

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02018/173811

発行日 令和2年1月23日(2020.1.23)

(43) 国際公開日 平成30年9月27日(2018.9.27)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)
G 2 1 G	4/10	(2006.01)	G 2 1 G 4/10
G 2 1 G	4/06	(2006.01)	G 2 1 G 4/06
G 2 1 H	5/00	(2006.01)	G 2 1 H 5/00 M

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 29 頁)

出願番号 特願2019-507549 (P2019-507549)	(71) 出願人 504229284 国立大学法人弘前大学 青森県弘前市文京町1番地
(21) 国際出願番号 PCT/JP2018/009285	(74) 代理人 100108372 弁理士 谷田 拓男
(22) 国際出願日 平成30年3月9日(2018.3.9)	(72) 発明者 床次 眞司 青森県弘前市文京町1番地 国立大学法人 弘前大学内
(31) 優先権主張番号 特願2017-58121 (P2017-58121)	
(32) 優先日 平成29年3月23日(2017.3.23)	
(33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)	

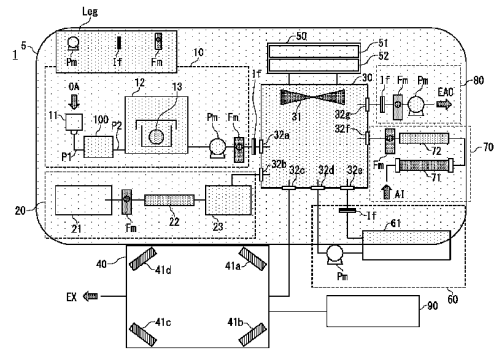
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放射性微粒子製造システムおよび放射性微粒子製造方法

(57) 【要約】

大掛かりな設備を用いずに物理的に安定した放射性微粒子を製造でき、新規な物理的指標を用いた放射能測定機器の性能評価を可能とし、空気の湿度により放射能濃度を制御する方法を具体的に示すと共に、放射能測定機器全体としての性能評価を実施できる放射性微粒子製造システム等を提供する。

放射性微粒子製造システム(1)は、放射性ガス生成システム(10)、特定粒子径エアロゾル発生システム(20)及び混合槽(30)を備えたシンプルな構成により、天然放射性核種を用いた放射性微粒子を製造する。220Rnを用いることにより、物理的に安定した子孫核種で放射性微粒子を製造する。混合槽(30)では特定の粒子径のエアロゾルのみに子孫核種を付着させ、特定の粒子径の放射性微粒子を生成する。取込んだ空気OAの湿度を制御して放射線源部(12)へ送り出す湿度制御部(100)により、天然放射性希ガスの放射能濃度を制御することができる。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

天然放射性希ガスを生成する放射性ガス生成装置と、非放射性微粒子を生成する微粒子生成装置と、該放射性ガス生成装置により生成された天然放射性希ガスと該微粒子生成装置により生成された非放射性微粒子とを混合する混合槽とを備えた放射性微粒子製造システムであって、

前記放射性ガス生成装置は、内部に天然放射性源を設置した放射線源部を有し、外部から取り込まれた空気を該放射線源部に送り込み、該空気と該天然放射性源から発生した天然放射性希ガスを混ぜて前記混合槽へ送るものであり、

前記微粒子生成装置は、

微粒子を発生させる微粒子発生器と、所定の粒子径の微粒子を弁別する粒子弁別器とを有し、該微粒子発生器により発生させた非放射性微粒子から該粒子弁別器により所定の粒子径の非放射性微粒子を弁別して前記混合槽へ送るものであり、

前記混合槽は、

前記微粒子生成装置から送られた所定の粒子径の非放射性微粒子に、前記放射性希ガス生成装置から送られた天然放射性希ガスが放射性壊変によって変換した子孫核種を付着させて所定の粒子径の放射性微粒子を生成することを特徴とする放射性微粒子製造システム。

【請求項 2】

請求項 1 記載の放射性微粒子製造システムにおいて、前記放射性ガス生成装置は、取込んだ空気の湿度を制御して送り出す湿度制御部をさらに備え、外部から取り込まれた空気を該湿度制御部に通した後に前記放射線源部へ送り込むことにより、前記天然放射性源から発生した天然放射性希ガスの放射能濃度を制御することを特徴とする放射性微粒子製造システム。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 記載の放射性微粒子製造システムにおいて、前記混合槽は生成された所定の粒子径の放射性微粒子を外部へ送り込む配管をさらに備え、該配管は内部に、該所定の粒子径の放射線微粒子を捕集する外部へ取り出し可能なフィルタを 1 以上直列に並べて設置されたことを特徴とする放射性微粒子製造システム。

【請求項 4】

請求項 3 記載の放射性微粒子製造システムにおいて、前記フィルタは所定のサイズのメッシュから構成されたメタルワイヤスクリーンであることを特徴とする放射性微粒子製造システム。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の放射性微粒子製造システムにおいて、前記混合槽で生成された所定の粒子径の放射性微粒子を送り込むばく露装置をさらに備え、

