

明 細 書

発明の名称： 衝撃波生成装置

技術分野

[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面などに付着する。火炉の内壁面や伝熱管の外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面に付着したダストを定期的に除去する必要がある。

[0003] 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] 特許文献1：特開昭60-205120号公報

特許文献2：特開2002-106826号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 従来の衝撃波生成装置は、燃料と酸化剤とが混合された混合気に点火し、混合気が燃焼することで爆轟による衝撃波を生成する。このとき、燃焼の形態により爆轟波が生成されず、爆燃波となってしまうことがあり、例えば、ダストを適切に除去することができないおそれがある。また、混合気に着火

する前に、混合気が自着火して逆火が発生することがある。そのため、衝撃波生成装置は、適正に爆轟が発生しているか否かを判定する必要がある。

[0006] 本開示は、上述した課題を解決するものであり、燃料の燃焼状態を判定可能な衝撃波生成装置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

[0007] 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、前記燃焼装置の前記基端から内部に可燃性ガスを供給する可燃性ガス供給装置と、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、前記可燃性ガスの燃焼による火炎の発生時期を検出する火炎発生時期検出センサと、前記火炎発生時期検出センサの検出結果に基づいて前記点火装置による点火前の前記可燃性ガスの自着火を判定する判定装置と、を備える。

発明の効果

[0008] 本開示の衝撃波生成装置によれば、燃料の燃焼状態を判定することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [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、光学センサの取付構造を表す断面図である。
[図3]図3は、光学センサの取付構造の変形例を表す断面図である。
[図4]図4は、爆轟と爆燃と逆火の検出方法を説明するためのタイムチャートである。
[図5]図5は、衝撃波生成装置による燃料の燃焼状態判定方法を表すフローチャートである。
[図6]図6は、第2実施形態の衝撃波生成装置における爆轟の強度を説明するための概略図である。
[図7]図7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8]図8は、爆轟と爆燃と逆火の検出方法を説明するためのタイムチャート

である。

発明を実施するための形態

[0010] 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。

[0011] [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。

[0012] 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表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、火炎発生時期検出センサ14と、制御装置（判定装置）15と、警報装置16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。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。
- [0017] 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。
- [0018] 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 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を供給し、閉止時に燃料Fの供給を停止する。逆止弁38は、上流側への燃料Fや可燃性ガスMの逆流を防止する。

[0019] 酸化剤供給部41は、酸化剤供給経路42と、酸化剤ポンベ43と、減圧弁44と、マスフローコントローラ45と、安全器46と、酸化剤供給弁47と、逆止弁48とを有する。酸化剤供給経路42は、上流端部に酸化剤ポンベ43が連結され、下流側に向けて減圧弁44、マスフローコントローラ45、安全器46、酸化剤供給弁47、逆止弁48が設けられる。酸化剤ポンベ43は、酸化剤Aが貯留される。減圧弁44は、酸化剤ポンベ43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45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46は、逆火を防止する。酸化剤供給弁47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48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。

[0020] 燃料供給経路32と酸化剤供給経路42は、下流端部がクロス継手51を介して可燃性ガス供給経路52の上流端部に連結され、可燃性ガス供給経路52は、下流端部が起爆管22の基端22aに連結される。また、パージガス経路53は、上流端部に送風機54が連結され、下流端部がクロス継手51に連結される。パージガス経路53は、パージガス供給弁55が設けられる。クロス継手51は、燃料供給経路32と酸化剤供給経路42と可燃性ガス供給経路52とパージガス経路53とを連通する。送風機54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52に供給

する。パージガス供給弁 55 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。

[0021] 点火装置 13 は、燃焼装置 11 における起爆管 22 に供給された可燃性ガス M に点火する。点火装置 13 は、起爆管 22 の基端 22a に設けられる。

[0022] 火炎発生時期検出センサ 14 は、可燃性ガス M の燃焼による火炎 C の発生時期を検出する。火炎発生時期検出センサ 14 は、燃焼装置 11 における燃焼器 23 の基端 23a に設けられる。火炎発生時期検出センサ 14 は、燃焼器 23 の基端 23a から開口部 23c を向いて配置されることで、所定角度のセンサ領域 14a を有する。

