するのを抑制でき、 NO_x の発生量を低減することができる。

[0072] 6)幾つかの実施形態では、上記1)から5)のいずれかに記載のアンモニア燃料ボイラシステムであって、

前記コントローラは、

前記ボイラ負荷が部分負荷に切り替わるとき、前記第2バーナへの前記燃焼用空気の供給量よりも先に前記第2燃料の供給量を下げるように構成さ

れる。

[0073] 上記6)の構成によれば、ボイラ負荷が部分負荷に切り替わる時に、第2燃料の燃焼用空気が不足するのを抑制できるので、火炉内における失火を抑制することができる。また、第2バーナにおける空気比が過剰に低くなるのを抑制できるため、 NO_x の発生量を低減することもできる。よって、安定した着火を維持しつつ、 NO_x の増加を抑制できる。

[0074] 7)幾つかの実施形態では、上記1)から6)のいずれかに記載のアンモニア燃料ボイラシステムであって、

前記コントローラは、

前記ボイラ負荷が部分負荷でないとき、前記バーナ部空気比を定常値以下になるよう制御し、

前記ボイラ負荷が部分負荷であるとき、前記バーナ部空気比を前記定常値よりも高い前記規定値以下になるよう制御するように構成される。

[0075] 上記7)の構成によれば、ボイラ負荷が部分負荷であるとき、バーナ部空気比が一時的に定常値よりも高くなることを許容することができる。従って、バーナ部空気比の一時的な大きな変動を許容しつつ、 NO_x の排出を継続的に抑制することができる。

[0076] 8)幾つかの実施形態では、上記1)から7)のいずれかに記載のアンモニア燃料ボイラシステムであって、

前記コントローラは、

前記ボイラ負荷が部分負荷である場合に、前記第1燃料と前記石炭との混焼率が規定混焼率を下回るとき、前記第1燃料の供給量を下げるための制御の開始タイミングを、前記第2燃料の供給量を下げるための制御の開始タイミングよりも早めるように構成される。

[0077] 発明者らの知見によれば、混焼率が規定混焼率を下回る範囲では、混焼率が下がるほど NO_x の発生量は低下する。この点、上記8)の構成によれば、混焼率が規定混焼率を下回るときには、第1燃料の供給量が第2燃料の供給量よりも先に下がるので、アンモニア混焼率は積極的に下がり、 NO_x の

発生量を抑制できる。

[0078] 9) 幾つかの実施形態では、上記 1) から 8) のいずれかに記載のアンモニア燃料ボイラシステムであって、

前記コントローラは、

前記ボイラ負荷が部分負荷である場合に、前記アンモニア燃料と前記第 2 燃料との混焼率が規定混焼率以上であるとき、前記第 2 燃料の供給量を下げするための制御の開始タイミングを、前記第 1 燃料の供給量を下げするための制御の開始タイミングよりも早めるように構成される。

[0079] 発明者らの知見によれば、混焼率が規定混焼率以上の範囲では混焼率が上がるほど NO_x の発生量は低下する。この点、上記 9) の構成によれば、混焼率が規定混焼率以上である場合には、第 2 燃料の供給量が第 1 燃料の供給量よりも先に下がるので、混焼率は上がり易く、 NO_x の発生量を抑制できる。

符号の説明

[0080] 1 : アンモニア燃料ボイラシステム
4 : バーナ配置領域
5 : 追加空気投入領域
8 : 空気ノズル
10 : ボイラ
11 : 火炉
81 : 第 1 バーナ
82 : 第 2 バーナ
90 : コントローラ
R : 規定混焼率

