

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6876447号  
(P6876447)

(45) 発行日 令和3年5月26日(2021.5.26)

(24) 登録日 令和3年4月28日(2021.4.28)

(51) Int. Cl.		F 1			
<b>G 2 1 C</b>	<b>9/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G 2 1 C	9/00	1 0 0
<b>G 2 1 F</b>	<b>9/02</b>	<b>(2006.01)</b>	G 2 1 F	9/02	5 4 1 B
			G 2 1 F	9/02	B
			G 2 1 F	9/02	5 1 1 C
			G 2 1 F	9/02	5 5 1 A

請求項の数 18 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2017-9920 (P2017-9920)	(73) 特許権者	507250427
(22) 出願日	平成29年1月24日(2017.1.24)		日立GEニュークリア・エナジー株式会社
(65) 公開番号	特開2018-119821 (P2018-119821A)		茨城県日立市幸町三丁目1番1号
(43) 公開日	平成30年8月2日(2018.8.2)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	令和1年8月21日(2019.8.21)		ポレール特許業務法人
前置審査		(72) 発明者	福井 宗平
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社 日立製作所内
		(72) 発明者	松崎 隆久
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社 日立製作所内
		(72) 発明者	木藤 和明
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社 日立製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 原子力発電プラント

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

原子炉圧力容器を内包する原子炉格納容器と、  
前記原子炉格納容器の内部に配置された、放射性希ガスを透過せず、水蒸気を透過する分離膜を備えた放射性物質分離装置と、

前記原子炉格納容器の外部に配置された、気体を排出する排気塔と、

前記放射性物質分離装置と前記排気塔を接続するベント配管と、

前記ベント配管に設けられた隔離弁と、を備え、

ベント操作時には、前記隔離弁を開くことにより、前記放射性物質分離装置により放射性希ガスが除去された気体を前記ベント配管を經由して前記排気塔から排出し、前記放射性物質分離装置に流入し前記分離膜を透過しなかった放射性希ガスを前記原子炉格納容器に戻す

ことを特徴とする原子力発電プラント。

【請求項2】

請求項1に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記放射性物質分離装置と前記排気塔の間に、湿式または乾式のフィルタベント装置を備えることを特徴とする原子力発電プラント。

【請求項3】

請求項2に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記原子炉格納容器の内部の気体を前記放射性物質分離装置を經由せずに前記フィルタ

ベント装置へ送るバイパス管を備えたことを特徴とする原子力発電プラント。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記バイパス管の上流部に、圧力が一定以上になると過剰圧力を開放するラプチャディスクを備えることを特徴とする原子力発電プラント。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記放射性物質分離装置の入口部に、粒子捕集装置を備えたことを特徴とする原子力発電プラント。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記放射性物質分離装置の入口部に、よう素捕集装置を備えたことを特徴とする原子力発電プラント。

10

【請求項 7】

請求項 1 に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記放射性物質分離装置の入口部に、水素再結合装置を備えたことを特徴とする原子力発電プラント。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記放射性物質分離装置の出口部に、チムニーを備えたことを特徴とする原子力発電プラント。

20

【請求項 9】

請求項 1 に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記放射性物質分離装置が、放射性希ガスと窒素を透過せず、水素と水蒸気を透過することを特徴とする原子力発電プラント。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記放射性物質分離装置の分離膜が高分子膜、セラミック膜及び酸化グラフェン膜のいずれかであることを特徴とする原子力発電プラント。

【請求項 11】

請求項 1 に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記放射性物質分離装置の分離膜がポリイミドを主成分とした高分子膜であることを特徴とする原子力発電プラント。

30

【請求項 12】

請求項 1 に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記放射性物質分離装置の分離膜が窒化ケイ素を主成分としたセラミック膜であることを特徴とする原子力発電プラント。

【請求項 13】

請求項 1 に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記放射性物質分離装置の分離膜が炭素を主成分とした酸化グラフェン膜であることを特徴とする原子力発電プラント。

40

【請求項 14】

請求項 1 に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記原子炉圧力容器で発生した蒸気はタービンに供給される沸騰水型原子炉であることを特徴とする原子力発電プラント。

【請求項 15】

請求項 1 に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記原子炉圧力容器で発生した蒸気は蒸気発生器に供給される加圧水型原子炉であることを特徴とする原子力発電プラント。

【請求項 16】

50

請求項 1 に記載の原子力発電プラントにおいて、  
前記放射性物質分離装置の内部空間は、内部を流れる流体の流れ方向と平行に配置された前記分離膜で仕切られ、

前記分離膜で仕切られた前記放射性物質分離装置の内部空間の一部は、閉止板で塞がれ、

前記放射性物質分離装置の底部から流入し、前記分離膜を透過しない流体は、前記閉止板で塞がれていない部屋の上部から前記原子炉格納容器に戻され、

前記放射性物質分離装置の底部から流入し、前記分離膜を透過した流体は、隣接する部屋を経由してベント配管に向かうことを特徴とする原子力発電プラント。

【請求項 17】

10

請求項 1 に記載の原子力発電プラントにおいて、

前記分離膜は、チューブ状であり、

前記放射性物質分離装置の内部空間は、内部を流れる流体の流れ方向と平行に配置された前記分離膜で仕切られ、

前記放射性物質分離装置の底部から流入し、前記分離膜を透過しない流体は、前記分離膜の上部から前記原子炉格納容器に戻され、

前記放射性物質分離装置の底部から流入し、前記分離膜を透過した流体は、ベント配管に向かうことを特徴とする原子力発電プラント。

【請求項 18】

20

請求項 1 に記載の原子力発電プラントにおいて、

前記分離膜は、中空糸状であり、

前記放射性物質分離装置の内部空間は、内部を流れる流体の流れ方向と垂直に配置された前記分離膜で仕切られ、

前記放射性物質分離装置の底部から流入し、前記分離膜を透過しない流体は、前記分離膜の上部から前記原子炉格納容器に戻され、

前記放射性物質分離装置の底部から流入し、前記分離膜を透過した流体は、ベント配管に向かうことを特徴とする原子力発電プラント。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

