

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-80574  
(P2016-80574A)

(43) 公開日 平成28年5月16日 (2016.5.16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G 2 1 G</b> 4/08 (2006.01)	G 2 1 G 4/08 T	
<b>G 2 1 G</b> 1/10 (2006.01)	G 2 1 G 1/10	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2014-213609 (P2014-213609)	(71) 出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(22) 出願日	平成26年10月20日 (2014.10.20)	(74) 代理人	110001807 特許業務法人磯野国際特許商標事務所
		(72) 発明者	可児 祐子 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	田所 孝広 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

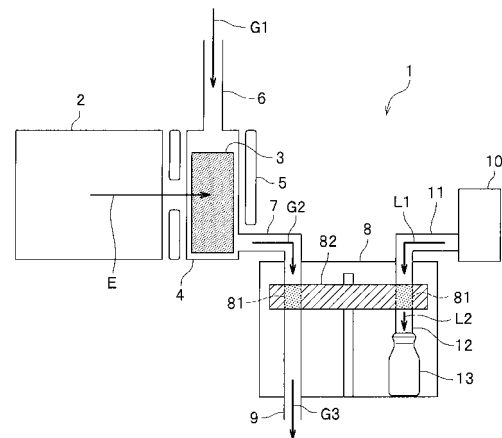
(54) 【発明の名称】 放射性薬剤製造システム、放射性薬剤製造装置および放射性薬剤の製造方法

(57) 【要約】

【課題】装置を小型化し、放射性薬剤の製造にかかわる従事者の放射線被ばくを低減する。

【解決手段】電子線加速器2と、電子線加速器2で加速した電子を用いて発生させた放射線を照射するモリブデン100を含む放射性核種製造用原料3を収納する容器4と、容器4に収納された放射性核種製造用原料3を加熱する加熱装置5と、放射線が照射された放射性核種製造用原料3を加熱することにより発生するテクネチウム99mを含むテクネチウム化合物を吸着する吸着剤81と、吸着剤81に吸着したテクネチウム99mを含むテクネチウム化合物を吸着剤81から溶離させる溶離液L1を供給する溶離液供給装置10と、溶離液L2を回収する薬剤回収部13と、を備える

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

電子線加速器で加速した電子を用いて発生させた放射線をモリブデン 100 を含む放射性核種製造用原料に照射することで原子核反応によりモリブデン 99 を製造する放射性核種製造装置と、

前記放射性核種製造用原料を加熱してモリブデン 99 の放射壊変で生成したテクネチウム 99 m を含むテクネチウム化合物を揮発させ、揮発した前記テクネチウム 99 m を含むテクネチウム化合物を吸着剤に吸着させ、前記テクネチウム 99 m を含むテクネチウム化合物を吸着した前記吸着剤に溶離液を通水して前記テクネチウム 99 m を含むテクネチウム化合物を前記溶離液に溶離させて、放射性薬剤を製造する放射性薬剤製造装置と、を備える

ことを特徴とする放射性薬剤製造システム。

## 【請求項 2】

前記モリブデン 100 を含む放射性核種製造用原料は、モリブデン金属または三酸化モリブデンである

ことを特徴とする請求項 1 に記載の放射性薬剤製造システム。

## 【請求項 3】

前記テクネチウム 99 m を含むテクネチウム化合物の揮発は、ガス流通下で行うことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の放射性薬剤製造システム。

## 【請求項 4】

前記ガスは、酸素ガス、または、酸素ガスと不活性ガスの混合ガスであることを特徴とする請求項 3 に記載の放射性薬剤製造システム。

## 【請求項 5】

前記テクネチウム 99 m を含むテクネチウム化合物を吸着した前記吸着剤に前記溶離液である生理食塩水を通水してテクネチウム 99 m の生理食塩水溶液を作成し、

前記溶液を放射性薬剤製造用薬剤に添加することで前記放射性薬剤を合成することを特徴とする請求項 1 に記載の放射性薬剤製造システム。

## 【請求項 6】

前記吸着剤は、放射性薬剤製造用薬剤を担持し、

前記テクネチウム 99 m を含むテクネチウム化合物を吸着した前記吸着剤に前記溶離液を通水することで前記放射性薬剤を合成する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の放射性薬剤製造システム。

## 【請求項 7】

前記溶離液は、放射性薬剤製造用薬剤を含む生理食塩水であり、

前記テクネチウム 99 m を含むテクネチウム化合物を吸着した前記吸着剤に前記溶離液を通水することで前記放射性薬剤を合成する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の放射性薬剤製造システム。