前記ばく露装置は、送り込まれた所定の粒子径の放射性微粒子を捕集する外部へ取り出し可能なフィルタを有することを特徴とする放射性微粒子製造システム。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の放射性微粒子製造システムにおいて、前記天然放射性源は環境試料から発生する ^{220}Rn 又は ^{222}Rn であることを特徴とする放射性微粒子製造システム。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の放射性微粒子製造システムにおいて、前記粒子弁別器は微分型静電分級器であることを特徴とする放射性微粒子製造システム。

【請求項 8】

天然放射性希ガスを生成する放射性ガス生成装置と、非放射性微粒子を生成する微粒子生成装置と、該放射性ガス生成装置により生成された天然放射性希ガスと該微粒子生成装置により生成された非放射性微粒子とを混合する混合槽とを用いた放射性微粒子製造方法であって、

10

20

30

40

50

前記放射性ガス生成装置において、外部から取り込まれた空気が内部に天然放射性源を設置した該放射線源部に送り込まれ、該空気と該天然放射性源とから天然放射性希ガスが生成されて前記混合槽へ送られる天然放射性希ガス生成工程と、

前記微粒子生成装置において、微粒子を発生させる微粒子発生器により非放射性微粒子が発生され、該非放射性微粒子が所定の粒子径の微粒子を弁別する粒子弁別器により所定の粒子径の非放射性微粒子が弁別されて前記混合槽へ送られる非放射性微粒子生成工程と、

前記混合槽において、前記非放射性微粒子生成工程で前記微粒子生成装置から送られた所定の粒子径の非放射性微粒子に、前記天然放射性希ガス生成工程で前記放射性ガス生成装置から送られた天然放射性希ガスが放射性壊変によって変換した子孫核種を付着させて所定の粒子径の放射性微粒子を生成する放射性微粒子生成工程とを備えたことを特徴とする放射性微粒子製造方法。

10

【請求項 9】

請求項 8 記載の放射性微粒子製造方法において、前記放射性ガス生成装置は取込んだ空気の湿度を制御して送り出す湿度制御部をさらに備え、

前記天然放射性希ガス生成工程は、外部から取り込まれた空気が前記湿度制御部に通された後に前記放射線源部に送り込まれることにより、生成される前記天然放射性希ガスの放射能濃度を制御することを特徴とする放射性微粒子製造方法。

【請求項 10】

請求項 8 又は 9 記載の放射性微粒子製造方法において、前記混合槽に接続するばく露装置をさらに備え、

20

前記放射性微粒子生成工程で生成された前記混合槽の所定の粒子径の放射性微粒子が前記ばく露装置に送り込まれ、該放射性微粒子は該ばく露装置が有する外部へ取出し可能なフィルタにより捕集される放射性微粒子捕集工程をさらに備えたことを特徴とする放射性微粒子製造方法。

【請求項 11】

請求項 8 乃至 10 のいずれかに記載の放射性微粒子製造方法において、前記天然放射性源は環境試料から発生する ^{220}Rn 又は ^{222}Rn であることを特徴とする放射性微粒子製造方法。

【請求項 12】

30

請求項 8 乃至 11 のいずれかに記載の放射性微粒子製造方法において、前記粒子弁別器は微分型静電分級器であることを特徴とする放射性微粒子製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、天然放射性希ガスを生成する放射性ガス生成装置と、非放射性微粒子を生成する微粒子生成装置と、これらの生成された天然放射性希ガスと非放射性微粒子とを混合して放射性微粒子を生成する混合槽と、生成された放射性微粒子が送られるばく露装置とを備えた放射性微粒子製造システムおよび放射性微粒子製造方法に関する。

【背景技術】

40

【0002】

天然放射性核種の壊変系列の一つであるウラン系列における ^{222}Rn (ラドン) を用いた放射性微粒子 (放射性エアロゾル) は製造可能であり、放射能測定機器の校正のための設備 (ラドンチェンバー) において世界的に広く利用されている (非特許文献 1)。しかし、ラドンチェンバーは大掛かりな設備であった。別の壊変系列であるトリウム系列における ^{220}Rn (トロン) ガス発生時の制御に関してはガスモニタ用チャンバーの校正に関して論文発表がなされていた (非特許文献 2)。しかし、当該論文はガスモニタ用チャンバーの校正に限定された研究であり、その後研究は進んでおらず、放射性微粒子を製造する技術の開発はほとんど行われていない。さらに、 ^{222}Rn は 30 ~ 60 分間程度の間次々と放射性壊変が進み (^{218}Po (3.1 分) ^{214}Pb (26.8 分) ^{214}Bi (19.9 分) ^{214}Po (164 微秒) ^{210}Pb (22.3 年) ^{210}Bi (5.01 分) ^{210}Po (138.4 日) ^{206}Pb) である。

50

^{214}Bi (19.9分)等)、比較的安定な長寿命核種(半減期約22年の ^{210}Pb)に変わってしまう。このため、物理的に安定した放射性微粒子の製造とはならない。