30

本発明は原子炉格納容器ベントシステムを備えた原子力発電プラントに関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 に記載の一般的な原子炉格納容器ベントシステム（以下、フィルタベント装置）では、ベントガスから放射性物質を除去するためのフィルタベント装置として、水を内包するタンク、タンクの水中にベントガスを導く配管、およびタンクからベントガスを排出する出口に金属フィルタやよう素フィルタを備えている。ベントガスは、タンク内の水中に放出されることによりスクラビングされて、粒子状放射性物質が除去される。また、金属フィルタではスクラビングで除去しきれなかった粒子状放射性物質がさらに除去される。よう素フィルタでは化学反応および吸着によって、よう素などのガス状放射性物質が除去される。

40

【0003】

さらに特許文献 2 のように、原子炉格納容器に配管を接続し、原子炉格納容器外部に放射性物質分離装置や放射性物質封入装置を設け、ベントガスからキセノンやクリプトンなど反応性の乏しい放射性希ガスを分離し封入する原子炉格納容器ベントシステムも提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2014 - 44118 号公報

50

【特許文献2】特表2015-508502号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

放射性希ガスの除去までを目的とした原子炉格納容器ベントシステムは、特許文献2のように放射性物質分離装置や放射性物質封入装置を備える必要がある。全ての放射性物質を分離し、分離した放射性物質を元素種類または放射性物質の形態ごとに封入するには多数の封入容器または大型の封入容器が必要となる。また、放射性物質分離装置を原子炉格納容器外部に設置する場合は、放射性物質分離装置内部に収納された分離膜が蒸気を透過できるとしても、分離膜近辺に透過しない希ガスを含む気体が滞留し、上記の透過性能を維持できず、原子炉格納容器内の蒸気を継続的に系外に排出できず、原子炉格納容器の圧力を継続的に下げることができない。そのため分離膜近辺での不純物の滞留を防止するためにはベントしたガスを常時循環させる格納容器内への戻し配管、ベントガスを輸送するポンプなどの装置およびポンプなどの装置を使用するための電源を確保する必要がある。

10

【0006】

そこで本発明は、上記の課題を考慮し、封入容器や電源を使用せずとも格納容器外部に放射性希ガスを放出することなく、継続的に原子炉格納容器内の蒸気を系外に放出し、原子炉格納容器の圧力を継続的に減圧できる構造を持つ原子炉格納容器ベントシステムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0007】

上記目的を達成するために、本発明は、原子炉圧力容器を内包する原子炉格納容器と、前記原子炉格納容器の内部に配置された、放射性希ガスを透過せず、蒸気を透過する放射性物質分離装置と、前記放射性物質分離装置に接続されたベント配管と、前記ベント配管に接続され、放射性物質が除去されたガスを外部に放出する排気塔を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、原子炉圧力容器から原子炉格納容器内に放射性物質を含む気体が流出し、原子炉格納容器が加圧された事態が万一発生した場合においても、外部電源を使用せずに原子炉格納容器の加圧を防止すると共に、周辺環境に放射性物質が漏洩することを防止することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】実施例1に係る原子炉格納容器ベントシステムの構成図である。

【図2】実施例2に係る原子炉格納容器ベントシステムの構成図である。

【図3】実施例3に係る原子炉格納容器ベントシステムの構成図である。

【図4】実施例4に係る原子炉格納容器ベントシステムの構成図である。

【図5】実施例5に係る原子炉格納容器ベントシステムの構成図である。

【図6】実施例6に係る原子炉格納容器ベントシステムの構成図である。

40

【図7】実施例7に係る原子炉格納容器ベントシステムの構成図である。

【図8】実施例8に係る原子炉格納容器ベントシステムの構成図である。

【図9】実施例9に係る原子炉格納容器ベントシステムの構成図である。

【図10】実施例10に係る原子炉格納容器ベントシステムの構成図である。

【図11】実施例1に係る放射性物質分離装置の模式図である。

【図12】実施例1に係る放射性物質分離装置の模式図である。

【図13】実施例1に係る放射性物質分離装置の模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

原子力発電プラントに備えられた原子炉格納容器の機能の一つは、原子炉圧力容器内に

50

配置された炉心が万一溶融するような事態（以下、過酷事故）が発生しても、放射性物質を原子炉格納容器内に閉じ込め、外部への漏出を防ぐことである。過酷事故が発生した場合においても、その後十分な注水が行われ、かつ原子炉格納容器が冷却されれば、事故は収束する。しかし万が一蒸気の生成が継続し、原子炉格納容器の冷却が不十分な場合、原子炉格納容器が加圧される可能性がある。原子炉格納容器が加圧された場合には、原子炉格納容器内の気体を管理された状態で大気中に放出し、原子炉格納容器を減圧する場合がある。この操作をベント操作と呼ぶ。この操作を行う場合は、沸騰水型原子炉では公衆の被ばくが最小限となるように、サプレッションプールのプール水によって放射性物質を除去した上で原子炉格納容器内の気体（以下、ベントガス）を大気中に放出する。

【0011】

沸騰水型原子炉では前述のようにサプレッションプールのプール水により十分に放射性物質を除去した上で、ベントガスを大気中に放出しているが、このベントガスからさらに放射性物質を取り除くシステムとして原子炉格納容器ベントシステムがある。

【0012】

本発明に係る原子炉格納容器ベントシステムの実施形態の詳細を以下に説明する。

【実施例1】

【0013】

前記目的を達成するために好適な実施例の一つである実施例1の原子炉格納容器ベントシステムを備えた原子力発電プラントについて図1を用いて説明する。図1は原子炉格納容器および原子炉格納容器ベントシステムの第1の実施形態の概略構成を示す縦断面図である。図中破線囲み内が実施例1の原子炉格納容器ベントシステムである。

【0014】

原子炉格納容器ベントシステムの第1の実施形態は、原子炉圧力容器が破損するなどの過酷事故時において、原子炉格納容器内の圧力を減少させ、またその減圧時に放射性物質を極力除去するものである。

【0015】

図1に示す原子炉格納容器ベントシステムは、改良型沸騰水型原子炉に適用した例であり、以下のようなシステム構成を持っている。原子炉格納容器1内に、炉心2を内包する原子炉圧力容器3が設置されている。原子炉圧力容器3には、原子炉圧力容器3内で発生した蒸気をタービン（図示せず）に送る主蒸気管4が接続されている。