請求の範囲

- [請求項1] バーナ配置領域および該バーナ配置領域の下流側に位置する追加空気投入領域を有する火炉と、
- 前記バーナ配置領域に設けられ、アンモニア燃料を含む第1燃料を燃焼させるための第1バーナと、
- 前記バーナ配置領域に設けられ、前記アンモニア燃料以外の第2燃料を燃焼させるための第2バーナと、
- 前記バーナ配置領域に設けられ、前記第1燃料及び前記第2燃料を燃焼させるための燃焼用空気を噴射するための空気ノズルと、
- ボイラ負荷が部分負荷であるとき、前記第1燃料及び前記第2燃料の燃焼に必要な理論空気量に対する、前記バーナ配置領域への前記燃焼用空気の供給量の比であるバーナ部空気比を規定値以下に制御するように構成されるコントローラと
- を備えるアンモニア燃料ボイラシステム。
- [請求項2] 前記バーナ部空気比の前記規定値は、0.95以下の値である
- 請求項1に記載のアンモニア燃料ボイラシステム。
- [請求項3] 前記第2燃料は、石炭を含み、
- 前記第2バーナは、搬送用空気を用いて前記石炭を供給するための石炭供給路を含み、
- 前記バーナ配置領域へ供給される前記燃焼用空気は、前記搬送用空気と、前記空気ノズルに供給される2次空気とを含み、
- 前記コントローラは、少なくとも前記2次空気の供給量を調整して、前記バーナ部空気比を前記規定値以下に制御するように構成される
- 請求項1または2に記載のアンモニア燃料ボイラシステム。
- [請求項4] 前記バーナ部空気比は、
- 前記第1燃料の前記理論空気量に対する前記第1燃料の前記燃焼用空気の比である第1バーナ空気比と、
- 前記第2燃料の前記理論空気量に対する前記第2燃料の前記燃焼

用空気の比である第2バーナ空気比と、を含み、

前記コントローラは、

前記ボイラ負荷が部分負荷に切り替わるとき、前記バーナ部空気比が前記規定値以下になるよう、前記第1バーナ空気比と前記第2バーナ空気比とを独立して制御するように構成される

請求項1または2に記載のアンモニア燃料ボイラシステム。

[請求項5]

前記コントローラは、

前記ボイラ負荷が部分負荷に切り替わるとき、前記第1燃料の供給量よりも先に前記第1バーナへの前記燃焼用空気の供給量を下げないように構成される

請求項1または2に記載のアンモニア燃料ボイラシステム。

[請求項6]

前記コントローラは、

前記ボイラ負荷が部分負荷に切り替わるとき、前記第2バーナへの前記燃焼用空気の供給量よりも先に前記第2燃料の供給量を下げないように構成される

請求項1または2に記載のアンモニア燃料ボイラシステム。

[請求項7]

前記コントローラは、

前記ボイラ負荷が部分負荷でないとき、前記バーナ部空気比を定常値以下になるよう制御し、

前記ボイラ負荷が部分負荷であるとき、前記バーナ部空気比を前記定常値よりも高い前記規定値以下になるよう制御するように構成される

請求項1または2に記載のアンモニア燃料ボイラシステム。

[請求項8]

前記コントローラは、

前記ボイラ負荷が部分負荷である場合に、前記第1燃料と前記第2燃料との混焼率が規定混焼率を下回るとき、前記第1燃料の供給量を下げるとの制御の開始タイミングを、前記第2燃料の供給量を下げるとの制御の開始タイミングよりも早めるように構成される

