

## 明 細 書

**発明の名称：** ガス化システム

### 技術分野

[0001] 本発明は、熱交換器を用いてバイオマス等のガス化原料をガス化するガス化システムに関する。

### 背景技術

[0002] 熱交換器を用いてバイオマス（焼酎残渣、採卵鶏糞等）等の原料をガス化するシステムとして、特許文献1、2には、二重管式熱交換器において含水性のバイオマスを超臨界水と熱交換させることにより昇温し、さらに所定の反応器やバーナーでバイオマスを加熱することによりバイオマスのガス化を行う技術が開示されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特許公報第4 7 1 9 8 6 4 号

特許文献2：特許公報第4 9 9 7 5 4 6 号

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1、2の熱交換器においては、バイオマスを含む懸濁液を、常温から例えば約400℃の高温に昇温させる。また、このときの熱交換器の内部圧力は高く、例えば25MPaである。

[0005] ところが、このような高温高圧下では水（懸濁液）の定圧比熱が大きくなるため、熱交換器における熱交換効率が低下し、これによりガス化の効率が低下してしまう場合があった。

[0006] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、熱交換器における熱交換効率を向上させ、これによりガス化原料を効率よくガス化するガス化システムを提供することにある。

#### 課題を解決するための手段

[0007] 前記目的を達成するため、本発明は、ガス化原料が流れる低温側流路、及び前記ガス化原料と熱交換することにより前記ガス化原料を昇温する、超臨界状態の処理水が導入される高温側流路を備える対向流式熱交換器と、前記対向流式熱交換器で昇温された前記ガス化原料を、加熱及び加圧することにより超臨界状態にしてガス化し、前記超臨界状態の処理水として排出するガス化反応器と、前記ガス化反応器から排出された処理水を前記対向流式熱交換器に導く処理水流路とを含んで構成されるガス化システムであって、前記ガス化原料を前記低温側流路に導入する原料導入手段と、前記原料導入手段により導入された前記ガス化原料を前記低温側流路の途中から取り出し、取り出した前記ガス化原料を加熱し、加熱した前記ガス化原料を、取り出した位置よりも原料下流側の途中位置に戻す外部加熱手段と、を備えることを特徴とする。

[0008] 本発明によれば、熱交換器に導入されたガス化原料を低温側流路の途中に取り出し、取り出したガス化原料を加熱して、低温側流路の原料下流側に戻すことにより、例えば熱交換効率が低下する箇所をガス化原料が流通しないようにすることができ、これにより熱交換器における熱交換効率を向上させることができる。また、ガス化原料を熱交換器外の外部加熱手段で加熱することによりガス化原料を効率よくガス化することができる。

[0009] 本発明の他の一つは、前記ガス化原料の定圧比熱の値に基づき前記取り出しを行う位置を決定し、決定した前記位置から前記ガス化原料を取り出すことを特徴とする。

[0010] 本発明によれば、定圧比熱に基づき取り出しを行う位置を決定するので、例えば、定圧比熱の値が低い熱交換器の位置からガス化原料を取り出すことで、熱交換効率を確実に向上させることができる。

[0011] 本発明の他の一つは、前記低温側流路は、前記ガス化原料導入手段により導入された前記ガス化原料の温度が上昇していく低温区域と、前記低温区域を通過した前記ガス化原料の温度が再び上昇する高温区域とを含んで構成され、前記外部加熱手段は、前記低温区域の高温端から前記ガス化原料を取り

出し、また、前記ガス化原料を前記高温区域の低温端に戻すことを特徴とする。

[0012] 本発明のように、低温区域の高温端からガス化原料を取り出し、これを高温区域の低温端に戻すことで、熱交換効率が低い温度域を流通させずにガス化原料の昇温を確実に行うことができ、これによりガス化を効率よく行うことができる。

[0013] なお、前記取り出しを行う位置における前記ガス化原料の定圧比熱は、例えば  $10 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$  以上とする。