[0023] 火炎発生時期検出センサ 14 は、燃焼器 23 で発生した火炎 C からの発光を検出する光学センサであることが好ましい。光学センサとしては、紫外光検出センサが好ましい。火炎は、赤外光線（IR）、可視光線、紫外光線（UV）の波長の電磁波を放射する。但し、赤外光線や可視光線は、火炎 C 以外からも放出されることから、紫外光検出センサを用いることで、赤外光線や可視光線を不感とし、紫外光線を検出して純粋に火炎 C だけの信号を検出する。特に、波長の短い紫外光（例えば、大気の吸収により太陽光の成分として地上に届きにくい波長 100 nm～315 nm、特に地上に殆ど届かない 100 nm から 280 nm のソーラーブラインド領域）を選択的に検出することで、誤って太陽外光を検知することを防止する。

[0024] 但し、光学センサとしては、紫外光検出センサに限るものではない。例えば、光学センサとして、フォトダイオードや光電管などを適用してもよい。

[0025] 制御装置 15 は、点火装置 13、火炎発生時期検出センサ 14、マスフローコントローラ 35、燃料供給弁 37、マスフローコントローラ 45、酸化剤供給弁 47、パージガス供給弁 55 が接続される。

[0026] 制御装置 15 は、点火装置 13 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 15 は、火炎発生時期検出センサ 14 の検出結果が入力される。制御装置 15 は、マスフローコントローラ 35 とマスフローコントローラ 45 を調整制御可能である。制御装置 15 は、燃料供給弁 37 と酸化

剤供給弁４７とパージガス供給弁５５を開閉制御可能である。

[0027] また、制御装置１５は、判定装置として機能する。すなわち、制御装置１５は、火炎発生時期検出センサ１４の検出結果に基づいて点火装置１３による点火前の可燃性ガスＭの自着火を判定する。また、制御装置１５は、火炎発生時期検出センサ１４が検出した火炎Ｃの伝播速度に基づいて爆轟と爆燃を判定する。

[0028] そして、制御装置１５は、可燃性ガスＭの自着火を判定すると、可燃性ガス供給装置１２を制御し、燃焼装置１１への可燃性ガスＭの供給を停止する。すなわち、制御装置１５は、燃料供給弁３７および酸化剤供給弁４７を閉止する。また、制御装置１５は、可燃性ガスＭの自着火を判定すると、燃焼装置１１の内部にパージガスＰを供給する。すなわち、制御装置１５は、燃料供給弁３７および酸化剤供給弁４７を閉止した後、パージガス供給弁５５を開放する。

[0029] 制御装置１５は、警報装置１６が接続される。制御装置１５は、警報装置１６を作動制御可能である。制御装置１５は、可燃性ガスＭの自着火や爆燃を判定すると、警報装置１６を作動させる。

[0030] ここで、制御装置１５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。

[0031] ＜光学センサの取付構造＞

図２は、光学センサの取付構造を表す断面図である。

[0032] 図２に示すように、燃焼器２３は、基端２３ａ側の壁部６１に光学窓６２が設けられる。火炎発生時期検出センサ１４としての光学センサは、燃焼器２３における壁部６１の外側で、光学窓６２を覆うように配置される。火炎発生時期検出センサ１４は、光学窓６２を介して所定角度のセンサ領域１４ａが設定される。火炎発生時期検出センサ１４は、光学窓６２を通して火炎Ｃからの発光を検出する。なお、光学窓６２は、透過性を有し、特定の波長

の光（例えば、紫外光）だけを取り出すフィルタリング性能を有していてもよい。また、光学窓62は、内側の面に対してパージガスを噴出する機構を設けることで、視認性の確保や冷却性を確保してもよい。

[0033] なお、光学センサの取付構造は、上述したものに限定されない。図3は、光学センサの取付構造の変形例を表す断面図である。

[0034] 図3に示すように、燃烧器23は、基端23a側の壁部61に光学窓62が設けられる。火災発生時期検出センサ14としての光学センサは、燃烧器23から離間した所定の位置に配置される。火災発生時期検出センサ14と光学窓62との間に光ファイバ63が設けられる。光ファイバ63は、一端部が火災発生時期検出センサ14に接続され、他端部が取付部材64により燃烧器23における壁部61の外側で、光学窓62に面するように取付けられる。火災発生時期検出センサ14は、光ファイバ63および光学窓62を介して所定角度のセンサ領域14aが設定される。火災発生時期検出センサ14は、光ファイバ63により光学窓62を通して火災Cからの発光を検出する。

