

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-172893

(P2012-172893A)

(43) 公開日 平成24年9月10日(2012.9.10)

(51) Int.Cl.

F 2 4 J 1/00 (2006.01)

F I

F 2 4 J 1/02

F 2 4 J 1/04

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2011-34898 (P2011-34898)
(22) 出願日 平成23年2月21日 (2011. 2. 21)

(71) 出願人 000220262
東京瓦斯株式会社
東京都港区海岸1丁目5番20号
(71) 出願人 391022614
学校法人幾徳学園
神奈川県厚木市下荻野1030
(74) 代理人 100091096
弁理士 平木 祐輔
(74) 代理人 100105463
弁理士 関谷 三男
(74) 代理人 100099128
弁理士 早川 康
(72) 発明者 藤峰 智也
東京都港区海岸一丁目5番20号 東京瓦斯株式会社内

最終頁に続く

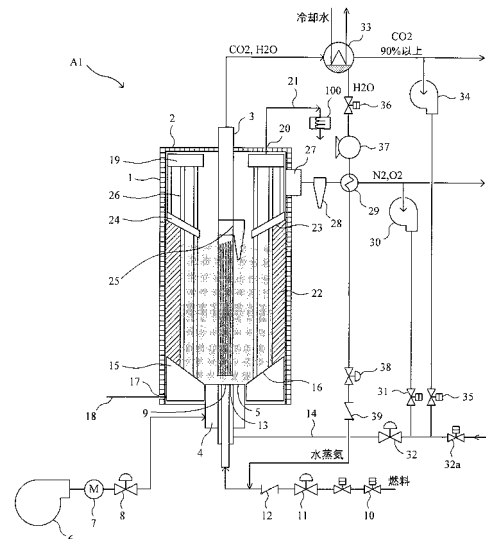
(54) 【発明の名称】 不活性ガスをセパレートガスとして供給する手段を備えたケミカルループ燃焼装置

(57) 【要約】

【課題】 好ましくは装置内で自給するセパレートガスを有効に利用することで、金属粒子（酸素キャリア）の循環量を大きくしても、稼働コストを上げることなく、固気分離効率の低下および酸化剤と還元剤との直接接触を回避できるようにしたケミカルループ燃焼装置を提供する。

【解決手段】 ケミカルループ燃焼装置A1は、装置内に供給される酸化剤を含むガスと還元剤を含むガスとが装置内で混合するのを防止するために、不活性ガスをセパレートガスとして供給する手段を備える。好ましくは、酸化塔1からの排ガスに含まれる N_2 ガスおよび還元塔3からの排ガスに含まれる CO_2 ガスをセパレートガスとして用いる。さらに、装置内で生成される水蒸気を還元塔3に供給される還元剤を含むガスに添加する手段も備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

金属粒子が酸化剤を含むガスと反応して前記金属粒子の酸化物が成形される酸化塔と前記酸化塔で生成された金属粒子の酸化物が還元剤を含むガスと反応して前記金属粒子に還元される還元塔とを備え、前記金属粒子が酸化と還元を受けながら前記酸化塔と前記還元塔との間を循環するようにされているケミカルループ燃焼装置であって、

ケミカルループ燃焼装置内に供給される酸化剤を含むガスと還元剤を含むガスとが装置内で混合するのを防止するために不活性ガスをセパレートガスとして供給する手段を備えることを特徴とするケミカルループ燃焼装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のケミカルループ燃焼装置であって、酸化塔内で金属粒子の酸化反応に寄与した後のガスに含まれる不活性ガスおよび還元塔内で酸化金属粒子の還元反応に寄与した後のガスに含まれる不活性ガスを前記セパレートガスとして用いることを特徴とするケミカルループ燃焼装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載のケミカルループ燃焼装置であって、装置内で生成される水蒸気および CO_2 を含むガスを還元塔に供給される還元剤を含むガスに添加する手段をさらに備えることを特徴とするケミカルループ燃焼装置。

【請求項 4】

請求項 1 ないし 3 のいずれか一項に記載のケミカルループ燃焼装置であって、前記酸化塔の内部に前記還元塔が 1 つまたは 1 つ以上組み込まれていることを特徴とするケミカルループ燃焼装置。

【請求項 5】

請求項 1 ないし 3 のいずれか一項に記載のケミカルループ燃焼装置であって、前記還元塔の内部に前記酸化塔が 1 つまたは 1 つ以上組み込まれていることを特徴とするケミカルループ燃焼装置。

【請求項 6】

請求項 4 または 5 に記載のケミカルループ燃焼装置であって、還元剤を含むガスを供給する還元剤ノズルと酸化剤を含むガスを供給する酸化剤ノズルとが一方を他方が取り囲むようにして設けられており、還元剤ノズルと酸化剤ノズルとの間にセパレートガスを供給するセパレートガスノズルがさらに配置されていることを特徴とするケミカルループ燃焼装置。

【請求項 7】

請求項 1 ないし 3 のいずれか一項に記載のケミカルループ燃焼装置であって、前記酸化塔と前記還元塔とは分離しており、両者は酸化した金属粒子の流路と還元した金属粒子の流路とによって接続されていることを特徴とするケミカルループ燃焼装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載のケミカルループ燃焼装置であって、酸化した金属粒子の流路と還元した金属粒子の流路の双方またはいずれか一方には粒子の溜まり部が設けてあり、前記セパレートガスは前記粒子溜まりに供給されることを特徴とするケミカルループ燃焼装置。

【請求項 9】

請求項 1 ないし 8 のいずれか一項に記載のケミカルループ燃焼装置であって、前記酸化塔内に酸化剤を供給する酸化剤供給管および前記還元塔内に還元剤を供給する還元剤供給管の双方またはいずれか一方はそれぞれの反応塔の天面側から底面側に向けて挿入されていることを特徴とするケミカルループ燃焼装置。

【請求項 10】

請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載のケミカルループ燃焼装置であって、前記酸化塔内または前記還元塔内には前記金属粒子またはその酸化物と接触して反応熱を被加熱流体に伝熱する伝熱管が配置されていることを特徴とするケミカルループ燃焼装置。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、不活性ガスをセパレートガスとして供給する手段を備えたケミカルループ燃焼装置に関する。

【背景技術】

【0002】

金属粒子を酸化する酸化反応系と酸化金属粒子を還元する還元反応系との間で金属粒子および酸化金属粒子を循環させることで熱を得るようにしたケミカルループ燃焼法は、例えば非特許文献1に記載されるように、すでに知られている。ケミカルループ燃焼は、燃料を直接空気と燃焼させる代わりに、燃焼反応を「金属粒子の酸化」と、「酸化金属粒子の還元」という2つに分け、両者を物理的な粒子の循環で結ぶシステムである。燃料と空気は直接接触することがなく、金属を媒体として純酸素のやり取りをしている。

10

【0003】

ケミカルループ燃焼では、メタンなどの炭化水素燃料は、還元反応系において、あくまで酸化金属の還元剤として働き、また酸化反応系には、酸化剤としての空気と金属粒子だけが供給され、金属粒子の酸化反応によって発熱する。通常、酸化反応で生じる温度は800～1200℃程度であり、主に N_2 である排ガスは比較的低温であることからサーマル NO_x は殆ど生成しない。また、還元反応系では、燃料としての炭化水素と酸化金属から供給される酸素のみが存在し、そのため、排ガス成分はほぼ二酸化炭素と水だけとなる。そのために、排出されたガスを冷却して水を取り除けばほぼ純粋な CO_2 を容易に回収可能となる。

20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】外部循環式：Use of NiO/NiAl₂O₄ Particles in a 10 kW Chemical-Looping Combustor Marcus Johansson, Tobias Mattisson, and Anders Lyngfelt† Ind. Eng. Chem. Res. 2006, 45, 5911-5919 内部循環：Experimental results of chemical-looping combustion with NiO/NiAl₂O₄ particle circulation at 1200 degrees C Ishida M, Yamamoto M, Ohba T ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT 2002, 43, 9-12, 1469-1478

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

現在、実験的規模で運転されているケミカルループ燃焼では、金属粒子（金属キャリア）MにはFeが用いられている。しかし、Feは酸化反応速度および還元反応速度が遅く、実機としてケミカルループ燃焼装置を稼働させる場合での金属粒子（金属キャリア）としては課題を残している。

【0006】

NiやCuやCoは、Feと比較して、より多くの酸素と反応して酸化金属粒子MOを形成しやすく、すなわち酸素運搬能力が高く、ケミカルループ燃焼法を効率よく実施するのに有効な金属であると考えられる。しかし、これらの金属粒子Mは高価であり、ケミカルループ燃焼装置を実機として稼働させる場合には、より少ない金属粒子Mの量でより高い酸化反応熱量が得られるようにすることが求められる。

40

【0007】

上記の課題を解決する一つの解決方法として、金属粒子（金属キャリア）の循環量（すなわち、酸化塔と還元塔の行き来）を大きくすることで、酸素の運搬能力を上げる方法がある。しかし、金属粒子（酸素キャリア）の循環量を大きくすると、金属粒子あるいは酸化反応後の酸化金属粒子に引き込まれるようにして空気（酸化剤を含むガス）が還元塔内に入り込みやすくなり、また、還元塔内で還元した金属粒子の移動とともにそれに引き込まれるようにして燃料（還元剤を含むガス）が酸化塔内に入り込みやすくなる。それによ

50

り、金属粒子と、空気（酸化剤を含むガス）もしくは燃料（還元剤を含むガス）との分離効率、すなわち固気分離効率が低下するのを避けられず、排ガスの N_2 濃度あるいは CO_2 濃度が低下してしまうと同時に、空気（酸化剤を含むガス）と燃料（還元剤を含むガス）とが酸化塔内であるいは還元塔内で直接接触して不必要に直接燃焼が生じる可能性が高くなる。そのために、ケミカルループ燃焼装置の利点である、排ガスから高濃度の不活性ガス（ N_2 ガスあるいは CO_2 ガス）が得られるという利点が十分に達成できなくなる。

【0008】

上記の課題を解決する他の解決方法として、Feのような比較して安価な金属を有効な金属キャリアとして用いる方法がある。しかし、前記したように、Feは還元反応速度が遅く、高い金属粒子（金属キャリア）の循環量を得ることは困難である。また、主成分としてメタンを含む都市ガスを燃料ガスすなわち還元剤を含むガスとして用いることはケミカルループ燃焼装置を実機として稼働させる場合に不可欠な要素となるが、メタンなどの炭化水素は反応性が遅いことから、高い還元性能を達成するための何らかの手段が求められている。

【0009】

本発明は、ケミカルループ燃焼装置を実機として稼働させる場合に求められる上記の課題を解決することを課題としており、より具体的には、好ましくは装置内で生成する不活性ガスをセパレートガスとして自給することで、金属粒子（酸素キャリア）の循環量を大きくしても、前記した固気分離効率の低下および酸化剤と還元剤との直接接触を回避できるようにした、不活性ガスをセパレートガスとして供給する手段を備えたケミカルループ燃焼装置を提供することを第1の課題とする。さらに、Feなどの比較的安価な金属粒子を金属キャリア）として用いる場合でも効率的に還元反応が得られるようにして運転コストを低減できるようにした、不活性ガスをセパレートガスとして供給する手段を備えたケミカルループ燃焼装置を提供することを第2の課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明によるケミカルループ燃焼装置は、金属粒子が酸化剤を含むガスと反応して前記金属粒子の酸化物が成形される酸化塔と前記酸化塔で生成された金属粒子の酸化物が還元剤を含むガスと反応して前記金属粒子に還元される還元塔とを備え、前記金属粒子が酸化と還元を受けながら前記酸化塔と前記還元塔との間を循環するようにされているケミカルループ燃焼装置であって、ケミカルループ燃焼装置内に供給される酸化剤を含むガスと還元剤を含むガスとが装置内で混合するのを防止するために不活性ガスをセパレートガスとして供給する手段を備えることを特徴とする。

