

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4800567号
(P4800567)

(45) 発行日 平成23年10月26日 (2011.10.26)

(24) 登録日 平成23年8月12日 (2011.8.12)

(51) Int. Cl.

F I

G 2 1 C 19/32 (2006.01)

G 2 1 F 5/00 (2006.01)

G 2 1 F 9/36 (2006.01)

G 2 1 C 19/32 W

G 2 1 F 5/00 Z

G 2 1 F 9/36 5 1 1 Z

請求項の数 35 外国語出願 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2003-414240 (P2003-414240)	(73) 特許権者	503041694
(22) 出願日	平成15年12月12日 (2003.12.12)		ホルテック・インターナショナル・インコーポレーテッド
(65) 公開番号	特開2004-219408 (P2004-219408A)		アメリカ合衆国ニュージャージー州08053, マールトン, リンカン・ドライブ・ウエスト 555
(43) 公開日	平成16年8月5日 (2004.8.5)	(74) 代理人	110000165
審査請求日	平成18年9月29日 (2006.9.29)		グローバル・アイピー東京特許業務法人
(31) 優先権主張番号	10/318657	(72) 発明者	クリシュナ・ピー・シング
(32) 優先日	平成14年12月13日 (2002.12.13)		アメリカ合衆国フロリダ州34683, パーム・ハーバー, ノーマンディ・サークル・イースト 230
(33) 優先権主張国	米国 (US)	審査官	中塚 直樹
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 強制ガス流キャニスター脱水

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射性元素で充填されたキャビティを乾燥させる方法であって、該充填されたキャビティが、自由体積 (V_F)、出発蒸気圧 ($v P_S$) 及びキャビティ圧力 (P_C) を有し、該方法が：

水の蒸気圧曲線を用いて、所望の蒸気圧 ($v P_D$) 以下の蒸気圧に相当する温度 (T_C) を決定し、

非反応性ガスを前記温度 (T_C) まで冷却することによって該非反応性ガスを乾燥させ

時間 (t) の間、流量 (R) で該乾燥非反応性ガスを該キャビティ中に導入し；そして 10

、該キャビティから湿潤非反応性ガスを取り出すことを含み、

その際、時間 t の後に、該キャビティ中において所望の蒸気圧 ($v P_D$) が達成されるように、前記キャビティの自由体積 (V_F)、出発蒸気圧 ($v P_S$) 及びキャビティ圧力 (P_C) に基づいて T_C 及び R が調節される、前記方法。

【請求項 2】

流量 R が体積流量又は質量流量である、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

冷却工程後及び導入工程前に、温度 (T_H) まで乾燥非反応性ガスを加熱することを更に含み、その際、 T_H を調節して、時間 t の後に、キャビティにおいて所望の蒸気圧 $v P$ 20

D を達成する、請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】

$v P_D$ が 3 トル (0 . 4 k P a) であるとき、 V_F は 3 0 0 立方フィート (8 . 5 0 m³) であり、 P_C は一平方インチあたり 5 0 ポンド (3 . 4 k P a) であり、そして $v P_S$ は 8 7 トル (1 2 k P a) であり； R は一分あたり 7 8 . 1 2 5 立方フィート (2 . 2 1 2 m³) に設定された体積流量であり、 T_H は 3 0 0 ° F (1 4 9) に設定され、及び T_C は 2 1 ° F (- 6 . 1) 又はそれより低く設定され；時間 t は 2 2 . 5 分である、請求項 3 記載の方法。

【請求項 5】

非反応性ガスがヘリウムであり、 $v P_D$ が 3 トル (0 . 4 k P a) のとき、 V_F は 3 0 0 立方フィート (8 . 5 0 m³) であり、 P_C が一平方インチあたり 5 0 ポンド (3 . 4 k P a) であり、そして $v P_S$ が 8 7 トル (1 2 k P a) であり； R が一分あたり 2 . 5 ポンド (1 . 1 k g) に設定された質量流量であり、 T_H が 3 0 0 ° F (1 4 9) に設定され、そして T_C が 2 1 ° F (- 6 . 1) 又はそれより低く設定され；時間 t が 2 2 . 5 分である、請求項 3 記載の方法。

【請求項 6】

冷却工程が、非反応性ガスを凝縮器を通して流し、次に、脱湿剤モジュールを通して該非反応性ガスを流して該非反応性ガスを凍結乾燥させることを含み、その際、該脱湿剤モジュールが、該非反応性ガスを温度 T_C で排気するように適合されている、請求項 1 記載の方法。

【請求項 7】

キャビティから取り出された湿潤非反応性ガスを、該取り出された湿潤非反応性ガスを冷却工程に曝露することによって、再循環させることを更に含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 8】

時間 t が経過した後、キャビティ中への乾燥非反応性ガスの導入を停止し；そして、該キャビティを密封することによって、該キャビティ内において乾燥非反応性ガスの雰囲気を形成させ、その際、該キャビティが $v P_D$ 又はそれより低い蒸気圧を有することを更に含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 9】

非反応性ガスが、窒素、二酸化炭素、低級炭化水素ガス、又は、ヘリウム、アルゴン、クリプトン及びキセノンからなる群から選択される不活性ガスである、請求項 1 記載の方法。

【請求項 10】

キャビティにおける所望の蒸気圧 $v P_D$ が 3 トル (0 . 4 k P a) 又はそれより低い、請求項 1 記載の方法。

【請求項 11】

温度 T_C が 2 1 ° F (- 6 . 1) 又はそれより低い、請求項 1 記載の方法。

【請求項 12】

放射性元素で充填されたキャビティを乾燥させる方法であって、該充填されたキャビティが、自由体積 (V_F)、出発蒸気圧 ($v P_S$) 及びキャビティ圧力 (P_C) を有し、該方法が：

水の蒸気圧曲線を用いて、所望の蒸気圧 ($v P_D$) 以下の蒸気圧に相当する温度 (T_C) を決定し、

非反応性ガスを前記温度 (T_C) まで冷却することによって該非反応性ガスを乾燥させる；

該キャビティの自由体積 V_F が X 回入れ替わるように、該乾燥非反応性ガスを該キャビティ中に導入し；そして、

該キャビティから湿潤非反応性ガスを取り出すことを含み

その際、該キャビティ中において該所望の蒸気圧 ($v P_D$) が達成されるように、前記キャビティの自由体積 (V_F)、出発蒸気圧 ($v P_S$) 及びキャビティ圧力 (P_C) に基

10

20

30

40

50

づいて T_c 及び R が調節される、前記方法。

【請求項 13】

冷却工程後及び導入工程前に、温度 (T_H) まで乾燥非反応性ガスを加熱することを更に含み、その際、 T_H を調節して、所望の蒸気圧 vP_D を達成する、請求項 12 記載の方法。

【請求項 14】

vP_D が 3 トル (0.4 kPa) であるとき、 V_F は 300 立方フィート (8.50 m^3) であり、 P_C は一平方インチあたり 50 ポンド (3.4 kPa) であり、そして vP_S は 87 トル (12 kPa) であり； T_H は 300°F (149) に設定され、そして T_c は 21°F (-6.1) 又はそれより低く設定され； X は 5.85 である、請求項 13 記載の方法。

10

【請求項 15】

冷却工程が、非反応性ガスを凝縮器モジュールを通して流し、次に、脱湿剤モジュールを通して該非反応性ガスを流して該非反応性ガスを凍結乾燥させることを含み、その際、該脱湿剤モジュールが、該非反応性ガスを温度 T_c で排気するように適合されている、請求項 12 記載の方法。

【請求項 16】

キャビティから取り出された湿潤非反応性ガスを、該取り出された湿潤非反応性ガスを冷却工程に曝露することによって、再循環させることを更に含む、請求項 12 記載の方法。

20

【請求項 17】

キャビティの自由体積 V_F を X 回入れ替えた後、該キャビティ中への乾燥非反応性ガスの導入を停止し；そして、

該キャビティを密封することによって、該キャビティ内において乾燥非反応性ガスの雰囲気を形成させ、該キャビティが vP_D 又はそれより低い蒸気圧を有することを更に含む、請求項 12 記載の方法。

【請求項 18】

非反応性ガスが、窒素、二酸化炭素、低級炭化水素ガス、又は、ヘリウム、アルゴン、クリプトン及びキセノンからなる群から選択される不活性ガスである、請求項 12 記載の方法。

30

【請求項 19】

所望の蒸気圧 vP_D が 3 トル (0.4 kPa) 又はそれより低い、請求項 12 記載の方法。

【請求項 20】

温度 T_c が 21°F (-6.1) 又はそれより低い、請求項 12 記載の方法。

【請求項 21】

放射性元素で充填されたキャビティを乾燥させるシステムであって、該充填されたキャビティが、自由体積 (V_F)、出発蒸気圧 (vP_S) 及びキャビティ圧力 (P_C) を有し、該システムが：

該システムに対して非反応性ガスを供給するように適合させた非反応性ガス源；

40

水の蒸気圧曲線を用いて決定される、所望の蒸気圧 (vP_D) 以下の蒸気圧に相当する温度 (T_c) まで非反応性ガスを冷却することによって該非反応性ガスを乾燥させる手段；

