

明 細 書

発明の名称： 燃焼装置、燃焼方法、燃焼プログラム

技術分野

[0001] 本発明は燃焼装置等に関する。

背景技術

[0002] 燃料の燃焼によって発生した熱で水から蒸気を発生させるボイラとして、燃焼室内で流動する珪砂等の流動材によって形成される流動層または流動床を媒介として燃料を燃焼させる気泡型流動床（BFB: Bubbling Fluidized Bed）ボイラや循環流動層（CFB: Circulating Fluidized Bed）ボイラが知られている。特許文献１にはＣＦＢボイラが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献１：特開２０１２－２５５６１２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献１にも開示されているように、ＣＦＢボイラにおけるアグロメレーション（agglomeration）を抑制するために、炭酸カルシウムやドロマイト等の添加剤を燃焼室内に供給することが行われていた。しかし、ＣＦＢボイラにおいてアグロメレーションが発生するメカニズムや条件は十分に解明されておらず、添加剤の供給タイミング、供給量、供給態様等を適切に決めることが難しかった。

[0005] 本発明はこうした状況に鑑みてなされたものであり、アグロメレーションの発生を効果的に抑制できる燃焼装置等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

[0006] 上記課題を解決するために、本発明のある態様の燃焼装置は、シリカを含む流動材が流動する燃焼室内に燃料を供給して燃焼させる燃焼装置であって、燃焼室内におけるアルカリ金属に対するアルカリ土類金属および／または

土類金属の比が所定の下限を上回るように、アルカリ土類金属および／または土類金属を供給する土類金属供給部と、土類金属供給部によって供給されるアルカリ土類金属および／または土類金属が加えられた流動材を燃焼室内に供給する流動材供給部と、を備える。

[0007] 後述するように、実際のC F Bボイラにおける試験の結果、アグロメレーションの発生には、燃焼室内におけるアルカリ金属（ナトリウム、カリウム等）に対するアルカリ土類金属（マグネシウム、カルシウム等）および／または土類金属（アルミニウム等）の比（以下では金属比とも表される）が関与している可能性があるという知見が得られた。そこで本態様では、燃焼室内における金属比が所定の下限を上回るようにアルカリ土類金属および／または土類金属を供給することによって、アグロメレーションの発生を効果的に抑制する。

[0008] 本発明の別の態様は、燃焼方法である。この方法は、シリカを含む流動材が流動する燃焼室内に燃料を供給して燃焼させる燃焼装置において、燃焼室内におけるアルカリ金属に対するアルカリ土類金属および／または土類金属の比が所定の下限を上回るように、アルカリ土類金属および／または土類金属を供給する土類金属供給ステップと、土類金属供給ステップによって供給されるアルカリ土類金属および／または土類金属が加えられた流動材を燃焼室内に供給する流動材供給ステップと、を実行する。

[0009] なお、以上の構成要素の任意の組合せや、これらの表現を方法、装置、システム、記録媒体、コンピュータプログラム等に変換したのも、本発明に包含される。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、アグロメレーションの発生を効果的に抑制できる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]C F Bボイラを模式的に示す。

[図2]流動材に由来するシリカ、高アルカリ燃料に由来するアルカリ金属酸化物 (K_2O)、アルカリ土類金属酸化物 (CaO) の三種類の成分からなる共晶系の

状態図である。

[図3]金属比の下限を設定するために実際のＣＦＢボイラにおいて行われた試験の結果を示す。

発明を実施するための形態

- [0012] 以下では、図面を参照しながら、本発明を実施するための形態（以下では実施形態とも表される）について詳細に説明する。説明および／または図面においては、同一または同等の構成要素、部材、処理等に同一の符号を付して重複する説明を省略する。図示される各部の縮尺や形状は、説明の簡易化のために便宜的に設定されており、特に言及がない限り限定的に解釈されるものではない。実施形態は例示であり、本発明の範囲を何ら限定するものではない。実施形態に記載される全ての特徴やそれらの組合せは、必ずしも本発明の本質的なものであるとは限らない。
- [0013] 図１は、本実施形態に係る燃焼装置としてのＣＦＢ（Circulating Fluidized Bed：循環流動層）ボイラを模式的に示す。なお、ＣＦＢボイラの代わりにＢＦＢ（Bubbling Fluidized Bed：気泡型流動床）ボイラやロータリーキルン等の他の任意の燃焼装置が利用されてもよい。
- [0014] ＣＦＢボイラは、珪砂等の流動材が流動する火炉１１内にバイオマス燃料、石炭等の化石燃料等の燃料を供給して燃焼させる燃焼部１と、燃焼部１で発生した熱によって水から蒸気を発生させる蒸気発生部２と、火炉１１外に出た流動材を捕集して火炉１１内に戻す循環部としての流動材循環部３と、蒸気発生部２に供給される水や蒸気発生部２で発生する蒸気を燃焼部１の高温の排気によって加熱する伝熱部４と、伝熱部４からの排気中の煤や粉塵を分離して捕集する排気処理装置５と、排気処理装置５によって清浄化された排気を大気に放出する煙突６を備える。また、ＣＦＢボイラは、火炉１１内におけるアグロメレーションを抑制するアグロメレーション抑制装置８を備える。
- [0015] 燃焼部１は燃焼室としての火炉１１を備える。火炉１１は鉛直方向に長尺の筒状であり、バイオマス燃料、石炭等の固形燃料や流動材の密度を高めて