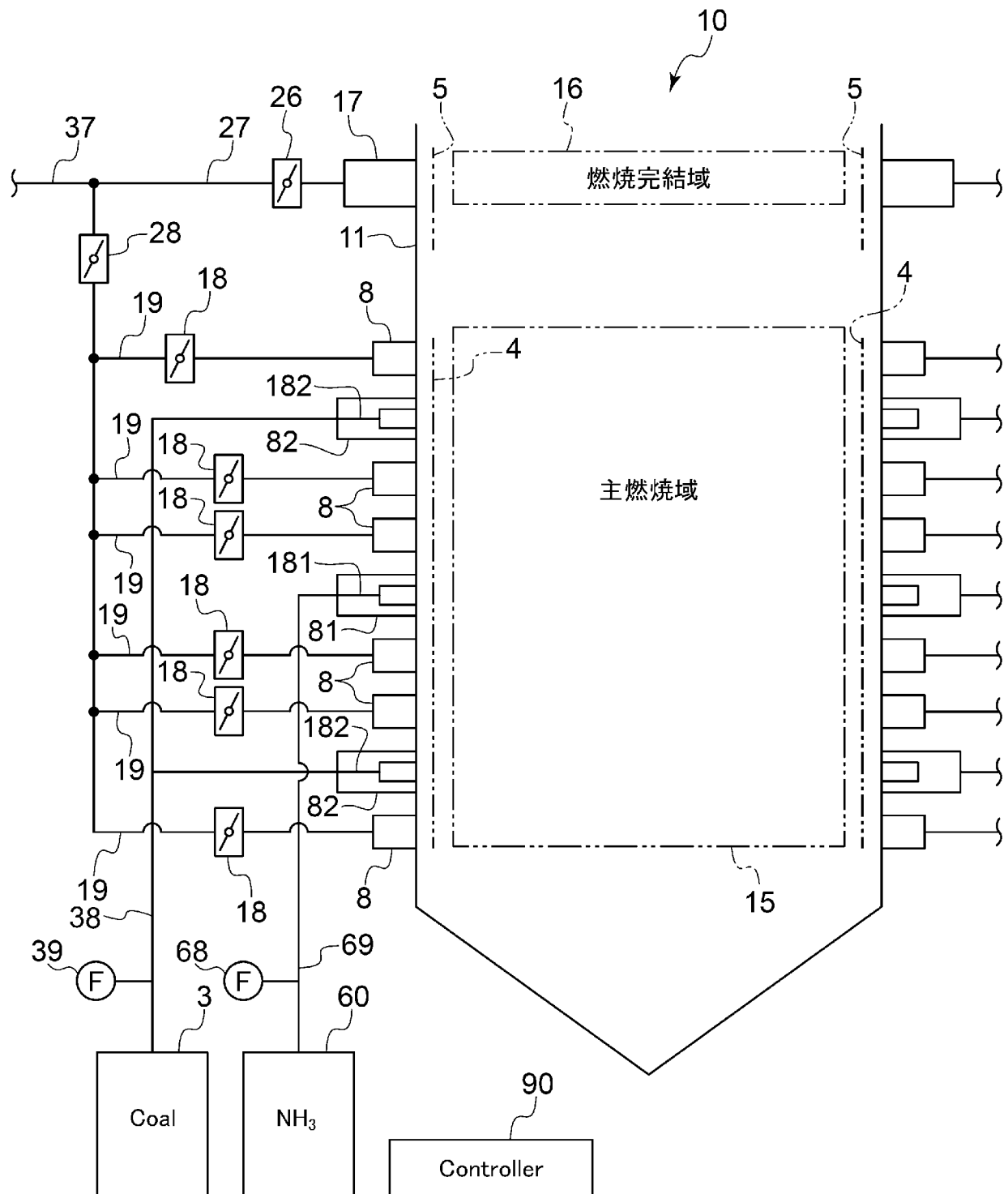
請求項 1 または 2 に記載のアンモニア燃料ボイラシステム。

[請求項9]