【0016】

原子炉格納容器1内部は、鉄筋コンクリート製のダイヤフラムフロア5によってドライウェル6とウェットウェル7に区画されている。ウェットウェル7は、内部にプール水を貯めている領域のことを言う。このウェットウェル7内のプールのことをサプレッションプール8と呼ぶ。ドライウェル6とウェットウェル7は、ベント管9によって相互に連通されており、ベント管排気部9aは、ウェットウェル7内のサプレッションプール8の水面下に開口している。万が一配管類の一部が損傷し、原子炉格納容器1内に蒸気が放出される配管破断事故（一般的にLOCAの名称で知られ、配管が通るドライウェル6で発生する）が発生した場合、ドライウェル6の圧力が破断口から流出する蒸気により上昇する。その際、ドライウェル6内に放出された蒸気は、ドライウェル6とウェットウェル7の圧力差により、ベント管9を通過してウェットウェル7内のサプレッションプール8水中に導かれる。サプレッションプール8の水で蒸気を凝縮することで原子炉格納容器1内の圧力上昇を抑制する。この際に蒸気内に放射性物質が含まれていた場合、サプレッションプール8水のスクラビング効果により大半の放射性物質が除去される。

【0017】

前述したとおり、ドライウェル6で配管破断事故が発生した場合、破断口から流出する蒸気はベント管9を通過してサプレッションプール8で凝縮される。同様に原子炉圧力容器3や主蒸気管4の圧力が高くなった場合も、蒸気をサプレッションプール8に放出し、原子炉圧力容器3や主蒸気管4の圧力を下げる。またそれと共に、放出した蒸気をサプレッションプール8で凝縮することで原子炉格納容器1の圧力上昇を緩和する。そのための装

10

20

30

40

50

置として A B W R では、原子炉格納容器 1 内のドライウエル 6 の領域に蒸気逃し安全弁 1 0 が設置されている。蒸気逃し安全弁 1 0 を通して放出された蒸気は、蒸気逃し安全弁排気管 1 1 を通って、最終的にクエンチャ 1 2 からサブレーションプール 8 内に放出され、サブレーションプール 8 のプール水により凝縮される。蒸気をサブレーションプール 8 で凝縮して液体の水にすることで、蒸気の体積が大幅に減少し、原子炉格納容器 1 の圧力上昇を抑制することができる。またその際に蒸気に放射性物質が含まれている場合、サブレーションプール 8 水のスクラビング効果により大半の放射性物質が除去される。

#### 【 0 0 1 8 】

サブレーションプール 8 で蒸気を凝縮し、サブレーションプール 8 内のプール水を残留熱除去系（図示せず）で冷却することで、原子炉格納容器 1 の温度上昇と圧力上昇を防止し、事故を収束させることができる。しかし非常に低い可能性ではあるが、残留熱除去系が機能を喪失した場合、サブレーションプール 8 のプール水の温度が上昇する。プール水の温度が上昇するに伴い、原子炉格納容器 1 内の蒸気分圧はプール水の温度の飽和蒸気圧まで上昇するため、原子炉格納容器 1 の圧力が上昇する。このような圧力上昇が起きた場合、原子炉格納容器 1 内に冷却水をスプレーすることで圧力上昇を抑えることができる。またこのスプレーは外部から消防ポンプなどを接続して作動させることも可能である。しかし、さらに非常に低い可能性ではあるが、このスプレーも作動しない場合、原子炉格納容器 1 の圧力は上昇する。このような原子炉格納容器 1 の圧力上昇が起きた場合、原子炉格納容器 1 内の気体を外部に放出することで原子炉格納容器 1 の圧力上昇を抑えることができる。この操作のことをベント操作と呼ぶ。沸騰水型原子炉では、このベント操作をウェットウエル 7 内の気体を放出することにより行うことで、サブレーションプール 8 の水で最大限放射性物質を除去した上で、外部へ気体を放出することができる。

#### 【 0 0 1 9 】

上記の操作でほとんどの放射性物質は除去され、放射性物質が除去された放出ガスは排気塔 1 3 から放出される。しかし、放射性希ガスは反応性が乏しいため、ウェットウエル 7 からのベントシステムでは除去できない。そのため現行のベント操作は、この放射性希ガスが減衰するまで待ってから行う必要があるため、原子炉スクラム後から比較的短い時間の間には行うことができない。

#### 【 0 0 2 0 】

そこで実施例 1 に関わる原子炉格納容器ベントシステムは、原子炉格納容器 1 の内部に放射性物質分離装置 1 4 を設置し、この放射性物質分離装置 1 4 で放射性希ガスを閉じ込めると共に、この放射性物質分離装置 1 4 に蒸気を透過することができる分離膜を用いることで蒸気を外部に放出し、原子炉格納容器 1 の圧力を下げることができる。放射性物質分離装置 1 4 に接続されたベント配管 1 5 は、原子炉格納容器 1 のドライウエル 6 とウェットウエル 7 に位置しており、このベント配管 1 5 には隔離弁 1 6 が配設されている。隔離弁 1 6 は電源が使用せずとも開閉可能な空気作動弁や破裂弁、手動操作可能な弁としても構わない。ベント操作は通常はウェットウエル 7 側の隔離弁 1 6 a を開くことで行う。このベント配管 1 5 は、最終的に排気塔 1 3 から外部に気体を排出する。なおドライウエル 6 側の隔離弁 1 6 b を開くことでも放射性物質分離装置 1 4 で放射性物質が除去され、蒸気を外部に排出することが可能である。

#### 【 0 0 2 1 】

またこの放射性物質分離装置 1 4 は、原子炉格納容器 1 外部やベント配管上のどの位置に置いても放射性希ガスを除去できるが、原子炉格納容器 1 の内部に置くことで、放射性物質分離装置 1 4 の分離膜で除去した放射性希ガスを再度原子炉格納容器 1 に戻すためのポンプあるいは放射性希ガスを封入する封入容器などが不要なく、よりシンプルな構造となっている。さらに非常に低い可能性ではあるが、万が一原子炉格納容器 1 に接続されるベント配管 1 5 が破断した場合にもベント配管 1 5 内部を流れるガスは非放射性物質のみなので作業運転員の被ばくを限りなく低く抑えることができる。このように放射性物質分離装置 1 4 を原子炉格納容器 1 の内部に置くことで、(1)エアロゾル状放射性物質、(2)希ガス、(5)窒素は原子炉格納容器 1 の内部に留め、(3)水蒸気と(4)水素のみをベント配管

