

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6549372号
(P6549372)

(45) 発行日 令和1年7月24日(2019.7.24)

(24) 登録日 令和1年7月5日(2019.7.5)

(51) Int.Cl.

F 1

G21F	9/28	(2006.01)	G21F	9/28	Z
G21F	9/06	(2006.01)	G21F	9/06	521B
G21F	9/12	(2006.01)	G21F	9/06	561
G21F	9/02	(2006.01)	G21F	9/06	591
			G21F	9/12	501J

請求項の数 14 (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2014-254458 (P2014-254458)

(22) 出願日

平成26年12月16日(2014.12.16)

(65) 公開番号

特開2016-114525 (P2016-114525A)

(43) 公開日

平成28年6月23日(2016.6.23)

審査請求日

平成29年11月15日(2017.11.15)

(73) 特許権者 500398289

吉田 英夫

埼玉県所沢市松が丘2-9-2

(73) 特許権者 512219013

モリタ宮田工業株式会社

東京都港区芝2丁目5番6号 芝256ス

クエアビル8階

(74) 代理人 100085110

弁理士 千明 武

(72) 発明者 吉田 英夫

埼玉県所沢市松が丘2-9-2

(72) 発明者 須山 泰敬

東京都東村山市久米川町5-33-4 株式会社ワイピーシステム内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】トリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染方法および除染システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

トリチウム水による汚染土壤および汚染水を採取して分離槽の炭酸水に導入し、前記汚染土壤と汚染水と炭酸水を含む固液混合成分から土壤を固液分離して回収し、汚染水と炭酸水を含む分離液を電解槽へ導入して電気分解し、該電解によって発生したトリチウムを含む水素を電解槽内で捕集し、該水素を電解槽の外部へ移動してトラップするトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染方法において、有底筒状の捕集容器の開口部を前記電解槽内の分離液に没入し、該捕集容器内の分離液の液面上方の水素捕集スペースに、水素ガス充填装置に連通するトラップ管の一端を配置し、捕集スペース内の水素ガスを水素ガス充填装置へ導入してガスボンベに充填し、該ガスボンベを使用済み電解槽の保管設備と別設の保管設備に保管することを特徴とするトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染方法。

【請求項2】

トリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染対象地における採取工程と、分離槽における炭酸水の作製工程と、前記汚染土壤および汚染水の分離槽への導入工程と、汚染土壤と汚染水と炭酸水を含む固液混合成分の固液分離工程と、固液分離後の汚染水と炭酸水を含む分離液の電解槽への導入工程と、該分離液による陰極と析出部材と捕集容器の下半部の浸漬工程と、トラップ管の一端を水素捕集スペースに配置し他端を水素ガス充填装置に接続する配管工程と、の各工程を終了後、電解槽における電気分解を実行する請求項1記載のトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染方法。

【請求項 3】

使用済み電解槽の内部に、陰極と複数の析出部材、それらに析出した放射性物質を含む金属イオン、捕集容器と分離液の残液および吸着フィルタを残置し、これをガスボンベの保管設備と別設の保管設備に一括して保管する請求項1記載のトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染方法。

【請求項 4】

使用済み電解槽の外周面に接続したガス導管と、前記電解槽の上下端面に接続した分離液導管とトラップ管とリード線と給水管とを切断し、前記電解槽の外周面と上下端面を平滑に形成し、使用済み電解槽を保管設備内に立位姿勢で積み重ねて配置する請求項3記載のトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染方法。

10

【請求項 5】

使用済み電解槽の撤去後、新規の電解槽を撤去前の同位置に設置し、該電解槽に分離液導管の再利用部の一端を接続し、該分離液導管の他端を撤去前の固液分離フィルタに接続し、トラップ管の再利用部の一端を新規の電解槽の捕集容器内の捕集スペースに配置し、前記トラップ管の他端を撤去前の水素ガス充填装置の吸引ポンプに接続する請求項4記載のトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染方法。

【請求項 6】

除染設備を備えた除染車両を前記汚染土壤および汚染水の採取地へ移動し、該採取地に除染車両を停車して汚染土壤および汚染水を吸引採取し、採取した汚染土壤および汚染水を除染車両に搭載した分離槽に導入し、汚染土壤と汚染水と炭酸水を含む固液混合成分から土壤を固液分離して回収するとともに、汚染水と炭酸水を含む分離液を除染車両に搭載した電解槽へ導入して電気分解する請求項1記載のトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染方法。

20

【請求項 7】

トリチウム水による汚染土壤および汚染水を採取して分離槽の炭酸水に導入可能に設け、前記汚染土壤と汚染水と炭酸水を含む固液混合成分から土壤を固液分離して回収可能に設けるとともに、汚染水と炭酸水を含む分離液を電解槽へ導入して電気分解可能に設け、該電解によって発生したトリチウムを含む水素を電解槽内で捕集可能に設け、該水素を電解槽の外部へ移動しトラップ可能にしたトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染システムにおいて、有底筒状の捕集容器の開口部を前記電解槽内の分離液に没入して配置可能に設け、該捕集容器内の分離液の液面上方の水素捕集スペースに、水素ガス充填装置に連通するトラップ管の一端を配置し、捕集スペース内の水素ガスを水素ガス充填装置に導入してガスボンベに充填可能に設け、該ガスボンベを使用済み電解槽の保管設備と別設の保管設備に保管可能にしたことを特徴とするトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染システム。

30

【請求項 8】

使用済み電解槽の内部に、陰極と複数の析出部材、それらに析出した放射性物質を含む金属イオン、捕集容器と分離液の残液および吸着フィルタを残置し、これをガスボンベの保管設備と別設の保管設備に一括して保管可能にした請求項7記載のトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染システム。

40

【請求項 9】

使用済み電解槽の外周面に接続したガス導管と、前記電解槽の上下端面に接続した分離液導管とトラップ管とリード線と給水管とを切断し、前記電解槽の外周面と上下端面を平滑に形成し、使用済み電解槽を保管設備内に立位姿勢で積み重ね、かつ隣接して配置可能にした請求項7記載のトリチウムによる汚染土壤および汚染水の除染システム。

【請求項 10】

使用済み電解槽の撤去後、新規の電解槽を撤去前の同位置に設置可能に設け、該電解槽に分離液導管の再利用部の一端を接続し、該分離液導管の他端を撤去前の固液分離フィルタに接続し、トラップ管の再利用部の一端を新規の電解槽の捕集容器内の捕集スペースに配置し、トラップ管の他端を水素ガス充填装置の吸引ポンプに接続可能にした請求項9記

50

載のトリチウムによる汚染土壤および汚染水の除染システム。

【請求項 1 1】

除染設備を備えた除染車両を前記汚染土壤および汚染水の採取地へ移動可能に設け、該採取地に除染車両を停車して前記汚染土壤および汚染水を吸引採取可能に設け、採取した汚染土壤および汚染水を除染車両に搭載した分離槽に導入可能に設け、汚染土壤と炭酸水を含む固液混合成分を固液分離フィルタへ導入可能に設け、該固液分離フィルタを介し土壤を固液分離可能に設けるとともに、汚染水と炭酸水を含む分離液を除染車両に搭載した電解槽へ導入し電気分解可能に設け、該電解によってトリチウムを含む水素を電解槽内で捕集可能に設け、該水素を電解槽の外部へ移動しトラップ可能にした請求項 7 記載のトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染システム。

10

【請求項 1 2】

前記捕集容器を深底の筒状に形成し、その内側に陰極と複数の析出部材を収容可能にするとともに、その開口側を分離液に没入して配置可能に設け、該捕集容器内の分離液の液面上方に水素捕集スペースを形成可能にした請求項 7 記載のトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染システム。

【請求項 1 3】

前記捕集容器の外周を電解槽の内面に近接配置した請求項 7 記載のトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染システム。

【請求項 1 4】

前記水素ガス充填装置を電解槽の外側に近接して配置した請求項 7 記載のトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染システム。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば放射性物質に汚染された田畠等の土壤や水を現地で確実かつ速やかに除染し、精密な除染と除染の能率向上を図るとともに、除染後の土壤に土壤活性剤を添加して土壤を改良し、これを元の田畠に速やかに戻して農耕の再開を促す一方、土壤に付着ないし沈着した放射性物質を土壤から精密に分離・濃縮し、汚染土壤の減容化と放射性物質の安全な処理を図るとともに、トリチウムの除染を実現し、トリチウムの内部被爆による不安を払拭するとともに、除染装置の合理的かつ安全な廃棄処理を実現し得るようにした、トリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染方法および除染システムに関する。

30

【背景技術】

【0002】

2011年3月に発生した東日本大震災による東京電力福島第1原子力発電所の事故によって、有害な放射性物質が広域に飛散し、都市や田畠、山林、海、湖沼、河川等が汚染し、また人や動植物に放射性物質が付着ないし沈着して生命を危険に晒し、農業や林業、牧畜業、漁業等の各種の産業活動を停止させる甚大な被害を与えた。

【0003】

このような産業活動の復興と再開には、生活環境および産業活動領域から放射性物質を除去することが不可欠であり、とりわけ農業従事者にとって、田畠の土壤の除染は喫緊の課題となっている。

40

しかし、田畠の土壤の除染は、田畠が広域に分布し、平地の他に里や山間に亘って点在するため、これを人力で処理するには多大の時間と労力を要して能率が悪く、しかも近時のような農業従事者の高齢化と相俟って困難を極めている。

【0004】

このような土壤の汚染処理ないし除染処理に応ずるものとして、放射性廃棄物を溶媒中に溶解後、溶媒から放射性物質を分離し、ハロゲン化放射性廃棄物を除染する方法があり、その際、ハロゲン化物を溶媒である水に溶解させて溶液中の希土類元素を沈殿して回収し、また溶媒から非放射性物質を分離する手段として、溶媒を蒸発させたり冷却して、非放射性物質を析出沈殿させるものがある（例えば、特許文献1参照）。

50

【0005】

しかし、前記除染方法において、ハロゲン化物を水に溶解させて放射性物質を回収する方法は回収率が低く、また溶媒を蒸発させたり冷却する手法は、加熱装置や冷却設備を要して、設備が大掛かりで高価になる問題がある。

【0006】

また、汚染土壤の除染方法として、有害な化学物質で汚染された土壤を掘り起こして加熱装置のホッパに投入し、該土壤を窒素洗浄して酸素を排除しながら加熱し、土壤中の汚染物を脱着して分離するものがある（例えば、特許文献2参照）。

【0007】

しかし、この除染方法は、汚染土壤を離隔した除染装置へ移動し、除染済みの土壤を元の位置へ戻す場合も移動に手間と時間が掛かり、また汚染土壤は表土のみならず深い掘削を要するため、適当な掘削設備を要して高価かつ大掛かりになり、しかも除染装置は窒素洗浄装置や加熱装置、分離器等を要して大掛かりで高価になる等の問題があった。

