

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5818393号  
(P5818393)

(45) 発行日 平成27年11月18日 (2015.11.18)

(24) 登録日 平成27年10月9日 (2015.10.9)

(51) Int. Cl.		F I			
<b>B O 1 D</b>	<b>5/00</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>B O 1 D</b>	<b>5/00</b>	<b>A</b>
<b>B O 1 D</b>	<b>1/28</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>B O 1 D</b>	<b>1/28</b>	
<b>C O 2 F</b>	<b>1/04</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>C O 2 F</b>	<b>1/04</b>	<b>G</b>

請求項の数 8 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2014-531904 (P2014-531904)  
 (86) (22) 出願日 平成24年9月18日 (2012.9.18)  
 (65) 公表番号 特表2014-531312 (P2014-531312A)  
 (43) 公表日 平成26年11月27日 (2014.11.27)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2012/055861  
 (87) 国際公開番号 W02013/043568  
 (87) 国際公開日 平成25年3月28日 (2013.3.28)  
 審査請求日 平成26年5月1日 (2014.5.1)  
 (31) 優先権主張番号 13/241,907  
 (32) 優先日 平成23年9月23日 (2011.9.23)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 13/548,166  
 (32) 優先日 平成24年7月12日 (2012.7.12)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 596060697  
 マサチューセッツ インスティテュート  
 オブ テクノロジー  
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州021  
 39ケンブリッジ, マサチューセッツ・ア  
 ヴェニュー・77  
 (73) 特許権者 514069230  
 キング ファハド ユニバーシティー オ  
 ブ ペトロリウム アンド ミネラルズ  
 King Fahd University of Petroleum & Mi  
 nerals  
 サウジアラビア王国 31261 ザフラ  
 ーン, ユニバーシティー ブールヴァール

早期審査対象出願

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 気泡塔蒸気混合物凝縮装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

蒸発可能成分を含む液体の供給源と、

搬送ガス入り口および搬送ガス出口と、前記液体の供給源に接続された液体入り口および液体出口と、前記液体入り口から導入された液体が、蒸気相状態の凝縮性流体を含有する搬送ガスと接触できるチャンバとを含む加湿装置であって、前記搬送ガスは、対向流構成で前記搬送ガス入り口から導入され、前記液体の一部が蒸発して前記搬送ガスに入り込む、加湿装置と、

少なくとも第1段および第2段を含む気泡塔蒸気混合物凝縮装置であって、当該気泡塔蒸気混合物凝縮装置の各段が、搬送ガス入り口と、搬送ガス出口と、前記搬送ガス入り口および前記搬送ガス出口と流体連通し液浴を収容するように構成されたチャンバとを含み、前記チャンバは、1未満の鉛直対水平寸法のアスペクト比を有し、当該気泡塔蒸気混合物凝縮装置の各段において、前記搬送ガス入り口は、前記搬送ガスが気泡化されて前記搬送ガス入り口から前記液浴中を上方に進んで前記液浴の静水頭に打ち勝つように、配置されるとともに、各段において、前記搬送ガス出口は、前記搬送ガスを抜き出すための開口を有するものとして、前記液浴の上方に配置され、前記第1段の搬送ガス入り口は、前記加湿装置の前記搬送ガス出口と流体連通し、前記第1段の前記搬送ガス出口は、前記第2段の前記搬送ガス入り口と流体連通し、前記第2段の前記搬送ガス出口は、前記加湿装置の前記搬送ガス入り口と流体連通して、前記加湿装置からの前記搬送ガスが、前記加湿装置に戻る前に、前記第1段の前記チャンバを通り、次いで、前記第2段の前記チャンバを

10

20

通って流れるようにする、気泡塔蒸気混合物凝縮装置と、

凝縮で発生したエネルギーを回収するために、前記液体の供給源から前記気泡塔蒸気混合物凝縮装置の各段の前記チャンバを通り抜ける導管と、

中間交換管であって、(a)前記気泡塔蒸気混合物凝縮装置の前記第1段と前記第2段との間で前記導管と接続され、(b)中間段で前記加湿装置のチャンバと接続されて、それらの間で前記液体を移送する中間交換管とを含むことを特徴とする加湿-除湿システム。

【請求項2】

請求項1に記載の加湿-除湿システムにおいて、前記気泡塔凝縮装置の前記第1および第2段の前記チャンバを満たす、液相状態にある前記液体の蒸発可能成分の浴をさらに含むことを特徴とする加湿-除湿システム。

10

【請求項3】

請求項2に記載の加湿-除湿システムにおいて、前記液体内に前記搬送ガスの気泡を発生させるために、各段の前記入り口と接続された気泡発生器をさらに含むことを特徴とする加湿-除湿システム。

【請求項4】

請求項1に記載の加湿-除湿システムにおいて、前記液体は水を含むことを特徴とする加湿-除湿システム。

【請求項5】

請求項1に記載の加湿-除湿システムにおいて、前記液浴を収容するように構成された前記チャンバは、垂直方向に対して角度をなすことを特徴とする加湿-除湿システム。

20

【請求項6】

請求項1に記載の加湿-除湿システムにおいて、前記導管から延びる面をさらに含み、前記面は、前記導管と前記チャンバ内の液体との間の熱伝達率を高くするように構成されていることを特徴とする加湿-除湿システム。