[0014] 本発明の他の一つは、前記外部加熱手段における加熱は、前記対向流式熱交換器で昇温された前記ガス化原料を予熱する予熱器において行われることを特徴とする。

[0015] 本発明によれば、対向流式熱交換器から取り出されたガス化原料の加熱を予熱器で行うことにより、ガス化システムで発生するエネルギーを効率よく使用することができる。

### 発明の効果

[0016] 本発明によれば、熱交換器における熱交換効率を向上させ、これによりガス化原料を効率よくガス化するガス化システムを提供することができる。

### 図面の簡単な説明

[0017] [図1A]超臨界水によるバイオマスのガス化システム100の概略構成を示す図である。

[図1B]熱交換器30における二重管の構成の一例を説明する図である。

[図2]ガス化原料の導入口31から排出口32までの二重管の長さを100とした場合の熱交換器30を示した図である。

[図3]低温側流路36を流れるガス化原料の温度（「チューブ温度」）の変化と、高温側流路37を流れる処理水の温度（「ジャケット温度」）の変化の一例を示した図である。

[図4]温度、圧力、及び定圧比熱の間の関係を示した図である。

[図5]中温区域72が存在しないように構成した熱交換器30の一例である。

[図6]取り出し位置33や返流位置34として適切な熱交換器30の位置を説明する図を説明する図である。

[図7]温度、圧力、及び定圧比熱の関係を示した図である。

### 発明を実施するための形態

[0018] 図1Aは、本発明の一実施形態として説明する、超臨界水によるバイオマス100のガス化システム100の概略構成を示す図である。図1Aに示すように、ガス化システム100は、調整タンク1、破砕機2、供給ポンプ3、熱交換器30、予熱器40、ガス化反応器50、冷却器51、減圧器52、気液分離器60、ガスタンク61等を備えている。熱交換器30とガス化反応器とは、配管55により接続されている。

[0019] 調整タンク1は、バイオマスの種類、量、含水率などに応じて水、及び活性炭の混合量を調整しながら、バイオマス、水、活性炭を混合するタンクである。調整タンク1では、バイオマス、活性炭、及び水が混合されることにより、ガス化原料（懸濁液）が調製される。なお、上記バイオマスは、例えば、焼酎残渣、採卵鶏糞等の含水性バイオマスである。また、活性炭の代わりに他の非金属系触媒を混合してもよく、例えばゼオライトを用いてもよいし、これらの混合物などを用いてもよい。なお、非金属系触媒としては平均粒径200 $\mu\text{m}$ 以下の粉末を用いることが好ましく、多孔質であることがより好ましい。

[0020] 破砕機2は、調整タンク1で調製した懸濁液中のバイオマスを破砕して、バイオマスをあらかじめ均一な大きさ（好ましくは平均粒径が500 $\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは平均粒径が300 $\mu\text{m}$ 以下）にし、供給ポンプ3に移送する装置である。

[0021] 供給ポンプ3は、破砕機2から供給されてくる懸濁液を交換器30に供給する装置である。供給ポンプ3は、例えば、高圧ポンプやモノポンプなどである。

[0022] 熱交換器30は対向流式の熱交換器であり、ガス化反応器50から排出される排出物（ガス化反応器50から排出される生成ガス及び灰分、ならびに

、非金属系触媒及び水（超臨界水）等の熱を利用して、供給ポンプ３から供給されるガス化原料（懸濁液）を昇温する装置である。すなわち、この熱交換器３０は、供給ポンプ３から供給されるガス化原料が流れる低温側流路３６と、高温側流路３７とを備え、高温側流路３７には、低温側流路３６を流れるガス化原料と熱交換することによりガス化原料を昇温する処理水が流れる。

