

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7699088号
(P7699088)

(45)発行日 令和7年6月26日(2025.6.26)

(24)登録日 令和7年6月18日(2025.6.18)

(51)国際特許分類

F I

F 2 3 N	1/02 (2006.01)	F 2 3 N	1/02	1 0 1
F 2 3 J	3/00 (2006.01)	F 2 3 J	3/00	Z
F 2 3 K	5/00 (2006.01)	F 2 3 K	5/00	3 0 1 B
F 2 3 L	1/00 (2006.01)	F 2 3 L	1/00	B
F 2 3 L	7/00 (2006.01)	F 2 3 L	1/00	G

請求項の数 6 (全19頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2022-130077(P2022-130077)
 (22)出願日 令和4年8月17日(2022.8.17)
 (65)公開番号 特開2024-27346(P2024-27346A)
 (43)公開日 令和6年3月1日(2024.3.1)
 審査請求日 令和6年11月11日(2024.11.11)
 早期審査対象出願

(73)特許権者 000006208
 三菱重工業株式会社
 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
 (74)代理人 110002147
 弁理士法人酒井国際特許事務所
 (72)発明者 戸貝 公宣
 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
 (72)発明者 齋藤 敏彦
 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
 (72)発明者 吉田 啓祐
 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
 (72)発明者 井上 智晃

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 衝撃波生成装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

基端から先端に向けて燃焼ガスが流れるガス通路が設けられて前記先端に開口部が設けられる燃焼装置と、

燃料を供給する燃料供給経路と、

酸化剤を供給する酸化剤供給経路と、

前記燃料と前記酸化剤が混合された可燃性ガスを前記燃焼装置に供給する可燃性ガス供給経路と、

前記燃料供給経路を流れる前記燃料の流量を調整する燃料流量調整装置と、

前記酸化剤供給経路を流れる前記酸化剤の流量を調整する酸化剤流量調整装置と、

前記燃焼装置に供給された前記可燃性ガスに点火する点火装置と、

前記燃焼装置に供給される前記可燃性ガスの供給状態に応じて前記燃料流量調整装置および前記酸化剤流量調整装置を制御する制御装置と、

を備え、

前記燃料流量調整装置および前記酸化剤流量調整装置は、マスフローコントローラを有し、

前記マスフローコントローラは、計測した前記燃料もしくは前記酸化剤の質量流量と、前記燃焼装置の形態や燃焼情報などに応じて設定される設定値とを比較することで質量流量が設定値となるよう流量制御弁の開度を制御するものであり、

前記制御装置は、前記燃焼装置の内部がパージガスに満たされている状態で、前記燃焼装

10

20

置に対する前記可燃性ガスの充てん時間の初期に、前記燃焼装置に供給する前の前記可燃性ガスの混合比が燃料過剰になるように、前記燃料流量調整装置および前記酸化剤流量調整装置を制御する、

衝撃波生成装置。

【請求項 2】

前記燃料流量調整装置および前記酸化剤流量調整装置は、オリフィスまたはソニックノズルを有する、

請求項 1 に記載の衝撃波生成装置。

【請求項 3】

前記燃料流量調整装置および前記酸化剤流量調整装置は、前記燃料供給経路および前記酸化剤供給経路にそれぞれ設けられる並列をなす複数の燃料分岐経路および複数の酸化剤分岐経路と、前記複数の燃料分岐経路および前記複数の酸化剤分岐経路にそれぞれ設けられる前記オリフィスまたは前記ソニックノズルと、前記複数の燃料分岐経路および前記複数の酸化剤分岐経路にそれぞれ設けられる開閉弁とを有する、

10

請求項 2 に記載の衝撃波生成装置。

【請求項 4】

前記制御装置は、少なくとも前記燃焼装置に対する前記可燃性ガスの充てん時間の終期に前記可燃性ガスの混合比が量論混合比に近づくように、前記燃料流量調整装置および前記酸化剤流量調整装置を制御する、

請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の衝撃波生成装置。

20

【請求項 5】

前記燃焼装置の外周部から中心部側に向けて不燃性ガスを噴出する噴出部を有する、

請求項 1 に記載の衝撃波生成装置。

【請求項 6】

前記噴出部は、前記燃焼装置に可燃性ガスを供給すると同時に前記不燃性ガスを噴出し、前記燃焼装置に供給された前記可燃性ガスに点火した後、前記不燃性ガスの噴出を停止する、

請求項 5 に記載の衝撃波生成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本開示は、爆轟による衝撃波を生成するための衝撃波生成装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

例えば、ごみ焼却炉、石炭ガス化複合発電設備（IGCC）、発電用ボイラなどは、排ガス中に含まれるダストが火炉の内壁面や伝熱管の外表面などに付着する。火炉の内壁面や伝熱管の外表面などに付着したダストは、熱伝達率を低下させて熱回収効率を悪化させたり、排ガスの流れの抵抗になって火炉の性能を低下させたりする。そのため、ダスト除去装置により、火炉の内壁や伝熱管の外表面に付着したダストを定期的に除去する必要がある。

【0003】

40

ダスト除去装置は、衝撃波生成装置を有する。衝撃波生成装置は、燃料を燃焼させることで火炎の伝播速度が音速を超える爆轟による衝撃波を生成する。ダスト除去装置は、衝撃波生成装置が生成した衝撃波によりダストを除去する。このような従来の衝撃波生成装置として、下記特許文献に記載されたものがある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特許第 6600313 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 0 5 】

衝撃波生成装置は、燃料と酸化剤とが混合された混合気を燃焼室に供給し、燃焼室に所定量の混合気が充填されると、混合気に点火する。すると、混合気が燃焼することで爆轟による衝撃波が生成する。この場合、燃焼室に混合気を供給するとき、供給した混合気の総量を求めるため、燃焼器より上流の压力容器の圧力を監視している。ところが、燃焼室に対する混合気の供給中は、燃焼室の圧力が変動するため、このときの瞬時の流量がわからず、燃焼室に対する混合器の高精度な流量制御が困難となる。

【 0 0 0 6 】

本開示は、上述した課題を解決するものであり、燃焼室に供給する可燃性ガスの供給量制御の高精度化を図る衝撃波生成装置を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

上記の目的を達成するための本開示の衝撃波生成装置は、基端から先端に向けて燃焼ガスが流れるガス通路が設けられて前記先端に開口部が設けられる燃焼装置と、燃料を供給する燃料供給経路と、酸化剤を供給する酸化剤供給経路と、前記燃料と前記酸化剤が混合された可燃性ガスを前記燃焼装置に供給する可燃性ガス供給経路と、前記燃料供給経路を流れる前記燃料の流量を調整する燃料流量調整装置と、前記酸化剤供給経路を流れる前記酸化剤の流量を調整する酸化剤流量調整装置と、前記燃焼装置に供給された前記可燃性ガスに点火する点火装置と、を備える。

【発明の効果】

20

【 0 0 0 8 】

本開示の衝撃波生成装置によれば、燃焼装置に供給する可燃性ガスの供給量制御の高精度化を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

【図 1】図 1 は、第 1 実施形態の衝撃波生成装置を表す概略構成図である。

【図 2】図 2 は、第 2 実施形態の衝撃波生成装置における可燃性ガスの供給量制御を表すグラフである。

【図 3】図 3 は、第 3 実施形態の衝撃波生成装置を表す概略構成図である。

【図 4】図 4 は、第 4 実施形態の衝撃波生成装置を表す概略構成図である。

30

【図 5】図 5 は、第 5 実施形態の衝撃波生成装置を表す概略構成図である。

【図 6】図 6 は、衝撃波生成装置を表す火炉側からの正面図である。

【図 7】図 7 は、衝撃波生成装置による衝撃波生成方法を表すフローチャートである。

【図 8】図 8 は、衝撃波生成装置による衝撃波生成方法を表すタイムチャートである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

以下に図面を参照して、本開示の好適な実施形態を詳細に説明する。なお、この実施形態により本開示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。また、実施形態における構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のもの、いわゆる均等の範囲のものが含まれる。

40

【 0 0 1 1 】

[第 1 実施形態]

< 衝撃波生成装置 >

図 1 は、第 1 実施形態の衝撃波生成装置を表す概略構成図である。

【 0 0 1 2 】

図 1 に示すように、第 1 実施形態の衝撃波生成装置 10 は、ごみ焼却炉、石炭ガス化複合発電設備、発電用ボイラ（以下、ボイラと称する。）などの火炉の内壁面や伝熱管の外表面などに付着するダストを除去するダスト除去装置に適用される。なお、火炉は、ボイラの燃焼場の周囲を取り囲む壁部から構成されるものであるが、ダスト除去装置は、火炉の