【0003】

因みに、 ^{220}Rn のガス濃度を比較的容易に測定する測定方法は、発明者が2002年に発表した論文により世界に広まった(非特許文献3)。当該測定方法は世界的な標準技術となり、市販の放射能測定機器の校正に用いられるようになった(非特許文献4)。非特許文献4には例えば市販の放射能測定機器としてRAD7(登録商標)を用いた校正実験の実施内容が記載されている。

^{220}Rn の放射能濃度測定技術において、ガスを送り込むための空気中の水分量が多い方が線源となる試料からの ^{220}Rn の発生量に大きく寄与すること、言い換えれば ^{220}Rn の放出量が大きいことが明らかにされた(非特許文献5)。しかし、空気の湿度により放射能濃度を制御する具体的な方法は明らかにされていなかった。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】Shinji TOKONAMI, Yuu ISHIMORI, Tetsuo ISHIKAWA, Keizo YAMASAKI, Yuji YAMADA, "Intercomparison Exercise of Measurement Techniques for Radon, Radon Decay Products and Their Particle Size Distributions at NIRS", Jpn. J. Health Phys., 40(3), 183-190(2005).

【非特許文献2】A.Sorimachi, S.Kumar Sahoo and S. Tokonami, "Generation and control of thoron emanated from lantern mantles", Rev. Sci. Instrum. 80, 015104(2009).

【非特許文献3】S. Tokonami, M.Yang, H.Yonehara and Y. Yamada, "Simple, discriminative measurement technique for radon and thoron concentrations with a single scintillation cell", Rev. Sci. Instrum. 73, 69(2002).

【非特許文献4】A.Sorimachi, M.Janik, S.Tokonami, T.Ishikawa, "An intercomparison done at NIRS, Japan on continuous monitors for measuring ^{220}Rn concentration", Applied Radiation and Isotopes, Volume 107, January 2016, Pages 145-151.

【非特許文献5】Hassan, N.M., Ishikawa, T., Hosoda, M., Iwaoka, K., Sorimachi, A., Sahoo, S.K., Janik, M., Kranrod, C., Yonehara, ZH., Fukushima, M., Tokonami, S., "The effect of water content on the radon emanation coefficient for some building materials used in Japan", Radiation Measurements, Volume 46, Issue 2, February 2011, Pages 232-237.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述したように、非特許文献1に示されるような放射能測定機器の校正のためのラドンチェンバーは大掛かりな設備であるという問題があった。さらに、放射性微粒子を製造する技術の開発はほとんど行われていないという問題もあった。加えて、 ^{222}Rn では物理的に安定した放射性微粒子の製造とはならないという問題があった。

【0006】

非特許文献5では空気の湿度と ^{220}Rn の放出量との関係は記載されているものの、空気の湿度により放射能濃度を制御する具体的な方法は明らかにされていないという問題があった。

【0007】

上述したように、放射能測定機器の校正のためのラドンチェンバーは大掛かりな設備である。このため、放射線測定機器メーカーが製造した放射性ダストモニタ等の放射能測定機器の性能評価は各要素技術のみの評価に留まり、機器全体としての性能評価が実施できないという問題があった。

【0008】

10

20

30

40

50

そこで、本発明の目的は上記問題を解決するためになされたものであり、大掛かりな設備を用いずに、放射性微粒子を製造することができる放射性微粒子製造システム等を提供することにある。さらに、天然放射性核種（特に ^{220}Rn ）を用いて物理的に安定した放射性微粒子を製造できると共に、製造する放射性微粒子の放射能濃度のみならず、新規な物理的指標を用いた放射能測定機器の性能評価を可能とする放射性微粒子製造システム等を提供することにある。

【0009】

本発明の第2の目的は、短半減期の放射性希ガス（ ^{220}Rn 、 ^{222}Rn ）を用いて放射性微粒子を製造するに際し、空気の湿度により放射能濃度を制御する方法を具体的に示した放射性微粒子製造システム等を提供することにある。

10

【0010】

本発明の第3の目的は、大掛かりな設備を用いずに、放射線測定機器メーカーが製造した放射能測定機器全体としての性能評価を実施することができる放射性微粒子製造システム等を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

この発明の放射性微粒子製造システムは、天然放射性希ガスを生成する放射性ガス生成装置と、非放射性微粒子を生成する微粒子生成装置と、該放射性ガス生成装置により生成された天然放射性希ガスと該微粒子生成装置により生成された非放射性微粒子とを混合する混合槽とを備えた放射性微粒子製造システムであって、前記放射性ガス生成装置は、内部に天然放射性源を設置した放射線源部を有し、外部から取り込まれた空気を該放射線源部に送り込み、該空気と該天然放射性源から発生した天然放射性希ガスを混ぜて前記混合槽へ送るものであり、前記微粒子生成装置は、微粒子を発生させる微粒子発生器と、所定の粒子径の微粒子を弁別する粒子弁別器とを有し、該微粒子発生器により発生させた非放射性微粒子から該粒子弁別器により所定の粒子径の非放射性微粒子を弁別して前記混合槽へ送るものであり、前記混合槽は、前記微粒子生成装置から送られた所定の粒子径の非放射性微粒子に、前記放射性希ガス生成装置から送られた天然放射性希ガスが放射性壊変によって変換した子孫核種を付着させて所定の粒子径の放射性微粒子を生成することを特徴とする。