【0008】

更に、放射性セシウムで汚染された土壤の除染方法として、汚染された土壤を給水タンクに収容し、該タンクに高分圧の二酸化炭素ガスを吹き込んで水素イオンを供給し、土壤粒子表面のセシウムイオンを液相中に抽出後、この溶液を大気に開放した分離槽へ移動して二酸化炭素ガスを大気へ放出し、液相のpHを上昇させてセシウム以外のアルカリ土類金属等の共存イオンを炭酸塩或いは水酸化物に析出・分離し、液相中に残存するセシウムを濃縮分離するものがある（例えば、非特許文献1参照）。

【0009】

しかし、前記土壤の除染方法は、給水タンクの上澄みの液相を分離槽へ送り込んでいるため、この液相中には比重の大きなセシウムの含有量は少なく、したがってセシウムの濃縮分離効率が悪い上に、給水タンクの下部にセシウムが滞留して土壤への付着や沈着を助長し、除染の効果が非常に低いため、除染後の土壤の使用を図ることが難しく実用的ではないという問題があった。

【0010】

また、放射性セシウムで汚染された土壤の別の除染方法として、汚染された土壤を反応槽に収容して水を加え、該反応槽に正負の電極を配置し、該電極に電圧を印加して陰極側に放射性セシウムイオンを析出し、土壤や他の付着物を陽極側に沈着させ、汚染土壤から放射性セシウムを分離・収集することによって、汚染物の大転な減容化を図るようにしたものがある（例えば、非特許文献2参照）。

【0011】

しかし、前記土壤の除染方法は、土壤を他の付着物と共に反応槽に収容するため、高電圧の印加をして電解効率が悪い上に、陰極側に析出した放射性セシウムイオンは夾雑物を含有して分離精度が低く、また除染後の土壤も他の付着物を含有しているため、その分離処理を要して手間が掛かり、速やかな使用を図れないという問題があった。

【0012】

このような問題を解決するものとして、出願人は、放射性物質で汚染された除染対象物を酸性の溶離溶媒に導入して溶出し、該溶離溶媒から放射性物質を濃縮し分離する土壤等の除染方法において、前記除染対象物は汚染土壤と汚染水とを含み、これらの一方または両方を採取して溶離溶媒に導入し、溶離溶媒に溶出した放射性物質と前記除染対象物とを固液分離し、溶離溶媒から分離した土壤を固液分離して回収し、汚染土壤の減容化と放射性物質を含有しない土壤の再使用と農耕の再開を図るとともに、固液分離した放射性物質を溶出した溶離溶媒を電気分解して濃縮し、電極に析出した放射性セシウムイオンを吸着剤に吸着して回収し、前記放射性セシウムイオンを吸着した吸着剤を容器に密閉して収納し、該容器を適宜保管設備に保管して放射性物質の安全な処理を図るようにした、土壤等の除染方法および土壤等の除染システムを開発し、これを既に提案している（例えば、特許文献3参照）。

【0013】

10

20

30

40

50

この既に提案した土壤等の除染方法は、影響の大きい放射性セシウムの除去を意図していたため、放射性セシウム以外の放射性物質、例えばトリチウム(³H)ないしトリチウム水(HTO⁶)の除染を意図していなかった。

前記トリチウムは、質量数が3の水素の放射性同位体である三重水素で、酸素と結合してトリチウム水(HTO⁶)として水に混在しており、水圏中に気相、液相、固相の状態で蒸気、降水、地下水、河川水、湖沼水、海水、飲料水、生物中に広く拡散している。

しかし、トリチウムを摂取しても、体内で均等に分布し生物的半減期が比較的短く(2.3年)、エネルギーも低いことから、最も毒性の少ない放射性核種の1つと考えられ、生物に対する影響の面から一般に軽視されてきた。

【0014】

10

前記トリチウムは弱いベータ線を放射するが、その放射線は細胞内では1μmしか到達しないので、血液として全身を廻っている間は、遺伝子DNAを殆ど攻撃しないが、トリチウムが細胞に取り込まれて核の中に入ると、DNAまでの距離が近くなるため、放射性セシウムと同じようにDNAを攻撃するようになる。

前記DNAには多量の水素が存在しており、トリチウムは水素と化学的性質が同じため、トリチウムが水素と入れ替わってもDNAは正常に作用する。

しかし、トリチウムが放射線を放射した後にヘリウムHeに変わると、ヘリウムに変わった部分のDNAが壊れて遺伝子が故障し、この故障がリスクになって癌の発生率が高くなるという問題が指摘されていた。

【先行技術文献】

20

【特許文献】

【0015】

【特許文献1】特開平10-213697号公報

【特許文献2】特開平5-192648号公報

【特許文献3】特開2014-41066号公報

【非特許文献】

【0016】

【非特許文献1】第1回 環境放射能除染研究発表会 要旨集 環境放射能除染学会 21頁「放射性セシウム汚染土壤を炭酸ガスのみで洗浄・修復する安全安心な可搬型装置の構築」丁子哲治、高田英治、布袋昌幹(富山高等専門学校)、原正憲(富山大学)

30

【非特許文献2】第1回 環境放射能除染研究発表会 要旨集 環境放射能除染学会 92頁「電気分解を利用した放射性物質除染技術の提案」上田祐子、渡邊功、戸井田英基、本田克久(愛媛大学農学部環境先端技術センター)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

本発明はこのような問題を解決し、例えば放射性物質に汚染された田畠等の土壤や水を現地で確実かつ速やかに除染し、精密な除染と除染の能率向上を図るとともに、除染後の土壤に土壤活性剤を添加して土壤を改良し、これを元の田畠に速やかに戻して農耕の再開を促す一方、土壤に付着ないし沈着した放射性物質を土壤から精密に分離・濃縮し、汚染土壤の減容化と放射性物質の安全な処理を図るとともに、トリチウムの除染を実現し、トリチウムの内部被爆による不安を払拭するとともに、除染装置の合理的かつ安全な廃棄処理を実現し得るようにした、トリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染方法および除染システムを提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0018】

請求項1の発明は、トリチウム水による汚染土壤および汚染水を採取して分離槽の炭酸水に導入し、前記汚染土壤と汚染水と炭酸水を含む固液混合成分から土壤を固液分離して回収し、汚染水と炭酸水を含む分離液を電解槽へ導入して電気分解し、該電解によって発生したトリチウムを含む水素を電解槽内で捕集し、該水素を電解槽の外部へ移動してトラ

50

ツプするトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染方法において、有底筒状の捕集容器の開口部を前記電解槽内の分離液に没入し、該捕集容器内の分離液の液面上方の水素捕集スペースに、水素ガス充填装置に連通するトラップ管の一端を配置し、捕集スペース内の水素ガスを水素ガス充填装置へ導入してガスボンベに充填し、該ガスボンベを使用済み電解槽の保管設備と別設の保管設備に保管し、水素に含まれるトリチウムの除染を安全に実現し、トリチウムの内部被爆による不安を払拭するとともに、捕集した水素ガスをガスボンベに充填して専用の保管設備に保管し、その安全な管理と安全性を確保するようにしている。

【0019】

請求項2の発明は、トリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染対象地における採取工程と、分離槽における炭酸水の作製工程と、前記汚染土壤および汚染水の分離槽への導入工程と、汚染土壤と汚染水と炭酸水を含む固液混合成分の固液分離工程と、固液分離後の汚染水と炭酸水を含む分離液の電解槽への導入工程と、該分離液による陰極と析出部材と捕集容器の下半部の浸漬工程と、トラップ管の一端を水素捕集スペースに配置し他端を水素ガス充填装置に接続する配管工程と、の各工程を終了後、電解槽における電気分解を実行し、前記汚染土壤および汚染水を除染対象地で採取し、これを除染対象地で電解して発生した水素を捕集容器に捕集し、捕集した水素を安全に回収してトリチウムの除染を実行するようにしている。

請求項3の発明は、使用済み電解槽の内部に、陰極と複数の析出部材、それらに析出した放射性物質を含む金属イオン、捕集容器と分離液の残液および吸着フィルタを残置し、これをガスボンベの保管設備と別設の保管設備に一括して保管し、これらを解体して個々に保管する場合に比べ、合理的かつコンパクトで安全に保管し得るとともに、放射線被爆による事故を未然に防止し得るようにしている。

請求項4の発明は、使用済み電解槽の外周面に接続したガス導管と、前記電解槽の上下端面に接続した分離液導管とトラップ管とリード線と給水管とを切断し、前記電解槽の外周面と上下端面を平滑に形成し、使用済み電解槽を保管設備内に立位姿勢で積み重ねて配置し、保管設備内に使用済み電解槽を合理的かつ効率良く保管し得るようにしている。

【0020】

請求項5の発明は、使用済み電解槽の撤去後、新規の電解槽を撤去前の同位置に設置し、該電解槽に分離液導管の再利用部の一端を接続し、該分離液導管の他端を撤去前の固液分離フィルタに接続し、トラップ管の再利用部の一端を新規の電解槽の捕集容器内の捕集スペースに配置し、前記トラップ管の他端を撤去前の水素ガス充填装置の吸引ポンプに接続し、使用済み電解槽の撤去後、新規の電解槽を設置する際、放射性物質で汚染されていない撤去前の分離液導管と固液分離フィルタと、トラップ管を有効に利用して、新規の電解槽を合理的かつ安価に設置し得るようにしている。

請求項6の発明は、除染設備を備えた除染車両を前記汚染土壤および汚染水の採取地へ移動し、該採取地に除染車両を停車して汚染土壤および汚染水を吸引採取し、採取した汚染土壤および汚染水を除染車両に搭載した分離槽に導入し、汚染土壤と汚染水と炭酸水を含む固液混合成分から土壤を固液分離して回収するとともに、汚染水と炭酸水を含む分離液を除染車両に搭載した電解槽へ導入して電気分解し、電解によって発生したトリチウムを含む水素を電解槽内で捕集し、除染設備を備えた除染車両を駆使して水素に含まれるトリチウムの除染を能率良く実行し、トリチウムの内部被爆による不安を払拭するようにしている。

【0021】

請求項7の発明は、トリチウム水による汚染土壤および汚染水を採取して分離槽の炭酸水に導入可能に設け、前記汚染土壤と汚染水と炭酸水を含む固液混合成分から土壤を固液分離して回収可能に設けるとともに、汚染水と炭酸水を含む分離液を電解槽へ導入して電気分解可能に設け、該電解によってトリチウムを含む水素を電解槽内で捕集可能に設け、該水素を電解槽の外部へ移動しトラップ可能にしたトリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染システムにおいて、有底筒状の捕集容器の開口部を前記電解槽内の分離液に没

