

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2009-532207
(P2009-532207A)

(43) 公表日 平成21年9月10日(2009.9.10)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード(参考)
C O 2 F 1/22 (2006.01) C O 2 F 1/22 D 4 D 0 3 7

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 61 頁)

(21) 出願番号 特願2009-504250 (P2009-504250)
 (86) (22) 出願日 平成19年3月30日 (2007. 3. 30)
 (85) 翻訳文提出日 平成20年11月11日 (2008. 11. 11)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2007/008183
 (87) 国際公開番号 W02007/120525
 (87) 国際公開日 平成19年10月25日 (2007. 10. 25)
 (31) 優先権主張番号 60/789, 415
 (32) 優先日 平成18年4月5日 (2006. 4. 5)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 60/794, 190
 (32) 優先日 平成18年4月21日 (2006. 4. 21)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 60/832, 777
 (32) 優先日 平成18年7月24日 (2006. 7. 24)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

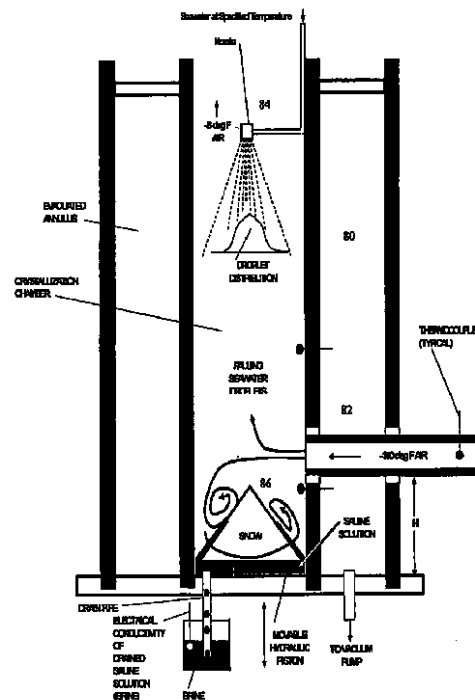
(71) 出願人 504133590
 エニス、ベン エム、
 アメリカ合衆国、ネバダ州 89052、
 ヘンダーソン、パニニ ドライブ 123
 1
 (71) 出願人 505199463
 リーバーマン、ポール
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州 90
 503-1121、トーランス、マイルド
 レッド アベニュー 19815
 (74) 代理人 100101281
 弁理士 辻永 和徳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧縮空気エネルギー・システムを使用する脱塩方法およびシステム

(57) 【要約】

本発明は脱塩方法および冷凍結晶化技術を使用したシステムに関し、冷凍温度のソースとして圧縮空気エネルギーを使用することを含む。ターボ・エキスパンダーにより圧縮空気が解放されたときに、冷却空気が副生物として生成され、該冷却空気が結晶化室に導入される。海水小滴のスプレー雲が室へ射出され、室壁の熱交換器で予め冷却され、循環され、室内の冷却空気に暴露される。小滴のサイズは変化することができるが、好ましくは相対温度、スプレーおよび冷却空気の流れおよびスピードとともに予め決定され、冷却空気内を小滴が循環される時に、および室の底に沈降するときに、それらが共晶温度よりも若干高い温度であるようにする。この方法により、室の底に形成された氷/雪塊は、凍結された氷晶からなり、残余は塩水ブラインであり、それは塊を流れ落ちることができ、側面から、または塊の中の通路又は空間を通して排出されることできる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

以下を含む、海水を脱塩するためのシステム：

空気を圧縮するための圧縮機；

冷却空気を共 - 生成するために圧縮空気を拡張するためのエキスパンダー；

それを通して海水を室内へスプレーできる少なくとも 1 つのノズルを有する室であって、室の内部にはエキスパンダーからの冷却空気が導入でき、そこでは冷却空気への海水の暴露は、純水から成る氷粒子状物質を室内で形成できる室；

室から氷粒子状物質を取り除くのを支援する装置であって、海水中の不純物から氷粒子状物質中の純水を分離するのを支援する装置。

10

【請求項 2】

下記の少なくとも 1 つを含む請求項 1 記載のシステム：

1) 圧縮空気がその内部に貯蔵されることを可能にするために提供される貯蔵タンク、ここでエキスパンダーが該タンクの内部の圧縮空気を解放し拡張し、冷却空気を生成するために提供される；

2) 圧縮空気がエキスパンダーによって解放される時に電気を生産するための発電機、ここで冷却空気は電気を生産する副産物として生産される；

3) サージタンク、ここで圧縮空気がエキスパンダーによって膨張される時に、それにより生産されたエネルギーはサージタンクへ導入できる付加的な圧縮空気エネルギーを生産する、別の圧縮機を運転するために使用される；

20

4) エクスパンダーによって膨張される前に、圧縮空気の温度を低減することを支援するための少なくとも 1 つの熱交換器；または

5) それらが互いと共同して作動することを可能にする、圧縮機およびエキスパンダーの間の少なくとも 1 つの共通のシャフト。

【請求項 3】

室へ導入された冷却空気の温度は海水のための共晶温度未満であり、氷粒子状物質が、塊の形で室の底に堆積されることが許容され、室の底の塊の温度は、海水のための共晶温度以上である、請求項 1 記載のシステム。

【請求項 4】

冷却空気の温度は華氏マイナス 135 度から華氏 175 度の間であり、氷粒子状物質の塊の温度は、華氏マイナス 6.2 度以上であり、海水中の不純物から成る液体のブラインは塊から流れ出ることができる、請求項 3 記載のシステム。

30

【請求項 5】

下記の少なくとも 1 つを含む、請求項 1 記載のシステム：

1) 海水が室内へ下方向へ上からスプレーでき、冷却空気は室の中を上向きに流れるように導入されるように適合されること；

2) 海水が室内へ下方向へ上からスプレーでき、冷却空気は室の中を下向きに、海水と同じ方向に流れるように導入されるように適合されること。

【請求項 6】

冷却空気が華氏マイナス 135 度から華氏 175 度の間の温度で導入される、請求項 1 記載のシステム。

40

【請求項 7】

少なくとも 1 つのノズルは海水の中心に集中したスプレーを生産し、スプレーにより形成された小滴を室の外側の壁から離し、室の中心の方に向かうように適合し構成され、氷粒子状物質が落下するときに、それらが室の中心の近くに落下し、氷塊を形成し、氷塊が合体し凍結する際に形成された氷塊内に捕らえられることなく、海水が氷塊の側面を流れ落ちることを許容する、請求項 1 記載のシステム。

【請求項 8】

室の内の壁の温度を規制するのを支援するために、海水がその内部を循環することを許容するチューブあるいは通路を室の壁が有する、請求項 1 記載のシステム。

50

【請求項 9】

海水は室壁内のチューブあるいは通路を通過し、室壁を暖めることを支援し、次に室内の低い温度が循環している際の海水を予備冷却することを助け、その後室内にスプレーされ、室内に導入される海水があらかじめ華氏 40 度未満に冷却される、請求項 8 記載のシステム。

【請求項 10】

室壁にチューブあるいは通路が設けられ、室内の壁の温度を規制するために、圧縮機からの加熱された空気が使用されることを許容する、請求項 1 記載のシステム。

【請求項 11】

加熱された空気は室壁内のチューブあるいは通路を通り、室壁の暖めを支援し、室内の低い温度がエキスパンダーに循環する際に加熱空気を予備冷却する、請求項 10 記載のシステム。

10

【請求項 12】

冷却空気が室へ導入される位置は、氷粒子状物質が室の底でともに結合し凍結する時に、室内に形成される氷塊形成によって到達すると予想される高さ以上である、請求項 1 記載のシステム。

【請求項 13】

ヒーターが氷粒子状物質が蓄積する近傍の室の壁について提供され、室の壁は壁に氷粒子状物質が凍結することを防ぐために加熱されることができ、および/または氷粒子状物質として生成されたすべての氷塊が、容易に回収できるように、室内で合体し凍結ことを許容する、請求項 1 記載のシステム。

20

【請求項 14】

以下を含む、海水を脱塩する方法：

圧縮空気エネルギーを生産するために空気を圧縮すること；

冷却空気を共 - 生成するためにエキスパンダーで圧縮空気を解放すること；

室内へ冷却空気を導入すること；

室内へ小滴の形で海水をスプレーすること；

室内で冷却空気に海水の小滴を暴露して、それにより小滴内の純水からなる氷粒子状物質を形成すること；および

室内に氷粒子状物質で塊を形成し、それにより海水中の不純物から氷粒子状物質中の純水を分離するのを支援すること。

30

【請求項 15】

下記の少なくとも 1 つを含む、請求項 14 記載の方法。

1) 圧縮空気エネルギーを解放する前に貯蔵タンクに圧縮空気エネルギーを貯蔵すること；

2) 圧縮空気がエキスパンダーによって解放される時に、発電機を使用して電気を共 - 生産すること、ここで該冷却空気は電気を生産する副産物として生産される；

3) サージタンクへ導入できる追加の圧縮空気エネルギーを生産する補足の圧縮機を運転するために圧縮空気エネルギーを使用すること；

4) エキスパンダーによって膨張される前に、圧縮空気の温度を低減するために少なくとも 1 つの熱交換器を使用すること；または

5) それらが互いと共同して作動することを可能にするために圧縮機とエキスパンダーの間に少なくとも 1 つの共通のシャフトを使用すること。

40

【請求項 16】

冷却空気の導入は、海水のための共晶温度以下で冷却空気を導入することを含み、氷粒子状物質の塊の形成は、海水のための共晶温度以上で、室の底で塊の温度を維持することを含む、請求項 14 記載の方法。

【請求項 17】

冷却空気の温度は華氏マイナス 135 度から華氏 175 度の間にあり、氷粒子状物質の塊の温度はマイナス 6.2 度以上であり、海水中の不純物から成る液体のブラインが塊から

50

流れ落ちることができる、請求項 16 記載の方法。

【請求項 18】

次の工程の少なくとも 1 つを含む、請求項 14 記載の方法：

1) 室へ上から海水を下向きにスプレーし、冷却空気を室の内部を上向きで流れるように導入すること；

2) 室へ上から海水を下向きにスプレーし、冷却空気を室の内部を下向きに、海水が室内にスプレーされるのと同じ方向に流れるように導入すること。

【請求項 19】

少なくとも 1 つのノズルは海水の中心に集中したスプレーを生産し、スプレーにより形成された小滴を室の外側の壁から離し、室の中心の方に向かうように適合し構成され、氷粒子状物質が落下するときに、それらが室の中心の近くに落下し、氷塊を形成し、氷塊が合体し凍結する際に形成された氷塊内に捕らえられることなく、海水が氷塊の側面を流れ落ちることを許容する、請求項 14 記載の方法。

10

【請求項 20】

海水は室壁内のチューブあるいは通路を通過し、室壁を暖めることを支援し、次に室内の低い温度をもたらし海水を予備冷却することを助け、その後海水は室内にスプレーされ、室内に導入される海水があらかじめ華氏 40 度未満に冷却される、請求項 14 記載の方法。

【請求項 21】

圧縮機からの加熱された空気は室壁内の少なくとも 1 つのチューブあるいは通路を通り、室壁の暖めを支援し、室内の低い温度がエキスパンダーに循環する際に加熱空気を予備冷却する、請求項 14 記載の方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の技術分野

本発明は脱塩システムの分野に関し、特に解放され拡張されてチルド空気を共生成することができる圧縮空気エネルギーを使用し、次に水を凍結し、かつ新鮮な飲料水を生産するために使用できる脱塩システムに関する。

【0002】

本発明の背景技術

米国においては、多くの広範囲の気候ゾーンがあり、多くの領域では豊富な雨が降り、国のほとんどの領域において利用可能な新鮮な飲料水の適切な供給が存在する。給水が不足する領域でさえ、それが必要な場所へ、それが利用可能な場所から水を輸送する努力がなされた。例えば、多量の水がカリフォルニア州送水路によって、コロラド川から、人口が多いが乾燥している南カリフォルニアに現在輸送されている。飲料目的だけではなく、農業と灌漑のためにも十分な水が利用可能である。たとえば、湖、貯水池、川、氷河などからのものを含むユーティリティとパイプラインのネットワークを通る水を供給および輸送する他の手段がさらに存在する。

30

【0003】

しかしながら、コスト的に有効な方式で、必要な場所へ水を輸送することが容易でなく、または可能でない多くの地理的なエリアがある。これらのエリアとしては、山中の遠い領域、遠い田園地帯、海の中の島があげられ、それらのエリアへ水を輸送する長いパイプラインあるいは送水路を設置することはコスト的に許容されないであろう。さらにたとえば、船旅、遠洋定期船、貨物船、海軍の船などの長期間の間航行する船に搭載される新鮮な飲料水への必要がある。さらに気候がより乾燥しているか、あるいは人口が新鮮な利用可能な飲料水が支持できるよりもはるかに多いような他の国々がある。皮肉にも、これらのエリアの多くは海の近くに存在し、海水が利用可能であるが、利用可能な新鮮な飲料水の量は要求を満たすのに不十分な場所にある。

40

【0004】

50

従って、海水から新鮮な飲料水を生産する脱塩システムおよび方法が過去に開発されている。すべての脱塩システムの鍵は食塩および他の不純物をはじめとする汚染物質を分離する能力であり、これはベースの水から新鮮な飲料水を生産できる。

【0005】

単純性の目的のために、海水、汽水、あるいは他のソースからの他の水であって、浄化される必要のあるすべての汚染水について言及する際に、用語「海水」を使用する。成功の程度は異なるが、なくとも3つの異なるタイプの脱塩システムが今日利用可能であり、以下に議論される。

【0006】

熱的方法：

熱的方法は、たとえば沸騰により海水を水蒸気にして、残されたベース水の中に汚染物質を残すために、熱または他の手段を使用する方法である。例えば、一般に使用される1つのタイプの熱的方法は蒸留と呼ばれ、海水が、一連の容器中で低い圧力で加熱され、清浄な水蒸気を生成する方法である。

【0007】

多段式のフラッシュ蒸留と呼ばれる熱的方法は現在世界的に使用されている最も一般的な脱塩方法である。それは高温へ海水を熱し、低圧の一連の容器を通して水蒸気を生産することを含んでいる。加熱された水は、周囲の圧力がヒーターの圧力よりも低い、「ステージ」として知られている別の容器に渡される。より低い圧力の「ステージ」中への溶質および水の突然の導入は、溶液を非常に急速に沸騰させるので、それはスチーム（水蒸気）へフラッシュされる。水蒸気は、その性質によって、溶質のない浄化された真水から成る。その後、それは飲料水のために凝結させられ、集められ、使用される。多イフェクト蒸留と呼ばれる同様のプロセスは、この方法が低温で作動する以外は、多段式のフラッシュ蒸留と同じ原理を使用する。より低い圧力では、所定量の水を蒸発するために必要とされる温度は低い。他のプロセスと結合して一般に使用される蒸気圧縮蒸留と呼ばれる別の蒸留方法がある。ここでは熱の直接交換ではなく、蒸気の圧縮から熱が得られる。

【0008】

これらの方法は海水から汚染物質を取り除くことについては高度に成功し有効であるが、これらの方法の最も大きな欠点の1つは、海水を熱して沸騰させるために必要とされるエネルギーおよび/または圧力を低下させるための高いコスト原価高を含む作業の高いコストである。これらのコストのために、新鮮な飲料水が利用可能でないか、より低コストで利用可能でない場合に限り、これらの方法はしばしば使用される。

【0009】

膜プロセス：

膜プロセスは、水または塩のいずれかが通過することを可能にする物質の比較的薄い透過層を使用する。それは2つの異なる濃度間の分離を引き起こすのを支援する。膜の一面では典型的に水と汚染物質が見られ、そして膜の反対側では典型的には浄化された水が存在する。

【0010】

膜プロセスの最も一般的な形のうちの1つは逆浸透である。それは、塩類を向こう側に残して、膜を通して水の脱塩を強要する、圧力で駆動されるプロセスである。逆浸透はその比較的低いエネルギー消費の点から経済的なものとして示されているが、プロセスは典型的には熱的プロセスに比較して著しく高い先行投資の投資額を必要とする。さらに制限のある膜寿命により膜物質の置き換え原価に伴う高いコストが存在する。

【0011】

別の一般的な膜プロセスは電気透析と呼ばれる。それは、真水を後に残して、膜を通して塩類を選択的に移動させるために電位を使用する、電圧で駆動されるプロセスである。このプロセスは、先行投資の資本費用が高くなりうる点で、逆浸透と同じ欠点のうちのいくつかを持っている。

【0012】

10

20

30

40

50

凍結結晶化：

凍結結晶化は、冷凍プロセスの利用するプロセスであり、新鮮な飲料水を生産するために海水の状態図を利用する。本質的に、海水は、たとえば冷媒を介して低温に暴露され、冷凍される。冷凍が純水から作られた固体の氷晶を形成するのを支援する。それは、その後残余のベース水に含まれていた塩の汚染物質から分離できる。逆浸透と比較された時、そのより高い効率によりこのプロセスとそのポテンシャルは調査された。しかし、脱塩目的の凍結プロセスは大スケールでは成功裡に実行されなかった。

【0013】

凍結結晶化プロセスは他のプロセスとは異なり、海水を凍らせることにより、氷の結晶を形成することを含む。ここではベース水から純水の結晶を分離できる。プロセス中に、純粋な氷晶が凍結温度にさらされている状態で形成される場合、それらは浮力によりタンクの上面を移動され、不純物は高密度のため分離し沈む。このように、塩気のあるブラインおよび他のミネラルのような不純物から純粋な氷水を分離することは可能であり、新鮮な飲料水を生産できる。

10

【0014】

さらに、氷晶の形成は、2つの異なる方法で達成できる：

1) 直接の冷却および2) 間接の冷却。

【0015】

直接の冷却は海水に物理的に射出される不活性な冷却液または冷媒を使用することを含んでいる。つまり、それによって泡立て、海水を所望の温度で蒸発させる。これは、溶液から取り出される冷却の蒸発熱の結果である。それは海水を共晶温度に冷却する。海水と冷媒を混ぜることはこの方法を効率的にするが、重要な欠点は、冷媒が氷と結局不利に混ぜ合わせられることである。すなわち、理想的には、プロセスは、純粋な氷の粒子を形成する。しかしこの冷却方法では、設備の全体にわたって存在する冷媒のうちのいくらかは、結局氷粒子内に捕らえられ、したがって、冷媒を含まない新鮮な飲料水は清浄には生産できない。従って、直接の冷却方法は、新鮮な飲料水の生産に関して使用されていない。

20

【0016】

より一般的な凍結脱塩プロセスは間接冷却と呼ばれる。このプロセスでは、冷媒は海水に直接射出されない。冷媒は海水中を通る一連のパイプあるいはジャケットへ導入される。パイプとジャケットは、アルミニウムのように、熱伝導性の良い物質で典型的に作られ、プロセスの間に冷媒と海水を分離しておくのを支援する。冷媒は、好ましくはパイプとジャケットの内部のみを通り抜ける。海水は、一方冷媒自体ではなくパイプとジャケットの外部に暴露される。このように、海水は、冷媒との直接接触ではなく、パイプとジャケットとの直接接触によって冷やされる。パイプとジャケットの使用は海水から冷媒への伝熱に対する抵抗を追加するが、直接の冷却方法に関連した問題を回避する。しかしそれはこの方法をそれほど効率的でなくする。

30

【0017】

一旦パイプとジャケットが冷やされ、海水がそれらの上を通れば、氷晶は外表面上に形成される。したがって、スクレーパなどの使用によって、表面から氷を物理的に取り除くことが必要になる。一旦氷が物理的に削除されれば、解放される低密度の氷晶は、高密度のブライン溶液の上層へ浮かぶ傾向がある。このようにして、氷晶は上部から取り除くことができ、不純物を洗い落とし、そして次に、溶かして浄化された飲料水を生産する。その後、塩気のあるブライン混合物を処置できる。

40

【0018】

間接冷却に必要な合計の接触伝熱面積および熱伝達係数は、このプロセスの主要パラメータである。これらのパラメータは、冷媒を含んでいるパイプまたはジャケットのまわりの海水溶液を冷やし凍結することができる冷媒の有効性に関係がある。

【0019】

使用されている間接冷却方法の例は現在、スクラップド表面晶析装置と呼ばれる。それは、冷やされた表面の氷晶をこすり取ることができるナイフまたはスクレーパが設けられ

50

た冷やされたシリンダー（蒸発器）から成る。スクレーパが冷やされた表面を移動するかあるいは、冷やされた表面がスクレーパを横切って移動され、氷がこすられ削除されることを可能にする。いずれの場合も、摩擦および表面への損害を回避するために、表面間にクリアランスまたはギャップがあるように、システムは典型的に設計され、それは最終的に冷却面上に氷の層を残す。冷却面上の氷のこの追加の層は、熱を冷却表面から取り除きより多くの氷を表面上に形成することにおいて全システムを非能率的にさせ、シリンダーを通る熱の流れの急激な減少および能力の減少を引き起こす。さらに、克服すべきエネルギーの消費を要求するスクレーパと冷却面の間に接着力が存在する。つまり、成功裡に氷をこすって取り除くために余分なエネルギーが必要である。また、これは、長期間の間絶えず遂行されなければならない。

10

【0020】

氷晶が小滴内にどのように形成されるかを決定するために、廃水を凍らせる研究が行われた。ワガオ(Wa Gao)博士による研究で「選択された産業廃棄物の処理代案としてのスプレーすることによる部分冷却」と題する彼女の論文で議論される。廃水の単一の小滴に対する凍結温度の影響が研究された。単一の小滴（約マイナス5の真水の凍結温度以下）は、チルド空気垂直風洞の中で、零度以下の空気温度（つまりマイナス5.5からマイナス17.7の間）の上向き通風に露出された。テストは、統計情報を得るために同じ小滴サイズおよび小滴条件で繰り返し行なわれた。彼女は、各小滴の結氷が小滴の下端で始まり、次に、0.23秒で小滴の外側表面エリアを包むことを見いだした。氷シェルが厚くなるとともに、廃水の内部が凍った。完全な2,800ミクロンの小滴は、完全に平均時間7秒で凍った。すべての場合に、結氷は20秒で完了した。小滴の固体の氷部分は純水から作られた。また、そのまわりの残る液体のブラインは、濃縮廃水から成った。それが圧縮不可能な液体が搾り出されるとき、氷の中の内部応力のために内部の液体のブラインが外部へ搾り出された時に、氷球体は結氷プロセスの間にばらばらにされる。別の研究では、地面で氷粒子の大きな塚を直接生産するために、廃水は、寒い北極の冬の天候の中で戸外でスプレーされた。小滴が飛行中の間に最初の結氷は起こったが、小滴が地面に降りた後、追加の結氷および分離が生じた。一旦塚が形成されたならば、その後、春にそれを溶かすことができ、灌漑目的のために使用した。

20

【0021】

上に議論された既存の脱塩方法およびシステムの欠点のために、新鮮な飲料水が海水から生産されることを可能にする非常に効率的でコスト効率の良い脱塩方法に対する必要がある。

30

【0022】

発明の要約

本発明は水脱塩システムと協力する圧縮空気エネルギーの使用に関し、風によって生産されたエネルギーまたは他のエネルギー源によりエネルギーが生成され、圧縮空気を生産するために使用でき、たとえばターボ・エキパンダーの使用により圧縮空気が解放され膨張する場合、副生成物としてそれはチルド空気を劇的に生産でき、ついで海水の冷凍および脱塩に使用できる。すなわち、凍結結晶化方法の場合のように脱塩目的のために海水の温度を低減するために冷媒を使用するのではなく、本発明では圧縮空気エネルギーを解放し膨張させることにより得られる清潔なチルド空気を使用して、直接海水小滴と混合し、新鮮な凍結された氷粒子を生成する。

40

【0023】

全体として、このアプローチは、脱塩の逆浸透方法を放棄させ、多段式のフラッシュ蒸留方法の場合でのように、大気圧での高い蒸発熱ではなく、大気圧での氷融解の低温での凍結結晶化プロセスを使用する。

【0024】

アプローチは一般に次の工程を含む：

1. 1気圧より若干高い圧力で、マイナス175°Fの温度で、冷却空気の体積流れを生成し、絶縁された混合室へこの冷却空気を導入すること。この冷却空気は圧縮空気の膨

50

張により得られる。この圧縮空気は、コンプレッサにより生成され、ターボ・エキスパンダーを通して直接冷却空気を生成するか、またはターボ・エキスパンダーと発電機を通り、電気と副生成物の冷却空気を生成することにより得られる。

2. 海水の体積流れを生成する。これは室内へ小滴雲としてスプレーでき、冷却空気と混合され、海水小滴の温度を共晶温度（それは標準的な海水では華氏約マイナス6.2度である）またはそれよりも少し高い温度にまで低下させる。

3. 海水小滴が冷却空気と混合し、熱交換により凍結され始め、純水氷晶が生じ始め、塩気のあるブライン溶液からの分離を始める。時間とともに（つまり数秒未満で）、冷凍の氷粒子は室の底部へ落ち始める。そこでは熱交換のために空気の温度はより暖かくなり、空気および底部で氷粒子の成長している堆積物が、ちょうど好ましくは共晶温度より若干上の平衡温度に結局達する。その後、低密度の氷粒子は浮かび、底部に集まった高密度の塩気のあるブライン溶液の上面で合体し、氷/雪塊を形成し、それは塩気のあるブライン溶液の上で拡大し浮かび続ける。高密度塩ブラインは氷粒子から分離し続け、側面からまた氷/雪塊に存在する通路および孔を通して流れ出る。水のスプレーを含む真水洗浄カラムは氷/雪塊からのブラインの流去を容易にし、氷塊をさらに清潔にするのを支援するために使用できる。

注：ブラインの密度は濃縮された時の1.35 gm/ccから海水中の1.025 gm/ccの間にあることができる；なお純水の密度は1 gm/ccであり；真水氷の密度は0.917 gm/ccであり；また、雪の密度は0.1 gm/cc未満である。したがって、高密度ブラインは、氷/雪塊中の孔の間から流れ出て、氷フラグメント間のすきまから外に流れる。

4. 氷/雪塊が形成された後のサイクルの最後に、氷/雪塊は好ましくは回収され、次に融解され、浄化された飲料水が生産される。塩気のあるブライン溶液は時間と共に濃く、塩分が高くなり、室から形成されるすべての塩の固体と共に回収され、プロセスは再び開始されることができる。堆積された塩および他のミネラルは、後の工業的用途のために保存できる。あるいは堆積された時適切に扱われなければならない。

【0025】

本発明は、海水を冷凍し脱塩するための冷凍温度のソースとして、圧縮空気の膨張を使用することを好ましくは企図する。冷却空気を生産するために企図される少なくとも3つの異なる方法は以下のとおりである：

(1) コンプレッサおよび大きな高圧貯蔵タンクを有する圧縮空気エネルギー貯蔵システム、ここでターボ・エキスパンダーが所望の際に圧縮空気を解放し膨張するために使用され、生成されたエネルギーは冷却空気および/または電気エネルギーに変換される。

(2) 電気および冷却空気の両方を生成する能力を有するターボ・エキスパンダー、ここで発電能力は好ましくは補助的な圧縮機能力により置き換えられ、これはターボ・エキスパンダーの仕事を利用し、付随するサージタンク内に排出された圧縮空気を充満させる。

(3) エネルギーを最初に貯蔵する必要なしに、冷却空気を生産する能力を有するターボ・エキスパンダー。

それぞれの場合において、冷却空気は混合室に射出され、混合室に射出される海水から冷却を提供する。

【0026】

本発明は、バッチ式に、混合室内で行われることができる脱塩システムを好ましくは含む。そこでは真水で作られる多くの氷/雪の塊が形成され、次に室から回収され、融解され、純水を形成する。各々のバッチを形成するために、室内の海水および冷却空気は適切に混合されなければならない。したがって、海水は好ましくは加圧され、配列されたノズルを通り、小滴のスプレーあるいは雲を形成する。混合室の中への冷却空気を射出することにより、その結果スプレーされた海水小滴は暴露され冷却空気とともに循環され、氷晶が各小滴内に形成され始める。各海水小滴の体積サイズおよび室に供給された海水および冷却空気の温度は、好ましくは、室の全体的なサイズおよび構成と同様に注意深く先決さ

れる。さらに好ましくは、海水スプレーおよび冷却空気が室に射出され、混合される方法が予め決定され、得られた混合物が凍結および脱塩のために最適な温度に速く達することを保証する。