## 【請求項 8】

放射性核種製造用原料を加熱する温度は、

モリブデン化合物が揮発せず、テクネチウム化合物が選択的に揮発する温度である

ことを特徴とする請求項 1 に記載の放射性薬剤製造システム。

## 【請求項 9】

前記吸着剤は、繊維状石英、アルミナ、シリカゲル、有機物繊維、活性炭、イオン交換樹脂のいずれかを含む

ことを特徴とする請求項 8 に記載の放射性薬剤製造システム。

## 【請求項 10】

放射性核種製造用原料を加熱する温度は、

モリブデン化合物およびテクネチウム化合物が揮発する温度である

ことを特徴とする請求項 1 に記載の放射性薬剤製造システム。

## 【請求項 11】

10

20

30

40

50

前記吸着剤は、モリブデン化合物およびテクネチウム化合物の混合物から、テクネチウム化合物を選択的に吸着する

ことを特徴とする請求項 10 に記載の放射性薬剤製造システム。

【請求項 12】

前記モリブデン化合物および前記テクネチウム化合物は、酸化物である

ことを特徴とする請求項 8 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の放射性薬剤製造システム。

【請求項 13】

前記吸着剤を通過したオフガスからモリブデン化合物を回収する原料回収装置と、

回収した前記モリブデン化合物を前記放射性核種製造用原料として再利用する原料再供給装置と、を更に備える

10

ことを特徴とする請求項 10 または請求項 11 に記載の放射性薬剤製造システム。

【請求項 14】

電子線加速器と、

前記電子線加速器で加速した電子を用いて発生させた放射線を照射するモリブデン 100 を含む放射性核種製造用原料を収納する容器と、

前記容器に収納された前記放射性核種製造用原料を加熱する加熱装置と、

前記放射線が照射された前記放射性核種製造用原料を加熱することにより発生するテクネチウム 99m を含むテクネチウム化合物を吸着する吸着剤と、

前記吸着剤に吸着したテクネチウム 99m を含むテクネチウム化合物を前記吸着剤から溶離させる溶離液を供給する溶離液供給装置と、

20

前記溶離液を回収する薬剤回収部と、を備える

ことを特徴とする放射性薬剤製造装置。

【請求項 15】

電子線加速器で加速した電子を用いて発生させた放射線をモリブデン 100 を含む放射性核種製造用原料に照射することで原子核反応によりモリブデン 99 を製造し、

前記放射性核種製造用原料を加熱してモリブデン 99 の放射壊変で生成したテクネチウム 99m を含むテクネチウム化合物を揮発させ、

揮発した前記テクネチウム 99m を含むテクネチウム化合物を吸着剤に吸着させ、

前記テクネチウム 99m を含むテクネチウム化合物を吸着した前記吸着剤に溶離液を通水して前記テクネチウム 99m を含むテクネチウム化合物を前記溶離液に溶離させて、放射性薬剤を製造する

30

ことを特徴とする放射性薬剤の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放射性核種を用いた放射性薬剤を製造する放射性薬剤製造システム、放射性薬剤製造装置および放射性薬剤の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

放射性薬剤は、放射性核種と、疾病部に集積しやすい性質を有する薬剤と、を結合させた核診断用薬剤である。例えば、SPECT (Single photon emission computed tomography: 単一光子放射断層撮影) においては、放射性核種 (例えば、テクネチウム 99m) と薬剤とを結合させた放射性薬剤を被検体に投与して、放射性核種から放出される放射線 (ガンマ線) をカメラ (ガンマカメラ) で検知して画像化することにより、疾病の検査を行う。ちなみに、準安定状態 (meta stable) のテクネチウム 99m は、基底状態 (ground state) のテクネチウム 99 に核異性体転移する際、ガンマ線を放出する。

40

【0003】

テクネチウム 99m は親核種の放射性核種であるモリブデン 99 がベータ崩壊して生じる子孫核種であることから、テクネチウム 99m を用いる放射性薬剤の原料としてモリブデン 99 が用いられる。従来放射性薬剤を製造方法は、モリブデン 99 を担持したカラ

50

ムを作成し、モリブデン 99 からベータ崩壊により生じたテクネチウム 99 m を生理食塩水によって溶出・回収（ミルクング）し、回収したテクネチウム 99 m に薬剤を添加して放射性薬剤を製造する。

【0004】

モリブデン 99 の製造方法は、従来、原子炉内に高濃度または低濃度のウラニウム 235 を挿入して、ウラニウム 235 に中性子照射を行い、ウラニウム 235 の核分裂により生成した核分裂生成物からモリブデン 99 を分離回収し、精製することにより、モリブデン 99 を製造している。

【0005】

このような原子炉を利用したモリブデン 99 の製造施設は、世界的にも少数であり、かつ偏在している。また、モリブデン 99 の半減期は約 66 時間であり、テクネチウム 99 m の半減期は約 6 時間であるため、モリブデン 99 およびテクネチウム 99 m の長期間の貯蔵は不可能である。このため、モリブデン 99 の製造施設を持たない国では、航空機による輸入に頼るのが現状である。

10

【0006】

これに対し、加速器を利用した放射性核種の製造方法が検討されている。例えば、特許文献 1（国際公開第 2011/132265 号）には、モリブデン 100 に加速器で加速した陽子を照射することにより放射性核種（モリブデン 99、テクネチウム 99 m）を製造する製造方法が開示されている。