20

【0012】

ここで、この発明の放射性微粒子製造システムにおいて、前記放射性ガス生成装置は、取込んだ空気の湿度を制御して送り出す湿度制御部をさらに備え、外部から取り込まれた空気を該湿度制御部に通した後に前記放射線源部へ送り込むことにより、前記天然放射性源から発生した天然放射性希ガスの放射能濃度を制御することができる。

30

ここで、この発明の放射性微粒子製造システムにおいて、前記混合槽は生成された所定の粒子径の放射性微粒子を外部へ送り込む配管をさらに備え、該配管は内部に、該所定の粒子径の放射線微粒子を捕集する外部へ取り出し可能なフィルタを1以上直列に並べて設置されたものとすることができる。

ここで、この発明の放射性微粒子製造システムにおいて、前記フィルタは所定のサイズのメッシュから構成されたメタルワイヤスクリーンとすることができる。

40

【0013】

ここで、この発明の放射性微粒子製造システムにおいて、前記混合槽で生成された所定の粒子径の放射性微粒子を送り込むばく露装置をさらに備え、前記ばく露装置は、送り込まれた所定の粒子径の放射性微粒子を捕集する外部へ取出し可能なフィルタを有することができる。

【0014】

ここで、この発明の放射性微粒子製造システムにおいて、前記天然放射性源は環境試料から発生する ^{220}Rn 又は ^{222}Rn とすることができる。

【0015】

ここで、この発明の放射性微粒子製造システムにおいて、前記粒子弁別器は微分型静電

50

分級器とすることができる。

【0016】

この発明の放射性微粒子製造方法は、天然放射性希ガスを生成する放射性ガス生成装置と、非放射性微粒子を生成する微粒子生成装置と、該放射性ガス生成装置により生成された天然放射性希ガスと該微粒子生成装置により生成された非放射性微粒子とを混合する混合槽とを用いた放射性微粒子製造方法であって、前記放射性ガス生成装置において、外部から取り込まれた空気が内部に天然放射性源を設置した該放射線源部に送り込まれ、該空気と該天然放射性源とから天然放射性希ガスが生成されて前記混合槽へ送られる天然放射性希ガス生成工程と、前記微粒子生成装置において、微粒子を発生させる微粒子発生器により非放射性微粒子が発生され、該非放射性微粒子が所定の粒子径の微粒子を弁別する粒子弁別器により所定の粒子径の非放射性微粒子が弁別されて前記混合槽へ送られる非放射性微粒子生成工程と、前記混合槽において、前記非放射性微粒子生成工程で前記微粒子生成装置から送られた所定の粒子径の非放射性微粒子に、前記天然放射性希ガス生成工程で前記放射性ガス生成装置から送られた天然放射性希ガスが放射性壊変によって変換した子孫核種を付着させて所定の粒子径の放射性微粒子を生成する放射性微粒子生成工程とを備えたことを特徴とする。

10

【0017】

ここで、この発明の放射性微粒子製造方法において、前記放射性ガス生成装置は取込んだ空気の湿度を制御して送り出す湿度制御部をさらに備え、前記天然放射性希ガス生成工程は、外部から取り込まれた空気が前記湿度制御部に通された後に前記放射線源部に送り込まれることにより、生成される前記天然放射性希ガスの放射能濃度を制御することができる。

20

【0018】

ここで、この発明の放射性微粒子製造方法において、前記混合槽に接続するばく露装置をさらに備え、前記放射性微粒子生成工程で生成された前記混合槽の所定の粒子径の放射性微粒子が前記ばく露装置に送り込まれ、該放射性微粒子は該ばく露装置が有する外部へ取出し可能なフィルタにより捕集される放射性微粒子捕集工程をさらに備えることができる。

【0019】

ここで、この発明の放射性微粒子製造方法において、前記天然放射性源は環境試料から発生する ^{220}Rn 又は ^{222}Rn とすることができる。

30

【0020】

ここで、この発明の放射性微粒子製造方法において、前記粒子弁別器は微分型静電分級器とすることができる。

【発明の効果】

【0021】

本発明の放射性微粒子製造システムは、天然放射性希ガスを生成する放射性ガス生成システムと、非放射性微粒子を生成する特定粒子径エアロゾル発生システムと、放射性ガス生成システムにより生成された天然放射性希ガスと特定粒子径エアロゾル発生システムにより生成された非放射性微粒子とを混合する混合槽とを備えている。本発明のこのシンプルな放射性微粒子製造システムによれば、大掛かりな設備を使用することなく天然放射性核種を用いた放射性微粒子を製造することができる。特に、天然放射性核種として ^{220}Rn を用いることにより、放射性壊変によって変換した物理的に安定した子孫核種で放射性微粒子を製造することができる。さらに、粒径が均一に揃った特定の粒子径のエアロゾル（単分散のエアロゾル）のみに子孫核種を付着させるため、特定の粒子径の放射性微粒子を生成することができる。この結果、これまでにない新規な物理的指標（エアロゾルの粒子径）を用いた放射能測定機器の性能評価を可能とする放射性微粒子製造システム等を提供することができるという効果がある。

