(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6284864号
(P6284864)

(45)発行日　平成30年2月28日(2018.2.28)　(24)登録日　平成30年2月9日(2018.2.9)

| (51)Int.Cl. | | | F I | | |
|---|---|---|---|---|---|
| G21F | 9/12 | (2006.01) | G21F | 9/12 | 501J |
| G21F | 9/06 | (2006.01) | G21F | 9/06 | 521C |
| B60P | 3/00 | (2006.01) | B60P | 3/00 | Q |

請求項の数 7　(全 14 頁)

(21)出願番号　特願2014-194433(P2014-194433)
(22)出願日　平成26年9月24日(2014.9.24)
(65)公開番号　特開2016-65787(P2016-65787A)
(43)公開日　平成28年4月28日(2016.4.28)
審査請求日　平成28年9月1日(2016.9.1)

(73)特許権者　000001199
株式会社神戸製鋼所
兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目２番４号
(74)代理人　100120329
弁理士　天野　一規
(74)代理人　100159499
弁理士　池田　義典
(74)代理人　100158540
弁理士　小川　博生
(74)代理人　100106264
弁理士　石田　耕治
(74)代理人　100176876
弁理士　各務　幸樹

最終頁に続く

(54)【発明の名称】汚染水処理方法及び汚染水処理システム

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
放射性ストロンチウム及びストロンチウム以外のアルカリ土類金属を含有する汚染水から上記放射性ストロンチウムを除去するための汚染水処理方法であって、
上記汚染水を貯留する水槽から上記汚染水を移動可能な吸着ユニットに供給する工程を備え、
上記吸着ユニットが、ストロンチウムを選択的に吸着する吸着剤と、浮遊物質又は油分を濾し取る濾材とが充填されている複数の吸着塔を有し、
上記濾材が多孔質体であって上記吸着剤を担持し、
上記吸着ユニットから排出される処理水を、上記吸着ユニットに上記汚染水を供給する上記水槽に還流させ、さらに
上記複数の吸着塔の各々から排出される処理水のストロンチウム濃度を測定することによって吸着塔毎に上記吸着剤の飽和度を判定する汚染水処理方法。
【請求項２】
上記複数の吸着塔が直列に接続される請求項１に記載の汚染水処理方法。
【請求項３】
最上流の上記吸着塔を取り外して最下流に新しい吸着塔を追加する工程をさらに備える請求項２に記載の汚染水処理方法。
【請求項４】
上記汚染水が放射性ストロンチウム以外の放射性元素をさらに含み、

上記吸着ユニットから排出される処理水中の上記放射性ストロンチウム以外の放射性元素を吸着剤により除去する工程をさらに備える請求項１、請求項２又は請求項３に記載の汚染水処理方法。

【請求項５】

上記吸着塔にセシウムを選択的に吸着する吸着剤がさらに充填されている請求項１から請求項４のいずれか１項に記載の汚染水処理方法。

【請求項６】

放射性ストロンチウム及びストロンチウム以外のアルカリ土類金属を含有する汚染水から上記放射性ストロンチウムを除去するための汚染水処理システムであって、

移動可能な吸着ユニットと、

上記吸着ユニットに供給する上記汚染水を貯留する水槽とを備え、

上記吸着ユニットが、ストロンチウムを選択的に吸着する吸着剤と、浮遊物質又は油分を濾し取る濾材とが充填されている複数の吸着塔を有し、

上記濾材が多孔質体であって上記吸着剤を担持し、

上記吸着ユニットから排出される処理水を、上記吸着ユニットに上記汚染水を供給する上記水槽に還流させ、さらに

上記複数の吸着塔の各々から排出される処理水のストロンチウム濃度を測定することによって吸着塔毎に上記吸着剤の飽和度を判定することを特徴とする汚染水処理システム。

【請求項７】

上記複数の吸着塔へ汚染水を供給するポンプと、このポンプを載置する自走可能な台車とを有する移動可能なポンプユニットをさらに備える請求項６に記載の汚染水処理システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、汚染水処理方法及び汚染水処理システムに関する。

【背景技術】

【０００２】

放射性セシウム、放射性ストロンチウム等の放射性元素を含有する汚染水は、環境破壊を防止するために放射性元素を除去しなければ排出することが許されない。放射性元素含有汚染水の従来の処理方法は、ＳＡＲＲＹ（単純型汚染水処理システム：Ｓｉｍｐｌｉｆｉｅｄ Ａｃｔｉｖｅ Ｗａｔｅｒ Ｒｅｔｒｉｅｖｅ ａｎｄ Ｒｅｃｏｖｅｒｙ Ｓｙｓｔｅｍ）によって放射性セシウム及び非放射性同位体を除去する工程と、鉄共沈処理によって有機物及びα核種（アルファ崩壊する核物質）を除去する工程と、炭酸塩沈殿処理によりカルシウム、マグネシウム等のアルカリ土類金属を除去する工程と、吸着剤を充填した吸着塔を使用する吸着処理により放射性ストロンチウム、放射性ヨウ素、放射性セシウム、放射性アンチモン等の残留する放射性元素を除去する工程とを備える。