該乾燥非反応性ガスを該キャビティに流す手段であって、該乾燥非反応性ガスを該キャビティに流量 R で時間 (t) の間導入するように適合させた、該流動手段；

湿潤非反応性ガスを該キャビティから取り出す手段を含み；

その際、該非反応性ガス源、該冷却手段、該流動手段、該取り出し手段、及び該キャビティが流動的に結合されていて；

時間 t で該キャビティ中において所望の蒸気圧 (vP_D) が達成されるように、前記キャビティの自由体積 (V_F)、出発蒸気圧 (vP_S) 及びキャビティ圧力 (P_C) に基づ

50

いて T_c 及び R が調節される、前記システム。

【請求項 22】

流量 R が体積流量又は質量流量である、請求項 21 記載のシステム。

【請求項 23】

乾燥非反応性ガスを温度 (T_H) まで加熱する手段を更に含み、該加熱手段が、冷却手段の下流でキャビティの上流においてシステムに対して流動的に結合されていて、その際、 T_H を調節して、所望の蒸気圧 $v P_D$ を達成する、請求項 21 記載のシステム。

【請求項 24】

$v P_D$ が 3 トル (0.4 kPa) であるとき、 V_F は 300 立方フィート (8.50 m³) であり、 P_C は一平方インチあたり 50 ポンド (3.4 kPa) であり、そして $v P_S$ は 87 トル (12 kPa) であり； R は一分あたり 78.125 立方フィート (2.212 m³) に設定された体積流量であり、 T_H は 300 °F (149 °C) に設定され、そして T_c は 21 °F (-6.1 °C) 以下に設定され；時間 t は 22.5 分である、請求項 23 記載のシステム。

10

【請求項 25】

非反応性ガスがヘリウムであり、 $v P_D$ が 3 トル (0.4 kPa) のとき、 V_F は 300 立方フィート (8.50 m³) であり、 P_C が一平方インチあたり 50 ポンド (3.4 kPa) であり、そして $v P_S$ が 87 トル (12 kPa) であり； R は一分あたり 2.5 ポンド (1.1 kg) に設定された質量流量であり、 T_H は 300 °F (149 °C) に設定され、そして T_c は 21 °F (-6.1 °C) 以下に設定され；時間 t は 22.5 分である、請求項 23 記載のシステム。

20

【請求項 26】

乾燥非反応性ガスを加熱する手段が補助ヒーターである、請求項 21 記載のシステム。

【請求項 27】

流動手段がガス循環器である、請求項 21 記載のシステム。

【請求項 28】

冷却手段は、脱湿剤モジュールに対して上流で流動的に結合された凝縮器モジュールを含み、該脱湿剤モジュールは、該脱湿剤モジュールを出る非反応性ガスが温度 T_c であるように、該非反応性ガスを凍結乾燥させるように適合されている、請求項 21 記載のシステム。

30

【請求項 29】

システムが、該システムによってキャビティから取り出される湿潤非反応性ガスを再循環させるように適合されている、請求項 21 記載のシステム。

【請求項 30】

非反応性ガスが、窒素、二酸化炭素、低級炭化水素ガス、又は、ヘリウム、アルゴン、クリプトン及びキセノンからなる群から選択される不活性ガスである、請求項 21 記載のシステム。

【請求項 31】

キャビティにおける所望の蒸気圧 $v P_D$ が 3 トル (0.4 kPa) 又はそれより低い、請求項 21 記載のシステム。

40

【請求項 32】

温度 T_c が 21 °F (-6.1 °C) 又はそれより低い、請求項 21 記載のシステム。

【請求項 33】

キャビティが頂部及び底部を有し、その際、システムが、該キャビティの底部又は底部近傍において、該キャビティに乾燥非反応性ガスを供給するように適合され、更に、該キャビティの頂部において又は頂部近傍において、該キャビティから湿潤非反応性ガスを取り出すように適合されている、請求項 21 記載のシステム。

【請求項 34】

キャビティを減圧状態に暴露しない、請求項 1 ~ 20 のいずれかに記載の方法。

【請求項 35】

50

キャビティを減圧状態に暴露しない、請求項 2 1 ~ 3 3 のいずれかに記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【発明の開示】

【0001】

発明の背景

本発明は、一般的には、放射性元素を貯蔵する分野に関するものであり、具体的には、「乾燥状態」で長期貯蔵するために使用済核燃料を乾燥させるシステム及び方法に関するものである。

【0002】

原子炉の運転においては、燃料集合体として知られている濃縮ウランで充填された中空ジルカロイ管を原子炉炉心内で燃焼させる。通常、このような核燃料集合体のエネルギーが所定のレベルまで低下したら、原子炉から核燃料集合体を取り出す。減損し、その後に取り出されたとき、この使用済核燃料(SNF)は、依然として高度に放射性であり、かなりの熱を生成するので、その後の包装、輸送及び貯蔵においては多大な注意を要する。具体的には、SNFは、極めて危険な中性子及びガンマ光子を放射する。これらの中性子及びガンマ光子は、炉心から取り出された後では常に存在する。

【0003】

原子炉から燃料集合体を取り出すとき、原子炉からSNFを取り出し、水面下にSNFを配置するのは共通の場所であり、その場所は、使用済燃料貯蔵プール又は使用済燃料貯蔵池として一般的に知られている。プールの水によりSNFの冷却が容易になり、十分な放射線遮蔽が提供される。SNFを安全に輸送できる十分に低いレベルまで熱及び放射線を低減できるほど十分に長い期間、SNFはプールの中に貯蔵される。しかしながら、安全、空間及び経済的な関心から、かなり長い期間SNFを貯蔵する必要がある場合には、プールのみでの使用では充分ではない。したがって、SNFを長期間貯蔵するときは、使用済燃料プール中に短期間貯蔵した後に、乾燥状態でSNFを貯蔵すること、すなわち、十分な放射線遮蔽を提供する構造内に封入された乾燥不活性ガス雰囲気中にSNFを貯蔵することは、原子力産業では標準的な技術である。乾燥状態で長期間SNFを貯蔵するために用いられる一つの典型的な構造は貯蔵キャスクである。

【0004】

貯蔵キャスクは、SNFのキャニスターを受容するように適合されたキャビティを有し、鋼、鉛、コンクリート及び環境に適する含水素材料製の大きな重構造となるように設計される。しかしながら、貯蔵キャスクを設計する場合の関心事は、SNFを長期間貯蔵するために十分な放射線遮蔽を提供することにあるので、サイズ及び重量は、(考慮したとしても)二次的な考慮事項である場合が多い。結果として、貯蔵キャスクの重量及びサイズにより、持ち上げたり、取り扱うときに問題が生じる場合が多い。典型的には、貯蔵キャスクは、重量100トン超であり、高さは15フィート(4.6m)超である。貯蔵キャスクに関連するよくある問題は、ほとんどの原子力発電所のクレーンでは重過ぎて持ち上げられないということである。別のよくある問題は、貯蔵キャスクが一般的に大き過ぎて使用済燃料プール中に配置できないことである。したがって、プールで冷却してから貯蔵キャスク中にSNFを貯蔵するために、SNFを、キャスクへと移動させ、プールから取り出し、中継場所に配置し、脱水し、乾燥させ、そして貯蔵施設へと輸送する。この輸送手順の全ての段階を通じて十分な放射線遮蔽が必要である。

【0005】

SNFを、使用済燃料プールから取り出し、更に貯蔵キャスクへと移動させるために、典型的には、開放キャニスターを使用済燃料プール中に沈める。次に、水中に沈めながら、SNF棒を直接、開放キャニスター中に配置する。しかしながら、密封した後でも、キャニスター単独では、SNFの放射線を十分に閉じ込められない。充填されたキャニスターは、更なる放射線遮蔽なしでは、使用済燃料プールから取り出したり移動させたりできない。したがって、SNFを輸送している間に追加の放射線遮蔽を提供する装置が必要で

10

20

30

40

50

ある。この追加の放射線遮蔽は、プール中に存在させたままで、輸送キャスクと呼ばれている大きな円筒容器中に S N F で充填されたキャニスターを配置することによって達成される。貯蔵キャスクと同様に、輸送キャスクは、S N F のキャニスターを受容するように適合されたキャビティを有しており、内部の S N F によって放出される放射線から環境を遮蔽するように設計されている。

