

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5766471号  
(P5766471)

(45) 発行日 平成27年8月19日 (2015. 8. 19)

(24) 登録日 平成27年6月26日 (2015. 6. 26)

(51) Int. Cl. F I  
**G 2 1 F 9/28 (2006.01)** G 2 1 F 9/28 5 2 5 A  
**G 2 1 F 9/06 (2006.01)** G 2 1 F 9/28 5 2 1 A  
 G 2 1 F 9/06 G

請求項の数 7 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2011-49559 (P2011-49559)	(73) 特許権者	000006208
(22) 出願日	平成23年3月7日 (2011. 3. 7)		三菱重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2012-185097 (P2012-185097A)		東京都港区港南二丁目16番5号
(43) 公開日	平成24年9月27日 (2012. 9. 27)	(74) 代理人	100089118
審査請求日	平成26年3月4日 (2014. 3. 4)		弁理士 酒井 宏明
		(74) 代理人	100118762
			弁理士 高村 順
		(72) 発明者	金留 正人
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	中野 貴司
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		審査官	藤原 伸二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放射性廃棄物除染方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

原子力発電プラントの一次系を構成する部材を取り替えた後に廃棄する除染対象物の内表面に形成した酸化皮膜を除去する放射性廃棄物除染方法であって、

前記除染対象物の放射線量を計測する第1の計測工程と、

前記除染対象物の前記酸化皮膜を溶解させて除染するための薬液を前記除染対象物の内表面に所定時間とどまるように保持させる薬液保持工程と、

前記所定時間経過後に前記保持させた薬液を除去する薬液除去工程と、

除染後の前記除染対象物の放射線量を計測する第2の計測工程と、を有し、

前記薬液は、硝酸と、シュウ酸及びクエン酸の少なくとも一方と、ゲル化剤と、溶媒とを含むことを特徴とする放射性廃棄物除染方法。

【請求項2】

原子力発電プラントの一次系を構成する部材を取り替えた後に廃棄する除染対象物の内表面に形成した酸化皮膜を除去する放射性廃棄物除染方法であって、

前記除染対象物の放射線量を計測する第1の計測工程と、

前記除染対象物の前記酸化皮膜を溶解させて除染するための薬液を前記除染対象物の内表面に所定時間とどまるように保持させる薬液保持工程と、

前記所定時間経過後に前記保持させた薬液を除去する薬液除去工程と、

除染後の前記除染対象物の放射線量を計測する第2の計測工程と、を有し、

前記薬液は、硝酸と、過マンガン酸及び過マンガン酸カリウムの少なくとも一方と

10

20

、ゲル化剤と、溶媒とを含むことを特徴とする放射性廃棄物除染方法。

【請求項 3】

前記薬液を調製する薬液調製工程と、  
前記第 1 の計測工程と前記第 2 の計測工程とで取得した放射線量を比較して 1 / 2 以下に放射線量が低減しているかを判断する判断工程と、  
前記薬液を除去した前記除染対象物を洗浄する洗浄工程と、  
前記薬液除去工程で除去した前記薬液を廃液処理する廃液処理工程と、  
を有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の放射性廃棄物除染方法。

【請求項 4】

前記ゲル化剤は、リン酸架橋でんぷん及びセルロース誘導体の少なくとも一方を含み、前記溶媒は、純水及びマイクロナノバブル含有純水の少なくとも一方を含むことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の放射性廃棄物除染方法。

10

【請求項 5】

前記廃液処理工程の廃液処理は、少なくとも中和剤を含む薬剤を使用し、前記中和剤は、水酸化カルシウム及び炭酸カルシウムの少なくとも一方を含むことを特徴とする請求項 3 に記載の放射性廃棄物除染方法。

【請求項 6】

前記薬液保持工程は、前記薬液を前記除染対象物の内表面に塗布する塗布工程を有し、前記塗布工程は、遠隔操作可能な塗布装置で行うことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の放射性廃棄物除染方法。

20

【請求項 7】

前記所定時間は、1 6 時間以下であることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の放射性廃棄物除染方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、原子力発電プラント等の放射線取扱い施設に設置された配管、機器、構造部材等の放射性物質の除染方法に係り、原子炉一次系の配管や機器の内表面に形成した酸化皮膜除去方法に関するものである。

【背景技術】

30

【0002】

原子力発電プラント等の放射線取扱い施設において、放射性物質を含む流体と接触する配管などの構造部品は、施設の運転に伴ってその内表面に放射性物質を含む酸化皮膜が付着または生成する。施設の運転期間が長くなると、配管や機器等の周囲は放射線量が高まり、定期検査や保守工事あるいは廃棄物解体工事等において作業員の被ばく線量が増大するおそれがある。作業員の被ばくを低減するため、配管や機器等に付着した放射性物質を除去（以下、除染と同義）しなければならない。

【0003】

この除染の対象となる代表的なものとして原子炉一次冷却系（以下、一次系ともいう）がある。この一次冷却系には放射性物質を含有するクラッド（crud）と呼ばれるスケールが付着する。このクラッドは原子炉一次冷却系配管や機器周辺において、作業員が放射線被ばくを受ける放射線源となっている。放射線被ばくの低減を図り、作業環境向上のためにクラッドの除去が必要となる。このクラッドの除去は、主として化学除染法によって行われている。

40

【0004】

特許文献 1 には、高い洗浄力を有し、放射性クラッドの除染が可能で、かつ金属材料に対して腐食性が小さい化学洗浄剤が提案されている。これはマロン酸とヒドラジンを有効成分として含有する組成物からなる化学洗浄剤である。

【先行技術文献】

【特許文献】

50

【 0 0 0 5 】

【特許文献 1】特開昭 6 2 - 1 2 7 4 8 3 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