【０００３】

ところで、放射性元素の中でもストロンチウムは、アルカリ土類金属に分類され、カルシウム等のストロンチウム以外のアルカリ土類金属とよく似た性質を有する。このため、炭酸塩沈殿処理ではストロンチウムもストロンチウム以外のアルカリ土類金属と共に沈殿するので、分離した沈殿物には放射性ストロンチウムも含まれる。従って、鉄共沈処理により分離される水酸化鉄スラリー及び炭酸塩沈殿処理により分離される炭酸塩スラリーは、いずれも放射性元素を含んでいるため、所定の容器に封入して放射性廃棄物として最終処分する必要がある。この結果、従来の放射性物質含有汚染水の処理方法では、多量の放射性廃棄物が排出される。

【０００４】

ここで、上記のようなスラリー状の放射性廃棄物を低減するために、炭酸塩沈殿処理を行うことなく、ストロンチウム（非放射性同位体を含む）を選択的に吸着するストロンチウム用吸着剤を使用して放射性ストロンチウムを除去することも提案されている（特許第

５０７３１１１号公報）。しかしながら、放射性元素含有汚染水は、浮遊物質（ＳＳ：Ｓｕｓｐｅｎｄｅｄ　Ｓｏｌｉｄｓ）や油分を含むことがある。浮遊物質や油分は、鉄共沈処理では完全に除去できないことが多く、ストロンチウム用吸着剤に付着し、吸着剤の性能（通水能力）を低下させる。このため、ストロンチウム用吸着剤を使用する場合、吸着剤を充填した吸着塔を頻繁に交換しなければならず、稼働率が低下する場合がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

【特許文献１】特許第５０７３１１１号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

上記不都合に鑑みて、本発明は、放射性ストロンチウム及びストロンチウム以外のアルカリ土類金属を含有する汚染水からストロンチウムを選択的に除去できる稼働率の高い汚染水処理方法及び汚染水処理システムを提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

上記課題を解決するためになされた発明は、放射性ストロンチウム及びストロンチウム以外のアルカリ土類金属を含有する汚染水から上記放射性ストロンチウムを除去するための汚染水処理方法であって、上記汚染水を移動可能な吸着ユニットに供給する工程を備え、上記吸着ユニットが、ストロンチウムを選択的に吸着する吸着剤が充填されている複数の吸着塔を有することを特徴とする。

【０００８】

当該汚染水処理方法は、ストロンチウムを選択的に吸着する吸着剤を使用することにより、ストロンチウム以外のアルカリ土類金属を除去する工程を経ることなく、放射性ストロンチウムを除去できる。このため、当該汚染水処理方法は、放射性元素を含むアルカリ土類金属の廃棄物を排出しないので、最終処分すべき放射性廃棄物の総量を抑制できる。また、当該汚染水処理方法は、複数の吸着塔を有する吸着ユニットを使用するので、各吸着塔に充填された吸着剤を有効に利用できることによっても、放射性廃棄物の排出を抑制できる。また、当該汚染水処理方法は、移動可能な吸着ユニットを使用するため、汚染水を貯留する水槽の近傍に、吸着ユニットを含む汚染水処理システムを容易に設置及び撤去できると共に吸着ユニットを容易に交換できるので、汚染水処理の稼働率を高くできる。

【０００９】

上記吸着ユニットから排出される処理水を上記汚染水が貯留される水槽に還流させるとよい。このように、処理水を汚染水の水槽に還流させることで、当該汚染水処理方法は、処理水を貯留する水槽の放射性元素による汚染度を低下させることができ、水槽のメンテナンス、解体、除染等が容易となる。また、処理水を還流させることで、処理水を受け入れる別の水槽を設置する必要がなく、汚染を拡大しない。

【００１０】

上記複数の吸着塔が直列に接続されるとよい。このように、吸着塔を直列に接続すれば、処理水から段階的に放射性ストロンチウムを除去することで、放射性ストロンチウムの除去率を高められる。

【００１１】

最上流の上記吸着塔を取り外して最下流に新しい吸着塔を追加する工程をさらに備えるとよい。このように、最上流の上記吸着塔を取り外して最下流に新しい吸着塔を追加することにより、吸着能力に余力のある吸着塔を下流側に配置して上流側の比較的古い吸着塔をバックアップすることによって放射性ストロンチウムの除去を担保できるので、上流側の吸着塔の吸着剤の吸着能力を使い切ることができる。

【００１２】

上記汚染水が放射性ストロンチウム以外の放射性元素をさらに含み、上記吸着ユニット

から排出される処理水中の上記放射性ストロンチウム以外の放射性元素を吸着剤により除去する工程をさらに備えるとよい。このように処理水中に残留する放射性ストロンチウム以外の放射性元素を除去する後工程を備えることで、放射性元素の除去をより完全なものとすることができる。

【００１３】

上記吸着塔にセシウムを選択的に吸着する吸着剤がさらに充填されているとよい。このように、吸着ユニットの吸着塔においてＳＡＲＲＹ（単純型汚染水処理システム）による処理後に残留するセシウム（放射性セシウム及び非放射性同位体）を除去することによって、放射性元素の除去をより完全なものとすることができる。

【００１４】

上記汚染水が浮遊物質又は油分をさらに含み、上記吸着塔に上記浮遊物質又は油分を濾し取る濾材が充填されているとよい。このように、吸着塔に濾材を充填することによって、浮遊物質や油分が後工程の機能を阻害しないようにできる。

【００１５】

また、上記課題を解決するためになされた別の発明は、放射性ストロンチウム及び放射性ストロンチウム以外のアルカリ土類金属を含有する汚染水から上記放射性ストロンチウムを除去するための汚染水処理システムであって、移動可能な吸着ユニットを備え、上記吸着ユニットが、ストロンチウムを選択的に吸着する吸着剤が充填されている複数の吸着塔を有することを特徴とする。