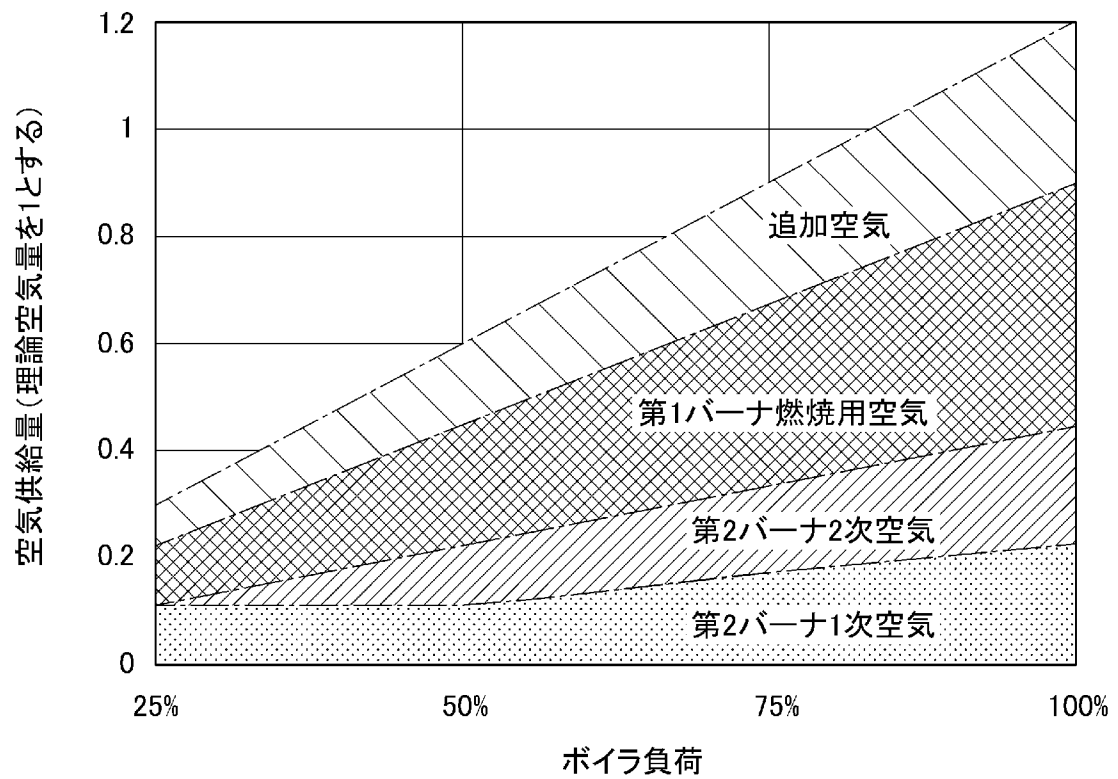
前記コントローラは、

前記ボイラ負荷が部分負荷である場合に、前記第 1 燃料と前記第 2 燃料との混焼率が規定混焼率以上であるとき、前記第 2 燃料の供給量を下げるための制御の開始タイミングを、前記第 1 燃料の供給量を下げるための制御の開始タイミングよりも早めるように構成される請求項 1 または 2 に記載のアンモニア燃料ボイラシステム。

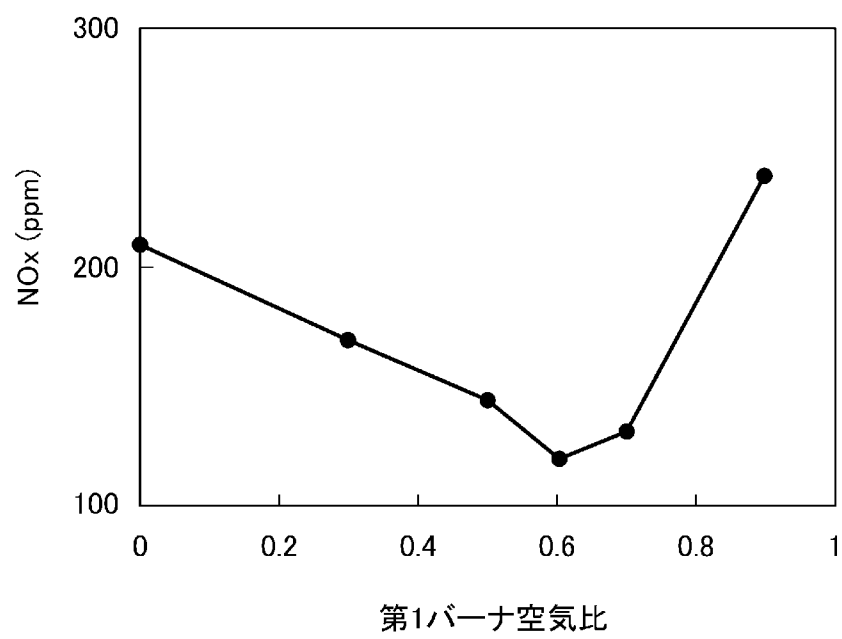
[図2]