特許文献 1 に記載されている化学洗浄剤は、薬液中に除染対象物を浸漬しなければならないため新たな設備や機材が必要となるという問題があった。また 8 0 ~ 1 0 0 の溶液の中に除染対象物を浸漬しなければならないため、作業中の薬液の管理に手間がかかると共に長時間の連続作業となり人的負担が増大するという問題があった。

【 0 0 0 7 】

また従来 of 化学除染法は、除染対象物が大型の場合、除染処理設備の新設や大型化、大量の薬液が必要となることや作業後の廃液処理費用が増大するという問題があった。

【 0 0 0 8 】

また除染後の配管や機器等はドラム缶に入れて廃棄することになるが、1つのドラム缶あたりの放射線量が定められおり、除染率が低い場合は放射線量が高いので廃棄するドラム缶の数が増えてしまうという問題があった。

【 0 0 0 9 】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、薬液の使用量が少なく、処理する温度が低く、かつ短い時間でも放射性物質を含有した酸化皮膜の除染率を向上させることができる放射性廃棄物除染方法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】

【 0 0 1 0 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明の放射性廃棄物除染方法は、原子力発電プラントの一次系を構成する部材を取り替えた後に廃棄する除染対象物の内表面に形成した酸化皮膜を除去する放射性廃棄物除染方法であって、前記除染対象物の放射線量を計測する第 1 の計測工程と、前記除染対象物の前記酸化皮膜を溶解させて除染するための薬液を前記除染対象物の内表面に所定時間とどまるように保持させる薬液保持工程と、前記所定時間経過後に前記保持させた薬液を除去する薬液除去工程と、除染後の前記除染対象物の放射線量を計測する第 2 の計測工程と、を有し、前記薬液は、硝フッ酸と、シュウ酸及びクエン酸の少なくとも一方と、ゲル化剤と、溶媒とを含むことを特徴とする。

また本発明の放射性廃棄物除染方法は、原子力発電プラントの一次系を構成する部材を取り替えた後に廃棄する除染対象物の内表面に形成した酸化皮膜を除去する放射性廃棄物除染方法であって、前記除染対象物の放射線量を計測する第 1 の計測工程と、前記除染対象物の前記酸化皮膜を溶解させて除染するための薬液を前記除染対象物の内表面に所定時間とどまるように保持させる薬液保持工程と、前記所定時間経過後に前記保持させた薬液を除去する薬液除去工程と、除染後の前記除染対象物の放射線量を計測する第 2 の計測工程と、を有し、前記薬液は、硝フッ酸と、過マンガン酸及び過マンガン酸カリウムの少なくとも一方と、ゲル化剤と、溶媒とを含むことを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

この構成によれば、薬液をゲル化させてゲル状としたことで、除染対象の酸化皮膜表面に薬液を塗布し、薬液を酸化皮膜表面に長時間とどめておくことが可能となった。薬液を酸化皮膜表面に長時間保持させることで、薬液が酸化皮膜表面を溶解し、続いて母材金属に薬液を浸透させるための十分な時間を確保することができる。これにより放射性物質の除染率を向上させることができる。また薬液を酸化皮膜表面に十分に接触保持させられるため、従来よりも短い時間で除染処理を行うことができる。

【 0 0 1 2 】

本発明の放射性廃棄物除染方法は、薬液を調製する薬液調製工程と、第 1 の計測工程と第 2 の計測工程とで取得した放射線量を比較して 1 / 2 以下に放射線量が低減しているかを判断する判断工程と、薬液を除去した除染対象物を洗浄する洗浄工程と、薬液除去工程で除去した薬液を廃液処理する廃液処理工程と、を有することが、好ましい。

## 【0013】

この構成によれば、薬液をゲル化させてゲル状としたことで、除染対象の酸化皮膜表面に薬液を塗布し、薬液を酸化皮膜表面に長時間とどめておくことが可能となった。これにより、薬液を酸化皮膜表面に長時間保持させることで、薬液が酸化皮膜表面を溶解し、続いて母材金属に薬液を浸透させるための十分な時間を確保することができ、放射性物質の除染率を向上させることができる。また廃液処理量及び廃棄物量を大幅に削減することができる。

## 【0014】

本発明の放射性廃棄物除染方法においては、前記ゲル化剤は、リン酸架橋でんぷん及びセルロース誘導体の少なくとも一方を含み、前記溶媒は、純水及びマイクロナノバブル含有純水の少なくとも一方を含むことが好ましい。

10

## 【0015】

この構成によれば、薬液をゲル化させてゲル状としたことで、除染対象の酸化皮膜表面に薬液を塗布し、薬液を酸化皮膜表面に長時間とどめておくことが可能となった。これにより、放射性物質の除染率を向上させることができる。

## 【0016】

本発明の放射性廃棄物除染方法の薬品は、酸化皮膜の種類に応じて、硝酸、硝酸及びシュウ酸、硝酸及び過マンガン酸、硝酸及び過マンガン酸カリウム、硝酸及びクエン酸、の何れか1つ以上を含み、ゲル化剤は、薬品の種類及び除染対象物の種類に応じて、リン酸架橋でんぷん、セルロース誘導体の何れか1つ以上を含み、溶媒は、純水とマイクロナノバブル含有純水との何れか一方または両方を含むことが、好ましい。

20

## 【0017】

この構成によれば、薬液を酸化皮膜表面に長時間保持させることで、薬液が酸化皮膜表面を溶解し、続いて母材金属に薬液を浸透させるための十分な時間を確保することができ、放射性物質の除染率を向上させることができる。