【0007】

また、原子炉や加速器で製造したモリブデン 99 からテクネチウム 99 m を回収する方法が開示されている。例えば、特許文献 2（特開 2011-105567 号公報）には、モリブデン 99 を含むモリブデンをアルミナカラムに担持し、生理食塩水を通水してテクネチウム 99 m を分離する方法が開示されている。また、特許文献 3（特開 2013-35714 号公報）には、モリブデン 99 を含むモリブデン酸化物ペレットをアルカリ溶液に溶解させ、有機溶媒（メチルエチルケトン）を用いてテクネチウム 99 m を抽出分離する方法が開示されている。また、特許文献 4（国際公開 2012/39037 号）には、モリブデン 99 とテクネチウム 99 m を含むモリブデンを溶媒に溶解し、樹脂を充填したカラムに通液してテクネチウムを樹脂に吸着させて分離する方法が開示されている。

20

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0008】

【特許文献 1】国際公開第 2011/132265 号

【特許文献 2】特開 2011-105567 号公報

【特許文献 3】特開 2013-35714 号公報

【特許文献 4】国際公開 2012/39037 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、従来の放射性薬剤の製造方法には以下のような課題がある。

40

【0010】

まず、放射性薬剤で使用する放射性核種の製造方法に関して、原子炉を使用する方法では、設備に対して多大な投資及び維持費がかかるという課題がある。これに対し、特許文献 1 に開示された加速器を使用する方法では、原子炉を使用する方法に対して装置の小型化が可能である。しかしながら、特許文献 1 に開示された加速した陽子とモリブデンとを反応させる方法では、陽子を加速する中型の加速器が必要となり、装置の小型化には限界がある。

【0011】

次に、テクネチウム 99 m（放射性核種）の回収方法に関して、特許文献 2 に開示された方法では、アルミナカラムに担持したモリブデンは使用后廃棄となるワンスルー使用

50

のため、廃棄物の増加という課題がある。これに対し、特許文献3および特許文献4に開示された方法では、テクネチウム分離後のモリブデンを回収し、照射ターゲットとして再利用することが可能である。しかしながら、テクネチウム99mを分離後に薬剤を添加して放射性薬剤を製造する過程では、製造従事者が手作業で行うことが想定されており、放射性薬剤の製造にかかわる従事者の放射線被ばくの点に課題があった。

【0012】

そこで、本発明は、装置を小型化し、放射性薬剤の製造にかかわる従事者の放射線被ばくを低減する放射性薬剤製造システム、放射性薬剤製造装置および放射性薬剤の製造方法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】

10

【0013】

このような課題を解決するために、本発明に係る放射性薬剤製造システムは、電子線加速器で加速した電子を用いて発生させた放射線をモリブデン100を含む放射性核種製造用原料に照射することで原子核反応によりモリブデン99を製造する放射性核種製造装置と、前記放射性核種製造用原料を加熱してモリブデン99の放射壊変で生成したテクネチウム99mを含むテクネチウム化合物を揮発させ、揮発した前記テクネチウム99mを含むテクネチウム化合物を吸着剤に吸着させ、前記テクネチウム99mを含むテクネチウム化合物を吸着した前記吸着剤に溶離液を通水して前記テクネチウム99mを含むテクネチウム化合物を前記溶離液に溶離させて、放射性薬剤を製造する放射性薬剤製造装置と、を備えることを特徴とする。

20

【0014】

また、本発明に係る放射性薬剤製造装置は、電子線加速器と、前記電子線加速器で加速した電子を用いて発生させた放射線を照射するモリブデン100を含む放射性核種製造用原料を収納する容器と、前記容器に収納された前記放射性核種製造用原料を加熱する加熱装置と、前記放射線が照射された前記放射性核種製造用原料を加熱することにより発生するテクネチウム99mを含むテクネチウム化合物を吸着する吸着剤と、前記吸着剤に吸着したテクネチウム99mを含むテクネチウム化合物を前記吸着剤から溶離させる溶離液を供給する溶離液供給装置と、前記溶離液を回収する薬剤回収部と、を備えることを特徴とする。

【0015】

30

また、本発明に係る放射性薬剤の製造方法は、電子線加速器で加速した電子を用いて発生させた放射線をモリブデン100を含む放射性核種製造用原料に照射することで原子核反応によりモリブデン99を製造し、前記放射性核種製造用原料を加熱してモリブデン99の放射壊変で生成したテクネチウム99mを含むテクネチウム化合物を揮発させ、揮発した前記テクネチウム99mを含むテクネチウム化合物を吸着剤に吸着させ、前記テクネチウム99mを含むテクネチウム化合物を吸着した前記吸着剤に溶離液を通水して前記テクネチウム99mを含むテクネチウム化合物を前記溶離液に溶離させて、放射性薬剤を製造することを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