10

20

30

40

50

15から排気塔13へ放出することができる。このように、原子炉格納容器の内部に配置された、放射性希ガスを透過せず、蒸気を透過する放射性物質分離装置を備えることにより、原子炉圧力容器から原子炉格納容器内に放射性物質を含む気体が流出し、原子炉格納容器が加圧された事態が万一発生した場合においても、放射性希ガスを再度原子炉格納容器1に戻すためにポンプを利用する必要はない。そのため、外部電源を使用せずに原子炉格納容器の加圧を防止すると共に、周辺環境に放射性物質が漏洩することを防止することができる。

#### 【0022】

また放射性物質分離装置14の構造材として以下がある。放射性物質分離装置14は蒸気を透過する必要がある。また原子炉格納容器1の加圧防止のためには炉心2が溶融した際に発生する可能性のある水素も透過できることが望ましい。透過すべき水蒸気、水素は分子径が0.3nm以下と小さく、透過させない放射性希ガス(主にクリプトンやキセノン)はそれよりもかなり大きい。そこで分子径が小さい蒸気や水素を選択的に透過するには分子ふるいで分離できる膜を利用することが考えられる。沸騰水型原子炉の場合、原子炉格納容器1内の気体は窒素置換されているが、分子サイズを利用して分子ふるいでガスを選択する場合、クリプトンやキセノンと分子サイズの近い窒素は透過しない。このような用途に最適な分離膜として、ポリイミドを主成分とした高分子膜、窒化ケイ素を主成分としたセラミック膜、炭素を主成分とした酸化グラフェン膜等の分子ふるいにより分離が可能な膜の使用が望ましい。これら分離膜は一般的には水素の精製に用いるフィルタに用いられている。またその他、クリプトンやキセノンを透過せず、水素と水蒸気を透過する膜であるならば、それらの使用でも構わない。例えば、窒素精製用に使用されている水素と水蒸気、酸素を透過し、窒素を透過しない窒素分離膜など、水素と水蒸気、酸素、窒素まで透過する分離膜でも構わない。

#### 【0023】

図11、12、13は放射性物質分離装置14の形状を示した模式図である。分離膜40の形状として、図11に示すように板状、図12、13に示すようにチューブ状、中空系状がある。図11(板状)の場合、放射性物質分離装置14の内部空間は内部を流れる流体の流れ方向と平行に配置された分離膜40で仕切られており、原子炉格納容器1内の流体は放射性物質分離装置14の底部から流入し、上部へ流れる。また、分離膜40で仕切られた空間のうち一部は閉止板43で塞がれている。そのため、底部から流入した流体のうち、(1)エアロゾル状放射性物質、(2)放射性希ガス、(6)窒素または(5)酸素は分離膜40を透過できないため、閉止板43で塞がれていない部屋の上部から原子炉格納容器1に戻される。一方、(3)水蒸気、(4)水素または(5)酸素は分離膜40を透過して隣接する部屋に入り、底部からベント配管15へ向かう。

#### 【0024】

図12(チューブ状)の場合、放射性物質分離装置14の内部空間は内部を流れる流体の流れ方向と平行に配置されたチューブ状の分離膜40で仕切られており、原子炉格納容器1内の流体はチューブ状の分離膜40の底部から流入し、上部へ流れる。底部から流入した流体のうち、(1)エアロゾル状放射性物質、(2)放射性希ガス、(6)窒素または(5)酸素は分離膜40を透過できないため、分離膜40の上部から原子炉格納容器1に戻される。一方、(3)水蒸気、(4)水素または(5)酸素は分離膜40を透過して1カ所に集められ、ベント配管15へ向かう。

#### 【0025】

図13(中空系状)の場合、放射性物質分離装置14の内部空間は内部を流れる流体の流れ方向に対して中空系状の分離膜40が垂直に配置されており、原子炉格納容器1内の流体は放射性物質分離装置14の底部から流入し、上部へ流れる。底部から流入した流体のうち、(1)エアロゾル状放射性物質、(2)放射性希ガス、(6)窒素または(5)酸素は分離膜40を透過できないため、放射性物質分離装置14の上部から原子炉格納容器1に戻される。一方、(3)水蒸気、(4)水素または(5)酸素は分離膜40を透過して中空系の内部に入り、1カ所へ集められてベント配管15へ向かう。

## 【 0 0 2 6 】

これら形状に問わず分離膜 4 0 は上流側空間 4 1 と下流側空間 4 2 を完全に仕切る構造となっており、放出したいガス量に応じて分離膜 4 0 の分量を決定しても構わない。上流側空間 4 1 は原子炉格納容器 1 内の気体に晒されている空間であり、事故時に発生した水蒸気や水素のみを分離膜 4 0 を介して下流側空間 4 2 へと放出可能である。図 1 1、1 2、1 3 に示す上流側空間 4 1 でのガスは底部から上部への流れであっても上部から底部への流れであっても分離膜 4 0 の分離性能に影響することはない。下流側空間 4 2 はベント配管 1 5 と連結しており、放出した水蒸気や水素を放出する構成となっている。分離膜 4 0 は補強板で保持することにより破損の可能性を極めて小さくすることができ、補強板としては金属のメッシュシートやパンチングメタル、多孔質セラミック層などが有効である (図示せず)。

10

## 【 実施例 2 】

## 【 0 0 2 7 】

前記目的を達成するために好適な実施例の一つである実施例 2 の原子炉格納容器ベントシステムについて図 2 を用いて説明する。図 2 は原子炉格納容器を含む原子炉格納容器および原子炉格納容器ベントシステムの第 2 の実施形態の概略構成を示す縦断面図である。図中破線囲み内が実施例 2 の原子炉格納容器ベントシステムである。実施例 2 においても、放射性物質分離装置 1 4 の配置構成は実施例 1 と同様であり、ここでは実施例 1 との違いのみを説明する。

20

## 【 0 0 2 8 】

実施例 2 においては万が一に放射性物質分離装置 1 4 内部の分離膜 4 0 が破損した時のために放射性物質分離装置 1 4 の下流に一般的なフィルタベント装置 1 7 を備えた例である。ベント配管 1 5 は、原子炉格納容器 1 のドライウェル 6 とウェットウェル 7 に接続されており、このベント配管 1 5 には隔離弁 1 6 が配設されている。このベント配管 1 5 は、フィルタベント装置 1 7 の入口配管 1 8 に接続されている。この入口配管 1 8 の先端側は、フィルタベント装置 1 7 内に開口する。フィルタベント装置 1 7 内の下部側には、スクラビング用プール水 1 9 が貯留されている。フィルタベント装置 1 7 の上部側には金網状の金属フィルタ 2 0 およびよう素フィルタ 2 1 が設置されている。このよう素フィルタ 2 1 には、フィルタベント装置 1 7 の出口配管 2 2 の一端が接続されている。出口配管 2 2 の他端は遮蔽壁 2 3 を貫通して遮蔽壁 2 3 外部に導出されている。そして最終的に排気塔 1 3 から外部に気体を排出する。