## 【0018】

本発明の放射性廃棄物除染方法の廃液処理工程の廃液処理は、少なくとも中和剤を含む薬剤を使用し、中和剤は、水酸化カルシウム及び炭酸カルシウムの少なくとも一方を含むことが好ましい。

30

## 【0019】

この構成によれば、廃液処理量及び廃棄物量を大幅に削減することができる。

## 【0020】

本発明の放射性廃棄物除染方法の薬液保持工程は、薬液を除染対象物の内表面に塗布する塗布工程を有し、塗布工程は、遠隔操作可能な塗布装置で行うことが、好ましい。

## 【0021】

この構成によれば、薬液はゲル状のため簡易な方法として刷毛やへら等を用いて、除染対象物の内表面に塗布することができる。これにより、ロボットハンドなどの遠隔操作により刷毛やへら等を用いて薬液を塗布できるため放射線量が高い場合でも被ばくを防止しながら除染作業を行うことができる。

40

## 【0022】

本発明の放射性廃棄物除染方法の所定時間は、16時間以下であることが、好ましい。

## 【0023】

この構成によれば、薬液を酸化皮膜表面に十分に接触保持させられるため、従来よりも短い時間で除染処理を行うことができる。

## 【発明の効果】

## 【0024】

本発明の放射性廃棄物除染方法によれば、薬液の使用量が少なく、処理する温度が低く、かつ短い時間でも放射性物質を含有した酸化皮膜の除染率を向上させることができる。

## 【図面の簡単な説明】

50

## 【0025】

【図1】図1は、本発明の実施例に係る放射性廃棄物除染方法が適用される原子力発電プラントを模式的に表した概略構成図である。

【図2】図2は、本実施例に係る放射性廃棄物除染方法の手順を示すフロー図である。

【図3】図3は、本実施例のゲル化させた薬液を配管内表面に塗布した状態を示す図である。

【図4】図4は、本実施例の薬液を塗布した配管を図3の矢印X方向から見た図である。

【図5】図5は、本実施例の基材に薬液を保持させた貼り剤を示す図である。

【図6】図6は、本実施例の除染対象物の配管内表面に貼り剤を貼った状態を示す図である。

10

【図7】図7は、従来の除染方法を説明する図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0026】

以下に、本発明に係る放射性廃棄物除染方法の実施例を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施例により本発明が限定されるものではない。また、下記実施例における構成要素には、当業者が置換可能かつ容易なもの、或いは実質的に同一のものが含まれる。

## 【実施例】

## 【0027】

以下の実施例では、原子力発電プラントに設置された一次系の配管や機器の放射性廃棄物除染方法を例にして説明するが、これに限ることではない。

20

## 【0028】

図1は、本発明の実施例に係る放射性廃棄物除染方法が適用される原子力発電プラントを模式的に表した概略構成図である。

## 【0029】

本実施例が適用される原子力発電プラントの原子炉は、軽水を原子炉冷却材及び中性子減速材として使用し、一次系3全体にわたって沸騰しない高温高压水とし、この高温高压水を蒸気発生器に送って二次冷却材と熱交換させることにより蒸気を発生させ、この蒸気をタービン発電機へ送って発電する加圧水型原子炉(PWR: Pressurized Water Reactor)である。なお、本実施例は、このPWRに限らず、これを改良した改良型加圧水型原子炉(APWR: Advanced Pressurized Water Reactor)または沸騰水型原子炉(BWR: Boiling Water Reactor)に適用することができる。また、放射線取扱い施設にも適用可能である。

30

## 【0030】

原子炉2を用いた原子力発電プラントは、原子炉2を含む原子炉冷却系3(以下、一次系ともいう)と、原子炉冷却系3と熱交換するタービン系4(以下、二次系ともいう)とで構成されており、原子炉冷却系3には、原子炉冷却材(一次冷却水)が流通し、タービン系4には、二次冷却材(二次冷却水)が流通している。

## 【0031】

原子炉冷却系(一次系)3は、原子炉2と、コールドレグ5a及びホットレグ5bを介して原子炉2に接続された蒸気発生器6とを有している。また、ホットレグ5bには、加圧器7が介設され、コールドレグ5aには、原子炉冷却材ポンプ8が介設されている。そして、原子炉2、コールドレグ5a、ホットレグ5b、蒸気発生器6、加圧器7及び原子炉冷却材ポンプ8は、原子炉格納容器1に収容されている。

40

## 【0032】

原子炉2は、上記したように加圧水型原子炉であり、その内部は原子炉冷却材(一次冷却水)で満たされている。そして、原子炉2内は、多数の燃料集合体15を収容すると共に、燃料集合体15の燃料棒内の核燃料の核分裂を制御する多数の制御棒16が、各燃料集合体15に対し挿入可能に設けられている。

## 【0033】

50

制御棒 1 6 により核分裂反応を制御しながら燃料集合体 1 5 の燃料棒内の核燃料を核分裂させると、この核分裂により熱エネルギーが発生する。発生した熱エネルギーは原子炉冷却材を加熱し、加熱された原子炉冷却材は、ホットレグ 5 b を介して蒸気発生器 6 へ送られる。一方、コールドレグ 5 a を介して各蒸気発生器 6 から送られてきた原子炉冷却材は、原子炉 2 内に流入して、原子炉 2 内を冷却する。

【 0 0 3 4 】

ホットレグ 5 b に介設された加圧器 7 は、高温となった原子炉冷却材を加圧することにより、原子炉冷却材の沸騰を抑制している。また、蒸気発生器 6 は、高温高圧となった原子炉冷却材（一次冷却水）を二次冷却材（二次冷却水）と熱交換させることにより、二次冷却材を蒸発させて蒸気が発生させ、かつ、高温高圧となった原子炉冷却材を冷却している。原子炉冷却材ポンプ 8 は、原子炉冷却系 3 において原子炉冷却材を循環させており、原子炉冷却材を蒸気発生器 6 からコールドレグ 5 a を介して原子炉 2 へ送り込むと共に、原子炉冷却材を原子炉 2 からホットレグ 5 b を介して蒸気発生器 6 へ送り込んでいる。