【0027】

典型的には、海水小滴に関して、凍結は外側から内側へと生じるが、時間とともに、形成される氷構造は海水の塩水を外側に押し出し、塩水を拒絶する。濃縮されたブラインコアのまわりの氷シェルが内部応力および氷シェル・フラグメントを発展させ、氷シェルの外側へ濃縮された液体ブラインを押し出す。氷晶のアグロメレーションはブラインを外側に押しだし、モノリシックな氷晶を有する全体構造を結局形成し、これはブラインで覆われることになる。これらのコーティングされた氷晶が互いに影響を与える場合、ブライン溶液は新しく形成された氷晶合成物を囲むことを強いらられる。ブラインに囲まれた氷のマクロ組織が完全に分離されるまで、このプロセスは継続する。室の底に、生ずる最終の氷塊が多孔性の雪のように現われ、ブラインの重力排水を許す。議論されるように、補足の真水を、氷に付着するすべてのブラインを解放するためにさらに付加することができる。また、冷凍とより多くのブラインを解放する機能を有する真水は、再使用のために回収できる。

10

【0028】

室内へ導入される海水スプレーおよび冷却空気の方向は、氷晶およびしたがって氷塊の適切な構成に寄与できる。この点で、本発明は1) 向流および2) 並流配置の両方を企図する。どちらの方法を使用するかを決定する要因は、海水がどれくらい直ちに冷凍される必要があるかに依存する。これは室に入る前に海水がどれくらい冷たいか、冷却空気はどれくらい冷たいか、室のサイズ、海水小滴が冷却空気にどのように露出され冷却空気と循環するか、それぞれの導入される量等に依存する。

20

【0029】

向流の実施態様では、好ましくはシステムは室の下方方向へ海水の小滴がスプレーされる室を有する。これはターボ・エキスパンダーからの冷却空気を落下してくる液滴に対して上方方向に吹き上げることが可能とし、それにより海水液滴を循環させ凍らせ、次に、室の底に落下させることを可能とする。これは向流プロセスと呼ばれ、海水スプレーおよび冷却空気が反対方向で流れ、室内での小滴の滞留時間を増加させる。別の実施態様では、好ましくはシステムは室の下方方向へ海水の小滴をスプレーする少なくとも1つのスプレーノズルを有し、ターボ・エキスパンダーからの冷却空気は落下する小滴と同じ方角の下方方向へ吹き出される。これは並流プロセスと呼ばれ、海水スプレーおよび冷却空気が同じ方角に流れ、過冷却空気が最も大きな熱伝達速度で入って来る小滴に作用することを可能にする。

30

【0030】

別の態様では、氷が壁に集まらないようにし、かつ氷塊がそれに付着しないようにするために、室の壁は引き込まれた暖かい海水および/または圧縮空気からの熱で好ましくは加熱される。引き込まれた海水が室壁を通される場合、好ましくは生じる熱交換は室へスプレーされる前に、あらかじめ海水を冷やすことを支援する。好ましくは、海水は結晶化室周囲を包むチューブあるいはキャビティーを通して送られ、海水が室に入る前であっても、冷凍温度の近くまで海水を予備冷却する。すなわち、室へ導入される過冷却空気は室壁を冷やす効果がある。その結果、壁の周囲をチューブまたはキャビティーで包み、チューブまたはキャビティーに海水を通すことによって、それらは熱交換器の役割を果たし、海水を予備冷却することを可能にする。この方法は、一旦海水が結晶化室に入れば、より速く冷凍され、底部に落下し、連続的に冷凍され固体化される。好ましくは、この方法は、室に入る前でさえ海水の温度は凍結点に近く、蒸留水の凝固点(0 または32°F)よりわずかに低い。

40

【0031】

圧縮機からの廃熱も同様の効果のために使用できる。すなわち結晶化室の周りでは、氷粒子状物質が室壁にくっつき、かつ集まるのを防ぐことは望ましい。したがって、廃熱

50

を使用する1つの方法は、結晶化室の近くに伸びるチューブまたはキャビティー内に、廃熱によって生産された加熱された圧縮空気、あるいは温水を分配することである。この点で、好ましくは、チューブまたはキャビティーで、氷粒子状物質が蓄積する場所である室の周囲を包むことができる。圧縮機からの加熱された空気が室壁を通される場合、これが熱交換器の役割をするので、好ましくは圧縮空気は、それがターボ・エキスパンダーへ送られ、冷却空気を生産するために膨張される前にあらかじめ冷却される。したがって、ターボ・エキスパンダーによって解放される空気はさらに冷たくすることができる。

【0032】

海水がその共晶温度（華氏約マイナス6度）の近くに冷却され、固体の氷（冷凍の真水）および液体のブライン（水溶剤中の高度に濃縮された塩溶質）に分離され、氷晶の形成がその構造から海水を排除するために脱塩が起こり、さらに室の底での密度の大きな差によって引き起こされる一層の分離が生ずる。この点で、海水の凍結は好ましくは3つの段階で生じる：（1）冷蔵結晶化壁を取り囲むチューブまたはキャビティーを通してポンプ輸送されたる過された海水の冷却（強い冷却効果）、（2）室内の冷却空気を通して飛行する間に海水の小滴を冷却する（小滴の冷却の短い滞留時間）、および（3）半-冷凍された小滴が室の底部に堆積した後に冷却し、氷塊を形成する（最長の滞留時間）。

【0033】

冷却空気を通る小滴の下方への飛行中に、小滴はその中心の方へ向けて次第に内側へ冷え始める。また、結局、氷晶は小滴のシェル内に形成され始める。1例において、直径で4,000ミクロンよりも大きな小滴は、まだ凍結されない内部のコア部分を持つことがあり、直径200ミクロン未満である小滴は、その中心まで完全に凍結されることがある。

【0034】

小滴がすべて同じサイズでも、いくらかは遅く凍結し、いくらかは早く凍結する。これはサイズの同じそれぞれの小滴においてどのようにして、数とサイズが異なる微視的な核のまわりに氷が形成されるかというプロセスのためである。直径が8,000ミクロン以上の小滴は向かい風の中で粉々になり、小さな小滴へ分割する傾向があることに留意すべきである。したがって、大きな小滴（直径で4,000ミクロン以上として定義される）のまわりの氷層は、液体の核のまわりの氷層の厚さが成長している間にばらばらになる。マイナス17度の冷却空気、プラス5度の冷却海水小滴、および直径が4,200、3,400および2,800ミクロンの豚舎廃水小滴を使用した実験で、pH=7.1（中性）では平均7秒で完全に小滴がほぼ凍結し、pH=11（アルカリの限界pH=14である）では平均7.5秒で完全に小滴がほぼ凍結した。ここで飛行の滞留時間は約2.5秒であった。したがって、凍結の多くが、結晶化室の底への小滴の沈積の後に生じ得る。小滴の表面のシェルは非常により少ない時間、すなわち0.23秒で凍った。

【0035】

凍結して、固体の氷粒子状物質および液体のブラインの二相の溶液を形成することは小滴にとって重要である。したがって、飛行する間に、共晶温度あるいはその共晶温度の近くまで小滴が達することは望ましい。他方では、小滴が室を通過して落下する際に小滴が冷たく（共晶温度より冷たい）なりすぎる場合、各小滴内の真水は固体の塩の結晶および固体のブラインと一緒に凍結できる。その場合には、真水から塩を分離することは可能ではないことがある。例えば、海水スプレーが様々な小滴サイズから成る場合に、これは起こることがある。より小さな小滴は共晶温度以下に達することがあり、それらが室の底に達する時まで完全に凍ることがある。この点で、平均直径が4,000ミクロン近くの雲を分散させるように設計されたスプレーノズルは、より小さな塊部分も生成するが、大部分の小滴は直径400ミクロンの範囲内である。これらのより小さな粒子状物質は10倍小さな沈降速度を有し、10倍長い滞留時間を有する。更に、並流構成中のノズルを出る華氏マイナス135度あるいは華氏マイナス175度の局所的な空気流れと相互作用するときに、これらの小さな粒子は早く凍結し、共晶温度より下の温度に達する。

【0036】

したがって、この非常に冷たい温度領域を下方に飛行する小さな液滴は、確かに、(1) 真水の固体の氷、(2) 付随する水分子と共に2つの水分子に結合するそれぞれの塩分子との固体の塩および(3) 固体の塩の結晶、から造られる1つの固形微粒子への小滴の不適当な結晶化を引き起こす。冷たい空気中の小さな粒子の飛行中に、真水からのブラインの分離はない。しかしながら、議論されるように、室の底で大きな小滴から形成される氷粒子塊上に小滴が堆積したときに分離が生じ、これは好ましくは共晶温度より暖かい平衡温度を有する。

【0037】

直径で数百マイクロンのオーダーの非常に小さな粒子は、スプレーノズルに近い領域で、共晶温度よりはるかに冷たい気温にさらされた時、それらの中心まで完全に凍結することがある。これらの小さな小滴が、結晶化室の底のより暖かい氷/雪塊上に堆積した場合、それらは共晶点よりわずかに暖かい平衡温度に好ましくは暖められる。したがって、小さな小滴が共晶温度以下に凍結される場合、それらは共晶温度以上に戻して溶かすことができる。そのポイントでは、固体の多孔性の雪/氷構造と液体の食塩水(ブリン)との通常の分離が生じる。たとえ典型的なより大きな直径粒子状物質をスプレーしても、ある範囲内の粒径の分配を含む、より小さな粒子状物質が常に存在する。より小さな粒子状物質は数において大きい、全体として非常に大きな量として寄与しない。

【0038】

この点で、室の底部の氷塊が共晶温度より若干高い(より暖かい)温度に維持され、それぞれの氷粒子を取り囲むすべての残留する塩ブリンが、氷の内部にトラップされ凍結されるのではなく、それらが排出され、氷塊の側面を流れ落ち、または氷/雪塊の中に形成されたポイドまたは通路を通して排出されることは望ましい。従って、室の内部の冷却空気の温度をコントロールすること、並びに氷塊が室から取り除かれる前に、塩ブリンが流れ出るための十分な時間を許容することは、最適の結果を得るために重要である。ある場合には、ブリンが流れ出るための十分な時間が無かったために、サイクルの最後の数秒の間にいくつかの小滴が堆積することがある。これは、最終飲料水中の非常に小さな量の不純物に寄与する、小さなフラクションである。

【0039】

海水の凍結は、浮力のある純水氷粒子状物質の形成を可能とし、付随する塩気のあるブリンは微量であり、室の底に塩および他の不純物を塩気のあるブリンの中に残すことが目的である。脱塩システムは好ましくは、塩気のあるブリン(それは氷粒子状物質より濃い)から氷粒子状物質を取り除き、重力が氷粒子状物質からブリンを分離し、かつ少なくとも2つの方法のうちの一つで、氷粒子状物質を清潔にするのを支援できるようにする。

【0040】

最初に、氷粒子状物質は、それらが互いの上に落ちて氷粒子状物質が室の底に蓄積することを可能にすることにより、氷/雪塊を形成する。時間とともに、氷粒子状物質が落ちて、それらが互いに付着し、それらは集団的に氷塊を形成する。液体のブリンが固体の氷より濃いので、それは塩気のあるブリンの上に浮かぶ傾向がある。この点で、室の中心へ海水小滴を導入することにより、氷粒子状物質が円錐形の氷塊を形成するようにシステムは適合される。ここでこのように形成された氷粒子は室の中心にも蓄積する。海水スプレーは、好ましくは室のセンターラインに向けられ、その結果、氷粒子状物質は壁に集まらないようにされ、室の底に形成された氷塊は室の中心に生ずる傾向があり、つまり逆円錐型の形になる傾向がある。一方では、この利点は、それぞれの純水氷粒子をカプセルに入れるかまたはそれに付着する塩気のあるブリンが側面を流れ落ちることを可能とし、氷塊中にトラップされない。すなわちそれが固体化するとき、塊に生ずることがあるポケットあるいは割れ目の中にトラップされない。円錐形の氷塊の形成によって、各氷粒子に付着するブリンはトラップされずに側面を流れ落ちる。その結果、塩気のあるブリンは、有効に求められる氷塊から分離できる。他方では、研究は、氷塊は全体にわたって流路およびポイドを形成するかも知れず、すべての蓄積された塩ブリンはトラップさ

10

20

30

40

50

れずに、流路またはボイドを介して塊から排出される場合がある。氷塊はこの点で雪のように見えて、ブラインが通り過ぎることを可能にするような多孔性である。

【0041】

飛行中の氷形成に加えて、特に非常に冷たい温度で、結晶化室の底に多孔性の塊を作成する別のメカニズムがある。室の底に硬い球状の小滴が集まる理想的な場合を考慮する。最も濃密に充填される構成では、最も高い密度は、それを囲む空気の3乗と比較された球体の体積の比率、あるいは $[4/3 * \pi * r^3] / [8 r^3]$ あるいは 0.52 gm/cc である。この理想値と雪の密度 (0.10 gm/cc) の間に真の密度があることが期待される。これは、液体のブラインが集められた塊の底部への開いた通過を見つけるために十分な孔隙率を提供する。一旦濃厚な液体のブラインが流動を始めれば、氷粒子状物質はさらに離れて浮き、またブラインはより速く排水される。

10

【0042】

実施態様では、真水で氷塊をすすぐ手段を有することが好ましい。真水は氷/雪の蓄積された冷凍塊上へ凍結し、およびますます多くの小滴が堆積されるとともに付着したブライン層を解放する。各氷粒子の表面に付いているブラインの一層の除去については、層の上の塩気のあるブラインの1層ごとの重力排水を支援するために室の底に置かれた氷/ブラインの層の上に好ましくは真水の射出装置がある。真水は各層に付着するときに、さらに氷粒子状物質間の隙間からの非常に薄い粘着性の塩気のあるブライン層を置き換え、この真水は凍る。氷粒子の上で凍結された真水は、補足真水の使用なしで再使用のために溶かされ好ましくは回収される。さらに高純度水が必要な場合、下流の洗浄カラムを加えることができる。この点で、華氏60度のような室温の補足の真水は、塊が形成されるときに氷塊から塩気のあるブラインを取り除くのを支援するために氷塊の上にスプレーできる。大多数の塩気のあるブラインは重力フローによって氷粒子状物質間のスペースから置き換えられる。塩気のあるブラインは、排水管を通して、室の底から好ましくは排水される。

20

【0043】

室の底セクションは好ましくは穿孔されたバスケットを含む。それは落ちてくる氷粒子状物質を受け取ることができ、氷塊をその上に形成することができるが、冷却空気が室から循環することを許容する。この点で、室の側壁は好ましくは出口ポートを有し、これを通して過剰の冷却空気が室から流れることができ、その後、空調装置に冷却空気が供給でき、冷却空気として使用できる。さらに穿孔されたバスケット以外の氷/雪塊を回収するための他の手段、たとえばピストンおよびピンサーも使用可能である。バスケットの底部に形成される氷粒子状物質は好ましくは大きな氷塊、またはいくつかの場合にはスラリーを形成し、バスケット中の穿孔は塩気のあるブラインの通過を許可し、バスケット中に純水氷粒子状物質を残す。その後、バスケットの回収によって、純水氷塊および/またはスラリーを室から回収することができる。

30

【0044】

その後、回収される氷粒子状物質の塊は溶かされ、ホールディングタンクの底に真水を生産することができる。比較的暖かい温度の真水、この場合には華氏プラス60度、は洗浄カラムと同様、氷をすすぎ、かつ氷を溶かすために氷粒子状物質上に下へ向けてスプレーできる。別法として、洗浄水と共に、局所的な暖かい空気がホールディングタンクへ運ばれ、氷粒子状物質を溶かすのをさらに支援することができる。氷が溶けるとともに、真水小滴はバスケット中の穿孔を通り抜けて、ホールディングタンクの底に冷蔵の新鮮な飲料水の形で集められる。1つより多いバスケットが使用でき、室から各バスケットを取り除く間に脱塩および融解プロセスが中断されないようにできる。氷塊がコンベヤ上に落ちることを可能にする、たとえばドロップダウンドアのような氷塊を回収し溶融する他の手段を設けることができ、より容易にそれを溶かすことができる場所に氷塊を移動できる。

40

【0045】

氷塊が氷で作られており、したがって冷たいので、溶けた場合、生産される真水は冷たい冷蔵水になる。そこから、新鮮な冷蔵の水は飲料目的のために分配するか、あるいは空

50

調装置によって後の使用のために貯蔵されるか、スプレーとして洗浄カラムに使用されるために結晶化室へ再度循環するかまたはホールディングタンク中のスプレーのような他の目的に使用できる。

【0046】

発明の詳細な説明

上に議論された水を脱塩する凍結結晶化方法は、海水中の不純物から純水を分離するために必要な海水を凍らせることを冷却装置に要求する。本発明は、副生成物として共生成された冷却空気を生成する手段として圧縮空気エネルギー技術の使用を組み込み、ターボ・エキスパンダーが脱塩目的のための好適な量の冷却空気を生産するために、圧縮空気を解放し膨張するために使用できる。

10

A. 圧縮空気エネルギー・システム：

本発明は、以下の3つの異なる冷却空気を製造する方法の少なくとも1つを使用することを企図する：(1) 圧縮機および大きな高圧貯蔵タンクを有する圧縮空気エネルギー貯蔵システム、ここで必要な場合に圧縮空気エネルギーを解放し膨張するために、ターボ・エキスパンダーが使用され、エネルギーは冷却空気および/または電気的なエネルギーに変換できる、

(2) 電気と冷却空気を生成する2つの機能を有するターボ・エキスパンダー、ここで、電気を生成する能力は、付随するサージタンク中に放出された圧縮空気を補充するターボ・エキスパンダーの仕事を使用する補足の圧縮機能力により好ましく置き換えられる、および

20

(3) エネルギーを最初に貯蔵する必要なしに、冷却空気を生産する能力を有するターボ・エキスパンダー。

これらのシステムの各々は今議論される。

1. 圧縮空気エネルギー貯蔵タンク・システム：

この実施態様は、図1に示されたように、好ましくは、電動モータ3、主要な圧縮機7、貯蔵タンク5、調節弁9、ターボ・エキスパンダー11および電気を起こすためのターボ発電機13を有する、圧縮空気エネルギー貯蔵システム1を含む。図1では、「A」は、それによってエネルギー源2から電気機3に電気的なエネルギーが送信されるルートを示す。エネルギー源は、風力タービン4、ウインド・ファーム、ディーゼルエンジン、発電機、または地熱発電プラント、原子力発電所、化石燃料パワー・プラントあるいは電力グリッドのような任意の公知のエネルギー源であることができる。これらの動力源のうちのいくつかは、しばしば電力需要より多い電力を生成する。過剰電力は、圧縮空気の形をして貯蔵されるだろう。電力需要を満たすために圧縮空気から電力が回収される時、共生成された非常に冷却された空気は脱塩に使用されるだろう。モータ3は好ましくは主要な圧縮機7を運転し、空気を圧縮し、その後、貯蔵タンク5に貯蔵される。

30

【0047】

エネルギーが必要になるまで、圧縮空気エネルギーは、長期間にわたりタンク5に好ましくは蓄えることができる。その後、適切な時に、調節弁9は圧縮空気を解放するために使用でき、それがターボ・エキスパンダー11によって膨張できるようにする。このポイントでは、所望の場合、および特に電気的なエネルギーが必要な場合、主要な圧縮機7によって生成された廃熱はターボ・エキスパンダー11に循環でき、非常に冷たい温度の影響を弱め相殺する。しかしながら、冷却空気が所望の場合、脱塩が所望の場合には常にそうであるように、熱が冷却空気の温度を単に増加させるので、どんな廃熱も使用しないことは有益である。同時に、正確な温度が所望の場合、廃熱は冷却空気の温度を規制するために使用できる。

40

【0048】

このシステム1によって生産できる出力のうちの1つは電気の形態であり、それは圧縮空気がターボ・エキスパンダー11によってタンク5から解放され高速度気流を作成する時に、ターボ発電機13によって直接起こすことができる。生産される別の出力は、冷却空気の形をしている。それはタンク5からターボ・エキスパンダー11により圧縮空気が

50

解放され膨張するときに副生成物として共 - 生成される。いずれの場合も、本発明のシステム 1 は、これらの出力が同時に生成されるように好ましくは適応される。つまり、システムの必要によって指示されるように、圧縮空気は 1) ターボ発電機 1 3 を使用して電気を、2) ターボ・エキスパンダー 1 1 を使用して冷却空気を、あるいは 3) 電気および冷却空気の両方を生成することができる。

【 0 0 4 9 】

高圧の貯蔵タンク 5 は好ましくは、主要な圧縮機 7 によって生成される高圧に耐えるように設計され提供される。またタンク内の一貫した温度を維持するように絶縁される。タンク 5 は、さらにパイプラインあるいは加圧空気を保持するための他のコンテナの形をとることができる。用語「タンク」はパイプおよび他の圧縮空気貯蔵メディアを含めるように使用される。タンク 5 も、好ましくは圧縮機 7 およびターボ・エキスパンダー 1 1 に近接して位置し、著しい圧力損失なしで、タンク 5 に圧縮空気を運ぶことができ、次にターボ・エキスパンダー 1 1 に循環できるようにする。

10

【 0 0 5 0 】

本発明は様々なサイズのタンクが使用できるように企図されているが、本発明のシステムは好ましくは、必要に応じ貯蔵のために十分な量の圧縮空気エネルギーを提供するように、タンクのサイズはシステムの必要性、施設のサイズあるいは要求、システムのコストなどに基づくべきである。タンクの不十分な余地しかない場合、あるいは特定の適用が考慮される場合、サージタンクあるいはタンクのないバージョンが使用できる。本発明は、空気を解放し、圧縮空気を電氣的なエネルギーおよび / または冷却空気に変換する任意の公知の手段を使用することを企図している。好ましい実施態様では、1 つ以上のターボ・エキスパンダー 1 1 が、圧縮空気を解放し、かつ電氣的なエネルギーを生成するターボ発電機 1 3 に動力を供給するために使用できる高速度気流を作成するために使用される。その後、この電気はエネルギー源によって直接供給される電氣的なエネルギーを補足するために使用できる。求めに応じ、あるいは補足の圧縮機を運転するために、それは、再利用でき、タンク 5 に貯蔵できる補足圧縮空気を生産できる。これらの実施態様では、ターボ・エキスパンダー 1 1 は、好ましくは交流発電機にエネルギーを与える。それは A C - D C コンバータに接続され、D C - A C インバータに接続され、ついでユーザ回路にインピーダンスを一致させるために電力調整器に接続される。装置のこの連鎖は、要求された一定の周波数出力に帰着する可変周波数入力を保証する。

20

30

【 0 0 5 1 】

任意に、脱塩が必要でない場合、圧縮空気エネルギー・システム 1 に熱を供給するための 1 つ以上の手段が、ターボ発電機 1 3 による電気の生成を促進するために提供できる。本発明は、少なくとも 3 つの異なるタイプの加熱システムが熱を提供するために使用できることを企図する ; 1) 太陽からのエネルギーを利用する太陽熱コレクター、2) 圧縮機によって生成された廃熱を循環させる廃熱コレクター、および 3) 化石燃料バーナのような別個の加熱ユニット。このシステムでは、冷却あるいは脱塩目的のための副産物として冷却空気を生成することが通常望ましいので、廃熱および他の加熱システムは、電気がターボ発電機 1 3 によって起こされている場合、または冷却あるいは脱塩目的のために冷却空気がほとんどもしくは全く必要のない場合にのみ一般に利用される。

40

【 0 0 5 2 】

本発明は、たとえば水脱塩およびエアコンディショニングのような追加の二次的な目的のためにターボ・エキスパンダー 1 1 によって生成されている冷却空気を好ましくは利用するという利点を有する。それは、システムの効率を増加させる。たとえば、エアコンディショナーのために直接冷却する目的のために冷却空気を使用することに加え、および / または圧縮機へのパイプを再び通して圧縮機を冷たく保持することに加え、好ましい実施態様では冷却空気は脱塩システムを冷却するために使用される。脱塩装置からの出口冷却空気も空調装置および同種のものに使用できる。

【 0 0 5 3 】

論理回路 6 は、好ましくは貯蔵タンク 5、圧縮機 7、ターボ・エキスパンダー 1 1、タ

50

ーボ発電機13、加熱ユニット、冷凍コンポーネントなどの操作をコントロールするために制御系を含む。制御系の1つの本質的機能は、顧客に電力を直ちに向けること、および所望の場合には圧縮機をバイパスすることである。そのような場合、顧客が使用することができない動力源から利用可能な過剰電力がある場合に限り、電力は圧縮機へ送られる。他方では、発電所から利用可能な電力がないが、顧客が電力を必要とする場合には、圧縮空気は必要な電力不足分を供給するために解放できる。電力不足があり、貯蔵タンクは最低必要電力未満である状況では、予備電力を作動することが必要なことがある。制御系は、タンクからのまたはタンクへの圧縮空気のフローの規制により、タンク5中の圧縮空気エネルギーのレベルを維持することができるように好ましくは設計される。制御系は、システムを自動的に実行できるようにあらかじめプログラムされるマイクロプロセッサを好ましくは持っている。

10

【0054】

典型的な500キロワットのターボ・エキスパンダー11あるいは他の公知のエキスパンダーが、圧縮機7によって生産された圧縮空気を貯蔵する貯蔵タンク5に連絡して使用できる。タンク5中の圧縮空気の膨張によって行なわれた仕事に関連した排気空気は、非常に冷たい空気を生成できる。その後、それは脱塩目的に使用される。この例において、ターボ・エキスパンダー11は、好ましくは圧縮空気の入力を華氏70度で約200 - p s i a (入力エントロピー = 1.4552 B T U / # - ° R) で、出力圧力を14.67 - p s i a とすることができ、これは等エントロピーに約華氏マイナス210度まで膨張することができる(出力エントロピー = 1.4552 B T U / # - ° R)。膨張の熱力学的効率が、ターボエキスパンダーを横切る過度に大きな圧力損失のためにわずか79%ならば、排出温度は約華氏マイナス152.7度になるであろう。

20

【0055】

同様に、圧力200 - p s i a および華氏70度(入力エントロピー = 1.4552 B T U / # - ° R) の圧縮空気入力は、500キロワットのターボ・エキスパンダーでは、30 p s i a のより高圧力の出力を備えた等エントロピーに、華氏マイナスの153.2度(出力エントロピー = 1.4552 B T U / # - ° R) まで膨張する。より小さな圧力比での膨張の熱力学的効率が85%ならば、排出温度は華氏約マイナス120.6度になる。

【0056】

いずれの場合も、貯蔵タンクの熱力学および空気温度に対するその影響学が考察された。貯蔵タンク内の空気圧力は、貯蔵タンクから空気を取り出されると共に落ちる。ターボ・エキスパンダーの効率的な作業のために入力として受理可能でない温度レベルに、貯蔵タンク内の空気温度がほぼ断熱的に落ちると予想されるだろう。しかしながら、貯蔵タンクは、高い気圧を適合するために必要とされるその厚い鋼壁のために、熱の貯蔵器としても作用する。鋼タンク壁は十分な熱を保持し、華氏70度の初期温度でさえ、タンク内の残余の気温が著しく落ちないようにする。したがって、タンク内の空気温度が落ち始めるとともに、タンク壁内の顕熱は、鋼壁と内部の空気の間で負温度勾配の方向に流れ始める。最終結果は、タンク内の残余の空気がターボ・エキスパンダーによって受理可能な適度な温度降下だけを示すということである。

30

40

【0057】

510 kW (熱) の熱力学的力は、発電機による変換中に、2%のギヤー摩擦損失および10%のエネルギー損のために450 kW (電気) を生産する。500 kW のターボ・エキスパンダーの熱力学は図5の中に示される。

【0058】

いずれの場合でも、ターボ・エキスパンダー11からの排気空気が脱塩目的にふさわしい非常な低温を示すことは理解される。以下に議論される共晶凍結結晶化(EFC)方法の修正された形式を使用する場合、非常に高い冷却/凍結ポテンシャルを有するそのような低温は海水真水化に非常に有用である。

【0059】

50

2. サージタンク圧縮空気エネルギー・システム：

別の圧縮空気エネルギー・システムは図2の中に示される。図2は、大きな貯蔵タンクではなく、小さなサージタンク19だけがある実施態様の圧縮機15とターボのエキスパンダー17の詳細を示す。このシステムでは、ソースからのエネルギーは圧縮機15を運転するために使用でき、そこでは圧縮空気はサージタンク19へ流され、調節弁21が圧縮空気がターボ・エキスパンダー17に解放される程度をコントロールするために提供される。好ましくは、図2で見ることができるよう、ターボ・エキスパンダー17からの加圧され膨張した出力空気は、2つの異なる方法で導かれる。最初に、ターボ・エキスパンダー17からの共-生産された冷却空気は、パイプ20を通して導かれ、次に以下に記載されるように、脱塩システム、あるいは他の冷却機能に配達されることができ、次に、ターボ・エキスパンダー17からの補足エネルギーはギアボックス16にシャフト18を介して循環して戻すことができる。これは次に多段階レシプロ式圧縮機23が付加的な圧縮空気エネルギーを生産することを可能にし、それはサージタンク19に戻して循環でき、放出された圧縮空気をそこに補充する。この方法で、ターボ・エキスパンダー17によって生産された、冷却空気の形では使用されない余剰のエネルギーは、より多くの圧縮空気を生産するために戻して循環することができ、これはついでより多くの冷却空気および/または電気を生産するために使用できる。