効率的な燃焼を可能とするため底部が先細り形状となっている。なお、火炉 11 の底部は先細り形状でなくてもよく、頂部から底部まで略一定の断面形状の筒状に火炉 11 を形成してもよい。火炉 11 の底部の「A」で示される領域は、高密度の流動材によって形成される流動層（流動床や砂層とも呼ばれる）を示す。流動層 A では、珪砂等の粉末状、粒子状、塊状の流動材が、火炉 11 の底部から供給される流動流体によって流動している。流動層 A に投入されたバイオマス燃料、石炭等の固形燃料は、流動層 A 内で攪拌されるように高温の流動材と繰り返し接触することで効率的に燃焼される。

[0016] なお、燃焼に伴って生じる上昇気流によって流動材は火炉 11 内を上昇するため、流動層 A より上方の空間であるフリーボード B にも流動材は存在する。フリーボード B における流動材の密度は、流動層 A における流動材の密度よりも低く、火炉 11 の上方に行くほど低くなる。フリーボード B では、流動層 A で完全燃焼されなかった燃料が浮遊する流動材と接触しながら燃焼される。なお、流動材としては珪砂を例示したが、高温の火炉 11 内でも燃焼されずに固体状態を維持して流動しながら燃料に熱を伝える媒介として機能するものであればよく、例えば、その他の砂、石灰石等の石、灰でもよい。

[0017] 火炉 11 の底部には、空気等の流動流体を透過させる多孔質材料で構成された流体透過部としての多孔板（分散板とも呼ばれる）121 が設けられる。多孔板 121 の直下の空間である風箱 122 は、送風機としての第 1 ブロワ 71 から第 1 流量制御バルブ 71 A を介して供給される流動流体としての加圧空気等を、多孔板 121 を介して火炉 11 内に供給する流動流体供給部を構成する。風箱 122 によって火炉 11 の底部に供給された流動流体は、流動材を流動させて流動層 A を形成すると共に、流動層 A またはフリーボード B における燃料の燃焼に使われる。なお、図 1 では多孔板 121 を例として流体透過部を説明したが、流体透過部は流動層 A において流動材を流動させられるものであればよく、例えば火炉 11 内に流動流体を供給するスリットが形成された多数の板から形成されてもよい。

- [0018] 第１ブロワ７１に加えて設けられる第２ブロワ７２は、フリーボードＢにおける燃料の燃焼を促進して不完全燃焼によるダイオキシンや一酸化炭素等の有害物質の発生を抑制するために、加圧空気等を第２流量制御バルブ７２Ａを介してフリーボードＢ内に供給する。
- [0019] 流動層Ａにおける流動材を循環させるために、火炉１１外の循環経路を有する外部循環機構１３が設けられる。外部循環機構１３は、火炉１１の底部に連通して流動層Ａにおける流動材の一部を抜き出し可能な拔出管１３１と、拔出管１３１を開閉制御して流動材の流量すなわち拔出管１３１による流動材の抜き出し量を調節可能な開閉弁１３２と、拔出管１３１で抜き出された流動材を上方に搬送するバケットコンベア等の流動材コンベア１３３と、流動層Ａの上部に対応する火炉１１の外周に設けられて流動材コンベア１３３によって搬送された流動材を受け入れる流動材サイロ１３４と、流動材サイロ１３４に貯蔵された流動材を火炉１１内に再投入する流動材再投入部１３５を備える。
- [0020] 拔出管１３１、開閉弁１３２、流動材コンベア１３３、流動材サイロ１３４、流動材再投入部１３５は、火炉１１の底面と側面の間を火炉１１外で連結する流動材の循環経路を構成する。すなわち、火炉１１の底面から拔出管１３１によって抜き出された流動材は、開閉弁１３２、流動材コンベア１３３、流動材サイロ１３４を経由して、流動材再投入部１３５によって火炉１１の側面から流動層Ａ内に再投入される。なお、外部循環機構１３を通る流動材には、火炉１１で燃焼されたバイオマス燃料等の燃焼灰が混入しうる。そこで、粒径の違い等に基づいて外部循環機構１３を通る流動材から燃焼灰を分離する燃焼灰分離部が設けられてもよい。当該燃焼灰分離部によって分離された燃焼灰は、後述する燃焼灰測定部８１に提供されてもよい。
- [0021] 火炉１１の側壁である炉壁には、燃料を火炉１１内に供給する燃料供給部１４と、流動層Ａを形成するための流動材を火炉１１内に供給する流動材供給部１５と、ＣＦＢボイラを起動する起動部１６が設けられる。燃料供給部１４は、燃料を貯留する漏斗状のホッパ１４１と、ホッパ１４１の底部から

