(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6624584号
(P6624584)
(45)発行日　令和1年12月25日(2019.12.25)　(24)登録日　令和1年12月6日(2019.12.6)

(51)Int.Cl.			F I		
C01B	5/00	(2006.01)	C01B	5/00	A
G21F	9/02	(2006.01)	G21F	9/02	541B
G21D	3/08	(2006.01)	G21F	9/02	541A
G21C	9/00	(2006.01)	G21D	3/08	F
G21C	9/04	(2006.01)	G21C	9/00	

請求項の数 8　(全 12 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2014-205637(P2014-205637)
(22)出願日　平成26年10月6日(2014.10.6)
(65)公開番号　特開2016-74554(P2016-74554A)
(43)公開日　平成28年5月12日(2016.5.12)
審査請求日　平成29年10月6日(2017.10.6)

（出願人による申告）平成２６年度経済産業省「発電用原子炉等安全対策高度化技術基盤整備事業（水素安全対策高度化）」委託研究、産業技術力強化法第１９条の適用を受ける特許出願

(73)特許権者　000000974
川崎重工業株式会社
兵庫県神戸市中央区東川崎町３丁目１番１号
(73)特許権者　505374783
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
茨城県那珂郡東海村大字舟石川７６５番地１
(74)代理人　100105795
弁理士　名塚　聡
(74)代理人　100105131
弁理士　井上　満
(72)発明者　毛　利　智　聡
東京都港区海岸一丁目１４番５号　川崎重工業株式会社　東京本社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】再結合装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

容器に取り付けて当該容器内部で発生した水素を触媒を用いて酸素と結合するための再結合装置であって、

前記容器から流入した前記水素および前記酸素を含むガスがその内部を流通する第一の筒状体と、

前記第一の筒状体の出口に連結され、前記第一の筒状体から流出したガスを前記容器に戻す戻し部と、を備え、

前記第一の筒状体が、入口側に前記水素と前記酸素とを結合する触媒部を有し、

前記戻し部が、前記第一の筒状体の外面を取り囲むように形成されている第二の筒状体と、前記第一の筒状体に連結され前記第一の筒状体から流出した前記ガスを方向変換して前記第二の筒状体に流入させる方向変換部とを有し、

前記第二の筒状体が、前記容器に取り付けられている、再結合装置。

【請求項２】

前記第一の筒状体および前記戻し部が、一体として前記容器に着脱可能なように構成されている、請求項１記載の再結合装置。

【請求項３】

前記第一の筒状体および／又は前記戻し部が、前記容器に形成された開口部を気密に封止する開口封止部材、を備えた請求項２記載の再結合装置。

【請求項４】

前記触媒部は、表面に前記触媒を担持した貫通孔を多数有し、前記水素と前記酸素を含む前記ガスを導入して前記水素と前記酸素を再結合する略板状又は筒状部材を有する、請求項１乃至３のいずれか一項に記載の再結合装置。

【請求項５】

前記触媒部が、お互いの隣り合う貫通孔が薄壁で仕切られて形成されている、請求項１乃至４のいずれか一項に記載の再結合装置。

【請求項６】

前記触媒部の断面が、多角形である、請求項５記載の再結合装置。

【請求項７】

前記触媒部における前記水素と前記酸素の再結合反応により発生した熱に起因するガスの浮力によって、前記複数の貫通孔における流動抵抗に抗して前記第一の筒状体内で自然対流が発生するように、前記第一の筒状体の有効長さおよび前記触媒部の厚さが設定されている、請求項５または６に記載の再結合装置。

【請求項８】

前記触媒部の厚みは約５ｍｍ以下である、請求項７記載の再結合装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、触媒を用いて水素と酸素を結合させるための再結合装置に関する。

【背景技術】

【０００２】

高レベルの放射性廃棄物が貯蔵される放射性廃棄物貯槽においては、水の放射性分解によって放射性廃棄物貯槽内に水素が発生することが考えられる。時間の経過とともに内部水素濃度が上昇し、爆発限界に到達した場合には、貯槽内で水素爆発が生じる可能性がある。放射性廃棄物貯槽内で水素爆発が生じると、放射性物質の閉じ込め機能が失われ、放射性物質が外部に放出される可能性がある。

【０００３】

このような水素爆発を未然に防止するために、放射性廃棄物貯槽内の水素濃度が爆発限界に到達しないよう、水素濃度を低下させるための手段が求められている。

【０００４】

従来、原子力発電所における過酷事故（シビアアクシデント）対策として、ジルコニウム－水反応によって発生した大量の水素を、触媒を用いて酸素と再結合させて水素濃度を低下させる装置が知られている（特許文献１）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