10

20

30

40

50

【0060】

局所的な大気空気は、サージタンク19中の貯蔵された空気の背圧に一致する流量でレシプロ式圧縮機23によって好ましくは圧縮される。したがって、好ましくは最初の圧縮機15からの空気のポジティブな流入があり、これはターボ・エキスパンダー17に供給する空気のネガティブアウトフローと一致する往復式圧縮機23からの空気のポジティブ流入と結合する。このバランスが、圧縮機15、23およびターボ・エキスパンダー17のためのSCFM/HPカーブに依存する平衡圧で起こる。商用ハードウェアの特別のセットのための圧力は200 - psigよりもわずかに高いことがある。

【0061】

このシステムで電気を共-生産することが所望の場合、電気を生産するために起電機にターボ・エキスパンダー17の回転軸18を接続でき、往復式圧縮機23から分離できるように、ギアケース16を形成できる。このオプションでは、サージタンク19へ圧縮空気を再利用するために使用できるインペラーで駆動される往復式圧縮機23から、シャフト18が接続され、分離されることを可能にする。

【0062】

3. タンクのない圧縮空気エネルギー・システム：

図3は、貯蔵タンクの必要がない実施態様の、圧縮機31およびターボ・エキスパンダー33を含む「タンクのない」圧縮空気エネルギー・システムの詳細を示す。このシステムでは、ソースからのエネルギーは、エネルギーを最初に貯蔵する必要なしに、電動モータ32、第2の圧縮機34およびターボ圧縮機31を使用して、空気を圧縮するために使用できる。そこではターボ・エキスパンダー33を使用して、圧縮空気を解放できる。エネルギー源3によって起こされた電気により電動モータ32が直接運転できる。圧縮空気もエネルギー源3により直接生成でき、所望の場合にターボ圧縮機31を運転することができる。

【0063】

図3で見ることができるよう、電動モータ32は第2の圧縮機34を運転するために好ましくは使用される。第2の圧縮機34からの加圧された出力空気は熱交換器35により冷却され、配管36に沿って延び、圧縮機34からの空気はついでターボ圧縮機31に沿って通される。ターボ圧縮機31は、好ましくは1つの運転がさらに他方を運転するようにシャフト39をターボ・エキスパンダー33と共有し、以下に議論されるように、ここではシステムは定常状態動作に達することができる。

【0064】

第2の熱交換器37は、ターボ圧縮機31とターボ・エキスパンダー33の間に配管3

8に沿って設けられ、圧縮空気がターボ圧縮機31からターボ・エキスパンダー33へ移動するとき、それが第2の熱交換器37を通り、空気をもう一度冷やすようにする。このように、ターボ・エキスパンダー33に入る空気は比較的冷たい。所望の場合、小さなサージタンクは、図2の中で示されるもののよう、第2の熱交換器37とターボ・エキスパンダー33の間に提供されることができる。使用される熱交換システムは、以下に議論されるように、パイプおよび/またはキャビティーとして混合室壁に組み入れることができる。

【0065】

ターボ圧縮機31およびターボ・エキスパンダー33が同じシャフト39によって運転されるので、1つの操作は他方を操作する。それはメカニズムを運転する全費用を低減することを支援する。確かに、電動モータ32が空気を最初に圧縮することができるので、システムの内部に圧力を作り、加圧された空気は圧縮機31へ、次に、ターボ・エキスパンダー33に流される。ターボ・エキスパンダー33を運転する力は最初に圧縮機31を運転するために使用でき、それによって、一方のメカニズムを運転する補足エネルギーを使用する必要を除く。

10

【0066】

例えば、第2の圧縮機34からの加圧された最初の空気がターボ圧縮機31からターボ・エキスパンダー33に流される時、ターボ・エキスパンダー33が回転を始め、つぎに共通のシャフト39上のターボ圧縮機31を同様に回転させる。その後、ターボ圧縮機31が回転速度を加速するとともに、それはさらにターボ・エキスパンダー33への第2の圧縮機34からの入力空気を加圧し、その結果ターボ・エキスパンダー33をさらに加速させる。その後、第2の圧縮機34からのエネルギーを使用する、同じシャフト39を備えたターボ・エキスパンダー33およびターボ圧縮機31システムを加速するサイクルは、結局定常状態に達することができる、ここでは流れは第2の圧縮機34を通り、ターボ圧縮機31およびターボ・エキスパンダー33は調和する。ターボ圧縮機31およびターボ・エキスパンダー33を通る回転力も、同様に調和する。エネルギー源によって生成された圧縮空気も、第2の圧縮機34を使用する時と同じ結果を達成するために、ターボ圧縮機31に直接供給できる。コントロールはターボ・エキスパンダー33を通り抜ける空気の温度をコントロールするのを支援するために使用される熱交換器をコントロールし操作するために使用される。そのコントロールは、どの熱交換器が任意の所定の時間に使用されることになっているか、それらがどれだけの効力を提供しなければならないか決める。

20

30

【0067】

図3aは下記を示す：最初に、それは、14.67 - p s i aと90 - p s i aの間での作動の間、第2の圧縮機34（往復式圧縮機であるとされた）の熱力学的性状を示す。圧縮プロセスは等エントロピー的であると考えられ、14.67 - p s i aおよび華氏70度から、90 - p s i aおよび華氏426.44度の空気を得ることができる（エントロピー = 1.6366 B T U / (# R)）。しかしながら、圧縮プロセスの効率は84%またはそれ以下と低いことがあり、結果として90 - p s i aを達成するためにより多くのエネルギーが消費される。その結果、最終温度は実際により高い、つまり、華氏492度またはそれ以上でありえる。圧縮機の水冷および下流の熱交換器35の水冷は、好ましくは出力温度を華氏約70度にする。その後、所望の場合、加熱された水は廃熱利用として湯システムに送ることができるか、あるいは以下に議論されるように結晶化室壁へ送られる。さらに約5 - p s iの損失のような圧力低下が、第2の圧縮機34とターボ圧縮機31の間にありうるということが考慮される。

40

【0068】

同様のプロセスは、84%の効率で、ターボ圧縮機31（遠心式ガス圧縮機であるとされた）で好ましくは繰り返される。結果は、約43.36 B T U / #の流動空気の使用により、85 - p s i aおよび華氏70度の空気が205 - p s i aおよび華氏250度に圧縮される。再び、ターボ圧縮機31の水冷および下流の熱交換器37の水冷は、好ましくは出力温度を華氏約70度にする。その後、所望の場合、加熱された水は廃熱利用とし

50

て湯システムに送ることができるか、あるいは以下に議論されるように結晶化室壁に送られる。さらに約 5 - p s i の損失のような圧力低下が、ターボ圧縮機 3 1 とターボ・エキスパンダー 3 3 の間にありうることが考慮される。ターボ・エキスパンダー 3 3 は、2 0 0 - p s i a および華氏 7 0 度で入力空気を受理し、約 3 1 . 5 p s i a および華氏 マイナス 1 1 4 . 8 度の冷却空気を排出できる。これは、4 3 . 4 1 6 B T U / # の流動空気を解放し、ターボ圧縮機 3 1 によって要求される 4 3 . 3 6 B T U / # の流動空気よりも若干多い。

【 0 0 6 9 】

サンプル・ケースは、図 3 b に示される。そこでは 2 , 0 0 0 h p システムは華氏 マイナス 1 1 4 . 7 8 度で 1 0 , 8 5 7 . 6 の S C F M 空気を冷凍目的で供給できる。1 0 2 . 7 9 B T U / # あるいは 5 . 5 S C F M / H P の効率で 2 , 0 0 0 H P の往復運動する第 2 の圧縮機 3 4 だけに動力を供給することにより、これが達成されたことに留意すべきである。図 3 a では、2 , 0 0 0 h p の電気的入力、および 8 4 4 . 3 h p の熱出力がある。これは 4 2 . 2 % の効率を示す。

10

【 0 0 7 0 】

これらの数と量は評価され、例示的な目的だけに示される。実際の使用では、本発明の脱塩システムは、好ましくは華氏 マイナス 1 3 5 度から華氏 マイナス 1 7 5 度の温度範囲の冷却空気で作動し、したがって、たとえば解放される圧力の量を増加させることによって、より大きな冷却能力があるシステムが本発明によって企図されている。実際の数と量は変わることがある。

20

【 0 0 7 1 】

ターボ・エキスパンダーから利用可能な冷たい温度は、2 0 0 - p s i a の入力圧力で、排出圧力が (1) 1 段階目のターボ・エキスパンダーで 3 0 - p s i a であり、(2) 2 段階目のターボ・エキスパンダーで 1 4 . 6 7 - p s i a である例を考えることで一般化することができる。最初のケースでは、3 0 - p s i a の排出圧力は下流のプロセスを考慮し、冷却空気は配管とバルブの長い長さを通し、およびそれらに関連する圧力損失に耐えるために、冷却空気は十分な加圧を必要とする。第 2 のケースでは、1 4 . 6 7 p s i a の排出圧力は、下流に任意に重要な配管が無く、またターボ・エキスパンダーを通る時に最も大きな圧力損失 (温度降下) を与えることが考慮される。

【 0 0 7 2 】

図 3 c は、上記の 2 つの特定のケースについて、1 ユニットの電力 (S C F M / h p) を生成するための気流の必要条件間の大きな違いを示す。図 3 c は、入力温度がより高くなると、より少ない気流が電力 1 ユニットの生産するために要求されることを示す。したがって、より高い入力温度は、同じ電力排出時間で与えられた量の電力を生成するために、より少ない圧縮空気エネルギーを要求し、より小さい貯蔵タンクを有する。他方では、図 3 d はより低い入力温度がより低い排出温度を生産することを示す。更に、図 3 d は、2 0 0 - p s i a から 1 4 . 6 7 - p s i a (大気圧) まで放出する場合、より低い入力温度で非常に低い温度を発生することを示す。したがって、ゴールが脱塩またはエアコンディショニングである場合、より大きな圧力損失およびより冷たい入力温度を考慮することが必要である。

30

40

【 0 0 7 3 】

B . 本発明の脱塩システムの用途 :

本発明の脱塩システムは、脱塩の必要が存在するすべての用途で使用できる。例えば、干ばつ季節にある海岸サイトの近くにある町に真水を供給する必要があることがある。あるいは、砂漠において利用可能な豊富な塩けのある井戸水があることがある。次のセクションでは、2 つのユニークな用途が考慮される :

(1) 船適用および (2) 島または陸での用途。

船適用では、目的は、電力を使用して真水の生産を最大限にすることである (シナリオ # 3 を示す図 4 c を参照) 。生産されるどんな電力も循環され、たとえば上記のサージタンク圧縮空気エネルギー・システムの使用によって、空気圧縮機を操作する。島での用途

50

では、電力を最大にするのか、脱塩を最大にするのか、または両者のバランスをとるのかという、1つのシナリオから他のシナリオへ変換する柔軟性が望まれる（図4 a、4 bおよび4 cを参照、それらはシナリオ# 1、# 2および# 3を示す）。

【0074】

1. 船での用途：

シナリオ# 3で見られるように、図4 cでは、船に搭載されて利用可能なディーゼル燃料は圧縮機# 1、55を操作するために使用できる。圧縮機55は、好ましくは非常に小さなサージタンク57に圧縮空気を供給する。サージタンク57は、ターボ・エキスパンダー61へ供給する1つの出口を有し、次には、非常に冷たい空気を吐き出す。ターボ・エキスパンダー61のシャフトは、ターボ圧縮機ホイール、圧縮機# 2、59に好ましくは付けられる。それはローカルの大気空気を吸入しそれを圧縮し、サージタンク57に圧縮空気を供給できるようにする。したがって、正味のシステムは、圧縮機# 1、55を運転するためにディーゼル燃料を使用し、その後過冷却冷却空気を副産物として得る。議論されるように、この過冷却空気は海水と相互作用し、ここに記述された脱塩システムを使用して、純水を生成する。この装置は比較的小さく造ることができ、逆浸透方法のような船で使用される他の既存のシステムと比較された時、著しい量の真水を生成できる。

10

【0075】

この実施態様の変形では、船にマウントされた風力タービン51により、内蔵の船システムも運転されることができ、圧縮機55を運転するために風力により生成されるエネルギーを使用することができる。それが回転でき、いつでも、風の方へ向けることができるように風力タービン51はマウントすることができ、風は船の上のエンジンの電力の代わりに、あるいはそれと組み合わせて、圧縮機を運転するエネルギーを生成するために使用できる。圧縮機55は好ましくはギヤー駆動である。風力タービンからのエネルギーが最初に電気に変換されずに、直接使用され、それは効率を増加させる。

20

【0076】

2. 島およびオフショア用途：

島での用途は、好ましくは電気および/または冷却空気を共 - 生成するために上に記述された圧縮空気エネルギー法のうちの任意のものを使用する。第一に、電気だけが必要な期間中には、ヒーターまたは廃熱は、電気の生成を最適化するためにターボ・エキスパンダー61への入力圧縮空気をあらかじめ熱する（華氏約350度まで）ために使用でき、圧縮空気の消費は低減され、ターボ・エキスパンダーからの冷却空気は本質的に使用されない。しかしながら、電気および冷却空気（脱塩とエアコンディショニングの目的のため）の両方が必要な期間中には、熱の入力は好ましくはオフにされる。そのような場合、ターボ・エキスパンダーは、圧縮空気の増加した消費で電気を起こす。また、脱塩および/または冷却装置に供給するために、冷却空気は副産物としてターボ・エキスパンダーから排出される。脱塩システムを通り抜ける冷たい空気もエアコンディショナーに冷却を提供するために使用できる。

30

【0077】

(a) 電気が必要でない場合、および(b) 冷却空気が脱塩および/またはエアコンディショニング目的に必要とされる場合、ヒーター入力は好ましくは切られる。好ましくは、上記のサージタンクの「サイクルバック」システムが実施できる。そのような場合、ターボ・エキスパンダー61は好ましくは低減された電力を生成するか、あるいは全く生成しない。また、冷却空気は、ターボ・エキスパンダー61から脱塩システムおよび/または冷却装置に放出される。また、生産されるどんな電力も、往復式圧縮機# 2、59を操作するためにサイクルバックされる。この運転モードでは、サージタンクの体積は重要ではない。安定した圧力にタンク57の中が到達し、与えられた圧縮機入力電力が冷却空気の固定フローを出す。圧縮機# 1および# 2は好ましくは連続的に作動する。

40

【0078】

3. システム・シナリオ：

図4 aの中で示されるシナリオ# 1では、最小流れ速度で貯蔵タンク57を脱気する一

50

方、電力の最大のレベルを生成することに関心を持たれた。これは、ターボ・エキスパンダー 6 1 に供給される加圧された空気を熱するために、近くの設備（あるいは太陽の照射）あるいは圧縮機 5 5 からの廃熱を使用することにより遂行できる。より高い初期温度、例えば華氏約 3 0 0 度は、わずかに室温未満であるターボ・エキスパンダー 6 1 からの排気空気温度を生産する。したがって、電気は生産されるが、有用な共 - 生成された冷却空気はない。ターボ・エキスパンダー 6 1 のインペラー物質は、回転するインペラーの高い先端速度部分ではチタンであるべきである。

【 0 0 7 9 】

図 4 b の中で示されるシナリオ # 2 では、非常に冷たいターボ・エキスパンダー 6 1 からの排気冷却空気および電力を同時に生産することに関心がある。したがって、空調装置、冷蔵庫、食物ロッカーおよび好ましい実施態様においては脱塩システムにおいて使用できる冷却空気が共 - 生成される。回転するインペラーの高い先端速度部分は、高い強度のアルミニウムで作られたインペラー材料で作られることが許容可能であり、ターボ・エキスパンダー 6 1 は華氏 7 0 度より下の温度で作動できる。

10

【 0 0 8 0 】

図 4 c で示されるシナリオ # 3 では、電力の生産には関心がない。しかし、ターボ・エキスパンダー 6 1 から冷却空気を生産することには関心がある。したがって、空調装置、冷蔵庫、食物ロッカーおよび好ましい実施態様においては脱塩システムにおいて使用できる冷却空気が共 - 生成される。回転するインペラーの高い先端速度部分は、高い強度のアルミニウムで作られたインペラー材料で作られることが許容可能であり、ターボ・エキスパンダー 6 1 は華氏 7 0 度より下の温度で作動できる。

20

【 0 0 8 1 】

C . 共晶凍結プロセス :

共晶凍結結晶化方法と呼ばれる既存の技術は、近年関心を呼んだ。塩を含んでいる海水を脱塩する状況では、共晶凍結結晶化プロセスは凍結法の利点を有する。海水溶液の状態図は図 2 0 に示される。

【 0 0 8 2 】

純水は 0 (華氏 3 2 度) で凍結し始める。しかし、 3 . 5 % の塩濃度を有する塩水溶液は約マイナス 1 . 9 で凍結し始め、生ずる氷は塩を含まず、密度は真水の氷のそれと等しい。塩水の溶液が液体のままである最も低い温度は、マイナス 2 1 . 1 あるいは華氏約マイナス 6 . 2 度である。塩水の溶液の真水コンポーネントは氷晶 (i c e c r y s t a l) の形成により、その温度に達する前に凍結し始める。しかしその温度において、真水が凍るだけでなく、溶液中の液体が固体に完全に凍るまで、食塩水は氷に加えて純粋な NaCl 結晶および水和された $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ として溶液から結晶し始める。凍結された溶液は、凍結された真水氷晶と、 NaCl 結晶および水和された $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 結晶の混合物である。より暖かい二相混合物とより冷たい一相の異種混合物の間の境界物質は、共晶混合物と呼ばれる。

30

【 0 0 8 3 】

水の中に塩溶質だけがある場合、共晶混合物が溶液と平衡にある点は、温度目盛のために素晴らしい較正点を作る。溶質はそれぞれ自身自身の共晶温度および濃度を持っている。これは、二相 (真水氷および塩水) と 1 つの固相の混合物は 1 つの温度で安定であり、個々の特定の溶質当たり 1 つの温度でのみ安定しているからである。2 - 相から 1 つの固体相までの変化がある場合、温度は、マイナス 2 1 . 1 あるいは華氏マイナス 6 . 2 度であるに違いない。

40

【 0 0 8 4 】

共晶凍結結晶化プロセスの工程のシーケンスは、図 2 0 の中で示されるような、典型的な水 - 塩状態図に基づいて説明できる。塩水の溶液が、液相境界線によって示された凍結温度以下に冷却されれば、氷晶が生じ始める。この線は傾いており、塩水の溶液の凍結温度がその内部の塩濃度のレベルに依存することを示す。例えば、塩濃度が 0 パーセントである場合、凍結温度は華氏 3 2 度である。しかしながら、塩の濃度レベルが増加する場合

50

、液相境界線に沿って下へ移動することによって、氷晶が生ずる温度は減少する。例えば、溶液が10パーセントの塩濃度である場合、凍結温度はより低くつまり、15～20°F程度低くなる。その後継続された冷却により、より多くの氷が形成され、塩水の溶液はもっと濃くなる。したがって、その組成は液相境界線に沿って移動し、共晶点と呼ばれるポイントに結局達し、そこでは、溶液は塩で飽和され、塩の濃度は23.3%となる。この濃度では、温度が、華氏約マイナス6.2度の共晶温度で、氷晶が生ずる。華氏マイナス6.2度未満にさらに冷却すると、3つの固体の混合物の形成に帰着する：1) 固体の純水氷晶、2) 固体の純粋な塩の結晶および3) 分離されない単一相中の固体の純粋な水和塩の結晶。NaClの共晶点は華氏マイナス6.2度である。また、共晶組成は23.3%である。

10

【0085】

本発明では、氷塊は、好ましくは塩の結晶化を回避するためにわずかにこの温度より上の温度で操作される。したがって、固相境界線の上の領域(23%の塩濃度より下)だけが好ましく使用される。それはEFC温度の上の状態図の領域を表わす。状態図の左へ遠く離れた領域(0%の塩)は、純粋な氷/雪形成を表わす。また、中央部は塩気のあるブラインを表わす。状態図の右へ遠く離れた領域、および固相境界線より下の領域は、分離を許さず、本発明のシステムでは使用されない、単一の固相の純粋な固体「塩および水和水」結晶、および純粋な固体の結晶を含んでいる。

【0086】

パシフィックノースウエスト研究所のハーマン チョー(Herman Cho)博士によって行なわれたNMRテストは、食塩水が共晶温度以下に凍結される場合、共晶温度より暖かく溶かされた時に、それが2相状態に「直ちに」戻ることを示した。これは、結晶化室内の非常に小さな小滴の振る舞いについて記述するための重要なデータポイントである。

20

【0087】

図7の中で示されるように、海洋からの標準海水が塩以外の追加のミネラルおよび不純物を含むことはさらに考慮されるべきである。図7は、海水の標準組成を示す。各成分について、重量パーセントと共晶温度が与えられる。一方、図8は、清浄な飲料水用の必要条件を表わす。通常、海水中の3%の塩濃度は、0.03%の塩濃度にされた時、飲用に適していると考えられる。真水は0.05%より下の任意の塩濃度であると考えられる。しかし、用語「汽水」は0.05%～3.0%の塩性の濃度を有する水について一般に用いられる。用語「塩性水」は3.0%～5.0%の塩濃度を有する水について一般に用いられる。また、用語「ブライン」は5.0%以上の塩濃度を有する水について一般に用いられる。再び、用語「海水」は、浄化される必要がある任意の水であって、海またはそれ以外から得られるものを含む。

30

【0088】

塩化ナトリウム(NaCl)を抽出するためにマイナス21.2(あるいは華氏マイナス6.2度)の共晶温度を使用することによって、結晶化プロセスは次のミネラルを残すということに注意すべきである：塩化カルシウム(1.36g/取込量の1リットル)および塩化マグネシウム(4.66g/取込量の1リットル)。これらはさらに経済的便益のために取り出すことができる2つの製品である。塩化カリウム、硫酸マグネシウムおよび重炭酸ナトリウムのような他のミネラルをさらに回収することに関心があれば、スラッシュ温度のより注意深いコントロールを保証し、これらの化合物が氷内で凍結しないで、代わりに補足処理中で後に回収するために回収用のブライン溶液に残す。新鮮な飲料水が最終目標である場合、本発明はそれが脱塩プロセスの中で使用される前に海水からできるだけ多くの不純物を回収するためにフィルタを使用することを企図する。本発明は他の任意のミネラルをさらに経済的便益のために使用することを企図する。

40

【0089】

EFC方法についてはほとんど情報は発行されていない。蒸発および冷却結晶化のような、競合する従来技術と比較して、EFCの申し立てられた複雑さによるのかもしれない

50

い。洗浄カラム技術の進行中の進歩により、および超浄化技術としての溶解結晶化の大規模適用で、EFCの最も大きな欠点の投資コストおよび規模制限は克服できる。その商用適用を考慮するための時期が来た。

【0090】

上に議論されるように、本発明のEFCプロセスは、それがベース水の中にある不純物から分離できる純水氷晶の形成を含んでいるという点で他のプロセスとは異なる。小滴が凍結して固体の氷粒子状物質および液体のブラインの二相の溶液を形成することは重要である。したがって、小滴が飛行中に共晶温度あるいはその共晶温度の近くに小滴が達することは望ましい。他方では、小滴らが室を通過して落ちる時に、小滴が冷たくなりすぎる（共晶温度より冷たい）場合、各小滴内の真水は固体の塩の結晶および固体のブラインと一緒に凍結できる。その場合には、真水から塩を分離することは可能ではないことがある。

10

【0091】

例えば、海水スプレーが、様々な小滴サイズから成る場合、このようなことが起こることがある。そこではより小さな小滴は共晶温度以下に達することがあり、それらが室の底に達する時まで完全に凍ることがある。この点で、直径で平均サイズ4,000マイクロン近くの雲を分散させるように設計されたスプレーノズルは、より小さい分率ではあるが多量の直径で400マイクロンの範囲中の物質フローをも形成することに留意すべきである。これらのより小さな粒子状物質は10分の1のより小さな沈降速度を持っており、10倍のより長い滞留時間を持つ。更に、並流構成中のノズルを出る華氏マイナス135度あるいは華氏マイナス175度の局所的な気流と相互作用する時、これらのより小さな粒子状物質は、共晶温度より下の温度に早く到達し、より速く凍結する。たとえ典型的なノズルがより大きな直径の粒子状物質をスプレーしても、ある範囲内の粒径の分布を含み、より小さな粒子状物質が常に存在する。より小さな粒子状物質は数において大きい、全体としては非常に大きな量として寄与しない。

20

【0092】

したがって、この非常に冷たい温度領域における下方への飛行中での小さな小滴は、確かに、(1)真水の固体の氷、(2)2つの水分子と結合された各塩分子と水分子を有する固体の塩および(3)固体の塩の結晶から構成される1つの固形微粒子への小滴の望ましくない結晶化を引き起こす。冷たい空気中の小さな粒子の飛行中に、真水からのブラインの分離はない。しかしながら、以下に議論されるように、好ましくは共晶温度より暖かい平衡温度を持っている、室の底部の大きな粒子から生成された氷粒子状物質の塊上に小滴が堆積したときに分離が生じる。

30

【0093】

共晶温度よりはるかに冷たい空気温度に、スプレーノズルに近い領域で露出された時、直径で数百マイクロンのオーダーの非常に小さな粒子は、それらの中心まで完全に凍結することがある。これらの小さな小滴が、結晶化室の底のより暖かい氷/雪塊上に堆積する場合、それらは、共晶点よりわずかに暖かい平衡温度周辺に好ましくは暖められる。したがって、小さな小滴が共晶温度以下で凍結する場合、それらは共晶温度以上で溶かすことができる。そのポイントでは、固体の多孔性の雪/氷構造および液体の食塩水(ブライン)の通常分離が生じる。したがって本発明のプロセスにおいては、少なくとも室の底において、結晶化温度は、塩結晶化を回避するために、共晶凍結結晶化温度の若干上のレベルで好ましくは維持される。最終結果は、純粋な氷/雪および残液ブラインの形成である。

40

【0094】

共晶温度での結晶化室の操作は、海水の85.7%の真水への高い転化に帰着する。しかしながら、氷/雪塊の孔隙率はわずかに暖かい温度でより高いことがあり、最終真水の高純度を得るために85.7%未満へと変換効率が犠牲にされる。

【0095】

本発明はEFCシステムの新規な変形を示す。清潔な冷却空気は冷媒として使用され、海水の小滴雲と混合され、海水を共晶点の近くに達せしめ、その結果純水氷晶が形成できる。それは、氷凍結の後に残る塩気のあるブライン溶液から取り除くことができる。本

50

発明では、特に氷晶が沈降し始める場合、システムはほとんど共晶点より上で操作されることが意図される。その結果、固体の塩の結晶の形成は回避できる。

【0096】

本発明のゴールのうちの1つは、混合室内に海水と導入され混ぜ合わせられた冷却空気への接触によって、海水が十分に凍結されることを保証することである。これをするために、本発明は非常に冷えた空気を混合室内へ導入することを企図する。たとえば冷却された空気は好ましくは華氏マイナス175度からマイナス135度Fの間にされ、ついで海水を加圧してノズルを介して混合室内に射出し、小さな海水小滴の形とし、より容易に冷却空気によって混合され、冷却され、影響される。また、適切な凍結および分離が生じる場合が起こることを保証するために、サイズ、小滴のサイズと速度、およびそれらがどのように作られ冷却空気フロー中に導入されるか、並びに温度、冷却空気の体積流速および相対的な方向、混合室のサイズを決定することは重要である。

10

【0097】

図9は、水小滴の種々相のための温度領域を示す。その発見者のトルバーゲロン (T o r B e r g e r o n) にちなんで命名されたバーゲロンプロセスは過冷却水小滴を含んでいる。「過冷却」の用語は、摂氏0度あるいは華氏32度の凝固点より下の温度でまだ液体である水を指す。研究は、雲核のサイズのような非常に小さいサイズで水が存在する場合には、凍結温度以下 (マイナス40 あるいは華氏マイナス40度) の温度で存在できることを示した。

20

【0098】

本発明は、冷却空気を海水小滴と混合するために、図14 - 18および25 - 31の中で示されるもののような混合室を好ましくは利用する。混合室は、好ましくは本質的に絶縁された壁を有するコンテナである。その中で共晶温度の近く (わずかに上に) まで達するまで、海水小滴および冷却空気が導入され混ぜ合わせられることができる。共晶温度は上述のように塩水では、マイナス21.1 である。室のサイズおよび構成は以下に議論されるように、所望のニーズおよびキャパシティーに依存して変わることができる。