50

上部や下部に連続する壁部の内壁面などに付着するダストを除去することができる。ダスト除去装置は、火炉の内部に連通する配管を通して火炉内に可燃性ガスを供給し、可燃性ガスに着火させることで爆轟による衝撃波Sを発生させる。すなわち、可燃性ガスが燃焼すると、火炎と衝撃波が一体になった爆轟波が伝播し、可燃性ガスがなくなった時点で衝撃波として伝播する。ダスト除去装置は、爆轟による衝撃波Sが火炉の内壁や伝熱管の外面に作用することで、付着したダストを吹き飛ばして除去する。

【0013】

衝撃波生成装置10は、ダスト除去装置に設けられ、ボイラの停止中にダスト除去装置が作動するとき、燃料の燃焼による爆轟で衝撃波Sを生成するものである。

【0014】

衝撃波生成装置10は、燃焼装置11と、可燃性ガス供給装置12と、点火装置13と、制御装置14とを備える。

【0015】

燃焼装置11は、基端から先端に向けて燃焼ガスが流れるガス通路21を有する。燃焼装置11は、起爆管22と、燃焼器23とを有する。ガス通路21は、起爆管22の内部に設けられる第1通路24と、燃焼器23の内部に設けられる第2通路25とから構成される。

【0016】

起爆管22は、筒形状をなし、基端22aが閉塞し、先端22bが開口する。起爆管22は、内部に所定長さの第1通路24が設けられる。起爆管22は、基端22aに可燃性ガス供給装置12が接続される。燃焼器23は、筒形状をなし、基端23aが起爆管22の先端22bに連結されて連通し、先端23bが開口して開口部23cが設けられる。起爆管22のガス通路21と、燃焼器23の第2通路25は、同心である。但し、起爆管22のガス通路21と、燃焼器23の第2通路25は、同心ではなくてもよく、異なる形状であってもよい。燃焼器23は、内部に所定長さの第2通路25が設けられる。燃焼器23の第2通路25は、起爆管22の第1通路24より大径である。燃焼器23は、基端23aから先端22bまで第2通路25が同径であるが、基端23aに対して先端22bが拡径していてもよい。

【0017】

起爆管22は、基端22aに混合促進器26が設けられる。混合促進器26は、燃料Fと酸化剤Aとの混合を促進するものである。混合促進器26は、例えば、ディフューザ、複数の突起から構成される渦発生器、格子などの整流器、また、これらの組合せである。燃焼器23は、先端23bの開口部23cが火炉101の火炉壁102に区画された内部空間103に連通する。

【0018】

可燃性ガス供給装置12は、燃料供給部31と、酸化剤供給部41とを有する。燃料供給部31は、燃料Fを供給する。酸化剤供給部41は、酸化剤Aとしての酸素または空気を供給する。可燃性ガス供給装置12は、燃料供給部31が供給した燃料Fと酸化剤供給部41が供給した酸化剤Aとが混合された混合気を可燃性ガスMとして燃焼装置11の基端から内部に供給する。

【0019】

燃料供給部31は、燃料供給経路32と、燃料ポンベ33と、減圧弁34と、マスフローコントローラ(燃料流量調整装置)35と、安全器36と、燃料供給弁37と、逆止弁38とを有する。燃料供給経路32は、上流端部に燃料ポンベ33が連結され、下流側に向けて減圧弁34、マスフローコントローラ35、安全器36、燃料供給弁37、逆止弁38が設けられる。燃料ポンベ33は、燃料Fが貯留される。減圧弁34は、燃料ポンベ33の燃料Fを減圧し、供給する燃料Fの圧力を調整する。マスフローコントローラ35は、燃料Fの質量流量を計測し、計測した燃料Fの質量流量と予め設定された燃料Fの設定値とを比較し、燃料Fの質量流量が設定値となるように流量制御弁の開度を調整する。安全器36は、逆火を防止する。燃料供給弁37は、開閉弁であり、開放時に燃料Fを供

10

20

30

40

50

給し、閉止時に燃料 F の供給を停止する。逆止弁 3 8 は、上流側への燃料 F や可燃性ガス M の逆流を防止する。

【 0 0 2 0 】

酸化剤供給部 4 1 は、酸化剤供給経路 4 2 と、酸化剤ポンベ 4 3 と、減圧弁 4 4 と、マスフローコントローラ（酸化剤流量調整装置）4 5 と、安全器 4 6 と、酸化剤供給弁 4 7 と、逆止弁 4 8 とを有する。酸化剤供給経路 4 2 は、上流端部に酸化剤ポンベ 4 3 が連結され、下流側に向けて減圧弁 4 4、マスフローコントローラ 4 5、安全器 4 6、酸化剤供給弁 4 7、逆止弁 4 8 が設けられる。酸化剤ポンベ 4 3 は、酸化剤 A が貯留される。減圧弁 4 4 は、酸化剤ポンベ 4 3 の酸化剤 A を減圧し、供給する酸化剤 A の圧力を調整する。マスフローコントローラ 4 5 は、酸化剤 A の質量流量を計測し、計測した酸化剤 A の質量流量と予め設定された酸化剤 A の設定値とを比較し、酸化剤 A の質量流量が設定値となるように流量制御弁の開度を調整する。安全器 4 6 は、逆火を防止する。酸化剤供給弁 4 7 は、開閉弁であり、開放時に酸化剤 A を供給し、閉止時に酸化剤 A の供給を停止する。逆止弁 4 8 は、上流側への酸化剤 A や可燃性ガス M の逆流を防止する。

10

【 0 0 2 1 】

燃料供給経路 3 2 と酸化剤供給経路 4 2 は、下流端部がクロス継手 5 1 を介して可燃性ガス供給経路 5 2 の上流端部に連結され、可燃性ガス供給経路 5 2 は、下流端部が起爆管 2 2 の基端 2 2 a に連結される。また、パージガス経路 5 3 は、上流端部に送風機 5 4 が連結され、下流端部がクロス継手 5 1 に連結される。パージガス経路 5 3 は、パージガス供給弁 5 5 が設けられる。クロス継手 5 1 は、燃料供給経路 3 2 と酸化剤供給経路 4 2 と可燃性ガス供給経路 5 2 とパージガス経路 5 3 とを連通する。送風機 5 4 は、パージガス（例えば、空気や不活性ガスなど）P を可燃性ガス供給経路 5 2 に供給する。パージガス供給弁 5 5 は、開閉弁であり、開放時にパージガス P を供給し、閉止時にパージガス P の供給を停止する。

20

【 0 0 2 2 】

点火装置 1 3 は、燃焼装置 1 1 における起爆管 2 2 に供給された可燃性ガス M に点火する。点火装置 1 3 は、起爆管 2 2 の基端 2 2 a に設けられる。

【 0 0 2 3 】

制御装置 1 4 は、点火装置 1 3、マスフローコントローラ 3 5、燃料供給弁 3 7、マスフローコントローラ 4 5、酸化剤供給弁 4 7、パージガス供給弁 5 5 が接続される。

30

【 0 0 2 4 】

制御装置 1 4 は、点火装置 1 3 による可燃性ガス M への点火時期を制御可能である。制御装置 1 4 は、マスフローコントローラ 3 5 とマスフローコントローラ 4 5 を調整制御可能である。制御装置 1 4 は、燃料供給弁 3 7 と酸化剤供給弁 4 7 とパージガス供給弁 5 5 を開閉制御可能である。

【 0 0 2 5 】

ここで、制御装置 1 4 は、コントローラであり、例えば、CPU（Central Processing Unit）や MPU（Micro Processing Unit）などにより、記憶部に記憶されている各種プログラムが RAM を作業領域として実行されることにより実現される。

【 0 0 2 6 】

< 可燃性ガスの流量調整制御 >

マスフローコントローラ 3 5 は、燃料供給経路 3 2 を流れる燃料 F の質量流量を計測し、燃料 F の質量流量と燃料 F の設定値とを比較し、燃料 F の質量流量が設定値となるように流量制御弁の開度を調整する。燃料 F の設定値は、燃焼装置 1 1 などの形態や燃焼情報などに応じて設定される。マスフローコントローラ 4 5 は、酸化剤供給経路 4 2 を流れる酸化剤 A の質量流量を計測し、酸化剤 A の質量流量と酸化剤 A の設定値とを比較し、酸化剤 A の質量流量が設定値となるように流量制御弁の開度を調整する。酸化剤 A の設定値は、燃焼装置 1 1 などの形態や燃焼情報などに応じて設定される。なお、燃料 F の設定値と酸化剤 A の設定値は、マスフローコントローラ 3 5、4 5 を事前調整して設定してもよいし、制御装置 1 4 が設定してもよい。燃料 F の設定値と酸化剤 A の設定値により可燃性ガ