[0035] <爆轟と爆燃と逆火の検出方法>

図4は、爆轟と爆燃と逆火の検出方法を説明するためのタイムチャートである。

[0036] 図1および図4に示すように、可燃性ガス供給装置12は、燃料供給部31および酸化剤供給部41により燃料と酸化剤が混合された可燃性ガスMを起爆管22に供給して充てんする。そして、時間t2にて、点火装置13が作動し、起爆管22の可燃性ガスMに点火する。すると、可燃性ガスMは、起爆管22の第1通路24を流れる間に着火され、火炎Cが基端22aから先端22bに広がるように燃烧する。そして、起爆管22の火炎Cが燃烧器23に到達すると、火炎Cが基端23aから第2通路25を通過して先端23bに広がるように燃烧し、爆轟による衝撃波Sが生成される。

[0037] 制御装置15は、火災発生時期検出センサ14が検出した火炎Cの発生時期（伝播速度）に基づいて爆轟と爆燃と逆火（自着火）を判定する。火災発

生時期検出センサ 14 は、光学センサであって、火炎 C（例えば、紫外光線）を検出する。火炎発生時期検出センサ 14 は、火炎 C の発生時にパルスが ON となり、火炎 C が消滅時にパルスが OFF となる。そのため、制御装置 15 は、火炎発生時期検出センサ 14 が検出した火炎発生時（パルス ON）から火炎消滅時（パルス OFF）までの火炎 C が発生した時間であるパルス長 τd を算出する。パルス長 τd は、火炎 C の伝播速度に反比例する。制御装置 15 は、火炎 C の発生期間のパルス長 τd （火炎 C の伝播速度）に基づいて燃料（可燃性ガス M）の燃焼状態を判定する。

[0038] 燃料が燃焼するとき、火炎 C の伝播速度に応じて爆燃または爆轟となる。火炎 C の伝播速度が音速以下であるときは爆燃となり、火炎 C の伝播速度が音速を超えると爆轟となって衝撃波 S が生成される。爆轟になると、衝撃波 S が生成される。ここで、爆燃と爆轟との間に、火炎 C の伝播速度に応じたしきい値 τt を設定する。爆燃と爆轟との間の伝播速度に応じたしきい値 τt は、例えば、伝播速度 1000 m/s に応じたパルス長である。つまり、算出したパルス長 τd がしきい値 τt 以下であるときは爆轟であり、パルス長 τd （火炎 C の伝播速度）がしきい値 τt を超えたときは爆燃である。一般的に、爆轟による衝撃波 S の伝播速度（火炎 C の伝播速度）は、1000 m/s 以上となることから、パルス長 τd が短くなる。

[0039] そのため、制御装置 15 は、パルス長 τd がしきい値 τt 以下であるときは爆轟と判定し、パルス長 τd （火炎 C の伝播速度）がしきい値 τt を超えたときは爆燃と判定する。つまり、時間 t_3 でパルスが ON となり、時間 t_4 でパルスが OFF となると、パルス長 τd がしきい値 τt 以下であるため、制御装置 15 は、爆轟と判定する。一方、時間 t_3 でパルスが ON となり、時間 t_6 でパルスが OFF となると、パルス長 τd がしきい値 τt を超えるため、制御装置 15 は、爆燃と判定する。

[0040] また、ボイラの稼働中、火炉 101 の内部空間 103 を上昇する排ガスに熱により燃焼器 23 に充てんされた可燃性ガス M が自着火することがある。制御装置 15 は、火炎発生時期検出センサ 14 が検出した火炎 C の発生時期

に基づいて自着火による逆火を判定する。すなわち、時間 t_2 にて、点火装置 13 が作動し、起爆管 22 の可燃性ガス M に点火されると、その後、可燃性ガス M が着火されて爆轟による衝撃波 S が生成される。しかし、燃焼器 23 に充てんされた可燃性ガス M が自着火すると、火炎発生時期検出センサ 14 は、点火装置 13 が作動する前に火炎 C を検出する。時間 t_2 で点火装置 13 が作動して可燃性ガス M に点火するとき、逆火（自着火）が発生すると、時間 t_2 より時間 T_a だけ前の時間 t_1 にて、パルスが ON となり、時間 t_5 にて、パルスが OFF となる。制御装置 15 は、点火装置 13 が作動する時間 t_2 より前の時間 t_1 にて、パルスが ON になると、逆火と判定する。