【0011】

本発明によるケミカルループ燃焼装置では、不活性ガスをセパレートガスとして供給し、供給したセパレートガスによるバリアーを形成することで、酸化剤を含むガスと還元剤を含むガスとが装置内で混合するのを積極的に防止できる。そのために、酸化塔と還元塔との間での金属粒子（金属キャリア）の循環量を大きくしても、酸化剤を含むガスが還元塔内に引き込まれること、および還元剤を含むガスが酸化塔内に引き込まれること、さらに、装置内で空気（酸化剤を含むガス）と燃料（還元剤を含むガス）とが直接接触すること、をほぼ完全に抑制することができる。それにより、固気分離効率が低下するのを防止でき排ガスから高濃度の不活性ガス（ N_2 ガスあるいは CO_2 ガス）を得ることが可能となる。また、結果として、酸化反応熱の収量も大きなものとなる。

【0012】

本発明によるケミカルループ燃焼装置の好ましい形態において、装置は、酸化塔内で金属粒子の酸化反応に寄与した後のガスに含まれる不活性ガスおよび還元塔内で酸化金属粒子の還元反応に寄与した後のガスに含まれる不活性ガスを前記セパレートガスとして用いることを特徴とする。この形態のケミカルループ燃焼装置では、セパレートガスとして用いる不活性ガスを自給することが可能であり、実機としてケミカルループ燃焼装置を運転するときの運転コストを節減することができる。

【0013】

本発明によるケミカルループ燃焼装置の好ましい形態において、装置は、装置内で生成される水蒸気および CO_2 を含むガスを還元塔に供給される還元剤を含むガスに添加する手段をさらに備えることを特徴とする。この形態のケミカルループ燃焼装置では、水蒸気および CO_2 を還元剤を含むガスに添加することで還元反応性を良好にすることができる。そのためにFeのような比較して安価な金属を有効な金属キャリアとして用いることができ、またメタンなどの反応性が遅い炭化水素を含む都市ガスを高い反応性を持つ還元剤として有効に用いることができるようになる。これによっても、実機としてケミカルループ燃焼装置を運転するときの運転コストを節減することが可能となる。

【0014】

本発明によるケミカルループ燃焼装置の全体形状は、酸化塔の内部に還元塔が組み込まれているいわゆる内部循環式でもよく、酸化塔と還元塔とは分離していて両者は酸化した金属粒子の流路と還元した金属粒子の流路とによって接続されているいわゆる外部循環式でもよい。

【0015】

酸化塔の内部に還元塔が組み込まれている内部循環式のケミカルループ燃焼装置の場合には、前記酸化塔の内部に前記還元塔が1つまたは1つ以上組み込まれている形態でもよく、前記還元塔の内部に前記酸化塔が1つまたは1つ以上組み込まれている形態でもよい。いずれの場合も、好ましくは、還元剤を含むガスを供給する還元剤ノズルと酸化剤を含むガスを供給する酸化剤ノズルとは一方を他方が取り囲むようにして設けられ、還元剤ノズルと酸化剤ノズルの間に前記したセパレートガスを供給するセパレートガスノズルがさらに配置される。この形態では、セパレートガスノズルから噴出する不活性ガスが、還元剤ノズルから噴出する還元剤を含むガスと酸化剤ノズルから噴出する酸化剤を含むガスとの間に、バリアーとして存在することとなり、それにより還元剤を含むガスと酸化剤を含むガスとが混合するのを回避する。

【0016】

また、酸化塔と還元塔とは分離していて両者は酸化した金属粒子の流路と還元した金属粒子の流路とによって接続されている外部循環式のケミカルループ燃焼装置の場合には、酸化した金属粒子の流路と還元した金属粒子の流路の双方またはいずれか一方に粒子の溜まり部が設けられ、前記セパレートガスは前記粒子溜まりに供給される。この形態では、粒子溜まりに供給された不活性ガスがバリアーとなり、粒子溜まり内において還元剤を含むガスと酸化剤を含むガスとが混合するのを回避する。

【0017】

上記形態の本発明によるケミカルループ燃焼装置では、酸化塔内に酸化剤（例えば空気）を供給する酸化剤供給管および還元塔内に還元剤（例えばメタン等の燃料ガス）を供給する還元剤供給管の双方またはいずれか一方は、それぞれの反応塔の天面側から底面側に向けて挿入されている構成であり、ケミカルループ燃焼装置を組み立てるときに、クレーン等でそれらの部材を持ちあげて組み付けることあるいは取り外すことが可能となる。そのために、ケミカルループ燃焼装置の製造が容易となることに加え、稼働後でのメンテナンスもきわめて容易となる。さらに、反応塔の天面側から底面側に向けて挿入されている酸化剤供給管およびまたは還元剤供給管は、下端部の開口端を下方に向けた姿勢で取り付けられているので、酸化剤あるいは還元剤の供給を停止したときに、その内部にケミカルループ燃焼に使用される金属粒子が逆流することはない。これによっても、非特許文献1に記載される形態のケミカルループ燃焼装置と比較して、そのメンテナンス性および稼働性は向上する。

【0018】

本発明によるケミカルループ燃焼装置の一形態において、前記酸化塔内または前記還元塔内には前記金属粒子またはその酸化物と接触して反応熱を被加熱流体に伝熱する伝熱管が配置されていることを特徴とする。

【0019】

上記形態のケミカルループ燃焼装置では、例えば酸化塔内に伝熱管を配置する態様では酸化塔内において、金属粒子の酸化反応で生じた熱は伝熱管内を流れる被加熱流体と熱交換される。そのために、酸化塔から排出される主に N_2 である投入空気（排ガス）の温度が大きく上がることがなく、酸化塔を通過するガス投入空気の平均温度も低くなる。その結果、空塔速度が抑えられるため、酸化塔の断面積を小さくすることができる。結果として、ケミカルループ燃焼装置の小型化が可能であり、燃焼量あたりの表面積も抑えることができ、放熱のロスも小さくできる。さらに、上記のケミカルループ燃焼装置では前記のように小型化が可能であり、伝熱管内を流れる被加熱流体の持つ熱をオンサイトでの蒸気利用設備や工業炉などの熱源として用いることも可能となる。また、伝熱管が還元塔内に配置されている態様では、酸化塔内での発熱反応により発生した熱を保有した金属粒子が還元塔へ循環して、伝熱管と接触することにより伝熱管内部の被加熱流体を加熱するようになる。

10

【0020】

なお、本発明において、酸化剤を含むガスは、空気に加えて、酸素富化空気、低窒素空気なども用いることができる。還元剤を含むガスには、天然ガス、LPGガス、製鉄所の副製ガス、水素、石炭なども利用することができる。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、不活性ガスをセパレートガスとして用いることで、金属粒子（酸素キャリア）の循環量を大きくしても、固気分離効率の低下および酸化剤と還元剤との直接接触を回避できるようにした、不活性ガスをセパレートガスとして供給する手段を備えたケミカルループ燃焼装置が得られる。また、セパレートガスとして装置内で生成される不活性ガスを用いることで、運転コストを低減したケミカルループ燃焼装置が得られる。さらに、Feなどの比較的安価な金属粒子を金属キャリアとして用いても高い還元性能を達成できる、不活性ガスをセパレートガスとして供給する手段を備えたケミカルループ燃焼装置が得られる。

20

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明によるケミカルループ燃焼装置の第1の形態を付設する配管系とともに示す図。

30

【図2】本発明によるケミカルループ燃焼装置の第2の形態を付設する配管系とともに示す図。

【図3】本発明によるケミカルループ燃焼装置の第3の形態を付設する配管系とともに示す図。

【図4】本発明によるケミカルループ燃焼装置の第4の形態を付設する配管系とともに示す図。

【図5】本発明によるケミカルループ燃焼装置の第5の形態を付設する配管系とともに示す図。

【図6】本発明によるケミカルループ燃焼装置の第6の形態を付設する配管系とともに示す図。

40

【図7】本発明によるケミカルループ燃焼装置の第7の形態を付設する配管系とともに示す図。

【図8】本発明によるケミカルループ燃焼装置の第8の形態を付設する配管系とともに示す図。

【図9】本発明によるケミカルループ燃焼装置の第9の形態を付設する配管系とともに示す図。

【図10】本発明によるケミカルループ燃焼装置の第10の形態を付設する配管系とともに示す図。

【図11】本発明によるケミカルループ燃焼装置の第11の形態を付設する配管系とともに示す図。

50

【図 1 2】本発明によるケミカルループ燃焼装置の第 1 2 の形態を付設する配管系とともに示す図。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、図面を参照して、本発明による不活性ガスをセパレートガスとして供給する手段を備えたケミカルループ燃焼装置のいくつかの形態を説明する。

【0024】

〈第 1 の形態〉

図 1 は、本発明によるケミカルループ燃焼装置の第 1 の形態を付設する配管系とともに示している。図示のケミカルループ燃焼装置 A 1 は、鋼板のような耐熱材で作られた円塔形の外塔 1 を有し、外塔 1 の上端面はやはり鋼板のような耐熱材で作られた天板 2 で閉鎖されている。外塔 1 内には中心軸線を同じにして外塔 1 よりも小径の円塔体 3 が取り付けてある。円塔体 3 の上端は天板 2 を貫通して外塔 1 の外部に延出しており、下端は外塔 1 の下端近傍に達している。なお、以下の説明では、外塔 1 を酸化塔 1 と呼び、円塔体 3 を還元塔 3 と呼ぶこととする。

【0025】

酸化塔 1 の下端部には、酸化塔 1 と同心円をなす円塔状の空気ヘッダー 4 が取り付けてあり、該空気ヘッダー 4 の上端は空気ノズル 5 とされている。空気ヘッダー 4 はブロワ 6 に接続しており、流量計 7 および調圧弁 8 を通して調圧された空気が空気ヘッダー 4 に送られて空気ノズル 5 から酸化塔 1 内に噴出する。後に説明するように、この空気は酸化剤として機能するものであり、本発明でいう「酸化剤を含むガス」の一例である。また、空気ノズル 5 は本発明でいう「酸化剤ノズル」に相当する。

【0026】

空気ヘッダー 4 の中央部であって前記した還元塔 3 の下端部に対向する位置には、上下方向に所定の隙間を保つようにして、塔状をなす燃料ノズル 9 が配置されている。燃料ノズル 9 の内径は還元塔 3 の下端部の内径よりもやや小さい。燃料ノズル 9 には、遮断弁 10、調圧弁 11、逆止弁 12 を通して、例えばメタンである調圧された燃料が送給され、還元塔 3 の下端開口部に向けて噴出する。後に説明するようにこの燃料は還元剤として機能するものであり、本発明でいう「還元剤を含むガス」の一例である。また、燃料ノズル 9 は本発明でいう「還元剤ノズル」に相当する。好ましくは、空気ノズル 5 と燃料ノズル 9 の吹き出し口の高さはほぼ同一面とされている。

【0027】

この例において、燃料ノズル 9 とその外側を包囲する空気ヘッダー 4 との間には隙間が設けられており、その隙間には塔状のセパレートガスノズル 13 が配置されている。セパレートガスノズル 13 には、配管 14 を通して、例えば N_2 ガス、 CO_2 ガス等である不活性ガスが供給される。