30

## 【 0 0 2 9 】

放射性物質分離装置 1 4 内部の分離膜 4 0 が破損していない場合には主にこのフィルタベント装置 1 7 はスクラビング用プール水 1 9 で原子炉格納容器 1 から放出された蒸気を凝縮する機能として使用される。万が一に分離膜 4 0 が破損した場合にはフィルタベント装置 1 7 に入った放出ガスは、スクラビング用プール水 1 9 でスクラビングされることで、主に粒子状の放射性物質のほとんどが除去される。さらに金属フィルタ 2 0 によりスクラビングで除去しきれなかった粒子状の放射性物質を除去し、よう素フィルタ 2 1 によりヨウ素などの気体状の放射性物質を除去することができる。これにより環境に放射性物質が放出されるリスクを低減し、原子炉格納容器ベントシステムの信頼性を向上させることができる。

40

## 【 実施例 3 】

## 【 0 0 3 0 】

前記目的を達成するために好適な実施例の一つである実施例 3 の原子炉格納容器ベントシステムについて図 3 を用いて説明する。図 3 は原子炉格納容器を含む原子炉格納容器および原子炉格納容器ベントシステムの第 3 の実施形態の概略構成を示す縦断面図である。図中破線囲み内が実施例 3 の原子炉格納容器ベントシステムである。実施例 3 においても、フィルタベント装置 1 7 の構成のみを実施例 2 から変更しており、その違いのみを説明する。

## 【 0 0 3 1 】

50

フィルタベント装置 17 は一般に湿式と乾式のフィルタベント装置があり、実施例 2 のように容器内のスクラビング用プール水 19 で粒子を除去するものが湿式のベント装置である。一方で実施例 3 のフィルタベント装置 17 は、上部に邪魔板 25 を備え、フィルタベント装置 17 の中に放射性物質除去用の砂フィルタ 24 を敷き詰め、その砂フィルタにより放射性物質を除去するフィルタベント装置である。これは乾式のベント装置であり、湿式と比較してスクラビング用プール水 19 の水質の管理などは必要ないが、事故時にこの装置を加熱する必要がある。このフィルタベント装置 17 でも放射性希ガスは除去できないため、本発明の放射性物質分離装置 14 が必要であり、それらの構成は実施例 2 と同様である。

【実施例 4】

10

【0032】

前記目的を達成するために好適な実施例の一つである実施例 3 の原子炉格納容器ベントシステムについて図 4 を用いて説明する。図 4 は原子炉格納容器を含む原子炉格納容器および原子炉格納容器ベントシステムの第 4 の実施形態の概略構成を示す縦断面図である。図中破線囲み内が実施例 4 の原子炉格納容器ベントシステムである。実施例 4 においても、実施例 2、3 を基に変更しており、その違いのみを説明する。

【0033】

実施例 4 は、実施例 2、3 の原子炉格納容器フィルタベントシステムに放射性物質分離装置 14 をバイパスし、放射性物質分離装置 14 下流部に接続するバイパス管 26 を設置する。さらにそのバイパス管 26 の上流部に、ある一定以上の圧力を超えると仕切り板が破れることで弁が開くラプチャディスク 27 を設置することで、万が一に放射性物質分離装置 14 内部の分離膜 40 が目詰まりを起こし、原子炉格納容器 1 の圧力が上昇した場合、このラプチャディスク 27 が開くことで原子炉格納容器 1 を減圧できる構造とする。なおこのラプチャディスク 27 は、爆破弁やその他のバルブでも構わない。また放射性物質分離装置 14 自体がある一定圧力以上で破れる構造とすることで、この機能を代替しても構わない。

20

【実施例 5】

【0034】

前記目的を達成するために好適な実施例の一つである実施例 5 の原子炉格納容器ベントシステムについて図 5 を用いて説明する。図 5 は原子炉格納容器を含む原子炉格納容器および原子炉格納容器ベントシステムの第 5 の実施形態の概略構成を示す縦断面図である。図中破線囲み内が実施例 5 の原子炉格納容器ベントシステムである。実施例 5 においても、放射性物質分離装置 14 の配置構成は実施例 1 と同様であり、ここでは実施例 1 との違いのみを説明する。

30

【0035】

原子炉格納容器 1 内の気体は粒子状の放射性物質を含む。放射性物質分離装置 14 の入口部に粒子捕集装置 28 を設置し、極力大きな粒子を捕集する体系とする。この機構により、粒子の分離膜 40 への吸着による目詰まりを防止することができ、かつ強い放射線に晒されることによる分離膜 40 の劣化を防止することができる。粒子捕集装置 28 には繊維状の金属フィルタやヘパフィルタまたは吸着材などが有効である。

40

【実施例 6】

【0036】

前記目的を達成するために好適な実施例の一つである実施例 6 の原子炉格納容器ベントシステムについて図 6 を用いて説明する。図 6 は原子炉格納容器を含む原子炉格納容器および原子炉格納容器ベントシステムの第 6 の実施形態の概略構成を示す縦断面図である。図中破線囲み内が実施例 6 の原子炉格納容器ベントシステムである。実施例 6 においても、放射性物質分離装置 14 の配置構成は実施例 1 と同様であり、ここでは実施例 1 との違いのみを説明する。

【0037】

原子炉格納容器 1 内の気体はガス状のよう素を含む。放射性物質分離装置 14 の入口部

50

によろ素捕集装置 29 を設置し、極力ガス状よろ素を捕集する体系とする。この機構により、極めて反応性の高いガス状よろ素が分離膜 40 への物理吸着および化学吸着により、分離膜 40 の劣化を防止することができる。よろ素捕集装置 29 には銀が添着されたゼオライトや銀シリカゲル、銀アルミナ、 $KI_3$  添着炭などが有効である。