40

【0022】

放射性ガス生成システムは取込んだ空気の湿度を制御して放射線源部へ送り出す湿度制

50

御部をさらに備えている。外部から取り込まれた空気を湿度制御部に通して湿度が制御された空気を放射線源部へ送り込むことにより、天然放射性源から発生する天然放射性希ガスの放射能濃度を制御することができる。この結果、短半減期の放射性希ガス (^{220}Rn または ^{222}Rn) を用いて放射性微粒子を製造するに際し、空気の湿度により放射能濃度を制御する方法を具体的に示した放射性微粒子製造システム等を提供することができるという効果がある。

【0023】

放射性微粒子製造システムは混合槽から特定の(所定の)粒子径の放射性微粒子を送り込むばく露装置を備えている。ばく露装置は、混合槽から送り込まれた特定の粒子径の放射性微粒子を捕集する外部へ取出し可能なフィルタを有している。混合槽内のラドン子孫核種の放射性微粒子を上記フィルタに捕集し、そのフィルタをばく露装置の外壁にあるサンプリングポートから取り出し、実験室内に設置された放射線計測器で測定することにより、当該放射線計測器を校正することができる。この結果、大掛かりな設備を用いずに、放射線測定機器メーカーが製造した放射能測定機器全体としての性能評価を実施することができる放射性微粒子製造システム等を提供することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の放射性微粒子製造システム1を示す図である。

【図2】湿度制御部100の機能を示す図である。

【図3】放射線計測器による測定(検出)結果を示すグラフである。

【図4】トロン壊変生成物沈着モニタの一例であるパッシブ型トロン子孫核種モニタ200の概略を示す図である。

【図5】個数濃度に関する放射性エアロゾルの測定結果を示すグラフである。

【図6】粒径に関する放射性エアロゾルの測定結果を示すグラフである。

【図7】ばく露装置40におけるラドン濃度の変動を示すグラフである。

【図8】ばく露装置40におけるトロン濃度の変動を示すグラフである。

【図9】ばく露装置40が設置された実験室内を示す写真である。

【図10】ばく露装置40の白黒線画を示す図である。

【図11】本発明の放射性微粒子製造システム1が必要とされる労働衛生の分野における防護マスクの性能評価の概念を示す図である。

【図12】防護マスク300内に設置されたフィルタ(ろ紙)310による放射性微粒子R1等の捕集状態の概念を示す図である。

【図13】防護マスク300内のフィルタ310等の性能評価を行うための放射性微粒子製造システム1の活用例を示す図である。

【図14】放射性ダストモニタに用いられるフィルタを放射線計測器で測定した結果を示す測定された結果を示すグラフである。

【図15】吸気により鼻腔部へ取り込まれる放射性微粒子の捕集を示す概念図である。

【図16】吸気により鼻腔部および気管支領域へ取り込まれる放射性微粒子の捕集を示す概念図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、各実施例について図面を参照して詳細に説明する。

【実施例1】

【0026】

図1は、本発明の放射性微粒子製造システム1を示す。狭義には符号5で示される枠線の範囲が放射性微粒子製造システムである。まず、放射性微粒子製造システム1の全体概要を説明し、次に各構成装置等の詳細について説明する。図1に示されるように、放射性微粒子製造システム1は、天然放射性希ガスを生成する放射性ガス生成システム(Radioactive gas generating system: 放射性ガス生成装置)10(点線の枠内を示す。以下、他も同様)と、非放射性微粒子を生成する特定粒子径エアロゾル発生システム(Specific

10

20

30

40

50

particle-sized aerosol generating system : 微粒子生成装置) 20 と、放射性ガス生成システム 10 により生成された天然放射性希ガスと特定粒子径エアロゾル発生システム 20 により生成された非放射性微粒子とを混合する混合槽 (Mixing chamber) 30 とを備えている。