排出された燃料を粒状に粉砕する粉砕部 1 4 2 と、粉砕部 1 4 2 で粉砕された燃料を火炉 1 1 内に供給するフィーダ 1 4 3 を備える。以降、燃料供給部 1 4 は固形燃料を供給するものとして説明するが、液体または気体のバイオマス燃料、油、アンモニア、水素等の流体燃料を固形燃料に加えてまたは代えて供給するものでもよい。

[0022] 燃料供給部 1 4 は、石炭等の化石燃料、バイオマス燃料、スラッジ、廃材等の任意の燃料を火炉 1 1 内に供給する。これらの燃料の火炉 1 1 での燃焼の結果、主に燃料由来の各種の成分を含有する燃焼灰が生成する。特に、バイオマス燃料には、ナトリウムやカリウム等のアルカリ金属を多く含むものもあり、燃焼によってアルカリ金属を多く含有する高アルカリの燃焼灰が生成する。なお、バイオマス燃料は正味の二酸化炭素排出量が少ないまたは零のカーボンニュートラルな燃料である。火炉 1 1 での二酸化炭素の発生量を低減するために、燃料供給部 1 4 は炭素を含有しない炭素非含有燃料をバイオマス燃料等の炭素含有燃料に加えて火炉 1 1 内に供給してもよい。

[0023] 燃料供給部 1 4 における粉砕部 1 4 2 は、火炉 1 1 に供給される前の燃料を粒状に粉砕する。C F B ボイラまたはホッパ 1 4 1 までの運搬に適した燃料の大きさと、火炉 1 1 内での燃焼に適した燃料の大きさは異なる場合があり、粉砕部 1 4 2 で後者に適した粒径の粒子に燃料を粉砕する。なお、燃料毎に適した粒径が異なる場合は、燃料毎に粉砕部 1 4 2 を設けてもよいし、一つの粉砕部 1 4 2 で各燃料を順番に粉砕する際の粒径を燃料毎に変化させてもよい。ホッパ 1 4 1 に貯留された粒径の燃料をそのまま火炉 1 1 に供給して問題ない場合は粉砕部 1 4 2 を設けなくてもよい。ここで、「粒子」「粒状」「粒径」との用語は、特定の大きさや寸法を指すものではなく、火炉 1 1 内に供給された燃料が所期の作用を奏する限り大きさや寸法を問わない。例えば、比較的大きな粒子に用いられる「塊」「塊状」「塊径」の用語や、比較的小さな粒子に用いられる「粉」「粉状」「粉径」の用語は、本実施形態における「粒子」「粒状」「粒径」に包含される。粉砕部 1 4 2 で粉砕された粒状の燃料は、回転数を制御可能なフィーダ 1 4 3 によって必要量が

火炉 11 内に投入される。

[0024] 流動層 A を形成するための流動材を供給する流動材供給部 15 は、流動材を貯留する漏斗状の流動材ホッパ 151 と、流動材ホッパ 151 の底部から排出される流動材を火炉 11 内に供給する流動材フィーダ 152 を備える。流動材フィーダ 152 の回転数を制御することで、必要量の流動材が火炉 11 内に投入される。

[0025] CFB ボイラを起動する起動部 16 は、起動燃料貯留部 161 と、起動燃料制御バルブ 162 と、起動バーナ 163 を備える。起動燃料貯留部 161 は、炭素含有燃料としての重油を貯留する。起動燃料制御バルブ 162 は、起動燃料貯留部 161 から起動バーナ 163 への重油の供給量を制御する。具体的には、起動燃料制御バルブ 162 は CFB ボイラの起動時に開状態となり、起動燃料貯留部 161 に貯留された重油を起動バーナ 163 に供給する。起動バーナ 163 は、起動燃料制御バルブ 162 から供給された重油の燃焼による炎で流動層 A における流動材を加熱する。起動バーナ 163 は下方に傾斜して設けられるため、流動材によって形成される流動層 A の表面が直接加熱され、流動層 A および火炉 11 内が効率的に昇温する。このように起動バーナ 163 は砂状の流動層 A を上方から加熱するため砂上バーナとも呼ばれる。