【特許文献１】特開２０１１－１７４７７３号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

しかしながら、過酷事故対策として開発された既往の再結合装置は、原子炉格納容器や原子炉建屋の内部に設置するものであり、放射性廃棄物貯槽への設置には対応していない。すなわち、放射性廃棄物貯槽のように内部空間領域が狭く、且つ気密性が求められる設備には、既往の再結合装置を設置することができない。

【０００７】

また、放射性廃棄物貯槽以外にも、内部で水素が発生して時間の経過と共に水素濃度が上昇する可能性がある容器やタンクにおいては、水素濃度が爆発限界に到達する前に水素濃度を低下させるための手段が必要である。

【０００８】

しかしながら、そのような容器やタンクは、通常、原子炉格納容器のような大きな内部

空間を備えておらず、しかも気密性が求められる。このため、過酷事故対策として開発された既往の大型の再結合装置を設置することは困難若しくは不可能である。

【０００９】

本発明は、上述した従来技術の問題点に鑑みてなされたものであって、放射性廃棄物貯槽等のようにその内部空間領域が狭く、且つ気密性が求められる設備への設置に適した触媒式の再結合装置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】

【００１０】

上記課題を解決するために、第１の態様による本発明は、容器に取り付けて当該容器内部で発生した水素を触媒を用いて酸素と結合するための再結合装置であって、前記容器から流入した前記水素および前記酸素を含むガスがその内部を流通する第一の筒状体と、前記第一の筒状体の出口に連結され、前記第一の筒状体から流入した前記ガスを前記容器に戻す戻し部と、を備え、前記第一の筒状体が、入口側に前記水素と前記酸素とを結合する触媒部を有している、ことを特徴とする。

【００１１】

第２の態様による本発明は、第１の態様による本発明において、前記戻し部が、前記第一の筒状体の外面を取り囲むように形成されている第二の筒状体と、前記第一の筒状体に連結され前記第一の筒状体から流入した前記ガスを方向変換して前記第二の筒状体に流出させる方向変換部を備えている、ことを特徴とする。

【００１２】

第３の態様による本発明は、第１または第２の態様による本発明において、前記第一の筒状体および前記戻し部が、一体として前記容器に着脱可能なように構成されている、ことを特徴とする。

【００１３】

第４の態様による本発明は、前記第一の筒状体および／又は前記戻し部が、前記容器に形成された開口部を気密に封止する開口封止部材、を備えた、ことを特徴とする。

【００１４】

第５の態様による本発明は、第１乃至第４のいずれかの態様による本発明において、前記触媒部は、表面に前記触媒を担持した貫通孔を多数有し、前記水素と前記酸素を含む前記処理対象ガスを導入して前記水素と前記酸素を再結合する略板状又は筒状部材を有する、ことを特徴とする。

【００１５】

第６の態様による本発明は、第１乃至第５のいずれかの態様による本発明において、前記触媒部が、お互いの隣り合う貫通孔が薄壁で仕切られて形成されている、ことを特徴とする。

【００１６】

第７の態様による本発明は、第６の態様による本発明において、前記触媒部の断面が、多角形である、ことを特徴とする。

【００１７】

第８の態様による本発明は、第６または第７の態様による本発明において、前記触媒部における前記水素と前記酸素の再結合反応により発生した熱に起因するガスの浮力によって、前記複数の貫通孔における流動抵抗に抗して前記第一の筒状体内で自然対流が発生するように、前記第一の筒状体の有効長さおよび前記触媒部の厚さが設定されている、ことを特徴とする。