【００１６】

当該汚染水処理システムは、ストロンチウムを選択的に吸着する吸着剤を使用することにより、ストロンチウム以外のアルカリ土類金属を除去する必要がない。このため、当該汚染水処理システムは、放射性元素を含むアルカリ土類金属の廃棄物を排出しないので、最終処分すべき放射性廃棄物の総量を抑制できる。また、当該汚染水処理システムは複数の吸着ユニットを効率よく利用することによっても、最終処分すべき放射性廃棄物の排出量を抑制できる。さらに、当該汚染水処理システムは、移動可能な吸着ユニットを備えることによって、設置及び撤去並びに吸着ユニットの交換が容易であるので、稼働率を高められる。

【００１７】

上記複数の吸着塔へ汚染水を供給するポンプと、このポンプを載置する自走可能な台車とを有する移動可能なポンプユニットをさらに備えるとよい。このように、移動可能なポンプユニットを有することで、吸着ユニットと同様にポンプユニットの汚染水を貯留する水槽の近傍への設置及び撤去が容易となる。その結果、当該汚染水処理システムの稼働率を高くできる。

【発明の効果】

【００１８】

本発明の汚染水処理方法及び汚染水処理システムは、ストロンチウムを選択的に吸着する吸着剤を使用することにより、ストロンチウム以外のアルカリ土類金属を除去する必要がないので放射性廃棄物の総量を抑制できる。また、当該汚染水処理方法及び汚染水処理システムは、移動可能な吸着ユニットを使用するため、吸着ユニットの設置及び撤去並びに交換が容易であり、汚染水処理の稼働率を高くできる。

【図面の簡単な説明】

【００１９】

【図１】本発明の一実施形態の汚染水処理システムの構成を示すプロセスフロー図である。

【図２】図１の汚染水処理システムの吸着ユニットの接続を示すプロセスフロー図である。

【図３】本発明の一実施形態の汚染水処理方法の手順を示す流れ図である。

【図４】図１とは異なる実施形態の汚染水処理システムの構成を示すプロセスフロー図である。

【図５Ａ】図４の汚染水処理システムの吸着ユニットのバルブパターンを示すプロセスフロー図である。
【図５Ｂ】図４の汚染水処理システムの吸着ユニットの吸着塔交換時のバルブパターンを示すプロセスフロー図である。
【図５Ｃ】図４の汚染水処理システムの吸着ユニットの図５Ｂの次のバルブパターンを示すプロセスフロー図である。
【発明を実施するための形態】
【００２０】
以下、適宜図面を参照しつつ、本発明の実施の形態を詳説する。
【００２１】
［第一実施形態］
図１の汚染水処理システムは、原水槽１０と、移動可能なポンプユニット２０と、移動可能な吸着ユニット３０と、吸着ユニット３０から排出される処理水を貯留する処理水槽４０とを備える。原水槽１０、ポンプユニット２０、吸着ユニット３０及び処理水槽４０は、流路を構成する配管を介して接続される。
【００２２】
＜原水槽＞
原水槽１０には、汚染原水に対し、ＳＡＲＲＹ（単純型汚染水処理システム）によって放射性セシウムを除去する一次処理、並びに鉄共沈処理によって有機物及びα核種を除去する二次処理を施した中間汚染水（以下、単に汚染水と呼ぶことがある）が貯留される。
【００２３】
当該汚染水処理システムは、炭酸塩沈殿処理等の処理によってアルカリ土類金属を除去することなく、放射性ストロンチウム及びストロンチウム以外のアルカリ土類金属を含有する汚染水から主に放射性ストロンチウムを除去する三次処理を行うためのシステムである。
【００２４】
上記汚染原水としては、例えば原子炉から漏えいした冷却水、地下水、海水等に種々の異物が混合した水と、放射性ストロンチウム、放射性セシウム等の放射性元素と、カルシウム、マグネシウム等の放射性ストロンチウムの以外のアルカリ土類金属と、有機物等の浮遊物質（ＳＳ）及び油分とを含むものが想定される。
【００２５】
このような原水槽１０は、汚染原水の量が多い場合には、例えば容量１０００ｋＬ以上のものが多数設けられ得る。
【００２６】
＜ポンプユニット＞
ポンプユニット２０は、原水槽１０から汚染水を送出する１又は複数の給水ポンプ２１と、この１又は複数の給水ポンプ２１が載置される自走可能な台車（自動車）２２とを有する。また、ポンプユニット２０は、給水ポンプ２１を駆動するためのエンジン、発電機等を有してもよく、外部から電力の供給を受けてもよい。給水ポンプ２１の形式等は特に限定されないが、汚染水が外部に漏出しない完全密閉式のポンプであることが好ましい。また、複数のポンプユニット２０を並列に接続してもよい。
【００２７】
＜吸着ユニット＞
吸着ユニット３０は、自走可能な台車（自動車）３１と、この台車３１の上に配置される３つの吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃとを有する。吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃには、ストロンチウムを選択的に吸着するストロンチウム用吸着剤が充填されている。複数の吸着ユニット３０を並列又は直列に接続してもよい。
【００２８】
（ストロンチウム用吸着剤）
ストロンチウム用吸着剤としては、例えばカルシウム及びマグネシウムを透過せず、ス