【請求項7】

請求項3に記載の加湿-除湿システムにおいて、前記気泡発生器は、(a)ふるいプレート、ならびに(b)放射状型、リング型、蜘蛛型、およびホイール型スパージャから選択されることを特徴とする加湿-除湿システム。

【請求項8】

30

請求項2に記載の加湿-除湿システムにおいて、前記第1段内の浴は、前記第2段内の浴よりも少なくとも5℃暖かいことを特徴とする加湿-除湿システム。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

今世紀において、人類にとっての世界的な関心事として、真水不足がエネルギー不足を上回り、これら2つの難題は、The Economistから2010年5月20日に発行された「Special Report on Water」に説明されているように否応なくつながっている。真水は、人間および他の有機体の最も基本的な必需品の1つであり、各人は、1日当たり最低限約2リットルを消費しなければならない。世界はまた、農業および工業プロセスからの大きな真水需要に直面している。

40

【0002】

不十分な水供給がもたらす被害は特に深刻である。真水の不足は、飢饉、病気、死、強制集団移動、中間領域紛争/戦争、および生態系の破壊を含む様々な危機をもたらすことがある。真水に対する需要の緊急性、および不足から生じる深刻な結果にもかかわらず、真水の供給には特に制約がある。地球上の水の97.5%は塩を含み、地球上のすべての水のうちのごくわずかを利用可能な(塩分のない)真水として残して、残りの約70%は氷(主に氷冠および氷河)として閉じ込められている。

【0003】

さらに、塩分を含まない利用可能な地球の水は均等に分布していない。例えば、インド

50

および中国などの大人口の国では、供給が不足がちな多くの地域がある。さらに、真水の供給は、多くの場合季節によって異なる。一方、真水に対する需要に対しては世界全体で制限が厳しくなっている。貯水池は干上がり、帯水層は下がり、川は枯渇し、氷河および氷冠は縮小している。農業の変化および工業化の高まりと同様に、人口の増加によっても需要が増えている。気候の変化は、多くの地域にさらに大きな脅威をもたらしている。その結果、水不足に直面する人々の数は増加しつつある。しかし、自然に存在する真水は、通常、地方の河川流域に限定され、水の輸送は費用がかかり、エネルギー集約的である。

#### 【 0 0 0 4 】

他方で、海水から（または、わずかではあるが汽水から）真水を生成する既存のプロセスの多くでは、多量のエネルギーが必要である。逆浸透（RO）は、現在のところ先端の脱塩技術である。大規模プラントでは、必要とされる具体的な電力は、理論的最小値約  $1 \text{ kWh} / \text{m}^3$  と比較して、30%の回収率で  $4 \text{ kWh} / \text{m}^3$  程度に低くすることができ、（例えば、船上の）より小規模なROシステムでは効率がより低い。

#### 【 0 0 0 5 】

他の既存の海水脱塩システムには、熱エネルギーベースの多段フラッシュ（MSF）蒸留、および多重効用蒸留（MED）があり、これらは共に、エネルギー集約型および資本集約型のプロセスである。しかし、MSFおよびMEDシステムでは、最大塩水温度および熱入力の最大温度が、熱伝達装置上での硬質スケールの形成につながる硫酸カルシウムの析出を回避するために限定される。

#### 【 0 0 0 6 】

加湿 - 除湿（HDH）脱塩システムは、それらの主要構成要素として加湿装置および除湿装置を含み、熱源と塩水との間でエネルギーを伝達するために搬送ガス（例えば、空気）を使用する。加湿装置において、高温の海水が乾燥空気と直接接触し、この空気は、加熱および加湿される。加熱および加湿された空気は、除湿装置において、低温の海水と（間接的に）接触して除湿され、純水および除湿された空気が生成される。本発明者の一部は、水を浄化するためのHDHプロセスに関する補足説明を含む次の特許出願、すなわち、2009年9月4日出願された米国特許出願第12/554,726号明細書（代理人整理番号mit-13607）、2009年10月5日出願された米国特許出願第12/573,221号明細書（代理人整理番号mit-13622）、および2011年2月15日出願された米国特許出願第13/028,170号明細書（代理人整理番号mit-14295）の発明者でもあった。

#### 【 0 0 0 7 】

米国特許第6,919,000B2号明細書に記載されているフロリダ大学による手法は、標準の間接接触式除湿装置の代わりに直接接触式凝縮装置を使用することで、非凝縮性のガスに関する熱抵抗を低くした。この方法は、除湿装置に流入した高湿度空気からのエネルギーが、海水を予熱するために直接回収されることがないので、エネルギー効率を犠牲にして凝縮装置内の熱伝達率を上げている。したがって、除湿装置のコストは下がるが、エネルギーコストが上がる。