【００１８】

第９の態様による本発明は、第８の態様による本発明において、前記触媒部の厚みは約５ｍｍである、ことを特徴とする。

【発明の効果】

【００１９】

本発明によれば、放射性廃棄物貯槽等のような空間領域が狭く、且つ気密性が求められ

る設備への設置に適した触媒式の再結合装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００２０】

【図１】本発明の第一の実施形態による触媒式の再結合装置を放射性廃棄物貯槽に装着状態で示した正面図。

【図２】図１に示した再結合装置の上面図。

【図３】図１に示した再結合装置の縦断面図。

【図４】図１のIV-IV線に沿った矢視図。

【図５】図５のV-V線に沿った矢視図。

【図６】図１に示した再結合装置の触媒ホルダーを示した上面図。

【図７】図６に示した触媒ホルダーの縦断面図。

【図８】図６に示した触媒ホルダーの底面図。

【図９】図１に示した再結合装置の触媒部の構造を説明するための図であり、（ａ）は触媒部を模式的に示した平面図、（ｂ）は（ａ）のＡ－Ａ断面図。

【図１０】（ａ）は図９（ａ）のXa部を拡大して示した平面図、（ｂ）は図９（ｂ）のXb部を拡大して示した縦断面図。

【図１１】図３のXI部を拡大して示した縦断面図。

【図１２】触媒部の厚さと水素処理量との関係を示したグラフ。

【図１３】図１に示した再結合装置の流路構成モデルを示した模式図。

【図１４】図１に示した再結合装置の最適範囲を示したグラフ。

【発明を実施するための形態】

【００２１】

以下、本発明の一実施形態による触媒式の再結合装置について、図面を参照して説明する。

【００２２】

本実施形態による再結合装置は、触媒を用いて水素と酸素を結合するための装置であり、特に放射性廃棄物貯槽への設置に適したものである。とりわけ、放射性廃棄物貯槽に設けられたノズルの部分への装着に適している。

【００２３】

但し、本発明による再結合装置は、放射性廃棄物貯槽以外にも、内部で水素が発生して時間の経過と共に水素濃度が上昇する可能性がある容器やタンクに設置することができる。

【００２４】

図１および図３に示したように、放射性廃棄物貯槽５０の上部には円筒状のノズル５１が設けられており、本実施形態による再結合装置１は、このノズル５１の部分に着脱自在に装着されている。

【００２５】

図１および図３に示したように、本実施形態による再結合装置１は、水素および酸素を含む処理対象ガスがその内部を流通する第一の筒状体２を有する。第一の筒状体２は、円筒状の部材で構成されている。但し、第一の筒状体２を構成する部材は円筒状部材に限られず、例えば方形断面の筒状部材を用いることもできる。

【００２６】

図１乃至図４に示したように、第一の筒状体２の出口部には、第一の筒状体２から流出したガスの流れ方向を変換して再度、放射性廃棄物貯槽に戻す戻し部が設けられている。具体的には、戻し部は、第一の筒状体２の外面を取り囲むように形成されている第二の筒状体４と、その第二の筒状体の上部に連結した鏡板（戻し部）３（お椀を伏せた形状）から構成されており、第一の筒状体上部から流出したガスは、鏡板部分の方向変換部において、半径方向に広がりつつ、鉛直上方向から鉛直下方向へ流れ方向を変換して、第一の筒状体と第二の筒状体の間の流路を下方に流れ、再度、放射性廃棄物貯槽に戻される。第二の筒状体４は、下端に形成されたフランジ部５を有する。

【００２７】
第二の筒状体４のフランジ部５は、放射性廃棄物貯槽５０のノズル５１の上端に形成されたフランジ部５２に対してボルト６で固定されている。フランジ部５、５２同士の間に気密シールが形成され、これにより、放射性廃棄物貯槽５０内部の気密性が確保される。
【００２８】
図３および図４に示したように、第二の筒状体４の内周面と第一の筒状体２の外周面とが、周方向に９０度間隔で配置された細長板状の内部連結部材７によって連結されている。
【００２９】
図１に示したように、第一の筒状体２の上半部は放射性廃棄物貯槽５０のノズル５１の内部に配置されており、ノズル５１および第二の筒状体４の内周面と、第一の筒状体２の外周面との間にガスの環状流路８が形成されている。第一の筒状体２の上端開口から上方に流出したガスは、流れ方向変換部（戻し部）３で下向きに流れを変えて、環状流路８を通って放射性廃棄物貯槽５０内に還流する。
【００３０】
図１および図３に示したように、第二の筒状体４の鏡板部４Ａ、すなわち第一の筒状体２の出口に対向する部分が、中心から外側に向けて下方に傾斜するドーム状に形成されている。
【００３１】
図１および図３に示したように、第一の筒状体２の入口側（下端側）には、触媒構造体９が設けられている。触媒構造体９は、図６乃至図８に示した触媒ホルダー１０と、図９に示した略円板状又は略円筒状の触媒部１１とを有する。
【００３２】
触媒部１１は、ガスの通過する流路に、表面に触媒を担持した細径のペブルを充填し、若しくは表面に触媒を担持したプレートを配列し、又は表面に触媒を担持した多数のハニカム状の壁面を配列している。
触媒ホルダー１０は、触媒部１１の周縁部を保持する略円環状の枠状保持部材から成り、略円板状又は略円筒状の触媒部１１は、触媒ホルダー１０の凹部に嵌合される。触媒ホルダーは、例えばステンレス材料で形成することができる。
【００３３】
以下では、小型でかつ高性能が実現できる可能性が高いハニカム構造を有する触媒部およびそれに関連する構造に関して説明する。
【００３４】
触媒部１１に設けられた多数の貫通孔（流路）は、その断面が三角形、四角形、五角形又は六角形などの多角形であって、お互いに隣接する流路が薄壁で仕切られている（ハニカム構造）。触媒部は、多孔質なセラミックスやステンレス鋼などを支持体としている。すなわち、触媒部１１には、図１０に示したように多数の貫通孔１２が形成されている。貫通孔１２は、第一の筒状体２への処理対象ガスの導入方向（本例においては、第一の筒状体２の軸線方向）に沿って延在しており、その内部を処理対象ガス（水素と酸素を含む）が流通する。
【００３５】
触媒部には、少なくとも各貫通孔１２の内周面に触媒が付与されている。ハニカム構造を採用することによって、触媒部１１の比表面積（単位体積当たりの表面積）を増大させることができるので、処理対象ガスと触媒との接触効率を大幅に高めることができる。
【００３６】
図１１は、第一の筒状体２に対する触媒構造体９の取付け構造を示している。第一の筒状体２の内周面には、環状の突起部１３が形成されている。環状の突起部１３に下方には、環状の支持部１４が上端に形成された短筒状の支持部材１５が配置されている。環状の突起部１３と環状の支持部１４との間に触媒構造体９の周縁部が配置されている。短筒状の支持部材１５が第一の筒状体２に対してボルト１６で固定されており、触媒構造体９が