【0027】

図 1 に示されるように、放射性ガス生成システム 10 は内部に天然放射性源 13 を設置した放射線源部 12 を有しており、外部の空気 (O A : Open Air) を取込んで湿度制御部 100 に通した後、放射線源部 12 へ送り込む。湿度制御部 100 の機能に関しては実施例 2 で詳述する。放射性ガス生成システム 10 は、この放射線源部 12 へ送り込まれた空気と天然放射性源 13 から発生する天然放射性希ガスとを混ぜて混合槽 30 へ送る。特定粒子径エアロゾル発生システム 20 は、微粒子を発生させる微粒子発生器 21 と、所定の粒子径の微粒子を弁別する粒子弁別器 23 とを有しており、微粒子発生器 21 により発生させた非放射性微粒子から粒子弁別器 23 により所定の粒子径の非放射性微粒子を弁別して混合槽 30 へ送る。混合槽 30 は、特定粒子径エアロゾル発生システム 20 から送られた所定の粒子径の非放射性微粒子に、放射性希ガス生成装置 10 から送られた天然放射性希ガスが放射性壊変によって変換した子孫核種を付着させることにより、所定の粒子径の放射性微粒子を生成する。図 1 で符号 40 は混合槽 30 から所定の粒子径の放射性微粒子を送るばく露装置 (Exposure chamber) である。ばく露装置 40 の機能に関しては実施例 3 で詳述する。

10

【0028】

次に、放射性微粒子製造システム 1 の各構成装置等の詳細について説明する。まず、図 1 で符号 L e g は各構成装置で用いられている器具の凡例を示し、符号 P m はポンプ (Pump)、I f はインライン・フィルタ・ホルダ (Inline filter holder)、F m はフロー・メータ (Flow meter) である。ポンプ P m としては例えば、ローポリウムポンプ L V - 40 B W 型 (柴田科学株式会社製 : <https://www.sibata.co.jp/attachment/catalog/pdf/lv-40bw.pdf>) またはミニポンプ M P - 500 N 2 (柴田科学株式会社製 : <https://www.sibata.co.jp/products/products2687/>) 等が好適である。しかし、ポンプ P m は当該ポンプに限定されるものではなく、他の小型軽量の吸引ポンプであってもよい。インライン・フィルタ・ホルダ I f としては例えば、ニールフィルタホルダ N L - I - 01 (実効ろか面積 40 mm²、ノルウェー大気研究所 (N I L U) 設計・開発、東京ダイレック株式会社販売 : http://www.t-dylec.net/products/pdf/nilu_filterfolder.pdf) が好適である。しかし、インライン・フィルタ・ホルダ I f は当該ホルダに限定されるものではなく、他のインライン・フェイス・ホルダであってもよい。フロー・メータ F m としては例えば、小型マスフローメータ M F - F P 10 N H 06 - 200 - A I - A N V (ケニス株式会社製) 等が好適である。しかし、フロー・メータ F m は当該マスフローメータに限定されるものではなく、他の流量計であってもよい。図 1 でポンプ P m、インライン・フィルタ・ホルダ I f、フロー・メータ F m と各々同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。

20

30

【0029】

図 1 の放射性ガス生成システム 10 に示されるように、外部の空気 O A はフィルタ・ホルダ (Filter holder) 11 を通して取込まれる。フィルタ・ホルダ 11 としては例えば、ニールフィルタホルダ N L - O - 01 (実効ろか面積 40 mm²、N I L U 設計・開発、東京ダイレック株式会社販売 : http://www.t-dylec.net/products/pdf/nilu_filterfolder.pdf) が好適である。しかし、フィルタ・ホルダ 11 は当該ホルダに限定されるものではなく、他のオープン・フェイス・ホルダ (大気開放型フォルダ) であってもよい。外部から取り込まれた空気 O A はパイプ (管) P 1 を通して湿度制御部 100 に送り込まれ、湿度制御された空気はパイプ P 2 を通して放射線源部 12 へ送り込まれる。図 1 でパイプ P 1 および P 2 を明示した理由は実施例 2 で湿度制御部 100 の構成および配置を明確にするためであり、図 1 に示される他の装置等の間の直線で示される部分は、適宜パイプで接続されていることを示している。パイプ P 2 を通して放射線源部 12 へ送り込まれた

40

50

空気は、天然放射性源 13 から発生する天然放射性希ガスと混合される。天然放射性源 13 としては土壌または岩石等の環境試料から発生する ^{220}Rn を用いた。天然放射性源 13 として ^{222}Rn を用いることも可能である。環境試料としては例えば、CAPTAIN STAG マントル (Tb 入りランタン用マントル、パール金属株式会社製) が好適である。しかし、当該環境試料に限定されるものではなく、他の環境試料であってもよい。放射線源部 12 で生成された天然放射性希ガスは、放射性ガス生成システム 10 に示されるポンプ Pm とフロー・メータ Fm とを順に通じ、放射性ガス生成システム 10 と混合槽 30 との間に設けられたインライン・フィルタ・ホルダ If を通じて混合槽 30 へ送り込まれる。