10

20

30

40

50

入して配置可能に設け、該捕集容器内の分離液の液面上方の水素捕集スペースに、水素ガス充填装置に連通するトラップ管の一端を配置し、捕集スペース内の水素ガスを水素ガス充填装置に導入してガスボンベに充填可能に設け、該ガスボンベを使用済み電解槽の保管設備と別設の保管設備に保管可能にし、水素に含まれるトリチウムの除染を安全に実現し、トリチウムの内部被爆による不安を払拭するとともに、捕集した水素ガスをガスボンベに充填して専用の保管設備に保管し、その安全な管理と安全性を確保するようにしている

【0022】

請求項8の発明は、使用済み電解槽の内部に、陰極と複数の析出部材、それらに析出した放射性物質を含む金属イオン、捕集容器と分離液の残液および吸着フィルタを残置し、これをガスボンベの保管設備と別設の保管設備に一括して保管可能にし、これらを解体して個々に保管する場合に比べ、合理的かつコンパクトで安全に保管し得るとともに、放射線被爆による事故を未然に防止し得るようにしている。

請求項9の発明は、使用済み電解槽の外周面に接続したガス導管と、前記電解槽の上下端面に接続した分離液導管とトラップ管とリード線と給水管とを切断し、前記電解槽の外周面と上下端面を平滑に形成し、使用済み電解槽を保管設備内に立位姿勢で積み重ね、かつ隣接して配置可能にし、使用済み電解槽を保管設備内に合理的かつコンパクトで効率良く保管するようにしている。

請求項10の発明は、使用済み電解槽の撤去後、新規の電解槽を撤去前の同位置に設置可能に設け、該電解槽に分離液導管の再利用部の一端を接続し、該分離液導管の他端を撤去前の固液分離フィルタに接続し、トラップ管の再利用部の一端を新規の電解槽の捕集容器内の捕集スペースに配置し、トラップ管の他端を水素ガス充填装置の吸引ポンプに接続可能にし、使用済み電解槽の撤去後、新規の電解槽を設置する際、撤去前の分離液導管とトラップ管とリード線を有効利用して再利用し、設置作業を合理的かつ安価に行なうようにしている。

【0023】

請求項11の発明は、除染設備を備えた除染車両を前記汚染土壤および汚染水の採取地へ移動可能に設け、該採取地に除染車両を停車して前記汚染土壤および汚染水を吸引採取可能に設け、採取した汚染土壤および汚染水を除染車両に搭載した分離槽に導入可能に設け、汚染土壤と炭酸水を含む固液混合成分を固液分離フィルタへ導入可能に設け、該固液分離フィルタを介し土壤を固液分離可能に設けるとともに、汚染水と炭酸水を含む分離液を除染車両に搭載した電解槽へ導入し電気分解可能に設け、該電解によってトリチウムを含む水素を電解槽内で捕集可能に設け、該水素を電解槽の外部へ移動しトラップ可能にし、除染設備を備えた除染車両を駆使して水素に含まれるトリチウムの除染を能率良く実行し、トリチウムの内部被爆による不安を払拭するようにしている。

請求項12の発明は、捕集容器を深底の筒状に形成し、その内側に陰極と複数の析出部材を収容可能にするとともに、その開口側を分離液に没入して配置可能に設け、該捕集容器内の分離液の液面上方に水素捕集スペースを形成可能にし、捕集容器の構成を簡潔にするとともに、電解により発生した水素を合理的かつ容易に捕集し得るようにしている。

請求項13の発明は、捕集容器の外周を電解槽の内面に近接配置し、広い水素捕集スペースの確保と水素の捕集能率を向上するようにしている。

請求項14の発明は、水素ガス充填装置を電解槽の外側に近接して配置し、それらの設置スペースのコンパクト化と配管のコンパクト化を図るようにしている。

【発明の効果】

【0024】

請求項1の発明は、有底筒状の捕集容器の開口部を前記電解槽内の分離液に没入し、該捕集容器内の分離液の液面上方の水素捕集スペースに、水素ガス充填装置に連通するトラップ管の一端を配置し、捕集スペース内の水素ガスを水素ガス充填装置へ導入してガスボンベに充填し、該ガスボンベを使用済み電解槽の保管設備と別設の保管設備に保管するから、水素に含まれるトリチウムの除染を安全に実行し、トリチウムの内部被爆による不安を払拭することができるとともに、捕集した水素ガスをガスボンベに充填して専用の保管設

10

20

30

40

50

備に保管し、その安全な管理と安全性を確保することができる。

請求項 2 の発明は、トリチウム水による汚染土壤および汚染水の除染対象地における採取工程と、分離槽における炭酸水の作製工程と、前記汚染土壤および汚染水の分離槽への導入工程と、汚染土壤と汚染水と炭酸水を含む固液混合成分の固液分離工程と、固液分離後の汚染水と炭酸水を含む分離液の電解槽への導入工程と、該分離液による陰極と析出部材と捕集容器の下半部の浸漬工程と、トラップ管の一端を水素捕集スペースに配置し他端を水素ガス充填装置に接続する配管工程と、の各工程を終了後、電解槽における電気分解を実行するから、前記汚染土壤および汚染水を除染対象地で採取し、これを除染対象地で電解してトリチウムを含む水素を捕集容器に捕集し、捕集した水素を安全に回収してトリチウムの除染を実行することができる。

10

請求項 3 の発明は、使用済み電解槽の内部に、陰極と複数の析出部材、それらに析出した放射性物質を含む金属イオン、捕集容器と分離液の残液および吸着フィルタを残置し、これをガスボンベの保管設備と別設の保管設備に一括して保管するから、これらを解体して個々に保管する場合に比べ、合理的かつコンパクトで安全に保管できるとともに、放射線被爆による事故を未然に防止することができる。

【 0 0 2 5 】

請求項 4 の発明は、使用済み電解槽の外周面に接続したガス導管と、前記電解槽の上下端面に接続した分離液導管とトラップ管とリード線と給水管とを切断し、前記電解槽の外周面と上下端面を平滑に形成し、使用済み電解槽を保管設備内に立位姿勢で積み重ねて配置するから、保管設備内に使用済み電解槽を合理的かつ効率良く保管することができる。

20

請求項 5 の発明は、使用済み電解槽の撤去後、新規の電解槽を撤去前の同位置に設置し、該電解槽に分離液導管の再利用部の一端を接続し、該分離液導管の他端を撤去前の固液分離フィルタに接続し、トラップ管の再利用部の一端を新規の電解槽の捕集容器内の捕集スペースに配置し、前記トラップ管の他端を撤去前の水素ガス充填装置の吸引ポンプに接続するから、使用済み電解槽の撤去後、新規の電解槽を設置する際、放射性物質で汚染されていない撤去前の分離液導管と固液分離フィルタと、トラップ管を有効に利用して再利用し、新規の電解槽を合理的かつ安価に設置することができる。

請求項 6 の発明は、除染設備を備えた除染車両を前記汚染土壤および汚染水の採取地へ移動し、該採取地に除染車両を停車して汚染土壤および汚染水を吸引採取し、採取した汚染土壤および汚染水を除染車両に搭載した分離槽に導入し、汚染土壤と汚染水と炭酸水を含む固液混合成分から土壤を固液分離して回収するとともに、汚染水と炭酸水を含む分離液を除染車両に搭載した電解槽へ導入して電気分解するから、電解によって発生したトリチウムを含む水素を電解槽内で捕集し、除染設備を備えた除染車両を駆使して水素に含まれるトリチウムの除染を能率良く実行し、トリチウムの内部被爆による不安を払拭することができる。

30

【 0 0 2 6 】

請求項 7 の発明は、有底筒状の捕集容器の開口部を前記電解槽内の分離液に没入して配置可能に設け、該捕集容器内の分離液の液面上方の水素捕集スペースに、水素ガス充填装置に連通するトラップ管の一端を配置し、捕集スペース内の水素ガスを水素ガス充填装置に導入してガスボンベに充填可能に設け、該ガスボンベを使用済み電解槽の保管設備と別設の保管設備に保管可能にしたから、水素に含まれるトリチウムの除染を安全に実現し、トリチウムの内部被爆による不安を払拭できるとともに、捕集した水素ガスをガスボンベに充填して専用の保管設備に保管したから、その安全な管理と安全性を確保することができる。

40

請求項 8 の発明は、使用済み電解槽の内部に、陰極と複数の析出部材、それらに析出した放射性物質を含む金属イオン、捕集容器と分離液の残液および吸着フィルタを残置し、これをガスボンベの保管設備と別設の保管設備に一括して保管可能にしたから、これらを解体して個々に保管する場合に比べ、合理的かつコンパクトで安全に保管し得るとともに、放射線被爆による事故を未然に防止することができる。

請求項 9 の発明は、使用済み電解槽の外周面に接続したガス導管と、前記電解槽の上下

50

端面に接続した分離液導管とトラップ管とリード線と給水管とを切断し、前記電解槽の外周面と上下端面を平滑に形成し、使用済み電解槽を保管設備内に立位姿勢で積み重ね、かつ隣接して配置可能にしたから、使用済み電解槽を保管設備内に合理的かつコンパクトで効率良く保管することができる。

請求項10の発明は、使用済み電解槽の撤去後、新規の電解槽を撤去前の同位置に設置可能に設け、該電解槽に分離液導管の再利用部の一端を接続し、該分離液導管の他端を撤去前の固液分離フィルタに接続し、トラップ管の再利用部の一端を新規の電解槽の捕集容器内の捕集スペースに配置し、トラップ管の他端を水素ガス充填装置の吸引ポンプに接続可能にしたから、使用済み電解槽の撤去後、新規の電解槽を設置する際、撤去前の分離液導管とトラップ管とリード線を有効利用して再利用し、設置作業を合理的かつ安価に行なうことができる。

【0027】

請求項11の発明は、除染設備を備えた除染車両を前記汚染土壤および汚染水の採取地へ移動可能に設け、該採取地に除染車両を停車して前記汚染土壤および汚染水を吸引採取可能に設け、採取した汚染土壤および汚染水を除染車両に搭載した分離槽に導入可能に設け、汚染土壤と炭酸水を含む固液混合成分を固液分離フィルタへ導入可能に設け、該固液分離フィルタを介し土壤を固液分離可能に設けるとともに、汚染水と炭酸水を含む分離液を除染車両に搭載した電解槽へ導入し電気分解可能に設け、該電解によってトリチウムを含む水素を電解槽内で捕集可能に設け、該水素を電解槽の外部へ移動しトラップ可能にしたから、除染設備を備えた除染車両を駆使して水素に含まれるトリチウムの除染を能率良く実行し、トリチウムの内部被爆による不安を払拭することができる。