40

50

スMの混合比Rが設定される。

【0027】

可燃性ガス供給装置12が燃焼装置11に供給する可燃性ガスMの供給量は、マスフローコントローラ35, 45で設定された燃料Fおよび酸化剤Aの各設定値と、燃料供給弁37および酸化剤供給弁47の各開弁時間により決まる。制御装置14は、マスフローコントローラ35, 45で燃料Fおよび酸化剤Aの各設定値を設定すると共に、燃料供給弁37および酸化剤供給弁47の各開弁時間を制御する。すなわち、マスフローコントローラ35, 45で燃料Fおよび酸化剤Aの各設定値が設定されることで、制御装置14は、可燃性ガス供給装置12が燃焼装置11に可燃性ガスMを供給しているとき、瞬時の燃料Fおよび酸化剤Aの供給量(混合比)を取得することができる。

10

【0028】

マスフローコントローラ35, 45を適用することで、可燃性ガス供給装置12が燃焼装置11に可燃性ガスMを供給するときの瞬時流量を制御することができる。そのため、燃焼装置11への可燃性ガスMの供給時、燃料Fと酸化剤Aの混合比を高精度に一定に維持することができ、安定した強度で爆轟による衝撃波を生成することができる。なお、制御する燃料Fと酸化剤Aの混合比は、燃料Fと酸化剤Aの組み合わせで変わるが、R(モル比) = 0.001 ~ 20の範囲である。

【0029】

また、マスフローコントローラ35, 45により燃料Fおよび酸化剤Aの各設定値が設定されることで、制御装置14は、燃料供給弁37および酸化剤供給弁47の各開弁時間により可燃性ガスMの供給量を調整することができる。衝撃波生成装置10は、基本的に、多量の可燃性ガスM(燃料F)を供給した方が爆轟による衝撃波の強度が高くなる。しかし、例えば、除去するダストの量が少ない場合、可燃性ガスM(燃料F)の供給量を多くして爆轟による衝撃波の強度を高くする必要はない。そのため、制御装置14は、燃料供給弁37および酸化剤供給弁47の各開弁時間により可燃性ガスMの供給量を調整し、例えば、除去するダストの量に応じた量の可燃性ガスM(燃料F)を供給すればよい。このような制御により、燃料Fや酸化剤Aの使用量を抑制し、ランニングコストを下げることができる。

20

【0030】

[第2実施形態]

図2は、第2実施形態の衝撃波生成装置における可燃性ガスの供給量制御を表すグラフである。なお、第2実施形態の基本的な構成は、上述した第1実施形態と同様であり、図1を用いて説明し、第1実施形態と同様の機能を有する部材には、同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

30

【0031】

図1に示すように、衝撃波生成装置10は、燃焼装置11と、可燃性ガス供給装置12と、点火装置13と、制御装置14とを備える。制御装置14は、燃料供給弁37および酸化剤供給弁47の各開弁時間を調整することで、燃焼装置11への可燃性ガスMの供給量を調整することができる。また、マスフローコントローラ35, 45により燃料Fおよび酸化剤Aの単位時間当たりの供給量の各設定値が設定されている。制御装置14は、マスフローコントローラ35, 45による燃料Fおよび酸化剤Aの各設定値を変更することで、可燃性ガスMにおける燃料Fと酸化剤Aとの混合比Rを調整することができる。

40

【0032】

可燃性ガス供給装置12が燃焼装置11に可燃性ガスMを供給しているとき、制御装置14は、マスフローコントローラ35, 45の設定値を変更することで、可燃性ガスMの混合比Rを調整する。

【0033】

可燃性ガス供給装置12が燃焼装置11に可燃性ガスMを供給しているとき、マスフローコントローラ35, 45の設定値が一定値であるにもかかわらず、外部要因により可燃性ガスMの混合比Rが変動してしまうことがある。例えば、衝撃波生成装置10の作動直

50

前まで、燃焼装置 11 は、内部がパージガス P に満たされている。ここで、パージガス P が空気であるとき、燃焼装置 11 は、内部が酸化剤である空気で満たされていることになる。そのため、可燃性ガス供給装置 12 が燃焼装置 11 に対して所定の混合比 R の可燃性ガス M の供給を開始しても、供給初期では、燃焼装置 11 に残留する酸化剤（空気）と可燃性ガス M が混合することとなり、混合比が低下してしまう。

【 0034 】

そこで、可燃性ガス供給装置 12 による燃焼装置 11 への可燃性ガス M の供給初期では、制御装置 14 は、マスフローコントローラ 35, 45 の設定値を変更し、燃料 F が過剰になる混合比 R に変更する。ここで、可燃性ガス M の供給初期とは、燃料供給弁 37 および酸化剤供給弁 47 の開放時期から予め設定された所定期間である。図 1 および図 2 に示すように、時間 t_0 にて、制御装置 14 は、可燃性ガス供給装置 12 を作動して燃料供給弁 37 および酸化剤供給弁 47 を開放し、燃焼装置 11 への可燃性ガス M の供給を開始する。このとき、制御装置 14 は、マスフローコントローラ 35, 45 の設定値を、燃料 F が過剰になる混合比 R とする。制御装置 14 は、例えば、初期混合比（燃料 / 酸化剤） R_g を、予め設定された所定の混合比 R に係数 a ($1 < a < 10$) を乗算した値となるように、マスフローコントローラ 35, 45 の設定値を変更する。すると、時間 t_1 にて、燃料 F が過剰となる初期混合比 R_g となる。

10

【 0035 】

制御装置 14 は、例えば、時間 t_1 ~ 時間 t_2 にて、初期混合比 R_g を一定に維持する。そして、制御装置 14 は、時間 t_2 ~ 時間 t_3 にかけて混合比（燃料 / 酸化剤）R を低下させる。制御装置 14 は、例えば、時間 t_2 ~ 時間 t_3 にかけて燃料 F が過剰となる初期混合比 R_g から所定の混合比 R まで低下させる。この場合、混合比 R は、連続的に変化しているが、段階的に変化させてもよい。その後、時間 t_3 にて、可燃性ガス供給装置 12 の作動を停止して燃料供給弁 37 および酸化剤供給弁 47 を閉止し、時間 t_4 にて、可燃性ガス M の供給が終了する。

20

【 0036 】

なお、上述の説明では、時間 t_1 ~ 時間 t_2 にて、初期混合比 R_g を一定に維持し、時間 t_2 ~ 時間 t_3 にて、混合比 R を低下させたが、この構成に限定されない。例えば、時間 t_1 ~ 時間 t_3 にて、初期混合比 R_g を混合比 R まで低下させたり、時間 t_1 ~ 時間 t_2 にて、初期混合比 R_g を混合比 R まで低下させ、時間 t_2 ~ 時間 t_3 にて、混合比 R を一定に維持したりしてもよい。また、初期混合比 R_g を設定するための係数 a や変化度合いは、予め CFD 解析などにより残留する空気量を把握してシーケンスとして与えてもよいし、燃焼装置 11 の内部に残留空気量を計測器（図示略）により測定して混合比 R にフィードバック制御をかけてもよい。

30

【 0037 】

また、点火装置 13 は、燃焼装置 11 における基端に配置される。そのため、点火装置 13 は、燃焼装置 11 に対して供給終了直前の可燃性ガス M に対して点火する。このとき、点火装置 13 は、燃焼装置 11 の内部の可燃性ガス M に対して着実に点火させたい。そこで、可燃性ガス供給装置 12 による燃焼装置 11 への可燃性ガス M の供給終期では、制御装置 14 は、マスフローコントローラ 35, 45 の設定値を変更し、点火装置 13 が可燃性ガス M に点火しやすい混合比 R に変更する。ここで、供給終期とは、燃焼装置 11 への可燃性ガス M の充てん量に応じて設定される燃料供給弁 37 および酸化剤供給弁 47 の開放時間における停止時期から遡って予め設定された所定期間である。すなわち、制御装置 14 は、可燃性ガス M の供給終期である時間 t_3 にて、混合比 R を、燃料 F と酸化剤 A が過不足なく反応する比である量論混合比 R_s 付近となるように、マスフローコントローラ 35, 45 の設定値を変更する。量論混合比 R_s は、例えば、予め設定された所定の混合比 R に係数 b ($0.3 < b < 3$) を乗算した値である。

40

【 0038 】

[第 3 実施形態]

図 3 は、第 3 実施形態の衝撃波生成装置を表す概略構成図である。なお、上述した第 1

50

実施形態と同様の機能を有する部材には、同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【 0 0 3 9 】