【0030】

図 1 の特定粒子径エアロゾル発生システム 20 としては、核凝縮型単分散粒子発生器 3475 (東京ダイレック株式会社製) を用いた。仕様は、シンクレア・ラメール (Sinclair-Lamer) 原理に基づく凝縮式粒子発生器で、最少発生粒子径は $0.1\ \mu\text{m} - 0.8\ \mu\text{m}$ 、発生流量は 10×10^6 個/cc、エアロゾル材料は Carnuba Wax 等である。特定粒子径エアロゾル発生システム 20 では、まず、噴霧器 (Aerosol generator: 微粒子発生器) 21 が微粒子を発生させる。噴霧器 21 としては例えば、エアロゾルアトマイザー Model 3079 (東京ダイレック株式会社製) を用いた。噴霧法は、当該装置に内蔵された小型コンプレッサよりエジェクターノズルに加圧エアーを供給すると、ノズル部に吸引圧が生じガラス内の溶液が吸い上げられて、この溶液がガラス内壁に強く吹き付けられる。この時、大きな液滴は除かれ安定した微小なエアロゾル粒子のみが当該装置の出口を通過して発生するという方法である (http://www.t-dylec.net/products/pdf/tsi_3079.pdf)。噴霧器 21 はエアロゾルアトマイザー Model 3079 に限定されるものではなく、他の噴霧器を用いてもよい。噴霧器 21 から発生したエアロゾル (非放射性微粒子) はフロー・メータ Fm を通った後に乾燥管 (Diffusion Dryer) 22 により水分が除去されて乾燥される。乾燥管 22 としては例えば、プラスチック管にシリカゲルを詰めたものを用いた。シリカゲル以外に他の吸着剤 (活性炭等) を用いてもよい。

【0031】

噴霧器 21 から発生したエアロゾルは幅広い粒子径の分布を持つ多分散のエアロゾルとなっている。ここで、粒子径は粒径依存の物理量を測定して粒径を決める相当径 (相当粒径) であり、走査型移動度粒径を用いた。この多分散エアロゾルを混合槽 30 内へ送り込むと、様々な粒子径の放射性微粒子になってしまう。そこで、粒径が均一に揃った特定の粒子径 (所定の粒子径) のエアロゾル (単分散のエアロゾル) のみにして混合槽 30 内へ送り込むために、乾燥管 22 を通ったエアロゾルを静電分級器 (Electrostatic Classifier: 粒子弁別器) 23 により特定の粒子径のエアロゾルに弁別する。静電分級器 23 は、電場における荷電粒子の電気移動度が粒子径に反比例することと、電気移動度が印加電圧と粒子が分散した流体の流量等とに關係することを利用して、印加電圧を制御することにより粒子径を制御して微粒子を分級する原理を用いている。静電分級器 23 としては例えば、静電分級器 Model 3080 (東京ダイレック株式会社製) を用いた。当該分級器は微分型静電分級器 (Differential Mobility Analyzer: DMA) である。粒子弁別器としては他の原理を用いるのもであってもよく、例えば電子式低圧インパクト ELP I + (東京ダイレック株式会社製) を使用してもよい。電子式低圧インパクト ELP I + は内部に捕集する粒子の粒径を分けるための複数の捕集ステージ (捕集板) を備えている。当該装置の上部から吸引された粒子は慣性力が大きいものは上部の捕集板にぶつかり、小さいものは当該捕集板をすり抜けて下の捕集板へ向かう。つまり、慣性力の大きい粒子から上段の捕集板に捕集される。粒子のサンプリング前に捕集板を秤量しておくことにより、捕集板に捕集された粒子の質量 (捕集質量) を求めることもできる。以上の静電分級器 23 により特定の粒子径の非放射性微粒子を弁別して、混合槽 30 のジョイント 32b (後述) を介し混合槽 30 へ送る。

【0032】

図 1 の混合槽 30 に示されるように、混合槽 30 内には他の装置との間のパイプを接続

10

20

30

40

50

するためのジョイント 3 2 a ~ 3 2 g がある。ジョイント 3 2 a は上述した放射性ガス生成システム 1 0 との間にあるインライン・フィルタ・ホルダ I f と混合槽 3 0 との間のパイプを接続するために設けられている。ジョイント 3 2 b は特定粒子径エアロゾル発生システム 2 0 と混合槽 3 0 との間のパイプを接続するために設けられている。他のジョイントも同様に、ジョイント 3 2 c はばく露装置 4 0 と混合槽 3 0 との間のパイプの接続、ジョイント 3 2 d および 3 2 e は放射性ガスモニタ部（後述）6 0 と混合槽 3 0 との間のパイプの接続、ジョイント 3 2 f は乾燥空気取入れ部（後述）7 0 と混合槽 3 0 との間のパイプの接続のために設けられている。符号 3 1 は混合槽 3 0 内のガスを攪拌するためのファン（Fan）である。混合槽 3 0 のサイズは 5 6 7 . 4 mm（外形）× 6 0 2 . 4 mm（高さ）であり、1 5 0 リットル相当の容積（1 5 0 - L vol.）である。但し、混合槽 3 0 のサイズ等は上記サイズ等に限定されるものではない。