#### 【発明の概要】

#### 【 0 0 0 8 】

単一段および多段気泡塔蒸気混合物凝縮装置（本明細書の他の部分では単に凝縮装置と称する）およびその動作が本明細書で説明される。装置および方法の様々な実施形態は、下記に説明する要素、特徴、およびステップの一部またはすべてを含むことができる。

#### 【 0 0 0 9 】

多段気泡塔凝縮装置では、流体源は、凝縮性流体を含む搬送ガス流を供給する。多段凝縮装置は、少なくとも、第1段および第2段を含み、各段は、入り口、出口、ならびに入り口および出口と流体連通するチャンパを含む。気泡塔凝縮装置の第1段の入り口は流体源に接続され、第1段の出口は、第2段の入り口と流体連通して、流体源からの搬送ガス流の流れが第1段のチャンパを通り、次いで第2段のチャンパを通るのを容易にする。液相状態の凝縮性流体は、搬送ガス流が各段の入り口から出口まで進むときに、搬送ガス流

に対して静止しているか、また逆流している液体と直接接触して通過するように第 1 段および第 2 段のチャンバを満たす。

【 0 0 1 0 】

装置および方法を使用して、以前の手法と比較して大幅にコストを削減できるコスト効率の高い態様で、液体混合物（海水、汽水、および廃水を含むがそれらに限定されない）から純水を分離することができる。装置および方法の実施形態は、多数の利点をもたらすことができる。第 1 に、公開文献に記載された気泡塔に関するデータに基づくと、多段気泡塔凝縮装置の熱伝達係数は、 $7 \text{ kW} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$  であると推定される（すなわち、現在の最高水準よりも少なくとも 1 桁大きい）。この熱伝達係数は、水蒸気の膜状凝縮よりも大きくないとしてもそれに匹敵する。第 2 に、新規の多段化技術を使用して、高いエネルギー回収率を維持することができる。第 3 に、熱回収率をさらに上げるために、装置および方法に多重抽出を採用することができる。第 4 に、エネルギーコストおよび装置コストが共に下がるので、システムの全体コストが下がる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 1 】

【図 1】図 1 は、単一段気泡塔凝縮装置の断面図である。

【図 2】図 2 は、多段気泡塔凝縮装置を含む加湿 - 除湿式水浄化システムの実施形態の概略図である。

【図 3】図 3 は、多段気泡塔凝縮装置の塔全体にわたる温度分布を気泡塔の上部からプロットしている。

【図 4】図 4 は、単一段気泡塔凝縮装置の温度分布を気泡塔の上部からプロットしている。

【図 5】図 5 は、多段気泡塔凝縮装置を含む多重抽出加湿 - 除湿式水浄化システムの実施形態の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 2 】

添付図面において、同じ参照記号は様々な図を通じて同じか、または同様な部品を指し、アポストロフィは、同じ参照数字を共用する同じ、または同様な物品の複数の例を区別するために使用されている。図面は必ずしも一定の縮尺ではなく、代わりに、下記に説明する特定の原理を示すことに重点を置かれている。

【 0 0 1 3 】

本発明（1 つまたは複数）の様々な態様の前述および他の特徴ならびに利点が、以下の、様々な概念のより詳細な説明と、本発明（1 つまたは複数）のより広い範囲内の特定の実施形態とから明らかになるであろう。上記に提示し、下記にさらに詳細に説明する主題の様々な態様は、その主題が任意で特定の実施の態様に限定されないのと同様に、任意の様々な方法で実施することができる。特定の実施例および応用例が主に説明目的で提示される。

【 0 0 1 4 】

本明細書において、別途定義されるか、使用されるか、または特徴付けされない限り、本明細書で使用される用語（技術および科学用語を含む）は、関連技術に照らしてそれらの許容される意味と一貫性のある意味を持つと解釈すべきであり、本明細書で明示的に定義されない限り、理想化した、または過度に画一的な意味に解釈すべきでない。例えば、特定の組成について言及する場合、その組成は、實際上、完全ではないが実質的に純粋なものとすることができ、現実には不完全なものが適用されてよく、例えば、少なくとも微量不純物（例えば、重量 % または体積 % で 1 % または 2 % 未満）が存在し得ることは、本明細書の適用範囲内であると考えることができ、同様に、特定の形状について言及する場合、その形状は、例えば、機械加工公差により、理想的な形状から外れたばらつきがあることを意図される。

【 0 0 1 5 】

第 1、第 2、第 3 などの用語は、本明細書において様々な要素を説明するために使用する

10

20

30

40

50

ることができるが、これらの要素は、これらの用語によって限定されるものではない。これらの用語は、単に、１つの要素を他から区別するために使用される。したがって、下記に説明する第１の要素は、例示的な実施形態の教示から逸脱することなく、第２の要素と名付けることができる。

#### 【００１６】

「上に」「下に」「左に」「右に」「前に」「後ろに」などの空間的な相対用語は、図に示す１つの要素と他の要素との関係を説明する記述を容易にするために本明細書で使用する。当然のことながら、空間的な相対用語および図示した構成は、本明細書で説明する、および図に示す向きに加えて、使用時または運転時の装置の様々な向きを包含することを意図されている。例えば、図の装置が反転された場合、他の要素または部分の「下に」または「真下に」と説明された要素は、他の要素または部分の「上に」配置される。したがって、例示的な用語「上に」は、上および下の向きを両方包含することができる。装置は、それ以外に向きを合わせることができ（例えば、 $90^\circ$  または他の向きに回転される）、本明細書で使用される空間的相対記述子は適宜解釈される。