【 0 0 0 6 】

充填されたキャニスターを輸送するために輸送キャスクを用いる施設では、最初に、空のキャニスターを、開放輸送キャスクのキャビティ中に配置する。次に、そのキャニスター及び輸送キャスクを、使用済燃料プール中に沈める。キャスク貯蔵前に、S N F を、原子炉から取り出し、使用済燃料プールの底部上に配列された湿潤貯蔵ラックに配置する。乾燥貯蔵のためには、水で満たされて輸送キャスク内にある水中キャニスターの中に S N F を移動させる。次に、その充填キャニスターに蓋を嵌め、その中に、S N F とプールからの水とを封入する。次に、充填キャニスター及び輸送キャスクを、クレーンでプールから取り出し、中継場所に降ろして、長期乾燥貯蔵のための S N F 充填キャニスターを用意する。S N F 充填キャニスターを乾燥貯蔵のために適切に用意するために、米国原子力規制委員会 (N . R . C .) は、キャニスターを密封し、貯蔵キャスクへと移動させる前に、S N F とキャニスターの内部とを十分に乾燥させることを要求している。具体的には、N . R . C . 規則は、キャニスターを不活性ガスで充填し密封する前に、キャニスター内の蒸気圧 ($v P$) が 3 トル (0.4 kPa) (1 トル = 1 mmHg) 未満であることを義務付けている。蒸気圧は、平衡時における液体上に存在する蒸気の圧力であり、その場合、平衡とは、等しい数の分子が液相から気相へと変化し、また気相から液相へと変化する分子が存在している状態と規定される。3 トル (0.4 kPa) 以下の低い $v P$ にすると、キャニスター内部及び S N F 上に存在する水分量は十分に少量であり、その結果として、長期貯蔵のために S N F が十分に乾燥していることが保証される。

【 0 0 0 7 】

現在、原子力施設は、真空乾燥プロセスを行うことによって、N . R . C . の蒸気圧 3 トル (0.4 kPa) 以下という要件を遵守している。このプロセスを行なう場合、最初に、キャニスター内のパルク水をキャニスターから排出する。液体の水の大部分を排出したら、真空システムをキャニスターに結合させて活性化させ、キャニスター内に減圧状態をつくる。キャニスター内が減圧状態であると、残留している液体の水の蒸発が促進されるので、真空は水蒸気を除去するのに役立つ。次に、例えば真空計のような適切な測定器をキャニスター中に配置し、キャニスター内に存在しているガス含量を直接測定することによってキャニスター内の $v P$ を測定する。必要であれば、この真空手順は、 $v P$ が 3 トル (0.4 kPa) 以下となるまで繰返す。許容可能な $v P$ に達したら、不活性ガスでキャニスターを充填し密封する。次に、輸送キャスク (その中にキャニスターを有する) を、貯蔵キャスクの上の位置に移動し、S N F 充填キャニスターを長期貯蔵用の貯蔵中に降ろす。

【 0 0 0 8 】

N . R . C . の蒸気圧 3 トル (0.4 kPa) 以下 ($v P$) の要件を満たす現在の方法は、潜在的に危険であり、操作に時間が掛かり、間違いを犯しやすい傾向があり、S N F 棒が高温に曝され、またコストが掛かる。第一に、キャニスターは高度に放射性の S N F を含んでいるので、 $v P$ を直接 (侵入的に) 測定するのは危険である。キャニスターを物理的に破壊しなければならないときは常に、周囲環境に放射能を浴びせ、また作業員を被爆させる危険性がある。更に、キャニスターにおいて減圧状態をつくるには、高価な真空装置が必要であり、また複雑な装置に起因する問題が生じる可能性がある。最後に、真空乾燥のための運転時間は、許容できないほど長く、数日単位の真空乾燥時間が普通である。真空運転では、キャニスター内側でラインが凍結し氷が形成される傾向があり、それにより計器の示度が狂うことがある。キャニスターの圧力を低下させると、熱伝達媒体 (キャニスターに存在するギャップ及び開放空間を充填しているガス) が漸進的に失われ、それにより、熱を生成している S N F 棒の温度が実質的に上昇する。

【 0 0 0 9 】

発明の要旨

本発明の目的は、S N F 充填キャビティの内部を乾燥させるための方法及びシステムを提供することにある。

【 0 0 1 0 】

本発明の別の目的は、キャビティ内が許容可能な低い $v P$ であることを保証するため、キャビティ内に侵入させて物理的に $v P$ を測定する必要がなく、S N F 充填キャビティの内部を乾燥させるための方法及びシステムを提供することにある。

【 0 0 1 1 】

本発明の更に別の目的は、S N F 充填キャビティの内部を減圧状態に暴露せずに、該キャビティの内部を乾燥させるための方法及びシステムを提供することにある。

10

本発明の更に別の目的は、高価な真空装置を用いずにS N F 充填キャビティの内部を充分に乾燥させるための方法及びシステムを提供することにある。

【 0 0 1 2 】

本発明の更なる目的は、時間効率のよい方法で乾燥貯蔵するためのS N F 充填キャビティを用意するための方法及びシステムを提供することにある。

本発明のなお更なる目的は、コスト効率のよい方法で乾燥貯蔵するためのS N F 充填キャビティを用意するための方法及びシステムを提供することにある。

【 0 0 1 3 】

本発明の追加の目的は、従来技術と関連のある過度なS N F 棒の温度を排除する、乾燥させるための方法及びシステムを提供することにある。

20

これらの目的及び他の目的は、本発明により満たされ、本発明は一の側面においては、自由体積 (V_F)、出発蒸気圧 ($v P_S$) 及びキャビティ圧力 (P_C) を有する放射性元素で充填されたキャビティを乾燥させる方法を含み、該方法は：所望の蒸気圧 ($v P_D$) を得るためにキャビティにおける所望の乾燥度を決め；非反応性ガスを温度 (T_C) まで冷却することによって非反応性ガスを乾燥させ；時間 (t)、流量 (R) で、乾燥非反応性ガスをキャビティ中に導入す；そして、キャビティから湿潤非反応性ガスを取り出すことを含む。その際、 T_C 及び R を調節して、時間 t 後に、キャビティ中において所望の蒸気圧 ($v P_D$) を達成する。

【 0 0 1 4 】

30

好ましくは、この方法は、冷却工程後及び導入工程前に、温度 (T_H) まで乾燥非反応性ガスを加熱することを更に含む。その際、 T_H を調節して、時間 t の後に、キャビティ中において所望の蒸気圧 $v P_D$ を達成する。

【 0 0 1 5 】

更に好ましくは、冷却工程は、非反応性ガスを凝縮器を通して流し、次に、その非反応性ガスを凍結乾燥させる脱湿剤モジュールを通して該ガスを流すことを含む。その際、脱湿剤モジュールは、非反応性ガスを温度 T_C で排気するように適合される。キャビティから取り出される湿潤非反応性ガスは、その取り出された湿潤非反応性ガスを冷却工程に曝露することによって、再循環させることができる。更に、好ましくは、この方法は、追加の工程：すなわち、時間 t が経過したら、キャビティ中への乾燥非反応性ガスの導入を停止し；そして、そのキャビティを密封することによって、キャビティ内において乾燥非反応性ガスの雰囲気 (キャビティは $v P_D$ 又はそれより低い蒸気圧を有する) を形成させることを含む。

40

【 0 0 1 6 】

入手可能な装置に依存して、調節される流量 R は、体積流量又は質量流量であることができる。適する非反応性ガスとしては、窒素、二酸化炭素及び低級炭化水素ガス (例えば、メタン) が挙げられ、また、ヘリウム、アルゴン、クリプトン及びキセノンからなる群から選択される不活性ガスが挙げられる。好ましくは、キャビティにおける所望の蒸気圧 $v P_D$ は、約 $21^{\circ} F$ (-6.1) 又はそれより低い温度 T_C に相当する約 3 トル ($0.4 kPa$) 又はそれより低い圧力である。

50

【 0 0 1 7 】

別の側面においては、本発明は、自由体積 (V_F)、出発蒸気圧 ($v P_S$) 及びキャビティ圧力 (P_C) を有する放射性元素で充填されたキャビティを乾燥させる方法であって、該方法は：所望の蒸気圧 ($v P_D$) を得るためにキャビティにおける所望の乾燥度を決め；非反応性ガスを温度 (T_C) まで冷却することによって非反応性ガスを乾燥させ；キャビティの自由体積 V_F が X 回入れ替わるように、乾燥非反応性ガスをキャビティ中に導入し；そして、キャビティから湿潤非反応性ガスを取り出すことを含む。該方法では、 T_C 及び X を調節してキャビティにおいて所望の蒸気圧 ($v P_D$) を達成する。

【 0 0 1 8 】

好ましくは、本方法は、冷却工程後及び導入工程前に、温度 (T_H) まで乾燥非反応性ガスを加熱することを更に含む。その際、 T_H を調節して所望の蒸気圧 $v P_D$ を達成する。この方法の冷却工程は、非反応性ガスを凝縮器モジュールを通して流し、次に、その非反応性ガスを凍結乾燥させる脱湿剤モジュールを通して該ガスを流すことを含むことができる。その際、脱湿剤モジュールは、非反応性ガスを温度 T_C で排気するように適合される。

10

【 0 0 1 9 】

この方法は、更に、取り出された湿潤非反応性ガスを冷却工程に暴露することによってキャビティから取り出された湿潤非反応性ガスを再循環させ；キャビティの自由体積 V_F が X 回入れ替わった後、キャビティ中への乾燥非反応性ガスの導入を停止し；そして、キャビティを密封することによって、キャビティ内において乾燥非反応性ガスの雰囲気 (キャビティは $v P_D$ 以下の蒸気圧を有する) を形成させることを含む。