【実施例 7】

【0038】

前記目的を達成するために好適な実施例の一つである実施例 6 の原子炉格納容器ベントシステムについて図 7 を用いて説明する。図 7 は原子炉格納容器を含む原子炉格納容器および原子炉格納容器ベントシステムの第 7 の実施形態の概略構成を示す縦断面図である。図中破線囲み内が実施例 7 の原子炉格納容器ベントシステムである。実施例 7 においても、放射性物質分離装置 14 の配置構成は実施例 1 と同様であり、ここでは実施例 1 との違いのみを説明する。

10

【0039】

原子炉格納容器 1 内の気体は窒素置換されているが、事故時には水の放射線分解により 3% 以下の酸素が存在している。放射性物質分離装置 14 の入口部に水素再結合装置 30 を設置し、原子炉格納容器 1 内の水素と酸素を結合し水にすることで発熱反応を生じる。この発熱反応により加熱されたガスが放射性物質分離装置 14 内部を通過することで分離膜 40 の温度を高く維持することができる。分離膜は一般に温度が高いほどガスの拡散速度が向上し分離速度が向上する。この機構により、分離膜によるガス放出速度を高く維持することができ、より迅速に原子炉格納容器 1 の減圧を可能とする。また、加熱による副次的効果として、分離膜 40 の上流側空間 41 内部で上昇気流を生じ、そのため分離膜 40 近辺での放射性希ガスなどの不純物の滞留を防止することができる。

20

【0040】

水素再結合装置 30 は上記のようにガスを加熱することにより分離膜 40 の温度を直接高めることも可能であり、放射性物質分離装置 14 の外周に水素再結合装置 30 を設置することで放射性物質分離装置 14 自体の温度を高め分離膜 40 を加熱することもできる。水素再結合装置 30 には酸化セリウムおよび酸化ジルコニウムなどの混合酸化物で構成された担体にパラジウムや白金を添着している触媒であること。またはリチウム、ナトリウム、マグネシウム、カルシウム、鉄、ニッケル、銅、ストロンチウム、銀、セリウムなどの金属を含む金属酸化物触媒などが有効である。

30

【0041】

また、加圧水型原子炉では原子炉格納容器 1 内部に水素処理対策としてイグナイタが設置されているが、このイグナイタを放射性物質分離装置 14 の入口部または外周に設置することで水素再結合による反応熱を利用し分離膜 40 の加熱が可能である。

【実施例 8】

【0042】

前記目的を達成するために好適な実施例の一つである実施例 8 の原子炉格納容器ベントシステムについて図 8 を用いて説明する。図 8 は原子炉格納容器を含む原子炉格納容器および原子炉格納容器ベントシステムの第 8 の実施形態の概略構成を示す縦断面図である。図中破線囲み内が実施例 8 の原子炉格納容器ベントシステムである。実施例 8 においても、放射性物質分離装置 14 の配置構成は実施例 1 と同様であり、ここでは実施例 1 との違いのみを説明する。

40

【0043】

放射性物質分離装置 14 では水蒸気や水素を選択的に分離しベント配管 15 へ放出することができる。放射性物質分離装置 14 の出口底部にチムニー 31 を設置することにより、放射性物質分離装置 14 の上流側空間 41 では水蒸気や水素濃度が減少し原子炉格納容器 1 の主成分である窒素または酸素濃度が上昇する。窒素または酸素濃度が上昇したことによる流体密度差が下降気流を生じる駆動力となり、そのため分離膜 40 近辺での放射性希ガスなどの不純物の滞留を防止することができる。

【実施例 9】

50

## 【 0 0 4 4 】

前記目的を達成するために好適な実施例の一つである実施例 9 の原子炉格納容器ベントシステムについて図 9 を用いて説明する。図 9 は原子炉格納容器を含む原子炉格納容器および原子炉格納容器ベントシステムの第 9 の実施形態の概略構成を示す縦断面図である。図中破線囲み内が実施例 9 の原子炉格納容器ベントシステムである。

## 【 0 0 4 5 】

実施例 9 は、実施例 1 の原子炉格納容器フィルタベントシステムを加圧水型原子炉に適用した例である。一次系の冷却水は、原子炉圧力容器内の加圧器 3 2 により加圧され、再循環ポンプ 3 4 によって循環され、蒸気発生器 3 3 (一次側) に輸送される。蒸気発生器 3 3 内では伝熱管によって熱交換され、一次側から二次側に熱輸送されて蒸気が発生し、蒸気は主蒸気管 4 を流れる。

10

## 【 0 0 4 6 】

加圧水型原子炉は原子炉格納容器 1 の圧力上昇を抑えるためのウェットウェル 7 とサブプレッションプール 8 を持たないため、サブプレッションプール 8 によるスクラッピングを用いた放射性物質の除去は期待できない。従って、ドライウェル 6 の隔離弁 1 6 を開くことで、放射性物質分離装置 1 4 で放射性物質が除去され、蒸気を外部に排出する構成となっている。ウェットウェル 7 側からのベントがない以外は実施例 1 と同様である。なお実施例 2 ~ 8 のように湿式のフィルタベント装置 1 7、乾式のフィルタベント装置 1 7、ラプチャディスク 2 7、粒子捕集装置 2 8、よう素捕集装置 2 9、水素再結合装置 3 0、チムニー 3 1 を用いても構わない。

20

## 【実施例 1 0】

## 【 0 0 4 7 】

前記目的を達成するために好適な実施例の一つである実施例 1 0 の原子炉格納容器ベントシステムについて図 1 0 を用いて説明する。図 1 0 は原子炉格納容器を含む原子炉格納容器および原子炉格納容器ベントシステムの第 1 0 の実施形態の概略構成を示す縦断面図である。図中破線囲み内が実施例 1 0 の原子炉格納容器ベントシステムである。