【0028】

酸化塔 1 の底部であって前記した空気ヘッダー 4 の外側を包囲するようにして円塔状の下部ヘッダー 15 が取り付けられている。下部ヘッダー 15 の底面は水平面であるが、上面は円錐面 16 となっていて、円錐面の下端が空気ノズル 5 とほぼ同一面となっている。下部ヘッダー 15 の外周面は酸化塔 1 の内周面に接しており、酸化塔 1 の壁面に作られた孔 17 を通して、被加熱流体が流れる第 1 の流体配管 18 が下部ヘッダー 14 の外周面に接続している。

【0029】

酸化塔 1 の上方には、天板 2 に接するようにして円塔状の上部ヘッダー 19 が取り付けてある。上部ヘッダー 19 の内径と外径は下部ヘッダー 15 の内径と外径とほぼ同じである。上部ヘッダー 19 には酸化塔 1 の天板 2 に形成した孔 20 を通して被加熱流体の第 2 の流体配管 21 が接続している。この例において、第 2 の流体配管 21 はオンサイトでのボイラや工業炉などの熱負荷 100 に連通している。

【0030】

10

20

30

40

50

酸化塔 1 の内壁に沿うようにして、前記下部ヘッダー 1 5 の上部円錐面 1 6 から適宜上方位置まで、耐熱瓦や耐熱セラミックファイバーなどの耐熱材からなる適宜厚さの耐熱壁 2 2 が形成されており、該耐熱壁 2 2 の上端面は円錐壁 2 3 とされている。耐熱壁 2 2 の前記上端円錐壁 2 3 に下端面を沿わせるようにして、全体として斜板形状をなす中間ヘッダー 2 4 が取り付けられており、該中間ヘッダー 2 4 の内径と外径は下部ヘッダー 1 5 と内径と外径とほぼ等しくされている。そして、前記中間ヘッダー 2 4 が取り付けられている位置よりもやや上方位置において、前記した還元塔 3 には、固気分離装置 2 5 が取り付けられている。

【0031】

下部ヘッダー 1 5 と中間ヘッダー 2 4 と上部ヘッダー 1 9 の内部空間を相互に連通するようにして、複数本の伝熱管 2 6 が酸化塔 1 の中心軸線と平行に取り付けられている。複数本の伝熱管 2 6 は、図では、半径方向に複数列、かつ各例が複数本の伝熱管で構成されるようにして配置されているが、酸化塔 1 内での伝熱管 2 6 の配置は任意であり、後に記載するように、酸化塔 1 内に収容される金属粒子の流動を妨げないことを条件に適宜配置すればよい。

【0032】

なお、下部ヘッダー 1 5、中間ヘッダー 2 4、上部ヘッダー 1 9 は耐熱性に優れた材料で作られ、また特に伝熱管 2 6 は耐熱性と熱伝導性に優れた材料・形状で作られる。さらに、後に説明するように、伝熱管 2 6 は、下部ヘッダー 1 5 と中間ヘッダー 2 4 の間に位置する部分と、中間ヘッダー 2 4 と上部ヘッダー 1 9 の間に位置する部分とを、異なった材料で作ることが望ましい。

【0033】

酸化塔 1 の上部には排気口 2 7 が設けてあり、排気口 2 7 からの排ガス（後に記載するように、 N_2 が主であり、 O_2 が少量含まれる）は固気分離装置 2 8 を通して外気に排気される。

【0034】

さらに、ケミカルループ燃焼装置 A 1 は次の配管系を備える。前記排気口 2 7 からの排ガスは固気分離装置 2 8 を通過した後、熱交換器 2 9 を通過する。そして熱交換器 2 9 を通過した N_2 ガスは図示しない貯蔵タンク内に貯蔵される。必要時に、 N_2 と O_2 の混合ガスの一部は、ブロウ 3 0 によって昇圧され、遮断弁 3 1 と調圧弁 3 2 を通って配管 1 4 からセパレータガスノズル 1 3 に送られる。また、必要時には、配管 1 4 には図示しない貯蔵タンクから遮断弁 3 2 a を通して不活性ガスが送られる。

【0035】

還元塔 3 の上部から排出される排ガス（後に記載するように CO_2 と H_2O 蒸気である）は、外部からの冷却水が循環している気水分離装置 3 3 に流入し、蒸気を液化して分離した後、90%以上の CO_2 を含む排ガスとして外部に排出され、図示しない貯蔵タンク内に貯蔵される。必要時に、90%以上の CO_2 を含む排ガスの一部は、ブロウ 3 4 によって昇圧され、遮断弁 3 5 と調圧弁 3 2 を通って配管 1 4 からセパレータガスノズル 1 3 に送られる。

【0036】

気水分離装置 3 3 で生成された水は、遮断弁 3 6、ポンプ 3 7 を介して熱交換器 2 9 に至り、そこで熱交換した後、必要に応じて、調圧弁 3 8 および逆止弁 3 9 を通って、燃料ノズル 9 への燃料供給管路内に水蒸気として供給される。

【0037】

上記のケミカルループ燃焼装置 A 1 の作動を説明する。事前に、酸化塔 1 の内部空間に金属粒子 M を充填する。充填量は、金属粒子 M が還元塔 3 に取り付けられた固気分離装置 2 5 までは達しない量とする。なお、金属粒子 M は金属のみでなく酸化金属粒子が含まれていてもよい。金属粒子 M の好ましいものとしては、 Ni 、 Cu 、 Co 、 Fe あるいはそれらの酸化物を例示できる。充填後、図示しない酸化塔内に配置した予熱バーナあるいは酸化塔 1 の周壁に取り付けた電気ヒータ等の予熱手段により金属粒子 M を 600℃程度まで

10

20

30

40

50

予熱する。また、下部ヘッダー 15 と中間ヘッダー 24 と上部ヘッダー 19、すべての伝熱管 26、および第 1 の流体配管 18 と第 2 の流体配管 21 を、例えば水である被加熱溶液で満す。

【0038】

予熱後あるいは予熱の途中から、空気ヘッダー 4 に酸化剤として機能する所定量の空気（環境温度の空気であってよい）を供給して空気ノズル 5 から酸化塔 1 内に噴出させる。また、燃料ノズル 9 からは還元剤として機能する所定量のメタン等の燃料ガスを還元塔 3 に向けて噴出させる。さらに、セパレータガスノズル 13 から N_2 、 CO_2 等の不活性ガスを酸化塔 1 内に向けて噴出させる。なお、運転開始当初は、不活性ガスは、遮断弁 32a を開として外部の不活性ガス源から供給するか、あるいは前回の運転時に系内の貯蔵タンクに貯蔵しておいた不活性ガス源から供給する。

10

【0039】

空気ノズル 5 からの噴出空気は酸化塔 1 内に流入し、燃料ノズル 9 からの燃料ガスは還元塔 3 内に流入する。その際に、上記のケミカルループ燃焼装置 A1 では、空気ノズル 5 と燃料ノズル 9 間にセパレートガスノズル 13 が位置し、そこから不活性ガスが噴出しているため、その噴出ガスが噴出する空気と燃料ガスとの間でバリアーとして機能する。それにより空気と燃料ガスが混合するのを回避できる。また、噴出する空気と燃料ガスとの間に不活性ガスがバリアーとして介在することで、金属粒子の循環量（すなわち、酸化塔と還元塔の行き来）を大きくした場合でも、金属粒子の引き込みによって空気と燃料ガスとが混合する割合を大きく低減することができる。そのために、少量の金属粒子を大きな循環量のもので用いることが可能となり、より少ない金属粒子の量でより高い酸化反応熱量を得ることができる。すなわち、実機として低コストでの運転が可能となる。

20

【0040】

酸化塔 1 では反応温度にまで予熱された金属粒子 M と、供給された空気内の酸素が反応して酸化金属粒子 MO が生成される。その際に、金属の酸化反応によって発熱し、金属粒子 M、酸化金属粒子 MO および酸化塔 1 内を流れる空気は昇温する。しかし、金属の酸化反応によっての発熱であり、1500 度以上の高温部分が形成されることがなく、前記したようにサーマル NO_x は生成されない。なお、金属粒子 M が酸化金属粒子 MO を含む場合には、酸化金属粒子 MO は前記酸化金属粒子がさらに酸化した形態の酸化金属粒子が該当する。例えば、金属粒子 M が Fe_3O_4 の場合、酸化金属粒子 MO は Fe_2O_3 等となる。

30

【0041】

酸化金属粒子 MO および残存する場合での金属粒子 M は酸化塔 1 内を流下して還元塔 3 内に流入した後、還元塔 3 内を上昇する。還元塔 3 内を上昇する過程で、酸化金属粒子 MO は燃料ガスによる還元作用を受けて金属粒子 M に戻る。上記のケミカルループ燃焼装置 A1 では、下部ヘッダー 15 の上面 16 は、中央に向けて低位となる円錐面となっているので、酸化塔 1 の底部から還元塔 3 への酸化金属粒子 MO の移動は円滑に進行する。また、還元塔 3 内を上昇する固体成分とガス成分は、上昇の過程で固気分離装置 25 の作用を受けて、固体と気体に分離され、気体はさらに上昇して還元塔 3 の上部から排気される。固体、すなわち金属粒子 M と残存する場合での酸化金属粒子 MO は、酸化塔 1 内に戻される。

40

【0042】

酸化塔 1 内で、金属粒子 M は空気ノズル 5 からの噴出空気的作用を受けて流動化状態となることから、金属粒子 M あるいはその酸化物 MO の一部は当初貯留されていたときよりも上方に舞い上がることが起こり得る。上記のケミカルループ燃焼装置 A1 では、酸化塔 1 の下方の内壁面に前記耐熱壁 22 を形成したことにより、耐熱壁 22 が形成されている領域の水平断面積よりも、その上の耐熱壁 22 が形成されていない領域の水平断面積が大きくなっている。そのために、固気分離装置 25 近傍よりも上位の空間に舞い上がった金属粒子 M あるいはその酸化物 MO は、その空塔速度が小さくなって下方に落下しやすくなる。さらに、中間ヘッダー 24 の上面に落下した金属粒子 M あるいはその酸化物 MO は、

50

中間ヘッダー 24 の上面が円錐面となっているので、その面に沿って確実に下方に落下する。そのために、金属粒子 M の酸化作用を円滑化するとともに、酸化塔 1 上部の排気口 27 から金属粒子が排出されるのを抑制することができる。なお、図示しないが、酸化塔 1 上部の排気口 27 から排出される金属粒子は固気分離装置 28 により分離されて、必要時に、酸化塔 1 内に戻される。

【0043】

一方、酸化塔 1 内で金属粒子 M が酸化することにより発生した熱は、伝熱管 26 の壁面を介して伝熱管 26 内を流れる被加熱流体を伝えられ、被加熱流体を加熱する。すなわち、上記のケミカルループ燃焼装置では、酸化反応により発熱した金属粒子 M の熱はガス（投入空気）に伝熱すると同時に、金属粒子 M 内に位置する伝熱管 26 にも直接熱交換するために、排ガス温度が大きく上がることがない。そのために、 NO_x の生成をさらに抑制することができる。また、酸化塔 1 内のガス（投入空気）の平均温度も低くなり、それにより空塔速度が抑えられるため、酸化塔 1 の断面積を小さくすることができる。結果として、装置の小型化が可能となり、燃焼量当たりの表面積も抑えることができ、放熱のロスも小さくすることができる。

【0044】

上記のケミカルループ燃焼装置 A 1 では、中間ヘッダー 24 より下位の領域は金属粒子が貯留されている領域であり、その領域では伝熱管 26 は金属粒子と接触することで多くの摩擦損耗を受ける。一方、中間ヘッダー 24 より上位の領域は主にガスが存在する領域であり、伝熱管 26 の摩擦損耗は少ない。そのことから、伝熱管 26 の材料は、下部ヘッダー 15 と中間ヘッダー 24 の間に位置する部分では耐摩耗性に優れた材料とし、中間ヘッダー 24 と上部ヘッダー 19 の間に位置する部では比較して耐摩耗性に小さい材料とすることができる。そのように異なった材料を用いることで低コスト化が可能となる。