筒状部２に固定されている。

【００３７】

次に、本実施形態による再結合装置１における水素と酸素の再結合作用について説明する。

【００３８】

本実施形態による再結合装置１は、その使用に際して電源を必要とせず、第一の筒状体２内での自然対流を駆動力として利用するものである。すなわち、触媒構造体９における水素と酸素の再結合反応により発生した熱に起因するガスの浮力によって、触媒部１１の複数の貫通孔１２における流動抵抗に抗して第一の筒状体２内で自然対流が発生するように、第一の筒状体２の有効長さ（自然対流の発生に寄与する部分の長さ）および触媒部１１の厚さが設定されている。

【００３９】

すなわち、放射性廃棄物貯槽５０内で発生して貯槽上部に蓄積した高濃度の水素を含む処理対象ガスは、第一の筒状体２の下端入口から流入し、触媒構造体９を通過する際に、水素と酸素の再結合反応によって水蒸気が生じる。なお、触媒の存在下においては、再結合反応は常温でも生じる。再結合反応により発生した熱によりガスが加熱されて密度差による浮力が生じ、これを駆動力として自然対流が生じる（チムニー効果）。

【００４０】

再結合反応により生成された水蒸気を含む処理後のガスは、第一の筒状体２の上端開口から上方に放出される。放出されたガスは、その流れを下方に変えて、環状流路８を通って放射性廃棄物貯槽５０内に還流する。

【００４１】

図１２は、触媒高さ（触媒部１１の高さ）と水素処理量との関係を、水素濃度4vol%、反応率100%、自然対流の場合について示している。水素処理量は、再結合装置１への処理対象ガスの単位流入面積当たりの処理量（kg/h）を示している。

【００４２】

図１２から分かるように、触媒高さ（触媒部１１の高さ）が大きくなるにつれて、水素処理量は小さくなっている。水素と酸素との反応は非常に早いので、処理対象ガスが触媒部１１に導入された直後に反応が実質的に完了する。このため、触媒高さを大きくしても、反応促進への寄与はほとんど無い。むしろ、触媒部１１における流動抵抗が大きくなるので、処理対象ガスの流量が低下し、その結果、水素処理量が低下してしまう。

【００４３】

したがって、触媒部の高さを５ｍｍより大きくしても、水素処理能力は低下する一方、再結合装置が大型化するのに対して、触媒部の高さを５ｍｍより小さくすると、水素処理能力が向上し、かつ再結合装置が小型化することがわかる。