20

【 0 0 2 0 】

適切な非反応性ガスとしては、窒素、二酸化炭素、及び例えば、メタンのような低級炭化水素ガスが挙げられ、また、ヘリウム、アルゴン、クリプトン及びキセノンからなる群から選択される不活性ガスが挙げられる。所望の蒸気圧 $v P_D$ は、約 21°F (-6.1) 又はそれより低い温度 T_C に相当する約 3 トル (0.4 kPa) 又はそれより低い圧力であることができる。

【 0 0 2 1 】

もう一つ別の側面では、本発明は、自由体積 (V_F)、出発蒸気圧 ($v P_S$)、及びキャビティ圧力 (P_C) を有する放射性元素で充填されたキャビティを乾燥させるためのシステムであり、該システムは：システムに対して非反応性ガスを供給するように適合された非反応性ガス源；非反応性ガスを温度 (T_C) まで冷却することによって非反応性ガスを乾燥させる手段；その乾燥非反応性ガスを、時間 (t) の間、流量 R で、キャビティに導入するように適合された、乾燥非反応性ガスをキャビティに流す流動手段；湿潤非反応性ガスをキャビティから取り出す手段を含み、その際、非反応性ガス源、冷却手段、流動手段、取り出し手段、及びキャビティは流動的に結合されており；また、 T_C 及び R を調節して、時間 t でキャビティ中において所望の蒸気圧 ($v P_D$) を達成する。

30

【 0 0 2 2 】

好ましくは、システムは、乾燥非反応性ガスを温度 (T_H) まで加熱する手段を更に含み、該加熱手段は、冷却手段の下流でキャビティの上流においてシステムに対して流動的に結合されていて、その際、 T_H を調節して、所望の蒸気圧 $v P_D$ を達成する。この加熱手段は好ましくは補助ヒーターである。

40

【 0 0 2 3 】

流量 R は、質量流量又は体積流量であることができる。流動手段はガスサーキュレータであることができ、冷却手段は、脱湿剤モジュールに対して上流で流動的に結合された凝縮器モジュールを含むことができ、該脱湿剤モジュールは、脱湿剤モジュールを出る非反応性ガスが温度 T_C であるように、非反応性ガスを凍結乾燥させるように適合されている。

【 0 0 2 4 】

更に好ましくは、システムによってキャビティから取り出される湿潤非反応性ガスを再

50

循環させるようにシステムを適合させる。非反応性ガスは、窒素、二酸化炭素、例えばメタンのような低級炭化水素ガスが挙げられ、又は、ヘリウム、アルゴン、クリプトン及びキセノンからなる群から選択される不活性ガスが挙げられる。キャビティのキャビティにおける所望の蒸気圧 $v P$ は、約 $21^{\circ} F (-6.1)$ 又はそれより低い温度 T_c に相当する約 3 トル ($0.4 kPa$) 又はそれより低い圧力である。

【0025】

最後に、好ましくは、キャビティは頂部及び底部を有し、システムは、キャビティの底部又は底部近傍においてキャビティに乾燥非反応性ガスを供給するように適合させ、また更に、キャビティの頂部又は頂部近傍において、キャビティから湿潤非反応性ガスを取り出すように適合させる。

【0026】

図面の具体的な説明

図1は、本発明で用いるのに適するキャニスター20を示している。キャニスター20は例示目的のみで図示してある。本発明は、特定の幾何学的配置、構造、又は寸法に限定されないが、放射性元素を輸送、貯蔵、又は保持するために用いられる任意のタイプの格納容器に対して適用可能である。したがって、本発明の範囲には、キャニスターを用いずにキャスクのキャビティ中に直接、使用済燃料(SNF)が充填されるキャスク態様も含まれる。

【0027】

キャニスター20は、キャビティ21を形成する底部プレート22と円筒壁24とを含む。本明細書において、底部プレート22の最も近くにあるキャニスター20の末端25をキャニスター20の底部と呼び、底部プレート22から最も遠位にあるキャニスター20の末端26をキャニスター20の頂部と呼ぶ。キャニスター20のキャビティ21は、その中に配置されたハニカムグリッド23を有する。ハニカムグリッド23は、使用済核燃料(SNF)棒を受容するように適合された矩形ボックスを複数含む。キャニスター20は、更に、キャニスター20の外側からキャビティ21への密封可能な通路を提供する、キャニスター20の底部に又は底部近傍に配置された排水孔(図示せず)も含む。排水孔は、底部プレート22上に配置できる。更に、排水孔は、開けることができ、又は従来のプラグ、排水バルブ、もしくは溶接法を用いて密閉することができる。

【0028】

図1に示してあるように、キャニスター20は空であり(すなわち、キャビティ21はハニカムグリッド23中に配置されるSNF棒を有していない)、キャニスター20の頂部26は開いている。キャニスター20を用いてSNF棒を輸送し貯蔵する場合、キャニスター20を輸送キャスク10の内側に配置する(図2)。キャニスター20は開放されていて空である。そのとき、キャニスター20の底部又は底部近傍に配置された排水孔は、閉じられ密閉されている。次に、開放輸送キャスク10及び開放キャニスター20を使用済燃料プール中に沈め、キャビティ21の残りの体積を水で満たす。次に、原子炉から取り出されるSNF棒を、使用済燃料プール中に沈め、キャニスター20のキャビティ21の内側に配置する。好ましくは、SNF棒の単一束をハニカムグリッド23の各々の矩形ボックスに配置する。SNF棒をキャビティ21に充填したら、キャニスターの蓋27(図2)を、キャニスター20の頂部26に固定して、SNF棒と、プール水とをキャビティ21中に密封する。キャニスターの蓋27は、開放したときに、キャニスター20の外部からキャビティ21中への通路を形成する複数の密封可能な蓋の孔28を有する。次に、クレーンによって輸送キャスク10(その中に充填され密封されたキャニスター20を有する)を使用済燃料プールから持ち上げ、(図2に示してある)中継場所に真っ直ぐに配置して、キャニスター20を乾燥貯蔵のために適切に用意することができる。

【0029】

図2をみると、中継場所において、キャニスター20(SNF棒及びプール水を含む)は輸送キャスク10内にある。キャニスター20及び輸送キャスク10は双方とも直立配置である。中継場所に適切に配置したら、キャニスター20の底部25又は底部近傍にあ

10

20

30

40

50

る排水孔（図示せず）を開け、キャニスター 20 のキャビティ 21 に閉じ込められているバルク水を排水する。キャビティ 21 からバルク水を排水するが、極微量の液体の水及び水蒸気がキャビティ 21 の内部に残留するので、水分はキャビティ 21 中及び S N F 棒上に残留している。しかしながら、キャニスター 20 を、永久的に密封し、長期乾燥貯蔵のための貯蔵キャスクに移動させる前に、確実に、キャニスター 20 の中に含まれているキャビティ 21 及び S N F 棒を十分に乾燥させなければならない。容器内の蒸気圧（ vP ）が低いということは、存在している水分量が低レベルであるということなので、米国原子力規制委員会（N . R . C .）は、3 トル（ 0.4 kPa ）又はそれより低い蒸気圧（ vP ）がキャビティ 21 内で得られるときに、十分な乾燥が達成されるとしている。

【0030】

図 3 は、キャビティ 21 内で得られる vP を侵入的に測定する必要なく、許容可能な N . R . C . レベルまでキャビティ 21 を乾燥させることができる閉ループシステム 300 の一の態様を概略示している。図 5 は、本発明にしたがってシステム 300 を運転する方法の一態様に関する流れ図である。図 6 は、本発明にしたがってシステム 300 を運転する方法の第二の態様に関する流れ図である。

【0031】

システム 300 をキャニスター 20 に接続して、閉ループシステムを形成する。しかしながら、本発明は、閉ループシステムが無くても実行可能である。システム 300 は、非反応性ガスリザーバ 340、ガス冷却要素 310、温度センサー 320、ガス循環器 330、補助ヒーター 350、ガス流調節器 360、及びガス分配器 370 を含む。図示するように、ガス冷却要素 310 は凝縮器 370 及び脱湿剤モジュール 380 を含む。これらの要素はすべて、非反応性ガスが外部環境中へと抜け出さずにシステム 300 を通って流れることができるように、流動的に接続されている。本明細書で説明するすべての流体接続は、ねじ込み接続、シール、リングクランプ、及び/又はガasket を用いることによって、システム 300 の要素を流動的に接続する適するチュービング又はパイピングを用いることによって達成できる。パイピング及びチュービングは、金属製可とう性管又は金属製非可とう性管から構成できる。システム 300 の様々な要素に対してパイピング及びチュービングを流動的に接続する設計は、選択される装置の特定の設計構造及び選択されるパイピング又はチュービングの材料組成によって左右される。