【0045】

酸化塔 1 内での熱交換により加熱された被加熱流体は、例えば、上部ヘッダー 19 から第 2 流体配管 21、熱負荷部 100、第 1 の流体配管 18 を循環し、下部ヘッダー 15 に戻ってくる。加熱された被加熱流体の循環は逆回りであってもよい。

【0046】

酸化塔 1 内での酸化反応に寄与することにより、投入空気は高温の排ガスとなり排気口 27 から排出される。排ガスは、空気の供給量に応じて、 O_2 を含まない高濃度の N_2 ガスカ、残存 O_2 と N_2 を含むガスとなる。前記したように排ガスは固気分離装置 28 および熱交換器 29 を通った後、図示しない N_2 貯蔵タンク塔へ送られて貯蔵されるが、一部の N_2 はブロワ 30 で昇圧され遮断弁 31 と調圧弁 32 を通って配管 14 からセパレータガスノズル 13 に送られる。

【0047】

一方、還元塔 3 からの排ガスは還元反応により生成された CO_2 と H_2O からなっており、高温ガスであることから H_2O は水蒸気となっている。還元塔 3 からの排ガスは冷却水が循環している気水分離装置 33 で凝縮されて水と高濃度（90% 以上）の CO_2 を含むガスに分離される。得られた CO_2 ガスは、必要な場合には適宜の手段でさらに濃縮した後に、そのままあるいは液化 CO_2 として貯蔵される。 CO_2 ガスの一部は、必要時に、ブロワ 34 で昇圧され遮断弁 35 と調圧弁 32 を通って配管 14 からセパレータガスノズル 13 に送られる。そのために、図示される形態のケミカルループ燃焼装置 A 1 では、初期の運転時を除き、空気ノズル 5 から供給される空気と燃料ノズルから供給される燃料ガスとを分離する目的で、セパレートガスノズル 13 から供給すべき不活性ガス（ NO_2 または CO_2 ）を自給することが可能となる。

【0048】

気水分離装置 33 で生成された水は、酸化塔 1 からの高温排ガスと熱交換器 29 において熱交換して水蒸気となり、必要時にその水蒸気は調圧弁 38 と逆止弁 39 を通り燃料ガスに混入される。水蒸気の供給を必要とすることにより、Fe のような比較的安価な金属粒子材料を用いる場合でも、効率的に還元反応を進行させることが可能となる。また、反

応性の遅いメタンなどの炭化水素でも効率的に還元反応を進行させることが可能となる。

【0049】

なお、上記の例では、第1の流体管路18と第2の流体管路21は非連続のものとして説明したが、熱負荷部100の種類や形態によっては、第1の流体管路18と熱負荷部100と第2の流体管路21との間で、連続した循環路を構成するようにしてもよい。いずれの場合にも、第2の流体管路21を流入側とし、第1の流体管路18を流出側として全体の管路系を構成しても、同じ作用効果が得られることは説明を要しない。

【0050】

〈第2の形態〉

図2は、本発明によるケミカルループ燃焼装置の第2の形態を付設する配管系とともに示している。図示のケミカルループ燃焼装置A2は、図1に示したケミカルループ燃焼装置A1における被加熱流体の熱交換に必要な手段、すなわち下部ヘッダー15、中間ヘッダー24、上部ヘッダー19、伝熱管26等の手段を備えない点で、構成を異にする。他の構成および配管系は、第1の形態であるケミカルループ燃焼装置A1と基本的に同じであり、以下の説明では、ケミカルループ燃焼装置A1におけると実質的に同じ機能を奏する部材には、同じ符号を200番台の符号として付し、具体的な構成が異なる場合を除き、詳細な説明は省略する。

【0051】

ケミカルループ燃焼装置A2では、酸化塔201の底面は耐熱材からなる円塔形の底部材215により閉鎖されており、底部材215の上面216は円錐面とされている。底部材215の中央部には、第1の形態のケミカルループ燃焼装置A1と同様にして、空気ヘッダー204と空気ノズル205、セパレートガスノズル213、燃料ノズル209が取り付けられている。

【0052】

酸化塔201の内周面および天面は耐熱瓦や耐熱グラスファイバーなどの耐熱材222が貼り付けられている。酸化塔201の内周面における下から2/3程度の領域は耐熱材肉厚領域222aとされており、それにより、それより上部の領域と比較して水平断面積が狭くなっている。そして、耐熱材肉厚領域222aの上端面は円錐壁222bとされるとともに、肉厚領域222aの上端面近傍における還元塔203の部分には固気分離装置225が取り付けられている。

【0053】

ケミカルループ燃焼装置A2において、配管系はケミカルループ燃焼装置A1の場合とほぼ同じである。ただし、前記したように、酸化塔201内に被加熱流体の熱交換に必要な手段を備えないので、ケミカルループ燃焼装置A2においては、酸化塔201の上部の排気口227からの排ガスは固気分離装置228を通過した後、第1の熱交換器229と第2の熱交換器229aを通して外気に排気される。そして、第1の熱交換器229において、外部の熱負荷（不図示）に熱を供給する被加熱流体との間で熱交換が行われる。

【0054】

ケミカルループ燃焼装置A2においても、セパレートガスノズル213に不活性ガスを供給するための配管系とその作用、燃料ガスに水蒸気を供給するための配管系とその作用はケミカルループ燃焼装置A1と同じであり、説明は省略する。

【0055】

〈第3の形態〉

図3は、本発明によるケミカルループ燃焼装置の第3の形態を付設する配管系とともに示している。第3の形態のケミカルループ燃焼装置A3は、空気（酸化剤を含むガス）、燃料ガス（還元剤を含むガス）、セパレートガス（不活性ガス）が酸化塔301および還元塔303の上部から供給される形式である点で第1の形態であるケミカルループ燃焼装置A1と相違しており、その点を除き第1の形態であるケミカルループ燃焼装置A1と同じである。以下の説明では、第1の形態であるケミカルループ燃焼装置A1におけると実質的に同じ機能を奏する部材には、同じ符号を300番台の符号として付し、具体的な構

成が異なる場合を除き、詳細な説明は省略する。

【0056】

ケミカルループ燃焼装置 A 3 において、酸化塔 301、および、被加熱流体の熱交換に必要な手段である下部ヘッダー 315、中間ヘッダー 324、上部ヘッダー 319、伝熱管 326 等の手段は第 1 の形態であるケミカルループ燃焼装置 A 1 と実質的に同じである。ただし、下部ヘッダー 315 の中央部分は円錐面 316 である上面に連続する凹状のコーン部材 360 により閉鎖されている。

【0057】

酸化塔 301 の中心部には酸化塔 301 の軸芯方向に延びる還元塔 303 が取り付けられてあり、その上端側は天面 302 を貫通し、下端側は前記したコーン部材 360 の近くまで達している。還元塔 303 の中心部には燃料ガス供給管 361 が挿入されている。燃料ガス供給管 361 は還元塔 303 の下端部の直上位置まで達しており、先端部は燃料ノズル 309 とされている。還元塔 303 の内周壁面に沿うようにして所要本数のセパレートガス供給管 362 が取り付けられてあり、その先端は還元塔 303 の下端まで達していて、先端部はセパレートガスノズル 313 とされている。

10

【0058】

還元塔 303 の径方向外側には、還元塔 303 とほぼ平行にかつ還元塔 303 の軸芯線から同心円状に、所要本数の空気供給管 363 が取り付けられてある。空気供給管 363 の上端側は天面 302 を貫通しており、下端側は下部ヘッダー 315 の天面または前記したコーン部材 360 の近くまで達している。各空気供給管 363 の下端部は空気ノズル 305

20

【0059】

燃料ガス供給管 361 には、遮断弁 310、調圧弁 311、逆止弁 312 を通して調圧された燃料ガスが送給され、下端部の燃料ノズル 309 から還元塔 303 内に噴出する。空気供給管 363 には、ブロワ 306、流量計 307、調圧弁 308 を通して調圧された空気が供給され、下端部の空気ノズル 305 から酸化塔 301 内に噴出する。燃料ガスの一部は、管路 364 と遮断弁 365 を通って、必要時に空気供給管 363 のいずれかまたは全部に供給され、下端部の空気ノズル 305 から酸化塔 301 内に噴出する。セパレートガス供給管 362 には配管 314 を通して、例えば N_2 ガス、 CO_2 ガス等である不活性ガスが供給され、供給された不活性ガスは先端のセパレートガスノズル 313 から還元塔 303 の底面（コーン部材 360）に向けて噴出する。

30

【0060】

上記のケミカルループ燃焼装置 A 3 において、酸化塔 301 内に酸化反応熱を被加熱流体と熱交換するための手段（下部ヘッダー 315、中間ヘッダー 324、上部ヘッダー 319、伝熱管 326 等）を設けたことによる達成される作用効果は、図 1 に基づき説明したケミカルループ燃焼装置 A 1 におけると同じであり、説明は省略する。ただし、ケミカルループ燃焼装置 A 3 では、酸化塔 301 内に空気を供給する空気供給管 363 と還元塔 303 内に燃料ガスを供給する燃料ガス供給管 361 およびセパレートガス供給管 362 とを、酸化塔 301 の上部から、すなわち酸化塔 301 の天面 302 に形成した開口部から落とし込むようにして取り付けられるようにしたので、ケミカルループ燃焼装置 A 3 を組み立てるときに、クレーン等でそれらの部材を持ちあげて組み付けることが可能となり、図 1 に示したケミカルループ燃焼装置 A 1 と比較して製造が容易となることに加え、稼働後のメンテナンスもきわめて容易となる。特に、図示されるように共通の取り付け用基板 366 を用い、そこに前記した空気供給管 363 と燃料ガス供給管 361 とセパレートガス供給管 362 とを取り付けることにより、組立時あるいはメンテナンス時にそれらを一体のものとして取り扱うことが可能となり、作業性が一層向上する。

40

【0061】

また、上記のケミカルループ燃焼装置 A 3 において、各管路系での排ガス、空気、燃料ガス等の動きもケミカルループ燃焼装置 A 1 の場合とほぼ同じである。しかし、前記したように、空気供給管 363 と燃料ガス供給管 361 とセパレートガス供給管 362 を酸化

50

塔 3 0 1 の上部から差し込むようにして取り付けたことに起因して、ガスの動きに少しの違いが生じる。

【 0 0 6 2 】

すなわち、空気は空気供給管 3 6 3 を通過した後にその下端部の空気ノズル 3 0 5 から酸化塔 3 0 1 内に噴出され、その空気が上昇する過程で金属粒子 M との間での酸化反応に寄与する。酸化反応をした後の空気すなわち N_2 リッチの空気が、酸化塔 3 0 1 上部の排気口 3 2 7 から排ガスとして排出されるのはケミカルループ燃焼装置 A 1 の場合とほぼ同じである。また、図示のケミカルループ燃焼装置 A 3 においては、空気供給管 3 6 3 の一部の空気供給管 3 6 3 a に遮断弁 3 6 5 を通して燃料ガスを供給できるようにしており、その空気供給管 3 6 3 a を昇温用バーナ 3 6 3 a として用いることができる。