10

【 0 0 3 5 】

原子炉冷却材は、原子炉 2 と蒸気発生器 6 との間を循環している。なお、原子炉冷却材は、冷却材及び中性子減速材として用いられる軽水である。

【 0 0 3 6 】

タービン系（二次系）4 は、蒸気管 2 1 を介して各蒸気発生器 6 に接続されたタービン 2 2 と、タービン 2 2 に接続された復水器 2 3 と、復水器 2 3 と各蒸気発生器 6 とを接続する給水管 2 6 に介設された給水ポンプ 2 4 と、を有している。そして、上記のタービン 2 2 には、発電機 2 5 が接続されている。

20

【 0 0 3 7 】

ここで、原子力発電プラントのタービン系 4 における一連の動作について説明する。蒸気管 2 1 を介して蒸気発生器 6 から蒸気がタービン 2 2 に流入すると、タービン 2 2 は回転する。タービン 2 2 が回転すると、タービン 2 2 に接続された発電機 2 5 は、発電を行う。この後、タービン 2 2 から排出した蒸気は復水器 2 3 に流入する。復水器 2 3 は、その内部に冷却管 2 7 が配設されており、冷却管 2 7 の一方には冷却水（例えば、海水）を供給するための取水管 2 8 が接続され、冷却管 2 7 の他方には冷却水を排水するための排水管 2 9 が接続されている。そして、復水器 2 3 は、タービン 2 2 から流入した蒸気を冷却管 2 7 により冷却することで、蒸気を液体に戻している。液体となった二次冷却材は、給水ポンプ 2 4 により給水管 2 6 を介して蒸気発生器 6 に送られる。蒸気発生器 6 に送られた二次冷却材は、蒸気発生器 6 において原子炉冷却材と熱交換を行うことにより再び蒸気となる。

30

【 0 0 3 8 】

上述したような原子力発電プラントにおいては、原子炉機器や各種配管がステンレス鋼や炭素鋼等の鉄鋼材料で製作されている。原子炉機器や配管内表面は高温水（一次冷却水）との接触によって腐食作用を受け、酸化皮膜が形成される。高温水（一次冷却水）に晒される原子炉機器や配管内表面の接液部位に形成される酸化皮膜に炉水中の放射能が取り込まれ、これが被ばく線源となっている。このような原子炉機器や配管を保守工事等で取り替えた場合、廃棄機器や廃棄配管としてドラム缶に入れて廃棄することになる。本実施例の放射性廃棄物除染方法を上記の廃棄機器や廃棄配管を廃棄する前の除染に適用することで、短い時間で除染でき、かつ廃液量も少ないので廃液処理費用を削減することが可能となる。

40

【 0 0 3 9 】

次に、図 2 を参照しながら、本実施例に係る放射性廃棄物除染方法について説明する。図 2 は、本実施例に係る放射性廃棄物除染方法の手順を示すフロー図である。以下に本実施例の放射性廃棄物除染方法の一連の手順を概略説明した後、各工程の詳細な説明を後述する。

【 0 0 4 0 】

本実施例の放射性廃棄物除染方法は、図 2 に示すように、配管や機器などの除染対象物

50

4 1 の内表面 4 2 に形成した酸化皮膜を溶解させて除染するための薬液 4 3 を調製する薬液調製工程（ステップ S 1）と、除染を行う前に除染対象物 4 1 の放射線量を計測する第 1 の計測工程（ステップ S 2）と、除染対象物 4 1 の酸化皮膜を溶解させて除染するために薬液調製工程で調製した薬液 4 3 を除染対象物 4 1 の内表面 4 2 に塗布する塗布工程（ステップ S 3）と、塗布工程で塗布した薬液 4 3 を除染対象物 4 1 の内表面 4 2 に所定時間とどまるように保持させる薬液保持工程（ステップ S 4）と、除染のために除染対象物 4 1 の内表面 4 2 に塗布した薬液 4 3 の効果を得るために所定時間経過した後に保持させた薬液 4 3 を除去する薬液除去工程（ステップ S 5）と、除染後の除染対象物 4 1 の放射線量がどのくらい低減したか調べるために放射線量を計測する第 2 の計測工程（ステップ S 6）と、第 2 の計測工程で放射線量を計測した結果、除染前の放射線量と比較して 1 / 2 以下に放射線量が低減しているかを判断する判断工程（ステップ S 7）と、判断工程で放射線量が 1 / 2 以下に低減していた場合（ステップ S 7、YES）に薬液除去工程で薬液 4 3 を除去した後の除染対象物 4 1 を洗浄する洗浄工程（ステップ S 8）と、薬液除去工程で除去した薬液 4 3 を廃液処理する廃液処理工程（ステップ S 9）と、の手順から構成されている。なお判断工程で放射線量が 1 / 2 以下に低減していない場合（ステップ S 7、NO）は、ステップ S 3 へ戻り、再度、薬液 4 3 を除染対象物 4 1 の内表面 4 2 に塗布する塗布工程から繰り返す。また初めから高い除染率を得るためにステップ S 3 からステップ S 5 までを複数回繰り返すようにしてもよい。また符号 3 0 で示した破線で囲まれた工程は、現場室内での作業となるが、それ以外のステップ S 1 の工程、およびステップ S 9 の工程は、現場室内で行う必要はなく、例えば、実験室などで行うことができる。上記の各工程の詳細な説明については後述する。