40

本発明によれば、装置を小型化し、放射性薬剤の製造にかかわる従事者の放射線被ばくを低減する放射性薬剤製造システム、放射性薬剤製造装置および放射性薬剤の製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】第1実施形態に係る放射性薬剤製造システムの構成模式図である。

【図2】放射性核種分離・薬剤製造装置の内部構造を示す構成模式図である。

【図3】第2実施形態に係る放射性薬剤製造システムの構成模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

50

以下、本発明を実施するための形態（以下「実施形態」という）について、適宜図面を参照しながら詳細に説明する。なお、各図において、共通する部分には同一の符号を付し重複した説明を省略する。

【0019】

#### 第1実施形態

第1実施形態に係る放射性薬剤製造システム1について、図1および図2を用いて説明する。図1は、第1実施形態に係る放射性薬剤製造システム1の構成模式図である。

【0020】

図1に示すように、放射性薬剤製造システム（放射性薬剤製造装置）1は、加速器2と、放射性核種製造用原料3を収容する加熱容器4と、加熱装置5と、放射性核種分離・薬剤製造装置8と、溶離液供給装置10と、放射性薬剤回収部13と、各種配管（6, 7, 9, 11, 12）と、を備えている。

10

【0021】

加速器2は電子線加速器であり、電子を加速する機能を有している。なお、電子は陽子や重粒子（重陽子など）と比較して質量が小さいため、同じ加速エネルギーであれば、電子を加速する加速器2は、陽子を加速する加速器（特許文献1参照）と比較して、小型化することができる。

【0022】

加速器2で加速された電子線Eは、加熱容器4内に充填された放射性核種製造用原料3に照射される。高速の電子線Eが放射性核種製造用原料3に衝突すると、制動放射（制動放射線）により制動放射線（電磁線、即ちガンマ線）が発生する。制動放射線が発生した位置またはその近傍の位置に放射性核種製造用原料3が存在していることから、発生した制動放射線は、放射性核種製造用原料3に照射される。

20

【0023】

なお、図1において、加速器2は放射性核種製造用原料3に電子線Eを照射して、発生した制動放射線を放射性核種製造用原料3に照射するものとして説明したが、このような構成に限られるものではない。加速器2の出口に制動放射線発生用ターゲット（図示せず）を設置し、制動放射線発生用ターゲット（図示せず）に電子線を照射することにより発生した制動放射線を放射性核種製造用原料3に照射する構成であってもよい。

【0024】

放射性核種製造用原料3としては、モリブデンの同位体の一つであるモリブデン100を含むモリブデン金属、または三酸化モリブデンが使用される。放射性核種製造用原料3のモリブデン100の含有量が多いほど、核反応により生成する放射性核種の量が多くなる。

30

【0025】

モリブデン100とガンマ線（制動放射線）との反応（ $(\gamma, n)$ 反応）により、モリブデン99が製造される。モリブデン99は半減期約66時間の放射性核種であり、放射性壊変（ベータ崩壊）によりテクネチウム99m（半減期：約6時間）が生成する。放射性薬剤の製造の際に使用する放射性核種は、このテクネチウム99mである。

【0026】

加熱容器4は、放射性核種製造用原料3を収容する容器であり、ガス供給配管6およびガス配管7が接続されている。加熱装置5は、加熱容器4を加熱することにより、加熱容器4内に充填された放射性核種製造用原料3を加熱することができるようになっている。

40

【0027】

ここで、加速器2による電子線E（制動放射線）の照射により、加熱容器4内の放射性核種製造用原料3は、未反応のモリブデン100、 $(\gamma, n)$ 反応により生成したモリブデン99、ベータ崩壊により生成したテクネチウム99mの混合物となっている。第1実施形態に係る放射性薬剤製造システム1は、沸点の差を利用した揮発分離により、モリブデン100、モリブデン99、テクネチウム99mの混合物から、テクネチウム99mを分離するようになっている。

50

## 【 0 0 2 8 】

ここで、金属モリブデンの融点は2623 であり、三酸化モリブデン ( $\text{MoO}_3$ ) の融点は795 、沸点は1155 である。また、金属テクネチウムの融点は2204 であり、酸化テクネチウム (七酸化二テクネチウム;  $\text{Tc}_2\text{O}_7$ ) の融点は119.5 、沸点は310.6 である。

## 【 0 0 2 9 】

したがって、加熱装置5により加熱容器4内の温度を酸化テクネチウムの沸点である310.6 以上、かつ、三酸化モリブデンの融点である795 未満となるように調整することで、加熱容器4内の混合物 (放射性核種製造用原料3) からテクネチウム99mを含む酸化テクネチウム (テクネチウム化合物) のみを揮発させ、分離することができる。

10

## 【 0 0 3 0 】

ガス供給配管6は、供給ガスG1を加熱容器4内に供給するようになっている。供給ガスG1は、加熱容器4内で揮発した酸化テクネチウムを、ガス配管7を介して、放射性核種分離・薬剤製造装置8に搬送するためのガスである。