[0023] 高温側流路３７には、配管５５を通じて上記排出物（処理水）が導入される。一方、導入口３１から導入された懸濁液は、低温側流路３６を流通しながら昇温され、排出口３２から排出される。なお、熱交換器３０の内部圧力は約２５ＭＰａに設定されている。

[0024] 熱交換器３０は、例えば二重管式熱交換器である。図１Ｂは、熱交換器３０における二重管の構成の一例を説明する図である。同図に示すように、低温側流路３６は二重管の内管として設けられ、高温側流路３７は二重管の外管として設けられる。

[0025] 図１Ａに戻り、予熱器４０は、ガスタンク６１に貯えられた生成ガス、燃料ガス（例えばＬＰＧ）、酸素ガスなどを燃焼することにより、懸濁液を所定の温度に加熱する装置である。

[0026] ガス化反応器５０は、例えば、管状反応器、流動層反応器などであり、懸濁液中のバイオマスを超臨界水でガス化する装置である。このガス化は、前記非金属系触媒を利用して、反応効率を高めることができる温度及び圧力下（例えば、６００℃以上、２５～３５ＭＰａの範囲内）で行う。このようにバイオマスを超臨界水で処理することにより、バイオマスを分解し、水素ガス、メタン、エタン、エチレン等のガスを生成することができる。

[0027] 冷却器５１は、ガス化反応器５０から排出される排出物を冷却するための装置である。

[0028] 減圧器５２は、ガス化反応器５０から排出される排出物の生成ガス等の圧力を減圧する装置である。

[0029] 気液分離器６０は、ガス化反応器５０から排出される排出物を、気体成分

（生成ガス）と、液体成分（灰分、活性炭、及び水を含む混合液）とに分離する装置である。

[0030] ガスタンク 61 は、気液分離器 60 によって分離された気体成分（生成ガス）を貯える容器（好ましくは耐圧容器）である。

[0031] ガス化反応器 50 に設けられた加熱器 62 は、ガスタンク 61 に貯えられた生成ガスの一部あるいは燃料ガス（例えば L P G など）を、酸素を含むガス中で燃焼してガス化反応器 50 を加熱し、懸濁液を所定の温度に加熱する装置である。また、予熱器 40 に設けられた加熱器 63 は、ガスタンク 61 に貯えられた生成ガスの一部あるいは燃料ガス（例えば L P G など）を、酸素を含むガス中で燃焼して予熱器 40 を加熱し、懸濁液を所定の温度に加熱する装置である。加熱器 62、63 は、例えば、バーナーなどの、燃料ガスを燃焼して加熱する既存の装置である。

[0032] ところで、このようなガス化システム 100 において、熱交換器 30 の高温側流路 37 を流れる水は前述のように、ガス化反応器 50 から排出される超臨界状態の処理水であり、その温度はたとえば約 600℃ と高温である。また、熱交換器 30 の内部圧力も 25 MPa と高圧である。このような高温高圧の条件下では、熱交換器 30 内においてガス化原料の昇温が充分に行われない場合がある。

[0033] 図 3 は、導入口 31 から排出口 32 までの二重管の全長を 100 とした場合の熱交換器 30（図 2 参照）を使用した場合における、低温側流路 36 を流れるガス化原料の温度（「チューブ温度」）の変化、及び高温側流路 37 を流れる処理水の温度（「ジャケット温度」）の変化の一例を示した図である。同図に示すように、熱交換器 30 に約 600℃ の処理水が導入された場合、この熱交換器 30 には、ガス化原料が流通する順に（導入口 31 に近い順に）、低温区域 71、中温区域 72、及び高温区域 73 の 3 つの区域が形成される。すなわち、低温区域 71 では、導入口 31 から導入されたガス化原料の温度が約 25℃ から約 380℃ まで急速に上昇するが、中温区域 72 では、ガス化原料の温度が所定範囲内に収まり殆ど上昇しなくなる（約 38