[0041] そして、制御装置 15 が爆轟と判定すると、燃焼装置 11 は、正常な燃焼であることから、制御装置 15 は、次の運転タイミングでも同様の制御により、燃焼装置 11 と可燃性ガス供給装置 12 と点火装置 13 を作動する。

[0042] 一方、制御装置 15 が爆燃と判定すると、燃焼装置 11 は、異常な燃焼であることから、制御装置 15 は、次の運転タイミングでは、異なる制御により、燃焼装置 11 と可燃性ガス供給装置 12 と点火装置 13 を作動する。すなわち、制御装置 15 は、例えば、可燃性ガス供給装置 12 により生成される可燃性ガス M における燃料と酸化剤の混合比を調整する。

[0043] また、制御装置 15 が逆火と判定すると、燃焼装置 11 は、異常な燃焼であることから、制御装置 15 は、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 の供給を停止する。そして、パージガス P を燃焼装置 11 へ供給することで、逆火の進行を抑制する。

[0044] <燃料の燃焼状態判定方法>

図 5 は、衝撃波生成装置による燃料の燃焼状態判定方法を表すフローチャートである。

[0045] 図 1 および図 5 に示すように、ステップ S11 にて、制御装置 15 は、パージガス供給弁 55 を閉止し、燃焼装置 11 へのパージガス P の供給を停止する。ステップ S12 にて、制御装置 15 は、燃料供給弁 37 を開放して燃

料Fの供給を開始すると共に、酸化剤供給弁47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11の起爆管22に供給される。

[0046] ステップS13にて、制御装置15は、火炎発生時期検出センサ14が火炎発生に伴って発生するパルス(ON)を検出したか否かを判定する。ここで、制御装置15は、火炎発生時期検出センサ14がパルス(ON)を検出したと判定(Yes)すると、ステップS14にて、制御装置15は、逆火が発生したと判定し、ステップS15にて、燃焼装置11の異常燃焼であると判定する。すなわち、制御装置15は、点火装置13の作動前にもかかわらず、火炎発生時期検出センサ14が燃焼器23で発生した火炎Cを検出したため、逆火が発生した異常燃焼であると判定する。そして、ステップS16にて、警報装置16を作動する。ステップS17にて、燃焼装置11への可燃性ガスMの供給を停止し、ステップS18にて、パージガスPを燃焼装置11へ供給する。

[0047] 一方、ステップS13にて、制御装置15は、火炎発生時期検出センサ14がパルス(ON)を検出していないと判定(No)すると、ステップS19に移行する。ステップS19にて、制御装置15は、可燃性ガスMを起爆管22に供給してから、予め設定された所定の経過時間が経過したか否かを判定する。ここで、経過時間とは、所定量の可燃性ガスMが燃焼装置11における起爆管22および燃焼器23の内部に充填されるまでの時間である。制御装置15は、所定の経過時間が経過していないと判定(NO)すると、ステップS13に戻る。

[0048] 一方、制御装置15は、所定の経過時間が経過したと判定(Yes)すると、ステップS20にて、制御装置15は、燃料供給弁37を閉止して燃料Fの供給を停止すると共に、酸化剤供給弁47を閉止して酸化剤Aの供給を停止する。すると、燃焼装置11の起爆管22への可燃性ガスMの供給が停止される。そして、ステップS21にて、制御装置15は、点火装置13を作動し、起爆管22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は、起爆管22の第1通路24を流れる間に着火され、火炎Cが基端22aから先端22bに広がるように燃焼する。そして、起爆管22の火炎Cが燃焼器23に到達すると、火炎Cが基端23aから第2通路25を通過して先端23bに広がるように燃焼する。