## 【 0 0 4 8 】

実施例 1 0 は、原子炉格納容器として一次原子炉格納容器 3 5 を内包する二次原子炉格納容器 3 6 を持つ。二次原子炉格納容器 3 6 は、一次原子炉格納容器 3 5 内部のドライウェル 6 とウェットウェル 7 にベント配管 1 5 および隔離弁 1 6 を介して連通している。一次原子炉格納容器 3 5 からベントされた気体は一次原子炉格納容器 3 5 内部に設置された放射性物質分離装置 1 4 を介してベント配管 1 5 に流入し、二次原子炉格納容器 3 6 内部に放出される。放射性物質分離装置 1 4 により二次原子炉格納容器 3 6 への放射性物質の移行を防止することができる。また外部ではなく二次原子炉格納容器 3 6 内部に気体を放出することで、万が一に放射性物質分離装置 1 4 内部の分離膜 4 0 が破れ、放射性物質がベント配管 1 5 を通して放出されるようになったとしても、二次原子炉格納容器 3 6 内部に放射性物質を閉じ込めることができる。また、水素再結合装置 3 0 を水素濃度の高いベント配管 1 5 の出口付近に設置することで、効率の良い水素処理を行うことができる。その他の構成に関しては実施例 1 と同様である。放射性物質分離装置 1 4 を二次原子炉格納容器 3 6 内部に備え、放射性物質分離装置 1 4 がベント配管 1 5 を介して二次原子炉格納容器 3 6 外部に排気塔 1 3 を設置した構成としても構わない。実施例 2、3 のフィルタベント装置 1 7 を二次原子炉格納容器 3 6 内部に備え、出口配管 2 2 を排気塔 1 3 の代わりに二次原子炉格納容器 3 6 内部に連通した構成としても構わない。またフィルタベント装置 1 7 を二次原子炉格納容器 3 6 外部に設置し、二次原子炉格納容器 3 6 からさらにこのフィルタベント装置 1 7 を通して外部にベントできる構成としてもよい。実施例 5、6、8 のように粒子捕集装置 2 8、よう素捕集装置 2 9、チムニー 3 1 を用いても構わない。また加圧水型原子炉やその他の炉型に適用してもよい。

30

40

## 【符号の説明】

## 【 0 0 4 9 】

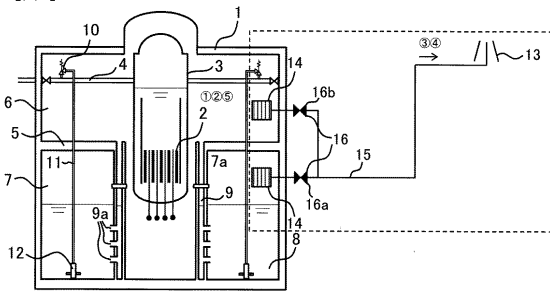
1 ... 原子炉格納容器、 2 ... 炉心、 3 ... 原子炉圧力容器、 4 ... 主蒸気管、 5 ... ダイヤフラム

50

フロア、6...ドライウェル、7...ウェットウェル、7a...ウェットウェル気相部、8...サプレッションプール、9...ベント管、9a...ベント管排気部、10...蒸気逃し安全弁、11...蒸気逃し安全弁排気管、12...クエンチャ、13...排気塔、14...放射性物質分離装置、15...ベント配管、16...隔離弁、16a...ウェットウェル側隔離弁、16b...ドライウェル側隔離弁、17...フィルタベント装置、18...入口配管、19...スクラビング用プール水、20...金属フィルタ、21...よう素フィルタ、22...出口配管、23...遮蔽壁、24...放射性物質除去用の砂フィルタ、25...邪魔板、26...バイパス管、27...ラプチャディスク、28...粒子捕集装置、29...よう素捕集装置、30...水素再結合装置、31...チムニー、32...加圧器、33...蒸気発生器、34...再循環ポンプ、35...一次原子炉格納容器、36...二次原子炉格納容器、40...分離膜、41...上流側空間、42...下流側空間、43...閉止板