請求項12の発明は、捕集容器を深底の筒状に形成し、その内側に陰極と複数の析出部材を収容可能にするとともに、その開口側を分離液に没入して配置可能に設け、該捕集容器内の分離液の液面上方に水素捕集スペースを形成可能にしたから、捕集容器の構成を簡潔にするとともに、電解により発生した水素を合理的かつ容易に捕集することができる。

請求項13の発明は、捕集容器の外周を電解槽の内面に近接配置したから、広い水素捕集スペースを確保し水素の捕集能率を向上することができる。

請求項14の発明は、水素ガス充填装置を電解槽の外側に近接して配置したから、それらの設置スペースのコンパクト化と配管のコンパクト化を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の除染設備を搭載した除染車両による除染作業状況を示す正面図である。

【図2】図1の除染車両を拡大して示す正面図である。

【図3】図2の平面図である。

【図4】(a)～(h)は本発明による土壤の除染作業手順を示す説明図である

【0029】

【図5】本発明による土壤の除染作業の状況を示す説明図で、汚染した土壤と汚染水の分離槽導入前の状況を示している。

【図6】本発明による除染作業の状況を示す説明図で、炭酸水を作製した分離槽へ汚染した土壤を導入し、放射性セシウムを溶出し分離している状況を示している

【図7】本発明による除染作業の状況を説明図で、分離槽で放射性セシウムを分離し、炭酸水と汚染土壤を固液分離フィルタと電解槽へ導入している状況を示している。

【0030】

【図8】本発明による除染作業の状況を示す説明図で、電解槽で分離液を電解し、放射性セシウムイオン等の金属イオンを陰極に析出し、トリチウムを含む水素を捕集しトラップしている状況を示している。

【図9】本発明による除染作業の状況を示す説明図で、除染土壤を回収し、水素をガスボンベに充填している状況を示している。

【図10】本発明による除染作業の状況を示す説明図で、分離液の電解後、清浄に調製して分離槽へ返還している状況を示している。

10

20

30

40

50

【0031】

【図11】本発明による使用済み電解槽の保管状況を示している。

【図12】本発明による使用済み電解槽の保管状況を拡大して示している。

【図13】本発明による水素を充填したガスボンベの保管状況を示している。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

以下、本発明を田畠、水田、湿地帯等の土壤および汚染水の除染に適用した図示の実施形態について説明すると、図1乃至図13において1は放射性物質で汚染された除染対象地で、これには一定の湿気を有し、または乾燥し硬化した汚染土壤である表土2を有する田畠3と、表土2を汚染水4に浸漬した水田5や多量の水を含有する湿地帯等を含み、本発明はこの両者の除染に対応可能にしている。図中、6は田畠3の表土2に生えた雑草、7は汚染水4中の表土2に生えた稻や雑草である。

10

【0033】

前記除染対象地1に近接する農道8または空き地に除染車両9を停車し、その除染タンクである分離槽10から吸入ホース11を繰り出し、該ホース11の先端から所定の汚染土壤またはトリチウム水($H\text{T}\text{O}^6$)が混在した汚染水4を吸引し採取している。図中、dは田畠3の表土2の吸引ないし採取代で、放射性物質であるセシウムの浸透深さに相当し、実施形態では5cm以上の表土2を採取している。

前記除染車両9は、従来のバキューム車を改良して構成され、その車体に分離槽10と給水タンク12、電解槽13と、二酸化炭素を所定圧に充填したガスボンベ14と、固体と液体と気体を吸入可能な吸入ポンプ15を搭載している。

20

【0034】

このうち、分離槽10は開蓋可能な箱形の容器で構成され、その蓋の上部に吸入ホース11を捲回可能な円筒状のリール16が回動可能に設けられ、該リール16はリコイルバネ(図示略)を介して図3上、反時計方向へ回動可能に付勢され、その周面に吸入ホース11を捲回可能にしている。

【0035】

そして、汚染土壤17の吸引時に吸入ホース11を外側へ引き出し、その引張り力によつてリール16を図3上、時計方向へ回動し、吸入ホース11を繰り出し可能にしている

前記吸入ホース11の一端は分離槽10の内部に連通し、その先端部から吸引した汚染土壤17または汚染水4を分離槽10内に導入可能にしている。前記吸入ホース11の基端部に開閉弁18が設けられ、他端部に異物吸い込み防止用のフィルタ19が設けられている。

30

図中、20はリール16の外側に同心円上に配置した円筒状のホースガイドで、その接線部にホース挿通孔21が設けられている。22は分離槽10の後端部に設けたホースクランプ、23は有底のホース受けである。

【0036】

前記給水タンク12は開蓋可能な箱形の容器で構成され、前記分離槽10に隣接して配置されていて、その内部に清浄な水24が収容され、該水24を前記分離槽10と電解槽13へ定量供給可能にしている。この場合、給水タンク12の周面にヒータを設け、水24の凍結防止を図ることが望ましい。

40

前記給水タンク12の底部に開閉弁25、26が設けられ、これらに給水管27、28の一端が接続され、このうち給水管27の他端が分離槽10内の上部に配管され、また給水管28の他端が電解槽13の底部に設けた開閉弁29に接続されている。

【0037】

前記電解槽13はステンレス鋼板製の円筒状の密閉容器30を備え、その容積を約1.8Lに構成し、その表面に鉛を被覆して放射線を遮蔽可能にしていて、車体や隣接部材に対し絶縁可能に設置されている。

また、密閉容器30内の底面に絶縁被覆30aが設けられ、当該部からの酸素の発生を阻止している。その際、絶縁被覆部30aを除く側壁内面から発生する酸素は、側壁内面

50

に沿って上動し密閉容器30内上部の捕集器35の上方スペースに滞留可能にされている
なお、電解槽13の外周部にヒータ(図示略)を装着して加熱可能にし、セシウムイオン、重金属イオン等の電気泳動を促すことが望ましい。

【0038】

前記密閉容器30の中央に棒状の陰極31が貫通して垂直に配置され、該陰極31と陽極である密閉容器30とにリード線32が配線され、該リード線32にDC電源33とスイッチ34が接続されている。

前記陰極31の下端部は密閉容器30の底部直上に配置され、該密閉容器30内の陰極31の中高位置に水素ガスを捕集する円筒状の捕集容器35を配置している。前記捕集容器35は一端を開口した深底の円筒状の容器で形成され、その開口部を下向きにして配置されている。10

【0039】

前記捕集容器35の内側下方に、一または複数の析出部材36が陰極31を囲繞して互いに近接して配置され、かつこれらの析出部材36が陰極31に電気的に接続して配置されている。

実施形態の析出部材36は、金網製のドラムや金属板、金属棒等によって構成し、電解時は後述する固液分離フィルタから送り込まれる分離液37中に没入可能にされている。

【0040】

前記ガスボンベ14は、給水タンク12と電解槽13に区画された空スペースに立設して配置され、その上端部に開閉弁44を設け、該開閉弁44にガス導管45を接続し、該ガス導管45の他端を分離槽10の底部に設けた開閉弁46に接続している。20

また、前記ガス導管45の上流部に三方弁47を介挿し、該三方弁47にガス導管48の一端を接続し、この他端を電解槽13の下部周面に接続して二酸化炭素を補給可能にしている。

【0041】

前記捕集容器35内の上部で分離液37の液面上に、トラップ管38の一端が配置され、該管38の他端が捕集容器35と密閉容器30を貫通して、外部の水素ガス充填装置39に接続されている。

前記水素ガス充填装置39は吸引ポンプ40と、水素ガスを充填可能なガスボンベ41とを備え、該ボンベ41の口元部にトラップ管38の端部を着脱し、常時は閉弁可能な開閉バルブ(図示略)を備えている。30

図中、42は密閉容器30内の上部に設置したゼオライト等の吸着フィルタで、後述する固液分離フィルタから導入される分離液37中の放射性物質、重金属等を吸着可能にしている。43は密閉容器30内の分離液37の酸性濃度を測定可能なpHセンサである。

【0042】

前記分離槽10は給水後、ガスボンベ14からガス導管45を介して二酸化炭素を供給可能にされ、この二酸化炭素によって放射性セシウムの溶離溶媒として、所定酸性濃度の炭酸水(H_2CO_3)49を作製可能にしている。

実施形態では分離槽10の炭酸水49の酸性濃度をpH3~7に設定し、電解槽13の電解液として使用している。図中、50は分離槽10の底部に設置した攪拌用のファンである。40

前記分離槽10の底部に開閉弁51が設けられ、該開閉弁51に固液導管52の一端が接続され、該導管52の他端が縦長筒状の固液分離フィルタ53に接続されている。

【0043】

前記固液分離フィルタ53は垂直に配置され、その内部に回転筒(図示略)を備え、この回転筒の内部に遠心分離機(図示略)を設けている。

そして、前記分離槽10から導入される固液成分のうち、それらの比重差によって重い土壤17を回転筒の外側へ移動し、放射性セシウムイオンやトリチウム水が混在する炭酸水49を回転筒の内側へ移動して、これらを固液分離可能にし、放射性物質と炭酸水から分離した土壤17aを前記分離フィルタ53内の下方に沈降させて堆積し、外部から回収50

可能にする一方、放射性セシウム、ストロンチウム、重金属等が混在する分離液37を電解槽13へ送り出し可能にしている。

【0044】

前記固液分離フィルタ53の下部に排出管54が下方に突設され、該管54に排出弁55が開閉可能に設けられ、該排出弁55の開弁を介し前記土壤17aを回収可能にしている。

したがって、固液導管52に複数の固液分離フィルタ53を配置すれば、土壤17aと放射性セシウムイオンやトリチウム水を含む炭酸水49を高精度かつ能率良く分離し得る

【0045】

前記固液分離フィルタ53の上端部の中央に分離液導管56の一端が接続され、その他端部が開閉弁57を介して前記吸着フィルタ42に接続され、その管端部を密閉容器13内の底部に配置している。

そして、電解槽13の陰極31と多数の析出部材36に放射セシウムやストロンチウム、重金属等の金属イオンを析出し、また電解によって発生した水素を捕集容器35に捕集後、前記遠心分離機を停止して電解槽13内の放射性物質を含まない清浄な炭酸水49を、リターンパイプ(図示略)を介して分離槽10へ返還可能にしている。

【0046】

一方、前記吸入ポンプ15に一対のループ導管58,59が接続され、該ループ導管58,59の他端に四方弁60が接続され、該四方弁60の二つのポートに一端を大気に開口した通気管61と、一端を分離槽10内に配管した連通管62とが接続されている。