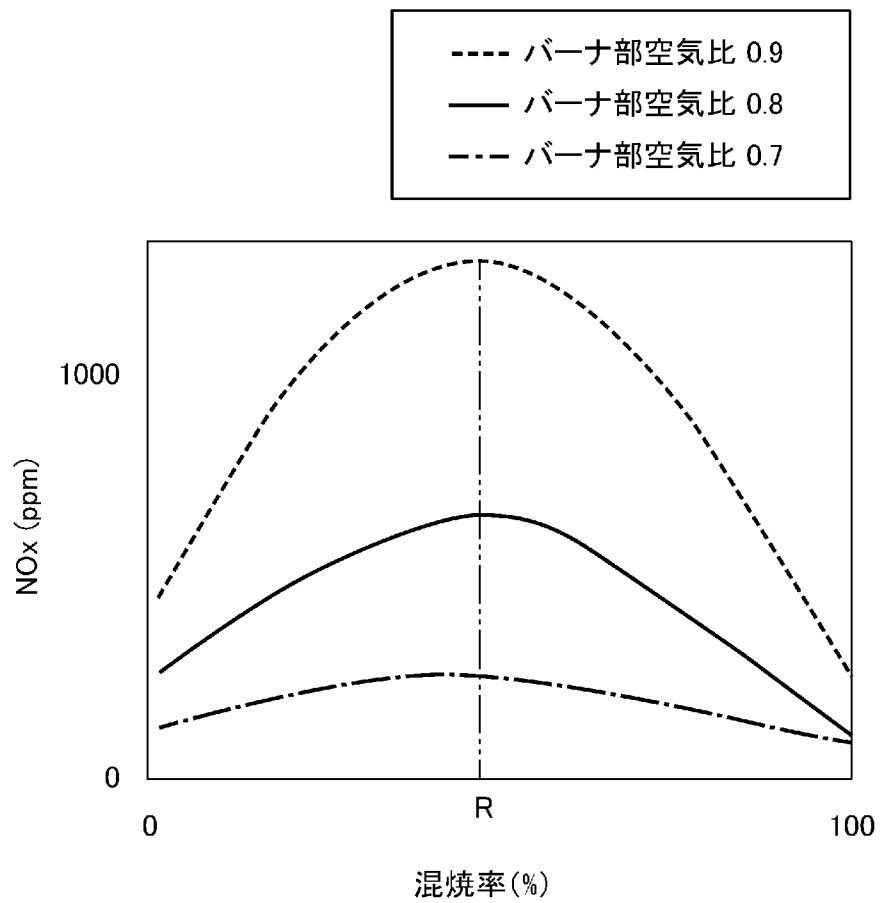
[図3]



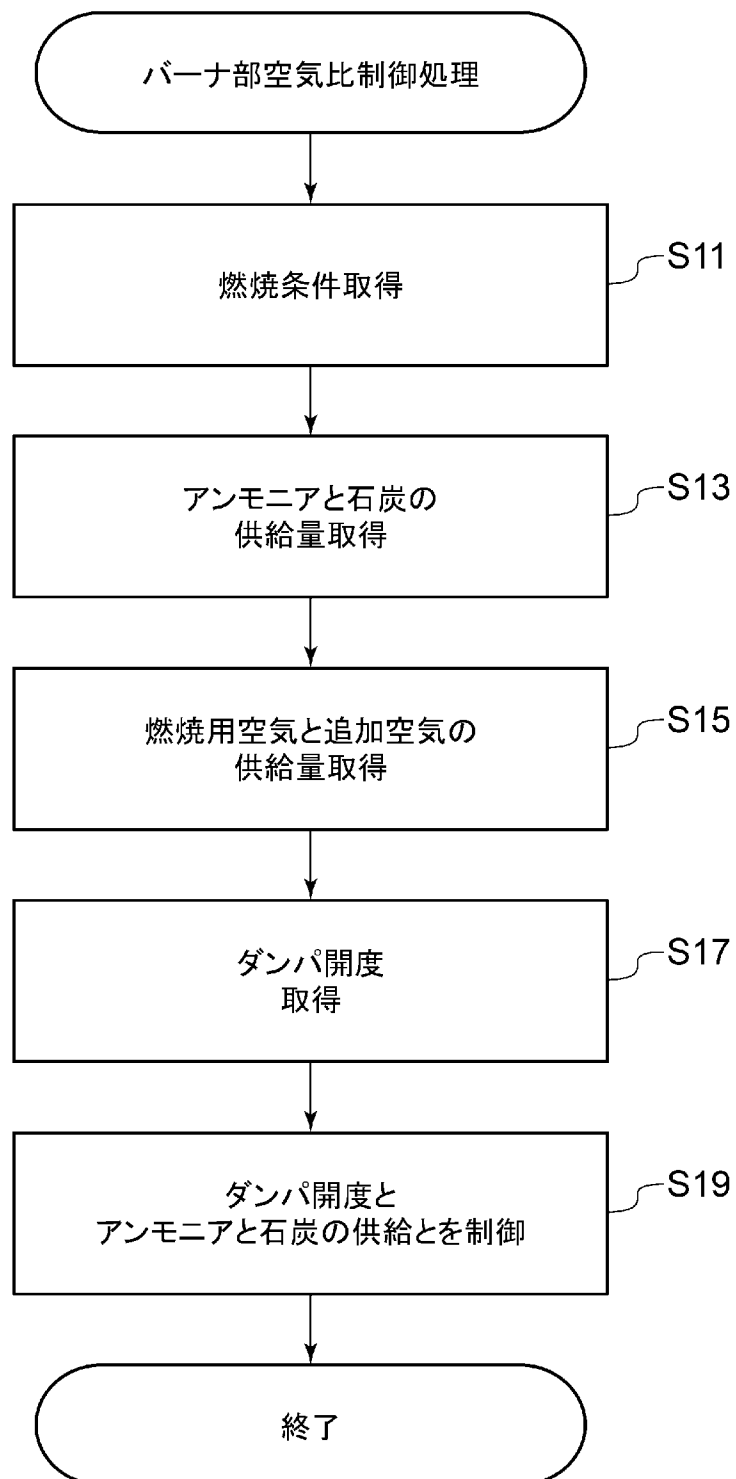
[図4]