10

#### 【００１７】

さらに、本開示において、要素が他の要素に「接する」、「接続される」、または「つながられる」と称される場合、別途指定されない限り、要素は、他の要素に直接的に接するか、接続されるか、またはつながられてよいし、あるいは介在要素が存在してもよい。

#### 【００１８】

本明細書で使用される用語は、特定の実施形態を説明するためのものであり、例示的な実施形態を限定することを意図されるものではない。本明細書において、「１つの」などの単数形は、文脈により別途示されない限り、複数形も含むことを意図されている。さらに、「含む」、および「含むこと」という用語は、決まった要素またはステップの存在を示すが、１つまたは複数の他の要素またはステップの存在または追加を排除するものではない。

20

#### 【００１９】

非凝縮性ガスが存在することで、低温表面上の水蒸気の膜状凝縮に係わる熱抵抗が劇的に増大することがある。典型的なモル分率（約 70 %）の空気（非凝縮性ガス）が加湿 - 除湿システムの除湿装置（凝縮装置）に存在する場合、熱伝達係数が、（多重効果蒸留および多段フラッシュシステムにおける）純粋な水蒸気凝縮の場合の熱伝達係数の  $1/100$  程度に小さくなる可能性がある。絶対値では、熱伝達係数は、 $10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  程度に小さくなる可能性がある。したがって、非凝縮性ガスに関する熱抵抗を小さくし、それと同時に、背景技術に記した、本発明者の以前の特許出願に記載した方法がもたらすエネルギーの有益な向上を維持することは有益である。

30

#### 【００２０】

単一段気泡塔凝縮装置 12 の実施形態の断面図が図 1 に提示されている。気泡塔 14 は、液体 15（例えば、この実施形態では蒸留水）の浴を内包する。液体 15 は、気泡塔チャンバ内の気泡発生器 44 に支持されている。ガスチャンバ 17、19 は、それぞれ液体の下と上に配置されている。液体の下チャンバ 17 は、湿り搬送ガスが、コンプレッサ/送風機 34 によって導管 32' から圧送されて、気泡発生器 44 のオリフィスを通り、液体 15 中に気泡 21 の形態で入るのを可能にするが、下側チャンバ 17 は、気泡発生器 44 が、搬送ガスを圧送するための有孔パイプ網を含む場合に削除することができる。流体源（例えば、海水）と接続されたチューブコイル 20 は、凝縮装置 12 内の水 15 中を蛇行して、チャンバ内の水 15 から、チューブコイル 20 を通って送られる海水への熱伝達を可能にする。したがって、冷たい流体が左下からチューブコイル 20 に流入し、加熱された流体として右上から出ていく。液体 15 中を通った後、乾燥した搬送ガスは、チャンバの上部のガスチャンバ 19 に集まり、ガス管 32'' を通って排出される。

40

#### 【００２１】

気泡発生器 44 は、例えば、1.25 m の直径を有することができ、ほぼ同じ直径の気泡を発生させるために、例えば、1 mm の直径をそれぞれが有する複数のオリフィスを有

50

することができる。気泡発生器 44 は、例えば、ふるいプレートの形態をとることができ、搬送ガスは、ふるいプレートのオリフィスを通して圧送される。あるいは、気泡発生器 44 は、搬送ガスを分散させるための有孔パイプを有するスパージャの形態をとることができ、スパージャは、中央管から延びることができる有孔パイプから気泡を分散させる。スパージャの有孔パイプは、例えば、放射状型、多重同心リング型、蜘蛛の巣状型、またはハブおよびスポークホイール型構成の有孔パイプであることを特徴とすることができ、搬送ガスは、外部供給源から有孔パイプを通して圧送される。

#### 【0022】

気泡塔のすべての構成要素（例えば、すべての壁および気泡発生器は、垂直方向に対して（例えば、地球の中心を通る半径に沿った軸に対して） $0^{\circ} \sim 60^{\circ}$  の、垂直方向に対する角度をなすように向けることができる。気泡塔 14 は斜めに向けられるので、静水頭が  $gH$  から  $gH \cdot (\cos \theta)$  に低下し、ここで、 $\rho$  は密度 ( $\text{kg/m}^3$ )、 $g$  は重力加速度 ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )、 $h$  は塔内の液体の高さである。静水頭のこの低下は、流体圧力が最大で 50% 降下する低下となる。一方、この圧力降下は、より大きい角度 ( $> 45^{\circ}$ ) において、流体側の熱伝達係数の低下を伴う。これは、より大きい角度において、液体の循環が正規の態様に設定されないためである。ただし、設計を最適化した場合、圧力降下がより小さい、傾斜した構成により、エネルギーコストを大幅に節減することができる。