前記四方弁60は、切換レバー63によって配管ポートを切換え可能にされ、その切換え位置は中立位置と排出位置および吸入位置に設定され、常時は中立位置に設定されていて、四方弁60に接続した通気管61と連通管62の導通と、分離槽10に配管した吸入ホース11との吸入および排出作動を制御可能にしている。

【0047】

前記汚染土壤17を採取して分離槽10へ導入する場合は、吸入ポンプ15を駆動し、図6のように切換レバー63を中立位置から吸入位置に切換え、ループ導管58,59を連通管62に連通して分離槽10内を負圧にし、吸入ホース11の先端部から汚染土壤17を吸入し、これを分離槽10へ導入して炭酸水49中に浸漬するようにしている。

そして、前記分離槽10に導入した汚染土壤17を炭酸水49によってジ・プロトン酸洗浄し、放射性セシウムイオン、ストロンチウム、重金属等の金属イオンを電離して、これらを汚染土壤17と炭酸水49等と一緒に固液分離フィルタ53ないし電解槽13へ送出可能にしている。

【0048】

その際、吸入ポンプ15を駆動し、図7のように切換レバー63を吸入位置から排出位置に切換え、ループ導管58,59と通気管61を連通管62に連通し、開閉弁18,46を閉弁するとともに、開閉弁51,57を開弁して、通気管61から大気を吸入し、これをループ導管58,59から連通管62へ送り出して、分離槽10内を加圧するようにしている。

【0049】

そして、分離槽10内の分離後の土壤17と放射性セシウムイオン、ストロンチウム、重金属等の金属イオンと、炭酸水49等が混在する泥状液を固液導管52へ送り出し、該導管52から固液分離フィルタ53へ導入して、前記泥状液を固液分離し、分離後の放射性物質、重金属等の金属イオン、炭酸水49等を含む分離液37を電解槽13へ送り出すようにしている。

その際、前記分離液37は電解槽13の導入前に吸着フィルタ42に導入され、該フィルタ42で分離液37中の放射性物質、重金属等の金属イオンを吸着し、該フィルタ42を通過後の分離液37を電解槽13へ導入して電解を実行するようにしている。

【0050】

前記電解槽13の電解は図8のように、スイッチ34をONして陰極31と陽極である

10

20

30

40

50

密閉容器30とを通電し、陰極31に水素を発生させ、陽極である密閉容器30に酸素を発生させるようにしている。

前記水素にはトリチウムが微量存在し、このトリチウムを含む水素の気泡を陰極31および析出部材36に沿って浮上させ、前記気泡が分離液37の液面に到達した際に捕集器35に捕集するようにしている。

そして、捕集したトリチウムを含む水素を吸引ポンプ40を駆動して吸引し、これをトラップ管38へ導いてガスボンベ41に注入し、該ガスボンベ41に大気圧程度に充填するようにしている。

【0051】

一方、密閉容器30内の側面から酸素が発生し、その気泡が側壁に沿って上昇し、密閉容器30内上部の捕集器35の上方スペースへ移動して滞留する。この場合、密閉容器30内の底面は絶縁被覆30aが形成されているから、当該部から酸素は発生しない。 10

前記密閉容器30内の上部に安全弁72が取付けられ、該安全弁72は常時は閉弁し、密閉容器30内に所定圧以上の酸素が滞留した際、開弁して前記酸素を排出管73を介し外部へ放出可能にしている。

【0052】

また、前記電解中、吸着フィルタ42を通過して残留した放射性物質、重金属等の金属イオンを分離液37中に電気泳動させ、これを陰極31と、陰極31と同電位に印加した析出部材36に析出させるようにしている。

このように密閉容器30内の分離液37を電解し、放射性物質、重金属等の金属イオンを陰極31等を析出部材36に析出する一方、トリチウムを含む水素をガスボンベ41に充填して、分離液37から放射性物質を含む金属イオンと水素ガスを除去し、炭酸水49を含む清浄な水に調整するようにしている。 20

【0053】

前記清浄にした炭酸水49を含む分離液37は分離槽10へ戻して活用するようにし、その場合は図10のように吸入ポンプ15を駆動し、切換レバー63を排出位置から吸入位置へ切換え、開閉弁18, 46を閉弁するとともに、開閉弁51, 57を開弁して分離槽10内の炭酸水49を含む泥水を連通管62を介して吸い出し、分離槽10内を負圧に形成する一方、電解槽13内の清浄な分離液37を分離液導管56で吸い出し、これを固液導管52に導いて分離槽10へ導入するようにしている。 30

【0054】

一方、回収した除染後の土壤17aは、天日干しありは加熱して乾燥し、乾燥後に土壤活性剤65を所定量添加して混合し、採取した土壤17を除染し改質するようにしている

前記土壤活性剤65として、堆肥等の有機肥料、菌根菌、または窒素、磷、カリウムを含む種々の化学肥料が含まれ、改質した土壤17を採取した元の田畠へ戻すようにして、除染土壤17の減容化を図っている。図中、64は分離槽10内の炭酸水49の酸性濃度を測定可能なpHセンサ、66は除染作業者である。

実施形態では前記土壤活性剤65として、消火器の未使用期間経過後の、第一リン酸アンモニウム若しくは硫酸アンモニウムを含有する粉末状の消火剤を使用し、その有効利用を図っている。 40

【0055】

一方、電解槽13の陰極31や析出部材36には、電解によって所定量の放射性物質が蓄積するため、分離液37の電解処理量を目安に使用済み電解槽13の廃棄と交換をする。

このうち、使用済み電解槽13の廃棄は、開閉弁57を密閉容器30から取り外し、分離液導管56を中間部で切断して固液分離フィルタ53と分断する。

その際、吸着フィルタ42も同様に廃棄と交換をするが、吸着フィルタ42は密閉容器30内に配置されているため、電解槽13と同時期に廃棄し交換する。

【0056】

また、リード線32を切断して電極33やスイッチ34と一緒に再利用を図り、pHセ 50

ンサ 4 3 も同様に再利用を図るようにしている。

更に、トラップ管 3 8 の中間部を切断し、吸引ポンプ 4 0 とその吐出管の再利用を図るとともに、給水管 2 8 の端部を切断し、開閉弁 2 9 , 2 6 と給水管 2 8 の残部の再利用を図るようにしている。

【 0 0 5 7 】

このようにして、使用済み電解槽 1 3 の周辺部材を取外して円筒状に形成し、その密閉容器 3 0 の内部に陰極 3 1 と多数の析出部材 3 6 、これらに析出した放射性物質を含む金属イオン、捕集器 3 5 と分離液 3 7 の残液、吸着フィルタ 4 2 、安全弁 7 2 を残置させて、電解槽 1 3 を立位姿勢で積み重ね、これをコンクリート製の安全な保管設備 6 7 に保管するようにしている。この状況は図 1 1 および図 1 2 のようである。

10

【 0 0 5 8 】

一方、使用済み電解槽 1 3 を撤去後、新規の電解槽 1 3 を除染車両 9 の同位置に絶縁処理して設置し、固液分離フィルタ 5 3 に一端を接続した分離液導管 5 6 の他端を開閉弁 5 7 に接続し、またトラップ管 3 8 の一端を密閉容器 3 0 内に装着し、この他端を吸引ポンプ 4 0 に接続し、その吐出管を新規なガスボンベ 4 1 に差し込む。

更に、陰極 3 1 の上端部にリード線 3 2 を接続し、この他端を密閉容器 3 0 に接続し、pH センサ 4 3 を密閉容器 3 0 に取付けて、交換するようにしている。

【 0 0 5 9 】

また、水素ガスを充填したガスボンベ 4 1 を保管する場合は、前記保管設備 6 7 と同様な保管設備 6 9 を設け、該設備 6 9 内にガスボンベ 4 1 を図 1 3 のように横積み状態で保管するようにしている。この場合、ガスボンベ 4 1 の口元部に常時は閉弁可能なバルブ（図示略）が設けられ、充填した水素ガスの漏洩を防止している。

20

この他、図中、7 0 , 7 1 は除染車両 9 の車体下部に設けた給水管 2 7 , 2 8 用の給水ポンプである。

【 0 0 6 0 】

このように構成した土壤等の除染方法および土壤等の除染システムは、除染車両 9 を要し、該除染車両 9 は従来のバキュームカーを改良し、その車体に分離槽 1 0 と給水タンク 1 2 、電解槽 1 3 と二酸化炭素を充填したガスボンベ 1 4 、土壤や草木、田畠の滞留水等を吸引可能な吸入ポンプ 1 5 と、固液分離フィルタ 5 3 、土壤活性剤 6 5 、吸着フィルタ 4 2 等を搭載している。この状況は図 2 , 3 のようである。

30

【 0 0 6 1 】

このうち、分離槽 1 0 は開蓋可能な箱形の容器で構成し、その上部に吸入ホース 1 1 を捲回可能な円筒状のリール 1 6 を回動可能に設け、該リール 1 6 はリコイルバネ（図示略）を介して反時計方向へ回動可能に付勢し、その周面に吸入ホース 1 1 を捲回可能にする

そして、汚染土壤の吸引時に吸入ホース 1 1 を外側へ引き出し、その引張り力によってリール 1 6 を図 3 上時計方向へ回動し、吸入ホース 1 1 を繰り出し可能にする。

【 0 0 6 2 】

前記吸入ホース 1 1 の一端は分離槽 1 0 の内部に連通し、その他端部で吸引した汚染土壤 1 7 を分離槽 1 0 内に導入し、その基端部側に開閉弁 1 8 を設け、他端部に異物吸い込み防止用のフィルタ 1 9 を設ける。

40

前記給水タンク 1 2 は開蓋可能な箱形の容器に構成して、前記分離槽 1 0 に隣接して配置し、その内部に前記分離槽 1 0 と電解槽 1 3 に供給可能な一定量の清浄な水 2 4 を収容可能にする。

前記給水タンク 1 2 の底部に開閉弁 2 5 , 2 6 を設け、これらに給水管 2 7 , 2 8 の一端を接続し、このうち給水管 2 7 の他端を分離槽 1 0 内の上部に配管し、給水管 2 8 の他端を電解槽 1 3 の底部に設けた開閉弁 2 9 に接続し、これらの給水管 2 7 , 2 8 に給水泵 7 0 , 7 1 を配置する。

【 0 0 6 3 】

前記電解槽 1 3 はステンレス鋼板製の円筒状の密閉容器 3 0 を備え、その容積を約 1 . 8 L に構成していて、表面に鉛を被覆して放射線を遮蔽可能にし、かつ車体や隣接部材に

50

対し絶縁可能に設置する。そして、前記電解槽13を除染車両9の荷台の前部スペースに、ガスボンベ14や給水タンク12と隣接して配置する。

前記密閉容器30は中央に棒状の陰極31を貫通して垂直に配置し、該陰極31と陽極である密閉容器30とにリード線32を配線し、該リード線32にDC電源33とスイッチ34を接続する。