衝撃波生成装置 1 0 A は、燃焼装置 1 1 と、可燃性ガス供給装置 1 2 A と、点火装置 1 3 と、制御装置 1 4 とを備える。燃焼装置 1 1 と点火装置 1 3 と制御装置 1 4 は、第 1 実施形態と同様である。

【 0 0 4 0 】

可燃性ガス供給装置 1 2 A は、燃料供給部 3 1 A と、酸化剤供給部 4 1 A とを有する。燃料供給部 3 1 A は、燃料供給経路 3 2 と、燃料ポンベ 3 3 と、減圧弁 3 4 と、ソニックノズル（燃料流量調整装置）6 1 と、安全器 3 6 と、燃料供給弁 3 7 と、逆止弁 3 8 とを有する。第 2 実施形態では、燃料流量調整装置として、第 1 実施形態のマスフローコントローラ 3 5 からソニックノズル 6 1 に変更している。また、酸化剤供給部 4 1 A は、酸化剤供給経路 4 2 と、酸化剤ポンベ 4 3 と、減圧弁 4 4 と、ソニックノズル（酸化剤流量調整装置）7 1 と、安全器 4 6 と、酸化剤供給弁 4 7 と、逆止弁 4 8 とを有する。第 2 実施形態では、酸化剤流量調整装置として、第 1 実施形態のマスフローコントローラ 4 5 からソニックノズル 7 1 に変更している。

10

【 0 0 4 1 】

ソニックノズル 6 1 , 7 1 は、制御装置 1 4 が制御せず、燃料 F および酸化剤 A の各設定値は、予め設定されている。なお、燃料流量調整装置および酸化剤流量調整装置として、ソニックノズル 6 1 , 7 1 を設けたが、オリフィスであってもよい。

【 0 0 4 2 】

燃料流量調整装置および酸化剤流量調整装置として、ソニックノズル 6 1 , 7 1 やオリフィスを適用したことで、可燃性ガス供給装置 1 2 A が燃焼装置 1 1 に供給する可燃性ガス M の瞬時流量を適切に調整することができる。

20

【 0 0 4 3 】

[第 4 実施形態]

図 4 は、第 4 実施形態の衝撃波生成装置を表す概略構成図である。なお、上述した第 1 実施形態と同様の機能を有する部材には、同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【 0 0 4 4 】

衝撃波生成装置 1 0 B は、燃焼装置 1 1 と、可燃性ガス供給装置 1 2 B と、点火装置 1 3 と、制御装置 1 4 とを備える。燃焼装置 1 1 と点火装置 1 3 と制御装置 1 4 は、第 1 実施形態と同様である。

30

【 0 0 4 5 】

可燃性ガス供給装置 1 2 B は、燃料供給部 3 1 B と、酸化剤供給部 4 1 B とを有する。燃料供給部 3 1 B は、燃料供給経路 3 2 と、燃料ポンベ 3 3 と、減圧弁 3 4 と、ソニックノズル装置（燃料流量調整装置）6 1 B と、安全器 3 6 と、燃料供給弁 3 7 と、逆止弁 3 8 とを有する。第 3 実施形態では、燃料流量調整装置として、第 1 実施形態のマスフローコントローラ 3 5 からソニックノズル装置 6 1 B に変更している。また、酸化剤供給部 4 1 B は、酸化剤供給経路 4 2 と、酸化剤ポンベ 4 3 と、減圧弁 4 4 と、ソニックノズル装置（酸化剤流量調整装置）7 1 B と、安全器 4 6 と、酸化剤供給弁 4 7 と、逆止弁 4 8 とを有する。第 3 実施形態では、酸化剤流量調整装置として、第 1 実施形態のマスフローコントローラ 4 5 からソニックノズル装置 7 1 B に変更している。

40

【 0 0 4 6 】

ソニックノズル装置 6 1 B にて、燃料供給経路 3 2 は、減圧弁 3 4 と安全器 3 6 との間に並列をなして第 1 燃料分岐経路 6 2 と第 2 燃料分岐経路 6 3 が設けられる。第 1 燃料分岐経路 6 2 と第 2 燃料分岐経路 6 3 は、それぞれ第 1 ソニックノズル 6 4 と第 2 ソニックノズル 6 5、第 1 開閉弁 6 6 と第 2 開閉弁 6 7 が設けられる。制御装置 1 4 は、第 1 開閉弁 6 6 と第 2 開閉弁 6 7 を開閉制御可能である。ソニックノズル装置 7 1 B にて、酸化剤供給経路 4 2 は、減圧弁 4 4 と安全器 4 6 との間に並列をなして第 1 酸化剤分岐経路 7 2 と第 2 燃料分岐経路 7 3 が設けられる。第 1 酸化剤分岐経路 7 2 と第 2 燃料分岐経路 7 3 は、それぞれ第 1 ソニックノズル 7 4 と第 2 ソニックノズル 7 5、第 1 開閉弁 7 6 と第 2

50

開閉弁 77 が設けられる。制御装置 14 は、第 1 開閉弁 76 と第 2 開閉弁 77 を開閉制御可能である。なお、ソニックノズル 64, 65, 74, 75 は、オリフィスであってもよい。

【0047】

制御装置 14 は、第 1 開閉弁 66 と第 2 開閉弁 67 を開閉制御すると共に、第 1 開閉弁 76 と第 2 開閉弁 77 を開閉制御することで、燃焼装置 11 に供給する可燃性ガス M における燃料 F と酸化剤 A との混合比 R を調整することができる。例えば、第 1 開閉弁 66 および第 2 開閉弁 67 と第 1 開閉弁 76 および第 2 開閉弁 77 とを開放すると、可燃性ガス M における燃料 F と酸化剤 A との混合比は、予め設定された所定の混合比 R となる。また、第 1 開閉弁 66 と第 1 開閉弁 76 および第 2 開閉弁 77 とを開放し、第 2 開閉弁 67 を閉止すると、可燃性ガス M における燃料 F と酸化剤 A との混合比は、所定の混合比 R に対して酸化剤 A の過剰となる。一方、第 1 開閉弁 66 および第 2 開閉弁 67 と第 1 開閉弁 76 とを開放し、第 2 開閉弁 77 を閉止すると、可燃性ガス M における燃料 F と酸化剤 A との混合比は、所定の混合比 R に対して燃料 F の過剰となる。

10

【0048】

なお、第 1 開閉弁 66 と第 2 開閉弁 67 との最大弁開度を異なる設定値としたり、第 1 開閉弁 76 と第 2 開閉弁 77 との最大弁開度を異なる設定値としたりしてもよい。また、燃料供給経路 32 と酸化剤供給経路 42 は、2 分岐に限らず、3 分岐以上としてもよい。

【0049】

燃料流量調整装置および酸化剤流量調整装置として、ソニックノズル装置 61B, 71B を適用したことで、可燃性ガス供給装置 12B が燃焼装置 11 に供給する可燃性ガス M の瞬時流量を適切に調整することができる。

20

【0050】

[第 5 実施形態]

< 衝撃波生成装置 >

図 5 は、第 5 実施形態の衝撃波生成装置を表す概略構成図、図 6 は、衝撃波生成装置を表す火炉側からの正面図である。なお、上述した第 1 実施形態と同様の機能を有する部材には、同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0051】

図 5 および図 6 に示すように、衝撃波生成装置 10C は、燃焼装置 11 と、可燃性ガス供給装置 12 と、点火装置 13 と、制御装置 14 と、噴出部 15 とを備える。

30

【0052】

火炉 101 は、火炉壁 102 を有する。火炉 101 は、火炉壁 102 の内壁面 102a により区画される内部空間 103 を有する。火炉 101 は、内部空間 103 に図示しない熱交換器を構成する伝熱管が配置される。火炉 101 の内部空間 103 は、高温の排ガス G1 が所定の方向に流動する。高温の排ガス G1 の流動方向は、内部空間 103 の位置や周囲の形状などにより変動するものであるが、以下では、高温の排ガス G1 が内部空間 103 を上昇する場合について説明する。

【0053】

燃焼装置 11 は、起爆管 22 と、燃焼器 23A とを有する。起爆管 22 は、可燃性ガス M を対象領域である内部空間 103 に供給可能である。起爆管 22 は、例えば、円筒形状をなし、長手方向に対して内径が同じである。但し、起爆管 22 は、円筒形状に限らず、多角形筒形状であってもよい。起爆管 22 は、軸方向の一端部に可燃性ガス供給装置 12 が連結され、他端部に燃焼器 23A が連結される。