## 【 0 0 3 1 】

供給ガスG1は、酸素ガス、または、酸素ガスと不活性ガスの混合ガスを用いることが望ましい。放射性核種製造用原料3として金属モリブデンを使用する場合は、( , n ) 反応およびベータ崩壊により金属テクネチウム99mが生成されることとなるが、酸素を含む供給ガスG1を供給することにより、酸化テクネチウムとして混合物 (放射性核種製造用原料3) から分離し、後述する放射性核種分離・薬剤製造装置8で回収することができる。また、放射性核種製造用原料3として三酸化モリブデンを使用する場合も、酸素を含む供給ガスG1を供給することにより、テクネチウム99mの回収率を向上することができる。

20

## 【 0 0 3 2 】

ガス配管7は、加熱容器4と、放射性核種分離・薬剤製造装置8と、を接続する配管であり、テクネチウム化合物を含むガスG2が通流する。

## 【 0 0 3 3 】

放射性核種分離・薬剤製造装置8の構成について図1を参照しつつ図2を用いて説明する。図2は、放射性核種分離・薬剤製造装置8の内部構造を示す構成模式図である。

## 【 0 0 3 4 】

図1および図2に示すように、放射性核種分離・薬剤製造装置8は、吸着剤81と、吸着剤搬送装置82と、を備えている。また、放射性核種分離・薬剤製造装置8は、ガス配管7を介して加熱容器4と接続され、オフガス配管9を介してオフガス処理系 (図示せず) と接続され、液供給配管11を介して溶離液供給装置10と接続され、液配管12を介して放射性薬剤回収部13と接続されている。

30

## 【 0 0 3 5 】

吸着剤搬送装置82は、例えば図2に示すように、軸を中心に回転可能な円盤状の形状で、円盤の円周に沿って円盤の上面から下面に貫通した例えば丸型の貫通穴を複数有している。これらの貫通穴には、テクネチウム99mを含むテクネチウム化合物を高効率で吸着できるとともに、後述する溶離液 (例えば生理食塩水など) でテクネチウム化合物を容易に溶離できる吸着剤81が充填されている。

40

## 【 0 0 3 6 】

このようなテクネチウム99mを含むテクネチウム化合物 (酸化テクネチウム) を高効率で吸着できる吸着剤81としては、例えば、繊維状石英、アルミナ、シリカゲル、綿やナイロンなどの有機物繊維、活性炭、イオン交換樹脂等を使用することができる。

## 【 0 0 3 7 】

吸着剤搬送装置82の貫通穴に担持された複数の吸着剤81のうち、吸着剤81aの貫通穴は、上側にガス配管7が接続され、下側にオフガス配管9が接続される (図1参照) 。即ち、ガス配管7からオフガス配管9への流路上に吸着剤81aが配置されている。また、吸着剤搬送装置82の貫通穴に担持された複数の吸着剤81のうち、吸着剤81bの

50

貫通穴は、上側に液供給配管 1 1 が接続され、下側に液配管 1 2 が接続される（図 1 参照）。即ち、液供給配管 1 1 から液配管 1 2 への流路上に吸着剤 8 1 b が配置されている。また、吸着剤搬送装置 8 2 は円盤を回転することにより、吸着剤 8 1 a の貫通穴の位置から吸着剤 8 1 b の貫通穴の位置まで移動させることができるようになっている。即ち、吸着剤搬送装置 8 2 は、吸着剤 8 1 a を吸着剤 8 1 b の位置まで搬送することができるようになっている。同様に、吸着剤 8 1 b を吸着剤 8 1 a の位置まで搬送することができるようになっている。

【0038】

このような構成により、ガス配管 7 から通流するテクネチウム化合物を含むガス G 2 は、吸着剤 8 1（8 1 a）が充填された貫通穴に供給される。この際、テクネチウム化合物は、吸着剤 8 1（8 1 a）に吸着される。その他のガス（テクネチウム化合物に同伴する酸素ガス、若しくは、酸素ガスと不活性ガスの混合ガス、または、加熱容器 4 で発生したテクネチウム化合物以外の化合物のガス）は、吸着剤 8 1（8 1 a）を通過し、オフガス G 3 としてオフガス配管 9 を通流し、オフガス処理系（図示せず）に供給され、処理される。

10

【0039】

吸着剤 8 1（8 1 a）に一定量のテクネチウム 9 9 m を含むテクネチウム化合物を吸着した後、吸着剤搬送装置 8 2 の円盤を回転することにより、吸着剤 8 1（8 1 a）を吸着剤 8 1 b の位置まで移動させる。即ち、吸着剤 8 1（8 1 a）を充填した貫通穴からガス配管 7 およびオフガス配管 9 を外し、液供給配管 1 1 および液配管 1 2 を接続する。