【0032】

好ましくは、非反応性ガスリザーバ 340 を用いてヘリウムガスを貯蔵する。ヘリウムガスは好ましい非反応性ガスであるが、システム 300 では、任意の非反応性ガスを用いることができ、それもまた本発明の範囲内である。例えば、非反応性ガスは、窒素、二酸化炭素、例えばメタンのような低級炭化水素ガス、又は限定するものではないがヘリウム、アルゴン、クリプトン及びキセノンを含む任意の不活性ガスであることができる。

【0033】

システム 300 中を流れるヘリウムガス流は、ガス循環器 330 によって生じる。ガス循環器 330 は、ガス循環器 330 を出るときにヘリウムガスの圧力を増大させることによって、システム 300 及びキャニスター 20 を通してヘリウムガスを循環させる。こうして、ガス循環器 330 を出るヘリウムガスは、システム 300 を反時計回りに押出される。システム 300 を流れるガス流の方向は、流体接続に関して示した矢印によって図示されている。

【0034】

ヘリウムリザーバ 340 はシステム 300 に対して十分なヘリウムガス源を提供する。ヘリウムリザーバ 340 は凝縮器 370 に対して流動的に接続されている。ヘリウムガスをシステム 300 中へ押出すと、ヘリウムリザーバ 340 内にあるヘリウムガスは凝縮器 370 中に流れる。ヘリウムガスが凝縮器 370 を通って流れると、ヘリウムガスは冷却される。この冷却により、ヘリウムガス中にトラップされている水分（すなわち、水蒸気）のいくらかがヘリウムガスから凝縮し、液体形態で凝縮器 370 中に集められる。液体の水は、排流管（図示せず）を經由して凝縮器 370 から取り出され、一方、部分的に乾

10

20

30

40

50

乾燥したヘリウムガスは、分離流体接続を経由して脱湿剤モジュール 380（凍結乾燥器としても知られている）中に流れる。次に、その部分乾燥ヘリウムガスは脱湿剤モジュール 380 中に流れ、そこで、管状熱交換器中を流れる冷媒流体によってヘリウムガスを凍結乾燥することによって、更にヘリウムガスが冷却される。部分乾燥ヘリウムガスのこの更なる温度低下により、追加の水分が生じ、ヘリウムガスから取り出される。そのようにして、脱湿剤モジュール 380 を出るヘリウムガスは、含水量が非常に低く（すなわち、蒸気圧が低い）、非常に乾燥している。脱湿剤モジュール 380 においてヘリウムガスから取り出される水分は、冷凍流体で冷却された熱交換器管によって直接凍結される。

【0035】

脱湿剤モジュール 380 から流れ出てくるヘリウムガスの温度をモニターして、その温度を十分に低く保つことにより、ヘリウムガスを非常に乾燥した状態に確実にすることができる。脱湿剤モジュール 380 は、流出していくヘリウムガスを所望の低い温度 T_c まで確実に冷却するように適合される。それは、温度センサー 320 を用いて流出していくヘリウムガスの温度をモニターすることによって達成される。温度センサー 320 は、電気接続 325 によって、脱湿剤モジュール 380 に対して使用可能に結合される。ユーザーインターフェース及び適切にプログラムされたプロセッサ（図示せず）を用いることによって、使用者によって、所望の温度 T_c が入力される。温度センサー 320 は、脱湿剤モジュール 380 を出ていくヘリウムガスの温度を繰返し測定する。流出ヘリウムガスの温度が入力した所望の温度 T_c と一致していない場合、適切な信号が脱湿剤モジュール 380 へと送られる。脱湿剤モジュール 380 は、送られた信号にしたがって、ヘリウムガスの冷却を強めたり弱めたりすることによって、信号に適切に応答する。この調節方法は、脱湿剤モジュールを出ていくヘリウムガスが T_c 又はそれより低い所望の温度に達する（且つ維持される）まで繰返され、図 5 及び図 6 それぞれの工程 500 及び 600 を完了する。以下で詳細に説明しているように、キャピティ 21（図 1）から充分量の水分を取り出して、キャピティ 21 において所望の蒸気圧（ $v P_D$ ）を達成できるように、流出していくヘリウムガスが十分に乾燥していることを保証するために、使用者によって T_c は選択される。

【0036】

乾燥ヘリウムガス（所望の温度 T_c となっている）をガス循環器 330 中に流し、上記したように、乾燥ヘリウムガスの圧力を増加させて、乾燥ヘリウムガスを押出し、補助ヒーター 350 中に流し、システム 300 全体に循環させる。補助ヒーター 350 は、ガス循環器 330 の下流に流動的に接続されている。補助ヒーター 350 に入ると、乾燥ヘリウムガスは、所望の加熱温度（ T_H ）まで過熱され、図 5 及び図 6 それぞれの工程 510 及び 610 を完了する。ヘリウムガスの温度を T_H まで上昇させると、ヘリウムガスがキャピティ 21 に入るときに、キャピティ 21 から水分（SNF 棒上の水分を含む）を取り出すことが容易になる。しかしながら、SNF 棒は、しばしば、多量の熱を発生させるので、そのような場合には、補助ヒーター 350 の使用は不要であるかもしれない。補助ヒーター 350 により、使用可能に結合された温度センサー（図示せず）を用いて、補助ヒーター 350 から流出していく乾燥ヘリウムガスを、温度 T_H に確実に維持する。この使用可能な接続に関する考察は、接続及び調節は脱湿剤モジュール 380 及び温度センサー 320 に関して用いられるものと同様であるので重複を避けるために省略される。

【0037】

補助ヒーター 350 を出ると、乾燥ヘリウムガス（温度 T_H ）はガス流調節器 360 中に流れる。ガス流調節要素 360 は、電気接続 390 によって、ガス循環器 330 に対して使用可能に結合される。本発明のいずれの方法が用いられるかに依存して、ガス流調節器 360 は、体積流量調節器又は質量流量調節器であることができる。

【0038】

ガス流調節器 360 が体積流量調節器である場合、バルブは、一定の所望の体積流量（ R ）でヘリウムガスがバルブを通して流れるように適合される。所望の体積流量 R は、適切にプログラムされたプロセッサを有する結合されたユーザーインターフェース（図示せず

10

20

30

40

50

）を介して使用者によって入力される。適切にプログラムされたプロセッサは、体積流量バルブへと信号を送り、所望の体積流量 R が達成されるようにバルブを調節する。この態様では、使用者は、所望の時間 (t) もユーザーインタフェースに入力する。時間 t が経過したら、適切にプログラムされたプロセッサは、ガス流調節器 360 に運転停止信号を送り、システム 300 中のヘリウムガスの流れを停止させる。このようにして、ガス流調節器 360 によって図 5 の工程 520 が容易に実行される。

【0039】

図 5 の工程 520 を容易にしうる別の方法は、質量流量調節器を用いる方法である。ガス流調節器 360 が質量流量調節器である場合、バルブは、質量流量調節器を通して流れる加熱された乾燥ヘリウムガスの質量を測定するように適合される。使用者は、体積流量値ではなく、所望の質量流量 (R) 及び所望の時間 t を入力する。質量流量又は体積流量にかかわらず、所望の流量 R 及び時間 t を使用者が決定する方法に関しては以下で詳細に説明する。

【0040】

別法として、使用者がユーザーインタフェースに数値 X を入力するようにガス流調節器 360 を適合させることができ、その際、値 X は、使用者がヘリウムガス流でキャピティ 21 の自由体積 (V_F) を入れ替えたい回数を表している。本明細書で使用するように、キャピティの自由体積 (V_F) とは、充填された SNF 棒とハニカムグリッド 23 によって占有されていないキャピティの空間と規定される。 V_F 値は、種々のキャニスターで異なり、キャニスターが SNF 棒で完全に充填されているか否かに依存するが、任意の所定のキャニスターに関する V_F は、キャピティ中に充填される SNF 棒の数及びサイズと、空のときのキャピティの体積とを知ることによって概算することができる。本特許において、十分なガスがキャピティ中に流されて自由体積 V_F を満たし、且つその自由体積をそれまで占有していたガスが置換されるとき、 V_F は入れ替えられる。例えば、 V_F が 300 立方フィート (8.50 m^3) であって、600 立方フィート (17.0 m^3) の体積の乾燥ヘリウムガスが V_F 中に流れる場合、自由体積 V_F は 2 回入れ替えられる。したがって、 X は 2.0 である。システム 300 のこの態様では、 V_F が特定の回数入れ替えられて、キャピティ内において所望の蒸気圧 v_{PD} が達成されるように、使用者は X を選択する。使用者が所望の X を計算する方法については以下で詳細に説明する。所望の X は既知であると仮定すると、 R 及び t の代わりに、使用者は、ユーザーインタフェースにその値を入力する。適切にプログラムされたプロセッサはガス流調節器 360 (質量流量調節器又は体積流量調節器) と通信し、キャピティの V_F を所望の回数 X 入れ替える体積の乾燥ヘリウムガスを供給して、図 6 の工程 620 を完了させる。所望の回数 X 回入れ替える体積の乾燥ヘリウムガスがキャピティ 21 に供給されると、適切にプログラムされたプロセッサは、ガス循環器 330 に対して運転停止の信号を送って、システム 300 を流れているヘリウムガス流を停止させる。