【0099】

適切な混合が生じることを保証するのを支援するために、海水は好ましくは加圧されスプレーを形成するために1つ以上のノズルを通して移動される。それは、室へ好ましくは導入される海水小滴雲、またはミストを形成する。達成されるべき所望の結果に依存して、様々なノズル構成のうちの任意のものが可能である。

30

【0100】

フルコーン・ノズルは、円形、楕円形、四角いエリアの完全なスプレー範囲を形成する。通常、液体はノズル内で渦巻き、内部翼をバイパスした非回転液体と混合される。その後、液体はオリフィスを通り、円錐形のパターンを形成する。コーン・パターン内の噴射角度および液体の分布は、翼設計と出口オリフィスに対する位置に依存する。出口オリフィス設計および相対的な幾何学的な比率はさらに噴射角度と分布に影響する。フルコーン・ノズルはメディアの均一なスプレー分布を供給し、大きなフロー通過および制御特性を特色とするそれらの翼設計に起因して大きなサイズの小滴を提供する。

【0101】

図10は、スプレーノズルのいくつかの特性を示す。フルコーンの構成は本発明において最も使用可能である。各タイプのスプレーパターン内において、最も小さなキャパシティーは、最も小さなスプレー液滴を生産する。ここで、キャパシティーはオリフィス直径が小さい場所でオリフィスを横切る最低の圧力損失によって定義される。最大のキャパシティーは最大のスプレー液滴を生産する。ほとんどのノズルにおいて、一連の異なるサイズ小滴の分布が必然的に形成される。例えば、4,000ミクロンの直径のVMDを有するノズルは4,000ミクロンで小滴の最大のマスフローを持つ。しかしながら、直径400ミクロンのより小さなサイズで、粒子のはるかに小さなマスフローがさらにある。体積平均粒子直径 (VMD) はスプレーされた液体の体積に基づく ; したがって、それは広く容認された手段である。図11は、ノズル・タイプによって可能な小滴サイズの範囲を

40

50

示す。

【0102】

本発明の1つの実施態様においては、入力海水と冷却空気とが混合される。1分当たり約250ポンド(250#/分)の海水が前もって定義した量の冷却空気処理することができ、これは約7,151標準立法フィート/分(7,151SCFM)と計算できる。そのような場合、約214#/分の氷(真水)が理想的に回収される。9.9SCFM/hpのターボ・エキパンダー効率および2.2SCFM/hpの圧縮機効率に基づいて、真水を1分当たり1ポンド生成するために7.1kWの入力電力が必要である。

【0103】

120分で11,000ポンドの塩水を移送するために、選択されたスプレーノズルは最小10.76ガロン/分を通過させなければならない。したがって、そのサンプル実施態様には、12ガロン/分および4,300ミクロンのVMDの能力を有するフルコーン・ノズルを適用することができる。激しい降雨は2,000~5,000ミクロンのVMDを有する粒子から成ることに留意されたい。向かい風に対した時、直径8,000ミクロン以上の小滴はフラグメントに分割される。この例において、体積流速は、ノズルのサイズおよび運転圧を始めとする装置の設計を指示できる。そしてしたがって、真水生産の所望の速度が必要な時に海水小滴のサイズを指示できる。他の例において、ノズルのサイズおよび海水小滴サイズは、真水の生産における設備の最高効率のために、達成することが求められる最適の特性に基づいて決定できる。

【0104】

海水小滴のサイズは好ましくはできるだけコントロールされ、予め決定され、適切な混合および適切な伝熱を保証し、適切な凍結が起こることを保証することを助ける。好ましくは、小滴は、小滴の外側表面から小滴の核まで完全に凍るまで非常に短い量だけを必要とする。その例は図12で見ることができる。これは小滴サイズ、温度、および冷却空気の体積流量速度および方向(それは室のサイズの関数である)、小滴が冷却空気に暴露される時間(つまり滞留時間)の関数でありえる。小滴は速く凍結されることができると十分に小さいが、それらが、冷却空気の流量にかかわらず、室の底に結局落ちる程度に十分に大きくなければならない。

【0105】

概して言えば、小滴サイズは、ノズルを通ることを海水を強要するために使用される圧力の量によって影響される場合がある。より多くの圧力が使用される時、小滴直径はより小さくなる傾向がある。また、より少ない圧力が使用される時、小滴直径はより大きくなる傾向がある。例えば、約28psiaの圧力が使用される時、小滴は比較的小さくなる傾向があり、14.67psiaの大気中への、約26フィート/秒の下方方向への速度に帰着する。一方、たとえば約16psiaのより低い圧力では、小滴は大きくなる傾向があり、14.67psiaの大気中への、約8.3フィート/秒の下方方向への速度に帰着する。しかしながら、ほとんどのノズルで、形成される海水小滴のサイズを完全にコントロールすることは必ずしも可能ではない。したがって、本発明は、スプレーが作られる時一連の小滴サイズが形成される可能性を考慮に入れなければならない。しかしながら、ノズルは特定の名目上の小滴サイズのために設計されている。統計的に、名目上の小滴サイズは典型的な鐘形の分布を有する中央値(VMD)になる。良質に生産されたノズルについては、大多数の粒径が中央値に近いように、正規分布は、比較的狭く、高いピークを有するようになる。中間値よりも大きいか又は小さい外側のサイズ領域は、脱塩システム性能に重要な影響がなかった。

【0106】

別の考察は室内での冷却空気の流速である。小滴サイズと共に、小滴がどれくらいの時間冷却空気に露出され冷却空気内に保留されるか、またそれがどのように混合室内を循環するかは、小滴と冷却空気の相対速度に依存する。すなわち、小滴が室の底に落ちる速度は、以下に議論されるように、室内の冷却空気の方向および流速を調節することにより変えることができる。この点で、室内へ導入されている海水スプレーおよび冷却空気の相対

的な方向は、氷晶の適切な形成に寄与できる。この点で、本発明は 1) 向流および 2) 並流配置の両方を企図している。

【0107】

D. 向流:

向流配置を達成するため、冷却空気および海水スプレーが反対向きに室へ導入される。これは、例えば冷却空気が室へ上向きに導入される一方、室へ海水を下向きにスプレーすることにより達成できる。この配置は図 16 - 18 および 25 - 30 に示される。海水の下向きスプレーおよび冷却空気の上向きのフローを使用する向流では、小滴が室内を循環し、凍り、沈降する途中での相対するフローの影響を考慮することは重要である。どちらの例でも、2つの流れの間の速度の違い、重力の影響、小滴のサイズ、および冷却空気フローの温度および体積速度、ならびに室のサイズは、海水小滴が十分に循環できる範囲を決定するのを助け、適当な冷却および凍結、並びに小滴の沈降が達成できる。さらに、それらは室の底部に落下し、かなり短い時間、すなわち数秒未満で氷塊を形成し始める。

10

【0108】

従って、向流を考慮する場合、それが上向きの冷却空気フローにさらされているので、海水小滴の最終の降下速度を考慮しなければならない。空気中の水小滴のための最終降下速度の相関性は、図 13 に示される。より小さな直径粒子状物質(直線の下で示される)は、多くの場合に上方へ吹き上げられて、システムから吹き出される。したがって、小さすぎる小滴を生まないように、スプレーのノズル構成が好ましくは形成される。しかしながら、ほとんどのノズルで、ある量の海水小滴は、小さなミスト状の小滴のスプレーとして必然的に形成される。これは好ましくは海水出力の非常に小さな分率であるが、それは上方へ吹き上げられる傾向がある。

20

【0109】

約 7, 151 SCFM の冷却空気の使用し、25 平方フィートの断面積を有する直立のカラムを有する室を使用することが考慮される。そこでは冷却空気の上向きの垂直速度は約 4.77 フィート/秒であるとわかった。そのような場合、図 13 で支持されるデータを考慮に入れることによって、325 ミクロン以上である海水小滴が、その速度の上向きの冷却空気フローを通り、恐らく適切にゆっくりと沈降することが決定された。しかしながら、図 13 の中のチャートを見ると、直径 4, 000 ミクロンのサイズを持つ海水小滴で、44 フィート/秒の冷却空気速度が、より好ましいと考えられる。ワガオ(Wa Gao)博士は、彼女の垂直の風洞の中で、華氏マイナス 4 度の冷却空気を使用して、約 7 秒の平均時間で、豚飼育場廃水の 2, 800 および 4, 200 ミクロンのサイズ小滴を凍結することを報告した。しかしながら本発明では、海水小滴は、室温(つまり華氏 40 度)から華氏マイナス 6.2 度(共晶温度)近傍で好ましくは凍結され、非常に短い時間、約 0.2 秒で凍結される。冷却空気が華氏マイナス 135 度から華氏マイナス 175 度で使用されるからである。

30

【0110】

4, 000 ミクロンのオーダーの直径のより大きな小滴サイズについては、同じ温度の冷却空気が使用されると仮定して、芯まで小滴を凍結するのに 0.2 秒を越える時間がかかる。最初は、小滴が華氏 + 40 度であり、空気が華氏マイナス 175 度とマイナス 135 度の間にある場合、強い伝熱があり、わずか 0.2 秒しか必要でない。しかしながら、小滴の温度が低くなると熱交換が起こり、局所的に空気の温度が上がるので、この計算は完全に正確ではない。更に、小滴が適切な熱交換を保証するために必要なすべての空気と相互作用すると仮定されている。しかしながら、ガオ博士によって報告された小滴凍結データは、より暖かい気流の中での個々の小滴の短い凝固時間を支援する。向流室での滞留時間用の例を考察する。そこでは直径 4, 000 ミクロンで 44 フィート/秒の下方への沈降速度を有する小滴は、室内での 4 フィート/秒の冷却空気より遅い上向きの速度に遭遇する。小滴は、10 フィート/(44 フィート/秒 - 4 フィート/秒)で、10 フィートの垂直の高さを 0.25 秒で落ちる。したがって、より大きな小滴は、それらが氷

40

50

ノ雪塊上に堆積し、熱交換を完了し、華氏マイナス6度の平衡温度に到達するまで、それらは必要な熱交換を完了しないことが期待される。

【0111】

より大きな小滴サイズでも同じことが言え、向流室中で使用できる冷却空気の上向き速度はより大きい、比較的短い時間で室の底に小滴が落ちることをまだ可能にしている。それは、考察された例のうちの一つでは約2.5秒である。そして、同じ温度冷却空気を使用される場合には、より大きな小滴サイズでは、芯まで小滴を凍結するためにより長い時間がかかる。小滴への高い熱移動速度のためには、比較的低い冷却空気の温度が望ましく、また比較的高い冷却空気流量が望ましい。

【0112】

図16-18の中で示されるように、室壁に置かれたオリフィスを通りノズルは室内に下方へ向けられる傾向があり、冷却空気は室の一番上に排気口を維持することにより、上方へ流れる傾向がある。上部で排気することによって、室内へ導入された冷却空気は、室を通過して上方へのみ流れることができる。この流れは向流を落下する小滴に対して生成するために使用できる。この軌道は最長の滞留時間を与えて、衝突する小滴の合体を許す。小滴が射出メカニズムにくっつかないように、冷却空気の入口は室の横に置かれる。小滴の凍結について行われた研究では、上向きに流れる冷却空気は、上向きの速度で射出され、小滴沈降速度と一致し、小滴の凍結中に小滴を観察すると静止状態を維持していた。

【0113】

小滴の沈降速度および凍結プロセスの迅速さは、さらに沈降室の高さを決定する。向流配置を使用し、混合室をより高くすると、小滴が底に落ちるまでの距離がより長くなり、したがって小滴はより長く冷却空気に暴露され、凍結する。更に、状態図は、異なる位相の分離を許容することができるに十分な時間が必要とされる平衡状態図である。したがって、沈降室の最終の構成は、システムの相分離効率に基づいて、好ましくは決定される。それが楽観的すぎる場合、ノズルを通る海水の流量を減らすかあるいは沈降室の高さを高くするか、あるいは冷却空気の体積流量速度を増加させることが必要なことがある。

【0114】

さらに、室の底に沈降して結合する前にそれらが適切に凍結して氷塊を形成するように、氷粒子状物質が空気中で離れ続けることを保証することは望ましい。2つ以上の氷粒子状物質がともに融合し、飛行中に結合することを許せば、それらはより大きな小滴を形成する傾向がある。それはより多くの時間および冷却を凍結のために要求する。したがって、向流配置を使用すると、スプレーされる時に、それらがともに空気中で融合しないように十分に遠くに離して海水小滴を形成することは望ましい。

【0115】

従来の研究者は、それらの間の引力により衝突する、2つの雨滴を発見した。彼らは、直径で20ミクロンの小滴を考えた時に、最初の分離は、直径の50倍という通常の仮定ではなく、直径の約10倍であると仮定した。直径の10倍の分離は小滴のより濃厚な分布を生じさせ、合体、小滴の成長および雨に、より結びつく。

【0116】

これらの比率に基づいて、粒子状物質間の距離が直径の25倍で、直径が4,000ミクロンならば、好ましい離隔距離は100,000ミクロンになる。これは、10cm x 10cm x 10cmである立方体中に1つの粒子が存在するか、あるいは1リットル当たり1つの粒子があるということを意味するだろう。上記の計算は、高さ1,026フィートで断面積が25平方フィートの室体積中で、この静止状態の雲が空気1リットル当たり1つの粒子の密度を持つように雲の分配が遂行される必要があるだろうということを意味する。もしこれが高い高さの雲の中の小滴の分配ならば、小滴は地面に落ち、そしてそれらの下方への軌道中に衝突しない。

【0117】

粒子状物質間の距離が直径の10倍で直径が4,000ミクロンならば、離隔距離は40,000ミクロンになる。上記の計算に基づいて、この雲の分配は高さ260フィート

10

20

30

40

50

で断面積が25平方フィートの室体積中で遂行される必要があるだろう。もしこれが高い高さの雲の中の小滴の分配ならば、小滴は地面に落ち、それらの下方への軌道中に衝突するだろう。

【0118】

しかしながら、連続的に海水小滴雲を生成するノズル・スプレーを導入し、ゆっくりと上方に動く空気流れ、たとえば毎秒4フィート上に流れる流れを使用して連続的な沈降を起こす場合、沈降室の高さがあるかにより少なくできることが決定された。さらに、4,000ミクロンの直径の小滴が使用される時、上向きの気流の方向によっては顕著に影響されず、したがって結晶化室の底に堆積する傾向があり、それは数秒で熱交換とある程度の排水を完了する。しかしながら、200ミクロン直径の、あるいはより小さい小滴が使用される時、それらはよりゆっくりと沈降し、約2フィート/秒の下方への速度で沈降し、したがって、小滴は結晶化室の底に堆積しないかもしれない。従って、小滴が直径で少なくとも400ミクロンより大きいことを保証することがそのような場合に必要である。しかしながら、サイズ・スペクトルのより小さいものでは、これらのより小さなサイズ小滴はより長い滞留時間、たぶん2.5秒を超える滞留時間を有する。更に、結晶化室の底に入って来る空気を備え、低温で堆積された時、後で議論されるように、小滴はより多孔性の氷塊を形成する。

10

【0119】

小滴が上向きの冷却空気フローによって上向きに強要され、より長時間循環し、室が十分に大きくない場合に、および/または小滴の密度があまりに高い場合に、小滴が互いに容易に融合し合体することは、向流配置に関連した固有の不利益である。

20

【0120】

図16は、向流およびパッチ氷回収システムの例を示し、そこでは冷却空気は、主室141の中間から射出されられ、上方へ流れる。図16は主室141の断面図を示す。これは海水および/または加熱された圧縮空気を、室壁を通して熱交換の目的で循環させるために、室壁145の周囲を延びるパイプ143および/またはキャビティーを有する。この実施態様は、圧縮空気がターボ圧縮機148により生成でき、ターボ・エキスパンダー150により圧縮空気は解放され、膨張できることを示す。そこでは中間部140の近くで室141へ生産される冷却空気を導入できる。追加の圧縮機、および熱交換器なども、以前に議論されたように、提供できる。

30

【0121】

ターボ・エキスパンダー150からの冷却空気は好ましくは上向きに導かれ、室141の一番上から圧縮空気を抜く。つまり、冷却空気フローは室141の中央ポイント140の周囲から始まり、頂部から脱気される。冷却空気の温度、圧力および流量は、好ましくは予め決定され、ここに議論される要因の関数である。

【0122】

以下に議論されるように、室壁を通して濾過され循環されあらかじめ冷却された海水は、1セットの1つ以上のノズル142を通して室141へ好ましくは導入され、たとえば小滴雲の形態で海水小滴のスプレーを形成する。これは、室内に好ましくは上から、室141の頂部147から、下方へ射出される。海水小滴の温度、圧力および流量は、好ましくは予め決定され、ここに議論される要因の関数である。

40

【0123】

この構成は冷却空気および海水小滴を、室141の中へ反対方向で導入し、循環できる。そこでは小滴は、さらに室内で熱交換によって冷却空気により冷却できる。ノズル142は、氷粒子状物質が室壁から離されるように、中心へ小滴が分配されるように好ましくは設計されている。氷塊は、逆円錐型形のような形で、室の中心に生ずる傾向がある。この実施態様では、排気冷却空気は頂部147で排気口を通じて室141を出ることを許される。その後、排気冷却空気を、エアコンディショニングのような他の冷却目的に使用できる。

【0124】

50

暖かい温度の取り込まれた海水および/またはターボ圧縮機 1 4 8 からの加熱された空気は、好ましくは室壁 1 4 5 内を循環され、壁 1 4 5 に集まらずに室 1 4 1 で氷小滴を生じさせることを助け、かつ室内温度を規制すること、つまり、より一貫した室内温度を維持するのを助ける。

【 0 1 2 5 】

例えば、ろ過された海水はポンプによりパイプ 1 4 3 および/またはキャビティーへ、中央のポイント 1 5 2 の近くで取り込み、室壁 1 4 5 の上部の半分を通りそれが上方へ循環するようにし、ポイント 1 5 3 で頂部の近くから出てゆくことができる。ポイント 1 5 3 ではあらかじめ冷却された海水を分配し、室 1 4 1 内に導入することができる。海水は、好ましくは、室 1 4 1 の近くに伸びる上部のパイプ 1 4 3 を通って循環する。海水が循環する時、冷たい室壁 1 4 5 で伝熱されてあらかじめ冷却された後、ノズル 1 4 2 によって主室 1 4 1 へ解放される。この点で、海水は好ましくは (1) 主室 1 4 1 を囲む取り込みパイプ 1 4 3 を通って循環されるときに冷却される、(2) 海水小滴が主室 1 4 1 の内部のスプレーノズルによって放出される時に冷却される、および (3) 凍結された海水小滴がマウンド上に堆積するときにさらに冷却され、室 1 4 1 の底部に氷塊を形成する。

10

【 0 1 2 6 】

ターボ圧縮機 1 4 8 からの加熱された空気は下部の箇所 1 5 4 でパイプ 1 5 5 および/またはキャビティーへ導入でき、それが室壁 1 4 5 の下部部分を通って下方方向に循環し、底部 1 5 6 から排出できるようにされる。冷却された圧縮空気はターボ・エキスパンダー 1 5 0 に分配でき、圧縮空気を冷却されたままで保持することを助ける。この点で、パイプ 1 5 5 はその圧縮した状態で圧縮空気を維持するために好ましくは適応される。それはターボ・エキスパンダーによって膨張された実際の空気を予め冷却することを許可し、得られた冷却空気をより冷たくすることができる。事実、ターボ圧縮機 1 4 8 からの加熱された圧縮空気は氷塊が室壁にくっつかないようにするために循環できる。また、空気が循環する時に、空気は冷却された室壁からの熱伝導により冷却され、その後あらかじめ冷やされた空気はターボ・エキスパンダー 1 5 0 に戻され循環される。空気は過冷却され、主室 1 4 1 へ導入され海水小滴を凍結する。

20

【 0 1 2 7 】

パイプおよび/またはキャビティーの位置は修正できる。つまり、システムの必要に依存して、海水は全室、あるいは下部部分を循環でき、および/または加熱された空気は全室、あるいは上部部分を循環できる。好ましくは、あらかじめ冷やされた海水および加熱された空気がパイプおよび/またはキャビティー内にあり、室壁の内の熱を転送する優れた手段がある場合、あらかじめ冷やされた海水および加熱された空気が多量に生じる。

30

【 0 1 2 8 】

室の底部は濃縮塩ブラインが集められ次に、穴 1 5 8 を通して回収されることを可能にするように好ましくは適応される。そこでは氷塊は塩ブラインの上に生じて、氷の低密度およびブラインの高密度によって、その上に浮かぶ。システムを止める必要なしに、容易に氷塊を回収することができるように、バスケット 1 5 9 が室の底に提供できる。この点で、室 1 4 1 の底には、開口部が好ましくは提供され、これはバスケット 1 5 9 が回収できるようにし、氷塊を溶かし、新鮮な飲料水を生産することができる。別法として、室 1 4 1 の底は、たとえばヒンジを有するドロップダウンドアを有するように設計することができる。システムの操作を停止する必要なしに、ドアを下げて、氷塊およびすべての残留する集められたブラインを室 1 4 1 から取り除くことを許可する。そのような場合、好ましくは室 1 4 1 の下にコンベヤ・システムがあり、新鮮な飲料水を生産するためにそれを溶かすことができる場所へ氷塊が輸送されることを可能にする。

40

【 0 1 2 9 】

図 1 7 および 1 8 は、同様の室 8 0 を備えた向流システムを示す。冷却空気は中部点 8 2 の近くで導入され、上から海水を導入するためにノズル 8 4 が設けられる。これらの図は、室 8 0 の中心へのノズル 8 4 の指向の結果、円錐形の底での氷塊 8 6 の成形の形をより明白に示す。この実施態様は、さらに回収されることが所望の場合に、室から氷塊を下

50

に動かすために使用できるピストンの実施態様を示す。さらに、それは、冷却空気のエン
トリー・ポイント 8 2 が氷塊の可能な高さのポイントよりさらに高くあるべきであることを
示す。室の底から冷却空気エントリー・ポイントまでの距離は、「H」によって指定される
。これは、射出された冷却空気が氷塊に衝突せず、沈降室 8 0 中の空気ではなく氷塊へそ
の冷却効果を与えることを保証するのに必要である。射出された空気は沈降室 8 0 に入り
、直ちに室の頂部へ上昇し、落ちてくる海水小滴と相互作用しなければならない。図 1 8
は、氷塊およびすべての落下する氷粒子状物質が室壁上に凍結するのを防止するために、
室壁の底部近傍に別個の加熱ユニットを提供できることを示す。

【 0 1 3 0 】

空気が渦の中で循環する空気のデッド領域を含むゾーンが、冷却空気射出ポイントより
下の沈降室の底にある。これらの渦は、取入口冷却空気のうちのいくらかを衰弱させて、
主な上向きの気流へ渦空気のうちのいくらかを返す。渦の流れは望ましくなく、氷塊およ
び塩水を共晶温度以下に維持することがあるので、幾分かの塩の結晶化と食塩水の底部へ
の堆積に帰着する。H の値は適切な温度、それは好ましい実施態様の中で、わずかに共晶
点より上にある温度で氷塊が維持されることを保証するように決定されるべきである。形
成中の氷塊の形が好ましくは円錐形であることに注目すべきであるが、以下に議論される
ように、塩ブラインが側面を流れ落ち、または孔を通して出てゆくことを許容する任意の
形であることができる。これは、氷晶の堆積、および各氷晶に関連した食塩水の流れだし
を促進する。

10

【 0 1 3 1 】

さらに、それが発展する時に、氷塊の周囲のまわりに液体の環状のギャップを維持し、
さらに回収の間にその置換を促進することは望ましい。小滴が氷塊上に堆積すると、塊は
2 つの相の、氷晶および食塩水に分かれる。氷塊の円錐状表面のために、液体は、沈降室
の壁の方へ下方向、外側方向に流れることができる。従って、氷塊が氷塊と沈降室の間に
ギャップを有することは、排出液体が氷塊から流れだし、下方の食塩水内に入るために望
ましい。室壁内のパイプおよび/またはキャビティーを使用して熱交換システムを構築す
ることに加えて、上に議論されたように、局所的なヒーターが沈降室の壁内の室の底部に
提供できる。それは必要なギャップを維持するための局部加熱をちょうど十分に供給する
ために作動することができる。

20

【 0 1 3 2 】

図 1 7 および 1 8 は、氷塊を低下させるために使用できるピストンを示す。その結果、
それは室 8 0 から取り除くことができる。そこではこの環状ギャップは沈降室を通る氷塊
の移動を促進できる。沈降室の高さは、秒単位で測られた期間に、空気から海水小滴へ冷
却エネルギーの転送を促進する滞留時間を供給するように好ましくは設計されている。し
かしながら、分単位から時間単位までの範囲で、それがより長い時間残る時に、食塩水か
らの氷の氷塊上への主な分離が生じる。

30

【 0 1 3 3 】

E . 並流配置 :

上に議論した、落下する小滴に対して上方向に冷却空気を吹く向流に加えて、追加の実
施態様が開発され、そこでは冷却空気が海水小滴と同じ方向に吹かれ、「並流」と呼ばれる
。並流配置は図 1 4 - 1 5 および 3 1 - 3 4 の中で示される。両方の利点および不利益
はここに議論される。

40

【 0 1 3 4 】

冷却空気が室の頂部から下方へスプレーされているので、空気が海水と衝突する瞬間で
その最も冷たい温度であるので、室の中への冷却空気の下方へのフローは有利である。こ
れは、共晶温度より本質的に低い温度に小滴を露出し、海水のフラッシュ凍結法を速く始
めるのを支援する。それは氷をより速く形成するのを支援する。これは、さらに小滴の密
度が高すぎる場合、あるいは室サイズが小さすぎる場合に起こるであろう、それらの衝突
の際に小滴がともに合体することを防止するのを支援できる。

【 0 1 3 5 】

50

小滴が落下する時、それは室の高さの関数であるが、冷たい空気を吸収し始める。つまりついで小滴は凍結し、空気は暖まり始める。その結果、小滴が底に達する時までに、空気は室へ導入された時ほど冷たくない。ブライン全体を凍らせる場合がある、氷粒子状物質が冷たくなりすぎる場合を防ぐので、それは有利である。室の底部の混合物の温度をわずかに共晶点の上の温度に維持することによって、ブラインは完全に凍ることが防止され、以下に議論されるように、氷粒子状物質を囲む液体の塩気のあるブライン溶液のより多くが氷粒子状物質と分離し、流れ出ることを許容する。

【0136】

冷却空気の下方向へのフローは、さらに冷却空気が向流配置の場合でのように落ちる小滴に対して吹き出される場合に起こることがある、小滴が空中であまりに長い間保留されることを防ぐ。あまりに長時間冷却空気に小滴を露出することは、底部で適切なコンシステンスを維持するのに必要である、小滴の温度と同様に室の正確な温度をコントロールし正確に規制することを困難にすることがある。例えば、多くの状況で、海水の凍る状態は、室の内部のある位置と別の位置では同じではないことがある。つまり、いくつかの氷粒子状物質は、結局冷却空気にあまりに長い間露出されることがある、その場合には、それらは冷却されすぎる。一方、他のものは十分に長く露出されず、その場合にはそれらは十分に冷却されない。この問題は、小滴のサイズがそれらがノズルから放射される時に異なり、それにより異なる速度で小滴が凍結するときに増幅される。

10

【0137】

下方への並流プロセスで、これらの問題の多くは回避できる。しかしながら、1つの潜在的なマイナス面は、落ちる小滴と同じ方角で冷却空気の突風に海水小滴を露出することによって、小滴が室の底に速く移動しすぎることがあるということである。それは、小滴が凍るためには少ない滞留時間しか滞留しないということの意味する。この問題の1つの解決は、小滴に速く作用できる過冷却空気を使用し、小滴が室の底に達する時までに、それらが適切な温度であることを保証することである。別の解決法は、小滴雲を形成するためにあらかじめ冷却された海水を使用し、海水小滴が凍結するまでおよび/または共晶温度に到達するまでにより短い時間しか要求されず、したがってより少ない暴露時間しか必要でないようにすることである。