【0064】

前記陰極31の下端部を密閉容器30の底部の直上に配置し、該密閉容器30内の陰極31の中高位置に水素ガスを捕集する円筒状の捕集容器35を配置する。前記捕集容器35は一端を開口した深底の円筒状に形成し、その開口部を下向きにして密閉容器30内に配置する。

また、密閉容器30内の上部に吸着フィルタ42を取付け、該フィルタ42に分離液導管56を接続し、その下端部を密閉容器30内の底部直上に配置するとともに、密閉容器30内の上部に安全弁72を取り付け、その排出管73を容器30の外部に開口する。

更に、前記捕集容器35の内側に、多数の析出部材36を陰極31を囲繞して近接して配置し、これらを陰極31に電気的に接続し、かつ各析出部材36を電解時に分離液37中に没入させる。

【0065】

前記捕集容器35内の上部で分離液37の液面上に、トラップ管38の一端を配置し、該管38の他端を捕集容器35と密閉容器30を貫通して外部の水素ガス充填装置39に接続する。

前記水素ガス充填装置39は吸引ポンプ40と、水素ガスを充填可能なガスボンベ41を備え、該ボンベ41の口元部に常時は閉弁しトラップ管38の端部を着脱可能な開閉バルブ(図示略)を設け、該水素ガス充填装置39を電解槽13に隣接して配置する。

【0066】

前記ガスボンベ14を電解槽13に隣接して立設して配置し、その上端部に開閉弁44を設け、該開閉弁44にガス導管45を接続し、該ガス導管45の他端を分離槽10の底部に設けた開閉弁46に接続する。

前記ガス導管45に三方弁47を介挿し、該三方弁47にガス導管48の一端を接続し、この他端を電解槽13の下部周面に接続し、二酸化炭素を給水タンク12や電解槽13へ選択的に供給可能にする。

前記分離槽10は給水後、ガスボンベ14からガス導管45を介して二酸化炭素を供給可能にし、この二酸化炭素によって放射性セシウムの溶離溶媒として、所定酸性濃度の炭酸水(H_2CO_3)49を作製可能にする。

【0067】

前記分離槽10の底部に開閉弁51を設け、該開閉弁51に固液導管52の一端を接続し、該導管52の他端を縦長筒状の固液分離フィルタ53に接続する。

前記固液分離フィルタ53を垂直に配置し、その内部に備えた回転筒(図示略)の内部に遠心分離機(図示略)を有し、前記分離槽10から導入される固液成分のうち、土壤17を回転筒の外側へ移動し、セシウムイオンやトリチウム水が混在する炭酸水49を含む軽い汚染流体を回転筒の内側へ移動して、これらを固液分離可能にする。

【0068】

このように前記除染車両9は、分離槽10と給水タンク12、電解槽13とガスボンベ14と、吸入ポンプ15と固液分離フィルタ49、分離槽10の上部に捲回可能にした吸入ホース11等を合理的かつコンパクトに配置しているから、その小形化と軽量化、並びに低廉化を図れ、山間の棚田や里地の狭隘な農道へも移動でき、その機動性を発揮して土壤17の採取に重機を要することなく前記搭載機材で一連の除染作業を行なえる。

【0069】

次に、前記除染車両9によって放射性物質で汚染された汚染土壤17と汚染水4を除染する場合は、現地で清浄な水24を調達できない場合があるため、予め給水タンク12に所定量の清浄な水24を収容し、併せて分離槽10にも所定量の水24を収容し、この除

10

20

30

40

50

染車両 9 を除染対象地 1 の田畠 3 や水田 5 、山林や休耕地、湖沼へ移動し、隣接する農道 8 等に停車する。この状況は図 1 のようである。また、除染作業前の分離槽 10 と給水タンク 12 、電解槽 13 、吸入ポンプ 15 の状況は図 5 のようである。

【 0 0 7 0 】

そして、除染作業開始時、ガスボンベ 14 に充填した二酸化炭素を、ガス導管 45 を介して分離槽 10 の水 24 中へ送り込み、攪拌装置 50 を駆動して二酸化炭素と水 24 を攪拌し、pH センサ 42 を基に所定酸性濃度の炭酸水 49 を作製する。実施形態では炭酸水 49 の酸性濃度を pH 3 ~ 6 に設定している。

この場合、二酸化炭素は大気圧ないしそれ以上に加圧され、これが水 24 に溶解するから、その溶解度が促され、炭酸水 49 の酸性濃度の上昇を促す。また、実施形態ではセシウムの溶離溶媒として、二酸化炭素と水 24 によって弱酸性の炭酸水 49 を使用しているから、高価で取り扱いが危険な薬酸等の強酸を要することなく、後述の除染作業を安全に行なえる。

【 0 0 7 1 】

こうして炭酸水 49 の作製後、吸入ホース 11 を分離槽 10 から繰り出し、吸入ホース 11 を作業者 66 が保持して所定の除染作業位置へ移動する。また、これと前後して吸入ポンプ 15 を駆動し、その切換えレバ - 63 を吸入位置に切換え、通気管 61 と連通管 62 によって分離槽 10 内の空気を吸い出し、吸入ホース 11 の先端から吸引可能にする。この状況は図 6 のようである。

【 0 0 7 2 】

このような状況の下で、吸入ホース 11 の先端を汚染された田畠 3 の表土 2 の直上に位置付け、また水田 5 や湿地帯の場合は汚染水 4 中に没入させ、直下の汚染土壌 17 や汚染水 4 および汚染水 4 に混在したトリチウム水を吸引する。この状況は図 1 および図 4 (a) , (b) のようである。

そして、吸入ホース 11 の先端から汚染水 4 やトリチウム水、汚染土壌 17 を吸引し、これらが吸入ホース 11 に導かれて分離槽 10 へ移動する。この状況は図 6 のようである

【 0 0 7 3 】

前記吸引された土壌 17 や汚染水 4 、トリチウム水等は混在して吸入ホース 11 に導かれて分離槽 10 の上部へ移動し、該ホース 11 の開口端から分離槽 10 内の炭酸水 49 中に落下して没入する。この状況は図 6 のようである。

このため、土壌 17 や汚染水 4 に付着ないし沈着した放射性セシウムイオンが炭酸水 49 に洗浄されて溶出し、該イオンが土壌 17 や汚染水 4 から分離して炭酸水 49 中に混在する。

この場合、土壌 17 や汚染水 4 の導入に伴なって、炭酸水 49 の酸性濃度が徐々に低下するから、その変化を pH センサ 42 で確認し、必要に応じてガスボンベ 14 から二酸化炭素を供給して、酸性濃度を一定に維持する。

【 0 0 7 4 】

この後、汚染土壌 17 や汚染水 4 を所定量吸引して一旦吸引を停止し、それらを分離槽 10 で所定時間攪拌し、炭酸水 49 にセシウムイオンを十分に溶出させたところで、開閉弁 18 を閉弁し、吸入ホース 11 をリール 16 に捲回して巻き戻し、汚染土壌 17 や汚染水 4 の吸引作業を一時終了する。

【 0 0 7 5 】

次に、開閉弁 51 を開弁し、切換えレバー 63 を吸入位置から排出位置に切換える。

このようにすると、通気管 61 から大気が吸入され、これがループ管 58 , 59 を経て連通管 52 へ送り出され、分離槽 10 内の上部から吹き出されて分離槽 10 を加圧する。

このため、汚染土壌 17 や汚染水 4 、トリチウム水が分離したセシウムイオンと共に開閉弁 51 から固液導管 52 へ送り出され、これらの固液成分が固液分離フィルタ 53 に導入される。

【 0 0 7 6 】

前記固液分離フィルタ 53 は、切換えレバー 63 の切換え操作と前後して遠心分離機が

10

20

30

40

50

始動し、その回転筒に前記固液成分が導入され、それらの比重差によって汚染土壤 17 が回転筒の外側へ移動し、前記土壤 17 を含まない炭酸水 49 が回転筒の内側へ移動して、これらが固液分離される。その際、土壤 17 に付着した炭酸水 49 は、遠心分離作用によって放射性セシウムイオンと一緒に土壤 17 から分離する。

したがって、放射性セシウムイオンの略全量とトリチウム水が炭酸水 49 と一緒に分離液 37 として分離液導管 56 へ送り出され、放射性セシウムイオンを含有しない土壤 17 a が前記分離フィルタ 49 の下方へ沈降して堆積する。この状況は図 7 のようである。

【 0 0 7 7 】

前記分離液 37 は分離液導管 56 に導かれて電解槽 13 上の吸着フィルタ 42 へ移動し、該フィルタ 42 で放射性物質、重金属等の金属イオンが吸着されて密閉容器 30 内に流下し、内部の陰極 31 と析出部材 36 を浸漬する。10

こうして、分離液 37 を電解槽 13 に導入後、吸入ポンプ 15 の駆動を停止し開閉弁 57 を閉弁する。また、分離液 37 中の酸性濃度を pH センサ 43 で確認し、必要に応じて二酸化炭素を電解槽 13 に補給し、炭酸水 49 の酸性濃度を調整するとともに、電解槽 13 の外部に装着したヒ - タ (図示略) を発熱させて放射性セシウムイオンの電気泳動を促す。この状況は図 7 のようである。

【 0 0 7 8 】

この後、スイッチ 34 を ON し、電極 30, 31 間を通電して分離液 37 を電気分解し、陽極である密閉容器 30 に酸素が発生し、陰極 31 に水素が発生する。

このうち、密閉容器 30 内の側面から酸素が発生し、その気泡が側壁に沿って上動し、捕集器 35 の上方スペースに移動して滞留する。その際、密閉容器 30 内の底面に絶縁被覆 30 a が設けられているから、該絶縁被覆部 30 a からは酸素が発生せず、水素を安全に捕集し得る。20

こうして、捕集器 35 の上方スペースに酸素が所定圧滞留すると、安全弁 72 が自動的に作動して開弁し、前記酸素が排出管 73 を介して外部に放出される。

【 0 0 7 9 】

また、前記発生した水素は、その気泡が陰極 31 や析出部材 36 に沿って分離液 37 中を浮上し、その液面上へ移動して捕集器 35 内に捕集される。

そして、前記水素の捕集に伴い捕集器 35 内の空気が押し出され、水素を一定濃度に濃縮したところで、吸引ポンプ 40 を始動し、捕集器 35 内の水素を吸引してトラップ管 38 に導き、これをトラップ管 38 の端部に装着したガスポンベ 41 に注入して充填する。この状況は図 8 のようである。30