[0049] ステップS22にて、制御装置15は、火炎発生時期検出センサ14が火炎発生に伴って発生するパルス(ON)を検出したか否かを判定する。ここで、制御装置15は、火炎発生時期検出センサ14がパルス(ON)を検出していないと判定(No)すると、ステップS31にて、制御装置15は、点火装置13が作動してから予め設定された所定の待ち時間が経過したか否かを判定する。ここで、制御装置15は、待ち時間が経過していないと判定(No)すると、このままで待機する。しかし、制御装置15は、待ち時間が経過したと判定(Yes)すると、ステップS32にて、制御装置15は、点火装置13による可燃性ガスMへの着火失敗と推定し、ステップS33にて、警報装置16を作動する。

[0050] 一方、制御装置15は、火炎発生時期検出センサ14がパルス(ON)を検出したと判定(Yes)すると、ステップS23にて、制御装置15は、検出したパルス長 τd がしきい値 τt 以下であるか否かを判定する。ここで、制御装置15は、検出したパルス長 τd がしきい値 τt 以下ではないと判定(No)すると、ステップS24にて、制御装置15は、爆燃が発生したと判定し、ステップS25にて、燃焼装置11の異常燃焼であると判定する。そして、ステップS26にて、警報装置16を作動する。ステップS27にて、燃焼装置11へ供給する可燃性ガスMにおける燃料Fと酸化剤Aの混合比を調整する。

[0051] 一方、ステップS23にて、制御装置15は、検出したパルス長 τd がしきい値 τt 以下であると判定(Yes)すると、ステップS28にて、制御装置15は、爆轟が発生したと判定し、ステップS29にて、燃焼装置11の正常燃焼であると判定する。

[0052] [第2実施形態]

図6は、第2実施形態の衝撃波生成装置における爆轟の強度を説明するための概略図である。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、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。

[0053] 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、火炎発生時期検出センサ14と、制御装置（判定装置）15と、警報装置16とを備える。

[0054] 制御装置15は、判定装置として機能し、火炎発生時期検出センサ14の検出結果に基づいて爆轟と爆燃と逆火（自着火）を判定する。そして、制御装置15は、火炎発生時期検出センサ14の検出結果に基づいて爆轟と判定したとき、火炎の伝播速度に基づいて爆轟波の強度を推定する。

[0055] 爆轟の強度は、燃焼器23で発生した火炎Cの発生時間、つまり、火炎発生時期検出センサ14が火炎Cを検出してパルスがONとなってからパルスがOFFとなるまでのパルス長 τd に応じて推定される。すなわち、燃焼器23に供給される可燃性ガスMの充填量に応じて火炎の爆轟の強度が変化する。そのため、爆轟は、パルス長 τd がしきい値 τt 以下で、且つ、パルス長 τd が長いほど強度が高いものと推定できる。

[0056] 図6に示すように、爆轟の判定は、衝撃波S（火炎）のパルス長 τd がしきい値 τt 以下であると規定されたとき、最も強度の高い最大衝撃波は、パルス長 $\tau d = \text{しきい値 } \tau t$ のときである。例えば、パルス長 τd がしきい値 τt の1/2よりも短いパルス長 τd_1 であるとき、第1衝撃波は、強度が低いものとなる。一方、パルス長 τd がしきい値 τt の1/2よりも長いパルス長 τd_2 であるとき、第2衝撃波は、強度が高いものとなる。なお、しきい値 τt は、余裕分を考慮して設定される。

[0057] 図1に示すように、制御装置15は、衝撃波Sのパルス長 τd から推定した爆轟（衝撃波S）の強度に基づいて、可燃性ガス供給装置12の制御を行う。例えば、制御装置15は、爆轟（衝撃波S）の強度に基づいて、燃焼装置11に対する可燃性ガスMの充てん量を増減したり、可燃性ガスMにおけ

る燃料Fと酸化剤Aの混合比を調整したりする。そのため、衝撃波Sの強度を、火炉101の容積に応じた最適な強度に設定することができる。

[0058] [第3実施形態]

図7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。

[0059] 図7に示すように、衝撃波生成装置10Aは、燃烧装置11と、可燃性ガス供給装置12と、点火装置13と、火炎発生時期検出センサ14A、14Bと、制御装置（判定装置）15と、警報装置16とを備える。燃烧装置11と可燃性ガス供給装置12と点火装置13と制御装置15と警報装置16は、第1実施形態とほぼ同様の構成である。