#### 【0023】

加湿 - 除湿 (H D H) 水浄化器システム 10 の多段気泡塔凝縮装置の実施形態が図 2 に示されており、除湿装置は、湿り搬送ガス（例えば、湿り空気）を除湿し、液体真水を効率的に生成するのに、（従来の H D H システムで一般的な）間接接触熱交換器を使用しない多段気泡塔蒸気混合物凝縮装置（「バブラ」とも呼ばれる）12 とされる。搬送ガスは、加湿装置 24 において液体組成物（例えば、海水または廃水）の蒸発水で加湿され、次いで、搬送ガスに混入した水蒸気は、導管 32' を介して気泡塔凝縮装置 12 に移送され、湿り空気内の水は、気泡塔凝縮装置において凝縮されて、塩分を含まない（すなわち、実質的に純粋な）水が生成される。

#### 【0024】

液体組成物（例えば、海水）は、供給源 16（例えば、タンク）から供給され、供給源 16 と気泡塔凝縮装置 12 との間で導管 18 に取り付けることができるポンプ 36 によってシステムを循環する。液体組成物は、各段 14 に取り付けられた内部管 20 を通って凝縮装置 12 の各段 14 を通過し、各段 14 の構造は、図 1 の単一段気泡塔の構造と実質的に同じにすることができる。この実施形態では、液体組成物を予熱するために、液体組成物を隣接する外部管 18 に通して段 14 間を通過させている。内部管 20 は、段 14 内の液体から、チューブコイル 20 を通る液体組成物への熱伝達を増大させるために、（図 2 に示すように）導管 20 から延びる熱伝導性の面（例えば、フィン）23 を有することができる。気泡塔凝縮装置 12 の底部（第 1）段 14' の内部チューブコイル 20 を出た後、液体組成物は、さらなる導管 18 を通ってヒータ 22（例えば、太陽水ヒータ、または廃熱源）に進み、ヒータ 22 は、液体組成物が加湿装置 24 に通され、ノズル 26 から霧化および散布される前に、液体組成物を（例えば、 $80^{\circ}\text{C}$  まで）さらに加熱する。

#### 【0025】

加湿装置の内部には、ガス流れを容易にし、搬送ガスと接触する液体表面積を拡大して、蒸発可能な液体のうちの、蒸発して搬送ガスに進入する部分を増やすために、例えば、ポリ塩化ビニル (PVC) 充填材の形態の充填材料 28 が設けられている。加湿装置 24（および除湿装置 12、さらには導管 18, 32）の本体は、例えば、ステンレス鋼で形成することができ、実質的に蒸気不透過性である。一実施形態において、加湿装置 24 は、高さ約 2.5 m、半径約 0.5 m の略円筒形である。

#### 【0026】

加湿装置 24 および除湿装置 12 は、共にモジュール構造であり（すなわち、それぞれ独立および分離した装置の形態をとる）、実質的に互いから断熱されている。加湿装置 2

10

20

30

40

50

4 および除湿装置 1 2 の「実質的に断熱された」とした特性化とは、質量流量がチャンバ間で（ガスおよび／または液体流れを通じて）熱エネルギーを伝達するのを排除しないが、加湿装置 2 4 と除湿装置 1 2 との間で装置を通じて直接伝導する熱エネルギー伝達がほとんどないか、または全くないように構造化されることと解釈すべきである。この「実質的な断熱」とした特性化により、本装置は、例えば、加湿装置と除湿装置との間に共有熱伝達壁を含む結露蒸発（dew vaporation）装置と区別される。本開示の装置では、加圧装置 2 4 および除湿装置 1 2 は、それらの間の伝導性熱伝達を容易にする任意の共通壁を共有する必要がない。

【0027】

搬送ガスは、導管 3 2 ' ' ' ' のポートから導管 3 2 ' のポートに向かって、加湿器 2 4 によって画定されるチャンバを上方に流れ、蒸発液体の含有量がより多くなった状態で加湿装置を出る。搬送ガスの加湿は、加湿器 2 4 の上部にある 1 つまたは複数のノズル 2 6 から液体組成物を下方に噴霧して、充填材料 2 8 を含む領域に通すことで行われ、液体組成物内の水の一部は蒸発し、一方、液体組成物の未蒸発残留物（例えば、塩水）は、加湿装置 2 4 によって画定されるチャンバのベース部に向かって降水領域を下方に流れ、この塩水は、導管 1 8 を通って塩水収集タンク 3 0 に排出される。それと同時に、搬送ガスは、加湿装置 2 4 を通って上方に移動し、液体組成物から蒸発した水蒸気で搬送ガスを加湿するために、特に、充填材料 2 8 の層内で液体組成物と接触する。その結果、搬送ガスは、導管 3 2 ' を介して加湿装置 2 4 から回収される前に水蒸気で飽和し、コンプレッサ / 送風機 3 4 によって圧送されて、多段気泡塔凝縮装置 1 2 の第 1 段 1 4 ' の入り口を通り抜けることができる。特定の実施形態では、搬送ガスが除湿装置 1 2 に圧送される前に、搬送ガスを加熱および／または圧縮するために、空気ヒータおよび／または空気コンプレッサもしくは熱蒸気コンプレッサを導管 3 2 ' に取り付けることができる。空気コンプレッサまたは熱蒸気コンプレッサが導管 3 2 ' に取り付けられる場合、称賛空気膨張装置を導管 3 2 ' ' ' ' に取り付けて、搬送ガスが循環して加湿装置 2 4 に戻るときに搬送ガスを膨張させることができる。他の実施形態では、操作性を考慮して、コンプレッサ / 送風機 3 4 を加湿装置 2 4 につながった導管 3 2 ' ' ' ' に配置することができる。