20

【0138】

別の解決法は、海水小滴のサイズおよび流量、および冷却空気フローを規制することである。その結果、底部に落下するように速くは小滴は移動しない。例えば、1つの実施態様では、並流する冷却空気は、約4フィート/秒のような低減された速度で室へ下方向へ導入できる。その結果、小滴が室へ導入される時、および小滴が十分に小さい場合、それらは実際に飛行に際して減速される。比較的高速度で小滴が放射されても、それらが十分に小さい場合、より遅く動いている下方への気団によって著しく影響される場合がある。それらが例えば約26フィート/秒の速度で14.67 psiaの大気中へ出発しても、はるかに遅い気流に応じて速度を落とすことがある。しかしながら、この流量で、小滴の室内での飛行の滞留時間、つまり室の頂部から、室の底の氷塊の上に小滴が堆積する場所まで小滴が落ちるためにかかる時間は恐らく、比較的短い。小滴が比較的大きく(5,000ミクロン以内)、55フィート/秒の沈降速度を有するか、あるいは小さく(200ミクロンほど)、2フィート/秒の沈降速度を有する場合、4フィート/秒の下方への気流は、高さ10フィートである室において、5,000ミクロンの小滴について0.16秒(10フィート÷(55フィート/秒+4フィート/秒)=0.16)、あるいは200ミクロンの小滴について1.6秒(10フィート÷(2フィート/秒+4フィート/秒)=1.6)の滞留時間となる。従って、議論されるように、過冷却空気を使用する必要、および/またはあらかじめ冷却された海水を使用する必要がある。

30

40

【0139】

上に言及されるように、滞留時間(熱的相互作用および熱交換が海水小滴と周囲の冷却空気流れとの間に生じるフロー時間)は、海水小滴の純水成分の凍結をコントロールし、残余のブラインから得られる氷晶粒子の分離を促進する、多くのキー・パラメータのうち

50

の1つである。滞留時間は、脱塩室を下降する海水小滴の速度、および脱塩室の高さに依存する。したがって、室の高さは粒子水の凍結が完了し、残余のブラインからのその分離が達成されるという要求に基づいて確立される。

【0140】

ターボ・エキスパンダーが5,297SCFMで気流を供給し、結晶化室の中で4フィート/秒の垂直速度を使用する例を考慮すると、その結果、室は5.3フィート直径を持つことが要求される。室の高さが10フィートであると考え、次の計算は2.5秒の滞留時間を仮定する。同じ計算が他の滞留時間についても行なわれなければならない。

【0141】

5,297	scfm	空気流れ
4フィート/秒		室内の垂直速度
240フィート/分		室内の垂直速度
22.1	平方フィート	
5.3	フィート直径	
2.5	秒	滞留時間
10	フィート	通路長(室の高さ)

10

【0142】

さらに、衝突の防止を保証するために、小滴が十分なスペーシングを持つことを保証することが必要である。我々が使用した実施例において、小滴直径への空気直径の比率が16:1であることを要求し、以下の表が結晶化室内部の雲パラメータを、大きな小滴と小さな小滴の両方について示す。

20

【0143】

以下の上段の表は、4フィート/秒の(下方への冷却空気フローの)通過速度については、5,297SCFMは、5.3フィートの室直径を要求する。4,000ミクロンの粒径および5,297SCFM気流については、小滴間のスペーシングは小滴直径の16倍である。これは、独立した飛行経路を備えた合理的な雲性状に相当する。以下の下段の表は、より大きく存在すること以外は200ミクロンの小滴直径についても同じことが言えることを示す。

【0144】

【表1】

30

4,917 #/時 海水	4,000 ミクロン
64 #/立法フィート 海水	0.4 cm
76.8 立法フィート/時 海水	1.57E-01 直径
1.28 立法フィート/分 海水	1.18E-06 立方フィート 小滴の体積
	6.40E+01 #/立方フィート
5,297 scfm 空気	7.57E-05 #/小滴
16.1 空気直径/海水直径	1.08E+06 小滴/分
5.3 フィート 直径 室	5297 scfm 空気
4.0 フィート/秒 空気	
	4.90E-03 scf 空気/小滴

40

【0145】

【表 2】

4,917 #/時 海水	200 ミクロン
64 #/立法フィート 海水	0.02 cm
76.8 立法フィート/時 海水	7.87E-03 直径
1.28 立法フィート/分 海水	1.48E-10 立方フィート 小滴の体積
5,297 scfm 空気	6.40E+01 #/立法フィート
16.1 空気直径/海水直径	9.47E-09 #/小滴
5.3 フィート 直径 室	8.66E+09 小滴/分
4.0 フィート/秒 空気	5297 scfm 空気
	6.12E-07 scf 空気/小滴

10

【0146】

並流システムについては、10 - psidの圧力差は22.8フィート/秒で室へ小滴をスプレーする。4000ミクロンの直径の小滴は、44フィート/秒の沈降速度を持っている。したがって、より大きな小滴は、4フィート/秒のローカルの空気速度よりはるかに高い速度で室へスプレーされ、瞬間的に、22.8フィート/秒から44フィート/秒まで加速される傾向がある。空気中の10フィートの通路長さについては、滞留時間は約0.25秒になる。比較的高い熱伝達係数が当てはまれば、ほとんどの熱交換は生じるが、4,000ミクロンの大きな小滴があまりにも速く堆積すると、完全な熱交換が小滴と冷却空気の間には生じない。堆積された氷塊の上の冷たい空気の連続的なフローは、残りの熱交換を完了する。

20

【0147】

並流空冷方式については、40 - psidの圧力差は45フィート/秒で室へ小滴をスプレーする。200ミクロンの直径の小滴は、2フィート/秒の沈降速度を持っている。したがって、小さな小滴は、4フィート/秒のローカルの空気速度よりはるかに小さな速度で室へスプレーされ、瞬間的に、45フィート/秒から4フィート/秒まで減速させられる傾向がある。空気中の10フィートの通路長さについては、滞留時間は約2.5秒になる。したがって、小さな小滴は、華氏約マイナス6度で、完全な熱交換をして結晶化室の底に堆積する。

30

【0148】

システムのセットアップ中に考慮すべき他の事項は、ノズルによって放射される海水小滴の正確なサイズを正確にコントロールするのは難しいことがあるという事実である。正確に流量と速度をコントロールできるが、海水小滴の実際のサイズは容易に制御できない。したがって、システム・セッティングは、これを考慮に入れて設計されるべきである。すなわち、小滴が小さいか大きいかにかかわらず、最終結果をできるだけ一貫性のあるものにするため、小滴の圧力および速度と同様に気団の速度もコントロールされるべきである。小滴がより小さい場合、それらは気団によってより大きく影響される傾向があり、また初期の放出速度によってはほとんど影響されなかった。また、比較的大きな小滴より小さい小滴は遅い速さで下降する傾向があるということについての考察が為されなければならない。同時に、小滴がより大きい場合、それらは気団によってはほとんど影響されない傾向があり、また放出速度および重力によってより大きく影響された。したがって、それらは比較的高い速度で下降する傾向があるという、これを説明するための考察が為されなければならない。

40

【0149】

この点で、本発明は、好ましくは直径で約4,000から5,000ミクロンまでの大きさの比較的大きな小滴でさえ、十分に気流によって影響でき、したがって滞留時間を十分なレベルにコントロールできることを企図する。小滴のサイズおよび質量に依存して、

50

異なるサイズ小滴がそれぞれ室の底部に落ちる速度は異なり、したがって個々の異なるサイズ小滴の暴露時間が異なることがあるが、本発明は小滴が冷却空気に十分に暴露されることを保証するようにセッティングが適応されることができ、氷粒子状物質が底に達する時、それらは共晶温度に近くなることを企図する。ここで、小滴は氷晶を形成し、結合し、氷塊を形成する。また、ブライン食塩水は、先に議論されたように、適切に流れ出る。最終条件が所望のとおりになるように、冷却空気のフローをコントロールすることができるので、このシステムは、さらにフローの経験的なコントロールを許容する。

【0150】

システムのゴールのうちの1つは、小滴が室の底部に堆積した後の平衡温度が、一貫してわずかに共晶温度以上であることである。これは小滴サイズにかかわらず、室内の循環の条件が、できるかぎり最良な熱交換を達成するために冷却空気フローの質量速度と海水小滴フローの質量速度とが最終的に一致するような状態であるべきであることを意味する。その結果、最終結果は、室内の排出空気と蓄積する氷粒子状物質が、理想的な温度、すなわち共晶温度近傍であるということである。しかしながら、完全な熱交換がありそうではないとすれば、より適当なシナリオは、排気冷却空気が共晶温度より冷たくなるということである。また、底の氷塊は共晶温度より暖かくなる。それは受理可能な結果である。

10

【0151】

もちろん、適切な熱交換は海水小滴の熱伝達係数を考慮に入れなければならない。それは小滴サイズがそれぞれ異なる場合には決定するのが難しい。さらに、室自体の中で、小滴が落ちるとともに、空気はより暖かくなり、それぞれの小滴は冷たくなる。その結果、プロセスの間の個々の瞬間で、熱伝達係数は変化する。海水小滴と周囲の冷却空気流れとの間の熱伝達係数は、残余のブラインからの海水小滴の分離、および海水の純水成分の凍結をコントロールする重大なパラメータである。熱伝達係数は、海水小滴の直径およびその密度、冷却空気の密度、冷却空気および水小滴の両方の温度、海水小滴と周囲の冷却空気流れの相対速度、および周囲の気流内の海水小滴の滞留時間の関数である。これらのパラメータの値は小滴フロー・パスに沿って変わる。また、得られる熱伝達係数も変化する。

20

【0152】

図35の中の表は、大きな4,000ミクロンの小滴は、熱伝達係数に依存して、0.2秒のフライト中に華氏マイナス56.6度から華氏8.59度の間の核温度を持つことを示す。熱伝達係数は、50BTU/値(HRSQFT F)に接近している。小さな200ミクロンの小滴は、熱伝達係数に依存して、0.2秒のフライト中に、華氏マイナス120.8度から華氏39.9度の間の核温度を持つことを示す。熱伝達係数は、50BTU/値(HRSQFT F)に接近している。大小の小滴が、華氏マイナス56.6度と華氏マイナス120.8度の間にあることが期待できるが、室の温度が底の近くでより暖かいので、これは起こりそうもなく、その結果、一定の華氏マイナス121度の空気温度の仮定は誤りである。しかしながら、計算は、結晶化室内の4秒の飛行時間が空気と小滴の完全混合を許容し、結晶化室の底に堆積した時に、空気の最終の平衡温度が華氏マイナス6度よりも幾分低い温度に近づき、小滴は華氏マイナス6度よりも幾分高い温度に近づくことを意味する。したがって、脱塩プロセスの最終結果は、エントリ小滴が滑らかにそれらの温度を華氏マイナス6度の若干上まで低下させ、空気は華氏マイナス6度の若干下まで滑らかに加熱されるというものである。

30

40

【0153】

冷却空気が、室の一番上で最も冷たいとすれば、最も小さな小滴がそれらの全ボリュームにわたって恐らく比較的速く凍結し、液体海水が固体に変換されるのに遅れがないことは明らかであろう。小滴が冷たくなりすぎるとは望ましくなく、空気の温度および氷の質量が、凍結された小滴が室の底に達する時まで小滴が共晶温度よりも若干上まで暖められるようにされ、それにより塩の結晶の凍結を回避して、塩ブライン溶液が好適に流れ落ち、氷塊の中にトラップされないようにすることは許容される。

【0154】

50

より大きな小滴の場合には、しかしながら、小滴が、頂部から底までの温度の差によってより大きく影響される。さらに、より大きな小滴では、小滴がそれ自身どのように凍結するか、より大きな変化がある。すなわち、冷たい温度への暴露に関する限り、より大きな小滴は外部から最も冷たい温度に露出される。つまり、小滴の外部は小滴の内部よりより速く冷たくなる。一方では、これは、塩は中心の方へ強要される傾向があり、その一方で外側の真水が凍結し始めることがあるということを示すであろう。他方では、研究は、水小滴がその全体にわたってある温度に達する場合、小滴内の真水が中心で最初に凍ることを示した。また、もっと濃い塩ブライン溶液は、氷晶の外側表面に付着している。

【 0 1 5 5 】

他の研究は、大きな小滴は外側から凍結し、外側の氷シェルを形成するというを示す。シェル厚さが一層の凍結により内部へ成長するとともに、それは中央の液体の核内の圧力を増加させて、それにより、脆い氷シェルが割れてばらばらになることに帰着する。その後、凍結が氷の内部への成長を継続するとともに、液体のブラインは氷シェルの外部に流れ出る。その後、内部の液体の核は、冷凍の真水小滴の外部を覆う。最終的結論は、大きな小滴については、塩を含む内部の液体の核が真水氷の冷凍された粒子の外部へ流れて、液体のブラインで覆われた氷粒子と同様の構成になるということである。これらの冷凍の球体の付着は多孔質組織を生産し、液体のブラインが堆積した塊から下降して流出し、収集パンへ穿孔された表面を通して流出することを可能にする。

10

【 0 1 5 6 】

純水は0 で凍るが、凝固点は水へ塩を溶かすことにより低下できる。その後、混合物が新しい凝固点以下に冷却されれば、水の結晶が生じ始める。その結果、残りの食塩水は、塩の飽和点に到達するまで、さらに濃縮される。図6の中で示されるように、凝固点ラインおよび飽和点ラインの交点は、共晶点と呼ばれる。共晶点以下では最終の氷塊を形成する際に、塩の結晶が氷晶に加えて形成される。本発明は塩の結晶の形成を回避するために共晶点上で好ましくは操作される。

20

【 0 1 5 7 】

溶液が凍結した時、水分子は、外来の粒子がない場合に最も安定した結晶配置を形成する傾向がある。ミネラルを含んでいる溶液が凝固点に冷却される場合、水分子は氷晶を形成し始め、水分子と異なる粒子状物質を除外する傾向がある。例えば、塩水が凍結する際、塩は水とは異なる結晶構造を持つので、塩は除外される。これは時々ブライン拒絶と呼ばれる。塩は立方晶系結晶(4側面)を形成する。しかし、氷はヘキサゴナルまたは6側面形である。冷たい塩気のある水の中のすべての分子の中で、 Na^+ または Cl^- のイオンから離れて、互いの隣りにある水分子の例が存在する。これらは、ともに付着する傾向がある。一方、 Na^+ あるいは Cl^- イオンとそれらの分子は粘着性が低下するか、または引き合わない。これは真水氷晶を生産する。それはわずかに塩気のある液体の水から分離する。冷たい温度の程度に依存して、冷凍された水には13の異なる結晶形がある。水の結晶のいくつかはかなり多孔性で、形成された開いた通路を液体が流れることを可能にする。

30

【 0 1 5 8 】

室温では、他の物質のように、温度が低下するとともに、液体の水はより密になる。しかし、4 で、ちょうど凍結点のすぐ上で、水はその最大の密度に達して、次に、水が標準状態の下で、その凝固点へさらに冷えるとともに、液体の水は膨張し、密度が下がる。この物理的な理由は、ヘキサゴナルの氷として知られている通常の氷の結晶構造と関係がある。水のこの特別の特性は、本発明のプロセスでよく用いられる。塩の結晶が共晶点の近くに生ずるとともに、それらは溶液の底まで下がる。その一方で氷晶は浮上してくる。プロセスの結果は物理的手段による分離であり、溶液の2つの成分が容易に分離されることを可能にする。

40

【 0 1 5 9 】

図14および15の中で示される並流プロセスでは、冷却空気は、14.67 psiaの排出圧力で華氏約マイナス168度のように、非常に低温で好ましくは維持される。好

50

ましい範囲は、華氏マイナス135度から華氏マイナス175度の間である。1段階ターボ・エキスパンダーは華氏マイナス135度を生成する。しかし、2段階ターボ・エキスパンダーは華氏マイナス175度を生成する。この冷却空気は、結晶化室101の一番上で、低減された温度で同じように射出される華氏約30度から華氏40度のような海水小滴と好ましくは接触する。冷却空気と海水の小滴の混合物が、室101内を下降するにつれて、冷却空気は海水小滴によって暖められる。また、海水小滴は並流の周囲の空気によって冷やされる。冷却空気のマスフローおよび海水小滴のマスフローは、塩水の共晶温度である、華氏マイナス6.2度よりわずかに暖かい最終の平衡温度に帰着するように設計されている。しかしながら、完全な熱交換が上に議論された理由で生じないことがあるので、室から排出されて循環される冷却空気は共晶温度より冷たく、小滴は共晶温度よりわずかに暖かい。それは望ましいことである。

10

【0160】

凍結が始まるまでには、時間の遅れがあることがある。2.5秒未満の滞留時間内で、射出された海水はそれが底に達する時までには華氏マイナス6度近傍まで温度が下がるようにシステムが適応されると仮定されている。幾分かはずぐに凍結するだろう。また、他のものは2.5秒を完全に必要とすることがある。しかし、小滴は底部で集められ、小滴および得られる氷塊の残余の温度が華氏マイナス6度の若干上になるように、システムは好ましくは適応される。形成小滴が完全に凍結する前に、多くの熱交換プロセスが生じている。並流システムの別の利点は、小滴がより速く凍結するので、結晶化室をより小さくすることができるということである。

20

【0161】

図14および15では、本発明の並流脱塩システムの例が示される。図14は、室壁を通して海水および/または加熱された圧縮空気を循環させるため、室の壁105のまわりに伸びるパイプ103および/またはキャビティーを備えた主室101の断面図を示す。温海水および/または圧縮機からの加熱された空気のより暖かい温度は、氷が室の壁に集まらないようにし、室内温度を規制し、室内のより一貫した温度を維持するのを支援する。ろ過された海水は例えば、底110でパイプ103および/またはキャビティーへ導入でき、それが室壁の下部の半分を通過して上方へ循環し、中央のポイント112の近くで排出されることができるようになる。ここで予め冷却された海水は上方に分配されることができ、ノズル108に至り、室101の中へ導入される。ターボ圧縮機からの加熱された空気はパイプ103および/またはキャビティーへ中央のポイント114で導入でき、それが室壁の上部の半分を通過して上方へ循環し、頂部116で排出されることができるようになる。冷却された空気はターボ・エキスパンダーに戻され、圧縮空気を冷却されたままに保持するのを助ける。

30

【0162】

室内の冷たい温度からの、室を囲むパイプおよび/またはキャビティーへの伝熱は、海水および/または加熱された空気を冷やすのを支援する。これは海水が室へスプレーされる前にあらかじめ海水を冷やすのを支援する、および/またはターボ・エキスパンダーによって冷やされ、室へ導入される前にあらかじめ加熱された空気を冷やす。好ましくは、海水および加熱された空気の予備冷却のほとんどがそれがパイプおよび/またはキャビティーにある時に起こり、熱を転送する優れた手段が存在する。海水および/または加熱された空気のパイプおよび/またはキャビティーの位置は修正できる。つまり、システムの必要に応じて、海水は室の全体を通過して、あるいは上部の半分を通過して循環でき、および/または加熱された空気は室の全体を通過して、あるいは下部の半分を通過して循環できる。

40

【0163】

ターボ・エキスパンダーからの冷却空気は、好ましくは室101の頂部107で、上から室101へ下向きに導入される。冷却空気の温度、圧力および流量は、好ましくは予め決定され、ここに議論される要因の関数である。ろ過され室壁を通過して循環したあらかじめ冷やした海水は、好ましくは小滴雲の形式のような海水小滴のスプレーを形成するために、1組の1つ以上のノズル108を通して室へ導入される。これは、室の頂部109か

50

ら、好ましくは上から室に射出される。海水小滴の温度、圧力および流量は、好ましくは予め決定されられ、ここに議論される要因の関数である。

【0164】

この構成は冷却空気および海水小滴の両方を、室101の中への同じ方向で導入し、循環させる。冷却空気は、室内の熱交換によって小滴を冷却できる。ノズル108は、小滴を中心にに向けて分配するように設計され、氷粒子状物質が室壁から離して保持されるようにする。氷塊は、たとえば円錐形のような形式で、室の中心に生ずる傾向がある。図14の実施態様では、排気冷却空気は、より低い出口ポイント111を通して室101を出て、側室113へ入ることを許される。それは、冷却空気が室101を下方向に通って循環することを許容する。その後、排気冷却空気は、たとえばエアコンディショニングのよう

10

【0165】

図15は、並流およびパッチ氷回収システムの断面図を示し、そこでは冷却空気は主室の頂部から射出される。図15は、加熱された圧縮空気および/または海水を室壁を通して循環させるために、壁125のまわりに伸びるパイプ123および/またはキャビティを備えた主室121の断面図を示す。この実施態様は、ターボ圧縮機118によって生成された圧縮空気を解放し拡張するためのターボ・エキスパンダー120を示し、冷却空気は頂部で室121へ導入される。追加の圧縮機、また、熱交換器なども、以前に議論されたように、提供できる。

20

【0166】

温海水および/または圧縮機からの加熱された空気は、氷が室の壁に集まらないようにし、室内温度を規制し、一貫した室内温度を維持する。例えば、ろ過された海水は、ポンプにより中央のポイント130でパイプおよび/またはキャビティへ導入でき、室壁の上部の半分を通して上方に循環し、頂部の近くのポイント132で出ることができる。予め冷却された海水はノズル122を介して分配され、室121内に導入できる。主室の頂部で、海水は好ましくは、室121の近くで伸びる、上部のパイプ123を通して循環する。そこでは海水の相対的な暖かさは、氷が室壁125上に集まるのを防ぐ。同様に、海水が循環する時に、ノズル122を介して主室121へ解放される前に、それは、冷たい室壁125で伝熱によってあらかじめ冷却される。冷却空気との相互作用を使用して、海水小滴は冷やされ凍結されるが、海水の温度降下の大部分は、室121を囲むチューブ123を通して海水を流すことにより達成できる。

30

【0167】

ターボ圧縮機118からの加熱された空気は下部134でパイプ133および/またはキャビティへ導入でき、氷塊が集まる室壁の下部を通して下方向に回って循環し、底部136から排出されるようにできる。圧縮空気を冷たいままで保持するのを支援するために、ターボ・エキスパンダー120に冷やされた圧縮空気を分配できる。この点で、パイプ133は、その圧縮した状態で圧縮空気を維持するために好ましくは適応される。それはターボ・エキスパンダー120によって膨張する実際の空気が予め冷却されることを可能にし、得られた冷却空気はさらに冷たくなることができる。ターボ圧縮機118からの加熱された圧縮空気は、氷塊が室壁にくっつかないようにするのを支援する。空気が循環するとともに、冷たい室壁からの伝熱空気が冷却される。その後、あらかじめ冷やされた空気はターボ・エキスパンダー120に循環され、空気は過冷却され、海水小滴を凍結するために主室121へ導入される。

40

【0168】

冷たい室内温度からの、室を囲むパイプおよび/またはキャビティへの伝熱は、海水および/または加熱された空気を冷やすのを支援する。それは海水が室へスプレーされる前に、あらかじめ海水を冷やすのを支援し、および/またはターボ・エキスパンダーによ

50

って解放され冷やされ、そして、室へ導入される前にあらかじめ圧縮空気を冷やす。好ましくは、海水および加熱された空気の予備冷却のほとんどがそれがパイプおよび/またはキャビティーにある時に起こり、海水および加熱された空気から室壁および室内空気へ熱を転送する優れた手段が存在する。海水および/または加熱された空気のパイプおよび/またはキャビティーの位置は修正できる。つまり、システムの必要に応じて、海水は室の全体を通して、あるいは下部の半分を通して循環でき、および/または加熱された空気は室の全体を通して、あるいは上部の半分を通して循環できる。

【0169】

ターボ・エキスパンダーからの冷却空気は、好ましくは室121の頂部127で、上から室121へ下向きに導入される。冷却空気の温度、圧力および流量は、好ましくは予め決定され、ここに議論される要因の関数である。ろ過され室壁を通して循環したあらかじめ冷やした海水は、好ましくはたとえば小滴雲の形式で海水小滴のスプレーを形成するために、1組の1つ以上のノズル122を通して室へ導入される。これは、室121の頂部127から、好ましくは上から室に射出される。海水小滴の温度、圧力および流量は、好ましくは予め決定されられ、ここに議論される要因の関数である。

10

【0170】

この構成は冷却空気および海水小滴の両方を、室121中へ同じ方向で導入し、循環できる。冷却空気は、室内での熱交換によって小滴を冷却できる。ノズル122は、小滴を中心にに向けて分配するように設計され、氷粒子状物質が室壁から離して保持されるようにする。氷塊は、たとえば円錐形のような形式で、室の中心に生ずる傾向がある。この実施態様では、排気冷却空気は、1つ以上の空気ポート137を通して室121を出ることを許される。それは、室121の中で冷却空気が下方へ循環することを可能にする。その後、排気冷却空気を、エアコンディショニングのような他の冷える目的に使用できる。室の底部は濃縮塩ブラインが集められ次に、穴139を介して回収されることを可能にするように適合される。そこでは氷塊は塩ブラインの上に生じて、氷の低密度およびブラインの高密度により、その上に浮かぶ。

20

【0171】

システムを止める必要なしに、室から容易に氷塊を取り除くことができるようにバスケット138が底部に提供できる。この点で、好ましくは室121の底部には、バスケット138を回収することができるように開口部が提供される。その後、氷塊は新鮮な飲料水を生産するために溶かすことができる。あるいは、室121の底部はたとえばヒンジを有するドロップダウンドアを有するように設計することができる。システム操作を停止する必要なしに、ドアを下げ、氷塊およびすべての残留する集められたブラインを、室121から取り除くことができる。そのような場合、好ましくは室121の下にコンベヤ・システムがあり、新鮮な飲料水を生産するためにそれを溶かすことができる場所へ氷塊が輸送されることを可能にする。

30

【0172】

図31-34では、本発明の脱塩システム40は海水60から塩および他の不純物を取り除くために好ましくは適応される。この実施態様では、脱塩システム40は好ましくは結晶化室41を含む。それは塩および他の不純物を回収されるために使用でき、精製水を生産できる。結晶化室41は、好ましくは、内部の低温を維持するように特に適応された断熱コンテナであり、かつ海水60および冷却空気50がそこに導入され混合されることを可能にし、氷および濃縮ブラインが底部に形成されることを許容する。結晶化室41は米国仮出願番号60/789,415(2006年4月5日出願)、60/794,190(2006年4月21日出願)、および60/832,777(2006年7月24日出願)に開示されたものに類似し、これらはすべて参照され本明細書に組込まれる。

40

【0173】

脱塩システム40は、好ましくは結晶化室41に海水60を、好ましくはミストまたはスプレー62の形で射出する。ここでターボ・エキスパンダーからの冷却空気50は好ましくは室41内へ導入され、それによって、ミストまたはスプレー62を非常に冷たい空

50

気に暴露する。これは海水小滴62を過冷却し、フラッシュ冷凍し、それにより室の底部64の上に落ちる過冷却された氷粒子状物質63を形成する。海水小滴62は、必ずではないが好ましくは室の頂部65で導入される。また、冷却空気50は1)室の中間の近くで導入され上に向けるか、または2)室へ上から導入され下に向ける。これは底まで海水小滴62をより速く移動させる下向き流れを生成する。どちらを使用するか決める要因は、海水がどれくらい直ぐに冷凍される必要があるか、室41に入る前に、海水60がどのくらい冷たいか、冷却空気50がどれくらい冷たいか、室41のサイズ、海水小滴が冷却空気にどのように露出され、冷却空気と循環するか、そして、導入されている各々の量などに依存する。

【0174】

海水60の凍結は、浮力のある純水氷粒子状物質63とそれらに付着する微量の塩気のあるブライン67とを共に形成でき、室41の底64に、塩および他の不純物を塩気のあるブライン67中に残す。脱塩システム40は、好ましくは、氷粒子状物質63よりも密度の大きな塩気のあるブライン67から氷粒子状物質63を回収する。重力がブライン67と氷粒子状物質63を分離するのを支援し、少なくとも2つの方法のうちの1つで、氷粒子状物質63を清浄にする。

【0175】

最初に、氷粒子状物質63は氷粒子状物質63が室41の底に蓄積することを可能にすることにより大きな氷塊66を形成できる。つまり、氷粒子状物質が互いの上に落ちる。時間とともに、氷粒子状物質63が落ちて、それらがともに付着する。それらは集団的に氷塊66を形成する。氷塊66はより濃厚である塩気のあるブライン67の上に浮かぶ傾向がある。この点で、好ましくは、室41の中心へ海水小滴62を導入することにより、粒子状物質63が円錐形の形氷塊66を形成するように適合される。それにより形成された氷粒子状物質63は、室の中心にも蓄積する。これは純水氷粒子63のそれぞれをカプセルに入れるか付着する塩気のあるブライン67が側面を流れ落ちることを有利にも可能にし、氷塊66の内部でトラップされず、すなわちそれが固体化する時に、塊66に生ずることがあるポケットあるいは割れ目の中でトラップされない。円錐形の氷塊66の形成によって、各氷粒子63に付着するブライン67は塊66の中に閉じ込められるのではなく、単に側を流れ落ちる。その結果、塩気のあるブライン67は、必要に応じ、氷塊66から分離できる。他方では、研究により、形成された氷塊は塊の全体にわたって通路および空間を形成することがあり、すべての蓄積された塩ブライン67も通路および空間を経由して通過し、塊の中に閉じ込められないことが示された。氷塊はこの点で、むしろ雪のように見えて、ブラインが通り過ぎることを可能にする多孔性の塊を形成する。形成され、氷塊の上に落ちる氷粒子状物質は典型的には華氏約マイナス6度である。