40

【0054】

燃焼器 23A は、配管 23Aa と、拡大管 23Ab とを有し、起爆管 22 と火炉 101 の火炉壁 102 (内部空間 103) との間に設けられる。配管 23Aa は、火炉壁 102 側の内径が起爆管 22 の内径より大きい。拡大管 23Ab は、配管 23Aa 側から火炉壁 102 (内部空間 103) 側に向けて連続して一様に拡張する。すなわち、拡大管 23Ab は、軸方向の一端部が配管 23Aa と同径であり、配管 23Aa の基端部が起爆管 22

50

の他端部に連結される。拡大管 23 A b は、軸方向の一端部から他端部に向けて径が徐々に拡大し、火炉壁 102 に連結される。なお、燃焼器 23 A は、内部での可燃性ガス M の爆轟による衝撃波により反動が作用することから、火炉壁 102 に対する燃焼器 23 A の連結部を移動自在としてもよい。

【0055】

噴出部 15 は、燃焼器 23 A における拡大管 23 A b の外周部から中心部側に向けて不燃性ガス N を噴出する。噴出部 15 は、拡大管 23 A b における他端部側、つまり、火炉 101 (内部空間 103) 側に設けられる。

【0056】

拡大管 23 A b は、他端部側の外側に外筒管 81 が配置される。外筒管 81 は、拡大管 23 A b より大径の円筒形状をなし、拡大管 23 A b と同様に、軸方向の一端部から他端部に向けて連続して一様に拡張する。外筒管 81 は、内周面が拡大管 23 A b の外周面と隙間を空けて配置され、外周面が火炉壁 102 の貫通孔 102 b に嵌合して固定される。そのため、拡大管 23 A b は、他端部側が火炉壁 102 の内部に配置され、外筒管 81 は、全てが火炉壁 102 の内部に配置される。なお、外筒管 81 も、拡大管 23 A b と同様に、火炉壁 102 に対して移動自在に連結してもよい。

10

【0057】

外筒管 81 は、外筒部 81 a と、フランジ部 81 b とを有する。外筒部 81 a は、拡大管 23 A b の外周面から隙間を空けて配置される。フランジ部 81 b は、外筒管 81 における軸方向の他端部側に配置され、外周部が外筒部 81 a の他端部に連結され、内周部が拡大管 23 A b の他端部に連結される。そのため、拡大管 23 A b と外筒管 81 との間に円筒形状をなすガス流動部 82 が形成される。

20

【0058】

また、外筒管 81 は、軸方向の一端部側にヘッダ 83 が配置される。ヘッダ 83 は、リング形状をなすと共に、L 字断面形状をなす。ヘッダ 83 は、幅方向の一端部が火炉壁 102 の外壁面 102 c に固定され、他端部が拡大管 23 A b の外周面に固定される。そのため、ヘッダ 83 は、火炉壁 102 と拡大管 23 A b との間にリング形状をなすガス空間部 84 を区画する。ガス空間部 84 は、ガス流動部 82 の一端部側に連通する。なお、ヘッダ 83 も、拡大管 23 A b や外筒管 81 と同様に、火炉壁 102 に対して移動自在に連結してもよい。また、ヘッダ 83 を外筒管 81 に固定してガス空間部 84 を区画してもよい。

30

【0059】

噴出部 15 は、不燃性ガス N を噴出する複数 (本実施形態では、8 個) の噴出孔 15 a を有する。複数の噴出孔 15 a は、燃焼器 23 A における軸方向の他端部側、つまり、火炉 101 の内部空間 103 側に形成される。複数の噴出孔 15 a は、拡大管 23 A b の周方向に沿うスリット形状をなす開口である。但し、噴出孔 15 a の個数は限定されない。また、噴出孔 15 a は、スリット形状に限らず、円形孔であってもよい。

【0060】

噴出部 15 を構成する複数の噴出孔 15 a は、拡大管 23 A b の径方向に対して火炉 101 の内部空間 103 側に傾斜した傾斜方向に向けて不燃性ガス N を噴出する。すなわち、拡大管 23 A b は、一端部が他端部に向けて拡張する。複数の噴出孔 15 a は、拡張する拡大管 23 A b の他端部に対して直交する方向に貫通する孔である。そのため、複数の噴出孔 15 a は、燃焼器 23 A の外周部から内部空間 103 側に向けて不燃性ガス N を噴出する。

40

【0061】

ところで、拡大管 23 A b は、予め設定された所定の拡大率に設定される。例えば、拡大管 23 A b は、一端部側の内径 R1、他端部側の内径 R2 のとき、面積比 $(R2 / 2)^2 / (R1 / 2)^2 = 1.4 \sim 4.0$ に設定することが好ましい。また、拡大管 23 A b は、中心線に対する内面の角度 $\theta = 10 \text{度} \sim 50 \text{度}$ に設定することが好ましい。また、噴出孔 15 a は、拡大管 23 A b の径方向に対する不燃性ガス N の噴出角度 $\alpha = 0 \text{度} \sim$

50

45度に設定することが好ましい。

【0062】

ヘッド83は、ポート85を介してガス供給ライン86の一端部が連結される。ガス供給ライン86は、他端部にガス供給源87が連結されると共に、中途部に開閉弁88が設けられる。ここで、ガス供給源87は、例えば、送風機や圧縮機などであり、不燃性ガスNとしての空気または圧縮空気を供給するものである。但し、ガス供給源87は、この構成に限定されるものではない。例えば、不燃性ガスNを空気ではなく、空気より酸素分率が低い気体や不活性ガス（窒素やアルゴンなど）とし、ガス供給源87は、これらの気体を貯蔵するタンクなどとしてもよい。

【0063】

そのため、制御装置14が開閉弁88を開放すると、ガス供給源87から不燃性ガスNがガス供給ライン86に供給され、ポート85を介してガス空間部84に供給される。ガス空間部84の供給された不燃性ガスNは、ガス流動部82を燃焼器23Aの他端部側に流れ、複数の噴出孔15aから燃焼器23Aの中心部側に噴出される。

【0064】

< 衝撃波生成装置の作用 >

火炉101にて、長期の使用により火炉壁102の内壁面102aや熱交換器の伝熱管（図示略）などにダストが付着すると、ダスト除去装置を作動させる。すなわち、供給装置により可燃性ガスMを起爆管22に供給して充てんし、可燃性ガスMに着火する。すると、可燃性ガスMは、起爆管22の内部で燃焼して火災Cが発生し、爆轟による衝撃波Sを発生させる。発生した衝撃波Sは、起爆管22および燃焼器23Aを通して内部空間103に伝達され、火炉壁102の内壁面102aや伝熱管の外面に作用し、付着したダストが吹き飛ばされて除去される。このとき、起爆管22で発生した爆轟による衝撃波Sは、拡径する拡大管23Abを通して火炉101の内部空間103に伝達されることから、爆風と共に噴出する超音速流れを適切な面積比で膨張させることで、爆風や噴流を効率良く内部空間103に導入することができる。ダスト除去装置により火炉壁102の内壁面102aや伝熱管の外面に付着したダストが除去されると、ダスト除去装置の作動を停止する。

【0065】

上述したダスト除去装置によるダストの除去時、起爆管22や燃焼器23Aの内部に充てんされた可燃性ガスMが自着火する可能性がある。そのため、ダスト除去装置の作動時に、噴出部15を作動させる。すなわち、開閉弁88を開放し、不燃性ガスNをガス供給源87からガス供給ライン86を通してガス空間部84に供給する。すると、ガス空間部84の充てんされた不燃性ガスNは、ガス流動部82を燃焼器23Aの他端部側に流れ、複数の噴出孔15aから拡大管23Abの中心部側に向けて噴出される。

【0066】

このとき、噴出部15は、複数の噴出孔15aから燃焼器23Aの中心部側に向けて不燃性ガスNを噴出することで、拡大管23Abの内部と火炉101の内部空間103との間にエアカーテンを形成する。不燃性ガスNのエアカーテンは、拡大管23Abの内部と内部空間103とを仕切ることから、内部空間103を、例えば、上昇する排ガスEが拡大管23Abを通して燃焼器23Aの内部に浸入することが抑制される。そのため、高温の排ガスEの接触による起爆管22に充てんされた可燃性ガスMの自着火が抑制される。

【0067】

但し、内部空間103を上昇する排ガスEの流速や偏流などにより、排ガスEの一部が不燃性ガスNのエアカーテンをすり抜け、拡大管23Ab内に浸入するおそれがある。このとき、拡大管23Abは、起爆管22側に比べて火炉壁102側の内径（面積）が大きいことから、内部空間103から拡大管23Ab内に浸入した排ガスEは、拡大管23Ab内で、図5にて反時計回り方向に回転する2次流れN1になる。そのため、拡大管23Ab内に侵入した排ガスEは、2次流れN1となって拡大管23Ab内を回転して滞留し、起爆管22側へ流れにくくなり、起爆管22に充てんされた可燃性ガスMの自着火が抑