トロンチウムを選択的に透過する膜を表面に有し、ストロンチウムを吸着する無機材料を内部に有するカプセル状の吸着剤が使用できる。

【００２９】

上記ストロンチウムを選択的に透過する膜としては、例えばカルシウムアルギン酸膜等が挙げられる。

【００３０】

また、ストロンチウムを吸着する無機材料としては、Ａ型ゼオライト、Ｘ型ゼオライト等が挙げられる。

【００３１】

このようなストロンチウム用吸着剤は、浮遊物質及び油分を濾し取る濾材としても機能する多孔質体に担持させることが好ましい。このような担持体としては、活性炭、ゼオライト等が挙げられる。

【００３２】

また、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃには、ストロンチウム用吸着剤の担持体とは別に、浮遊物質及び油分を濾し取る濾材が充填されてもよい。

【００３３】

さらに、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃには、ストロンチウム用吸着剤に加えて、セシウムを選択的に吸着するセシウム用吸着剤が充填されていることが好ましい。

【００３４】

セシウム用吸着剤としては、ゼオライト、フェロシアン化金属化合物等が挙げられる。ゼオライトは、セシウム選択性はあまり高くないが、他の放射性元素を吸着でき、上記担持体及び上記濾材としても機能するため好適である。また、フェロシアン化金属化合物は、塩水中でのセシウム吸着効果が高いので汚染水が海水等を含む場合には特に有効である。フェロシアン化金属化合物としては、フェロシアン化鉄、フェロシアン化コバルト、フェロシアン化ニッケル等が挙げられ、中でも放射性セシウム吸着能力に優れるフェロシアン化鉄が好ましい。

【００３５】

吸着ユニット３０において、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃは、例えば図２に示すように接続される。吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃは、給水側に給水三方弁３３ａ，３３ｂ，３３ｃを有し、排水側に排水三方弁３４ａ，３４ｂ，３４ｃを有する。

【００３６】

各給水三方弁３３ａ，３３ｂ，３３ｃの１つのポートは、ポンプユニット２０から汚染水が供給される供給流路（配管）３５がそれぞれ接続される。また、各排水三方弁３４ａ，３４ｂ，３４ｃの１つのポートは、排出流路（配管）３６を介して処理水槽４０に接続される。一方、第１の吸着塔３２ａの排出三方弁３４ａのもう１つのポートは、第１の中間流路３７ａを介して第２の吸着塔３２ｂの給水三方弁３３ｂのもう１つのポートに接続される。また、第２の吸着塔３２ｂの排出三方弁３４ｂのもう１つのポートは、第２の中間流路３７ｂを介して第３の吸着塔３２ｃの給水三方弁３３ｃのもう１つのポートに接続される。また、第３の吸着塔３２ｃの排出三方弁３４ｃのもう１つのポートは、第３の中間流路３７ｃを介して第１の吸着塔３２ａの給水三方弁３３ａのもう１つのポートに接続される。

【００３７】

＜処理水槽＞

処理水槽４０は、吸着ユニット３０から排出される処理水を貯留する水槽である。この処理水槽４０としては、汚染水の貯留に使用されたことのない新品のタンク、汚染水の排出後に除染されたタンク、又は原水槽１０に貯留する汚染水と比べて十分に放射性元素の含有量が少ない汚染水を貯留したタンクが使用される。

【００３８】

この処理水槽４０に貯留された処理水は、放射性元素が残留していないことが確認されてから、又は残留する放射性元素を除去する次の処理工程において残留する放射性元素が

除去されてから、例えば海洋へ放出される。

【００３９】

［汚染水処理方法］

これより、図１の汚染水処理システムを用いる汚染水処理方法について説明する。

【００４０】

当該汚染水処理方法は、図３に示すように、ＳＡＲＲＹによるセシウム除去工程（ステップＳ１）と、鉄共沈処理による有機物及びα核種除去工程（ステップＳ２）と、上記汚染水処理システムによるストロンチウム除去工程（ステップＳ３）と、吸着処理による残留放射性元素除去工程（ステップＳ４）とを備える。

【００４１】

＜セシウム除去工程＞

ステップＳ１のセシウム除去工程では、ＳＡＲＲＹによって、汚染原水から放射性セシウム（及び非放射性同位体）を吸着除去する。ＳＡＲＲＹについては公知であるため、詳細な説明を省略する。このセシウム除去工程において放射性セシウムが少なくとも部分的に除去された中間汚染水は、不図示の水槽に貯留される。

【００４２】

＜有機物及びα核種除去工程＞

ステップＳ２の有機物及びα核種除去工程では、鉄共沈処理により、有機物及びα核種を沈殿除去する。鉄共沈処理については公知であるため、詳細な説明を省略する。この有機物及びα核種除去工程においてさらに有機物及びα核種が除去された中間汚染水は、図１の原水槽１０に貯留される。

【００４３】

＜ストロンチウム除去工程＞

ステップＳ３のストロンチウム除去工程は、当該汚染水処理システムを組み立てる工程と、吸着ユニット３０の吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃへ汚染水を供給する工程と、排出される処理水の放射線量が増加したときに吸着ユニット３０を交換する工程と、当該汚染水処理システムを撤去する工程とを有する。

【００４４】

（組み立て工程）

汚染水処理システムの組み立ては、先ず、ポンプユニット２０の台車２２及び吸着ユニット３０の台車３１を自走させ、ポンプユニット２０及び吸着ユニット３０を原水槽１０の近傍に駐車する。次いで、原水槽１０とポンプユニット２０との間、ポンプユニット２０と吸着ユニット３０との間、及び吸着ユニット３０と処理水槽４０との間の配管を接続する。