10

【 0 0 6 3 】

運転時に、燃料ガスは燃料ガス供給管 3 6 1 の上端から供給されて下端の燃料ノズル 3 0 9 から噴出する。噴出した燃料ガスは還元塔内壁と燃料ガス供給管 3 6 1 との間の空間領域を酸化金属粒子 MO とともに上昇する。上昇の過程で燃料ガスは酸化金属粒子 MO の還元に寄与し、酸化金属粒子 MO を金属粒子 M に還元する。還元された金属粒子 M は還元塔 3 0 3 に取り付けられた固気分離装置 3 2 5 により分離されて酸化塔 3 0 1 内に戻される。 CO_2 と水蒸気で構成される排ガスは、還元塔 3 0 3 の上端から排気される。その後の排ガスの挙動はケミカルループ燃焼装置 A 1 の場合と同じである。

【 0 0 6 4 】

運転時に、セパレートガス供給管 3 6 2 にはその上端部から CO_2 または N_2 等の不活性ガスが供給され、セパレートガスノズル 3 1 3 から酸化塔 3 0 1 内に噴出する。噴出する不活性ガスにより、空気ノズル 3 0 5 から噴出する空気と、燃料ガス供給管 3 6 1 の下端の燃料ノズル 3 0 9 から噴出する燃料ガスとが混合するのを回避でき、燃料ガスが直接燃焼するのを阻止できる。このことも、ケミカルループ燃焼装置 A 1 の場合と同じである。

20

【 0 0 6 5 】

さらに、酸化塔 3 0 1 の底部における還元塔 3 0 3 の下端と対向する部分に、表面が滑らかな円錐面あるいは放物線面であるコーン部材 3 6 0 を取り付けただことで、酸化金属粒子 MO あるいは金属粒子 M の移動を円滑化することができ、酸化塔 3 0 1 の底部から還元塔 3 0 3 内に酸化金属粒子 MO あるいは金属粒子 M が流入するのを良好にしている。

30

【 0 0 6 6 】

ケミカルループ燃焼装置 A 3 においても、セパレートガスノズル 3 1 3 に不活性ガスを供給するための配管系とその作用、燃料ガスに水蒸気を供給するための配管系とその作用はケミカルループ燃焼装置 A 1 と同じであり、説明は省略する。

【 0 0 6 7 】

〈第 4 の形態〉

図 4 は、本発明によるケミカルループ燃焼装置の第 4 の形態を付設する配管系とともに示している。図示のケミカルループ燃焼装置 A 4 は、空気（酸化剤を含むガス）、燃料ガス（還元剤を含むガス）、セパレートガス（不活性ガス）が酸化塔 4 0 1 および還元塔 4 0 3 の上部から供給される形式である点で第 2 の形態であるケミカルループ燃焼装置 A 2 と相違しており、その点を除き第 2 の形態であるケミカルループ燃焼装置 A 2 と同じである。以下の説明では、第 2 の形態であるケミカルループ燃焼装置 A 2 におけると実質的に同じ機能を奏する部材には、同じ符号を 4 0 0 番台の符号として付し、具体的な構成が異なる場合を除き、詳細な説明は省略する。

40

【 0 0 6 8 】

ケミカルループ燃焼装置 A 4 において、酸化塔 4 0 1 の底面は耐熱材からなる底部材 4 1 5 により閉鎖されており、耐熱底部の上面 4 1 6 は下方に湾曲したすり鉢状面とされている。すり鉢状面の具体例としては、円錐面あるいは放物線面などが挙げられる。酸化塔 4 0 1 の内周面および天面の形状はケミカルループ燃焼装置 A 2 と同様である。

【 0 0 6 9 】

50

還元塔４０３の中心部には燃料ガス供給管４６１が挿入されている。燃料ガス供給管４６１は還元塔４０３の下端部の直上位置まで達しており、先端部は燃料ノズル４０９とされている。還元塔４０３の内周壁面に沿うようにして所要本数のセパレートガス供給管４６２が取り付けられており、その先端は還元塔４０３の下端まで達して、先端部はセパレートガスノズル４１３とされている。

【００７０】

還元塔４０３の径方向外側には、還元塔４０３とほぼ平行にかつ還元塔４０３の軸芯線から同心円状に、所要本数の空気供給管４６３が取り付けられている。空気供給管４６３の上端側は天面４０２を貫通しており、下端側は酸化塔４０１の底部に取り付けた底部材４１５の上面４１６の近くまで達している。各空気供給管４６３の下端部は空気ノズル４０５

10

【００７１】

燃料ガス供給管４６１には、遮断弁４１０、調圧弁４１１、逆止弁４１２を通して、燃料ガスが送給され、還元塔４０３の下端開口部である燃料ノズル４０９から還元塔４０３内に噴出する。空気供給管４６３には、ブロワ４０６、流量計４０７、調圧弁４０８を通して調圧された空気が供給され、下端部の空気ノズル４０５から酸化塔４０１内に噴出する。前記した燃料ガスの一部は、管路４６４と遮断弁４６５を通して、必要時に空気供給管４６３のいずれかに供給され、下端部の空気ノズル４０５から酸化塔４０１内に噴出する。セパレートガス供給管４６２には遮断弁４３２および配管４１４を通して、例えば N_2 ガス、 CO_2 ガス等である不活性ガスが供給される。供給された不活性ガスは先端のセパレートガスノズル４１３から酸化塔４０１の底面に向けて噴出する。この構成も、図３に示したケミカルループ燃焼装置Ａ３と同じである。

20

【００７２】

酸化塔４０１の上部の排気口４２７からの排ガスは、第２のミカルループ燃焼装置Ａ２と同じように、固気分離装置４２８を通過した後、第１の熱交換器４２９と第２の熱交換器４２９ａを通して外気に排気される。そして、第１の熱交換器４２９において、外部の熱負荷（不図示）に熱を供給する被加熱流体との間で熱交換が行われる。

【００７３】

ケミカルループ燃焼装置Ａ４においても、セパレートガスノズル４１３に不活性ガスを供給するための配管系とその作用、燃料ガスに水蒸気を供給するための配管系とその作用はケミカルループ燃焼装置Ａ２と同じであり、説明は省略する。

30

【００７４】

＜第５の形態＞

図５は、本発明によるケミカルループ燃焼装置の第５の形態を付設する配管系とともに示している。このケミカルループ燃焼装置Ａ５は、酸化塔５０１と還元塔５０３は分離しており、両者は酸化した金属粒子 MO が移動する流路５５０と還元した金属粒子 M が移動する流路５６０とによって接続されていることを特徴とする。以下の説明では、第１の形態であるケミカルループ燃焼装置Ａ１におけると実質的に同じ機能を奏する部材には、同じ符号を５００番台の符号として付し、具体的な構成が異なる場合を除き、詳細な説明は省略する。

40

【００７５】

ケミカルループ燃焼装置Ａ５は、前記のように酸化塔５０１と還元塔５０３は分離しており、両者は断熱手段が施された酸化金属流路５５０と金属粒子流路５６０とで接続されている。すなわち、酸化塔５０１内には、被加熱流体の熱交換に必要な手段である下部ヘッダー５１５、中間ヘッダー５２４、上部ヘッダー５１９、伝熱管５２６等の手段は存在するが、還元塔に相当する手段は存在しない。そのために、酸化塔５０１の底部には、空気ノズル５０５を備えた空気ヘッダー５０４のみが存在し、図１に示したケミカルループ燃焼装置Ａ１における燃料ノズル９とセパレートガスノズル１３は存在しない。それにより、酸化塔５０１の直径をより小さなものとすることができる。

【００７６】

50

また、前記のように、酸化金属粒子MOは酸化金属流路550を通過して還元塔503に移動する形式であり、そのために、酸化塔501内に貯留される金属粒子Mの貯留上端位置のやや上方位置に平板状の中間ヘッダー524が備えられ、中間ヘッダー524の中央空間領域には第1の固気分離装置570が配置されている。そして、第1の固気分離装置570の固体排出口側に前記した酸化金属流路550の一方端が接続している。

【0077】

還元塔503は、その上方位置において酸化金属流路550の他方端と接しており、その接続部と天板との間に第2の固気分離装置571を備えている。還元塔503の下方位置には金属粒子流路560の一方端が接続しており、金属粒子流路560の他方端は酸化塔501の下方部分に接続している。酸化金属流路550の途中には粒子溜め551が設けてあり、金属粒子流路560の途中にも粒子溜め562が設けてある。また、還元塔503の底面には燃料ノズル509が取り付けられている。

10

【0078】

酸化塔501に取り付けた第1の固気分離装置570で固体分（主に酸化金属粒子MO）を分離した後の気体（排ガス）は排気口527から排気されるが、この形態では排ガス中にほとんど固形分が含まれないので、図1に示したケミカルループ燃焼装置A1での固気分離装置28を省略することができる。第1の固気分離装置570で分離された固体分（主に酸化金属粒子MO）は酸化金属流路550を通過して還元塔503内に流入し、そこを落下する過程で、燃料ノズル509から送給される燃料ガスによる還元作用を受け、還元後の金属粒子Mは金属粒子流路560を通過して酸化塔501内に戻される。還元塔503に取り付けた第2の固気分離装置571は固体分（主に還元を受ける前の酸化金属粒子MO）を分離して還元塔503内に戻すとともに、気体（主にCO₂とH₂O）を還元塔503から排ガスとして排出する。

20

【0079】

酸化塔501からの排ガスおよび還元塔503からの排ガスのための配管系は図1に示したケミカルループ燃焼装置A1での配管系と同じである。ただし、双方の排ガスから生成されるNO₂およびCO₂である不活性ガスが、セパレートガスノズル13ではなく、前記した粒子溜め551および562にバージガスとして供給される点で相違する。粒子溜め551および562に不活性ガスをバージガスとして供給することにより、酸化金属流路550および金属粒子流路560において、空気（酸化剤）と燃料ガスが混合するのを確実に阻止できるようになり、燃料ガスの直接燃焼を確実に回避できるようになる。また、酸化金属流路550および金属粒子流路560を移動する金属粒子の移動量が大きくなっても、金属粒子に引き込まれて、酸化金属流路550では酸化剤を含むガス（空気）が還元塔503内に流入するのを、金属粒子流路560では還元剤を含むガス（燃料ガス）が酸化塔501内に流入するのを確実に阻止することができ、固気分離効率の低下を招かない。それにより、排ガス中のN₂濃度あるいはCO₂濃度が低下するのも回避できる。

30

【0080】

ケミカルループ燃焼装置A5において、酸化塔501内に酸化反応熱を被加熱流体と熱交換するための手段（下部ヘッダー515、中間ヘッダー524、上部ヘッダー519、伝熱管526等）を設けたことによる達成される作用効果は、図1に基づき説明したケミカルループ燃焼装置A1におけると同じであり、説明は省略する。また、各管路系での排ガス、空気、燃料ガス等の動きもケミカルループ燃焼装置A1の場合と同じであり、説明は省略する。

40

【0081】

〈第6の形態〉

図6は、本発明によるケミカルループ燃焼装置の第6の形態を付設する配管系とともに示している。図示のケミカルループ燃焼装置A6は、図5に示したケミカルループ燃焼装置A5における被加熱流体の熱交換に必要な手段、すなわち下部ヘッダー515、中間ヘッダー524、上部ヘッダー619、伝熱管626等の手段を備えない点で、構成を異に

50

する。他の構成および配管系は、第 5 の形態であるケミカルループ燃焼装置 A 5 と基本的に同じであり、以下の説明では、ケミカルループ燃焼装置 A 5 におけると実質的に同じ機能を奏する部材には、同じ符号を 6 0 0 番台の符号として付し、具体的な構成が異なる場合を除き、詳細な説明は省略する。