【００４４】

次に、本実施形態における再結合装置として望ましい範囲（主要部寸法）について検討する。

【００４５】

図１３は、本実施形態による再結合装置１の流路構成モデルを示している。

【００４６】

水素と酸素の触媒反応による発熱に伴う浮力は、流れが層流域にある場合は以下の式（１）で表される。

【００４７】

$$P_A = \Delta\rho \times g \times h_2 \quad \cdots\cdots (1)$$

ここで、

P_A：触媒反応による発熱に伴う浮力［N/m^2］

$\Delta\rho$：密度差$\rho_{IN} - \rho_{OUT}$［kg/m^3］

ρ_{IN}：入口側気体密度［kg/m^3］

ρ_{OUT}：出口側気体密度［kg/m^3］

g：重力加速度［m／s^2］
h_2：チムニー高さ［m］
なお、チムニー高さとは、筒状部２の内部でチムニー効果が生じる部分に対応する有効高さである。

【００４８】
触媒部１１における流動抵抗は、以下の式（２）で表される。

【００４９】
$P_B = 32 \times \mu \times h_1 \times V_{IN} / d_1^2$　　・・・・（２）
ここで、
P_B：流動抵抗［N／m^2］
μ：粘性係数［Ｐａ・ｓ］
h_1：触媒高さ［m］
V_{IN}：入口流速［m／ｓ］
d_1：触媒流路相当直径［m］
触媒による発熱に伴う浮力P_Aと触媒部１１における流動抵抗P_Bとが釣り合う（$P_A = P_B$）と仮定すると、式（１）と式（２）より、以下となる。

【００５０】
$h_2 / h_1 = 32 \times \mu \times V_{IN} / d_1^2 / (\Delta\rho \times g)$　・・・・（３）
また、$H = h_1 + h_2$とすると、以下となる。

【００５１】
$H / h_1 = 32 \times \mu \times V_{IN} / d_1^2 / (\Delta\rho \times g) + 1$・・・（４）
図１４は、式（４）を基にした本実施形態による再結合装置１として望ましい範囲（グラフ中の黒塗部分）を示している。

【００５２】
図１４において、Ｈの上限を再結合装置の小型化のため３００mm、h_1の下限を製作上の制限から３mmとしたため、図１４において、H / h_1は、上限については１００、下限については、$H = h_1$（h_2＝０mm）の場合であることから１としている。また、V_{IN}の下限は、既往の再結合装置の水素処理量を考慮して０．３m／ｓとしている。d_1の上限は、製作可能な触媒部を基に１．７９mmとしている。

【００５３】
以上述べたように、本実施形態による触媒式の再結合装置１によれば、触媒構造体９を備えた第一の筒状体２の出口部に戻し部３を設け、戻し部３によって放射性廃棄物貯槽５０のノズル５１の開口を気密に封止するようにしたので、内部空間領域が狭く且つ気密性が求められる放射性廃棄物貯槽５０においても、再結合装置１を支障なく取り付けることができる。

【００５４】
このように放射性廃棄物貯槽５０に再結合装置１を装着することにより、放射性廃棄物貯槽５０の内部で発生した水素の濃度を制御して爆発限界に到達することを防止し、水素爆発の発生可能性を排除することができる。なお、本実施形態による再結合装置１において、確実な自然循環力を確保するためには、第一の筒状体２と第二の筒状体４の間の気体の温度を低温に維持する必要があるため、必要に応じて、第二の筒状体４を、その周囲に冷却ファン（再結合装置と独立したものであり、図示は省略）を設けて強制冷却する。ただし、このような冷却機構を設けても、再結合装置を含む放射性廃棄物貯槽は気密構造とすることができ、また、冷却機構も簡易なものであるため、従来のものに比べ非常に簡易な再結合装置により水素爆発を防止することができる。

【００５５】
また、本実施形態による再結合装置１は、放射性廃棄物貯槽５０の上部に設けられた既設のノズル５１に装着することができるので、再結合装置１を設置するための特別な構造を必要とせず、設置作業の手間とコストを削減することができる。

【００５６】

また、本実施形態による再結合装置１は、触媒部１１として、第一の筒状体２への処理対象ガスの導入方向に沿って多数の貫通孔１２が形成された触媒部を使用しているので、チムニー効果による自然対流を確保しつつ、従来の再結合装置に比べて、触媒の単位体積当たりの水素処理量を大幅に増大させることができる。

【００５７】

その結果、触媒部１１を含む触媒構造体９の寸法を、従来の触媒式再結合装置の場合に比して大幅に小さくすることができる。これにより、装置全体の小型化および軽量化を図ることができる。再結合装置１の小型・軽量化により、冷却ファンが必要な場合であっても、それとは独立して、装置の据付け・取外し作業が容易となり、また、作業時間の短縮による作業員の被ばく量の低減も可能となる。

【００５８】

また、本実施形態による再結合装置１によれば、触媒構造体９が第一の筒状体２の内部に着脱自在に装着されているので、第一の筒状体２から触媒構造体９を取り外すことにより、触媒の交換を容易に行なうことができる。