0℃のままである)。そして、高温区域73では、ガス化原料の温度は再び上昇し、急速に約400℃に達する。

[0034] このように、低温区域71及び高温区域73ではガス化原料の温度は急速に上昇するが、中温区域72においてはガス化原料の温度は殆ど上昇せず、熱交換器30における熱交換処理は全体として非効率となっている。中温区域72の長さは熱交換器30の二重管の全長の50%を超える場合もあるので、その場合は特に熱交換器30の熱交換効率が低下してしまう結果となる。

[0035] 中温区域72が存在する理由は以下の通りである。図4は、水の温度、圧力、及び定圧比熱の関係を示した図である。同図に示すように、熱交換器30の内部圧力が25MPaの場合、定圧比熱は380℃前後において特異的に高い値をとる（ピークとなる）ため、このような温度のガス化原料は昇温されにくくなっている。また、ガス化原料と熱交換される処理水についても、ガス化原料の場合と同様に、定圧比熱が約380℃でピークとなる（正確には、二重管における圧力損失のためガス化原料よりも少し低い温度でピークとなる）。

[0036] そこで本発明者らは、熱交換器30においてガス化原料の温度が上昇しにくい区域（上記の例ではガス化原料の温度が約380℃となっている区域）が存在しないように、つまり中温区域72が存在しないように熱交換器30を構成すれば、熱交換器30における熱交換効率を向上させることができることを着想した。

[0037] そのような構成とした熱交換器30の一例を図5に示した。同図に示すように、この熱交換器30の外部には、ガス化原料の加熱を行うための外部加熱手段35が設けられている。すなわち、符号35aに示すように、低温側流路36の所定位置33（以下、取り出し位置33と称する。）からガス化原料を取り出し、符号35bに示すように、取り出したガス化原料を予熱器40の熱で加熱し、符号35cで示すように、加熱したガス化原料を、取り出し位置33より原料下流側である、低温流路36の所定位置34（以下、

返流位置 34 と称する。)に戻す、という流路の変更が行われている。この流路変更は、例えば、取り出し位置 33 と予熱器 40 との間を配管で接続してガス化原料を流通させ、予熱器 40 と返流位置 34 との間を配管で接続してガス化原料を流通させることにより行う。

[0038] 以上の取り出し位置 33 及び返流位置 34 は、具体的には次のような位置である。すなわち、図 5 に示すように、取り出し位置 33 は、ガス化原料の温度  $T_c$  が  $370^{\circ}\text{C}$  となり、処理水の温度  $T_d$  が  $375^{\circ}\text{C}$  となる位置（すなわち低温領域 71 の高温端、中温領域 72 との境界部）である。また、返流位置 34 は、ガス化原料の温度  $T_e$  が  $385^{\circ}\text{C}$  となり、処理水の温度  $T_f$  が  $390^{\circ}\text{C}$  となる位置（すなわち高温領域 73 の低温端、中温領域 72 との境界部）である。

[0039] なお、このような低温側流路 36 の流路変更に応じて、高温側流路 37 の流路の変更も行っている。すなわち、図 5 に示すように、取り出し位置 33 と返流位置 34 の間をバイパス配管 38 で接続し、返流位置 34 から取り出し位置 33 へと直接処理水が流れるように構成している。また、以上の流路変更により、配管の余剰部分 39 は切除されている。

[0040] 以上に説明したように、取り出し位置 33 が低温領域 71 と中温領域 72 の境界部に定められ、返流位置 34 が中温領域 72 と高温領域 73 の境界部に定められていることで、熱交換器 30 における熱交換効率を向上させ、ガス化原料を確実に昇温させることができる。

[0041] また、このようにすることで、熱交換器 30 において、流体の熱交換率が低くなる温度である約  $380^{\circ}\text{C}$  になる領域が存在しなくなる。このような温度では、二重管内にタールが生成し、内管（低温側流路 36）や外管（高温側流路 37）が閉塞しやすくなるので、これを避けるべく、上記のように取り出し位置 33 や返流位置 34 を設けることで、タールの生成を抑制して配管の閉塞を防ぐことができ、ガス化システム 100 の信頼性を向上させることができる。