[0060] 第1火炎発生時期検出センサ14Aおよび第2火炎発生時期検出センサ14Bは、可燃性ガスMの燃烧による火炎Cの発生時期を検出する。火炎発生時期検出センサ14Aおよび第2火炎発生時期検出センサ14Bは、燃烧装置11における燃烧器23のガス流れ方向に間隔を空けて複数（本実施形態では、2個）配置される。火炎発生時期検出センサ14Aおよび第2火炎発生時期検出センサ14Bは、燃烧器23の第2通路25における可燃性ガスMまたは火炎C（衝撃波S）の流れ方向に交差する方向を向いて配置される。火炎発生時期検出センサ14Aは、第2通路25の上流側に配置され、第2火炎発生時期検出センサ14Bは、第2通路25の上流側に配置される。第1火炎発生時期検出センサ14Aおよび第2火炎発生時期検出センサ14Bは、燃烧器23の第2通路25におけるガス流れ方向の異なる2か所で火炎を検出する。なお、第1火炎発生時期検出センサ14Aおよび第2火炎発生時期検出センサ14Bは、燃烧器23で発生した火炎Cからの発光を検出する光学センサであり、検出方法は、第1実施形態と同様である。

[0061] 図8は、爆轟と爆燃と逆火の検出方法を説明するためのタイムチャートである。

[0062] 図7および図8に示すように、可燃性ガス供給装置12は、燃料供給部3

1 および酸化剤供給部 4 1 により燃料と酸化剤が混合された可燃性ガス M を起爆管 2 2 に供給して充てんする。そして、時間 t_2 にて、点火装置 1 3 が作動し、起爆管 2 2 の可燃性ガス M に点火する。すると、可燃性ガス M は、起爆管 2 2 の第 1 通路 2 4 を流れる間に着火され、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 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 が生成される。

[0063] 制御装置 1 5 は、第 1 火炎発生時期検出センサ 1 4 A および第 2 火炎発生時期検出センサ 1 4 B が検出した火炎 C の発生時期（伝播速度）に基づいて爆轟と爆燃と逆火（自着火）を判定する。第 1 火炎発生時期検出センサ 1 4 A および第 2 火炎発生時期検出センサ 1 4 B は、光学センサであって、火炎 C（例えば、紫外光線）を検出する。第 1 火炎発生時期検出センサ 1 4 A および第 2 火炎発生時期検出センサ 1 4 B は、火炎 C の発生時にパルスが ON となり、火炎 C が消滅時にパルスが OFF となる。燃料が燃焼するとき、火炎 C の伝播速度に応じて爆燃または爆轟となる。火炎 C の伝播速度が音速以下であるときは爆燃となり、火炎 C の伝播速度が音速を超えると爆轟となって衝撃波 S が生成される。

[0064] 第 1 火炎発生時期検出センサ 1 4 A と第 2 火炎発生時期検出センサ 1 4 B は、第 2 通路 2 5 のガス流れ方向に距離 L だけ離間して配置される。そのため、第 1 火炎発生時期検出センサ 1 4 A により火炎の検出時期（パルス ON）と、第 2 火炎発生時期検出センサ 1 4 B により火炎の検出時期（パルス ON）との間に時間差 Δt が発生する。時間差 Δt は、火炎 C の伝播速度に反比例する。制御装置 1 5 は、衝撃波 S の時間差 Δt （火炎 C の伝播速度）に基づいて燃料（可燃性ガス M）の燃焼状態を判定する。

[0065] ここで、爆燃と爆轟との間に、火炎 C の伝播速度のしきい値 V_t を設定する。爆燃と爆轟との間の伝播速度のしきい値 V_t は、例えば、伝播速度 1000 m/s である。つまり、距離 L と算出した時間差 Δt から求めた伝播速度 $L / \Delta t$ がしきい値 V_t 以上であるときは爆轟であり、伝播速度 $L / \Delta t$