【0028】

除湿装置 1 2 内のチューブコイル 2 0 を海水が流れることにより、凝縮プロセス中に熱を直接回収して、液体組成物（例えば、この実施形態では海水）を予熱することが確実に可能になる。気泡塔凝縮装置 1 2 は、液体（例えば、蒸留水）浴でそれぞれが満たされた複数の段 1 4 を含み、湿った高温搬送ガスは、コンプレッサ / 送風機 3 4 と、気泡を浴に注入する（または気泡が浴に注入されるための）気泡発生器 4 4 とを使用して液体浴に通される。

【0029】

加湿装置（蒸発装置）2 4 から送出された、高温水蒸気を含む搬送ガスは、加湿装置 2 4 の上部から延びる導管 3 2 ' を（例えば、温度 7 0 ° で）通り、気泡化されて除湿装置 1 2 の各段 1 4 を通り、除湿装置 1 2 において冷却および除湿される。搬送ガスは、各段 1 4 の上部に集まり、各段 1 4 の上の出口から導管 3 2 を介して次の段 1 4 の入り口に入ってこれを通り抜け、搬送ガスの気泡を発生させる気泡発生器 4 4 を通り、次いで、搬送ガスの気泡が段 1 4 内の蒸留水を通り抜け、次いで、搬送ガスが塔の上部で再度収集される。このプロセスは、各次の塔で順次繰り返される。

【0030】

この除湿装置 1 2 の圧力降下が小さいことで、圧送力を小さく維持することができ、それにより、経済的に実現可能なシステムが可能になる。低い圧送力を維持することにこのように焦点を当てることは、主な関心が熱および質量の伝達であり、圧力降下が大きな設計上の制約であり得ない化学業界の多くの気泡塔と対照的である。各段 1 4 の気泡チャンバの圧力降下は、主に次の 3 つの要因、すなわち、（1）気泡が生成される気泡発生器 4 4 での水頭損失と、（2）気泡が液体中を上昇するときの搬送ガスと蒸留水との間の摩擦と、（3）静水頭と、により発生する。静水頭は、所与の段 1 4 全体にわたる全圧力降下

10

20

30

40

50

に対する最大の関与要因であるので、（各図に示す向きで垂直方向に測定した）各段 1 4 の高さを低く保つのが有利である。1 k P a 未満の圧力降下を達成するには、例えば、すべての段 1 4 の全高は総計して約 1 m 未満である。通常、この高さの制約が、低いアスペクト比の気泡塔の形態となって表れ、（図示した向きにおいて水平方向に測定した）直径に対する塔高さの比率は 1 未満である。特定の実施形態では、塔の直径は 0 . 5 ~ 1 m であり、一方、塔の高さは 0 . 0 . 5 ~ 0 . 1 m である（塔のアスペクト比は約 0 . 1 ）。

#### 【 0 0 3 1 】

搬送ガスの温度は、搬送ガスが各段 1 4 の液浴によって冷却されるために、加湿装置 1 2 内の各段から 1 4 次の段までに少なくとも 5 度 降下し得る。例えば、第 1 段 1 4 ' の出口から入り口第 2 段 1 4 ' ' までの導管 3 2 ' ' 内において、搬送ガスは、温度が、例えば、約 6 0 度 であり得るが、第 2 段 1 4 ' ' の出口から第 3 段 1 4 ' ' ' の入り口までの導管 3 2 ' ' ' 内の搬送ガスは、温度が、例えば、約 5 0 度 に低下し得る。搬送ガスが、上部管 3 2 ' ' ' ' を通って気泡塔凝縮装置 1 2 から出ると、搬送ガスは循環して（蒸発可能な液体の含有量が減った状態で）加湿装置 2 4 の底部に戻り、その温度は、例えば、約 3 0 度 までさらに低下し得る。プロセス開始時の最初の過渡期に、高温高湿の搬送ガス内の水蒸気は、潜熱を（自然循環ループが確立された）各段 1 4 内の水に伝達し、最終的には、定常状態で水段 1 4 の混合平均温度になる。定常状態になると、凝縮熱は、巻きチューブ 2 0 を通って送られた海水によって直接抽出される。こうして、直接的な熱回収が達成される。