10

20

#### 【0041】

ここで従来の除染方法について図 7 を参照して説明する。従来は、除染対象物 5 8 を薬液 4 3 で満たした除染槽 5 0 に完全に浸漬し、ヒータ 5 7 により 8 0 ~ 1 0 0 程度に薬液 4 3 を加熱して温度を保ちながら除染を行っていた。このような装置を用いた従来の除染方法での除染率は 1 % 程度であった。また除染槽 5 0 の薬液 4 3 が少なくなった場合は薬品供給タンク 5 5 , 5 6 から供給されるようになっている。ゆえに除染槽 5 0 の体積以上の多くの薬液 4 3 が必要であった。除染槽 5 0 の薬液 4 3 を処理する場合は、UV 塔 5 1 に薬液 4 3 を送り、UV 照射 5 2 を行って薬液 4 3 成分を還元して分解する。UV 塔 5 1 で分解しきれなかった薬液 4 3 成分は、イオン交換樹脂塔 5 3 に薬液 4 3 を送り、イオン交換樹脂 5 4 に吸着させて処理していた。除染対象物 5 8 が大型の場合は、除染槽 5 0 を大型化しなければならない。また薬液 4 3 も大量に必要となり、廃液処理の費用も増加する。また従来は上述した一連の除染処理を数日間連続して行っていたため時間がかかり、作業員の負担も増大していた。

30

#### 【0042】

このような従来の除染方法に比べ、本実施例の放射性廃棄物除染方法は、除染対象物 4 1 を薬液 4 3 に浸漬する除染槽 5 0 を必要としないので大量の薬液 4 3 を使用することがない。使用する薬液 4 3 が少量であるため除染後の廃液量も少なく廃液処理に時間と費用がかからない。本実施例では薬液 4 3 をゲル化させ、ゲル状とすることで、除染対象の酸化皮膜表面に薬液 4 3 を塗布することで、薬液 4 3 を酸化皮膜表面に長時間とどめておくことが可能である。薬液 4 3 を酸化皮膜表面に保持させることで、薬液 4 3 が酸化皮膜表面を溶解し、続いて母材金属に薬液 4 3 を浸透させるための十分な時間を確保することができる。これにより放射性物質の除染率を 5 0 % 以上に向上させることができる。また除染作業は室内で行うことができるので、常温（室温）で行うことができる。

40

#### 【0043】

次に、本実施例に係る放射性廃棄物除染方法の各工程について詳細に説明する。

#### 【0044】

薬液調製工程（ステップ S 1）は、除染対象物 4 1 の内表面 4 2 に形成した酸化皮膜を溶解させて除染するための薬液 4 3 を調製する工程である。本実施例で調製する薬液 4 3 は、薬品と薬品を溶解させるための溶媒と薬液 4 3 をゲル化させるためのゲル化剤とを混

50

合して得ることができる。溶媒とゲル化剤との混合割合は、例えば、溶媒：ゲル化剤＝10：1（質量比）程度であることが好ましい。ゲル化剤としては、薬品の種類及び除染対象物の種類に応じて、リン酸架橋でんぷん、セルロース誘導体の何れか1つ以上を含み、溶媒は、純水とマイクロナノバブル含有純水との何れか一方または両方を含む。例えば薬品の酸性が強い場合には、ゲル化剤はリン酸架橋でんぷんよりもラスノンウエル（商品名：萬商株式会社製、セルロース誘導体）の方が好適である。また例えば、除染対象物の薬液43塗布表面形状が単純である場合は混合する溶媒量を少なくしてやや固めのゲル状でも良いが、除染対象物の薬液43塗布表面形状が複雑または小さな凹凸がある場合は混合する溶媒量を多くしてやや柔らかめのゲル状であることが好ましい。このように使用する薬品の種類や除染対象物の種類に応じてゲル化剤の種類や溶媒との混合比率などを適宜選

10

定することができる。本実施例では薬液43をゲル化させてから除染対象の酸化皮膜表面に塗布することで、薬液43を酸化皮膜表面に長時間とどめておくことが可能となる。本実施例においてゲル状とは、薬液43を配管などの内表面42に塗布した場合、塗布した部位に付着したまま流れない状態を保持できることである。具体的には、薬液43の粘度及び流動性は除染対象物に刷毛等で塗布が可能であり、除染対象物の横面や天井面などに塗布しても付着したまま垂れてこない状態を意味する。本実施例では、例えば、少なくとも72時間、好ましくは24時間、さらに好ましくは16時間は塗布した部位に薬液43が保持されている状態を保持できるものとする。この意味で本実施例では、クリーム状や粘性の高い液体なども上記のゲル状に含むものとする。

#### 【0045】

薬液調製工程（ステップS1）において、薬品は、原子力発電プラントの一次系3を構成する配管や機器の内表面42に形成した放射性物質を含む酸化皮膜を溶解させるための薬品である。薬品としては、硝酸系、硫酸系、フッ酸系の何れか1つ又は2種以上を用いてもよい。除去対象の酸化皮膜の種類に応じて、硝フッ酸、硝フッ酸及びシュウ酸、硝フッ酸及び過マンガン酸、硝フッ酸及び過マンガン酸カリウム、硝フッ酸及びクエン酸、の何れか1つ以上を含んでいることが好ましい。例えば、酸化皮膜中の主要成分が鉄系酸化物またはニッケル系酸化物の場合は、硝フッ酸、硝フッ酸及びシュウ酸、硝フッ酸及びクエン酸の何れか1つ以上含んでいるものが挙げられる。また酸化皮膜中の主要成分がクロム系酸化物の場合は、硝フッ酸及び過マンガン酸、硝フッ酸及び過マンガン酸カリウムの何れか1つ以上を含んでいるものが挙げられる。なお上記の過マンガン酸、過マンガン酸カリウムは酸化剤の例として示したものであり、同等の酸化力を有した薬品（酸化剤）であれば好適に用いることができる。また上記のシュウ酸、クエン酸は還元剤の例として示したものであり、同等の還元力を有した薬品（還元剤）であれば好適に用いることができる。酸化皮膜の種類に応じて表面酸化物を溶解する薬品とその後に母材である金属素材そのものを溶解する薬品とを適宜組み合わせる用いることが好適である。本実施例で使用する薬品の濃度としては、硝酸、フッ酸は0.5質量%以上20質量%以下、好ましくは1質量%以上15質量%以下、さらに好ましくは1質量%以上10質量%以下である。またシュウ酸、クエン酸、過マンガン酸、過マンガン酸カリウムは0.005質量%以上0.5質量%以下、好ましくは0.01質量%以上0.3質量%以下、さらに好ましくは0.01質量%以上0.1質量%以下である。