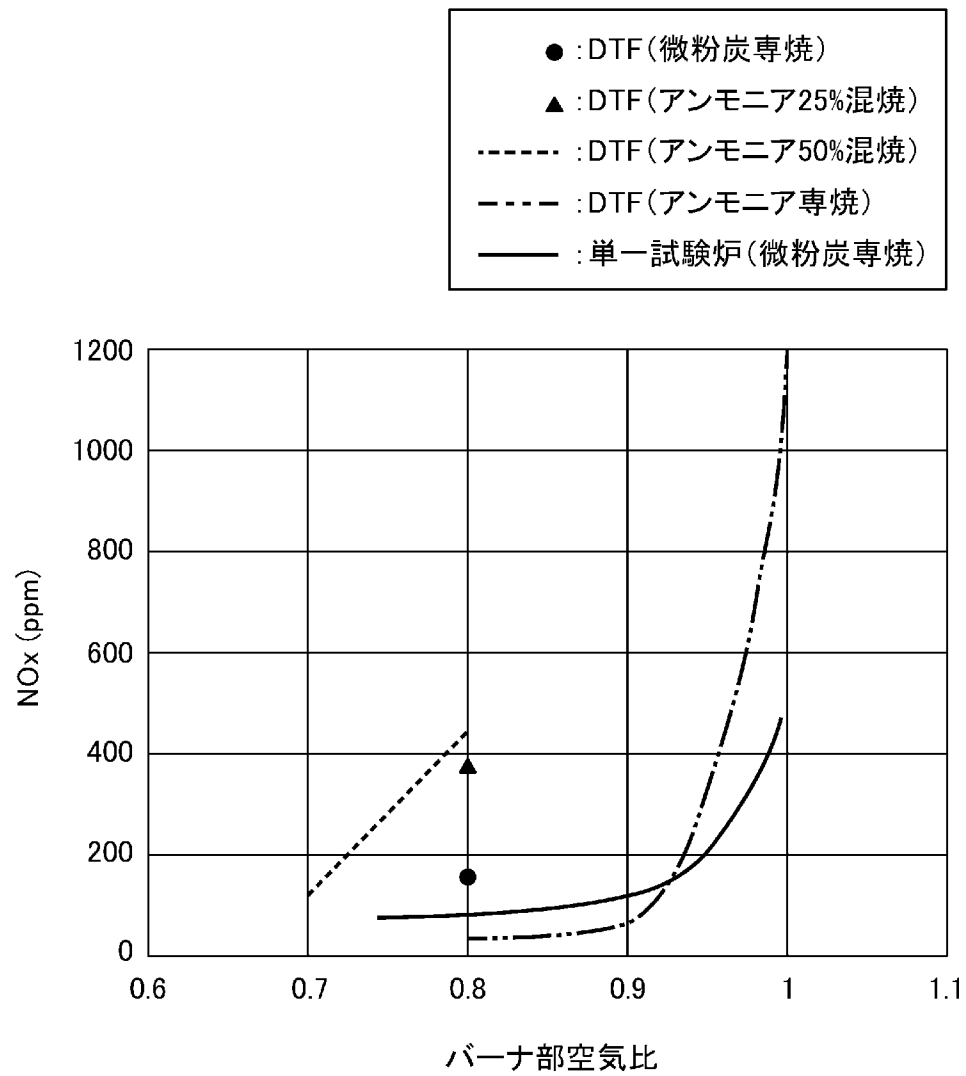
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/046337