【００４５】

（汚染水供給工程）

汚染水供給工程では、ポンプユニット２０の給水ポンプ２１を駆動することにより、原水槽１０から汚染水を引き抜いて、吸着ユニット３０の吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃへ供給する。例えば、原水槽１０における放射能濃度が１０万ベクレル程度である場合に、このストロンチウム除去工程において、吸着ユニット３０から排出される処理水の放射能濃度が１００ベクレル以下となると考えられる。

【００４６】

（吸着ユニット交換工程）

さらに、当該汚染水処理方法では、当該汚染水処理システムの処理流量を監視すると共に、排出流路３６から処理水を定期的にサンプリングして処理水の放射線量を測定する。そして、処理流量が所定の下限値以下となったとき、及び処理水の放射線量が予め定めた上限値以上となったときには、給水ポンプ２１の駆動を中断して、吸着ユニット３０を新しいものに交換する。なお、放射線量の上限値は、サンプリング間隔及び放射線量の測定に要する時間を考慮して、十分に低い値に設定する。

【００４７】

吸着ユニット３０の交換は、古い吸着ユニット３０を自走させて当該廃水処理システムから撤去し、これにより空いたスペースに新しい吸着ユニット３０を自走させて配置する。また、撤去した古い吸着ユニット３０は、そのまま自走させることにより、放射性廃棄物の処理を行う場所に移動してもよい。

【００４８】

（撤去工程）

原水槽１０の汚染水をすべて処理できたならば、原水槽１０とポンプユニット２０との間、ポンプユニット２０と吸着ユニット３０との間、及び吸着ユニット３０と処理水槽４０との間の各配管を取り外し、ポンプユニット２０及び吸着ユニット３０を自走させて当該汚染水処理システムを撤去する。

【００４９】

また、撤去したポンプユニット２０及び吸着ユニット３０を自走させて、別の原水槽１０の近傍に移動し、別の原水槽１０に貯留されている汚染水から放射性ストロンチウムを除去する汚染水処理システムを組み立てるために使用してもよい。

【００５０】

＜残留放射性元素除去工程＞

ステップＳ４の残留放射性元素除去工程では、放射性元素を吸着する吸着剤を用いて処理水槽４０に貯留する処理水から残留する放射性元素を除去する。使用する吸着剤等、残留放射性元素除去工程の条件は公知であるため、詳細な説明は省略する。なお、この残留放射性元素除去工程は、ステップＳ１のセシウム除去工程、ステップＳ２の有機物及びα核種除去工程、並びにステップＳ３のストロンチウム除去工程の能力が十分に高い場合には省略してもよい。

【００５１】

＜利点＞

当該汚染水処理方法では、処理水に対して炭酸塩沈殿処理等の前処理を行うことなく、当該汚染水処理システムの吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃにおいて処理水中のストロンチウムを選択的に吸着するので、放射性廃棄物となる汚泥を生じさせることなく、処理水から放射性ストロンチウムを除去することができる。

【００５２】

当該汚染水処理システムは、ポンプユニット２０及び吸着ユニット３０が自走可能であるので、当該汚染水処理システムの組み立て及び撤去、並びに吸着ユニット３０の交換のためにクレーン車等の重機を必要としない。このため、当該汚染水処理システムは、ダウンタイムが短く、稼働率を高くできる。

【００５３】

また、当該汚染水処理システムは、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃにストロンチウムを選択的に吸着する吸着剤が充填されているので、汚染水中にカルシウムやマグネシウムが存在していても、放射性ストロンチウム（及び非放射性同位体）を効率よく除去できる。これにより、当該汚染水処理システムは、炭酸塩沈殿処理によるアルカリ土類金属の除去を必要としないので、放射性元素を含む炭酸塩スラリーを排出せず、最終処分すべき放射性廃棄物の排出量を低減できる。

【００５４】

また、当該汚染水処理システムでは、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃに濾材を充填することにより、汚染水中の浮遊物質や油分も除去することができる。このため、次の工程で残留する放射性元素を容易に除去できる。

【００５５】

また、当該汚染水処理システムでは、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃにセシウム用吸着剤も充填することにより、ＳＡＲＲＹによって除去しきれずに汚染水中に残留する放射性セシウムも除去することができる。これにより、ＳＡＲＲＹの負荷を低減することができる。

【００５６】

特に、放射性セシウムは、γ線を放出する放射性元素であるため、処理水中に残留していると処理水を貯留する水槽の外部にγ線が漏えいするため、完全に除去することが望まれる。従って、当該汚染水処理システムは、放射性セシウム除去能力を併せ持つことが好ましい。このように、当該汚染水処理システムによって、放射性セシウム及び放射性ストロンチウムを除去することで、処理水槽からの放射線の漏出を防止できる。このため、当該汚染水処理システムの処理水を処理水槽に貯留した状態で置いておいても放射能に係るリスクは比較的小さいので、最終処理を遅らせることができる

【００５７】

また、当該汚染水処理システムでは、処理水槽４０の放射性元素濃度を十分に低くすることができる。これにより、将来、この処理水槽４０を解体して除染する際に、その作業が容易となる。

【００５８】

［第二実施形態］

図４の汚染水処理システムは、原水槽１０から汚染水を送出する移動可能なポンプユニット２０と、ポンプユニット２０により汚染水が供給される移動可能な吸着ユニット３０とを備え、吸着ユニット３０から排出される処理水が原水槽１０に還流される。