【0082】

ケミカルループ燃焼装置 A 6 では、酸化塔 6 0 1 の底面は耐熱材からなる円塔形の底部材 6 1 5 により閉鎖されており、底部材 6 1 5 の上面 6 1 6 は円錐面とされている。底部材 6 1 5 の中央部には、第 5 の形態であるケミカルループ燃焼装置 A 5 と同様にして、空気ヘッダー 6 0 4 と空気ノズル 6 0 5 が取り付けられている。

【0083】

酸化塔 6 0 1 の内周面および天面は耐熱瓦や耐熱グラスファイバーなどの耐熱材 6 2 2 が貼り付けられている。また、酸化塔 6 0 1 内に貯留される金属粒子 M の貯留上端位置のやや上方位置に平板状の浮揚防止板 6 6 7 が配置され、その中央部に第 1 の固気分離装置 6 7 0 を配置している。そして、浮揚防止板 6 6 7 より下位の水平断面積よりも上位の水平断面積が大きくなるように、酸化塔 6 0 1 の内周面には耐熱壁 6 2 2 が貼り付けられている。還元塔 6 0 3 および酸化金属流路 6 5 0、金属粒子流路 6 6 0 等の構成は、図 5 に示したケミカルループ燃焼装置 A 5 と同じである。

【0084】

酸化塔 6 0 1 に取り付けた第 1 の固気分離装置 6 7 0 で固体分（主に酸化金属粒子 MO）を分離した後の気体（排ガス）は排気口 6 2 7 から排気されるが、この形態では排ガス中にほとんど固形分が含まれないので、図 1 に示したケミカルループ燃焼装置 A 1 での固気分離装置 2 8 を省略することができる。

【0085】

ケミカルループ燃焼装置 A 6 において、配管系はケミカルループ燃焼装置 A 5 の場合とほぼ同じである。ただし、前記したように、酸化塔 6 0 1 内に被加熱流体の熱交換に必要な手段を備えないので、ケミカルループ燃焼装置 A 6 においては、酸化塔 6 0 1 の上部の排気口 6 2 7 からの排ガスは固気分離装置 6 2 7 を通過した後、第 1 の熱交換器 6 2 9 と第 2 の熱交換器 6 2 9 a を通って外気に排気される。そして、第 1 の熱交換器 6 2 9 において、外部の熱負荷（不図示）に熱を供給する被加熱流体との間で熱交換が行われる。

【0086】

また、酸化塔 6 0 1 からの排ガスおよび還元塔 6 0 3 の双方からの排ガスから生成される NO_2 および CO_2 である不活性ガスは、粒子溜め 6 5 1 および 6 6 2 にパージガスとして供給される点も、ケミカルループ燃焼装置 A 5 の場合と同じである。燃料ガスに表に応じて水蒸気を添加する配管系もケミカルループ燃焼装置 A 5 の場合と同じである。

【0087】

〈第 7 の形態〉

図 7 は、本発明によるケミカルループ燃焼装置の第 7 の形態を付設する配管系とともに示している。このケミカルループ燃焼装置 A 7 は、空気（酸化剤を含むガス）、燃料ガス（還元剤を含むガス）、セパレートガス（不活性ガス）が酸化塔 7 0 1 および還元塔 7 0 3 の上部から供給される形式である点で、図 5 に示した第 5 の形態であるケミカルループ燃焼装置 A 5 と相違しており、その点を除き第 5 の形態であるケミカルループ燃焼装置 A 5 と同じである。以下の説明では、第 5 の形態であるケミカルループ燃焼装置 A 5 におけると実質的に同じ機能を奏する部材には、同じ符号を 7 0 0 番台の符号として付し、具体的な構成が異なる場合を除き、詳細な説明は省略する。

【0088】

ケミカルループ燃焼装置 A 7 は、ケミカルループ燃焼装置 A 5 と同様に、酸化塔 7 0 1 内には、被加熱流体の熱交換に必要な手段である下部ヘッダー 7 1 5、中間ヘッダー 7 2 4、上部ヘッダー 7 1 9、伝熱管 7 2 6 等の手段は存在するが、還元塔に相当する手段は存在しない。そして、下部ヘッダー 7 1 5 の中央部分は円錐面 7 1 6 である上面に連続する凹状のコーン部材 7 6 0 により閉鎖されている。

【0089】

酸化塔701の中央部には、酸化塔701の軸芯方向に延びる所要本数の空気供給管763が天面側から挿入されており、その下端部は酸化塔701の底面近傍にまで達している。空気供給管763の下端先端部は空気ノズル705とされている。また、前記のように酸化金属粒子MOは酸化金属流路750を通して還元塔703に移動する形式であり、そのために、酸化塔701内に貯留される金属粒子Mの貯留上端位置のやや上方位置に平板状の中間ヘッダー724が備えられ、中間ヘッダー724の中央空間領域に第1の固気分離装置770が配置されている。そして、第1の固気分離装置770の固体排出口側に前記した酸化金属流路750の一方端が接続している。また、前記した空気供給管763は第1の固気分離装置770内を通過している。

10

【0090】

還元塔703には、その天面を通過するようにして燃料ガス供給管761が還元塔703の軸芯線方向に平行に挿入されており、その下端部は還元塔703の底面近傍にまで達していて、燃料ノズル709とされている。還元塔703のその他の構成、および金属粒子流路760と酸化金属流路750の構成、粒子溜め751および粒子溜め762の構成は図5に示したケミカルループ燃焼装置A5と同じである。

【0091】

上記のケミカルループ燃焼装置A7において、酸化塔701内に酸化反応熱を被加熱流体と熱交換するための手段（下部ヘッダー715、中間ヘッダー724、上部ヘッダー719、伝熱管726等）を設けたことによる達成される作用効果は、図5に基づき説明したケミカルループ燃焼装置A5におけると同じであり、また、酸化塔701の上方から空気供給管763を取り付けるようにしたことによる作用効果および還元塔703の上方から燃料供給管761を取り付けるようにしたことによる作用効果は、図3に示した第1の形態の第3の形態によるケミカルループ燃焼装置A3と同様である。

20

【0092】

さらに、複数本の空気供給管763の一部の空気供給管763aに調圧弁765を通して燃料ガスを供給できるようにすることにより、その空気供給管763aを昇温用バーナ763aとして用いることができるのも、図3に基づき説明したケミカルループ燃焼装置A3と同様である。

【0093】

その他の各管路系での排ガス、空気、燃料ガス等の動きはケミカルループ燃焼装置A5の場合と同じであり、特に、酸化塔701からの排ガスおよび還元塔703からの排ガスの、双方の排ガスから生成されるNO₂およびCO₂である不活性ガスが、粒子溜め751および762にパージガスとして供給されることにより、酸化金属流路750および金属粒子流路760において、空気（酸化剤）と燃料ガスが混合するのを確実に阻止するための配管系とその作用効果、燃料ガスに水蒸気を供給するための配管系とその作用効果はケミカルループ燃焼装置A5と同じである。

30

【0094】

〈第8の形態〉

図8は、本発明によるケミカルループ燃焼装置の第8の形態を付設する配管系とともに示している。図示のケミカルループ燃焼装置A8は、空気（酸化剤を含むガス）と燃料ガス（還元剤を含むガス）が酸化塔801および還元塔803の上部から供給される形式である点で、図6に示したケミカルループ燃焼装置A6と相違しており、その点を除く酸化塔801の構成、還元塔803の構成、および配管系の構成は図6に示したケミカルループ燃焼装置A6と同じである。以下の説明では、図6に示したケミカルループ燃焼装置A6におけると実質的に同じ機能を奏する部材には、同じ符号を800番台の符号として付し、具体的な構成が異なる場合を除き、詳細な説明は省略する。

40

【0095】

ケミカルループ燃焼装置A8において、酸化塔801の底面は耐熱材からなる底部材815により閉鎖されており、耐熱底部の上面816は下方に湾曲したすり鉢状面とされて

50

いる。すり鉢状面の具体例としては、円錐面あるいは放物線面などが挙げられる。酸化塔 801 の内周面および天面の形状はケミカルループ燃焼装置 A 6 と同様である。

【0096】

酸化塔 801 の中央部には、酸化塔 801 の軸芯方向に延びる所要本数の空気供給管 863 が天面側から挿入されており、その下端部は酸化塔 801 の底面近傍にまで達している。空気供給管 863 の下端先端部は空気ノズル 805 とされている。また、酸化金属粒子 MO は酸化金属流路 850 を通って還元塔 803 に移動する形式であり、そのために、酸化塔 801 内に貯留される金属粒子 M の貯留上端位置のやや上方位置に平板状の浮揚防止板 867 が配置され、その中央部に第 1 の固気分離装置 870 を配置している。そして、浮揚防止板 867 より下位の水平断面積よりも上位の水平断面積が大きくなるように、酸化塔 801 の内周面には耐熱壁 822 が貼り付けられている。

10

【0097】

還元塔 803 には、その天面を通過するようにして燃料ガス供給管 861 が還元塔 803 の軸芯線方向に平行に挿入されており、その下端部は還元塔 803 の底面近傍にまで達していて、燃料ノズル 809 とされている構成は、図 7 に示したケミカルループ燃焼装置 A 7 と同じである。さらに、還元塔 803 のその他の構成、および金属粒子流路 860 と酸化金属流路 850 の構成、粒子溜め 851 および粒子溜め 862 の構成も、図 7 に示したケミカルループ燃焼装置 A 7 と同じである。

【0098】

上記のケミカルループ燃焼装置 A 8 において、酸化塔 801 の上方から空気供給管 863 を取り付けようとしたことによる作用効果および還元塔 803 の上方から燃料供給管 861 を取り付けようとしたことによる作用効果は、図 7 に示した第 3 の形態によるケミカルループ燃焼装置 A 7 と同様である。

20

【0099】

その他の各管路系での排ガス、空気、燃料ガス等の動きはケミカルループ燃焼装置 A 6 の場合と同じであり、特に、酸化塔 801 からの排ガスおよび還元塔 803 からの排ガスの、双方の排ガスから生成される NO_2 および CO_2 である不活性ガスが、粒子溜め 851 および 862 にパージガスとして供給されることにより、酸化金属流路 850 および金属粒子流路 860 において、空気（酸化剤）と燃料ガスが混合するのを確実に阻止するための配管系とその作用効果、燃料ガスに水蒸気を供給するための配管系とその作用効果はケミカルループ燃焼装置 A 5 と同じである。

30

【0100】

〈第 9 の形態〉

図 9 は、本発明によるケミカルループ燃焼装置の第 9 の形態を付設する配管系とともに示している。図示のケミカルループ燃焼装置 A 9 は、酸化塔 1 の内部に複数個（図示の例では 2 個）の還元塔 3、3 が備えられている点と、各還元塔 3、3 に対応するようにして、酸化塔 1 の下端部に、空気ヘッダー 4、空気ノズル 5、燃料ノズル 9、およびセパレートガスノズル 13 等が配置されている点で、図 1 に示した第 1 の形態のケミカルループ燃焼装置 A 1 と構成が相違する。他の構成および配管系は、第 1 の形態であるケミカルループ燃焼装置 A 1 と基本的に同じであり、ケミカルループ燃焼装置 A 1 におけると実質的に同じ機能を奏する部材には、同じ符号を付し説明は省略する。

40

【0101】

図 9 に示すケミカルループ燃焼装置 A 9 では、2 個の還元塔 3、3 は酸化塔 1 の軸心線と平行な姿勢で酸化塔 1 内に配置されており、各還元塔 3、3 の下端部位置に対応するようにして、酸化塔 1 の下端部に、空気ヘッダー 4、空気ノズル 5、燃料ノズル 9、およびセパレートガスノズル 13 等が配置されている。そして、各空気ヘッダー 4、4 には、ブロワ 6 からの調圧された空気が供給され、各燃料ノズル 9、9 には、遮断弁 10、調圧弁 11、逆止弁 12 を通して調圧された燃料が送給される。また、各セパレートガスノズル 13、13 には、配管 14 を通して酸素が含まれない不活性ガスが供給される。各還元塔 3、3 の上部から排出される排ガスは、合流した後に、外部からの冷却水が循環している