20

【0040】

また、吸着剤 8 1（8 1 a）を充填した貫通穴が液供給配管 1 1 および液配管 1 2 に接続された際、他の吸着剤 8 1 を充填した貫通穴がガス配管 7 およびオフガス配管 9 に接続される。これにより、テクネチウム化合物を吸着剤 8 1（8 1 a）へ吸着させる処理および後述する吸着剤 8 1（8 1 b）からテクネチウム化合物を溶解させる処理を連続して行うことができるようになっている。

【0041】

溶離液供給装置 1 0 には、溶離液（例えば生理食塩水など）が貯留されており、液供給配管 1 1 を介して、吸着剤 8 1（8 1 b）を充填した貫通穴にテクネチウム化合物を溶離する溶離液 L 1 を供給することができるようになっている。

30

【0042】

このような構成により、吸着剤 8 1（8 1 b）を充填した貫通穴に液供給配管 1 1 および液配管 1 2 を接続した後に、液供給配管 1 1 から通流する溶離液 L 1 は、吸着剤 8 1（8 1 b）が充填された貫通穴に供給される。この際、吸着剤 8 1 に吸着されたテクネチウム化合物は、溶離液 L 1 に溶解し、吸着剤 8 1（8 1 b）の貫通穴出口では、テクネチウム化合物を溶解した溶離液 L 2 が溶出し、液配管 1 2 を介して、放射性薬剤回収部 1 3 に供給される。

【0043】

放射性薬剤回収部 1 3 には、放射性薬剤を製造するために必要な薬剤（疾病部に集積しやすい性質を有する薬剤）が充填されており、吸着剤 8 1 から溶出したテクネチウム化合物を含む溶離液 L 2 と混合することで、テクネチウムと薬剤が反応（結合）し、放射性薬剤が製造される。

40

【0044】

以上のように、第 1 実施形態に係る放射性薬剤製造システム（放射性薬剤製造装置）1 によれば、加速器 2 として電子線加速器を用いるので、特許文献 1 に開示された陽子加速器を用いる放射性薬剤製造システム（放射性薬剤製造装置）と比較して、放射性核種の製造から放射性薬剤の製造までの一連の操作を行う装置のサイズを小型化することができる。

【0045】

また、第 1 実施形態に係る放射性薬剤製造システム（放射性薬剤製造装置）1 によれば

50

、加熱容器 4 の加熱温度はテクネチウム 99 m を含むテクネチウム化合物が揮発する温度に設定するため、モリブデン 100、モリブデン 99 を含むモリブデン化合物は揮発しないで加熱容器 4 内に残る。そのため、放射性核種製造用原料 3 は継続して使用することができる。これにより、特許文献 2 と比較して、廃棄物を少なくすることができる。

【0046】

また、第 1 実施形態に係る放射性薬剤製造システム（放射性薬剤製造装置）1 によれば、放射性核種の製造から放射性薬剤の製造までの一連の操作を行う装置の自動化が可能であり、特許文献 3、4 と比較して、自動化することで薬剤製造の従事者が受ける放射線被ばくを低減することができる。

【0047】

なお、放射性薬剤を製造するために必要な薬剤は、あらかじめ放射性薬剤回収部 13 に充填されており、放射性薬剤回収部 13 で放射性薬剤が製造されるものとして説明したがこれに限られるものではない。

【0048】

例えば、放射性薬剤を製造するために必要な薬剤を、あらかじめ吸着剤 81 に担持させる構成であってもよい。この構成の場合、溶離液供給装置 10 から供給された生理食塩水（溶離液 L1）が吸着剤 81（81b）を通過する間にテクネチウム化合物と薬剤とが反応して放射性薬剤が製造される。そして、放射性薬剤は、液配管 12 を介して、放射性薬剤回収部 13 で回収される。

【0049】

また、放射性薬剤を製造するために必要な薬剤を、あらかじめ溶離液供給装置 10 から供給される生理食塩水に混合する構成であってもよい。この構成の場合、吸着剤 81（81b）からテクネチウム化合物が溶離される際に薬剤と反応し、放射性薬剤が製造される。そして、放射性薬剤は、液配管 12 を介して、放射性薬剤回収部 13 で回収される。

【0050】

また、放射性核種分離・薬剤製造装置 8 の吸着剤搬送装置 82 は、軸を中心に回転可能な構造により、吸着剤 81 を吸着剤 81a の位置から吸着剤 81b の位置まで搬送するものとして説明したがこれに限られるものではない。吸着剤搬送装置 82 は、少なくとも、テクネチウム化合物を含むガス G2 が流入するガス配管 7 からオフガス配管 9 への流路上から、溶離液 L1 が流入する液供給配管 11 から液配管 12 への流路上へと吸着剤 81 を搬送することができればよく、例えば、吸着剤 81 をカートリッジ状として、遠隔操作でカートリッジ交換が可能な構成であってもよく、搬送機構は限定されるものではない。また、配管の接続を切り替えることにより、吸着剤 81 を、ガス配管 7 からオフガス配管 9 への流路上から、液供給配管 11 から液配管 12 への流路上へと、切り替える構成であってもよい。