【0041】

ガス流調節器 360 を出ると、乾燥ヘリウムガスはガス分配器 370 中に流れる。ガス分配器 370 は、キャピティ 21 に流動的に結合されていて、おそらくバルク水を排水するのに用いられるのと同じ排水バルブ (図示せず) を通して、キャニスター 20 の底部に又は底部近傍においてキャピティ 21 (図 1) 中に、加熱された乾燥ヘリウムガスを導入するように適合される。ガス分配器 370 は、キャピティ 21 の V_F 中に、加熱された乾燥ヘリウムガスを導入し、図 5 及び図 6 の工程 520 及び 620 それぞれを完了させる。キャピティ 21 の内部に入ると、水分を吸収することによって乾燥ヘリウムガスは湿潤する。乾燥ヘリウムガスによるこの水分吸収は、キャピティ 21 中に既に存在している水蒸気と混合することによって、またキャピティ 21 中及び SNF 棒上に残留しているかもしれない液体の水を蒸発させることによって、起こる。乾燥ヘリウムガスを温度 T_H まで過熱すると、乾燥ヘリウムガス中の加えられたエネルギーは、液体水の蒸発の開始に役立つ。乾燥ヘリウムガスをキャピティ 21 中に連続して導入すると、キャピティ 21 の V_F が満たされる。 V_F が満たされると、乾燥ヘリウムガスの連続供給により、湿潤ヘリウムガ

10

20

30

40

50

スは、キャビティ 2 1 の頂部又は頂部近傍にある出口オリフィスからキャビティ 2 1 の外へと押出され、したがって図 5 及び図 6 の工程 5 3 0 及び 6 3 0 それぞれが完了する。出口オリフィスは、密封可能なキャニスターの蓋の孔 2 8 (図 2) であることができる。キャビティ 2 1 から湿潤ヘリウムガスを取り出すと、キャビティ 2 1 における生成蒸気圧が低下する。湿潤ヘリウムガスがキャビティ 2 1 から流出すると、湿潤ヘリウムガスは、流体接続を通してヘリウムリザーバ 3 4 0 へと運ばれる。かくして、湿潤ヘリウムガスは、システム 3 0 0 中を再循環して、連続キャニスター乾燥法を維持することができる。

【 0 0 4 2 】

上記したように、加熱された乾燥ヘリウムガスを、時間 t 、流量 R でキャビティ 2 1 を通して循環させたら、キャビティ 2 1 中への加熱された乾燥ヘリウムガスの導入を停止し、図 5 の工程 5 4 0 を完了させる。別の態様では、 V_F を X 回入れ替えて、図 6 の工程 6 4 0 を完了させるように、加熱された乾燥ヘリウムガスをキャビティ 2 1 を通して循環させて、加熱された乾燥ヘリウムガスのキャビティ 2 1 中への導入を停止する。この時点で、システム 3 0 0 は、キャニスター 2 0 と、キャビティ 2 1 中へのすべての開口 (排水バルブ及び排水オリフィスを含む) とから切り離され、密封され、それにより、キャビティ 2 1 中に乾燥ヘリウムガスを閉じ込め、キャビティ 2 1 内に非反応性雰囲気をつくりだし、図 5 及び図 6 の工程 5 5 0 及び工程 6 5 0 のそれぞれを完了させる。

【 0 0 4 3 】

図 4 をみると、蒸気圧 - 温度線図によって、システム 3 0 0 を通って循環しているヘリウムガスの熱力学サイクルが図示されている。この線図でプロットされているのは、水に関する蒸気圧曲線である。蒸気圧曲線の上の部分では、水は液体状態であり、下の部分は、水蒸気状態である。曲線上の任意の点において、水蒸気と液体は平衡状態で同時に存在する。説明する目的のため、その熱力学グラフは、 T_C が 21°F (-6.1)、 T_H が 300°F (149) 及びキャビティ 2 1 における出発蒸気圧 (vP_S) が 87 トル (12 kPa) であるようにシステム 3 0 0 が運転されていると仮定している。本明細書で用いているキャビティにおける出発蒸気圧 vP_S とは、キャビティからバルク水を排水した後ではあるが、乾燥ヘリウムガスをキャビティを通して循環させる前のキャビティにおける蒸気圧である。線図のポイント 1 で出発し、水蒸気で満たされている過熱されたヘリウムガスは、キャニスター 2 0 のキャビティ 2 1 から出て、凝縮器 3 7 0 に入る。凝縮器 3 7 0 の内部に入ると、過熱されたヘリウムガスはライン 1 - 2 に沿って、蒸気圧曲線と交わっている露点 (すなわち、ポイント 2) に達するまで冷却される。ライン 2 - 3 に沿って蒸気圧曲線の下方に向けて、凝縮器 3 7 0 において、露点未満の温度でヘリウムガスの冷却を継続して、ヘリウムガスから水蒸気を徐々に凝縮させる。2 - 3 で凝縮される液体を分離し、凝縮器から取り出し、部分乾燥されたヘリウムガスは、脱湿剤モジュール 3 8 0 中に流れ、そこで凍結乾燥される。脱湿剤モジュール 3 8 0 では、ヘリウムガスを露点未満の温度まで更に冷却するが、 T_C (21°F (-6.1)) が達成されるまで、ライン 3 - 4 に沿ってヘリウムガスから更に多くの水蒸気を凝縮させる。乾燥ヘリウムガスは、凝縮器モジュール 3 8 0 から出て、ライン 4 - 5 に沿って補助ヒーター 3 5 0 で T_H まで過熱され、キャビティ 2 1 において液体の水を蒸発させるのに役立つ。SNF 棒が十分に熱い場合、この過熱は、キャビティ 2 1 の内部で起こるので、補助ヒーター 3 5 0 の必要性が無くなる。キャビティ 2 1 の内部では、乾燥ヘリウムガスは、SNF 棒から放出される熱によって更に加熱され、その加熱された乾燥ヘリウムガスは、蒸発している液体の水から生じる水蒸気を吸収するので、湿潤し、ライン 5 - 1 に沿って乾燥ヘリウムガスの蒸気圧が増加する。乾燥ヘリウムガスがキャビティ 2 1 を通って流れる限り、キャビティ 2 1 内の蒸気圧は低下し続ける。また、流出して行く湿潤ヘリウムガスの蒸気圧 (ポイント 5) は時間の経過と共に低下する。キャビティ 2 1 内の蒸気圧は、単調に減少し続けて、キャビティ 2 1 に入っていく加熱された乾燥非反応性ガスの蒸気圧に接近する。したがって、脱湿剤モジュール 3 8 0 に入っていくヘリウムガスの温度 (T_C) を十分に低くして、所望の蒸気圧 (vP_D) (この場合は 3 トル (0.4 kPa) である) に比べて、等しいか又はそれより低い蒸気圧に相当するようにすることにより、前記の所望の蒸

10

20

30

40

50

気圧 ($v P_D$) は、乾燥ヘリウムガスの充分量がキャビティ 21 を通って流れる限り、キャビティ 21 において達成できる。したがって、所望の乾燥度が蒸気圧に関して既知である限りは、システム 300 の使用者は、図 4 又は同様なグラフを用いて T_C を計算して、あるレベルの乾燥度を達成できる。現在の $N \cdot R \cdot C$ 規則が、乾燥度の一つの指標として、3 トル (0.4 kPa) 又はそれより低い蒸気圧がキャビティ 21 で達成されることを要求していることから、 $v P_D$ は 3 トル (0.4 kPa) 又はそれより低い。したがって、図 5 及び図 6 の工程 560 及び工程 660 のそれぞれを完了させる。かくして、所望の蒸気圧は 21°F (-6.1) 又はそれより低い T_C に相当するということが図 4 から認められる。

【0044】

$v P_D$ (3 トル (0.4 kPa)) が既知であって、 T_C が計算されたら (21°F (-6.1))、次の工程において、キャビティ 21 内に存在する自由体積 V_F を決める。それは、キャビティ 21 に含まれている SNF 棒のおおよその体積と、キャビティ 21 中に存在し得る任意の他の固体、例えばハニカムグリッド 23 の体積とを、キャビティ 21 の総体積から引くことによって求める。自由体積 V_F が決まったら、次に、システムの使用者は、補助ヒーター 350 によって乾燥ヘリウムガスが加熱される温度 T_H 及びその加熱された乾燥ヘリウムガスがキャビティ 21 へと供給される流量 R を選択する。乾燥されるキャビティに関する V_F の値と、 T_H 及び R に関して選択される値とにしたがって、キャビティが 3 トル (0.4 kPa) の所望の蒸気圧 $v P_D$ に達する前に、加熱された乾燥ヘリウムガスを、時間 t の間、キャビティに通って流さなければならない。キャビティ 21 内の条件をシミュレートし、システム 300 の変数に関して仮定値を設定することにより、データの適切なグラフを読み取って、時間 t を、変数の任意の所定のセットに関して決定できる。