【００５９】

図４の汚染水処理システムにおいて、原水槽１０、ポンプユニット２０及び吸着ユニット３０の構成は、図１の汚染水処理システムにおける原水槽１０、ポンプユニット２０及び吸着ユニット３０の構成と同様であるため、重複する説明は省略する。

【００６０】

［汚染水処理方法］

図４の汚染水処理システムを使用する汚染水処理方法も、ＳＡＲＲＹによるセシウム除去工程と、鉄共沈処理による有機物及びα核種除去工程と、当該汚染水処理システムによるストロンチウム除去工程と、吸着処理による残留放射性元素除去工程とを備える。

【００６１】

この汚染水処理方法は、図３の汚染水処理方法とストロンチウム除去工程が異なるだけであるため、セシウム除去工程、有機物及びα核種除去工程、並びに残留放射性元素除去工程については説明を省略する。

【００６２】

＜ストロンチウム除去工程＞

図４の汚染水処理システムによるストロンチウム除去工程は、当該汚染水処理システムを組み立てる工程と、汚染水を吸着ユニット３０に供給する工程と、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃのうち最上流に接続されている１つを取り外し、最下流に新しい吸着塔を追加する工程と、当該汚染水処理システムを撤去する工程とを有する。

【００６３】

（組み立て工程）

当該汚染水処理システムの組み立ては、先ず、ポンプユニット２０の台車２２及び吸着ユニット３０の台車３１を自走させ、ポンプユニット２０及び吸着ユニット３０を原水槽１０の近傍に駐車する。次いで、原水槽１０とポンプユニット２０との間、ポンプユニット２０と吸着ユニット３０との間、及び吸着ユニット３０と原水槽１０との間の配管を接続する。

【００６４】

（汚染水供給工程）

汚染水供給工程では、ポンプユニット２０の給水ポンプ２１を駆動することにより、原水槽１０から汚染水を引き抜いて、吸着ユニット３０の吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃへ供給する。

【００６５】

（吸着塔取り外し及び追加工程）

この工程では、図５Ａ乃至図５Ｃに示す手順で、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃのうち

の１つの交換を行う。

【００６６】

当該汚染水処理方法では、当該汚染水処理システムの処理流量を監視すると共に、排出流路３６から処理水を定期的にサンプリングして処理水の放射線量を測定する。そして、処理流量が所定の下限値以下となったとき、及び処理水の放射線量が予め定めた上限値以上となったときには、最上流に接続されている吸着塔を取り外し、最下流に新しい吸着塔を追加する。

【００６７】

図５Ａには、汚染水が、最初に第１の吸着塔３２ａ、次いで第２の吸着塔３２ｂ、そして最後に第３の吸着塔３２ｃを通過するようにした状態が示されている。なお、図５Ａ乃至図５Ｃでは、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃの吸着剤の状態を模式的に示すため、内部の吸着剤の飽和度が高いほど、狭い間隔のハッチングがなされている。

【００６８】

吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃは、内部の吸着剤がストロンチウムを吸着し、この吸着剤が上流側から徐々に飽和する。排出流路３６の処理水の放射線量が上限値に達したとき、図５Ａに示すように、最上流に接続されている吸着塔３２ａの吸着剤が完全に飽和していると考えられるが、下流側の吸着塔３２ｂ，３２ｃは、完全には飽和しておらず、ストロンチウムの吸着能力に余力を残している。

【００６９】

そこで、図５Ｂに示すように、最上流に接続されている吸着塔３２ａの給水三方弁３３ａ及び排水三方弁３４ａを遮断し、２番目の吸着塔３２ｂの給水三方弁３３ｂの供給流路３５側のポートを開いて、汚染水が１番目以外の２つの吸着塔３２ｂ，３２ｃのみを通過するように流路構成を変更する。そして、この状態で、飽和した吸着塔３２ａを新しい吸着塔に交換する。

【００７０】

ここで、図５Ｃに示すように、新しく取り付けた吸着塔３２ａが最下流に追加されるようなバルブパターンが選択される。これにより、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃは、下流側程飽和度が低く、吸着能力の余力が大きくなるような順番で接続される。

【００７１】

この後、最上流に接続されている吸着塔が飽和する度に、順次、最上流に接続されている吸着塔を取り外して新しい吸着塔を最下流に追加する。

【００７２】

以上のように、図４の汚染水処理システムでは、汚染水の処理を継続しながら、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃのうちの１つを交換する。

【００７３】

（撤去工程）

図４の汚染水処理システムでは、原水槽１０に貯留する汚染水の放射性ストロンチウム濃度又は放射能濃度を測定し、汚染水中の放射性ストロンチウムを十分に除去できたと判断したなら、原水槽１０とポンプユニット２０との間、ポンプユニット２０と吸着ユニット３０との間、及び吸着ユニット３０と処理水槽４０との間の各配管を取り外し、ポンプユニット２０及び吸着ユニット３０を自走させて当該汚染水処理システムを撤去する。

【００７４】

＜利点＞

図４の汚染水処理システムは、吸着ユニット３０から処理水を原水槽１０に還流させるので、汚染水を繰り返し吸着ユニット３０に供給して原水槽１０に貯留する汚染水の放射性ストロンチウム含有量を徐々に低下させる。つまり、当該汚染水処理システムは、吸着ユニット３０から排出される処理水の放射性ストロンチウム濃度が一定である必要がなく、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃのストロンチウム吸着能力が低くても時間をかけることによって、汚染水の放射性ストロンチウム濃度を目標濃度まで低下させられる。