20

30

40

#### 【0046】

本実施例で使用する硝フッ酸の濃度としては、1質量%以上10質量%以下、好ましくは3質量%以上7質量%以下、さらに好ましくは5質量%が好ましい。ゲル化剤としては、例えば、リン酸架橋でんぷん、セルロース誘導体等を挙げることができる。また、酸とゲル化剤を含むものとしてラスノンウエル（商品名：萬商株式会社製）等を挙げることができる。なお上記の酸系の薬品に対して72時間、好ましくは24時間、さらに好ましくは16時間程度、ゲル状態を保持するものであれば公知のゲル化剤を適宜選択することができる。溶媒としては、例えば、純水やマイクロナノバブル含有の純水などを挙げることができる。特に酸化皮膜の種類に応じて皮膜を溶解させるために酸化力を必要とする場合にはマイクロナノバブル含有純水が好適に用いられる。

50

## 【 0 0 4 7 】

第1の計測工程（ステップS2）および第2の計測工程（ステップS6）において放射線量を計測する方法は、例えば、GM管式サーベイメーターなどで行うことができるので詳細な説明は省略する。判断工程（ステップS7）で判断する除染率は、第1の計測工程（ステップS2）で計測した除染を行う前の除染対象物41の放射線量と、第2の計測工程（ステップS6）で計測した除染後の除染対象物41の放射線量とから求めることができる。本実施例の放射性廃棄物除染方法による除染率は、30%以上、好ましくは50%以上、より好ましくは90%以上である。

## 【 0 0 4 8 】

図3は、本実施例のゲル化させた薬液を配管内表面に塗布した状態を示す図である。図4は、薬液を塗布した配管を図3の矢印X方向から見た図である。塗布工程（ステップS3）および薬液保持工程（ステップS4）では、除染対象、例えば、一次系3配管の内表面42に形成された酸化皮膜に薬液43を浸透させるために所定の時間、酸化皮膜表面に薬液43をとどめておく必要がある。本実施例では、薬液保持工程（ステップS4）で酸化皮膜表面に薬液43をとどめておくためにゲル化剤を用いて薬液43をゲル化させて、ゲル状とした。図3及び図4に示すように、薬液保持工程（ステップS4）はゲル化させた薬液43を除染対象の酸化皮膜表面に塗布するだけで、酸化皮膜表面に薬液43を長時間とどめることができる。薬液43の塗布量としては、塗り厚さが、好ましくは0.5mm以上5mm以下、より好ましくは1mm以上3mm以下、さらに好ましくは1mmである。上記の塗り厚さで薬液43を酸化皮膜表面に72時間、好ましくは24時間、さらに好ましくは16時間程度保持させることで十分な除染効果を得ることができる。

## 【 0 0 4 9 】

塗布工程（ステップS3）において、薬液43を保持するための薬液43の塗布方法としては、例えば、簡易な方法として刷毛やへら等を用いて、除染したい配管の内表面42に塗布することが挙げられる。また放射線量が高い場合は作業中に被ばくするおそれがあるため、例えば、ロボットハンドなどの遠隔操作により刷毛やへら等を用いて、除染したい配管の内表面42に塗布することで被ばくを防止し除染作業を行うことができる。このように本実施例はロボットハンドと刷毛のような簡易な塗布装置で被ばくすることなく施工することができる。

## 【 0 0 5 0 】

図5は、基材に薬液を保持させた貼り剤を示す図である。図6は、除染対象物の配管内表面に貼り剤を貼った状態を示す図である。塗布工程（ステップS3）及び薬液保持工程（ステップS4）において、他の薬液43の保持方法としては、ゲル化させた薬液43を、例えば図5に示すように、所定の面積を有した不織布などの基材44上に塗布して薬液43を保持した貼り剤45を作製する。そして図6に示すように、患部に湿布を貼るようにならぬ除染対象の酸化皮膜表面に貼り剤45を貼り付けることで、薬液43を酸化皮膜表面に長時間とどめておくことができる。貼り剤45を用いた場合、薬液43を除去する際は湿布を剥がすがごとく、貼り剤45を剥がすだけで薬液43を除去することができる。なお図6では貼り剤45を分かりやすくするために、貼り剤45と貼り剤45との間に隙間を設けて示してあるが、実際の施工では貼り剤45は隙間無く貼り付けることが好ましい。

## 【 0 0 5 1 】

上述したように薬液43を酸化皮膜表面に保持させることで、薬液43が酸化皮膜表面を溶解し、続いて母材金属に薬液43を浸透させるための十分な時間を確保することができる。これにより放射性物質の除染率を向上させることができる。なお本実施例では薬液43を酸化皮膜表面にとどめておく時間としては、除染作業時間の短縮のために72時間以下、好ましくは24時間以下、さらに好ましくは16時間以下であることが好ましい。本実施例ではゲル状の強い酸性の薬液43を除染対象部分に塗布することにより、簡易な方法で除染処理を行うことが可能となる。また上記の除染処理は室内で行うことができるので常温（室温）で除染効果が得られるものである。なお、ゲル状の薬液43の塗布は1回だけに限ることはなく、除染作業中に何度も繰り返して塗布することができる。また、