[0042] また、熱交換器 30 には一般に、高温高圧の条件に耐えるために高価な厚

肉配管が使用されているので、上記のように中温区域 7 2 を省くような流路変更を行うことで、配管の整備等に係る諸費用を抑えることができる。

[0043] また、熱交換器 3 0 から取り出されたガス化原料の加熱を予熱器 4 0 で行っているため、ガス化システム 1 0 0 におけるエネルギー効率を向上させることができる。また、加熱設備の新規導入も不要であり、コストを増加させないようにすることができる。

[0044] ところで、上記の例では、ガス化原料の温度が約 3 7 0 °C となる位置を取り出し位置 3 3 とし、ガス化原料が約 3 8 5 °C となる位置を返流位置 3 4 としたが、取り出し位置 3 3 や返流位置 3 4 はこれらの位置に限られない。すなわち、取り出し位置 3 3 は、低温区域 7 1 と中温区域 7 2 の境界部であればよく、また、返流位置 3 4 は中温区域 7 2 と高温区域 7 3 の境界部であればよい。

[0045] 図 6 は、取り出し位置 3 3 や返流位置 3 4 として適切な熱交換器 3 0 の位置を説明する図である。同図に示すように、取り出し位置 3 3 は、導入口 3 1 に近い側でガス化原料の定圧比熱がピーク値をとる箇所（ガス化原料の温度が約 3 8 0 °C となる箇所）の近傍で、比較的定圧比熱が高い位置（例えば符号 3 3 a から符号 3 3 b で示した範囲）のどこかであればよい。例えば、定圧比熱が 1 0 k J / k g · K 以上となるような位置である。

[0046] 一方、返流位置 3 4 は、排出口 3 2 に近い側でガス化原料の定圧比熱がピーク値となる箇所（ガス化原料の温度が約 3 8 0 °C となる位置）の近傍で、比較的定圧比熱が高い位置（例えば符号 3 4 a から符号 3 4 b で示した範囲）のどこかであればよい。例えば、定圧比熱が 1 0 k J / k g · K 以上となるような位置である。

[0047] なお、以上の説明では、熱交換器 3 0 の内部圧力が 2 5 M P a であることを前提としたが、熱交換器 3 0 の内部圧力は変化することがある。内部圧力が変化すれば定圧比熱のピークの温度も変化するため（図 4 参照）、熱交換器 3 0 の内部圧力が変化した場合は、それに応じて取り出し位置 3 3 を調節することが好ましい。

[0048] そこで次に、熱交換器 30 の内部圧力が変化した場合の、取り出し位置 33 の決定方法について説明する。

[0049] 図 7 は、取り出し位置 33 を決定するために用いる、水の温度、圧力、及び定圧比熱の関係を示した図である。同図に示すように、曲面 74 は、定圧比熱が所定値を超える温度・圧力のプロットの集合を表している。曲面 74 から、現在の熱交換器 30 の圧力に対応する温度を読み取ることで、適切な取り出し位置 33 を決定することができる。

[0050] 以上のように、熱交換器 30 の内部圧力が変動する場合であっても、定圧比熱の値に基づき取り出し位置 33 や返流位置 34 を決定することにより、熱交換器 30 における熱交換効率を向上させることができる。

[0051] 以上に説明したように、本実施形態のガス化システム 100 によれば、熱交換器 30 に導入されたガス化原料を低温側流路 36 の途中で取り出し、取り出したガス化原料を加熱して低温側流路 36 の途中に戻すことにより、例えば熱交換効率が低下する箇所をガス化原料が流通しないようにすることができ、これにより熱交換器 30 における熱交換効率を向上させることができる。また、ガス化原料を熱交換器 30 外の外部加熱手段（予熱器 40）で加熱することによりガス化原料を効率よくガス化することができる。また、加熱設備の新規導入が不要となり、コストを増加させないようにすることができる。