【0176】

実施態様は、真水で氷塊66をすすぐための手段をさらに好ましくは持っている。また、塊66が溶けることを可能にすることによって、真水を生産できる。この点で、図31の中で示されるように、華氏60度のような室温の追加の真水は、洗浄カラムとして役立つために氷塊66の上にノズル68から下向きにスプレーできる。それは、塊としての氷塊66から塩気のあるブライン67を取り除くのを支援する。大部分の塩ブライン67は重力フローによって、氷粒子状物質63間のスペースから置き換えられる。各氷粒子63の表面に付いているブラインの層の除去については、好ましくは、層ごとに塩気のあるブライン67の重力排水を支援するために、結晶化室41の底に堆積した氷/ブラインの層の上に真水を射出する。真水が各層に付着し、さらに氷粒子状物質63間の隙間から非常に薄い粘着性の塩気のあるブライン層を置き換えるとともに、この真水は凍る。氷粒子状物質上で凍結する真水は後で溶かされ、追加の真水の使用なしで再使用のために好ましくは回復される。さらに高純度水が必要な場合、下流に洗浄カラムを加えることができる。

【0177】

プレウォッシュの形式として、塩ブライン67の重力排水を増強するのを支援するため

10

20

30

40

50

に水スプレーが導入される。表面張力のために、氷晶の表面へ付着する、いくぶんかの望ましくない溶かされたミネラルおよび不純物があることがある。したがって、真水で氷塊を洗うことが必要になることがある。その結果、塊の外側および内側面からミネラルおよび他の不純物を解放する時に、水が氷塊の上で、および氷塊の内の内部チャンネルおよび空間で凍結する。水は、好ましくはブラインで覆われる冷凍の氷粒子状物質 63 の層の上に凍る。また、粒子状物質が氷塊 66 に集まると時に、それらは氷粒子 63 の表面から高い粘性ブラインを置き換えて、塩ブライン 67 が氷塊 66 の外側表面に流れることを可能にする。図 3 1 および 3 2 の中で示されるように、塩気のあるブライン 67 は排水管 69 を通って、室 4 1 の底から好ましくは排水される。

【 0 1 7 8 】

室 4 1 の底セクション 6 4 は好ましくは穿孔されたバスケット 7 1 を含む。それは落ちてくる氷粒子状物質 63 をつかまえ、その上に氷塊 66 を形成することができるが、冷却空気が室 4 1 から循環して出てゆくことを可能にする。この点で、室 4 1 の側壁 7 2 は好ましくは過剰の冷却空気が流れることができるチャンネルまたは空間 7 3 を有する。過剰冷却空気は、好ましくは、図 3 2 に示されるように出口ポート 7 4 を介して移動し、その後、空調装置に冷却空気を配達でき、冷却空気として使用できる。

【 0 1 7 9 】

図 3 2 の右側は、バスケット 7 1 の底部でどのように氷粒子状物質 63、大きな氷塊 66、またはある場合にはスラリー 7 4 が形成されるかを示す。バスケット中の穿孔は、純水氷粒子状物質 63 をバスケット 7 1 の中に残し、塩気のあるブライン 67 を通過させることを許可する。ついでバスケット 7 1 を回収することにより、純水氷塊 66 および / またはスラリー 7 4 は室 4 1 から取り除くことができる。

【 0 1 8 0 】

その後、バスケット 7 1 で回収される氷粒子状物質 63 の氷塊部分 66 は溶かすことができ、図 3 3 の中で示されるように、ホールディングタンク 7 6 の底に真水を生産することができる。示されたように、比較的暖かい温度の真水 7 5、この場合には華氏プラス 60 度は、氷をすすぎ、かつ氷を溶かすために、氷粒子状物質 63 上に洗浄カラムのように下へ向けてスプレーできる。図 3 4 の中で示されるように、局所的な暖かい空気 8 1 も、さらに氷粒子状物質 63 を溶かすのを支援するためにホールディングタンク 7 6 内にもたらされる場合がある。氷が溶けるとともに、真水小滴 7 8 はバスケット 7 1 中の穿孔を通り抜けて、ホールディングタンク 7 6 の底 7 7 で冷蔵の新鮮な飲料水の形で集まる。2 つ以上のバスケット 7 1 が使用でき、室 4 1 から各バスケット 7 1 を取り除く間に脱塩と融解過程を中断する必要がないようにする。

【 0 1 8 1 】

氷塊 66 が氷で作られており、したがって、冷たいので、溶けた時に生産される真水は冷たい水になる。氷は、好ましくは華氏約マイナス 6 度である。また、氷の上を約華氏 60 度で水を通すことによって、得られる真水は好ましくは華氏約 40 度となる。そこから、新鮮な冷水は、飲用目的のために分配することができ、または出口 7 9 を通って分離タンクに配達し、そこに後の空調装置による使用のために貯蔵でき、あるいは、出口 8 0 を通って結晶化室 4 1 へ再度循環し、洗浄カラムのスプレー 6 8 またはホールディングタンク 7 6 中のスプレー 7 5 として使用される。いずれの場合も、空調装置のために冷水を提供すること、または結晶化室 4 1 の氷粒子状物質 63 を洗うことを含む第 2 の目的に、水が循環され新鮮な飲料水 5 2 として分配される前に使用できる。

【 0 1 8 2 】

したがって、脱塩システムは、残された塩あるいは他の不純物を氷粒子状物質から取り除かれることを確実にするために、塩気のあるブライン 67 から氷粒子状物質 63 を分離するための手段を有する。例えば、華氏約マイナス 6 度まで好ましくは冷却されている氷粒子状物質 63 は、固体の氷相および液体のブライン相の形成を確実にするために、ホールディングタンク 7 6 または他のタンク内に好ましくは分配され、真水でスプレーされるか、他の方法で追加の真水 7 5 と混合され、ついで溶かすことができる。追加の真水はた

10

20

30

40

50

例えばシステムにより先に精製された水（それは室温であることができる）でありうる。室温で追加の水 75 と過冷却された氷粒子状物質に 63 を混合することによって、システムは非常に冷たい、すなわち凍結温度またはその近傍の新鮮な飲料水を生産することができる。

【0183】

F. 室壁に組み込まれた熱交換器：

好ましい実施態様では、室壁は、引き込まれた暖かい海水および／または圧縮機からの加熱された圧縮空気により好ましくは加熱され、氷が壁に集まらないようにし、氷塊がそれに付着しないようにする。このようにして、氷塊が十分なサイズである場合、容易にそれは室から取り除かれ、暖かい雰囲気の中で溶かし、純粋な水を生成することができる。つまりバッチ操作で溶かすことができる。好ましい実施態様では、室壁にはパイプおよび／またはキャビティーが好ましくは提供され、取り込まれた海水および／または圧縮機から引き込まれた加熱された空気を室壁を通すことができる。これは熱交換器として有効に役立つ。これは 1) 氷が壁に集まるのを防ぐため、2) 氷塊がそれに付着することを防止する、および 3) 室内の温度を規制するのを支援するために、室を比較的暖かく保持するだけでは無く、海水が室内に導入される前に温度を下げ、圧縮機を冷却する。この 2 重の熱交換の効果は、室と海水の温度の両方をどんな余剰のエネルギーも使用する必要なしに規制できる。海水および／または加熱された空気との間のエネルギー移動効率を増加させるために、パイプは好ましくは一方は室の周囲に延び、他方は室に延びる。キャビティーも使用できる。それは本質的に内壁と外壁の間のスペースである。つまり、室は二重壁で作ることができ、海水および／または加熱された空気は壁の内部を通ることができる。この改良はバッチ操作に関して使用でき、室壁のまわりのパイプおよび／またはキャビティーの使用に関する。それは室の温度だけではなく、パイプを通り抜ける海水および／または空気の温度も規制するのを支援する。

10

20

【0184】

G. 氷塊形成：

氷粒子状物質が形成されて室の底に落ちる時に、それらは好ましくは合体を開始し、氷のブロックよりも雪のような外観を有する氷塊を、集まる塩ブラインの上に形成する。この氷塊は内部の多数の空気チャンネルおよびボイドにより比較的低密度であり、多孔質である。この塊の密度は、典型的には 0.5 ~ 0.6 g / c c の範囲の中にあり、純粋な氷のほとんど半分である。新鮮な降った雪は < 0.1 g / c c の密度を持つ。塊の注意深い検査は、むしろ雪のように見えることを明らかにし、氷粒子状物質の上に集まるすべての過剰ブラインが容易に流れ落ち、塊から排出され、ブライン集合体内に入ることを許容する、チャンネルとボイドのネットワークを有する。そして氷塊の維持および氷塊の周囲に流れる共晶温度より多少暖かい冷却空気によって、氷晶に付いている塩ブラインは容易に洗い流される。つまり、それらは固体の塩の結晶を形成しない。

30

【0185】

氷塊が成長するとともに、ブライン溶液の一貫したフローは流れ続けて、チャンネル、ボイドおよび孔を通して下へ流出することを継続する。ブラインがさらに除去されることを可能にし、さらに氷塊は浄化される。この点に関し、相転移に伴い生成される顕著な熱量のために、真水の実際の氷塊は 0 または華氏約 32 に維持されることに注目する価値がある。

40

【0186】

最初に、凍結海水小滴と室の底の海水との間の密度差により、氷粒子状物質は浮かび始める。図 23 の中で示されたように、液体の水が氷を形成したとき、密度は約 9% 低下する。そして共晶条件近傍の液体の海水のより高い塩濃度が氷を形成するとき、密度の 71% の減少があり、氷はより速い分離のために強い浮力を受けるようになる。24% の濃度の塩水の溶液は 1 立方フィート当たり 80 ポンドであることに注意すべきである。そのような場合、氷は、容易に塩水の溶液から分離する。図 24 は、塩化ナトリウムのパーセンテージの関数として塩水の密度変化を示す。

50

【0187】

氷粒子状物質が蓄積し、氷塊が形成されるために十分な時間が経過した後、非常に小さな氷晶は、濃厚な塩溶液の頂部へ浮かび、合体して氷塊を形成する。この時間は考慮される1つの実施態様においては2時間であるが、10分以下に短くなりうる、しかし、新しく到着する小滴が氷塊に繰り返し降りるとともに、塊は小さな丘および谷を有する、荒い上部表面を形成できる。これは、ブロックの中間部上に追加の小滴が落ちることを可能とし、谷の内部で塩性の小滴と氷晶に分かれる。もし氷塊が固体ならば、いくぶんかの液体の塩小滴を氷ブロック中に懸濁しトラップすることができる。氷塊は典型的にその内部にチャンネルおよびポイドを含み、ブライン溶液は塊を通して下へ漏出し、ブライン集合物中に入る傾向がある。

10

【0188】

しかしながら、氷粒子状物質のより多くの物は中心に生ずる傾向を有することを保証するために、図17および18の中で示されるように、ノズルは、沈降室センターラインに近い濃厚なクラスター・パターンで位置できる。その後、氷ビルドアップが、円錐型の形氷塊を形成して、室の中心の方へ向けて優先的に生じる。従って、新しい結合した塩性の小滴がそれぞれ氷の結晶の外部に付着する時、それらは、塊のコーン状の表面に付く。また、液体の塩の小滴はその封じ込め表面の上を流れ、もしあれば底の溶液へ円錐形の傾斜を流れ落ちる。別の代案はノズルを通る流れを制御するだけでなく、ノズル配置の上記のパターンを使用することであり、沈降室のセンターラインで堆積させるノズルが、最も大きな流量および最長のフロー時間を持つようにする。

20

【0189】

回収された時、界面のすべての塩および他のミネラルおよび不純物を押し流すために、氷塊を洗浄しなければならない。氷塊が、室エリアから暖かいゾーンへ移される時、それは溶けて純水を形成する。

【0190】

冷凍の水への塩の濃縮溶液の付着のための基本のメカニズムは、表面張力である。したがって、氷塊の内の開いたチャンネルの中心にある濃縮溶液はすべて、バルク液体のように作用し、外に流出する。他方では表面張力のために食塩水のわずかの分子が氷に付着する。真水がこの付着する層を取り、氷の上に凍り付き、拒絶され押し流されることを付着層に強いる場合、表面張力が解放される。提案された結晶化室で、凍結された粒子状物質（高密度液体ブラインで覆われた）が、円錐形の山の中の前の層の頂部に蓄積する時に、低流動速度の真水が最も最近に堆積した層の上に好ましくはスプレーされる。この真水は氷塊の上に堆積されて、氷/雪の表面から非常に薄いブライン層を解放する。したがって、ブラインおよび、氷の円錐形に形作られた塊から流れる洗われた（洗い流された）ブラインの重力フローがある。

30

【0191】

層がそれぞれ堆積する時、氷/雪の塊上への冷蔵の真水のスプレーは、氷/雪の塊上で凍結する。凍結真水は、氷/雪の表面へ付着したブラインを置き換え、ブラインを解放して割れ目を通して排水する。洗われた氷/雪塊が回収され溶かされる場合、清潔になった真水が製品として使用される一方、スプレーされた真水は再使用のために回収される。

40

【0192】

氷粒子状物質および氷塊の孔隙率は提案されたプロセスでの重要なパラメータである。幸運にも、氷粒子状物質が高い孔隙率を持っていることは自然現象である。氷構造内の多孔性のチャンネルおよび空間は、残余のトラップされたブラインが流出することを、特にプロセスの洗浄段階中に可能にする。したがって、洗浄な水中の残留不純物は最小限にされ、飲用に許容可能なレベルに減らされる。

【0193】

氷が0.92 - gm / ccの密度を持っており、氷が水に浮かぶように水が、1.0 - gm / 立方cmの密度を持っていることを考慮する。しかし、より重要なことには、雪が水の密度の約10%である、あるいは0.10 - gm / ccであるという古い仮定があっ

50

た。より冷たい温度で、雪がさらにより多くの多孔質組織を形成することは測定によって示された。空気温度と比較した雪の密度を示す図6を参照されたい。

【0194】

H. サンプル計算：

次の計算は、1日当たり13,793ガロンの海水を処理して真水を1日当たり12,000ガロン生成するために必要な空気流れを示す。この例では、535HPの85%の熱力学効率で作動する2段階ターボ・エキスパンダーが使用される。それは華氏マイナス168度で24,155ポンドの冷却空気を出力する。もし、華氏マイナス6度（塩水の共晶温度）まで暖められれば、この冷却空気は939,146BTU/HRを吸収する。

【0195】

冷却空気

535.07HP

9.9 SCFM/HP

フロー 5,297.15 SCFM

フロー 24,155.00 #/時

比熱 0.24 BTU/(#F)

入力温度 -168°F

出力温度 -6°F

(939,146.40) BTU/HR

【0196】

なぜ華氏約30~40度まで海水をあらかじめ冷やすことが必要なことがあるか示すために、次の分析が行われる。1立方フィート当たり64ポンドの華氏60度の塩水を使用する。それらは近似の計算に基づいて、華氏マイナス6度まで冷やされる：

【0197】

海水

フロー 4917 #/時

比熱 1 BTU/(#F)

入力温度 60°F

出力温度 32°F

融合 144 BTU/#

比熱 0.5 BTU/(#F)

入力温度 32°F

出力温度 -6°F

939,147.00 BTU/時

【0198】

この例において、比較的小さな4フィートの直径結晶化室が使用される。そこでは5,297SCFMの冷却空気のフローは、7フィート/秒の速度で室に垂直に下方へ射出される。例の4,000ミクロンの球状の小滴サイズは、空気中で44フィート/秒の垂直の沈降速度を持っている。したがって、7フィート/秒+44フィート/秒=51フィート/秒の小滴の下方への垂直の輸送が存在する。室が高さ8フィートである場合、飛行は8/51秒未満の滞留時間となる。

注：上記の、室、小滴などのサイズ、および気流の速度、小滴の落下速度は近似で、ここに議論された要因を考慮に入れることによって、必要な程度に偏位を有する。したがって、塩水が室に射出される前に、入力塩水を華氏約60度から華氏約30度にあらかじめ冷やすことを考慮することが必要なことがある。たとえば以下に議論されるように、結晶化室の周囲で入力水を循環することができる。

【0199】

実際に氷（真水）形成を始めるためには、海水小滴は華氏マイナス6度ではなく華氏マイナス26度まで過冷却されなければならないことが認識される。空気温度が華氏マイナス26度よりはるかに冷たい場合、氷形成の開始のための時間遅れが短くされる。この理

10

20

30

40

50

由で、本発明のシステムは、若干の誤差はあるかもしれないが、好ましくは華氏マイナス135度から華氏マイナス175度の冷却空気温度で始まるか、あるいはここに議論された所定の要因で作用する任意の温度で始まる。氷（真水）が生じ始める場合、それは数秒未満で形成される。したがって、小滴が、小滴として落ちる間に凝固プロセスを始めるためには、大きな予備冷却された温度差を使用して、結晶化室で凍結プロセスを始める必要がある。しかし、凍結プロセスは、室の底の氷の成長しているマウンド上に堆積させた後に完了する。

【0200】

いくつかの状況では、4,000ミクロンの直径小滴の外側表面は、共晶温度よりもはるかに温度が低下され、真水の氷、塩の結晶、および水の2つの分子に付着したNaClの各分子を有する塩の結晶を形成する。固体の混合物中に準安定の液体も存在する。しかしながら、わずかに共晶温度よりも高く暖められると、真水の氷と、別個の高密度高濃度の塩水の溶液が、平衡状態図に沿って確立されるようになる。

10

【0201】

小滴が下方への垂直の飛行中には1秒の何分の1から数秒だけの間、凍結環境にさらされ、結晶化室の底の蓄積された塊の中では10秒から10分の間凍結環境にさらされることが期待される。6~10分のバッチ操作のために、一旦氷塊が形成され始めたら、混合物中で平衡条件に到達する時間よりもより長く保持され、状態図に従ってそれ自体が形成される。

20

【0202】

塩水の温度がマイナス21.12（251.8度K）または華氏マイナス6.02度よりわずかに暖かい温度で保持される場合、合計の海水は以下の2つの相に分かれる：（1）後で溶かされた時に純水になる純粋な氷、および（2）濃縮された液体の塩水溶液。氷（低密度）は高密度の濃縮塩水の上に浮かぶ。これは望ましい状態である。図20は、塩化ナトリウム（NaCl）および水の混合物の平衡状態図を示す。塩化ナトリウムは溶質と呼ばれる。また、水は溶剤である。2相領域が冷たい温度に入ると、2相が発現する。（1）純粋な固体の氷、および（2）溶剤としての液体の水と、溶質としての塩の結晶を含む液体のライン。

【0203】

塩水の温度がマイナス21.12 または華氏6.02度より冷たい温度に保持される時、塩水は三相に分かれる：（1）後に溶かされた時に純水になる純粋な氷、（2）各塩の結晶に結合する2つの水分子を有する塩の結晶（ $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）、および（3）純粋な塩の結晶。平衡状態図は、華氏マイナス6度より下の温度でこれらの3つの構成を示すが、華氏マイナス6度未満の領域で存在する他の準安定の液体状態がある。これは我々の作業のためには望まれない状態である。

30

【0204】

海水サンプル（ $[\text{Na}^+] 0.46 \text{ M}$ ）のためのデータも示される；共晶点より下のこのサンプルの高い液体のフラクションは、NaClより低い共晶温度を有する他の塩（特には、 MgSO_4 および MgCl_2 ）の存在によると推測されている。0.5Mのサンプル（海水）については、NaClの99%以上は共晶点で $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ として沈殿する。しかしより希釈されたサンプルについては、典型的には初期の Na^+ の半分以上が228Kで遊離イオンの状態で残存する。

40

【0205】

ギブス相律およびNaClと水の状態図の理想化された解釈によれば、NaCl（aq）溶液は、すべての初期塩濃度において、共晶点（252Kあるいは-6°F）より下の温度で、（1）純氷、（2）NaCl（固体）および（3） $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ （固体）の混合物に完全に固体化する。したがって、共晶点より下の20K以上の温度で大量の氷および固体のナトリウム塩と液体のライン相が共存できるという発見は、理想的な平衡挙動からの明白な偏位を表わす。この凍っていないライン相と、先にバルク純水氷に関する研究で見つかった「疑似液体層」（QLL）を区別するために、我々はこの溶液相を

50

、「疑似ブライン層」あるいはQBLと呼ぶ。

【0206】

共晶点より下の温度での純粋な氷と液体のブライン相との共存は、ThurmondおよびBrass¹⁷によって報告された実験、並びにKoop¹⁸らによって報告された実験の中で示される。示差走査熱量測定法(DSC)を使用して、Koopらは、薄いNaCl溶液の冷却中に2つの別個の熱放射事象を観察した。これは(1)純粋な氷の形成(純粋な固体の水)および(2)NaCl・2H₂Oの沈殿に伴う過冷却-液相と固相-相転移に起因すると考えられた。これらの二相転移の温度は、NaCl濃度が増加して、実質的に16wt%のNaClの濃度以上になったときに収斂する。

【0207】

塩水の溶液が純水の凍結温度に次第に冷やされ、ついでNaClの共晶温度にされ、その後前述のQLLおよびQBLの他の準安定化合物の形態の冷たい温度にする。したがって、スプレーノズルからの小滴が過冷却の冷却空気に遭遇する時、一連の他のNaCl結晶および水構造と純粋な氷(純粋な凍結された水)が生ずることが期待される。しかしながら、小滴がわずかに共晶温度以上に暖められると、平衡の固体の氷および濃縮NaCl溶液が、食塩水用の通常の平衡状態図にしたがって形成される。

【0208】

図19はヒステリシスループと初期条件への戻りを示す。時間は矢によって示された方向に進む;凍結温度(T_f)および共晶温度(T_e)は垂直な点線によって示される。液体のブラインが最初に冷却される場合(C1)、相転移は観察されない。また、したがって、液体はT_f以下で準安定である。C2の冷却中に、純粋な氷は急に沈殿し、熱を発生し、液体のフラクションは低下するが、ゼロにはならない。C3の冷却中に第2の相転移が生じる(C4)まで、残りのMBLは冷却され、第2の発熱を伴う事象と液体のフラクションの低下が起こる。NMR実験によって明らかにされるように、液相(QBL)はそれにもかかわらず残り、C5の冷却をすることができる。暖めると(W1)、T_eに到達するまで、液体のフラクションは徐々に増加する。迅速な融解が始まり、液体のフラクションはジャンプする。この突然の融解の停止は、生じるブラインが凝固点降下カーブによって指示された近似の濃度に達した時に起こり、その後温度が上昇(W3)するにつれて、液体のフラクションが滑らかに上昇し、融解が継続する。Cho、Shepson、Barrrie、CowinおよびZaveriによって「氷/ブライン混合中の疑似のブラインの層のNMR調査」からこれらの議論が得られたことに留意すべきである。

【0209】

この議論は、パイプおよび/またはキャピティー中のターボ・エキスパンダーからの冷却空気と、パイプおよび/またはキャピティー中の取込み海水との間で十分な伝熱が起こり、両方の流体とも結晶化室へのノズルによる海水の射出に先立って華氏マイナス6度(あるいはその近傍)のそれらの平衡温度に達せられることを示す。もちろん、最良の熱交換のために共通の表面に沿って互いに連結されることがパイプおよび/またはキャピティーには必要である。パイプおよび/またはキャピティーおよび室壁は、優れた熱交換特性を有する物質(つまりアルミニウム、銅など)で好ましくは作られる。パイプおよび/またはキャピティーのフロー要求は、結晶化室へスプレーされるまで、液体ブラインの過冷却された状態が保持されることである。小滴形成のただ一つの理由は、固体のブラインが液体のブラインを形成し、氷小滴の外部へ出すことを強要することを可能にすることである。このアプローチの成功は、スペースの制限のあるユーザに興味のある最小規模の結晶化室に帰着するだろう。

【0210】

相転移は数秒未満で生じ、冷却空気中の、および氷の堆積したマウンド上での小滴の滞留時間が、数秒未満である必要がある(図19)。液体の水の1H NMRラインを短いインターバルで走査し、温度が相転移点以下に低下した時のその消失をモニターすることにより、凍結の進行を追うことができる。現在研究されているほとんどの溶液は、温度が257K(あるいは+3.2°F)以下に低減されるまで、凝固し始めないと分かった。共

10

20

30

40

50

晶温度が華氏マイナス6度であることを思い出すべきである。一旦凍結が始まれば、プロセスは急で、数秒の内にNMR信号の大きな変化が完了する。

【0211】

海水温度（たとえば華氏60度）の海からの塩水は、濾過され、結晶化室の底面および側壁を囲むパイプおよび/またはキャビティーを通してポンプ移送される。暖かい海水は循環され、底面を最初に暖めて、室の側壁を暖め、最後に結晶化室へノズルを通してスプレーされる。したがって2つの重要な効果がある（1）結晶化室へスプレーされる塩水はあらかじめ華氏30から40度に冷却され、その後結晶化室の内部の冷却空気と接触する、および（2）結晶化室の底面および側壁が、氷のビルドアップを防ぐのに十分に暖かい。

10

【0212】

ノズル・スプレーの最も外側の境界は放射状に制限され、堆積した氷の高さが時間と共に高くなったとしても、側壁にほとんどまたは全く塩水の小滴がぶつからないようにする。スプレーからの小滴は、好ましくは大部分の小滴が直径で4,000ミクロンに集中した、一連の海水小滴サイズを生産する。これは、シャワー・ヘッド中のオリフィスのサイズと圧力差のために生じる。さらに、直径1000ミクロンの海水小滴および直径250ミクロンの直径の海水小滴あるいは他のサイズを選択することは可能である。

【0213】

小滴は好ましくは華氏30度から華氏40度の間でスタートし、好ましくは華氏マイナス121度またはより冷たい冷却空気と接触する。図21は、冷却空気の華氏マイナス121度への0.2秒の接触後の小滴の核温度を示す。小滴の表面は直ちに華氏マイナス121度よりわずかに暖かい温度に到達する。空気/水インターフェースのための熱伝達係数は、自然対流において1~5BTU/(時・平方フィート・F)であると仮定されている。このフローが強制対流にされれば、熱伝達係数はより高く、核温度はより冷たくなる。

20

【0214】

しかしながら、大きな4,000ミクロンの直径の小滴の核温度は、0.2秒の飛行において、 $h = 5 \text{ BTU} / (\text{時} \cdot \text{平方フィート} \cdot \text{F})$ および $1 \text{ BTU} / (\text{時} \cdot \text{平方フィート} \cdot \text{F})$ の熱伝達率についてそれぞれ華氏+24度および+32度である（図21の最初の2カラム）。この短時間に凍結はしない。しかしながら、より高い熱伝達係数がこれらの核温度をより低い値にする場合がある。ここで使用されている集中質量モデルが放棄される場合、冷凍の氷シェルが生ずるように、実際の凍結プロセスが外部から内部へ起こることが期待される。図22の最初の2カラムは、全小滴の凍結が堆積の約2秒の後に起こることを示す。冷却空気は下方への飛行の中に短い滞留時間だけを持っており、小滴が堆積した後、その貯蔵された冷蔵のエネルギーを完全に譲渡するために約2秒以上を必要とする。

30

【0215】

しかしながら、1,000ミクロンの直径小滴の核温度は、0.2秒の飛行において、 $h = 5 \text{ BTU} / (\text{時} \cdot \text{平方フィート} \cdot \text{F})$ および $1 \text{ BTU} / (\text{時} \cdot \text{平方フィート} \cdot \text{F})$ の熱伝達率についてそれぞれ華氏-56.6および+7.8度（図21の3番目と4番目カラム）である。したがって、小滴全体の凍結は堆積の約2秒の後に起こる。したがって、冷却空気は下方への飛行の中に短い滞留時間だけを持っており、小滴が堆積した後、その貯蔵された冷蔵のエネルギーを完全に譲渡するために約2秒以上を必要とする（図22の3番目と4番目カラムを参照）。

40

【0216】

250ミクロンの小滴が使用される場合、結晶化室内でのさらに短い飛行時間でも小滴を完全に凍結することは明らかである。

【0217】

華氏-121度が下方への飛行全体について維持されることをこれらの計算が仮定することに注目することは重要である。パイプおよび/またはキャビティー内に入る海水と熱

50

交換が起こり、海水小滴との熱交換の間に海水小滴は下方に飛行することを思い出すべきである。空気および二相の混合物が華氏マイナス6度に到達した場合、熱交換は完了する。

【0218】

非常に小さな小滴サイズが使用されれば、凍結の多くは沈積の後にまだ起こる。小滴の部分は各小滴の外側半径において過冷却され、およびこれらの過冷却領域は準安定構造を含む。しかし平衡では、堆積の後、氷粒子状物質はともにバックされ、それらは濃厚なブラインの上に浮かぶ。ブラインが氷塊から流出する時、ポイドが形成される。そして、プロペラは出口面へ塊を移動させる。