【００５９】

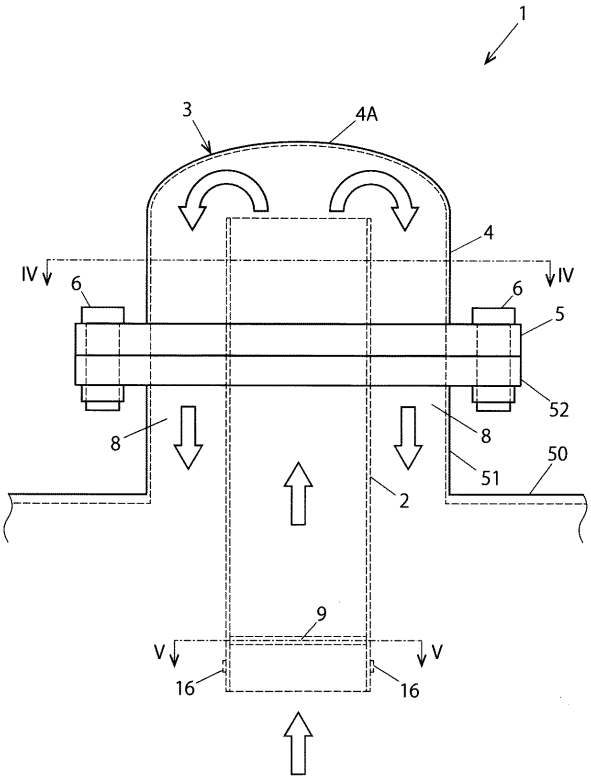
また、本実施形態による再結合装置１によれば、第二の筒状体４の鏡板部４Ａ、すなわち第一の筒状体２の出口に対向する部分が、中心から外側に向けて下方に傾斜するドーム状に形成されているので、第二の筒状体４の鏡板部４Ａで水蒸気が冷却されてその表面に凝縮水が付着した場合、凝縮水は鏡板部４Ａの表面上を半径方向外側に向かって流れる。従って、凝縮水が第一の筒状体２の上端開口内に滴下することを防止でき、触媒に水が付着して基礎反応を阻害することを防止できる。

【符号の説明】

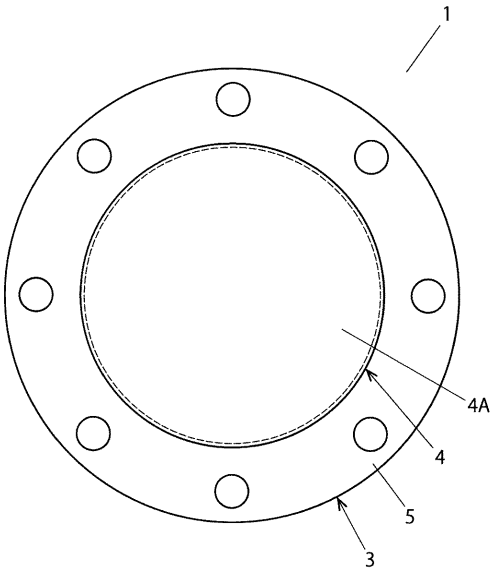
【００６０】

１　触媒式の再結合装置
２　筒状部
３　戻し部（開口封止部材、鏡板、流れ方向変換部）
４　第二の筒状体
４Ａ　第二の筒状体の鏡板部
５　フランジ部
６　ボルト
７　内部連結部材
８　環状流路
９　触媒構造体
１０　触媒ホルダー
１１　触媒部
１２　触媒部の貫通孔
１３　環状の突起部
１４　環状の支持部
１５　短筒状の支持部材
１６　ボルト
５０　放射性廃棄物貯槽
５１　ノズル
５２　フランジ部