10

20

30

40

50

制される。

【 0 0 6 8 】

また、拡大管 2 3 A b 内に侵入した排ガス E の一部が起爆管 2 2 に充てんされた可燃性ガス M に接触しても、排ガス E は、拡大管 2 3 A b を流れる間に温度が低下する。すなわち、起爆管 2 2 の可燃性ガス M は、温度が低下した排ガス E が混合されて希釈され、自着火せずに濃度が低下する。そのため、可燃性ガス M と排ガス E が混合した混合ガスが燃焼器 2 3 A を通して内部空間 1 0 3 に戻ったとしても、可燃性ガス M の自着火が抑制される。

【 0 0 6 9 】

< 衝撃波生成装置の制御 >

図 7 は、衝撃波生成装置による衝撃波生成方法を表すフローチャートである。

10

【 0 0 7 0 】

図 5 および図 6 に示すように、ステップ S 1 0 にて、制御装置 1 4 は、パージガス供給弁 5 5 を開放し、燃焼装置 1 1 へパージガス P を供給中である。このとき、燃焼装置 1 1 の内部温度を低下させるため、水を噴霧してもよい。そして、衝撃波を生成するとき、ステップ S 1 1 にて、制御装置 1 4 は、パージガス供給弁 5 5 を閉止し、燃焼装置 1 1 へのパージガス P の供給を停止する。ステップ S 1 2 にて、制御装置 1 4 は、燃料供給弁 3 7 を開放して燃料 F の供給を開始する。ステップ S 1 3 にて、制御装置 1 4 は、酸化剤供給弁 4 7 を開放して酸化剤 A の供給を開始する。すると、燃料 F と酸化剤 A が混合された可燃性ガス M が燃焼装置 1 1 の起爆管 2 2 に供給される。

【 0 0 7 1 】

20

ステップ S 1 4 にて、制御装置 1 4 は、開閉弁 8 8 を開放して不燃性ガス N の供給を開始する。すると、不燃性ガス N は、複数の噴出孔 1 5 a から燃焼器 2 3 A の中心部側に向けて噴出され、燃焼器 2 3 A の内部と火炉 1 0 1 の内部空間 1 0 3 との間にエアカーテンを形成する。不燃性ガス N のエアカーテンは、燃焼器 2 3 A の内部と内部空間 1 0 3 とを仕切り、排ガス E が燃焼器 2 3 A の内部に浸入することを抑制する。

【 0 0 7 2 】

ステップ S 1 5 にて、制御装置 1 4 は、燃料 F および酸化剤 A の供給、つまり、可燃性ガス M の燃焼装置 1 1 への供給開始から、予め設定された所定の充てん時間 T a が経過したか否かを判定する。充てん時間 T a は、燃焼装置 1 1 への可燃性ガス M の充てん量に応じて設定される。ここで、制御装置 1 4 は、充てん時間 T a が経過していないと判定 (N o) すると、このまま待機する。一方、制御装置 1 4 は、充てん時間 T a が経過したと判定 (Y e s) すると、ステップ S 1 6 にて、制御装置 1 4 は、燃料供給弁 3 7 を閉止して燃料 F の供給を停止する。そして、ステップ S 1 7 にて、制御装置 1 4 は、酸化剤供給弁 4 7 を閉止して酸化剤 A の供給を停止する。

30

【 0 0 7 3 】

ステップ S 1 8 にて、制御装置 1 4 は、燃料 F および酸化剤 A の供給停止、つまり、可燃性ガス M の燃焼装置 1 1 への供給停止から、予め設定された所定の点火待ち時間 T b が経過したか否かを判定する。点火待ち時間 T b は、例えば、燃料供給弁 3 7 と酸化剤供給弁 4 7 が完全に閉止するまでの作動時間を考慮して設定される。ここで、制御装置 1 4 は、点火待ち時間 T b が経過していないと判定 (N o) すると、このまま待機する。一方、制御装置 1 4 は、点火待ち時間 T b が経過したと判定 (Y e s) すると、ステップ S 1 9 にて、制御装置 1 4 は、点火装置 1 3 を作動し、起爆管 2 2 に充填された可燃性ガス M に点火する。すると、ステップ 2 0 にて、起爆管 2 2 の第 1 通路 2 4 に滞留する可燃性ガス M に着火され、火炎 C が基端 2 2 a から先端 2 2 b に広がるように燃焼する。そして、起爆管 2 2 の火炎 C が燃焼器 2 3 A に到達すると、火炎 C が基端 2 3 a から第 2 通路 2 5 を通って先端 2 3 b に広がるように燃焼し、爆轟による衝撃波 S が発生する。

40

【 0 0 7 4 】

衝撃波 S が発生すると、火炎 C が消滅したことから、ステップ S 2 1 にて、制御装置 1 4 は、開閉弁 8 8 を閉止して不燃性ガス N の供給を停止し、不燃性ガス N のエアカーテンを解除する。そして、ステップ S 2 2 にて、制御装置 1 4 は、パージガス供給弁 5 5 を開

50

放し、燃焼装置 1 1 へパージガス P を供給する。

【 0 0 7 5 】

< 衝撃波生成装置の作動 >

図 8 は、衝撃波生成装置による衝撃波生成方法を表すタイムチャートである。

【 0 0 7 6 】

時間 t_{11} にて、燃焼装置 1 1 へのパージガス P の供給を停止し、燃焼装置 1 1 への燃料 F の供給を開始すると共に、燃焼装置 1 1 への酸化剤 A の供給を開始する。すると、燃料 F と酸化剤 A が混合された可燃性ガス M が燃焼装置 1 1 の起爆管 2 2 に供給される。また、不燃性ガス N の供給を開始し、燃焼器 2 3 A の内部と火炉 1 0 1 の内部空間 1 0 3 との間にエアカーテンを形成する。この状態で、燃焼装置 1 1 の内部に所定量の可燃性ガス M が充填される。

10

【 0 0 7 7 】

時間 t_{12} にて、可燃性ガス M の供給開始から所定の充てん時間 T_a が経過すると、燃焼装置 1 1 への燃料 F の供給を停止すると共に、燃焼装置 1 1 への酸化剤 A の供給を停止する。そして、時間 t_{13} にて、所定の点火待ち時間 T_b が経過すると、点火装置 1 3 が起爆管 2 2 に充填された可燃性ガス M に点火する。すると、可燃性ガス M が着火され、火炎 C が広がり、爆轟による衝撃波 S が発生する。衝撃波 S が発生すると、時間 t_{14} にて、不燃性ガス N のエアカーテンを解除し、燃焼装置 1 1 へパージガス P を供給する。

【 0 0 7 8 】

[本実施形態の作用効果]

20

第 1 の態様に係る衝撃波生成装置は、基端から先端に向けて燃焼ガスが流れるガス通路 2 1 が設けられて先端に開口部が設けられる燃焼装置 1 1 と、燃料を供給する燃料供給経路 3 2 と、酸化剤を供給する酸化剤供給経路 4 2 と、燃料と酸化剤が混合された可燃性ガス M を燃焼装置 1 1 に供給する可燃性ガス供給経路 5 2 と、燃料供給経路 3 2 を流れる燃料の流量を調整する燃料流量調整装置と、酸化剤供給経路 4 2 を流れる酸化剤の流量を調整する酸化剤流量調整装置と、燃焼装置 1 1 に供給された可燃性ガス M に点火する点火装置 1 3 と、燃焼装置 1 1 に供給される可燃性ガス M の供給状態に応じて燃料流量調整装置および酸化剤流量調整装置を制御する制御装置 1 4 とを備える。

【 0 0 7 9 】

第 1 の態様に係る衝撃波生成装置によれば、燃料流量調整装置および酸化剤流量調整装置により、可燃性ガス供給装置 1 2 が燃焼装置 1 1 に可燃性ガス M を供給するときの瞬時流量を調整することができ、燃焼装置 1 1 への可燃性ガス M の供給時、燃料 F と酸化剤 A の混合比を高精度に一定に維持することができ、安定した強度で爆轟による衝撃波を生成することができる。また、燃料流量調整装置および酸化剤流量調整装置により、可燃性ガス M の瞬時流量を調整することで、衝撃波の用途に応じた量の可燃性ガス M を供給することができ、燃料 F や酸化剤 A の使用量を抑制し、ランニングコストを下げるができる。その結果、燃焼装置 1 1 に供給する可燃性ガス M の供給量制御の高精度化を図ることができる。