[0026] 流動層 A および火炉 11 内が十分に昇温した CFB ボイラの起動後、具体的には流動層 A において燃料供給部 14 から供給された燃料の燃焼が可能となった後、起動燃料制御バルブ 162 は閉状態となって起動バーナ 163 への重油の供給を停止する。以降の通常運転状態では、燃料供給部 14 から供給される燃料が高温の火炉 11 内で燃焼される。

[0027] 以上、CFB ボイラの燃焼部 1 について詳細に説明した。続いて、CFB ボイラの燃焼部 1 以外の構成を説明する。蒸気発生部 2 は、蒸気を発生させる水を貯留するドラム 21 と、ドラム 21 に水を供給する給水管 22 と、ドラム 21 内の水を高温の火炉 11 内に導いて加熱する水管 23 と、水管 23 で加熱された水から発生した蒸気を CFB ボイラの出力としてドラム 21 か

ら排出する蒸気管 24 を備える。蒸気管 24 から出力された蒸気によって発電機 25 の蒸気タービンが回転することで発電する。給水管 22 は燃焼部 1 の高温の排気を通る伝熱部 4 内を蛇行することで給水を予熱する節炭器を構成し、蒸気管 24 は燃焼部 1 の高温の排気を通る伝熱部 4 内を蛇行することで蒸気を過熱する過熱器を構成する。同様に、第 1 ブロワ 71 および第 2 ブロワ 72 が火炉 11 内に供給する加圧空気等も伝熱部 4 内の高温の排気によって予熱される。

[0028] 流動材循環部 3 は、火炉 11 の上部から排出された排気から粒状の流動材を分離して捕集するサイクロン 31 と、サイクロン 31 で捕集された流動材を火炉 11 内に戻す循環シール 32（ウォールシールやシールポットとも呼ばれる）を備える。サイクロン 31 は、上部が略円筒状および下部が略円錐状に形成されたサイクロン式粉体分離器であり、内壁に沿って螺旋状に降下する気流を発生させる。火炉 11 からの排気に含まれる粒状の流動材は、気流に沿って螺旋状に降下する際にサイクロン 31 の内壁に接触して落下することで捕集される。

[0029] サイクロン 31 の下方に設けられる循環シール 32 は流動材で充填されており、火炉 11 からサイクロン 31 への未燃ガス等の逆流を防止する。循環シール 32 に充填された粒状の流動材は、サイクロン 31 が新たに捕集する流動材の重みによって押し出される形で、徐々に火炉 11 内に戻される。なお、循環シール 32 を通る流動材には、火炉 11 で燃焼されたバイオマス燃料等の燃焼灰が混入しうる。そこで、粒径の違い等に基づいて循環シール 32 を通る流動材から燃焼灰を分離する燃焼灰分離部が設けられてもよい。当該燃焼灰分離部によって分離された燃焼灰は、後述する燃焼灰測定部 81 に提供されてもよい。

[0030] 排気処理装置 5 は、伝熱部 4 からの排気中の燃焼灰等を分離して捕集して回収する。排気処理装置 5 によって分離回収された燃焼灰は、後述する燃焼灰測定部 81 に提供されてもよい。

[0031] アグロメレーション抑制装置 8 は、以上のような CFB ボイラの火炉 11

内におけるアグロメレーションの発生を予測および／または抑制する装置である。アグロメレーション抑制装置 8 は、燃焼灰測定部 8 1 と、燃料成分情報取得部 8 2 と、金属比推定部 8 3 と、不足検知部 8 4 と、土類金属供給部 8 5 を備える。

[0032] 凝塊とも表されるアグロメレーションは、粒子が集合して塊状になることである。本実施形態のように、珪砂等の流動材が流動する火炉 1 1 内にバイオマス燃料等の燃料を供給して燃焼させる C F B ボイラでは、流動材に含まれるシリカ等の成分や燃料に含まれる各種の成分が、アグロメレーションの発生に関与する。

[0033] 実際の C F B ボイラにおける試験の結果、ナトリウムやカリウム等のアルカリ金属を多く含むバイオマス燃料等の高アルカリ燃料を火炉 1 1 内で燃焼させた場合に、高頻度でアグロメレーションの発生が確認された。そして、独自の検討および／または分析の結果、流動材に由来するシリカと、高アルカリ燃料に由来するアルカリ金属酸化物等が結合することで、低融点化合物を生成していることが確認された。この低融点化合物は高温の火炉 1 1 内で容易に液化し、砂状の流動材（珪砂等）や固形の燃焼灰が大量に吸着することで、アグロメレーションが引き起こされる。