[0052] また、定圧比熱に基づき取り出しを行う位置（取り出し位置 33）を決定するので、例えば、定圧比熱が低い熱交換器 30 の位置からガス化原料を取り出すことで、熱交換効率を確実に向上させることができる。

[0053] また、低温区域 71 と中温区域 72 の境界部からガス化原料を取り出し、これを中温区域 72 と高温区域 73 の境界部に戻しているため、熱交換効率が低い中温区域 72 を流通させずにガス化原料を確実に昇温させることができ、これによりガス化を効率よく行うことができる。

[0054] 以上の実施形態の説明は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定するものではない。本発明はその趣旨を逸脱することなく、変

更、改良され得ると共に本発明にはその等価物が含まれる。

[0055] 例えば、本実施形態では、熱交換器 30 として二重管式熱交換器を取り上げたが、対向流方式の熱交換器であれば他の種類の熱交換器であってもよい。

[0056] また、本実施形態では、取り出し位置 33 から取り出したガス化原料を加熱する手段として、既存設備である予熱器 40 を利用する方法を説明したが、新たに外部加熱手段（ヒーター等）を設けて加熱するようにしてもよい。

### 符号の説明

[0057] 1 調整タンク、2 破砕機、3 供給ポンプ、30 熱交換器、31 導入口、32 排出口、33 取り出し位置、34 返流位置、35 外部加熱手段、36 低温側流路、37 高温側流路、38 バイパス配管、39 余剰部分、40 予熱器、50 ガス化反応器、51 冷却器、52 減圧器、55 配管、60 気液分離器、61 ガスタンク、62 加熱器、63 加熱器、71 低温区域、72 中温区域、73 高温区域、74 曲面、100 ガス化システム

## 請求の範囲

- [請求項1]       ガス化原料が流れる低温側流路、及び前記ガス化原料と熱交換することにより前記ガス化原料を昇温する、超臨界状態の処理水が導入される高温側流路を備える対向流式熱交換器と、
- 前記対向流式熱交換器で昇温された前記ガス化原料を、加熱及び加圧することにより超臨界状態にしてガス化し、前記超臨界状態の処理水として排出するガス化反応器と、
- 前記ガス化反応器から排出された処理水を前記対向流式熱交換器に導く処理水流路と
- を含んで構成されるガス化システムであって、
- 前記ガス化原料を前記低温側流路に導入する原料導入手段と、
- 前記原料導入手段により導入された前記ガス化原料を前記低温側流路の途中から取り出し、取り出した前記ガス化原料を加熱し、加熱した前記ガス化原料を、取り出した位置よりも原料下流側の途中位置に戻す外部加熱手段と、
- を備えることを特徴とするガス化システム。
- [請求項2]       前記ガス化原料の定圧比熱の値に基づき前記取り出しを行う位置を決定し、決定した前記位置から前記ガス化原料を取り出すことを特徴とする請求項1に記載のガス化システム。
- [請求項3]       前記取り出しを行う位置における前記水の定圧比熱が  $10 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$  以上であることを特徴とする請求項1又は2のいずれか一項に記載のガス化システム。
- [請求項4]       前記低温側流路は、前記ガス化原料導入手段により導入された前記ガス化原料の温度が上昇していく低温区域と、前記低温区域を通過した前記ガス化原料の温度が再び上昇する高温区域とを含んで構成され、
- 前記外部加熱手段は、前記低温区域の高温端から前記ガス化原料を取り出し、また、前記ガス化原料を前記高温区域の低温端に戻す

ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載のガス化システム。

[請求項5] 前記外部加熱手段における加熱は、前記対向流式熱交換器で昇温された前記ガス化原料を予熱する予熱器において行われることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載のガス化システム。