50

気水分離装置 33 に流入する。

【0102】

なお、特に図示しないが、酸化塔 1 内に複数個（図示の例では 2 個）の還元塔 3, 3 を備える形態は、前記した図 2, 図 3, 図 4 に示した第 2, 第 3 形態のケミカルループ燃焼装置 A 2, A 3, A 4 にも適用できることは勿論である。

【0103】

〈第 10 の形態〉

図 10 は、本発明によるケミカルループ燃焼装置の第 10 の形態を付設する配管系とともに示している。図 10 に示す第 10 の形態のケミカルループ燃焼装置 A 10 は、酸化塔の内部に還元塔が備えられるのではなく、還元塔 3 の内部に酸化塔 1 が備えられている点で、図 1 に示した第 1 の形態のケミカルループ燃焼装置 A 1 と構成が異なっている。このケミカルループ燃焼装置 A 10 は、ケミカルループ燃焼装置 A 1 と同様の外塔を還元塔 1 として有し、その内には中心軸線と同じにして円塔体である酸化塔 1 が取り付けられている。酸化塔 1 の上端は天板 2 を貫通して還元塔 3 の外部に延出しており、下端は還元塔 3 の下端近傍に達している。

【0104】

還元塔 3 の下端部の中央には、酸化塔 1 と同心円をなす円塔状の空気ヘッダー 4 が取り付けられており、該空気ヘッダー 4 の上端は空気ノズル 5 とされている。好ましくは空気ノズル 5 の内径は酸化塔 1 の下端部の内径よりもやや小さい。空気ヘッダー 4 を包囲するようにして塔状をなす燃料ノズル 9 が配置されており、燃料ノズル 9 には、遮断弁 10、調圧弁 11、逆止弁 12 を通して、調圧された燃料が送給される。空気ヘッダー 4 とその外側を包囲する燃料ノズル 9 との間には隙間が設けられており、その隙間には塔状のセパレートガスノズル 13 が配置されている。セパレートガスノズル 13 には、図 1 に示す第 1 の形態のケミカルループ燃焼装置 A 1 と同様にして酸素が含まれない不活性ガスが供給される。

【0105】

ケミカルループ燃焼装置 A 10 内での金属の酸化還元反応は、図 1 に基づき説明したケミカルループ燃焼装置 A 1 での金属の酸化還元反応と基本的に同じである。すなわち、還元塔 3 の内部空間内で、酸化金属粒子 MO は燃料ノズル 9 から供給される燃料ガスと還元反応して金属粒子 M となり酸化塔 1 内を流入する。酸化塔 1 内を通過する過程で、金属粒子 M は空気ノズル 5 から供給される空気中の酸素と酸化反応して酸化金属粒子 MO に戻される。そして、酸化金属粒子 MO は酸化塔 1 に取り付けられた固気分離装置 25 を通って還元塔 3 内に戻される。

【0106】

ケミカルループ燃焼装置 A 10 において、配管系の構成、伝熱管 26 と下部ヘッダー 15、中間ヘッダー 24、上部ヘッダー 19 等に係る構成、およびそれらが奏する作用効果は基本的に第 1 の形態のケミカルループ燃焼装置 A 1 の場合と同じであり、同じ符号を付すことで、説明は省略する。

【0107】

なお、特に図示しないが、上記した還元塔 3 内に酸化塔 1 を備える形態は、必要な配管系を代えることで、前記した図 1 ～図 4 および図 9 に示したケミカルループ燃焼装置 A 1 ～A 4, A 9 にも適用できることは勿論である。

【0108】

〈第 11 の形態〉

図 11 は、本発明によるケミカルループ燃焼装置の第 11 の形態を付設する配管系とともに示している。図 11 に示す第 11 の形態のケミカルループ燃焼装置 A 11 は、図 10 に示した第 10 の形態のケミカルループ燃焼装置 A 10 とは、空気（酸化剤を含むガス）とセパレートガス（不活性ガス）が還元塔 3 の上部から供給される形式である点で第 10 の形態であるケミカルループ燃焼装置 A 10 と相違しており、その点を除き第 10 の形態であるケミカルループ燃焼装置 A 10 と同じである。以下の説明では、第 10 の形態であ

るケミカルループ燃焼装置 A 1 0 におけると実質的に同じ機能を奏する部材には、同じ符号を付し、具体的な構成が異なる場合を除き、詳細な説明は省略する。

【0109】

このケミカルループ燃焼装置 A 1 1 は、還元塔 3 の内部に 1 つの酸化塔 1 が組み込まれており、酸化塔 1 は空気供給管 6 3 と酸化塔 1 の内周壁面に沿うようにして配置された所要本数のセパレートガス供給管 6 2 とで構成され、それらは、還元塔 3 の上部から落とし込むようにして取り付けられている。

【0110】

燃料ガス供給管 6 1 に燃料ガスを供給する配管系、還元塔 3 からの排ガスおよび酸化塔 1 からの排ガスを処理する配管系は、図 1 0 に示したケミカルループ燃焼装置 A 1 0 におけると実質的に同じであり、それらについては、図 1 0 では同じ符号を付し、説明は省略する。

【0111】

このケミカルループ燃焼装置 A 1 1 では、還元塔 3 の底部の燃料ノズル 9 から噴出する燃料ガスが還元塔 3 内の金属酸化物粒子の還元反応を進行させる。また、酸化塔 1 の下端に設けたセパレートガスノズル 1 3 から噴出する不活性ガスによって、酸化剤と還元剤とが混合するのを阻止することができる。さらに、酸化塔 1 は還元塔 3 の天面側から着脱自在とされており、装置の組み立てやメンテナンスの容易性は確保できる。

【0112】

なお、特に図示しないが、配管系を適宜変更することにより、燃料ガス供給管 6 1 も還元塔 3 の天面側から着脱自在に取り付けて、燃料ガスを還元塔 3 の上方から底面側に向けて吹き出すようにすることもできる。さらに、図 3、図 4 に示した形態のケミカルループ燃焼装置においても、配管系を適宜変更することにより、酸化剤供給管、還元剤供給管、セパレートガス供給管のいずれかを選択して、装置（酸化塔または還元塔である反応塔）の下方から酸化剤、還元剤、またはセパレートガスを供給するようにしてもよい。

【0113】

〈第 1 2 の形態〉

図 1 2 は、本発明によるケミカルループ燃焼装置の第 1 2 の形態を付設する配管系とともに示している。図 1 2 に示す第 1 2 の形態のケミカルループ燃焼装置 A 1 2 は、図 1 に示したケミカルループ燃焼装置 A 1 の変形例であり、ここでは、装置 A 1 2 内で生成される水蒸気および CO_2 を含むガスをそのまま還元塔 3 に供給される還元剤を含むガス（燃料ガス）に添加するようにしている。すなわち、還元塔 3 からの排ガス管路に分岐管を設けて、還元塔 3 からの排ガスの一部を、ポンプ 3 7 a、遮断弁 3 6、調圧弁 3 8 および逆止弁 3 9 を通って、燃料ノズル 9 への燃料供給管路内に供給するようにしている。この形態では、熱交換器 2 9 および場合によっては気水分離装置 3 3 を省略することが可能であり、構成の簡素化が図られる。

【0114】

なお、上記したいずれの形態のケミカルループ燃焼装置においても、前記したように、排ガスから高濃度の CO_2 を分離できる。必要な場合には、濃度 9 0 % 以上で回収した CO_2 を利用用途に応じて例えば P S A 法などを用いてさらに濃縮することで、9 9 . 9 9 9 % 濃度の CO_2 が得られる。

【0115】

また、本発明によるケミカルループ燃焼装置の運転において、系全体の金属粒子 (M) と酸化金属粒子 (MO) を常にある比率の範囲に保つために、燃料と酸化剤の瞬間値はもちろんのこと、積算投入量を管理することで、系全体が運転開始時から酸化側に寄ったのか、還元側に寄ったのかを判別してフィードバックをかけることもできる。また、燃料と酸化剤とが適正に金属を介して反応しているかどうかを判断するため、下記に示す「酸素有効利用率」を 1 . 0 付近で制御することが推奨される。

酸素有効利用率 = (外部酸素投入量 - 系外にでる酸素量) / (燃料の理論酸素量)

【0116】

10

20

30

40

50

さらに、本発明によるケミカルループ燃焼装置において、酸化塔と還元塔の出口付近に圧力計を設置することもできる。そして、還元等から CO_2 を高濃度で取り出したい場合には、還元塔側の圧力が酸化塔の圧力よりやや高くなるように排気ブロアをインバーターで制御する。

【0117】

また、装置内での反応が継続していることを確認するために、酸化塔内に熱電対を2個挿入することもできる。一箇所は固気分離装置より下部の粒子面より下まで挿入し、もう一つは、固気分離装置の上部に設置する。そして、金属粒子内部の温度を還元剤の反応温度(例えば、天然ガスの場合 760°C)以上に保つようにする。保てない場合には、燃料ガスの供給を遮断する。