【0219】

I. 提案されたシステムの例：

提案されたシステムの実施態様は、その作業で6つのキーとなる時点でのシステム構成の概観を示すことにより記述される。

【0220】

1. 第一工程：

図25の中で示される向流配置の第一工程は、取り込んだ海水を華氏70度で4,000ミクロンの平均直径の小滴にスプレーするノズル、および、華氏マイナス157度で7,151SCFMで導入される冷却空気を示す。ノズルからの小滴の上向きの速度は、結局重力のために最小の相対速度に達して、次に、カラムの底の方へ下方へ沈降する。(1)海水小滴および(2)冷却空気の最終混合物は、混合の共晶温度である華氏マイナス6度に到着する。最終の混合温度をコントロールでき、取入海水および冷却空気のフローの調節により共晶温度より暖かいかより冷たいようにできる。

【0221】

2. 第二工程：

図26の中で示されるように、海水小滴および冷却空気の混合が、(1)冷却氷と海水とが一片として冷却空気中を落下し、塩水溶液から氷が分離され、(2)近くの小滴と衝突して合体し、新しくより大きな粒子中で分離工程を進め、(3)小滴は液体の底部のたまりに到達し、小滴の塩水溶液が液体のより大きなたまりと一体化し、解放された氷の結晶は上部に浮かび、他の先に形成された氷の結晶と合体する。

【0222】

新しく到着する小滴が氷塊に繰り返し降りるとともに、塊は小さな丘および谷とを有する荒い上部表面を形成できる。これは、追加の小滴が谷の内部の塩性の小滴および氷晶に分離させることができる。これは液体の塩の小滴のうちのいくつかを氷塊中に保持しトラップすることを引き起こす。氷塊の中でチャンネルと空間が形成されることを研究は示すが、それを通してブラインは集められた溶液中へ通り抜けることができる。

【0223】

これを回避し、塩性液体が端から流れ出すことを可能にするために、ノズルは、沈降室のセンターラインの近くに、濃厚なクラスター・パターンで配置できる。その後、氷ビルドアップが、室の中心の方へ優先的に生じ、円錐型を形成する(図17および18を参照)。従って、新しい結合した塩性の小滴がそれぞれ氷の結晶に外部的に付いているとともに、それらはコーン表面に付く。また、液体の塩性の小滴がある場合にはその封じ込め表面の上を流れて、底の溶液へ円錐形の傾斜を流れ落ちる。異なる態様では、ノズル配置の上記のパターンを使用するが、ノズルを通るフローもコントロールし、沈降室のセンターラインに堆積させるノズルが、最も高い流量および最長のフロー時間を持つようにする。

【0224】

図17に関して上に議論されるように、冷却空気の射出高さは氷塊より高くなければならない。また、図18に関して議論されるように、氷塊および室壁の間の環形ギャップを生むための手段が好ましくは提供される。

【0225】

3. 第三工程：

10

20

30

40

50

あまりにも少量の海水が沈降室へスプレーされる場合、室の底の混合物は共晶温度以下になり、固体の氷が溶液から出て行くだけでなく、塩も溶液から出て行き、塩の結晶としてそれ自体が堆積する。これは図 27 の中で示される。図 17 および 18 で好ましい実施態様の氷の塊りの円錐形の形を参照されたい。

【0226】

4. 第4工程：

2時間の連続操作が終わり、氷の塊りを回収する時間となる。ノズル構造は横に移動される。また、それが室壁の端からあふれ出ない場所に、溶液が上げられる。

【0227】

2時間の期間にわたり、氷晶はより濃厚な食塩水の頂部に集まり、氷の塊りに合体する。この時に、全沈降室の内用物は水圧ピストンによって食塩水の上表面が沈降室の最上端に達するまで、上方へ移動される。図 28 の中で示されるように、氷のブロックを引っ掛けるピンサーにより、氷ブロックは次の位置に移動され、削られ洗われる。冷蔵の溶液は、作業の後の工程のために保存される。冷蔵の氷のブロックの表面は、削られるか、あるいは真水ですすがれる必要があり、その界面のすべてのブライン溶液も除去される。その後、純粋な飲料水としての後の使用のために、タンク内に室温で残され、溶かされる。

10

【0228】

別法として、氷のマウンドがその計画された高さに構築された後、濃縮食塩水に浮かび、結晶化室の底の塩水の排水管が塩水を排水するために開かれる。塩水の溶液が完全に排水された後、排水管は閉められる。底は落ちて、ヒンジのまわりで水平姿勢から縦向姿勢に変わる。ヒンジは、結晶化室の底面を支持する。室の底面を取り囲むすべてのパイプあるいは管材料も、好ましくはヒンジのまわりのピボットに適合するように形成される。その後、氷のマウンドは回転軸上に置かれた底面を滑り落ちて、コンベヤーベルトに落ちる。コンベヤーベルトは、溶けている従前の氷マウンドを含んでいるタンクへ氷のマウンドを送る。室からの氷の転送が重力によって遂行されるので、入って来る冷却空気は約 14 . 67 p s i a (1 大気圧) に調節できる。ターボ・エキスパンダーのための 14 . 67 p s i a の出口圧力、およびターボ・エキスパンダーへの入り口圧力の 200 p s i a は、非常に冷たい温度が、結晶化室へのターボ・エキスパンダー排気において達成されることを可能にする。しかしながら、この大きな圧力損失は2段階のターボ・エキスパンダーを要求する。

20

30

【0229】

5. 第5工程：

図 29 の中で示されるように、入って来る暖かい海水は出てゆく冷蔵の塩けのある水と向流で熱交換される。省エネルギーは、同じ冷蔵の気流のより高い脱塩割合を許容する。

【0230】

6. 第6工程：

共晶温度よりわずかに高い温度でのシステムの操作は、濃厚な食塩水が氷を浮かせるのに好都合であり、テフロンが容器に氷の塊りがくっつくことを回避するために室壁の内部の表面上に提供できる。最終段階で、氷の塊りが回収された後、回収されることができ結晶として氷を堆積させるために共晶温度より下の温度に落とすことは便利である。このプロセスは恐らく最後の工程よりも早く始められる。

40

【0231】

塩を回収するために、図 30 の中で示されるように、液圧リフトはその最初の位置へ戻される。そのとき2つの条件がある。

(1) 熱電対が、食塩水が共晶温度よりわずかに暖かいことを示す場合。この場合、食塩水が回収される場合、塩はすべて食塩水で回収される。この冷蔵の食塩水は、取込み海水をあらかじめ冷やすために熱交換器に返される。

(2) 熱電対が、食塩水が共晶温度よりわずかに冷たいことを示す場合。最初のケースに記述されるように、食塩水は排水され処理される。その後、液圧ピストンは、沈降室の底レベル以下に落とされる。また、凝固された塩は、ピストン表面からこすり落とされる

50

。塩は廃棄できる。あるいは、使用法が探される。

【0232】

J. 他の方法との比較：

次の議論は本発明の方法が従来の脱塩プロセスより、より低コスト（つまり毎分ポンド）で新鮮な飲料水を生産することができることを示すために提供される。下記の分析は方法論について記述する。また、海水を脱塩するこの方法のユーティリティおよび効率を評価するために仮定が使用された。分析は下記の基礎的な2工程から成る：

(1) 冷却空気の冷却/凍結キャパシティーと、結晶化のバッチ内で塩と純粋な水を生成するために必要な回収されるべきエネルギーとを、一致することを含んでいるプロセスの熱力学を画定すること。

(2) 塩と氷晶の物理的分離を達成し、かつ海水のバッチの脱塩を遂行するのに必要なプロセスの工程をセットアップして画定すること。

【0233】

下に列記されるように、このバッチ操作では、海水の量は11,000ポンドとされた。また、バッチの脱塩プロセスの期間は2時間であると仮定された。海水の最初の温度は70°Fであると仮定された。NaClの共晶点は-6.2°Fである。また、共晶組成物は23.3%である。このバッチに必要な冷却は2,211,000BTUである。これは氷形成相(163BTU/#融合)を含んでいる。

【0234】

氷形成は以下を含む

120分

塩水 11,000#

1BTU/(#F)

70°F

32°F

163 BTU/# -6.2°Fで融合

2,211,000.00BTUの冷却が要求される

【0235】

氷形成相が含まれていない場合、過冷却水が達成される。また、利用可能な冷却能力は、塩水の30,000#に適合できる。

【0236】

氷形成なし(過冷却水)

120分

30,000#の塩水

1BTU/(#F)

70°F

-6.2°F

0 BTU/# 氷なし

2,286,000.00BTUの冷却が要求される

250# 塩水

真水の割合 0.857

214# 真水/分

【0237】

500kWのターボ・エキスパンダーは、空気の7,151scfmを処理し、脱塩用に-153°Fで大気圧空気を運ぶ。-6.2°Fの温度は、塩の結晶からの氷形成および分離のための共晶温度である。したがって、我々は空気を、-6.2°Fから-153°Fの温度範囲において脱塩に使用する。我々が120分間フロープロセスを操作すれば、下に示された計算は、利用可能な冷却エネルギーを2,297,508BTU与える。70°Fで11,000ポンドの海水を取り込み、それを-6.2°Fにすることは、

10

20

30

40

50

2, 211, 000のBTUを要求する。

【0238】

500kW(熱)

670hp

10.67 scfm/hp

7,151 scfm

120分

858,177 scf

0.076 #/立方フィート

65,221 #空気

0.24 BTU/(#F)

-6.16 °F

-153 °F

(2,298,508.17)BTU冷却が利用可能である。

【0239】

500kWのシステムのための上記の計算の反復は、提案された凍結結晶化が毎分79.75#の真水を理想的に生産することを示す。したがって、6.27kWが毎分1ポンドの真水を生産するために要求される。これは、毎分1ポンドの真水を生産するために11.4kWを必要とするスクレープト表面晶析装置と比較される；そして毎分1ポンドの真水を生産するために68.2kWを必要とする逆浸透膜脱塩と比較される。

【0240】

ここに議論され示された実施態様は単に例示であり、何らの制限を意図するものではない。

本発明は、ここに示された実施態様の変形であることがある、本発明の種々の意図および目的を実行できる様々な方法およびシステムを企図する。

【図面の簡単な説明】

【0241】

【図1】図1は、本発明の脱塩システムの圧縮空気エネルギー貯蔵タンク・バージョンを示す略図である。そこでは脱塩目的のための冷却空気を共生成するために、風力発電あるいは他のエネルギー源が使用される。

【図2】図2は、本発明の圧縮空気エネルギー・システムのサージタンク・バージョンを示す略図である。

【図3】図3は、本発明の圧縮空気エネルギー・システムのよりタンクのないバージョンを示す略図である。図3aおよび3bは、第2の圧縮機、および冷却空気を涼しくしておくために使用される熱交換器に関するデータシートである。図3cおよび3dは異なるターボ・エキパンダー排出を示すグラフである。

【図4】図4aは最大の電気を提供する構成シナリオを示すフローチャートである。図4bは、電気と冷却空気の組み合わせを提供する構成シナリオを示すフローチャートである。図4cは、最大の冷却空気を電気が無く提供する構成シナリオを示すフローチャートである。

【図5】図5は、500kWのターボ・エキパンダーの熱力学を示す。

【図6】図6は、気温と比較して、雪の密度を示す雪孔隙率チャートを示す。

【図7】図7は、各コンポーネントの重量パーセントおよび共晶温度を含む海水の標準組成を示す。

【図8】図8は、清潔な飲料水用の必要条件を示す。

【図9】図9は、水小滴相のための温度領域を示す。

【図10】図10は、スプレーノズルの特性を示す。

【図11】図11は、ノズル・タイプによって可能な一連の小滴サイズを示す。

【図12】図12は、冷たい気流内での、水小滴温度および滞留時間のチャートを示す(1kおよび2kミクロン)。

10

20

30

40

50

【図 1 3】図 1 3 は、空気中での水小滴用の終端速度を示す。

【図 1 4】図 1 4 は、海水および / または加熱された圧縮空気あるいは水を室の壁を通して循環させるために、その壁のまわりで伸びるパイプおよび / またはキャビティを備えた主混合室の断面図である。

【図 1 5】図 1 5 は、「並流」と呼ばれる、主室の上部から射出される冷却空気を備えた主混合室の断面図を示す。

【図 1 6】図 1 6 は、「向流」と呼ばれる、落下する海水小滴に対して上方向に射出される冷却空気を備えた主室の断面図を示す。

【図 1 7】図 1 7 は、冷却空気の射出高さ「H」を示す向流配置を備えた主室の断面図を示す。

【図 1 8】図 1 8 は、冷却空気の射出高さ「H」を示す向流配置を備え、および円錐形の氷塊のまわりの環形ギャップを有する主室の断面図を示す。

【図 1 9】図 1 9 は、塩水の冷却および暖めサイクル中の液体のフラクシヨンの可能な展開を示す。

【図 2 0】図 2 0 は、共晶濃度 23.3% 以下での塩水の平衡状態図である。

【図 2 1】図 2 1 は、0.2 秒の滞留時間でのセンターライン水小滴温度のチャートを示す(1k および 4k ミクロン)。

【図 2 2】図 2 2 は、2.0 秒の滞留時間でのセンターライン水小滴温度のチャートを示す(1k および 4k ミクロン)。

【図 2 3】図 2 3 は、温度の関数としての水および氷の密度変化を示す。

【図 2 4】図 2 4 は、塩化ナトリウムのパーセンテージの関数としての海水の密度変化を示す。

【図 2 5】図 2 5 は、落下する海水小滴に対して室内を上方向に移動するように冷却空気が導入される、向流システムを示す主室の断面図であり、ここではサイクルが終了した時に氷塊を回収するために液圧リフトが提供される。

【図 2 6】図 2 6 は、図 2 5 の落下する海水小滴に対して室内を上方向に移動するように冷却空気が導入される、向流システムを示す主室の断面図であり、ここでは濃縮塩ブラインが集まる室の底に氷塊が生じ始めている。

【図 2 7】図 2 7 は図 2 5 の落下する海水小滴に対して室内を上方向に移動するように冷却空気が導入される、向流システムを示す主室の断面図であり、ここでは室の底に氷塊が形成され、濃縮塩ブラインが集まり、固体の塩堆積物が形成される。

【図 2 8】図 2 8 は、氷塊形成後でサイクルの完了後に、氷塊をつかむピンサーを有する実施態様を備えた主室の断面図を示す。

【図 2 9】図 2 9 は、サイクルの完了後の主室の断面図を示し、室の底の残る冷たい塩ブラインが熱交換器へ導入され、室へ導入される取り込み海水をあらかじめ冷やすのを支援する。

【図 3 0】図 3 0 は、サイクルの完了後の主室の断面図を示し、ここでは残る固体の塩堆積物は液圧リフトを使用して回収される。

【図 3 1】図 3 1 は、ミストまたはスプレーとして室内に射出される海水の粒子を凍結させるために冷却空気を使用する結晶化室を備えた脱塩システムの模式図を示し、冷却空気は並流と呼ばれ、上から導入される。

【図 3 2】図 3 2 は、図 3 1 に示された脱塩システムの模式図を示し、室の底部に氷塊がどのようにして蓄積されるかを示し、穿孔されたバスケットが氷を回収されるために使用される。

【図 3 3】図 3 3 は、図 3 1 に示された脱塩システムの模式図を示し、室からどのように氷粒子状物質を取り除くことができるか、ホールディングタンクの中の洗浄カラムを使用して溶かすかを示す。

【図 3 4】図 3 4 は、図 3 1 に示された脱塩システムの模式図を示し、室からどのように氷粒子状物質を取り除くことができるか、局所的な暖かい空気を使用してどのように溶かされるかを示し、穿孔されたバスケットが氷を回収されるために使用される。

10

20

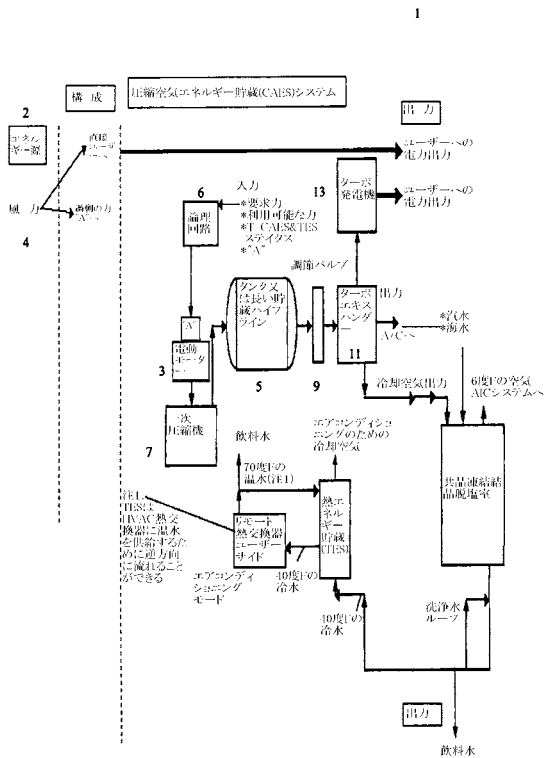
30

40

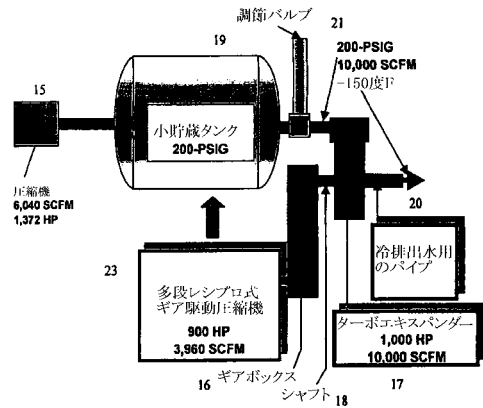
50

【図35】図35は、2.0秒の滞留時間でセンターライン水小滴温度のチャートを示す(200および4kミクロン)。

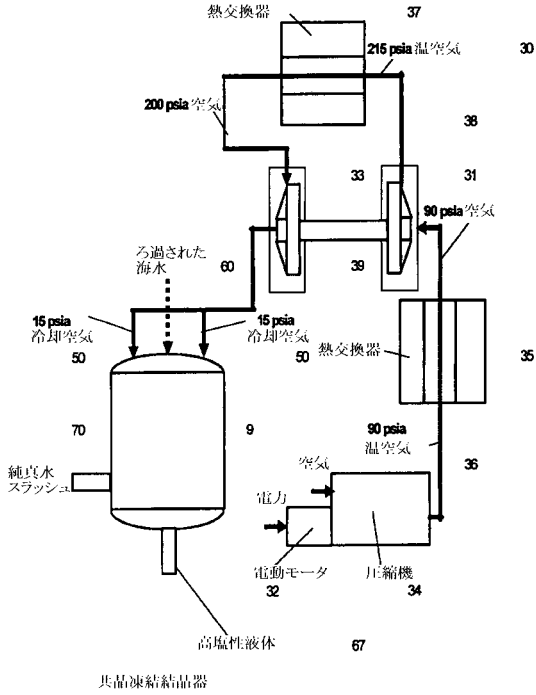
【図1】



【図2】



【 図 3 】



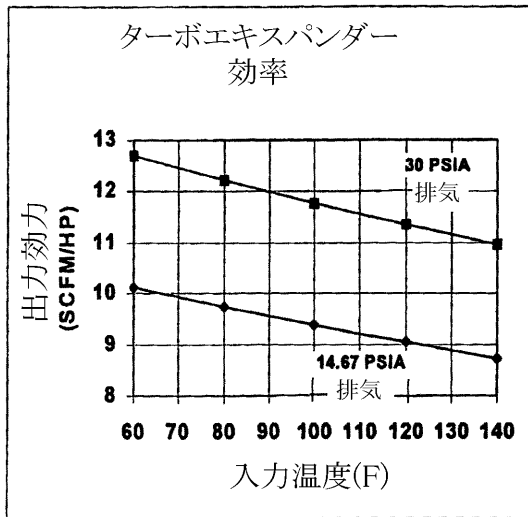
【 図 3 a 】

レシプロ式 圧縮機	圧力 (PSIA)	温度 (度F)	密度 (lb/立方 フィート)	エンタルピー (BTU/lb)	エントロピー (BTU/#R)
入力	14.67	70	0.074764	128.71	1.8366
等エントロピー	90	428.44	0.27351	213.05	1.8366
効率					0.84
出力	90	492.95	0.25438	229.5	1.6545
					-102.79
遠心 コンプレッサー	圧力 (PSIA)	温度 (度F)	密度 (lb/立方 フィート)	エンタルピー (BTU/lb)	エントロピー (BTU/#R)
入力	85	70	0.43391	128.22	1.5153
等エントロピー	205	222.06	0.80974	162.64	1.5153
効率					0.84
出力	205	250.4	0.77695	169.58	1.5253
					-43.36
ターボエキスパンダー	圧力 (PSIA)	温度 (度F)	密度 (lb/立方 フィート)	エンタルピー (BTU/lb)	エントロピー (BTU/#R)
入力	200	70	1.0235	125.42	1.4552
等エントロピー	31.5	-148.87	0.27588	73.734	1.4552
効率					0.84
出力	31.5	-114.78	0.24795	82.004	1.4804
					43.41624

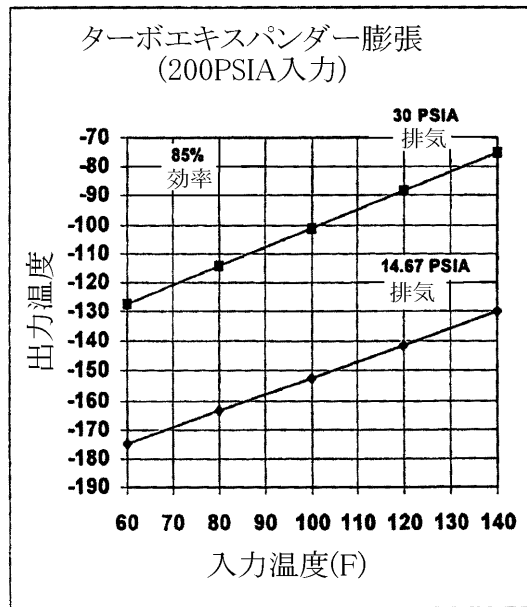
【 図 3 b 】

	HP	SCFM
レシプロ式圧縮機	2,000.0	10,857.6
ターボ圧縮機	844.3	10,857.6
ターボエキスパンダー	844.3	10,857.6

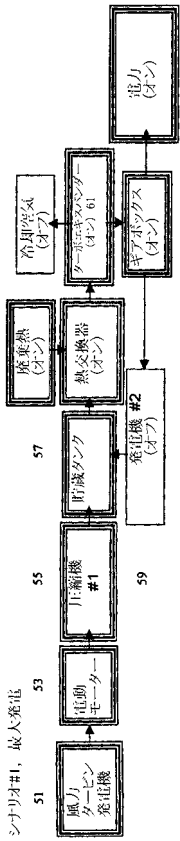
【 図 3 c 】



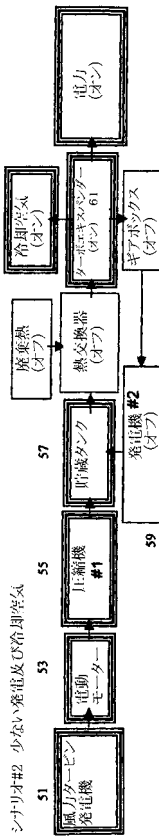
【 図 3 d 】



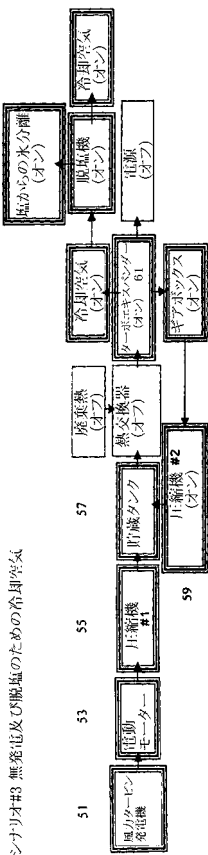
【 図 4 a 】



【 図 4 b 】



【 図 4 c 】



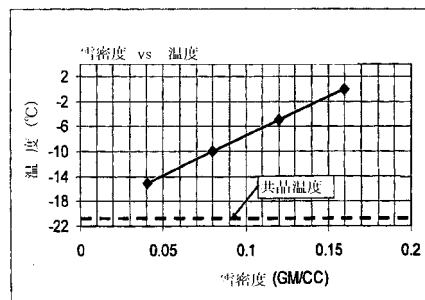
【 図 5 】

500 kWターボエキスパンダーの熱力学

	圧力 PSIA	温度 (F)	密度 #/CU FT	エンタルピー BTU#	エントロピー BTU(#R)
入力	200	70	1.0235	125.42	1.4552
等エントロピー膨張	14.67	-210.22	0.15697	59.225	1.4552
効率				66.195	
				0.79	
出力	14.67	-152.73	0.12951	73.125	1.5054
				10.67 SCFMHP	
				510.65 KW(熱)	

	圧力 PSIA	温度 (F)	密度 #/CU FT	エンタルピー BTU#	エントロピー BTU(#R)
入力	200	70	1.0235	125.42	1.4552
等エントロピー膨張	30	-153.21	0.26643	72.71	1.4552
効率				52.71	
				80.6165	
出力	30	-120.61	0.24022	80.616	1.4797
				12.45 SCFMHP	
				510.07 KW(熱)	

【 図 6 】



【 図 7 】

標準的海水組成

モル	塩	濃度 (g/100g)	共晶温度 (°C)	共晶組成 (重量%)
0.425	塩化ナトリウム	24.6	-21.2	23.3
0.009	塩化カリウム	0.67	-11.1	19.8
0.0093	塩化カルシウム * 2H ₂ O	1.36	-65	29.8
0.0255	硫酸マグネシウム * 7H ₂ O	6.29	-3.9	19
0.023	塩化マグネシウム * 6H ₂ O	4.66	-33.6	21.6
0.002	炭酸水素ナトリウム	0.18	-2.1	5.9

【 図 8 】

物質	希望の最大濃度 (mg/l)	許容される最大濃度 (mg/l)	イオンニック溶液 (mg/l)
総溶解固形分	500	1500	9000
塩分	38	150	-
Ca	75	200	-
塩化物	20	60	3550-3800
硫酸塩	200	400	-
ナトリウム	-	-	3050-3400
カリウム	-	-	150-210
総含炭素 mmol/l	約 10	約 30	約 150

【 図 9 】

pH to 8.0

曇り温度	小滴
0°C以上(32°F)	液体水
-10°Cから0°C (12°Cから32°F)	過冷却水
-40°Cから-10°C (-4°Cから14°F)	過冷却水及び共晶共存 (混合雲)
-40°C以下 (-4°F)	氷として氷晶(氷結した雲)

【 図 1 2 】

ピオ数

2001	2000	2000	1000	半径 ミクロン	R
0.00369	0.00369	0.00369	0.00369	フィート	R
0.25	0.25	0.25	0.25	BTU/(時 フィート ²)	k
5	1	1	1	BTU/(時 平方フィート)	h
0.1312	0.0262	0.0262	0.0131		h
762	38.1	38.1	76.2		1/Bi

フリーエ数

0.75	0.75	0.75	0.75	平方フィート/時	アルファ
2	2	2	2	2秒	時間
0.00269	0.00269	0.00278	0.00269	時	時間
4.30699E-05	4.30699E-05	4.30699E-05	1.07839E-05	平方フィート	2乗半径
9.69	9.69	48.38	38.71		fo

(Tc-T)

(Ts-T)

Ts

Ti

Tc

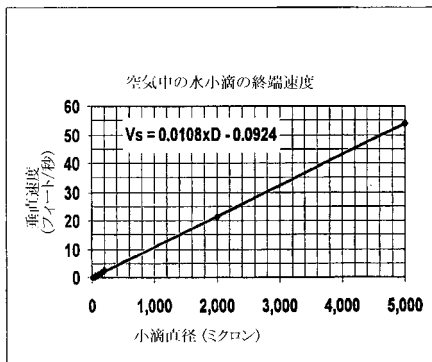
mp (°F)

3Tm(w/Cp)R

0.025	0.4	0.025	0.2		初期凍全体
70	70	70	70°F		維持空気温度
-357	-157	-357	-157°F		凍中心
461.325	65.2	461.325	-111.6°F		

0.28081622	0.775591802	0.28081622	0.60468772		
0.02825254	0.004070513	0.02825254	0.008141026		