#### 【 0 0 3 2 】

凝縮される蒸気が水である場合に、各段 1 4 の搬送ガスを除湿することで、搬送ガスから、搬送ガスが気泡化されて通り抜ける蒸留水に水が放出される。（搬送ガスの除湿によって得られた水の増加分に等しい）水が、各段 1 4 から導管 3 8 を通って純水収集タンク 4 0 に排出される。あるいは、液体（例えば、水）は、第 3 段 1 4 ' ' ' の浴から導管を介して抽出されて、温度が低い方の第 2 段 1 4 ' ' を通過し、第 2 段 1 4 ' ' から別の導管を介して抽出されて、温度がさらに低い第 1 段 1 4 ' を通過することができ、第 1 段 1 4 ' からの液体は、最終的に生成物として多段気泡塔凝縮装置 1 2 から抽出される。

#### 【 0 0 3 3 】

単一段 / 塔 1 4 を使用することができるが、気泡塔凝縮装置 1 2 で複数の段を使用することで、（搬送ガス入り口の温度である）可能な限りの最大値に向かって海水が予熱される温度が押し上げられる。この多段化の効果は、（図 3 に示す）多段気泡塔凝縮装置および（図 4 に示す）単一段気泡塔凝縮装置の温度分布から明瞭に理解でき、海水出口温度は、図 3 に示す多段気泡塔凝縮装置のプロットの方が遙かに高いのが分かる。図 3 のプロットした各水平部分 4 6（約 3 0 8 K）、4 8（約 3 1 8 K）、5 0（約 3 2 7 K）、5 2（約 3 3 5 K）、5 4（約 3 4 2 K）、5 6（約 3 4 8 K）は、6 段気泡塔凝縮装置のそれぞれの塔 / 段 1 4 内の温度を示し、グラフの水平軸は、気泡塔凝縮装置 1 2 の上部から底部までの無次元距離を示す（すなわち、参照線 4 6 は、最上段 1 4 の温度を示す）。斜め線 5 8 は、海水が気泡塔凝縮装置 1 2 を流れるときの海水の温度を気泡塔凝縮装置 1 2 の上部からの距離の関数として示している。その一方で、（図 4 に示す）単一段気泡塔凝縮装置の温度 6 0 は、気泡塔凝縮装置全体にわたってほぼ一定（3 2 3 K）であり、入り口および出口の搬送ガス温度の平均とほぼ等しいことが分かる。

#### 【 0 0 3 4 】

さらに、多段気泡塔凝縮装置 1 2 は、図 5 に示すように、中間交換管 4 2 を介した気泡塔段の中間部からの海水の抽出 / 注入を可能にするという直接的な利益をもたらし、中間交換管 4 2 は、3 段気泡塔凝縮装置システムの第 1 段 1 4 ' と第 2 段 1 4 ' ' との間、および第 2 段 1 4 ' ' と第 3 段 1 4 ' ' ' との間で気泡塔凝縮装置 1 2 に接続される。塩水は、加湿装置 2 4 のチャンバの中間段でそれぞれの中間トレイ 4 3 '、4 3 ' ' 内に収集されて、外部管 1 8 に注入され、海水は、外部管 1 8 を通って、それぞれ段 1 4 ' と段 1 4 ' ' との間、および段 1 4 ' ' と段 1 4 ' ' ' との間を流れる。他の実施形態では、注入 / 抽出の方向は、運転の状態に応じて逆転することができる（例えば、塩水を凝縮装置



12から抽出し、加湿装置24に注入することができる)。そのような抽出により、熱力学的にバランスのとれたシステムの構築が可能になる。さらなる実施形態では、塩水を抽出/注入する代わりに、湿り搬送ガスを抽出/注入することができる。(図5に示すものなどの)本明細書で説明した装置は、気泡塔凝縮装置のより高い熱伝達係数とより低い端末温度差とにより、除湿および除湿の効率に関して優れた性能を示すことができる。