30

【 0 0 8 0 】

第 2 の態様に係る衝撃波生成装置は、第 1 の態様に係る衝撃波生成装置であって、さらに、燃料流量調整装置および酸化剤流量調整装置は、マスフローコントローラ 3 5 , 4 5 を有する。これにより、燃焼装置 1 1 への可燃性ガス M の供給中であっても、燃料 F と酸化剤 A の混合比を調整することができ、燃焼装置 1 1 における可燃性ガス M の充てん状態に応じて混合比を適正に調整することができる。

40

【 0 0 8 1 】

第 3 の態様に係る衝撃波生成装置は、第 1 の態様に係る衝撃波生成装置であって、さらに、燃料流量調整装置および酸化剤流量調整装置は、ソニックノズル 6 1 , 7 1 またはオリフィスを有する。これにより、電子的な制御に依存することなく、ロバストに瞬時流量を一定に制御することができる。

【 0 0 8 2 】

50

第4の態様に係る衝撃波生成装置は、第1の態様から第3の態様のいずれか一つに係る衝撃波生成装置であって、さらに、燃料流量調整装置および酸化剤流量調整装置は、燃料供給経路32および酸化剤供給経路42にそれぞれ設けられる並列をなす複数の燃料分岐経路62, 63および複数の酸化剤分岐経路72, 73と、複数の燃料分岐経路62, 63および複数の酸化剤分岐経路72, 73にそれぞれ設けられるソニックノズル64, 65, 74, 75と、複数の燃料分岐経路62, 63および複数の酸化剤分岐経路72, 73にそれぞれ設けられる開閉弁66, 67, 77, 78とを有する。これにより、簡単な構成で、燃烧装置11への可燃性ガスMの供給中であっても、燃料Fと酸化剤Aの混合比を容易に調整することができる。

【0083】

第5の態様に係る衝撃波生成装置は、第1の態様から第4の態様のいずれか一つに係る衝撃波生成装置であって、さらに、制御装置14は、少なくとも燃烧装置11に対する可燃性ガスMの充てん時間の終期に可燃性ガスの混合比が量論混合比に近づくように、燃料流量調整装置および酸化剤流量調整装置を制御する。これにより、点火装置13は、燃烧装置11に充填された可燃性ガスMに点火することで、適切に着火させて燃烧し、火炎Cを生成することができる。

【0084】

第6の態様に係る衝撃波生成装置は、第4の態様または第5の態様に係る衝撃波生成装置であって、さらに、制御装置14は、燃烧装置11に対する可燃性ガスMの充てん時間の初期に可燃性ガスMの混合比が燃料過剰になるように、燃料流量調整装置および酸化剤流量調整装置を制御する。これにより、燃烧装置11の内部に空気が残留していたとしても、供給初期に燃料過剰になる可燃性ガスMの混合比とすることで、最終的に、燃烧装置11の内部の可燃性ガスMの混合比を適切な値に調整することができる。

【0085】

第7の態様に係る衝撃波生成装置は、第1の態様から第6の態様のいずれか一つに係る衝撃波生成装置であって、さらに、燃烧装置11の外周部から中心部側に向けて不燃性ガスNを噴出する噴出部15を有する。これにより、燃烧装置11の内部と内部空間103とが不燃性ガスNのエアカーテンにより仕切られることから、燃烧装置11の内部への排ガスEの浸入を抑制し、排ガスEによる燃烧装置11に充てんされた可燃性ガスMの自着火を抑制することができる。その結果、大型のバルブなどを不要として、部品コストやメンテナンスコストの増加を抑制することができる。また、燃烧装置11と内部空間103とを仕切る不燃性ガスNのエアカーテンは、燃烧装置11に噴出部15を設けるだけでよく、高温環境下に配置されても作動不良が発生するおそれがなく、可燃性ガスMの自着火を適切に抑制することができる。

【0086】

第8の態様に係る衝撃波生成装置は、第7の態様に係る衝撃波生成装置であって、さらに、噴出部15は、燃烧装置11に可燃性ガスMを供給すると同時に不燃性ガスNを噴出し、燃烧装置11に供給された可燃性ガスMに点火した後、不燃性ガスNの噴出を停止する。これにより、不燃性ガスNのエアカーテンを適切なタイミングで形成することができる。

【0087】

なお、上述した実施形態では、衝撃波生成装置を、ごみ焼却炉、石炭ガス化複合発電設備、発電用ボイラなどの火炉の内壁面や伝熱管の外壁面などに付着するダストを除去するダスト除去装置に適用したが、適用先はこれらに限定されるものではない。衝撃波生成装置は、例えば、衝撃波を燃烧装置の開口部から放射してその反力を受けて推力とする推進機関やタービンを回す動力機関、衝撃波を燃烧器の開口部から放射して開口部近くに配置した物体に対して衝撃波の高圧を利用して物理的な作用を及ぼす（構造物の破壊、材料の分離など）装置、燃烧装置の内部に配置した物体に対して衝撃波の高圧を利用して物理的な作用を及ぼす（構造物の破壊、材料の分離など）装置などに適用可能である。

【符号の説明】

10

20

30

40

50

【 0 0 8 8 】

1 0 , 1 0 A , 1 0 B , 1 0 C	衝撃波生成装置	
1 1	燃焼装置	
1 2 , 1 2 A , 1 2 B	可燃性ガス供給装置	
1 3	点火装置	
1 4	制御装置	
1 5	噴出部	
1 5 a	噴出孔	
2 1	ガス通路	
2 2	起爆管	10
2 3 , 2 3 A	燃焼器	
2 4	第1通路	
2 5	第2通路	
2 6	混合促進器	
3 1 , 3 1 A , 3 1 B	燃料供給部	
3 2	燃料供給経路	
3 3	燃料ポンペ	
3 4	減圧弁	
3 5	マスフローコントローラ (燃料流量調整装置)	
3 6	安全器	20
3 7	燃料供給弁	
3 8	逆止弁	
4 1 , 4 1 A , 4 1 B	酸化剤供給部	
4 2	酸化剤供給経路	
4 3	酸化剤ポンペ	
4 4	減圧弁	
4 5	マスフローコントローラ (酸化剤流量調整装置)	
4 6	安全器	
4 7	酸化剤供給弁	
4 8	逆止弁	30
5 1	クロス継手	
5 2	可燃性ガス供給経路	
5 3	パージガス経路	
5 4	送風機	
5 5	パージガス供給弁	
6 1	ソニックノズル (燃料流量調整装置)	
6 1 B	ソニックノズル装置 (燃料流量調整装置)	
6 2	第1燃料分岐経路	
6 3	第2燃料分岐経路	
6 4	第1ソニックノズル	40
6 5	第2ソニックノズル	
6 6	第1開閉弁	
6 7	第2開閉弁	
7 1	ソニックノズル (酸化剤流量調整装置)	
7 1 B	ソニックノズル装置 (酸化剤流量調整装置)	
7 2	第1酸化剤分岐経路	
7 3	第2酸化剤分岐経路	
7 4	第1ソニックノズル	
7 5	第2ソニックノズル	
7 6	第1開閉弁	50

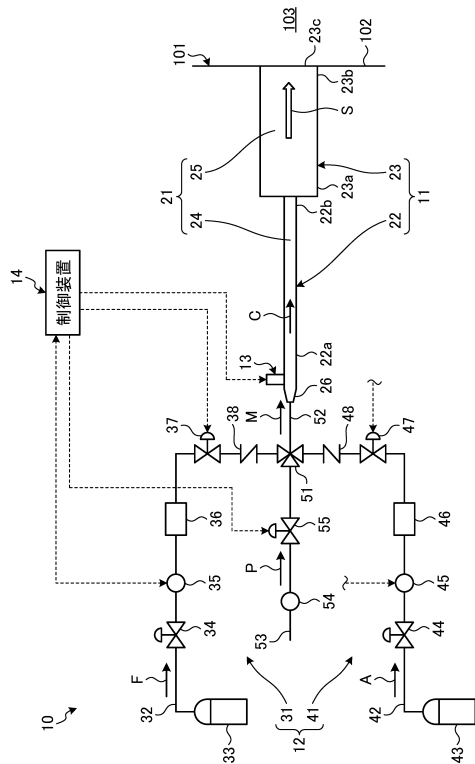
- 7 7 第2開閉弁
- 8 1 外筒管
- 8 2 ガス流動部
- 8 3 ヘッダ
- 8 4 ガス空間部
- 8 5 ポート
- 8 6 ガス供給ライン
- 8 7 ガス供給源
- 8 8 開閉弁
- 1 0 1 火炉
- 1 0 2 火炉壁
- 1 0 3 内部空間（対象領域）
- F 燃料
- A 酸化剤
- M 可燃性ガス
- P パージガス
- C 火炎
- S 衝撃波
- N 不燃性ガス
- E 排ガス
- N 1 2次流れ