【0045】

図 7 をみると、シミュレートされた条件の所定のセットに関して、キャビティを通して流れるガス流の時間に対してキャビティ中において得られた蒸気圧をグラフ化しているデータグラフが図示してある。この時間 - 蒸気圧グラフを作成する際、次の条件を仮定又は選択した：(1) $v P_D$ は 3 トル (0.4 kPa) (図 4 から、 21°F (-6.1)) の T_C と関連がある)；(2) V_F は 300 立方フィート (8.50 m^3)；(3) T_H は 300°F (149) (一立方フィートあたり約 0.032 ポンド (0.513 kg/m^3)) のヘリウム密度と関連がある)；(4) R は一分あたり 78.125 立方フィート (2.2123 m^3)；(5) キャビティ圧力 (P_C) は一平方インチあたり 50 ポンド (3.4 kPa)；及び(6) キャビティ内の出発蒸気圧 $v P_S$ は 87 トル (12 kPa) である。データプロットから分かるように、乾燥ヘリウムガスを長時間キャビティ中に流すと、キャビティ内で得られる蒸気圧は低下する。そのデータをプロットすることによって、約 22.5 分の時間 t において、キャビティ内で得られる蒸気圧は、3 トル (0.4 kPa) の $v P_D$ に等しいことが分かる。時間 t を決める際、温度 T_C が脱湿剤モジュールを出ていくヘリウムガスに関して温度 T_C が達成された後に、時間を計測し始める。図 7 の条件は、ただ例示目的のみで選択した。キャビティ内の始動条件の任意の所定のセット及び使用者によって選択された任意の変数に関して、同様なグラフをシミュレートすることができる。したがって、任意の所望の $v P_D$ を達成するのに要する時間は、キャビティ内の蒸気圧を直接 (侵入的に) 測定する必要なく、条件の任意の所定のセットに関して概算できる。適切なグラフは、適切にプログラムされたコンピュータによるシミュレーションによって又は実際の実験データをグラフ化することによって作成できる。

【0046】

別法として、 R は質量流量であるように選択できる。質量流量は、単にガス流の密度が分かれば、体積流量と容易に置き換えることができる。ガスの質量流量は、体積流量にガス密度を掛けた値に等しい。例えば、上で選択した 78.125 立方フィート (2.2123 m^3) / 分の体積流量 R は、ヘリウムの密度が約 0.032 ポンド / 立方フィート (0.513 kg/m^3) であるので、 2.5 ポンド (1.1 kg) / 分の質量流量に相当

10

20

30

40

50

する。したがって、所定の質量流量に関して、図7と同様なデータプロットをシミュレートできる。

【0047】

更に、任意の単一の変数を、残りの変数を設定することによって、計算できる。例えば、ある乾燥時間 t が望ましい場合、得られる蒸気圧対ガス流量 R をプロットしているグラフを作成でき、その際、時間 t は一定に保たれ、流量 R は変えられる。したがって、本発明は、任意の特定の変数が一定に保たれている状態に限定されない。

【0048】

図8をみると、シミュレートされた条件の所定のセットに関して、ガスによる自由体積 (V_c) 時間の入れ替え回数 (X) に対するキャピティで得られる蒸気圧をグラフ化しているデータグラフが図示してある。この入れ替え回数 - 蒸気圧グラフを作成する際、次の条件を仮定又は選択した：(1) $v P_D$ は3トル (図4から、 $21^\circ F (-6.1)$ の T_c と関連がある)；(2) V_F は300立方フィート ($8.50 m^3$)；(3) T_H は $300^\circ F (149)$ (一立方フィートあたり約 0.032 ポンド ($0.513 kg/m^3$) のヘリウム密度 と関連がある)；(4) キャピティ圧力 (P_c) は一平方インチあたり50ポンド ($3.4 kPa$)；及び(5) キャピティ内の出発蒸気圧 $v P_S$ は87トル ($12 kPa$) である。任意の所定のキャニスターに関してシステム300を連続運転するとき、キャピティの自由体積 V_F 中に流れるガスの総体積 ($V_{t.o.t}$) は増加する。 X は、 $V_{t.o.t}$ を V_F で割った値に等しいので、ヘリウムガスが流れ続けると、 X も増加する。 X が増加すると、得られる蒸気圧は、蒸気圧プロット線に沿って低下することが、図8から分かる。このデータプロット線から、キャピティ内部で得られる蒸気圧が、3トル ($0.4 kPa$) という所望の蒸気圧 $v P_D$ に等しいか又はそれより低いときの X を求めることができる。

【0049】

図9をみると、5.86に等しいか又はそれより大きい X が得られるように、十分な体積の加熱された乾燥ヘリウムガスをキャピティを通して流すとき、キャピティ内において、所望の蒸気圧 ($v P_D$) 3トル ($0.4 kPa$) が達成されることが分かる。したがって、5.86以下の X が達成されるようにシステム300をプログラミングすることによって、キャピティ内部を直接 (侵入的に) 測定する必要なく、3トル ($0.4 kPa$) という所望の蒸気圧 $v P_D$ がキャピティ中で達成されることを保証することができる。図8及び図9の条件は、ただ例示目的のみで選択した。本発明の精神から逸脱せずに、キャピティ内の始動条件の任意の所定のセットに関して、また使用者によって所望された又は選択された任意の変数に関して同様なグラフをシミュレート (又は実際の実験データを用いてプロット) することができる。

【図面の簡単な説明】

【0050】

【図1】図1は、空の開放キャニスターに関する部分断面斜視図である。

【図2】図2は、密封され輸送キャスク中に配置された図1のキャニスターを有する輸送キャスクに関する部分断面斜視図である。

【図3】図3は、本発明にしたがった閉ループシステムに関する概略図である。

【図4】図4は、特定の条件下で図3のシステムを通して流れるヘリウムガスの熱力学サイクルを図示しているグラフである。

【図5】図5は、本発明にしたがった方法の第一態様の流れ図である。

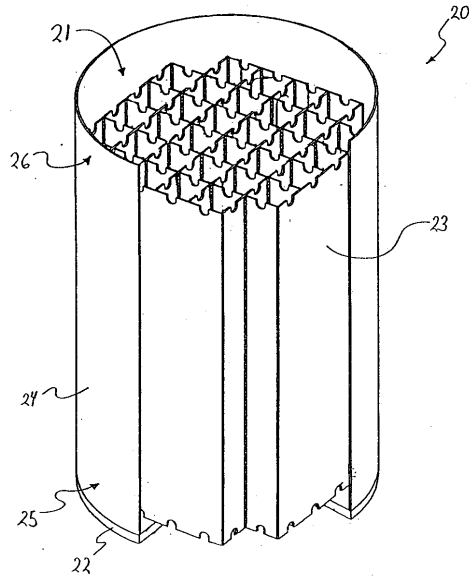
【図6】図6は、本発明にしたがった方法の第二態様の流れ図である。

【図7】図7は、乾燥した加熱されたヘリウムガスを、様々な時間、キャピティを通して流した後のキャニスターのキャピティにおいて得られる蒸気圧に関してシミュレートされたデータをプロットしているデータグラフである。

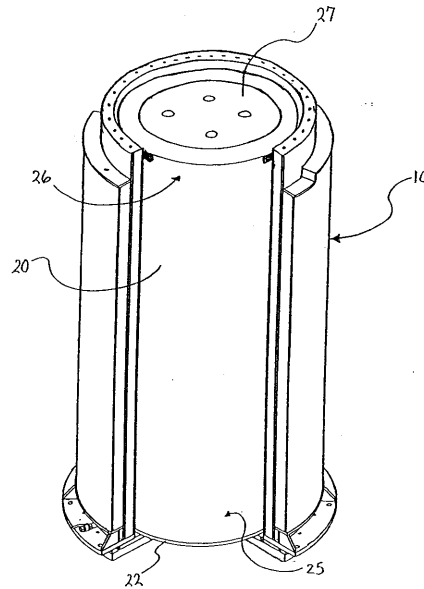
【図8】図8は、キャピティの自由体積の入れ替え回数に対して、キャピティにおいて得られる蒸気圧をプロットしているデータグラフである。