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F23N 1/02**(2006.01)i; **F23C 99/00**(2006.01)i; **F23C 1/10**(2006.01)i; **F23C 1/12**(2006.01)i

FI: F23N1/02 K; F23C1/10; F23C1/12; F23C99/00 311

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)

F23N1/02; F23C99/00; F23C1/10; F23C1/12

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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.
Y	JP 2019-178823 A (MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.) 17 October 2019 (2019-10-17)	1-4
A	paragraphs [0036]-[0063], fig. 1-7	5-9
Y	JP 2018-200144 A (IHI CORP) 20 December 2018 (2018-12-20)	1-4
A	paragraphs [0017]-[0032], fig. 1	5-9
A	JP 2018-76985 A (MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.) 17 May 2018 (2018-05-17)	1-9
	entire text, all drawings	
A	WO 2020/054748 A1 (IHI CORP) 19 March 2020 (2020-03-19)	1-9
	entire text, all drawings	
A	JP 7-217819 A (BABCOCK HITACHI KK) 18 August 1995 (1995-08-18)	1-9
	entire text, all drawings	

☐ 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

31 January 2023

Date of mailing of the international search report

07 February 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/046337

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2019-178823	A	17 October 2019	WO 2019/189297 A1	
JP	2018-200144	A	20 December 2018	(Family: none)	
JP	2018-76985	A	17 May 2018	(Family: none)	
WO	2020/054748	A1	19 March 2020	JP 2020-41748 A	
				US 2021/0140634 A1	
				entire text, all drawings	
JP	7-217819	A	18 August 1995	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） F23N 1/02(2006.01)i; F23C 99/00(2006.01)i; F23C 1/10(2006.01)i; F23C 1/12(2006.01)i FI: F23N1/02 K; F23C1/10; F23C1/12; F23C99/00 311										
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）） F23N1/02; F23C99/00; F23C1/10; F23C1/12										
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023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								
Y	JP 2019-178823 A（三菱日立パワーシステムズ株式会社）17.10.2019（2019 - 10 - 17） 段落[0036]-[0063], 図1-7	1-4								
A		5-9								
Y	JP 2018-200144 A（株式会社 I H I）20.12.2018（2018 - 12 - 20） 段落[0017]-[0032], 図1	1-4								
A		5-9								
A	JP 2018-76985 A（三菱日立パワーシステムズ株式会社）17.05.2018（2018 - 05 - 17） 全文, 全図	1-9								
A	WO 2020/054748 A1（株式会社 I H I）19.03.2020（2020 - 03 - 19） 全文, 全図	1-9								
A	JP 7-217819 A（バブコック日立株式会社）18.08.1995（1995 - 08 - 18） 全文, 全図	1-9								
☐ 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、一般的な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抵触するものではなく、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 31.01.2023		国際調査報告の発送日 07.02.2023								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 豊島 ひろみ 3L 9426 電話番号 03-3581-1101 内線 3337								

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/046337

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2019-178823	A	17.10.2019	WO	2019/189297	A1	
JP	2018-200144	A	20.12.2018	(ファミリーなし)			
JP	2018-76985	A	17.05.2018	(ファミリーなし)			
WO	2020/054748	A1	19.03.2020	JP	2020-41748	A	
				US	2021/0140634	A1	
				全文, 全図			
JP	7-217819	A	18.08.1995	(ファミリーなし)			