[0034] このようなバイオマス燃料等の高アルカリ燃料が主因と考えられるアグロメレーションを予測および／または抑制するために、本実施形態では、マグネシウム、カルシウム等のアルカリ土類金属および／またはアルミニウム等の土類金属に着目した。具体的には、珪砂等の流動材に由来するシリカ、バイオマス燃料等の高アルカリ燃料に由来するアルカリ金属酸化物、アルカリ土類金属酸化物および／または土類金属酸化物の三種類の成分からなる共晶系に着目した。

[0035] 図 2 は、珪砂等の流動材に由来するシリカ (SiO_2)、バイオマス燃料等の高アルカリ燃料に由来するアルカリ金属酸化物としての酸化カリウム (K_2O)、アルカリ土類金属酸化物としての酸化カルシウム (CaO) の三種類の成分からなる共晶系の状態図または相図 (phase diagram) である。この状態図は、共

晶系における SiO_2 、 K_2O 、 CaO の成分比（モル比）を変化させた場合に実現される状態（相）を模式的に表す。図2の例は、火炉11内で典型的に実現される温度である 1000°C の場合に対応する。

[0036] この状態図において、例えば、 CaO が全く存在しない場合には、三角形の底辺の略全体に亘る領域に「Liquid」と示されているように、 SiO_2 および K_2O が略完全に液化してアグロメレーションを引き起こす。この状態から CaO を増やすと、三角形の上方の固相領域（ハッチングが付されている領域）に共晶系が遷移する。換言すれば、 CaO を増やすことで、共晶系の融点上がる。

[0037] 典型的なCFBボイラでは、珪砂等の流動材に含まれるシリカ（ SiO_2 ）の量は略一定であると考えられる。そこで、本実施形態では、共晶系における他の二成分、すなわち、 K_2O におけるカリウム（K）や Na_2O におけるナトリウム（Na）等のアルカリ金属と、 CaO におけるカルシウム（Ca）や MgO におけるマグネシウム（Mg）等のアルカリ土類金属および／または Al_2O_3 におけるアルミニウム（Al）等の土類金属に着目した。具体的には、アルカリ金属に対するアルカリ土類金属および／または土類金属の金属比、例えば、 K_2O におけるカリウム（K）に対する CaO におけるカルシウム（Ca）のモル比「Ca/K」に着目した。但し、本発明では、このような金属比に加えて、共晶系の残りの一成分であるシリカまたはケイ素（Si）の成分量や成分比が、図2のような状態図に関して考慮されてもよい。

[0038] 金属比「Ca/K」が下がると共晶系の融点下がり、図2の状態図における下方の液相領域に入ってアグロメレーションが引き起こされやすくなる。金属比「Ca/K」が上がると共晶系の融点上がり、図2の状態図における上方の固相領域に入ってアグロメレーションが引き起こされにくくなる。

[0039] 以上のような考察および／または仮説に基づいて、図1におけるアグロメレーション抑制装置8は、火炉11内におけるアルカリ金属（Na, K等）に対するアルカリ土類金属（Mg, Ca等）および／または土類金属（Al等）の金属比（ $[\text{Mg}, \text{Ca}, \text{Al}]/[\text{Na}, \text{K}]$ 等）を推定する金属比推定部83を備える。

[0040] 金属比推定部83は、火炉11内で「Ca/K」等の金属比を直接的に測定す

るものでもよいが、高温の火炉 11 内での測定は現実的には困難である。そこで、金属比推定部 83 は、燃焼灰測定部 81 および／または燃料成分情報取得部 82 の測定結果に基づいて、「Ca/K」等の金属比を推定する。

[0041] 燃焼灰測定部 81 は、火炉 11 内の燃焼によって生成する燃焼灰を連続的または間欠的（例えば、1日または1時間に数回）に測定する。燃焼灰測定部 81 による測定対象の燃焼灰は、C F B ボイラの各部から取得できる。具体的には、火炉 11 の底面から抜き出されて外部循環機構 13 を通る流動材から分離される燃焼灰（いわゆる、ボトムアッシュ）、火炉 11 から出た流動材を当該火炉 11 に戻す流動材循環部 3 における循環シール 32 を充填する流動材から分離される燃焼灰、排気処理装置 5 によって分離回収される燃焼灰の少なくともいずれかが燃焼灰測定部 81 によって測定される。燃焼灰測定部 81 の測定の目的は、火炉 11 内でアグロメレーションを引き起こしうる（高アルカリの）燃焼灰の組成を測定することである。このため、火炉 11 内の燃焼灰と近い組成の燃焼灰が、燃焼灰測定部 81 によって測定されるのが好ましい。