【図9】図9は、図8における領域IX - IXの拡大図である。

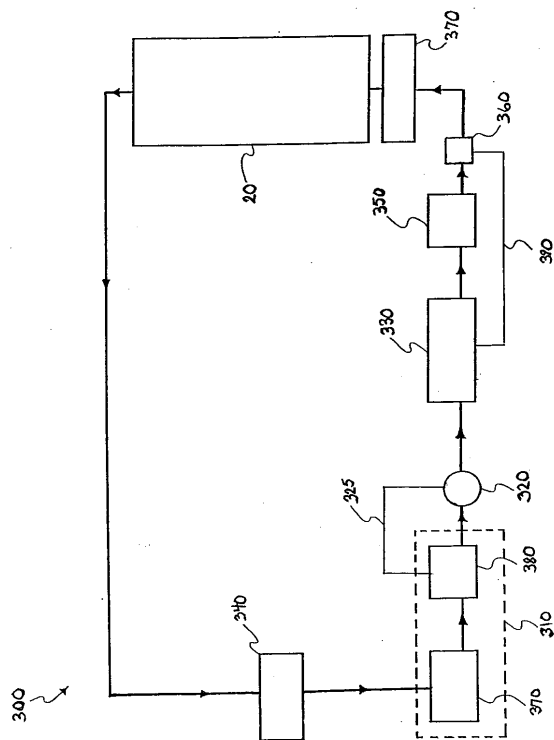
【図 1】



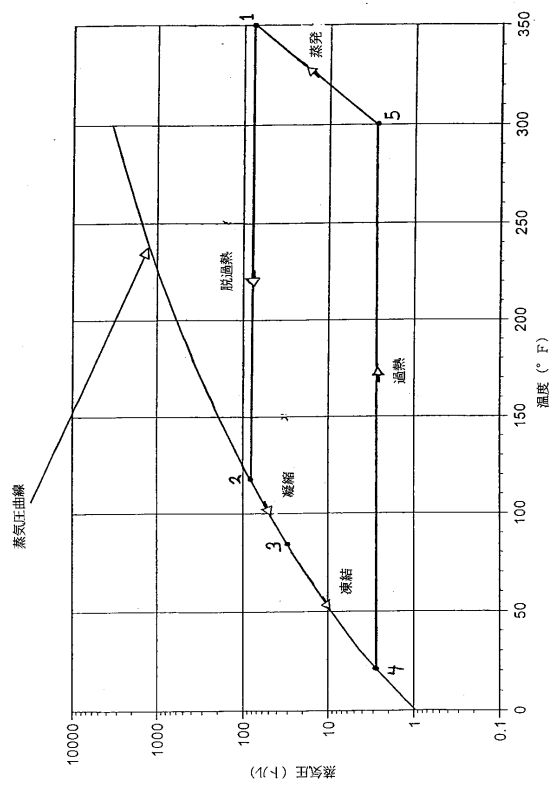
【図 2】



【図 3】

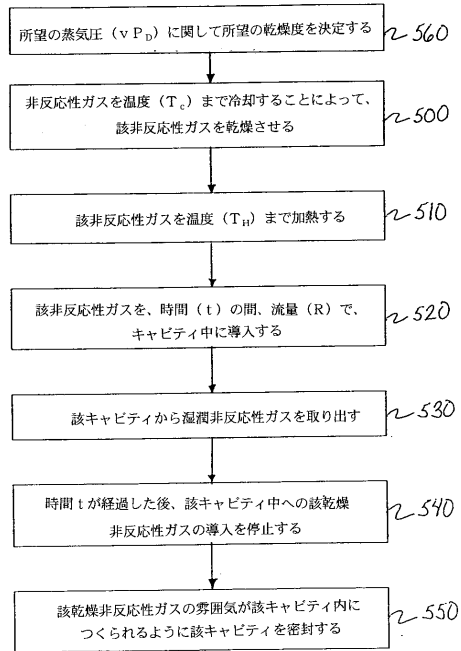


【図 4】

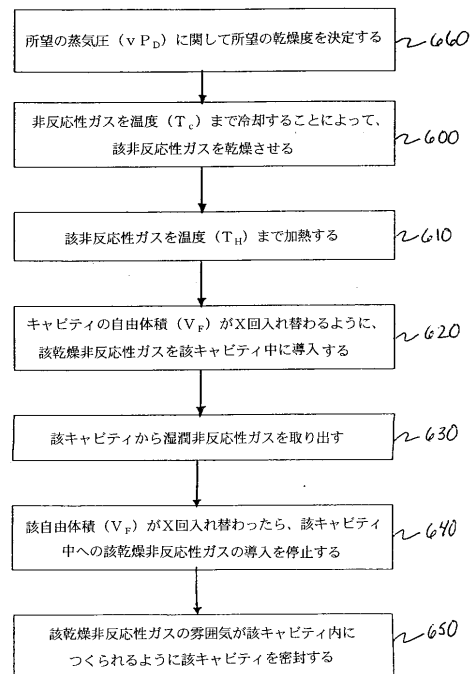


強制ヘリウム乾燥の熱力学サイクル

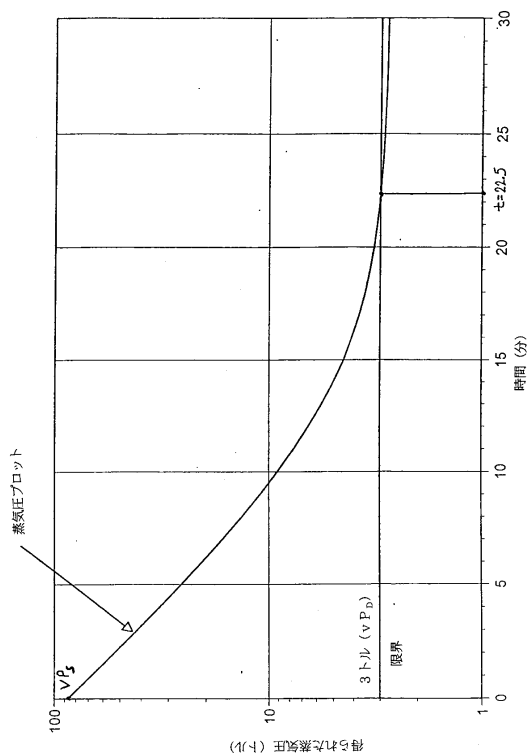
【図 5】



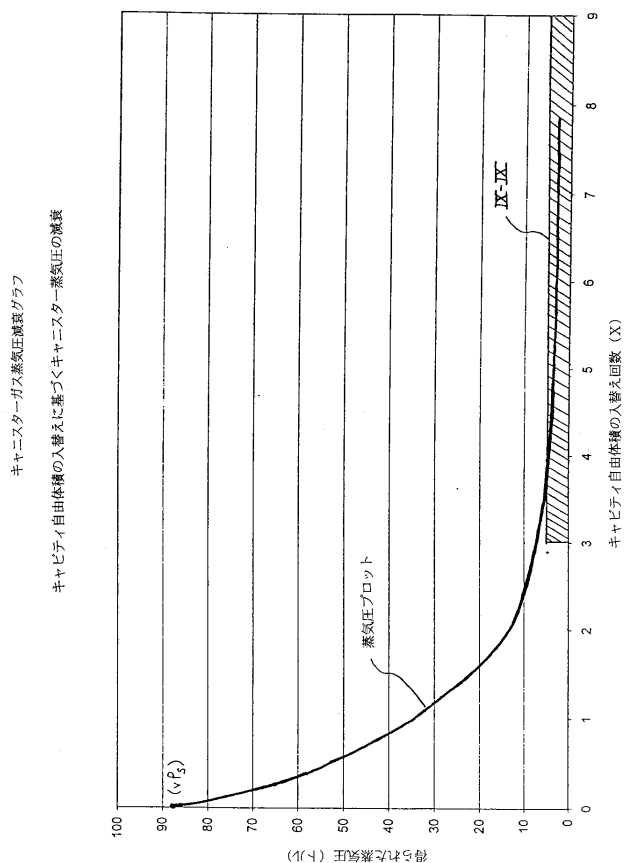
【図 6】



【図 7】

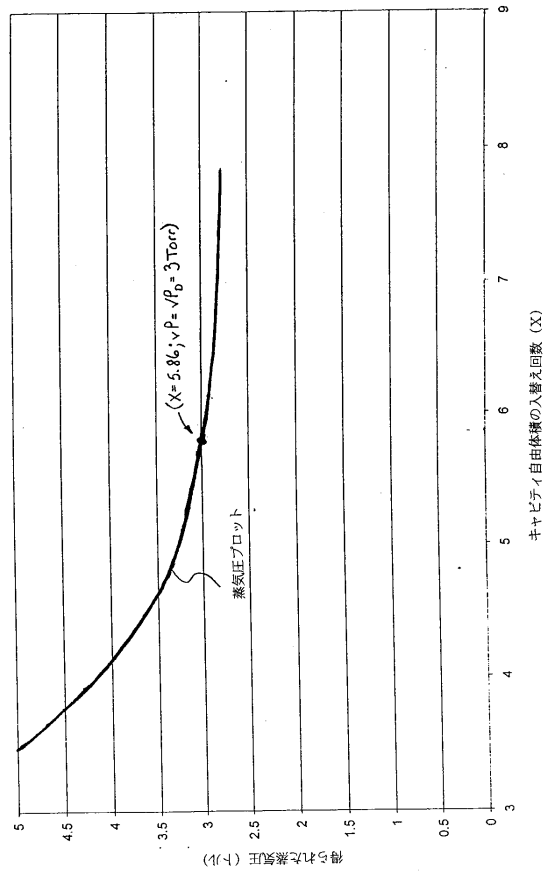


【図 8】



【図9】

図8の領域IX-IXの拡大図



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2002-243888(JP,A)
特開2002-156488(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21C 19/32

G21C 19/06

G21F 5/00

G21F 9/36