【００７５】

このため、図４の汚染水処理システムは、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃのストロンチウム吸着能力が低下しても運転を継続できるので、図１の汚染水処理システムと比べて吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃの有効寿命を延ばすことができる。また、図４の汚染水処理システムにおいて、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃの寿命を図１の汚染水処理システムと同じに設定する場合には、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃの容量を小さくできる。この結果、図４の汚染水処理システムは、一定量一定汚染度の汚染水を処理するために必要とされる吸着剤の総量が図１の汚染水処理システムよりも少なくて済む。

【００７６】

また、図４の汚染水処理システムは、処理水を原水槽１０に還流するため、原水槽１０の他に水槽を必要とせず、別の水槽を汚染しない。

【００７７】

また、当該汚染水処理方法では、原水槽１０の放射性ストロンチウム濃度を低下させるので、ストロンチウム除去工程後に原水槽１０から汚染水を排出した後、残される原水槽１０の放射能濃度が低くなる。このため、原水槽１０のメンテナンス、解体、除染等が容易となる。

【００７８】

また、当該汚染水処理方法では、吸着塔３２ａ，３２ｂ，３２ｃの交換のためにストロンチウム除去工程を中断する必要がないので、さらに稼働率を向上できる。

【００７９】

［その他の実施形態］

上記実施形態は、本発明の構成を限定するものではない。従って、上記実施形態は、本明細書の記載及び技術常識に基づいて上記実施形態各部の構成要素の省略、置換又は追加が可能であり、それらはすべて本発明の範囲に属するものと解釈されるべきである。

【００８０】

当該汚染水処理システムの吸着ユニットは、移動可能であればよく、自走能力がないものであってもよい。自走能力のない移動可能な吸着ユニットとしては、例えば他の自動車等に牽引されるもの、フォークリフト等によって搬送可能に構成されるものなどが挙げられる。

【００８１】

例えば、吸着塔の数は３つに限定されず、２以上の任意の数とすることができる。

【００８２】

当該汚染水処理方法において、処理水中の浮遊物質等が少なく、目詰まりのおそれがない場合には、当該汚染水処理システムの処理流量の監視を省略してもよい。

【００８３】

また、吸着塔に充填された吸着剤の飽和は、中間流路等において各吸着塔から排出される処理水の放射線量を測定することによって吸着塔毎に判断してもよい。また、吸着塔に充填された吸着剤の飽和は、放射線量の測定の他、処理水のストロンチウム濃度、放射能濃度、金属イオン濃度等の値、又は各吸着塔に供給される汚染水と排出される処理水との放射能濃度、金属イオン濃度等の差を指標として判定することができる。

【００８４】

また、図１の装置構成の廃水処理システムに、図５Ａ乃至図５Ｃの吸着塔取り外し及び追加工程を適用してもよく、図４の装置構成の廃水処理システムにおいて、吸着塔を交換することなく吸着ユニットを交換してもよい。

【００８５】

また、ストロンチウム除去工程を多段階に分けてもよい。例えば、前段の汚染水処理システムの処理水槽が次段の汚染水処理システムの原水槽となるよう、当該汚染水処理システムを直列に接続してもよい。この場合、各段の汚染水処理システムの吸着ユニットのストロンチウム除去能力や汚染水流量が異なるよう設計することもできる。

【００８６】

この場合、前段の汚染水処理システムは吸着ユニットのストロンチウム除去能力が低下

しても運転を継続できるので、全体として吸着剤の利用率を高めることができ、実質的に吸着塔の寿命を延長できる。また、前段の汚染水処理システムは、ストロンチウムのすべてを除去することを企図しないので、吸着塔における汚染水の流量を大きくして原水槽に貯留する高濃度の汚染水をより早く減少させることにより、汚染拡散のリスクを低減できる。また、このような処理速度の向上を求めない場合には、各吸着塔の容量を小さくすることもできる。

【００８７】

例えば、下流側の汚染水処理システムで一定程度使用した吸着ユニットを上流側の汚染水処理システムの吸着ユニットとして使用すれば、上流側の吸着ユニットの吸着剤を全て飽和するまで使い切ることができる。これにより、吸着塔の利用効率をさらに高め、結果として最終処分すべき放射性廃棄物の量を抑制できる。

【００８８】

また、当該汚染水処理システムの吸着ユニットは、ストロンチウム用吸着剤を充填した吸着塔と、セシウム用吸着剤を充填した吸着塔とを有してもよい。この場合、汚染水は、先にセシウム用吸着剤を充填した吸着塔に通水され、次いでストロンチウム用吸着剤を充填した吸着塔に通水されることが好ましい。これは、セシウムよりもストロンチウムの方が除去が難しく、セシウム用吸着剤はストロンチウムも吸着できることが多いため、先にセシウム用吸着剤でストロンチウムの一部を除去することにより、ストロンチウムの除去率を向上できるからである。

【００８９】

また、当該汚染水処理システムは、事故原発における原子炉容器、格納容器等を原水槽として構築してもよい。これにより、炉心冷却用循環水の放射能濃度を低減できる。

【産業上の利用可能性】

【００９０】

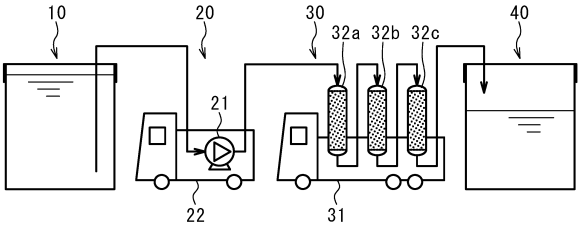
本発明の汚染水処理システム及び汚染水処理方法は、放射性ストロンチウム及びストロンチウム以外のアルカリ土類金属を含有する汚染水の処理に好適に利用される。