[0042] この観点で好ましい燃焼灰は、いずれも火炉 11 内に循環される、外部循環機構 13 におけるボトムアッシュと、循環シール 32 における燃焼灰である。但し、ボトムアッシュは火炉 11 内の燃焼灰と略同質と見なせる平衡状態に達するまでに要する時間が長いため、迅速に火炉 11 内の燃焼灰における「Ca/K」等の金属比を推定する目的では、循環シール 32 における燃焼灰が最適である。また、アグロメレーションは燃焼灰および／または流動材の流速が小さい箇所で起こりやすいところ、循環シール 32 において実質的に滞留している燃焼灰および／または流動材を燃焼灰測定部 81 が測定することで、それらの成分だけでなく、実際のアグロメレーションの発生状況や兆候も検知できる。

[0043] 燃料成分情報取得部 82 は、金属比推定部 83 による「Ca/K」等の金属比の推定に資する情報として、燃料供給部 14 によって火炉 11 内に供給されるバイオマス燃料等の燃料の成分情報を取得する。燃料成分情報取得部 82

は、例えば、ホッパ 1 4 1 における燃料の成分を直接的に測定するものでもよいし、燃料の供給者から提供された成分情報を電子的に取得するものでもよい。前述のように、火炉 1 1 内におけるアグロメレーションの発生に寄与すると考えられる主に燃料由来のアルカリ金属の成分情報は、燃焼灰測定部 8 1 による燃焼灰の測定を通じても取得できるが、燃料成分情報取得部 8 2 によって直接的に取得されてもよい。但し、燃料成分情報取得部 8 2 によって取得される成分情報は燃焼前の成分を表すものに過ぎず、実際に火炉 1 1 内に残存してアグロメレーションを引き起こすアルカリ金属の量を直接的に表すものではない（間接的な指標に過ぎない）。例えば、バイオマス燃料等の高アルカリ燃料に含まれるアルカリ金属の半分程度は、火炉 1 1 内に残存せずに排気されると考えられる。

[0044] 金属比推定部 8 3 は、燃焼灰測定部 8 1 による燃焼灰の測定結果および／または燃料成分情報取得部 8 2 によって取得された燃料の成分情報に基づいて、火炉 1 1 内におけるアルカリ金属（Na, K等）に対するアルカリ土類金属（Mg, Ca等）および／または土類金属（Al等）の金属比（Ca/K等）を推定する。

[0045] 不足検知部 8 4 は、金属比推定部 8 3 によって推定された「Ca/K」等の金属比が所定の下限を下回った場合、火炉 1 1 内におけるアルカリ土類金属（Mg, Ca等）および／または土類金属（Al等）の不足を検知する。

[0046] 図 3 は、「Ca/K」等の金属比の下限を設定するために実際の C F B ボイラにおいて行われた試験の結果を示す。この図において三角形で示される点は、「Ca/K」が略零、すなわち、火炉 1 1 内にカルシウム（Ca）がほとんど存在しない場合に対応する。図 2 に関して前述したように、この場合の共晶系の融点は低く容易に液化する結果、アグロメレーションが発生して C F B ボイラが流動停止状態になりやすい。このため、流動停止温度は 800℃以下と低くなっている。

[0047] この状態からカルシウム（Ca）を追加して、火炉 1 1 内における「Ca/K」を 0.6 から 2.3 の間まで高めると、図 3 における三つの丸で示されるように、

流動停止温度が1000℃程度まで高まる効果が確認された。図2に関して前述したように、「Ca/K」が上がると共晶系の融点が上がって液化しにくくなる結果、アグロメレーションが発生せずにCFBボイラが流動停止状態になりにくいためと考えられる。図3に示されるように、このような効果は、「Ca/K」が0.6以上の領域で確認された。そこで、不足検知部84が火炉11内におけるアルカリ土類金属（Mg, Ca等）および／または土類金属（Al等）の不足を検知するための「Ca/K」等の金属比の下限は、少なくとも0.6とするのが好ましい。

[0048] 土類金属供給部85は、不足検知部84によって検知された火炉11内におけるアルカリ土類金属（Mg, Ca等）および／または土類金属（Al等）の不足に応じて、火炉11内にアルカリ土類金属（Mg, Ca等）および／または土類金属（Al等）を供給する。例えば、土類金属供給部85は、火炉11内に石灰石（ CaCO_3 ）、生石灰（ CaO ）、ドロマイト（ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ）、アルミナ（ Al_2O_3 ）の少なくともいずれかを供給する。これらは、高温の火炉11内で、シリカ（ SiO_2 ）およびアルカリ金属酸化物（ K_2O 、 Na_2O 等）との共晶系を構成するアルカリ土類金属酸化物および／または土類金属酸化物を生成する。具体的には、石灰石（ CaCO_3 ）および生石灰（ CaO ）はアルカリ土類金属酸化物としての酸化カルシウム（ CaO ）を生成し、ドロマイト（ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ）はアルカリ土類金属酸化物としての酸化マグネシウム（ MgO ）および酸化カルシウム（ CaO ）を生成し、アルミナ（ Al_2O_3 ）は土類金属酸化物としての酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）を生成する。