がしきい値 V_t 未満であるときは爆燃である。

[0066] そのため、制御装置 15 は、伝播速度 $L/\Delta t$ がしきい値 V_t 以上であるときは爆轟と判定し、伝播速度 $L/\Delta t$ がしきい値 V_t 未満であるときは爆燃と判定する。つまり、時間 t_3 で第 1 火炎発生時期検出センサ 14 A のパルスが ON となり、時間 t_4 で第 2 火炎発生時期検出センサ 14 B のパルスが ON になると、時間差 Δt_1 が短いものとなり、伝播速度 $L/\Delta t_1$ がしきい値 V_t 以上であるため、制御装置 15 は、爆轟と判定する。一方、時間 t_3 で第 1 火炎発生時期検出センサ 14 A のパルスが ON となり、時間 t_5 で第 2 火炎発生時期検出センサ 14 B のパルスが ON になると、時間差 Δt_2 が長いものとなり、伝播速度 $L/\Delta t_2$ がしきい値 V_t 未満であるため、制御装置 15 は、爆燃と判定する。

[0067] また、ボイラの稼働中、火炉 101 の内部空間 103 を上昇する排ガスに熱により燃焼器 23 に充てんされた可燃性ガス M が自着火することがある。制御装置 15 は、第 1 火炎発生時期検出センサ 14 A または第 2 火炎発生時期検出センサ 14 B が検出した火炎 C の発生時期に基づいて自着火による逆火を判定する。すなわち、時間 t_2 にて、点火装置 13 が作動し、起爆管 22 の可燃性ガス M に点火されると、その後、可燃性ガス M 着火されて爆轟による衝撃波 S が生成される。しかし、燃焼器 23 に充てんされた可燃性ガス M が自着火すると、火炎発生時期検出センサ 14, 14 B は、点火装置 13 が作動する前に火炎 C を検出する。時間 t_2 で点火装置 13 が作動して可燃性ガス M に点火するとき、逆火（自着火）が発生すると、時間 t_2 より時間 T_a だけ前の時間 t_1 にて、パルスが ON となり、時間 t_4 にて、パルスが OFF となる。制御装置 15 は、点火装置 13 が作動する時間 t_2 より前の時間 t_1 にて、パルスが ON になると、逆火と判定する。

[0068] 第 3 実施形態の衝撃波生成装置 10 A による燃料の燃焼状態判定方法は、第 1 実施形態とほぼ同様であることから、説明は省略する。

[0069] なお、第 3 実施形態は、第 1 実施形態に対して火炎発生時期検出センサ 14, 14 B に位置を変更したものである。但し、第 1 実施形態の火炎発生時

期検出センサ 14 に対して、第 3 実施形態の火炎発生時期検出センサ 14, 14 B を追加してもよい。この場合、爆轟をより高精度に判定することができる。

[0070] [本実施形態の作用効果]

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 21 が設けられて先端に開口部が設けられる燃焼装置 11 と、燃焼装置 11 の基端から内部に可燃性ガス M を供給する可燃性ガス供給装置 12 と、燃焼装置 11 に供給された可燃性ガス M に点火する点火装置 13 と、可燃性ガス M の燃焼による火炎 C の発生時期を検出する火炎発生時期検出センサ 14, 14 A, 14 B と、火炎発生時期検出センサ 14, 14 A, 14 B の検出結果に基づいて点火装置 13 による点火前の可燃性ガス M の自着火を判定する制御装置（判定装置） 15 とを備える。

[0071] 第 1 の態様に係る衝撃波生成装置によれば、制御装置 15 は、可燃性ガス M の燃焼による火炎 C の発生時期に基づいて点火装置 13 による点火前の可燃性ガス M の自着火を判定する。その結果、燃料の燃焼状態を判定することができる。

[0072] 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、制御装置 15 は、火炎発生時期検出センサ 14 が検出した火炎 C の伝播速度に基づいて爆轟と爆燃を判定する。これにより、燃料の燃焼状態を詳細に判定することができる。

[0073] 第 3 の態様に係る衝撃波生成装置は、第 2 の態様に係る衝撃波生成装置であって、さらに、制御装置 15 が爆轟と判定したとき、火炎 C の伝播速度に基づいて爆轟波の強度を推定する。これにより、爆轟波の強度を推定することで、衝撃波の適用先に応じて爆轟波の強度を調整することができる。

[0074] 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、火炎発生時期検出センサ 14, 14 A, 14 B は、前記火炎からの発光を検出する光学センサである。これにより、赤外光線、可視光線、紫外光線を検出することで、火炎を容易