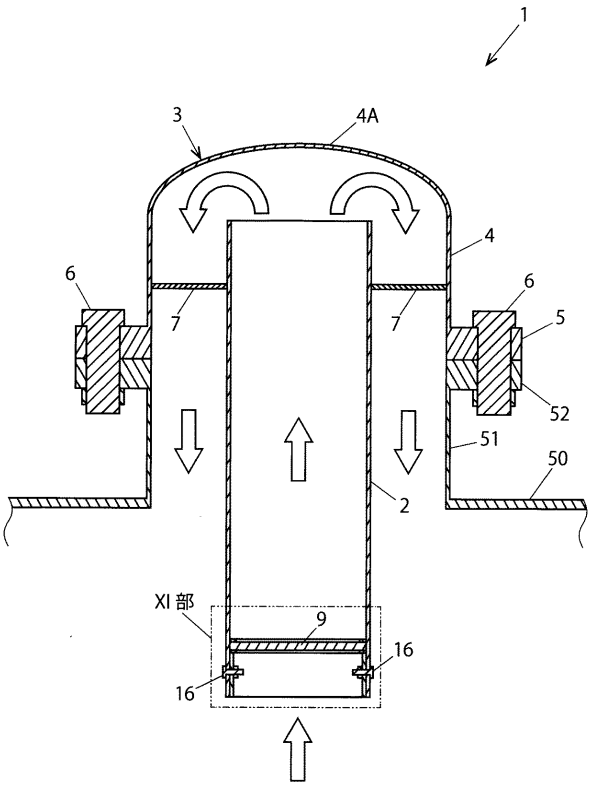
【図１】


1
3
4A
4
IV
IV
6
6
5
52
8
8
51
50
2
9
V
V
16
16

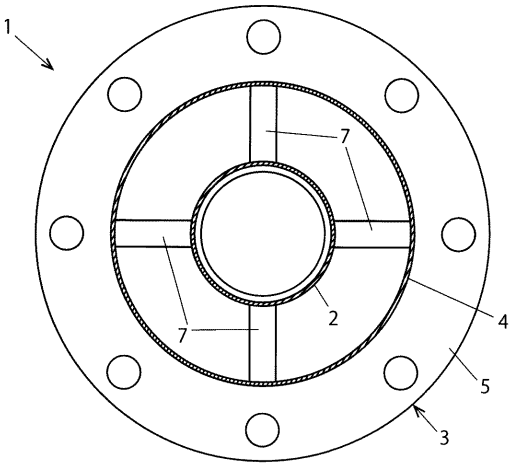
【図２】


1
4A
4
5
3

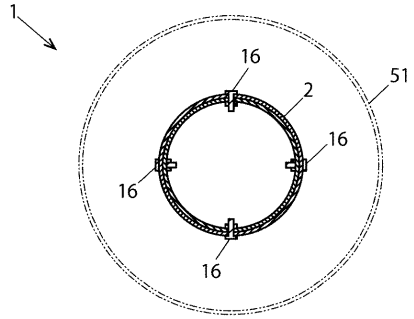
【図３】


1
3
4A
4
6
6
7
7
5
52
51
50
2
XI部
9
16
16

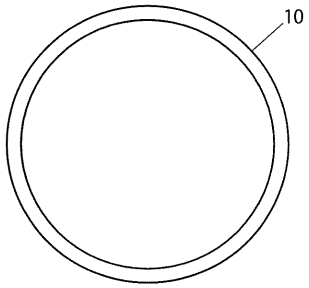
【図４】


1
7
7
2
4
5
3

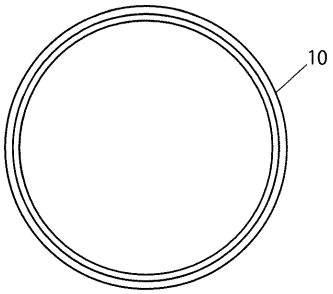
【図５】



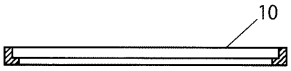
【図８】



【図６】

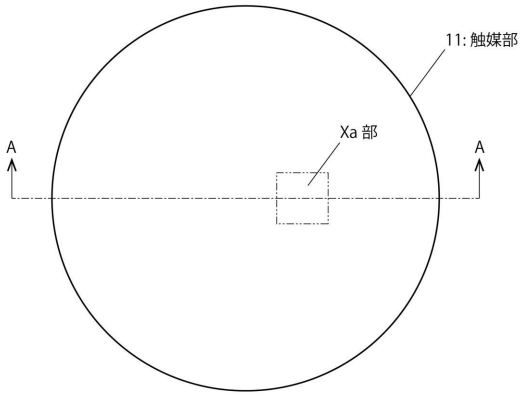


【図７】

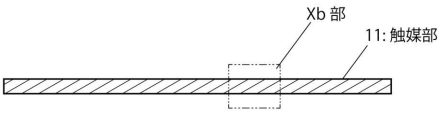


【図９】

(a) 平面図

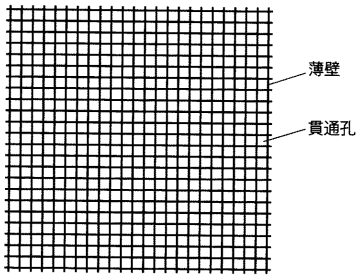


(b) 縦断面図 ((a) 図の A-A 断面)