【 0 0 8 0 】

一方、分離液 37 の電気分解によって、炭酸水 49 に溶出した放射性物質、重金属等の金属イオンが陰極 31 および周辺の析出部材 36 側へ電気泳動し、これらに析出して付着する。この場合、析出部材 36 は陰極 31 を囲繞して密集して配置されているから、前記金属イオン等を精密かつ確実に析出し、分離液 37 中の夾雑物を吸着して清浄化する。この状況は図 8 のようである。

【 0 0 8 1 】

こうして、所定時間、水素をガスポンベ 41 に充填するとともに、放射性物質、重金属等の金属イオンを陰極 31 および析出部材 36 に析出すると、電解槽 13 内に所定量の放射性物質が蓄積し、該電解槽 13 の廃棄と交換を要する。40

【 0 0 8 2 】

そこで、吸入ポンプ 15 を駆動し、切換レバ - 63 を吸入位置へ切換え、開閉弁 18, 46 を閉弁するとともに、開閉弁 51, 57 を開弁して、分離槽 10 内の炭酸水 49 を含む泥水を連通管 62 を介して吸い出し、分離槽 10 内を負圧に形成する一方、電解槽 13 内の清浄な分離液 37 を分離液導管 56 に吸い出し、これを固液分離フィルタ 53 から固液導管 52 を経て分離槽 10 へ還流し、その有効利用を図る。この状況は図 10 のようである。

【 0 0 8 3 】

10

20

30

40

50

一方、電解槽 13 内に配置した吸着フィルタ 42 が放射性物質、重金属等の金属イオンを吸着し、所定量の放射性物質が蓄積するため、使用済みの吸着フィルタ 42 を電解槽 13 と一緒に保管設備 67 に保管する。

また、所定量の水素を充填した充填済みのガスボンベ 41 をトラップ管 38 から抜き取り、これを保管設備 69 に保管する。

【0084】

一方、前記固液分離によって固液分離フィルタ 53 に分離後の土壤 17a が所定量貯留し、次期使用に支障が生ずる場合は、固液分離フィルタ 53 から土壤 17a を回収する。

その場合は、排出弁 54 を開弁して土壤 17a を排出管 54 から落下する。そして、回収した前記土壤 17a を乾燥し、これに所定の土壤活性剤 65 を添加し、前記土壤 17a を改質する。

前記土壤活性剤 65 としては、堆肥等の有機肥料、菌根菌、または窒素、磷、カリウムを含む種々の化学肥料を選択して使用し、これを前記土壤 17a に添加して混合し、これを採取した田畠 3 に散布して戻す。この状況は図 4 (g), (h) のようである。

【0085】

実施形態では前記土壤活性剤 65 として、消火器の消火剤の未使用期間経過後的第一リン酸アンモニウム若しくは硫酸アンモニウムを含有する粉末状の消火剤を使用し、これを親水化処理した肥料にして、その有効利用を図っている。

したがって、汚染土壤 17a を採取した田畠 3 は、改質された土壤 17a が散布されて原状以上の土壤を回復し肥沃になるから、汚染土壤を単に除染し元の田畠 3 へ戻す場合に比べ、農業を速やかに再開し得る。

【0086】

一方、分離槽 10 に清浄な分離液 37 を還流し、必要に応じて給水タンク 12 内の新規な水 24 を分離槽 10 へ補給し、ガスボンベ 14 から二酸化炭素を供給して炭酸水 49 を作製したところで、吸入ホース 11 を繰り出し吸入ポンプ 15 を駆動して、汚染土壤 17a や汚染水 4 およびこれに混在したトリチウム水の吸引ないし採取を再開する。

【0087】

そして、前述と同様に汚染土壤 17a や汚染水 4、トリチウム水等を分離槽 10 に導入し、それらの放射性物質を含む金属イオンを炭酸水 49 に溶出させ、この固液分離液を固液分離導管 56 を介して固液分離フィルタ 53 に導入し、該フィルタ 53 で土壤 17a と放射性物質、金属イオンを含む溶離溶媒を固液分離し、分離した土壤 17a を固液分離フィルタ 53 に貯留し、放射性物質、金属イオン、炭酸水 49 を含む分離液 37 を吸着フィルタ 42 に導き、分離液 37 中の放射性セシウム、重金属等を吸着する。

【0088】

このように実施形態では、電解槽 13 内に分離液 37 の残液と、陰極 31 や析出部材 36 に析出した放射性物質と金属イオン、吸着フィルタ 42 と安全弁 72 等を、一括して保管するから、これらを解体して個々に保管する場合に比べ、これを合理的でコンパクトかつ安全に保管し得るとともに、放射線被爆による事故を未然に防止し得る。

【0089】

一方、使用済み電解槽 13 を撤去後、新規の電解槽 13 を除染車両 9 の同位置に絶縁処理して設置し、固液分離フィルタ 53 に分離液導管 56 の一端を接続し、この他端を開閉弁 57 に接続し、またトラップ管 38 の一端を密閉容器 30 内に配置し、この他端を吸引ポンプ 40 に接続し、その吐出管を新規なガスボンベ 41 に挿入する。

更に、陰極 31 の上端部にリード線 32 を接続し、この他端を密閉容器 30 に接続し、pH センサ 43 を密閉容器 30 に取付けて交換する。このように電解槽 13 の交換に際しては、放射性物質で汚染されていない部材を再利用しているから、これを合理的かつ安価に交換し得る。

【0090】

また、水素を充填したガスボンベ 41 を保管設備 69 に安全に保管する。この状況は図 13 のようである。この場合、水素に微量混在するリチウムは、半減期が 12.32 年で

10

20

30

40

50

比較的短いから、半減期経過前は厳重に保管し、半減期経過後はヘリウム3(³He)に変わるため、これを再利用し、または大気へ放出することが可能になる。

【0091】

このように実施形態では、除染車両9を汚染対象地1へ移動し、該汚染対象地1において汚染土壤17や汚染水4を採取し、その汚染土壤17や汚染水4を除染車両9に搭載した設備によって速やかに除染し、除染した土壤17aを改質して元の田畠3へ戻し、これら一連の除染作業を汚染対象地1で行なえるから、この種の除染作業を能率良く速やかに行なえ、農耕を速やかに再開し得るとともに、汚染土壤17の減容化を図れる。

しかも、実施形態では汚染された土壤17に限らず、汚染された水4が存在する水田5や湿地帯の除染にも適用し得るから、これを広域に亘って採用し得る実用的な効果がある

10

【0092】

また、この実施形態では放射性セシウムの他に、汚染対象地1から採取した汚染水4に混在するトリチウム水を土壤17と固液分離し、その分離液37を電解槽13で電気分解して発生した水素を捕集し、これをトラップしてガスボンベ41に充填し、水素に微量存在するトリチウムをガスボンベ41に封入して、保管設備67に安全に保管するから、トリチウムによる被爆を防止することができる。したがって、トリチウムの内部被爆によるDNAの破壊と、遺伝子の故障による癌発症の不安を払拭することができる。

【0093】

更に、この実施形態では使用済みの電解槽13や吸着フィルタ42と、分離液37の残液を密閉容器30に封じ込め、これらを安全に保管するから、電解槽13や吸着フィルタ42からの放射線被爆を防止し、これらを合理的かつ安全に保管することができる。

20

【産業上の利用可能性】

【0094】

このように本発明の土壤等の除染方法および土壤等の除染システムは、例えば放射性物質に汚染された田畠等の土壤や水を現地で確実かつ速やかに除染し、精密な除染と除染の能率向上を図るとともに、除染後の土壤に土壤活性剤を添加して土壤を改良し、これを元の田畠に速やかに戻して農耕の再開を促す一方、土壤に付着ないし沈着した放射性物質を土壤から精密に分離・濃縮し、汚染土壤の減容化と放射性物質の安全な処理を図るとともに、放射性セシウムやトリチウムの除染を実現し、トリチウムの内部被爆による不安を払拭するとともに、除染装置の合理的かつ安全な廃棄処理を実現し得るようにしている。

30

【符号の説明】

【0095】

1	除染対象地
4	汚染水
9	除染車両
10	分離槽
12	給水タンク
13	電解槽
14	二酸化炭素ガスボンベ
15	吸引ポンプ
17	汚染土壤(除染対象物)
17a	除染土壤