【符号の説明】

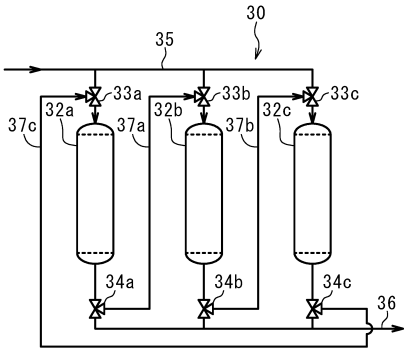
【００９１】

１０　原水槽
２０　ポンプユニット
２１　給水ポンプ
２２　台車
３０　吸着ユニット
３１　台車
３２ａ，３２ｂ，３２ｃ　吸着塔
３３ａ，３３ｂ，３３ｃ　給水三方弁
３４ａ，３４ｂ，３４ｃ　排水三方弁
３５　供給流路
３６　排出流路
３７ａ，３７ｂ，３７ｃ　中間流路
４０　処理水槽

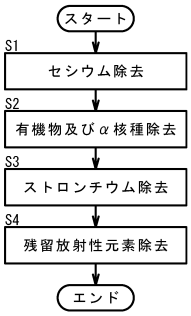
【図１】



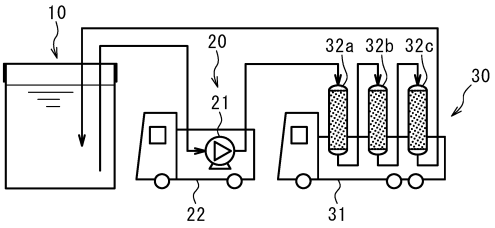

【図２】



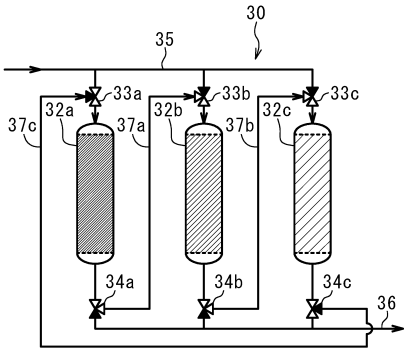

【図３】



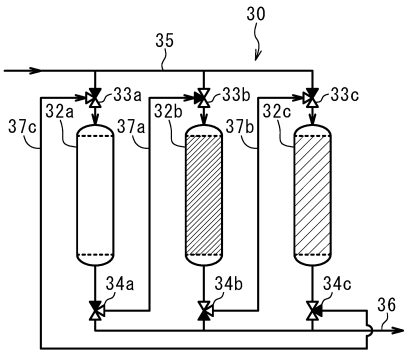

【図４】



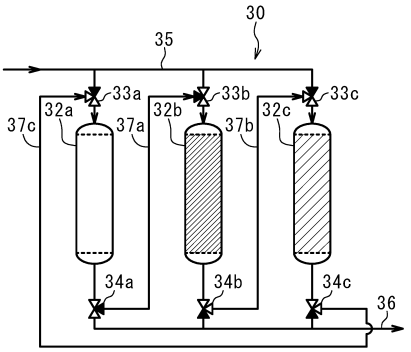

【図５Ａ】




【図５Ｂ】




【図５Ｃ】



フロントページの続き

(74)代理人 100177976
弁理士 根木 義明
(74)代理人 100187768
弁理士 藤中 賢一
(72)発明者 山下 岳史
兵庫県神戸市西区高塚台１丁目５番５号 株式会社神戸製鋼所 神戸総合技術研究所内
(72)発明者 田中 良明
兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目２番４号 株式会社神戸製鋼所内

審査官 右▲高▼ 孝幸

(56)参考文献 特開昭58-95537（ＪＰ，Ａ）
特開昭60-213892（ＪＰ，Ａ）
特開昭64-58391（ＪＰ，Ａ）
特開2013-173094（ＪＰ，Ａ）
特開2014-1952（ＪＰ，Ａ）
特開2014-41111（ＪＰ，Ａ）
ＲＯ濃縮水のリスク低減に向けた取組，廃炉・汚染水対策チーム会合、第６回事務局会議資料，福島第一廃炉推進カンパニー，２０１４年 5月２９日，ＵＲＬ，http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/20140529_01.html
福島第一原子力発電所の汚染水処理システムと東芝の取組み，東芝レビュー，日本，株式会社東芝，２０１２年，Ｖｏｌ．６７ Ｎｏ．１１，P.54，ＵＲＬ，https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2012/11/index_j.html
II 2.38 モバイル型ストロンチウム除去装置等，原子力規制委員会が、平成２６年5月２２日に東京電力株式会社から「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画」の変更認可申請を受理し、同日公表した添付資料，２０１４年 5月２６日
放射能汚染水をモバイルタイプで出張処理！ モバイル式汚染水処理装置 ＳＡＲＲＹ－Ａｑｕａ，ＩＨＩ技報，日本，株式会社ＩＨＩ，２０１３年 4月，Ｖｏｌ．５３ Ｎ０．１，P.4-，ＵＲＬ，https://www.ihi.co.jp/ihi/technology/review/2013/53_01.html

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ２１Ｆ ９／０６
Ｇ２１Ｆ ９／１２
Ｂ６０Ｐ ３／００