10

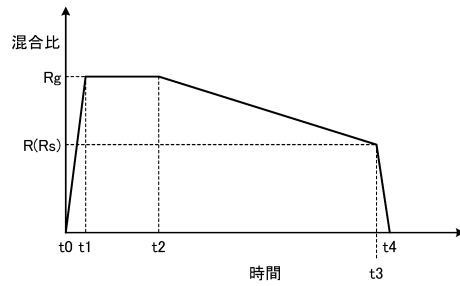
20

【図面】

【図1】



【図2】

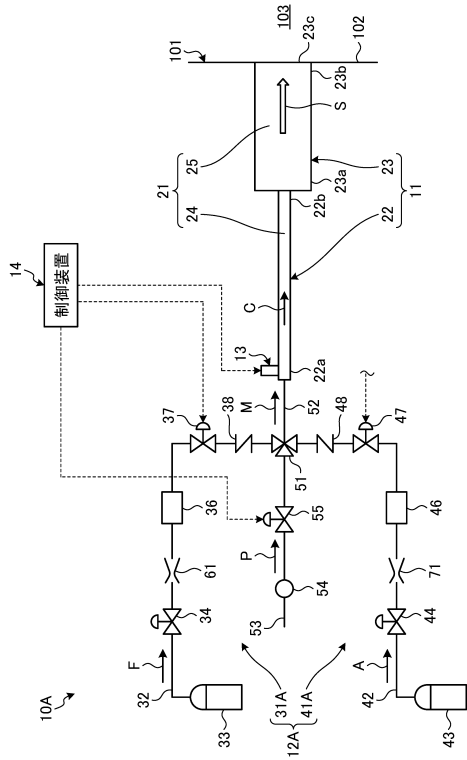


30

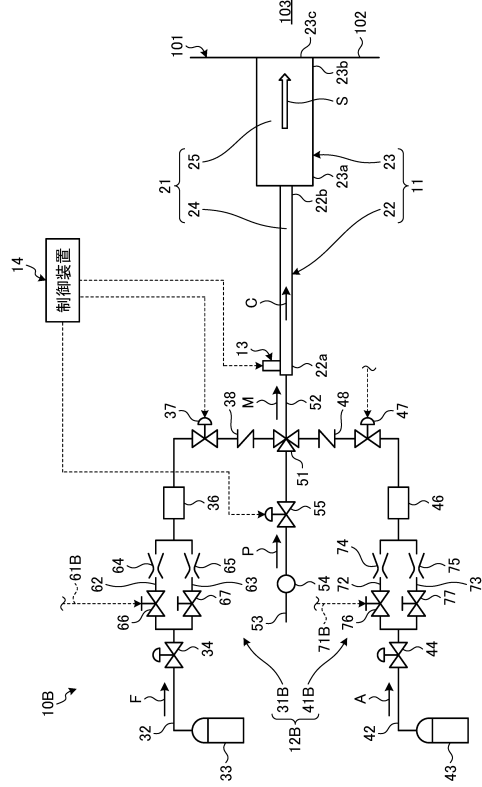
40

50

【図3】



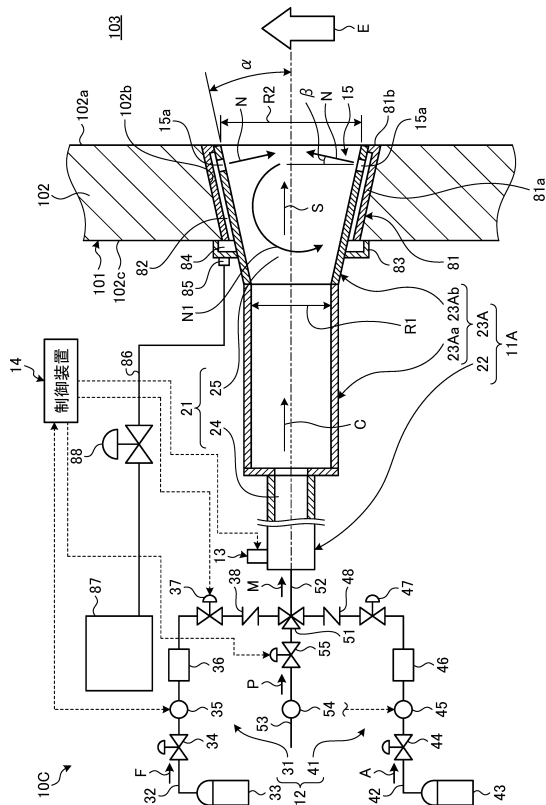
【図4】



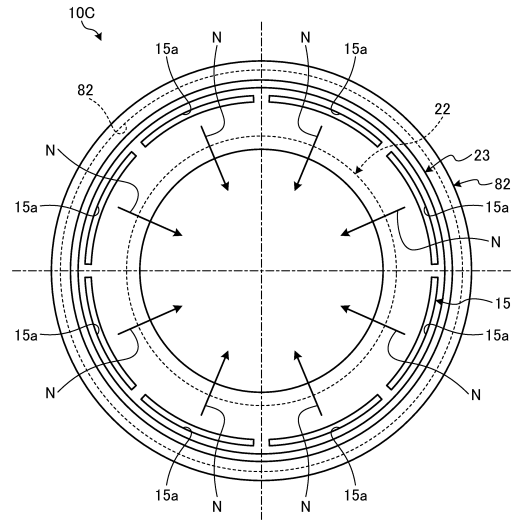
10

20

【図5】



【図6】

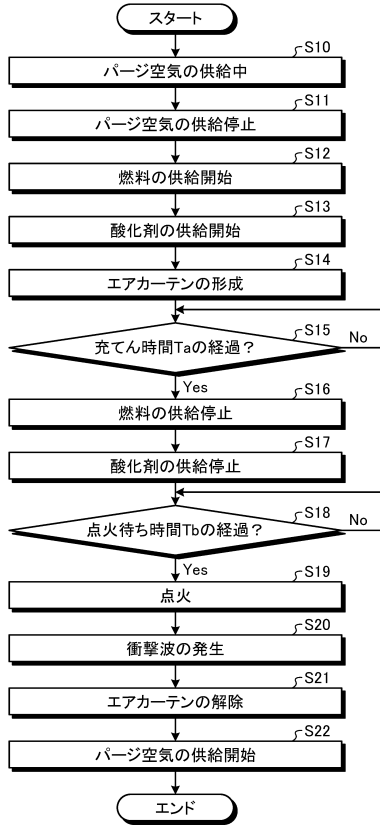


30

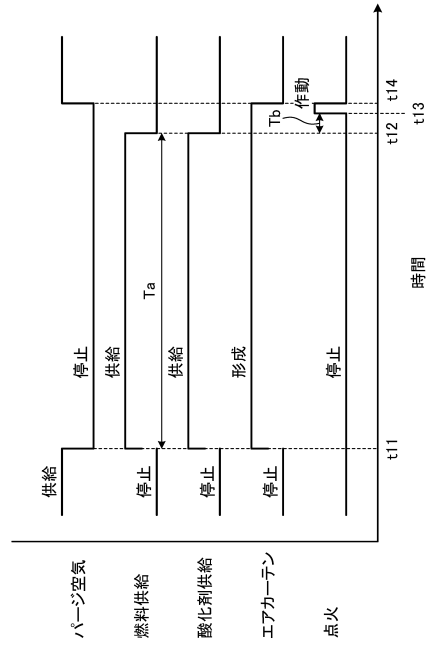
40

50

【 図 7 】



【 図 8 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

		F I		
F 2 3 N	5/20 (2006.01)	F 2 3 L	7/00	Z
F 2 8 G	7/00 (2006.01)	F 2 3 N	1/02	D
		F 2 3 N	1/02	G
		F 2 3 N	1/02	K
		F 2 3 N	5/20	G
		F 2 3 N	5/20	H
		F 2 3 N	5/20	1 0 1 Z
		F 2 8 G	7/00	A

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

(72)発明者 奥田 幸人

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

審査官 豊島 ひろみ

(56)参考文献

特表2016-511688(JP,A)
 中国実用新案第201285052(CN,Y)
 特開2012-241696(JP,A)
 特開2005-172417(JP,A)
 特開2021-113674(JP,A)
 特開2003-320331(JP,A)
 特開2012-225593(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

F 2 3 N 1 / 0 2 - 5 / 2 4
 B 0 8 B 1 / 0 0 - 1 3 / 0 0
 F 2 3 J 3 / 0 0 - 1 1 / 1 2
 F 2 3 K 5 / 0 0
 F 2 3 L 1 / 0 0
 F 2 3 L 7 / 0 0
 F 2 8 G 1 / 0 0 - 1 5 / 1 0