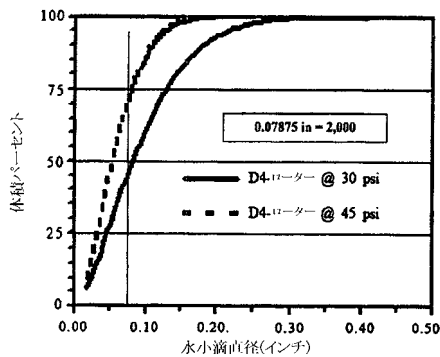
【 図 1 3 】



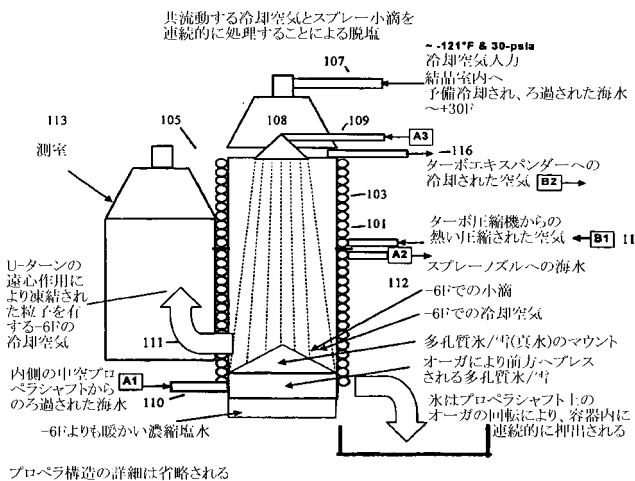
【 図 1 0 】

スプレータイプ	10 psi		40 psi		100 psi	
	キャパシティー (gpm)	VMD (μm)	キャパシティー (gpm)	VMD (μm)	キャパシティー (gpm)	VMD (μm)
中空コーン	.05 12	360 3400	.10 24	300 1900	.16 38	200 1260
フラットファン	.05 5	260 4300	.10 10	220 2500	.16 15.8	190 1400
フルコーン	.10 12	1140 4300	.19 23	850 2800	.30 35	500 1720

【 図 1 1 】

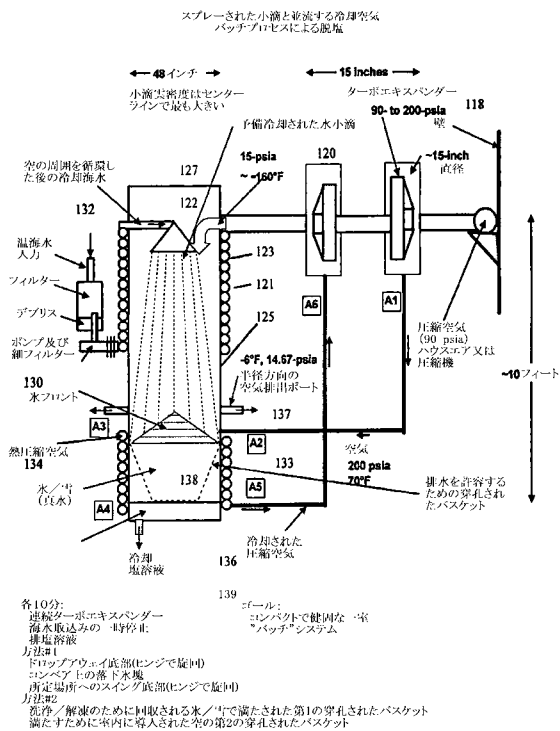


【 図 1 4 】

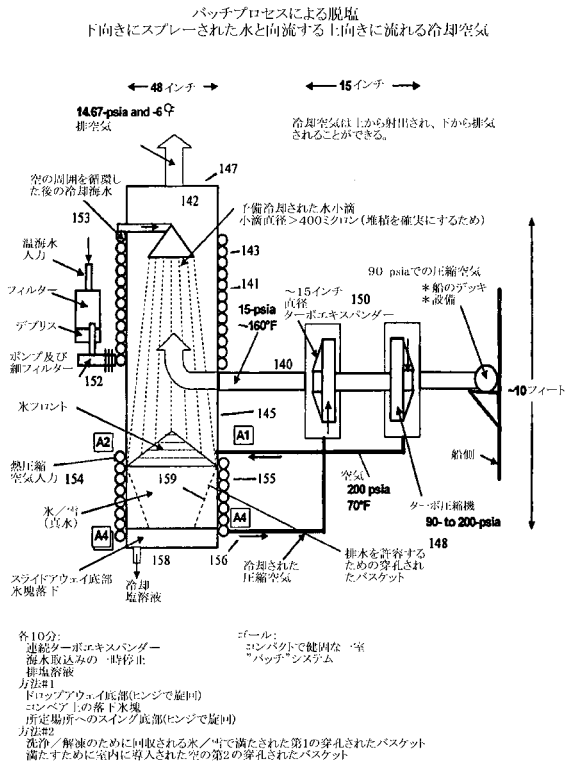


プロペラ構造の詳細は省略される

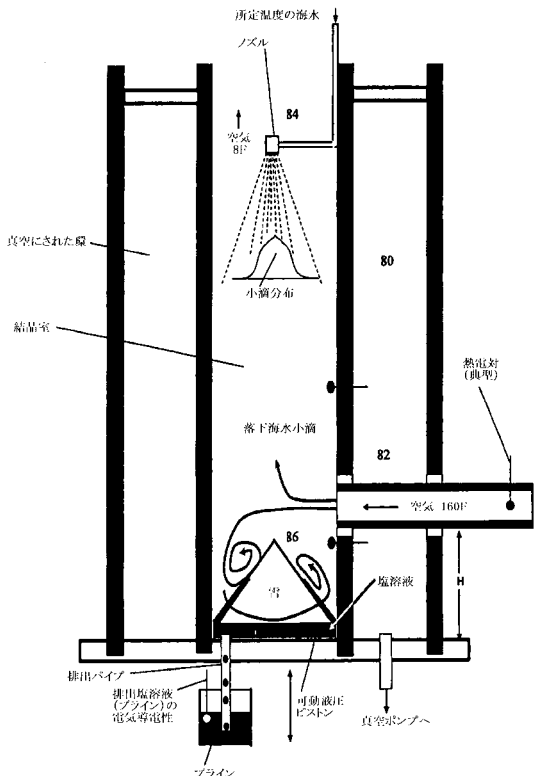
【 図 1 5 】



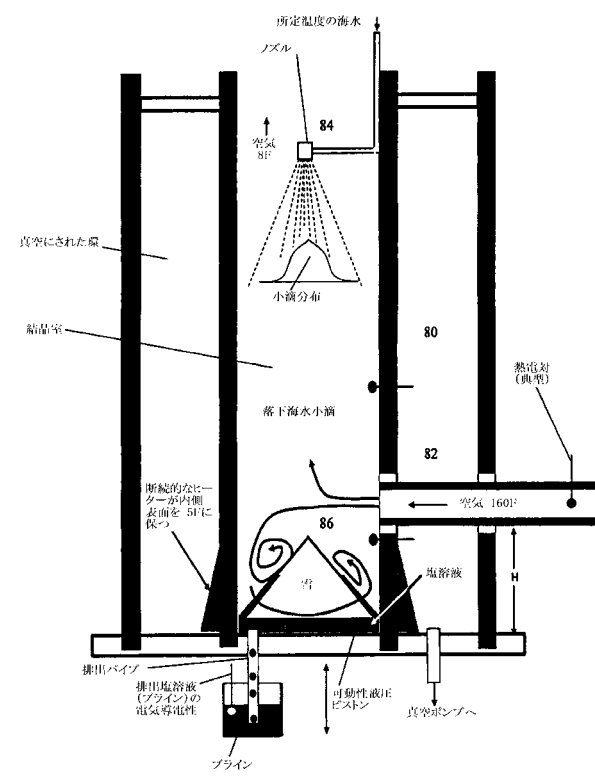
【 図 1 6 】



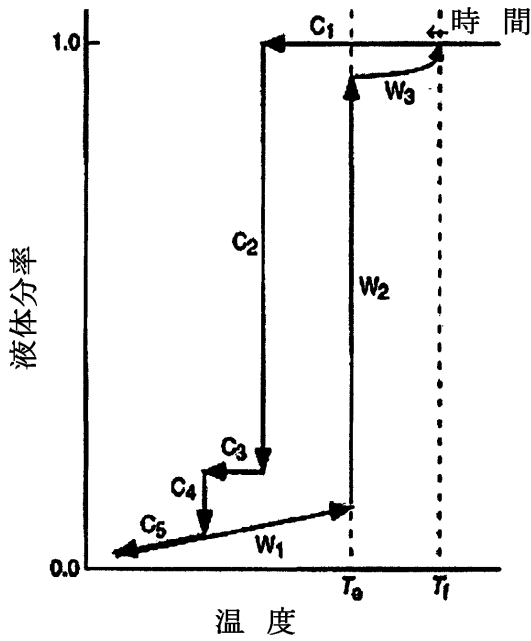
【 図 1 7 】



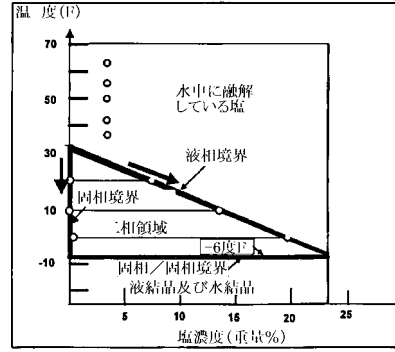
【 図 1 8 】



【 図 1 9 】



【 図 2 0 】



【 図 2 1 】

ピオ数

4000	4000	1000	1000	半径 ミクロン	R
0.01312	0.01312	0.00328	0.00328	フィート	R
0.25	0.25	0.25	0.25	BTU/(時 フィート F)	k
5	1	5	1	BTU/(時 平方フィート F)	h
0.2625	0.0525	0.0595	0.0131		Bi
3.61	19.05	15.24	76.2		1/Bi

フーリエ数

0.75	0.75	0.75	0.75	平方フィート/時	アルファ [*] L/R ²
0.2	0.2	0.2	0.2	秒	アルファ
0.00056	0.00056	0.00056	0.00056	時	時間
0.0001722	0.0001722	1.07638E-05	1.07638E-05	平方フィート	半径
0.24	0.24	3.67	3.67		Fo

(Tc-Ti)

(Ts-Ti)

Ts

Ti

Tc

0.9	0.95	0.4	0.8		初期球全体
40	40	40	40	F	維持空気温度
32	-121	32	-121	F	
59.9202	7.8	20.839	-77.53	F	床中心

【 図 2 2 】

ピオ数

4000	4000	1000	1000	半径 ミクロン	R
0.01312	0.01312	0.00328	0.00328	フィート	R
0.25	0.25	0.25	0.25	BTU/(時 フィート F)	k
5	1	5	1	BTU/(時 平方フィート F)	h
0.2625	0.0525	0.0595	0.0131		Bi
3.61	19.05	15.24	76.2		1/Bi

フーリエ数

0.75	0.75	0.75	0.75	平方フィート/時	アルファ [*] L/R ²
2	2	2	2	秒	アルファ
0.00056	0.00056	0.00056	0.00056	時	時間
0.000172	0.000172	1.07638E-05	1.07638E-05	平方フィート	半径
2.42	2.42	38.71	38.71		Fo

(Tc-Ti)

(Ts-Ti)

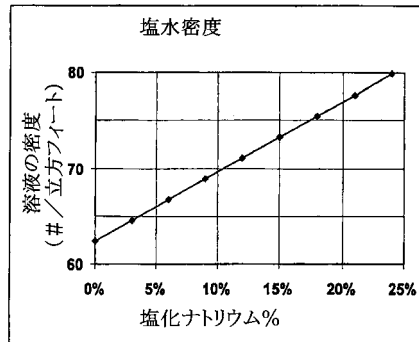
Ts

Ti

Tc

0.16	0.8	0.001	0.27		初期球全体
40	40	40	40	F	維持空気温度
32	-121	32	-121	F	
59.9202	7.8	20.839	-77.53	F	床中心

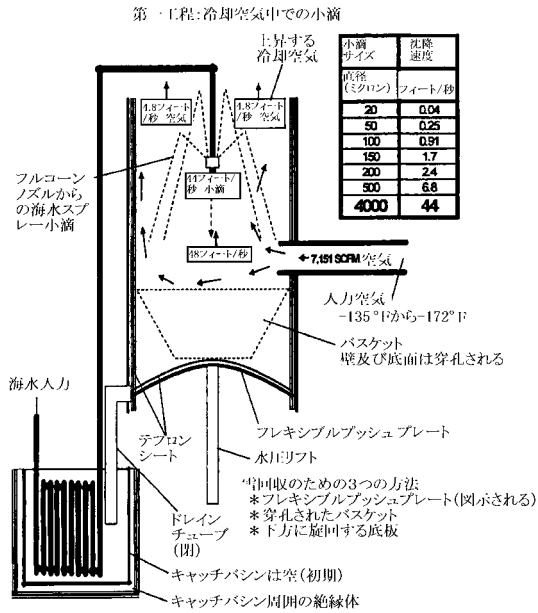
【 図 2 4 】



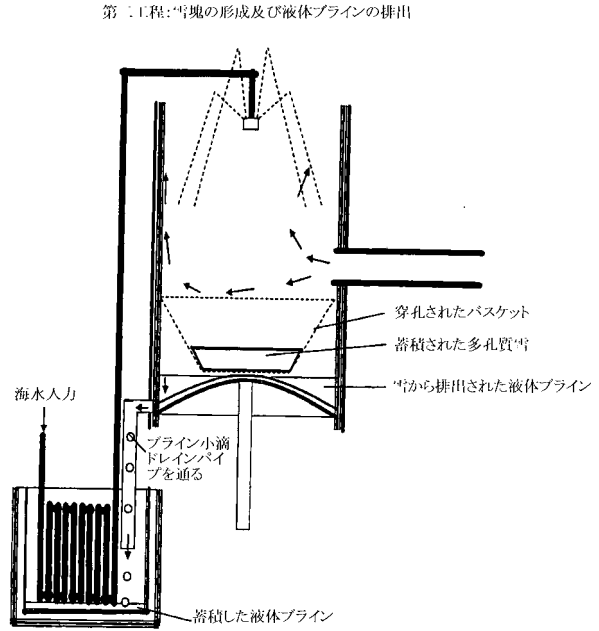
【 図 2 3 】

水	温度 度F	密度 #/立方フィート
液体	70	62.3053
液体	32	62.41418
氷	32	57.24098
氷	-6	57.43825

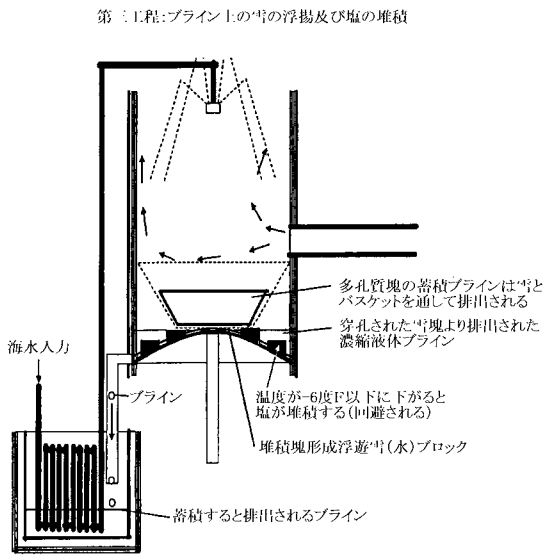
【 図 2 5 】



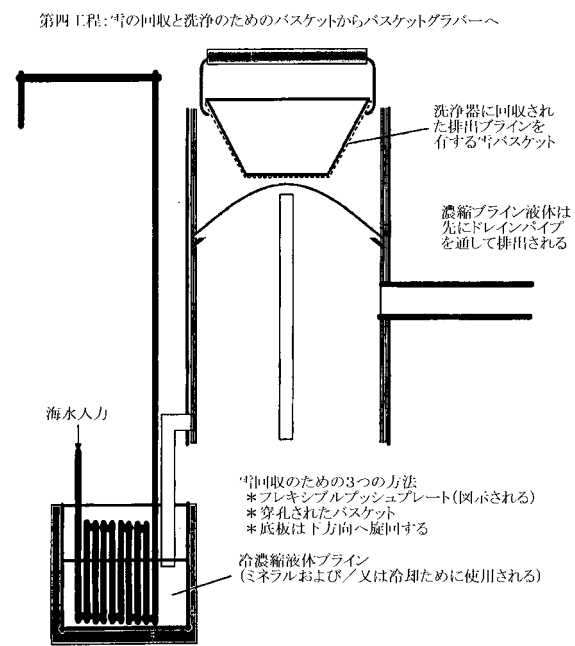
【 図 2 6 】



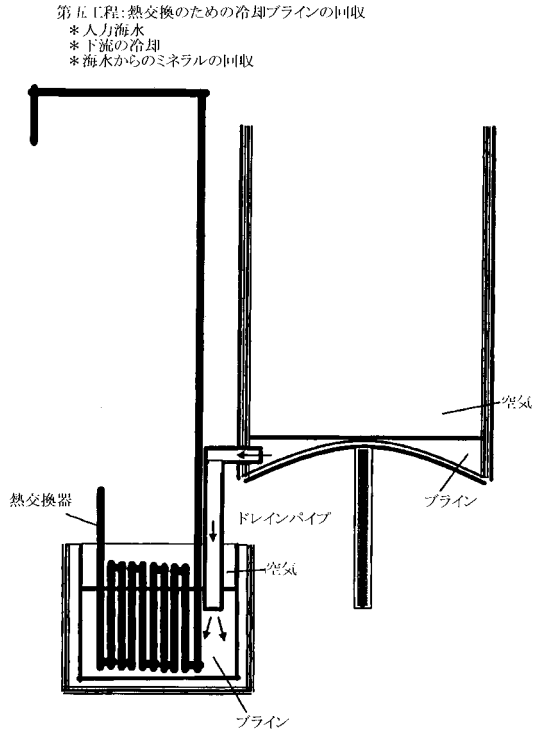
【 図 2 7 】



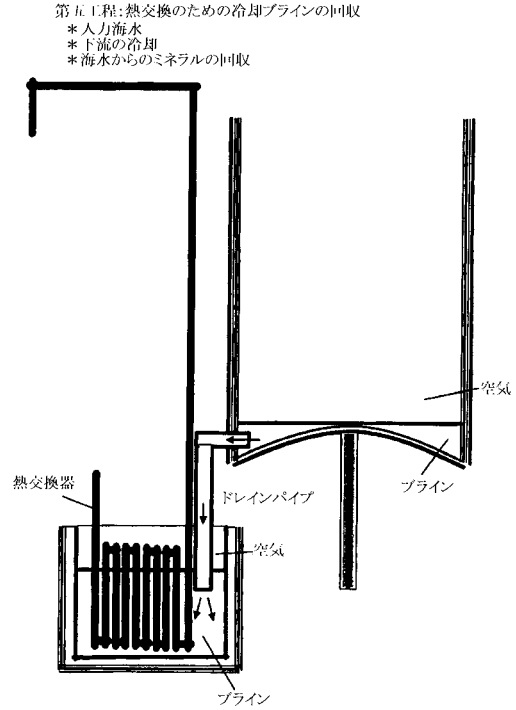
【 図 2 8 】



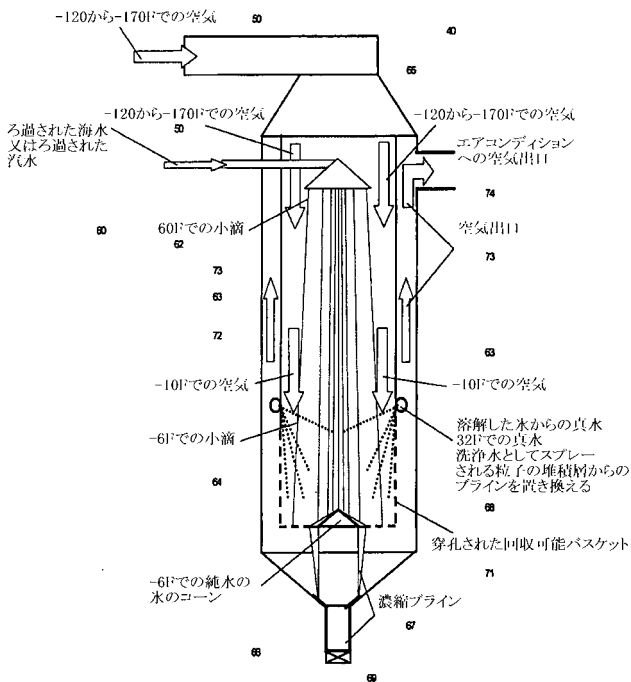
【 図 2 9 】



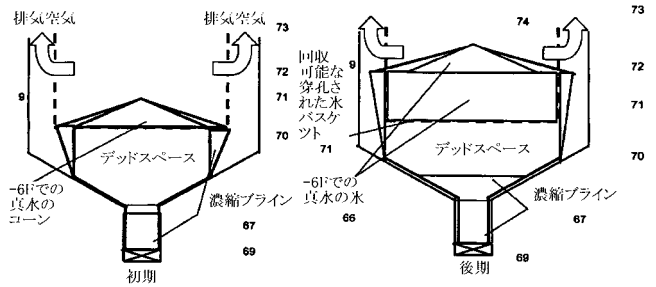
【 図 3 0 】



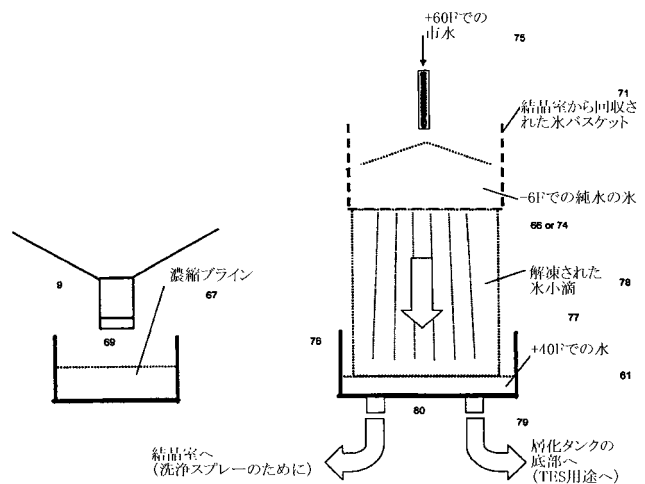
【 図 3 1 】



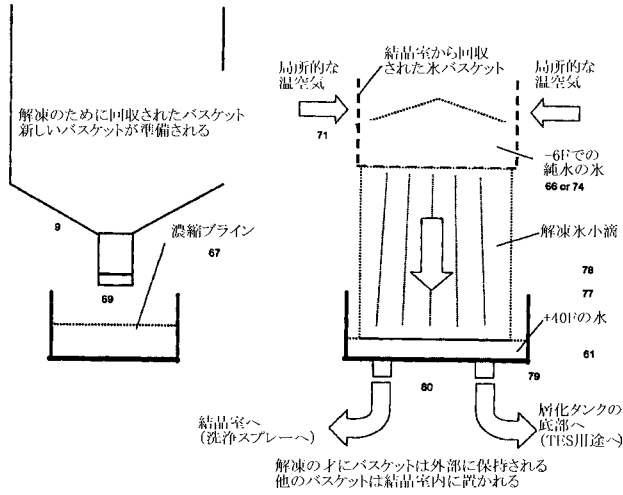
【 図 3 2 】



【 図 3 3 】



【図34】



【図35】

ビオ数 = hR/k

4000	4000	200	200	半径	ミクロン	R
0.01312	0.01312	0.00066	0.00066	フィート	フィート (F)	R
0.25	0.25	0.25	0.25	BTU/時	フィート (F)	k
50	1	90	1	BTU/時	平方フィート (F)	h
2.6247	0.0525	0.1912	0.0028			Bi
0.381	19.05	7.62	381			1/Bi

フーリエ数 = $diffusivity * time / radius-squared$

0.75	0.75	0.75	0.75	平方フィート/時	アルファ	t/R^2
0.2	0.2	0.2	0.2	秒	アルファ	
0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	時	時間	
0.000172	0.000172	4.31E-07	4.31E-07	平方フィート	2乗半径	r_0
0.24	0.24	96.77	96.77			

$(T_c - T_i)$

$(T_s - T_i)$

Ts

Ti

Tc

0.4	0.804951	0.001	0.999973		
40	40	40	40	F	初期球全体
-121	-121	-121	-121	F	維持空気温度
56.6	8.597184	120.8	39.99563	F	球中心

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US07/08183

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</p> <p>IPC: B01D 9/04(2006.01);C02F 1/00(2006.01),1/68(2006.01)</p> <p>USPC: 62/532,533;210/766,170.11</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>																																													
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 62/532, 533; 210/766, 170.11</p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched None</p> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) None</p>																																													
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category *</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>US 1,970,437 A (SNITKIN) 14 August 1934 (14.08.1934), see entire document.</td> <td>1-6,12,14-18</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 6,336,334 B1 (MINKKINEN et al) 08 January 2002 (08.01.2002), see entire document.</td> <td>1-21</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 3,461,679 A (GOLDBERGER) 19 August 1969 (19.08.1969), see entire document.</td> <td>1-21</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 3,251,192 A (RICH et al) 17 May 1966 (17.05.1966), see entire document.</td> <td>1-21</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2,988,895 A (TOULMIN) 20 June 1961 (20.06.1961), see entire document.</td> <td>1-21</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 1,999,712 A (ZORN et al) 30 April 1935 (30.04.1935), see entire document.</td> <td>1-21</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Special categories of cited documents:</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>"T"</td> <td>later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</td> </tr> <tr> <td>"E" earlier application or patent published on or after the international filing date</td> <td>"X"</td> <td>document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</td> </tr> <tr> <td>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</td> <td>"Y"</td> <td>document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</td> </tr> <tr> <td>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td>"&"</td> <td>document member of the same patent family</td> </tr> <tr> <td>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <tr> <td>Date of the actual completion of the international search 28 July 2008 (28.07.2008)</td> <td>Date of mailing of the international search report 08 SEP 2008</td> </tr> <tr> <td>Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (571) 273-3201</td> <td>Authorized officer William C. Doerrler Telephone No. (571) 272-3750</td> </tr> </table>			Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	Y	US 1,970,437 A (SNITKIN) 14 August 1934 (14.08.1934), see entire document.	1-6,12,14-18	A	US 6,336,334 B1 (MINKKINEN et al) 08 January 2002 (08.01.2002), see entire document.	1-21	A	US 3,461,679 A (GOLDBERGER) 19 August 1969 (19.08.1969), see entire document.	1-21	A	US 3,251,192 A (RICH et al) 17 May 1966 (17.05.1966), see entire document.	1-21	A	US 2,988,895 A (TOULMIN) 20 June 1961 (20.06.1961), see entire document.	1-21	A	US 1,999,712 A (ZORN et al) 30 April 1935 (30.04.1935), see entire document.	1-21	Special categories of cited documents:			"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention	"E" earlier application or patent published on or after the international filing date	"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art	"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&"	document member of the same patent family	"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed			Date of the actual completion of the international search 28 July 2008 (28.07.2008)	Date of mailing of the international search report 08 SEP 2008	Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (571) 273-3201	Authorized officer William C. Doerrler Telephone No. (571) 272-3750
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																																											
Y	US 1,970,437 A (SNITKIN) 14 August 1934 (14.08.1934), see entire document.	1-6,12,14-18																																											
A	US 6,336,334 B1 (MINKKINEN et al) 08 January 2002 (08.01.2002), see entire document.	1-21																																											
A	US 3,461,679 A (GOLDBERGER) 19 August 1969 (19.08.1969), see entire document.	1-21																																											
A	US 3,251,192 A (RICH et al) 17 May 1966 (17.05.1966), see entire document.	1-21																																											
A	US 2,988,895 A (TOULMIN) 20 June 1961 (20.06.1961), see entire document.	1-21																																											
A	US 1,999,712 A (ZORN et al) 30 April 1935 (30.04.1935), see entire document.	1-21																																											
Special categories of cited documents:																																													
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention																																											
"E" earlier application or patent published on or after the international filing date	"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone																																											
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art																																											
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&"	document member of the same patent family																																											
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed																																													
Date of the actual completion of the international search 28 July 2008 (28.07.2008)	Date of mailing of the international search report 08 SEP 2008																																												
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (571) 273-3201	Authorized officer William C. Doerrler Telephone No. (571) 272-3750																																												

フロントページの続き

(31)優先権主張番号 11/585,023

(32)優先日 平成18年10月23日(2006.10.23)

(33)優先権主張国 米国(US)

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. テフロン

(72)発明者 エニス, ベン エム.

アメリカ合衆国、ネバダ州 89052、ヘンダーソン、パニニ ドライブ 1231

(72)発明者 リーバーマン、ポール

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 90503、トーランス、マイルドレッド アベニュー 19815

Fターム(参考) 4D037 AA06 AB07 BA21 BB01 CA02