【0051】

また、第 1 実施形態に係る放射性薬剤製造システム（放射性薬剤製造装置）1 は、テクネチウム化合物を吸着する吸着剤 81a の近傍に、換言すれば、ガス配管 7 と吸着剤 81 が担持される貫通穴との接続部の近傍、または、オフガス配管 9 と吸着剤 81 が担持される貫通穴との接続部の近傍に、ガンマ線を検出可能な放射線検出器（図示せず）を備えていてもよい。このような構成により、吸着剤 81（81a）に所定量のテクネチウム 99 m を含むテクネチウム化合物を吸着されたことを確認することができる。なお、ガンマ線を検出可能な放射線検出器（図示せず）としては、例えば NaI 検出器、半導体検出器などを用いることができる。

【0052】

## 第 2 実施形態

次に、第 2 実施形態に係る放射性薬剤製造システム（放射性薬剤製造装置）1A について、図 3 を用いて説明する。図 3 は、第 2 実施形態に係る放射性薬剤製造システム 1A の構成模式図である。

【0053】

10

20

30

40

50

第2実施形態に係る放射性薬剤製造システム（放射性薬剤製造装置）1A（図3参照）は、第1実施形態に係る放射性薬剤製造システム（放射性薬剤製造装置）1（図1参照）と比較して、加熱装置5Aと、吸着材81Aと、が異なっており、また、原料回収部14と、原料再供給手段15と、を更に備える点で異なっている。その他の構成は第1実施形態に係る放射性薬剤製造システム（放射性薬剤製造装置）1と同様であり、説明を省略する。

【0054】

加熱装置5Aは、加熱容器4を加熱することにより、加熱容器4内に充填された放射性核種製造用原料3を加熱することができるようになっている。ここで、加熱装置5Aは、加熱容器4内の温度を三酸化モリブデンの昇華温度（約700）以上となるように調整する。なお、加熱容器4内の温度は、三酸化モリブデンの沸点1155未満とすることが望ましい。具体的には、800から900に調整する。

10

【0055】

このような構成とすることにより、加速器2による照射で加熱容器4内に生成したモリブデン100、モリブデン99、テクネチウム99mの混合物（放射性核種製造用原料3）からテクネチウム99mを含む酸化テクネチウム（テクネチウム化合物）を揮発させる際、混合物中の三酸化モリブデンが液化または昇華揮発することから、好適にテクネチウム化合物を混合物から分離することができる。この際、加熱容器4内に生成したテクネチウム99mを含む酸化テクネチウム（テクネチウム化合物）と、モリブデン100およびモリブデン99を含む三酸化モリブデン（モリブデン化合物）が揮発する。

20

【0056】

このため、ガス配管7には、テクネチウム化合物およびモリブデン化合物を含むガスG4が通流し、吸着剤81Aが充填された貫通穴に流入する。ここで、吸着剤81Aは、テクネチウム99mを含むテクネチウム化合物（酸化テクネチウム）を選択的に吸着できる吸着剤が用いられる。

【0057】

このようなテクネチウム99mを含むテクネチウム化合物（酸化テクネチウム）を選択的に吸着できる吸着剤81としては、例えば、活性炭、イオン交換樹脂等を使用することができる。

【0058】

このような構成により、ガス配管7から通流するテクネチウム化合物およびモリブデン化合物を含むガスG4は、吸着剤81Aが充填された貫通穴に供給される。この際、テクネチウム化合物は、吸着剤81Aに吸着される。その他のガス（テクネチウム化合物に同伴する酸素ガス、若しくは、酸素ガスと不活性ガスの混合ガス、モリブデン化合物のガス、または、加熱容器4で発生したテクネチウム化合物およびモリブデン化合物以外の化合物のガス）は、吸着剤81Aを通過し、モリブデン化合物を含むオフガスG5としてオフガス配管9を通流し、原料回収部14に供給される。

30

【0059】

原料回収部14は、モリブデン化合物を含むオフガスG5から放射性核種製造用原料3として再利用可能なモリブデン化合物（三酸化モリブデン）を回収し、オフガスG6を排出する。なお、オフガスG6は、オフガス処理系（図示せず）に供給され、処理される。

40

【0060】

具体的には、原料回収部14は、モリブデン化合物（三酸化モリブデン）を吸着する吸着剤14Aを備え、モリブデン化合物を含むオフガスG5からモリブデン化合物を回収する。このようなモリブデン化合物（三酸化モリブデン）を吸着する吸着剤14Aとしては、例えば、繊維状石英、アルミナ、シリカゲル、綿やナイロンなどの有機物繊維、PZC（ポリ塩化ジルコニウム重合体）等を使用することができる。