除染作業中に1度塗布した薬液43を除去した後、再度薬液43を塗布するという作業を複数回繰り返すことで除染率を向上させることが可能である。

【0052】

薬液除去工程(ステップS5)は、薬液43を塗布してから所定時間経過後に酸化皮膜表面に保持させた薬液43を除去する工程である。本実施例では、酸化皮膜表面に塗布した薬液43はゲル状であるため、簡易な方法、例えば、へら状のスクレパーなどにより取り除くことができる。また貼り剤45を用いた場合は配管の内表面42に貼り付けている貼り剤45を剥がすことで薬液43を取り除くことができる。なおゲル状の薬液43を取り除けるものであればスクレパー等に限らず適宜道具を選択して使用することができる。また放射線量が高い場合は作業中に被ばくするおそれがあるため、例えば、ロボットハンドなどの遠隔操作によりスクレパー等を用いて、塗布した薬液43を除去することで被ばくを防止し除染作業を行うことができる。このように本実施例はロボットハンドとスクレパーのような簡易な除去装置で被ばくすることなく施工することができる。その他の除去方法としては、所定時間経過後に薬液43を塗布した配管を冷却してゲル状の薬液43を凍らせる。その後、凍った薬液43を、例えばハンマーなどで衝撃を加えて割り、その破片を取り除くことで塗布した薬液43を容易に除去することができる。この方法は形状が複雑でへら状のスクレパーなどでは拭き取りにくい除染対象物41に対して有効な方法である。

10

【0053】

洗浄工程(ステップS8)は、薬液除去工程(ステップS5)で取り除くことができなかった薬液43を除去する工程である。本実施例では、薬液43はゲル状であるため、へら状のスクレパーなどで取り除けなくても洗浄剤や溶剤を使用する必要はない。例えば、ウエスのようなもので拭き取るだけで除去することができる。これにより洗浄剤などを使用しないので、廃液処理を行う必要がない。また使用したウエスを廃棄するだけで良いし、除染に使用した廃液や廃棄物の量を大幅に削減することが可能となる。

20

【0054】

廃液処理工程(ステップS9)は、薬液除去工程(ステップS5)で剥がし取ったゲル状の薬液43を処理する工程である。廃液の処理は取り除いた薬液43を、例えば、純水などの溶媒に溶解させた後、例えば、水酸化カルシウムや炭酸カルシウムなどの中和剤を混合して、フッ化カルシウムとして生成させた化合物を廃棄物として処理することができる。またシュウ酸やクエン酸などは酸化剤や触媒を利用して薬剤を二酸化炭素と水とに分解することができる。本実施例の薬液43はゲル状のため塗布量も厚さ1mm程度と使用量も少なく済むので、廃液処理量及び廃棄物量を大幅に削減することができる。本実施例によれば、廃液処理に係る廃棄物量は従来に比べて1/100以下とすることが可能である。なお中和剤に用いる薬品は上記に限ることはなく、薬液43の成分に対して化合物を生成させる薬品であれば良く、その中和処理方法も適宜選択することができる。さらに本実施例の廃液処理工程は、図7に示した従来の除染方法のように大量の薬液43を処理する必要はないので、廃液処理のためのUV塔51やイオン交換樹脂塔53などの大がかりな処理装置を削減することができる。

30

【0055】

(本実施例の効果)

本実施例の放射性廃棄物除染方法は、薬液をゲル化させてゲル状としたことで、除染対象の酸化皮膜表面に薬液を塗布し、薬液を酸化皮膜表面に長時間とどめておくことが可能となった。薬液を酸化皮膜表面に長時間保持させることで、薬液が酸化皮膜表面を溶解し、続いて母材金属に薬液を浸透させるための十分な時間を確保することができる。これにより放射性物質の除染率を向上させることができる。また薬液を酸化皮膜表面に十分に接触保持させられるため、従来よりも短い時間で除染処理を行うことができる。

40

【0056】

本実施例の薬液はゲル状のため簡易な方法として刷毛やへら等を用いて、除染対象物の内表面に塗布することができる。またスクレパー等を用いて、塗布した薬液を除去するこ

50

とができる。このため、ロボットハンドなどの遠隔操作により、刷毛やへら等を用いて薬液を塗布し、スクレパー等を用いて薬液を除去できるため放射線量が高い場合でも被ばくを防止しながら除染作業を行うことができる。このように本実施例はロボットハンドと刷毛のような簡易な塗布装置、ロボットハンドとスクレパーのような簡易な除去装置で被ばくすることなく施工することができる。

【 0 0 5 7 】

本実施例の放射性廃棄物除染方法は、除染対象物を薬液に浸漬する除染槽を必要としないので、使用する薬液が少量であるため除染後の廃液量及び廃棄物量も少なく廃液処理に時間と費用がかからない。さらに従来のように大量の薬液を処理する必要がないので、廃液処理のためのUV塔やイオン交換樹脂塔などの大がかりな処理装置を削減することができる。