10

【符号の説明】

【0118】

A1…ケミカルループ燃焼装置、

1…酸化塔、

3…還元塔、

4…空気ヘッダー、

5…空気ノズル、

9…燃料ノズル、

13…セパレートガスノズル、

14… N_2 ガス、 CO_2 ガス等である不活性ガス供給用の配管、

20

15…下部ヘッダー、

18…第1の流体配管、

19…上部ヘッダー、

21…第2の流体配管、

22…耐熱壁、

24…中間ヘッダー、

25…固気分離装置、

26…伝熱管、

27…酸化塔の上部の排気口、

28…固気分離装置、

30

29…熱交換器、

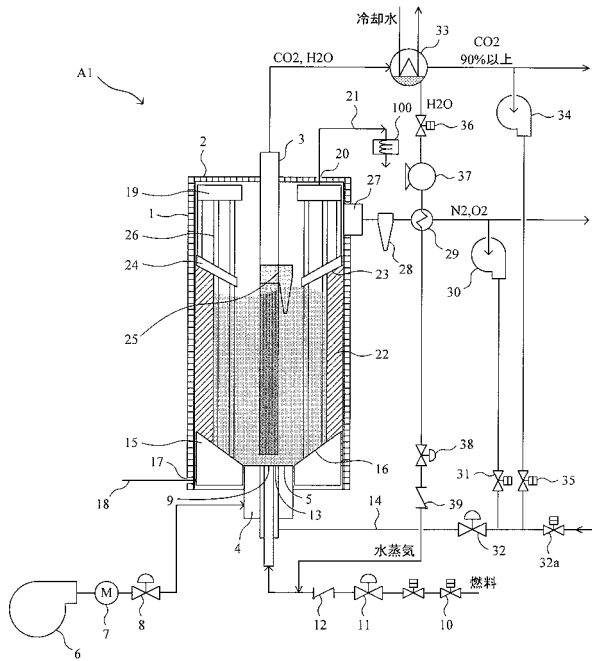
33…気水分離装置、

100…熱負荷部、

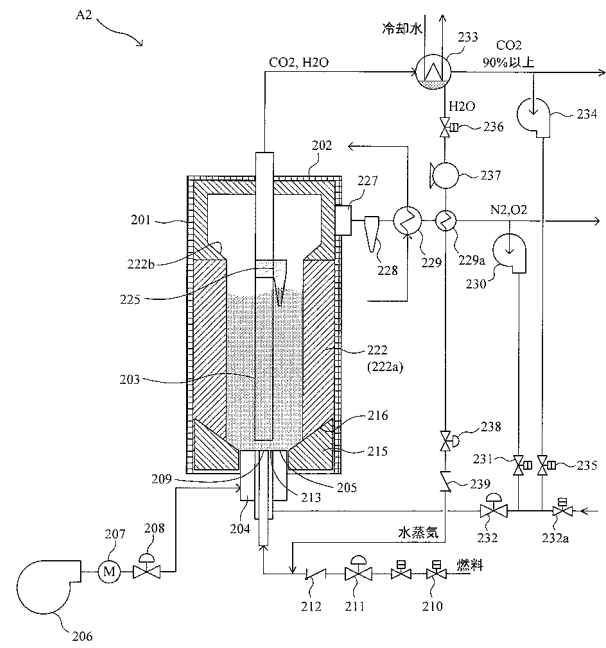
M…金属粒子、

MO…酸化金属粒子。

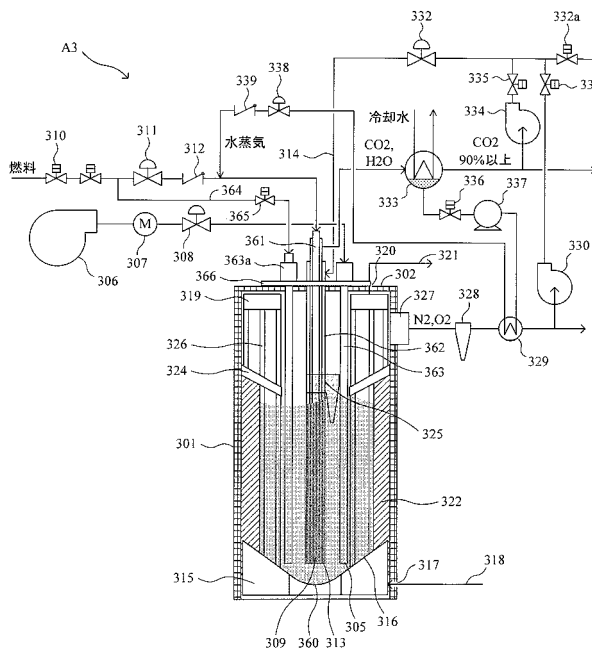
【図 1】



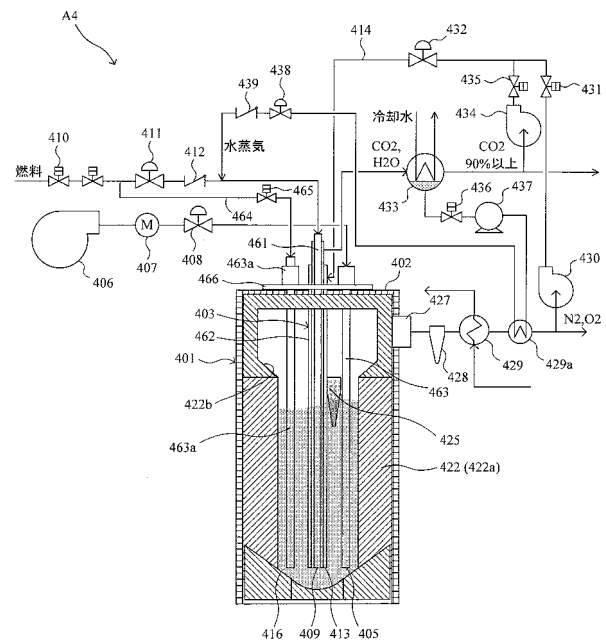
【図 2】



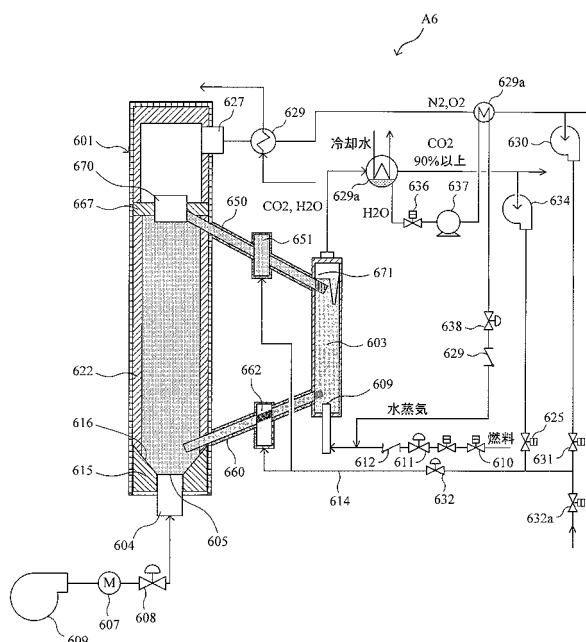
【図 3】



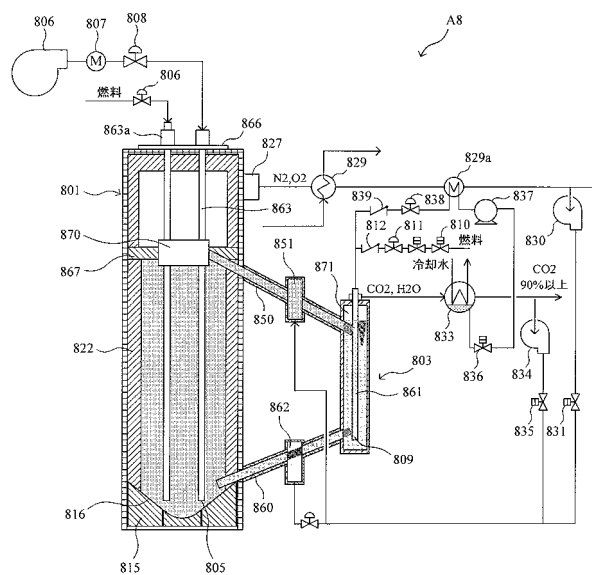
【図 4】



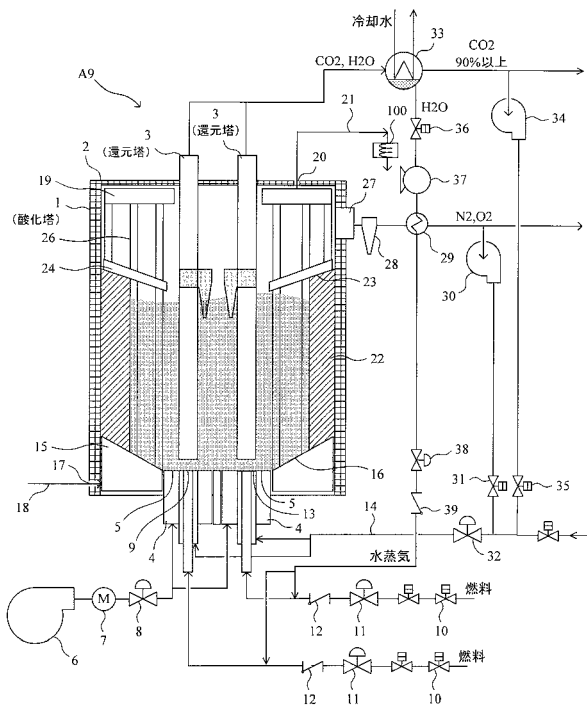
【 図 6 】



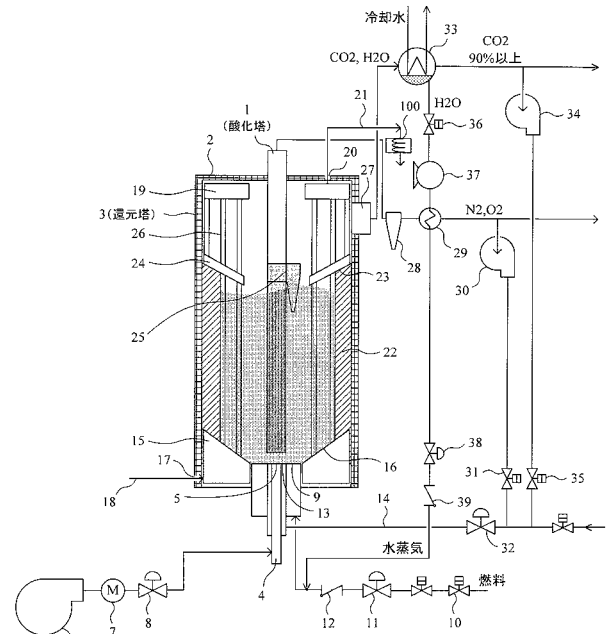
【图 8】



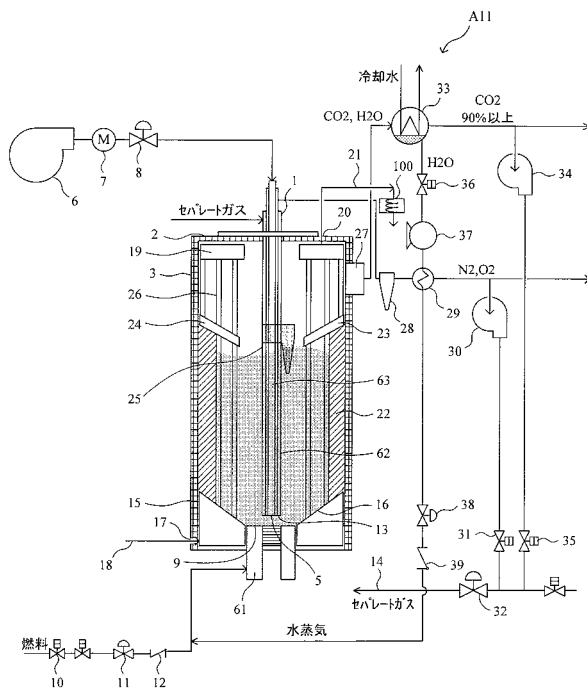
【図 9】



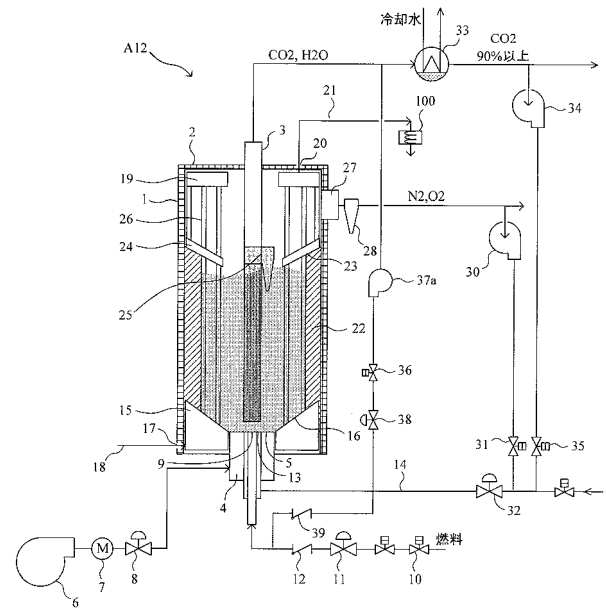
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

- (72)発明者 中島 良文
東京都港区海岸一丁目5番20号 東京瓦斯株式会社内
- (72)発明者 竹村 和也
東京都港区海岸一丁目5番20号 東京瓦斯株式会社内
- (72)発明者 速川 敦彦
東京都港区海岸一丁目5番20号 東京瓦斯株式会社内
- (72)発明者 大庭 武泰
神奈川県厚木市下荻野1030番 学校法人幾徳学園神奈川工科大学内
- (72)発明者 石田 愈
神奈川県厚木市下荻野1030番 学校法人幾徳学園神奈川工科大学内