に特定することができる。

- [0075] 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、燃烧装置11は、基端22aに可燃性ガス供給装置12が接続される起爆管22と、基端23aが起爆管22の先端22bに連結された燃烧器23とを有し、火災発生時期検出センサ14は、燃烧器23の開口部23cを向いて配置される。これにより、一つの火災発生時期検出センサ14により、燃烧器23で発生する火災を容易に検出することができる。
- [0076] 第6の態様に係る衝撃波生成装置は、第1の態様から第5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は、基端22aに可燃性ガス供給装置12が接続される起爆管22と、基端23aが起爆管22の先端22bに連結された燃烧器23とを有し、火災発生時期検出センサ14A、14Bは、燃烧器23にガス流れ方向に間隔を空けて複数配置される。これにより、燃烧器23で発生する火災を適切に検出することができる。
- [0077] 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、制御装置15が可燃性ガスMの自着火を判定すると、可燃性ガス供給装置12は、可燃性ガスMの供給を停止する。これにより、安全性を向上することができる。
- [0078] 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、制御装置15が可燃性ガスMの自着火を判定すると、燃烧装置11の内部にパージガスPを供給する。これにより、安全性を向上することができる。
- [0079] 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、衝撃波を燃焼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、燃焼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

- [0080] 10, 10A 衝撃波生成装置
- 11 燃焼装置
 - 12 可燃性ガス供給装置
 - 13 点火装置
 - 14 火炎発生時期検出センサ
 - 14A 第1火炎発生時期検出センサ
 - 14B 第2火炎発生時期検出センサ
 - 15 制御装置（判定装置）
 - 21 ガス通路
 - 22 起爆管
 - 23 燃焼器
 - 24 第1通路
 - 25 第2通路
 - 31 燃料供給部
 - 32 燃料供給経路
 - 33 燃料ポンペ
 - 34 減圧弁
 - 35 マスフローコントローラ
 - 36 安全器
 - 37 燃料供給弁
 - 38 逆止弁
 - 41 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
- 4 6 安全器
- 4 7 酸化剤供給弁
- 4 8 逆止弁
- 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 壁部
- 6 2 光学窓
- 6 3 光ファイバ
- 6 4 取付部材
- F 燃料
- A 酸化剤
- M 可燃性ガス
- C 火炎
- S 衝撃波

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、
前記燃焼装置の前記基端から内部に可燃性ガスを供給する可燃性ガス供給装置と、
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、
前記可燃性ガスの燃焼による火炎の発生時期を検出する火炎発生時期検出センサと、
前記火炎発生時期検出センサの検出結果に基づいて前記点火装置による点火前の前記可燃性ガスの自着火を判定する判定装置と、
を備える衝撃波生成装置。
- [請求項2] 前記判定装置は、前記火炎発生時期検出センサが検出した火炎の伝播速度に基づいて爆轟と爆燃を判定する、
請求項1に記載の衝撃波生成装置。
- [請求項3] 前記判定装置が爆轟と判定したとき、火炎の伝播速度に基づいて爆轟波の強度を推定する、
請求項2に記載の衝撃波生成装置。
- [請求項4] 前記火炎発生時期検出センサは、前記火炎からの発光を検出する光学センサである、
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。
- [請求項5] 前記燃焼装置は、基端に可燃性ガス供給装置が接続される起爆管と、
基端が前記起爆管の先端に連結された燃焼器とを有し、前記火炎発生時期検出センサは、前記燃焼器の前記開口部を向いて配置される、
請求項1に記載の衝撃波生成装置。
- [請求項6] 前記燃焼装置は、基端に可燃性ガス供給装置が接続される起爆管と、
基端が前記起爆管の先端に連結された燃焼器とを有し、前記火炎発生時期検出センサは、前記燃焼器にガス流れ方向に間隔を空けて複数配置される、

請求項 1 に記載の衝撃波生成装置。

[請求項7] 前記判定装置が前記可燃性ガスの自着火を判定すると、前記可燃性ガス供給装置は、前記可燃性ガスの供給を停止する、

請求項 1 に記載の衝撃波生成装置。

[請求項8] 前記判定装置が前記可燃性ガスの自着火を判定すると、前記燃焼装置の内部にパージガスを供給する、

請求項 7 に記載の衝撃波生成装置。