[0049] 土類金属供給部85によって供給されたアルカリ土類金属および／または土類金属は、前述のように、シリカ、アルカリ金属酸化物、アルカリ土類金属酸化物および／または土類金属酸化物の三種類の成分からなる共晶系の融点を上げることで、火炉11内におけるアグロメレーションの発生を効果的に抑制する。また、土類金属供給部85によってアルカリ土類金属および／または土類金属が火炉11内に供給される結果、火炉11内における「Ca/K」等の金属比が前述の下限（少なくとも0.6）を上回る。

- [0050] このように、土類金属供給部 8 5 は、火炉 1 1 内におけるアルカリ金属 (Na, K等) に対するアルカリ土類金属 (Mg, Ca等) および／または土類金属 (Al等) の金属比 ($[Mg, Ca, Al]/[Na, K]$ 等) が所定の下限 (少なくとも0.6) を上回るように、アルカリ土類金属および／または土類金属を供給する。
- [0051] 土類金属供給部 8 5 は、アルカリ土類金属および／または土類金属を、直接的に火炉 1 1 内に供給してもよいが、燃料供給部 1 4 および／または流動材供給部 1 5 を介して間接的に火炉 1 1 内に供給してもよい。すなわち、燃料供給部 1 4 は、土類金属供給部 8 5 によって供給されるアルカリ土類金属および／または土類金属 (石灰石、生石灰、ドロマイト、アルミナ等) が加えられたバイオマス燃料等の燃料を火炉 1 1 内に供給してもよい。また、流動材供給部 1 5 は、土類金属供給部 8 5 によって供給されるアルカリ土類金属および／または土類金属 (石灰石、生石灰、ドロマイト、アルミナ等) が加えられた珪砂等の流動材を火炉 1 1 内に供給してもよい。
- [0052] なお、土類金属供給部 8 5 は、金属比推定部 8 3 によってリアルタイムで推定された「Ca/K」等の金属比に基づかずに、アルカリ土類金属および／または土類金属を火炉 1 1 内に供給してもよい。例えば、CFBボイラの過去の稼働実績、燃焼灰等の測定データ、アグロメレーションの発生履歴等に基づいて、金属比 ($[Mg, Ca, Al]/[Na, K]$ 等) が下限 (少なくとも0.6) を下回る場合や条件に関する知見やノウハウを蓄積できる。土類金属供給部 8 5 は、このような知見やノウハウを利用して、火炉 1 1 内におけるアルカリ金属 (Na, K等) に対するアルカリ土類金属 (Mg, Ca等) および／または土類金属 (Al等) の金属比 ($[Mg, Ca, Al]/[Na, K]$ 等) が所定の下限 (少なくとも0.6) を上回るように、アルカリ土類金属および／または土類金属を適切に供給できる。
- [0053] 以上のような本実施形態によれば、火炉 1 1 内におけるアルカリ金属 (Na, K等) に対するアルカリ土類金属 (Mg, Ca等) および／または土類金属 (Al等) の金属比 ($[Mg, Ca, Al]/[Na, K]$ 等) に基づいて、CFBボイラの火炉 1 1 内におけるアグロメレーションの発生を効果的に予測および／または抑

制できる。

[0054] また、バイオマス燃料等の高アルカリ燃料が使用される場合であっても、土類金属供給部 8 5 によってアルカリ土類金属および／または土類金属（石灰石、生石灰、ドロマイト、アルミナ等）を供給することで、火炉 1 1 内における金属比を所定の下限（少なくとも 0.6）より高く維持できるため、アグロメレーションの発生を効果的に抑制できる。換言すれば、従来アグロメレーションを発生させる恐れがあった高アルカリ燃料であっても使用できるため、C F B ボイラにおける燃料の選択の自由度が飛躍的に高まる。特に、環境負荷の小さいバイオマス燃料等を積極的に採用できるため、自然環境の保護にも貢献できる。

[0055] 以上、本発明を実施形態に基づいて説明した。例示としての実施形態における各構成要素や各処理の組合せには様々な変形例が可能であり、そのような変形例が本発明の範囲に含まれることは当業者にとって自明である。