【0061】

また、原料回収部14は、冷却装置14Bを備え、モリブデン化合物を含むオフガスG5を三酸化モリブデンの融点未満、望ましくは100以下に冷却し、気体状の三酸化モ

50

リブデンを固体化させて回収する。

【 0 0 6 2 】

原料再供給手段 1 5 は、原料回収部 1 4 で回収したモリブデン化合物（三酸化モリブデン）を、そのまま、あるいは必要に応じて金属化処理を行った後に、加熱容器 4 に供給することができるようになっている。これにより、回収したモリブデン化合物は再度放射性核種製造用原料 3 として使用することができる。また、原料回収部 1 4 において吸着剤 1 4 A を使用してモリブデン化合物を回収した場合、吸着剤 1 4 A の構成元素がガンマ線照射によるモリブデン 9 9 の製造に悪影響を及ぼさないものであれば、モリブデン化合物を吸着した吸着剤 1 4 A ごと加熱容器 4 に供給することができる。

【 0 0 6 3 】

以上のように、第 2 実施形態に係る放射性薬剤製造システム（放射性薬剤製造装置） 1 A によれば、第 1 実施形態で述べた効果に加え、テクネチウム化合物とともに原料であるモリブデン化合物を揮発させることで、テクネチウム 9 9 m の揮発も促進されるため、テクネチウム 9 9 m の回収率を向上することができる。これにより、放射性核種の製造コストを低減して、放射性薬剤の製造コストの低減に寄与することができる。

【 0 0 6 4 】

また、揮発したモリブデン化合物を原料回収部 1 4 で回収し、回収したモリブデン化合物を原料再供給手段 1 5 により放射性核種製造用原料 3 として再利用することができるので、廃棄物を少なくすることができる。

【符号の説明】

【 0 0 6 5 】

1 , 1 A	放射性薬剤製造システム（放射性薬剤製造装置）	
2	加速器（電子線加速器）	
3	放射性核種製造用原料	
4	加熱容器	
5 , 5 A	加熱装置	
6	ガス供給配管	
7	ガス配管	
8	放射性核種分離・薬剤製造装置	
8 1 , 8 1 A	吸着剤	30
8 2	吸着剤搬送装置	
9	オフガス配管	
1 0	溶離液供給装置	
1 1	液供給配管	
1 2	液配管	
1 3	放射性薬剤回収部	
1 4	原料回収部（原料回収装置）	
1 4 A	吸着剤	
1 4 B	冷却装置	
1 5	原料再供給手段（原料再供給装置）	40
E	電子線	
G 1	供給ガス	
G 2	テクネチウム化合物を含むガス	
G 3	オフガス	
G 4	テクネチウム化合物およびモリブデン化合物を含むガス	
G 5	モリブデン化合物を含むオフガス	
G 6	オフガス	
L 1	溶離液	
L 2	テクネチウム化合物を含む溶離液	

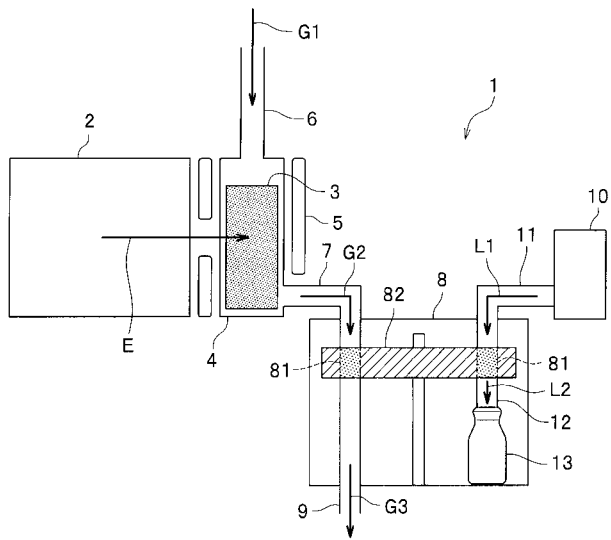
10

20

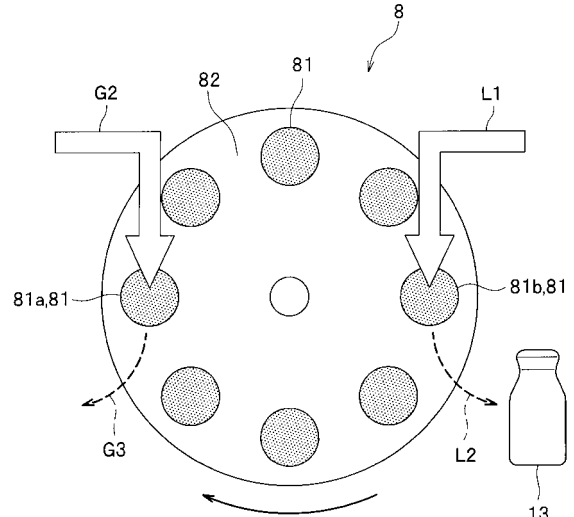
30

40

【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】