【0035】

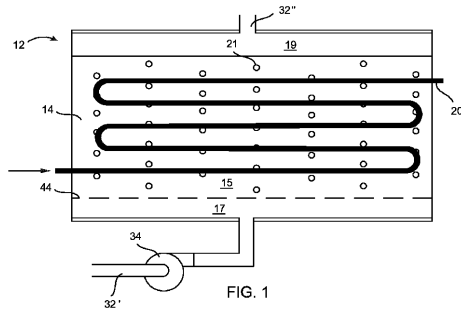
本発明の実施形態を説明する上で、明瞭にするために特定の用語を使用した。説明において、特定の用語は、同様の結果を達成するために同様の態様で動作する技術的および機能上の等価物を少なくとも含むことを意図されている。さらに、一部の例において、本発明の特定の実施形態が複数のシステム要素または方法ステップを含む場合に、これらの要素およびステップは、単一の要素またはステップで置き換えることができ、同様に、単一の要素またはステップは、同じ目的を果たす複数の要素またはステップで置き換えることができる。さらに、様々な特性のパラメータが、本発明の実施形態に対して本明細書で指定される場合に、これらのパラメータは、別途指定されない限り、1/100、1/50倍、1/20、1/10、1/5、1/3、1/2、2/3、3/4、4/5、9/10、19/20、49/50、99/100などだけ(または1倍、2倍、3倍、4倍、5倍、6倍、8倍、10倍、20倍、50倍、100倍だけ大きく)、または丸めたそれらの近似値で上下に調整することができる。さらに、本発明が本発明の特定の実施形態に関連して図示および説明されたが、本発明の範囲から逸脱することなく、基本形態および細部にわたって様々な代用および変更を行うことができると当業者には分かるであろう(例えば、凝縮液は、水以外の組成物とすることができ、より多い、またはより少ない段を気泡塔凝縮装置で使用することができ、これらの段の構成は容易に変更することができる)。さらに、他の態様、機能、および利点も本発明の範囲内であり、本発明のすべての実施形態は、必ずしもすべての利点を達成する必要はないし、または上記の特徴のすべてをもつ必要もない。加えて、一実施形態に関連して本明細書で説明したステップ、要素、および特徴は、他の実施形態において同様に使用することができる。引用テキスト、雑誌論文、特許、特許出願などを含む、本文全体にわたって引用した参考文献の内容は、参照によりその全体を本明細書に援用するものとし、これらの参考文献からの適切な構成要素、ステップ、および特性化は、任意選択で本発明の実施形態に含まれることがあるし、または含まれないこともある。さらに、背景技術の項で特定した構成要素およびステップは本開示に不可欠であり、本開示の他の部分で説明した構成要素およびステップと共に、またはその構成要素およびステップの代わりに、本発明の範囲内で使用することができる。方法の請求項では、段階は、参照を容易にするために順次付加された前置き文字と共に、または前置き文字なしに、特定の順番で列挙され、段階は、別途指定されない限り、または用語および言い回しによって示唆されない限り、段階が列挙された順番に時間的に限定されると解釈すべきでない。

10

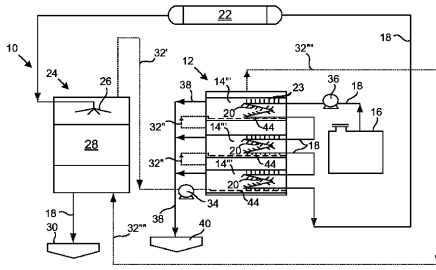
20

30

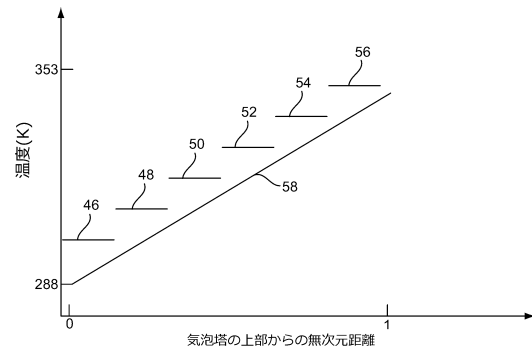
【図 1】



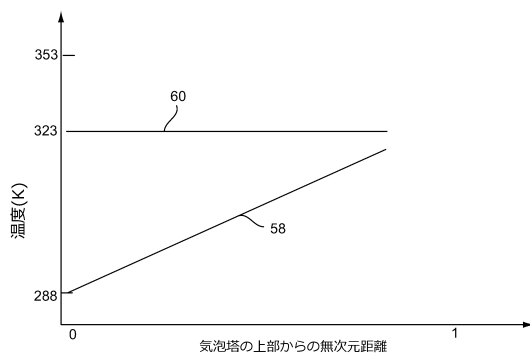
【図 2】



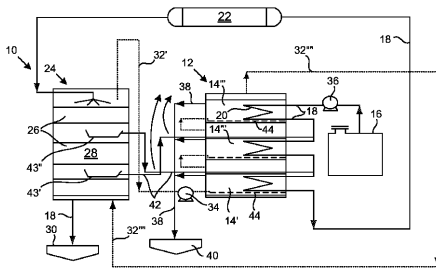
【図 3】



【図 4】



【図 5】



## フロントページの続き

## 前置審査

(74)代理人 110001302

特許業務法人北青山インターナショナル

(72)発明者 ゴヴィンダン, プラカシュ

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 02139, ケンブリッジ, マサチューセッツアヴェニュー  
77, マサチューセッツ インスティテュート オブ テクノロジー

(72)発明者 ティール, グレゴリー

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 02139, ケンブリッジ, マサチューセッツアヴェニュー  
77, マサチューセッツ インスティテュート オブ テクノロジー

(72)発明者 マクガヴァン, ロナン

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 02139, ケンブリッジ, マサチューセッツアヴェニュー  
77, マサチューセッツ インスティテュート オブ テクノロジー

(72)発明者 リーンハルト, ジョン

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 02139, ケンブリッジ, マサチューセッツアヴェニュー  
77, マサチューセッツ インスティテュート オブ テクノロジー

(72)発明者 エルシャルカウイ, モスタファ

サウジアラビア王国 31261 ザフラーン, ケイエフユーピーエム コムパウンド, ハウス  
#5283

審査官 山本 吾一

(56)参考文献 特開昭49-030270(JP, A)

実開平03-054703(JP, U)

特開2006-312134(JP, A)

実開昭49-75935(JP, U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B01D 1/00 - 5/00

C02F 1/00

B01D 53/14