10

【符号の説明】

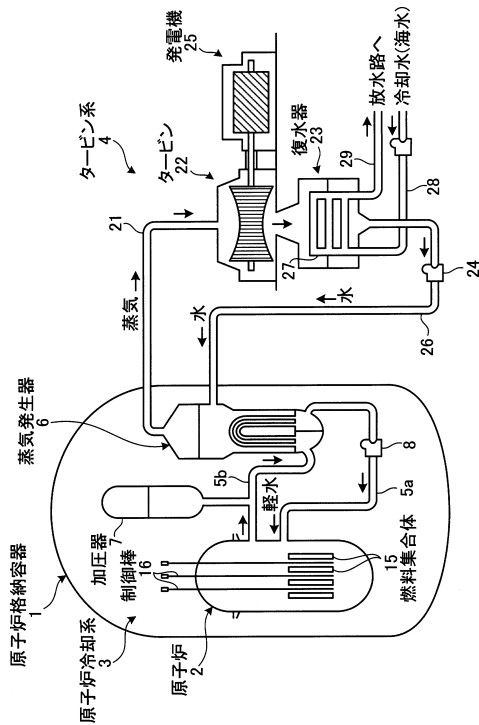
【 0 0 5 8 】

- 1 原子炉格納容器
- 2 原子炉
- 3 原子炉冷却系（一次系）
- 4 タービン系（二次系）
- 4 1 除染対象物（配管）
- 4 2 内表面
- 4 3 薬液
- 4 4 基材
- 4 5 貼り剤
- 5 0 除染槽
- 5 1 UV塔
- 5 2 UV
- 5 3 イオン交換樹脂塔
- 5 4 イオン交換樹脂
- 5 5、5 6 薬品供給タンク
- 5 7 ヒータ
- 5 8 除染対象物

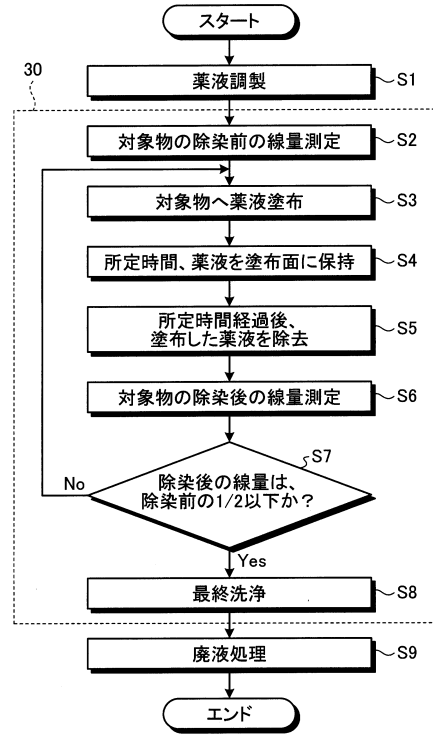
20

30

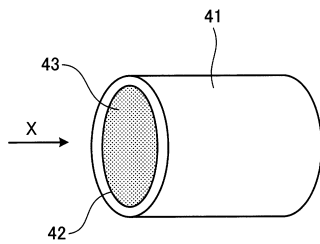
【図1】



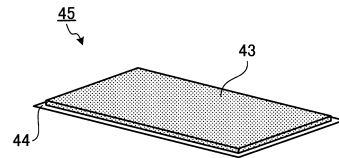
【図2】



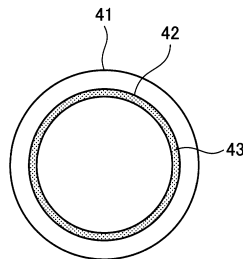
【図3】



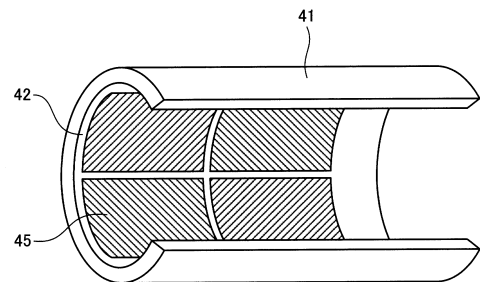
【図5】



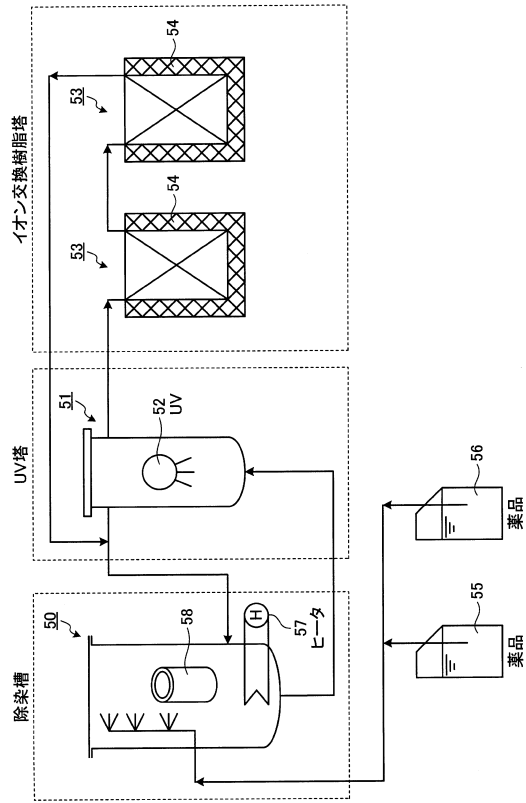
【図4】



【図6】



【図7】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平03 - 090897 (JP, A)  
特開平01 - 242792 (JP, A)  
特表2005 - 537462 (JP, A)  
特開2010 - 234205 (JP, A)  
特開昭63 - 186194 (JP, A)  
特開平07 - 020291 (JP, A)  
特開平05 - 273389 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 2 1 F	9 / 2 8
G 2 1 F	9 / 0 6
C 2 3 G	1 / 0 0 - 5 / 0 6
C 0 2 F	1 / 5 8 - 1 / 6 4