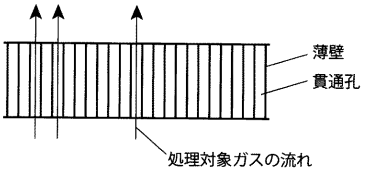


【図１０】

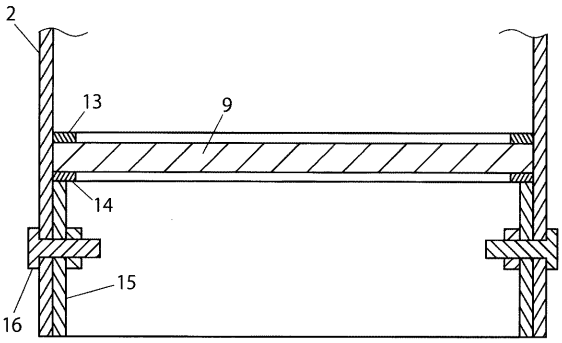
(a) 図 9(a) の Xa 部詳細



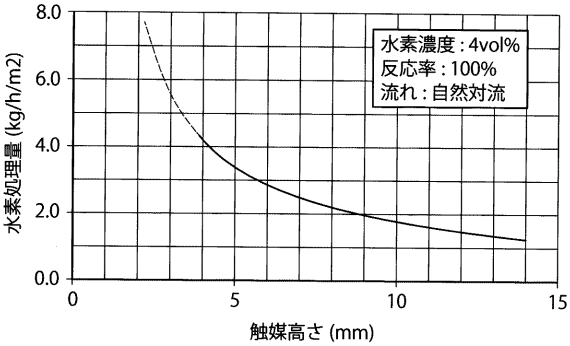
(b) 図 9(b) の Xb 部詳細



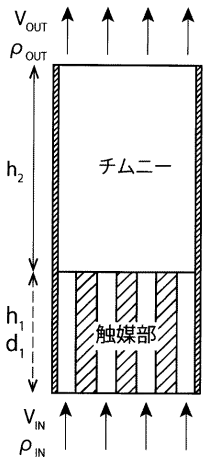
【図１１】



【図１２】



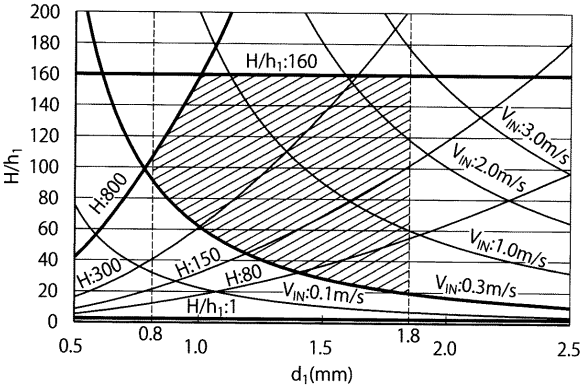
【図１３】



流路構成モデル

【図１４】

本実施形態の再結合装置の最適範囲
（黒塗部分 : 最適範囲）



（記号説明）

d_1: 触媒流路相当直径 (mm)

h_1: 触媒高さ (mm)

H: 全高さ（触媒高さ＋チムニー高さ）(mm)

V_{IN}: 入口流速 (m/s)

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G21C 9/04

(72)発明者 平 田 慎 吾
東京都港区海岸一丁目１４番５号 川崎重工業株式会社 東京本社内
(72)発明者 五 十 嵐 実
東京都港区海岸一丁目１４番５号 川崎重工業株式会社 東京本社内
(72)発明者 佐 藤 学
東京都港区海岸一丁目１４番５号 川崎重工業株式会社 東京本社内
(72)発明者 日 野 竜 太 郎
茨城県東茨城郡大洗町成田町４００２番地 独立行政法人日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター内
(72)発明者 上 地 優
茨城県東茨城郡大洗町成田町４００２番地 独立行政法人日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター内
(72)発明者 寺 田 敦 彦
茨城県東茨城郡大洗町成田町４００２番地 独立行政法人日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター内
(72)発明者 西 畑 保 雄
兵庫県佐用郡佐用町光都１丁目１番地１号 独立行政法人日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所内

審査官 廣野 知子

(56)参考文献 特開２００７－１２１３１３（ＪＰ，Ａ）
特表２００９－５２０６６３（ＪＰ，Ａ）
特開平０２－１３７７０３（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－０９００９２（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－３０２４９４（ＪＰ，Ａ）
特開昭６４－０６８６９７（ＪＰ，Ａ）
特開昭４８－００６０９５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｃ０１Ｂ ５／００
Ｇ２１Ｆ ９／０２
Ｇ２１Ｃ ９／００
Ｇ２１Ｃ ９／０４
Ｇ２１Ｄ ３／０８