[0056] なお、実施形態で説明した各装置や各方法の構成、作用、機能は、ハードウェア資源またはソフトウェア資源によって、あるいは、ハードウェア資源とソフトウェア資源の協働によって実現できる。ハードウェア資源としては、例えば、プロセッサ、R O M、R A M、各種の集積回路を利用できる。ソフトウェア資源としては、例えば、オペレーティングシステム、アプリケーション等のプログラムを利用できる。

産業上の利用可能性

[0057] 本発明は燃焼装置等に関する。

符号の説明

[0058] 1 燃焼部、3 流動材循環部、8 アグロメレーション抑制装置、1 1 火炉、1 3 外部循環機構、1 4 燃料供給部、1 5 流動材供給部、3 2 循環シール、8 1 燃焼灰測定部、8 2 燃料成分情報取得部、8 3 金属比推定部、8 4 不足検知部、8 5 土類金属供給部。

請求の範囲

- [請求項1] シリカを含む流動材が流動する燃焼室内に燃料を供給して燃焼させる燃焼装置であって、
- 前記燃焼室内におけるアルカリ金属に対するアルカリ土類金属および／または土類金属の比が所定の下限を上回るように、アルカリ土類金属および／または土類金属を供給する土類金属供給部と、
- 前記土類金属供給部によって供給されるアルカリ土類金属および／または土類金属が加えられた前記流動材を前記燃焼室内に供給する流動材供給部と、
- を備える燃焼装置。
- [請求項2] 前記下限は、少なくとも0.6である、請求項1に記載の燃焼装置。
- [請求項3] 前記土類金属供給部は、前記流動材供給部に石灰石、生石灰、ドロマイト、アルミナの少なくともいずれかを供給する、請求項1または2に記載の燃焼装置。
- [請求項4] 前記土類金属供給部によって供給されたアルカリ土類金属および／または土類金属は、シリカ、アルカリ金属酸化物、アルカリ土類金属酸化物および／または土類金属酸化物の三種類の成分からなる共晶系の融点を上げる、請求項1または2に記載の燃焼装置。
- [請求項5] 前記燃焼室内の燃焼によって生成する燃焼灰を測定する燃焼灰測定部と、
- 前記燃焼灰測定部の測定結果に基づいて、前記燃焼室内におけるアルカリ金属に対するアルカリ土類金属および／または土類金属の比を推定する金属比推定部と、
- を備え、
- 前記土類金属供給部は、前記金属比推定部によって推定された前記比が前記下限を上回るように、アルカリ土類金属および／または土類金属を供給する、
- 請求項1または2に記載の燃焼装置。

- [請求項6] 前記燃焼灰測定部は、前記燃焼室から出た前記流動材を当該燃焼室に戻す流動材循環部において当該流動材が充填される循環シールにおける前記燃焼灰を測定する、請求項5に記載の燃焼装置。
- [請求項7] 前記燃料の成分情報を取得する燃料成分情報取得部を備え、
前記金属比推定部は、前記燃焼灰測定部の測定結果および前記成分情報に基づいて、前記燃焼室内におけるアルカリ金属に対するアルカリ土類金属および／または土類金属の比を推定する、
請求項5に記載の燃焼装置。
- [請求項8] 前記アルカリ金属は、ナトリウムおよびカリウムの少なくともいずれかを含む、請求項1または2に記載の燃焼装置。
- [請求項9] 前記アルカリ土類金属は、マグネシウムおよびカルシウムの少なくともいずれかを含む、請求項1または2に記載の燃焼装置。
- [請求項10] 前記土類金属は、少なくともアルミニウムを含む、請求項1または2に記載の燃焼装置。
- [請求項11] シリカを含む流動材が流動する燃焼室内に燃料を供給して燃焼させる燃焼装置において、
前記燃焼室内におけるアルカリ金属に対するアルカリ土類金属および／または土類金属の比が所定の下限を上回るように、アルカリ土類金属および／または土類金属を供給する土類金属供給ステップと、
前記土類金属供給ステップによって供給されるアルカリ土類金属および／または土類金属が加えられた前記流動材を前記燃焼室内に供給する流動材供給ステップと、
を実行する燃焼方法。
- [請求項12] シリカを含む流動材が流動する燃焼室内に燃料を供給して燃焼させる燃焼装置において、
前記燃焼室内におけるアルカリ金属に対するアルカリ土類金属および／または土類金属の比が所定の下限を上回るように、アルカリ土類金属および／または土類金属を供給する土類金属供給ステップと、

前記土類金属供給ステップによって供給されるアルカリ土類金属および／または土類金属が加えられた前記流動材を前記燃焼室内に供給する流動材供給ステップと、
をコンピュータに実行させる燃焼プログラム。