【図1】

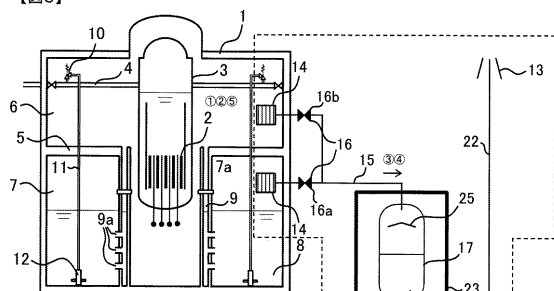
【図1】



- ①エアロゾル状放射性物質
- ②放射性希ガス
- ③水蒸気
- ④水素
- ⑤窒素、その他気体

【図3】

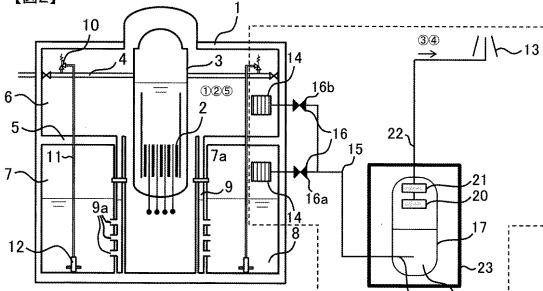
【図3】



- ①エアロゾル状放射性物質
- ②放射性希ガス
- ③水蒸気
- ④水素
- ⑤窒素、その他気体

【図2】

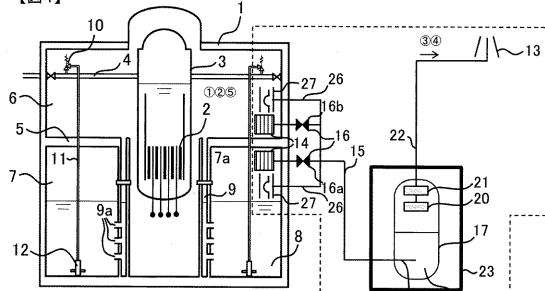
【図2】



- ①エアロゾル状放射性物質
- ②放射性希ガス
- ③水蒸気
- ④水素
- ⑤窒素、その他気体

【図4】

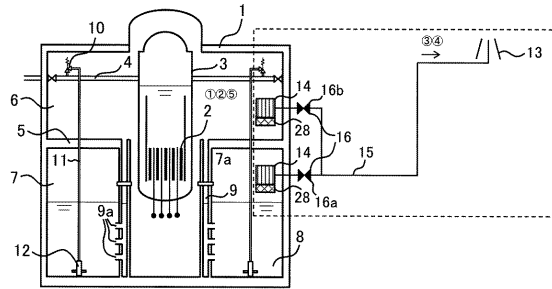
【図4】



- ①エアロゾル状放射性物質
- ②放射性希ガス
- ③水蒸気
- ④水素
- ⑤窒素、その他気体

【図5】

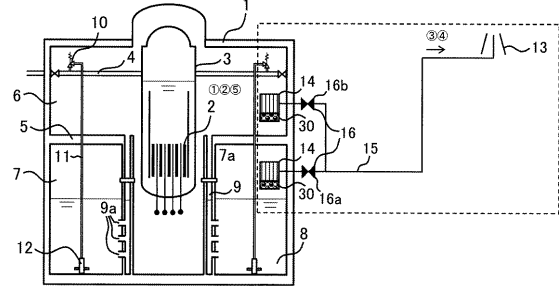
【図5】



- ①エアロゾル状放射性物質
- ②放射性希ガス
- ③水蒸気
- ④水素
- ⑤酸素、その他気体

【図7】

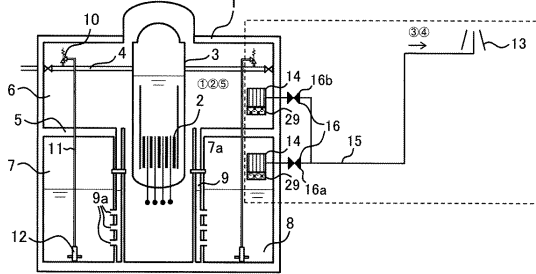
【図7】



- ①エアロゾル状放射性物質
- ②放射性希ガス
- ③水蒸気
- ④水素
- ⑤酸素、その他気体

【図6】

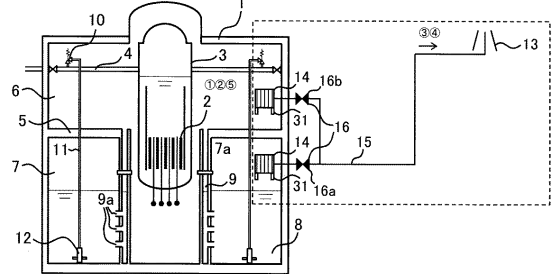
【図6】



- ①エアロゾル状放射性物質
- ②放射性希ガス
- ③水蒸気
- ④水素
- ⑤酸素、その他気体

【図8】

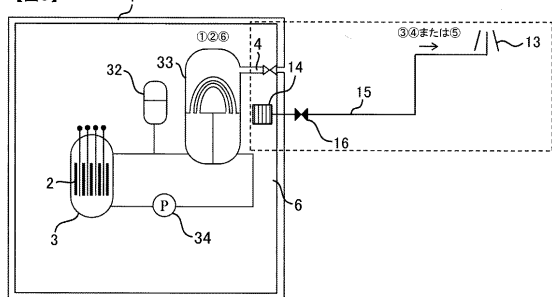
【図8】



- ①エアロゾル状放射性物質
- ②放射性希ガス
- ③水蒸気
- ④水素
- ⑤酸素、その他気体

【図9】

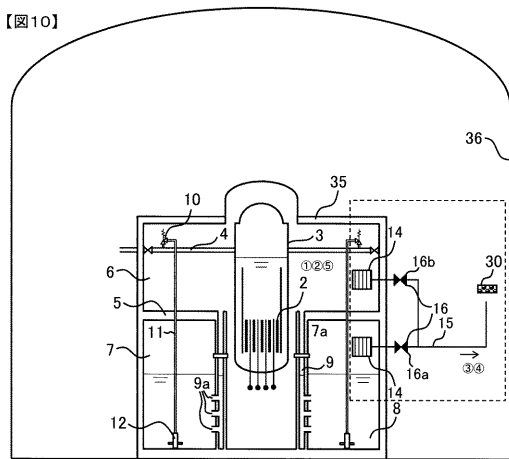
【図9】



- ①エアロゾル状放射性物質
- ②放射性希ガス
- ③水蒸気
- ④水素
- ⑤酸素
- ⑥酸素、その他気体

【図10】

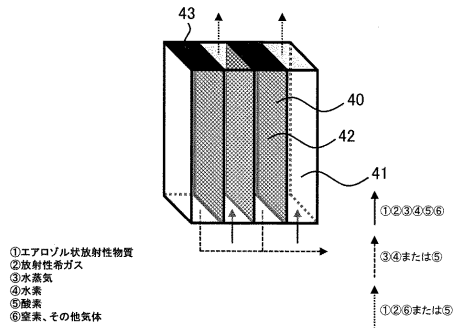
【図10】



- ①エアロゾル状放射性物質
- ②放射性希ガス
- ③水蒸気
- ④水素
- ⑤酸素
- ⑥酸素、その他気体

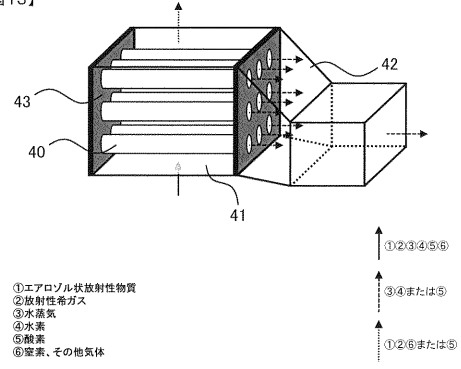
【 図 1 1 】

【図11】



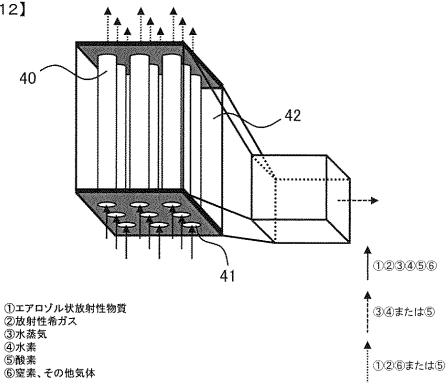
【 図 1 3 】

【図13】



【 図 1 2 】

【図12】



## フロントページの続き

- (72)発明者 石井 佳彦  
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社 日立製作所内
- (72)発明者 日高 政隆  
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社 日立製作所内
- (72)発明者 池側 智彦  
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社 日立製作所内
- (72)発明者 浜田 克紀  
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社 日立製作所内

審査官 大門 清

- (56)参考文献 特表2013-540989(JP,A)  
特表2015-508502(JP,A)  
特開2016-125950(JP,A)  
特開2014-020997(JP,A)  
特表2015-522167(JP,A)  
特開2011-230037(JP,A)  
特開2015-027674(JP,A)  
特表2017-500195(JP,A)  
米国特許出願公開第2016/0019987(US,A1)  
国際公開第2016/045980(WO,A1)  
米国特許出願公開第2016/0189809(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21C 9/00  
B01D 53/22  
B01D 61/00 - 71/82  
C02F 1/44  
G21F 9/02