40

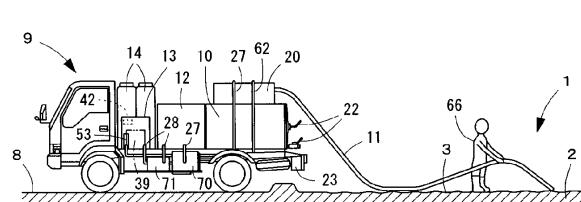
【0096】

30	密閉容器
30a	絶縁被覆
31	陰極
35	捕集器
36	析出部材
37	分離液
39	水素ガス充填装置

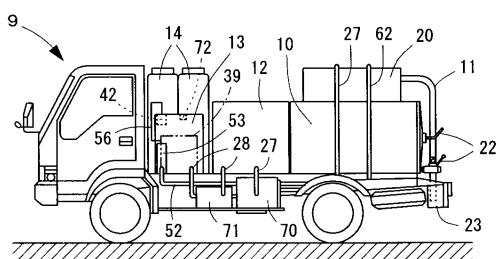
50

- 4 1 ガスポンベ
 4 2 吸着フィルタ
 4 9 溶離溶媒（炭酸水）
 5 3 固液分離フィルタ

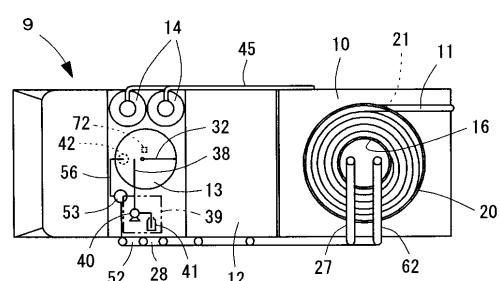
【図 1】



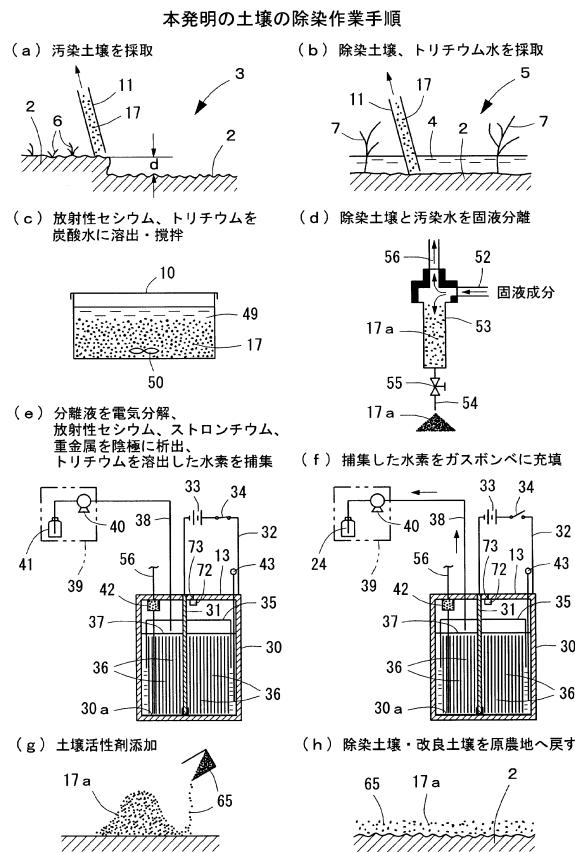
【図 2】



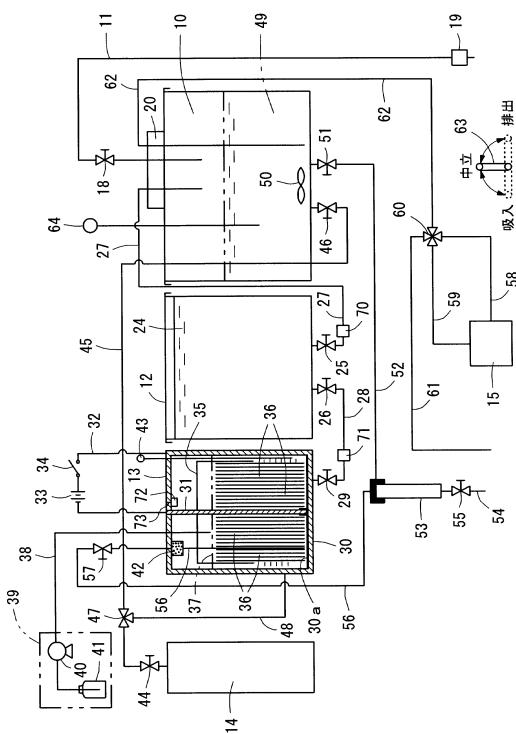
【図 3】



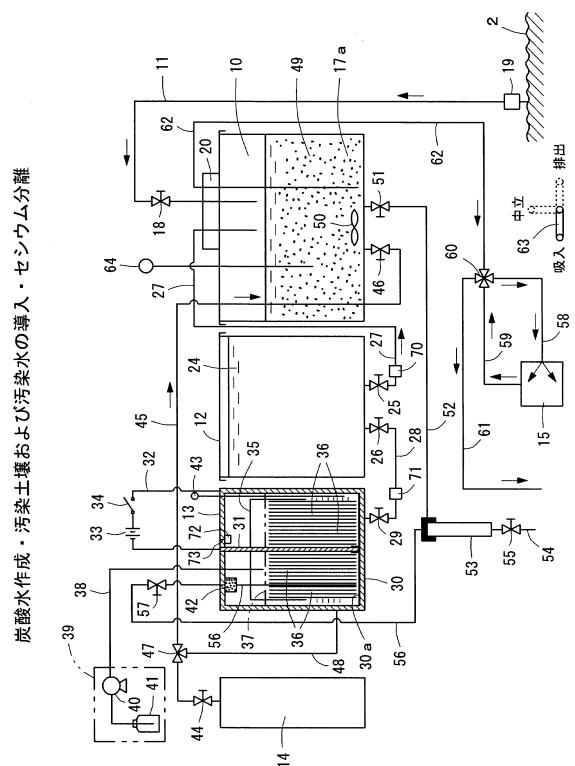
【図4】



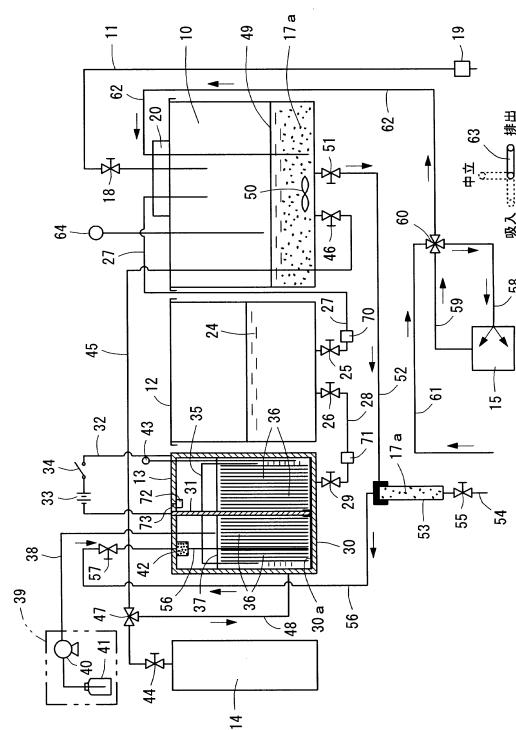
【図5】



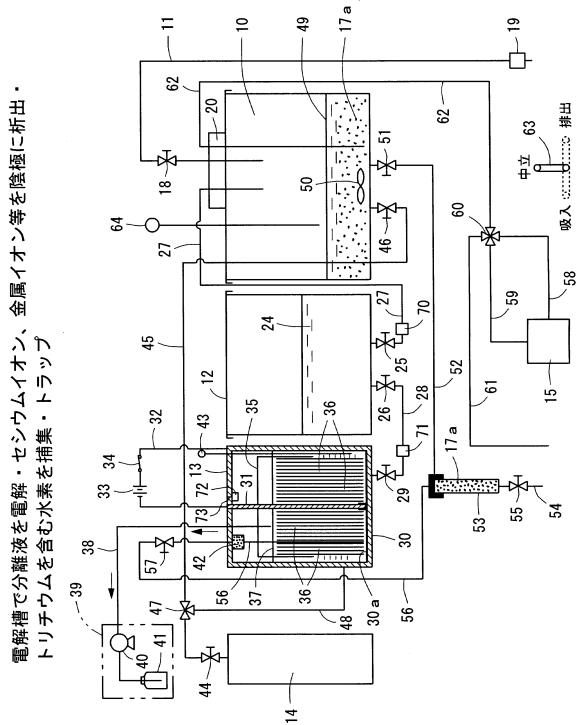
【図6】



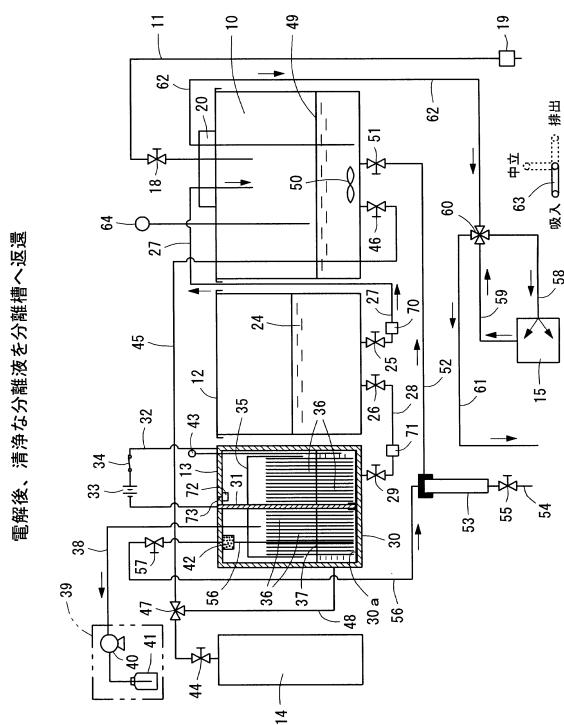
【図7】



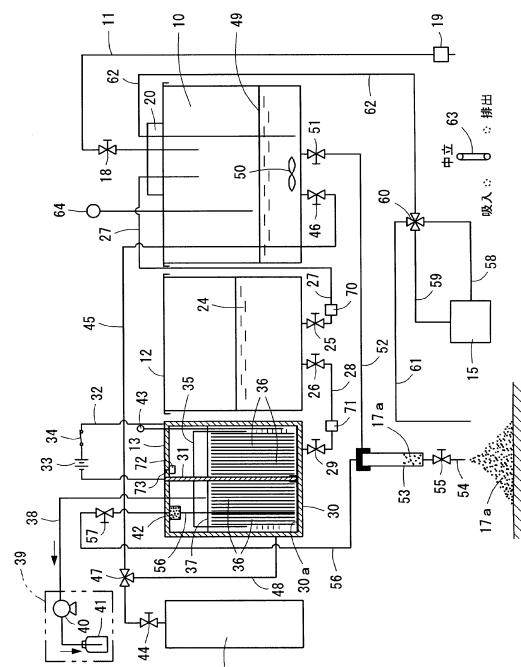
【図8】



【図10】

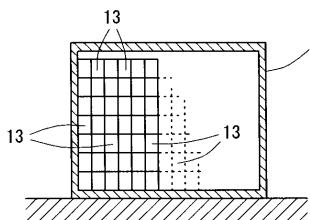


〔 四 9 〕



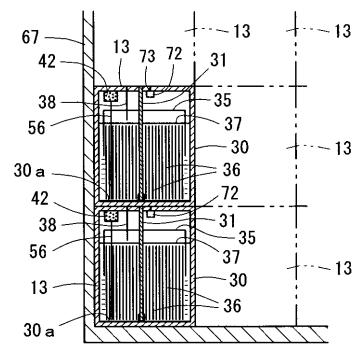
【図11】

使用済み電解槽の保管



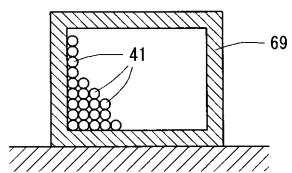
【 1 2 】

使用済み電解槽の保管



【図13】

水素充填ガスボンベの保管



フロントページの続き

(51)Int.CI.

F I

G 2 1 F	9/02	5 6 1 A
G 2 1 F	9/28	5 2 1 A

審査官 藤原 伸二

(56)参考文献 特開2014-041066 (JP, A)

特開昭58-113797 (JP, A)

特開平02-047598 (JP, A)

特開昭57-076500 (JP, A)

米国特許第6190531 (US, B1)

放射性物質(トリチウム・セシウム・ストロンチウム)の流出量の評価, [online], 日本, 東京電力株式会社, 2013年 8月21日, URL, http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2013/images/handouts_130821_13-j.pdf

福島第一原子力発電所のトリチウムの状況について, [online], 日本, 東京電力株式会社, 2013年 4月26日, p.1-4, URL, http://www.tepco/nu/fukushima-np/roadmap/images/c130426_06-j.pdf

(58)調査した分野(Int.CI., DB名)

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