10

【 0 0 3 3 】

混合槽 3 0 において、放射性ガス生成システム 1 0 から送られた天然放射性希ガスは放射性壊変により子孫核種（固体粒子）に変換する。厳密には混合槽 3 0 内に入る前に子孫核種に変換するものもあるが、量としてはごく僅かである。この子孫核種を特定粒子径エアロゾル発生システム 2 0 から送られた特定の粒子径の非放射性微粒子に付着させることにより、特定の粒子径の放射性微粒子を生成することができる。放射性ガス生成システム 1 0 の天然放射性源 1 3 として ^{220}Rn を用いた場合、混合槽 3 0 において、トリウム系列で ^{220}Rn の次から始まる子孫核種 ^{216}Po ^{212}Pb ^{212}Bi ^{212}Po の各々が、特定粒子径エアロゾル発生システム 2 0 から送られた特定の粒子径の非放射性微粒子に付着して、全体として特定の粒子径の種々の放射性微粒子を含むように形成される。 ^{212}Pb ^{212}Bi の半減期は 1 0 . 6 4 時間、 ^{212}Bi ^{212}Po の半減期は 6 0 . 5 5 分であるため、物理的に安定した放射性微粒子を製造することができる。

20

【 0 0 3 4 】

図 1 に示されるように、混合槽 3 0 には環境モニタ（Environmental monitor）5 0 が接続されており、内部には温度計 5 1、相対湿度計 5 2 が設けられ、混合槽 3 0 内の温度、相対湿度をモニタしている。環境モニタ 5 0 としては例えば、データロガー（株式会社ティアンドディ（登録商標）製：Thermo Recorder TR - 7 3 U : http://www.tandd.co.jp/product/tr7ui_series.html）を用いた。環境モニタ 5 0 は当該データロガーに限定されるものではなく、ガスの温度および相対湿度を測定する他の装置を用いてもよい。

30

【 0 0 3 5 】

図 1 に示されるように、混合槽 3 0 には放射性ガスモニタ部 6 0 が接続されている。放射性ガスモニタ部 6 0 では、混合槽 3 0 内のガスが混合槽 3 0 のジョイント 3 2 d で接続されたパイプから放射性ガスモニタ部 6 0 内のポンプ P m により放射性ガスモニタ（Radioactive gas monitor）6 1 へ送られる。放射性ガスモニタ 6 1 でモニタされたガスは放射性ガスモニタ部 6 0 内のインライン・フィルタ・ホルダ I f を通して、ジョイント 3 2 e を介して混合槽 3 0 へ戻される。放射性ガスモニタ 6 1 としては例えば、A B - 5 P o r t a b l e R a d o n M o n i t o r (A E G I S I n s t r u m e n t s L t d . 製) を用いた。放射性ガスモニタ 6 1 は当該モニタに限定されるものではなく、環境放射線レベルを高精度に測定する他のモニタを用いてもよい。

40

【 0 0 3 6 】

図 1 に示されるように、混合槽 3 0 には乾燥空気取入れ部 7 0 が接続されている。乾燥空気取入れ部 7 0 では、取入れた空気（A I : Air In）をモレキュラー・シーブ・フィルタ装置（Molecular sieve filter device）7 1 により汚染物質等を隔離し、その後乾燥管 7 2（特定粒子径エアロゾル発生システム 2 0 内の乾燥管 2 2 と同様）により乾燥させた空気をフロー・メータ F m を通してから、ジョイント 3 2 f により接続されたパイプを介して混合槽 3 0 へ送られる。モレキュラー・シーブ・フィルタ装置 7 1 としては例えば

50

、バキュガード (V A C U - G U A R D) 1 5 0 / M o l . S i e v e (G E (登 録 商 標) ヘルケア・ジャパン株式会社製)を用いた。モレキュラー・シーブ・フィルタ装置 7 1 は装置に限定されるものではなく、汚染物質を隔離する他のインライン・フィルタを用いてもよい。

【 0 0 3 7 】

図 1 に示されるように、混合槽 3 0 には圧力調整部 8 0 が接続されている。圧力調整部 8 0 では、混合槽 3 0 内のガスをジョイント 3 2 g を介して接続されたパイプからインライン・フィルタ I f およびフロー・メータ F m を通して、ポンプ P m により外部へ排出 (E A O : Excess air out) している。圧力調整部 8 0 は、E A O により混合槽 3 0 内部の圧力が大気圧に一定に保たれるよう、混合槽 3 0 内への流入系 (放射性ガス生成システム 1 0 、特定粒子径エアロゾル発生システム 2 0 、乾燥空気取入れ部 7 0) の流量と排出系 (ばく露装置 4 0) の流量とを調整している。

10

【 0 0 3 8 】

以上を纏めると、本発明の放射性微粒子製造システム 1 は、天然放射性希ガスを生成する放射性ガス生成システム 1 0 と、非放射性微粒子を生成する特定粒子径エアロゾル発生システム 2 0 と、放射性ガス生成システム 1 0 により生成された天然放射性希ガスと特定粒子径エアロゾル発生システム 2 0 により生成された非放射性微粒子とを混合する混合槽 3 0 とを備えている。

【 0 0 3 9 】

放射性ガス生成システム 1 0 は内部に天然放射性源 1 3 を設置した放射線源部 1 2 を有しており、外部の空気 (O A) を取込んで湿度制御部 1 0 0 に通した後、放射線源部 1 2 へ送り込む。放射性ガス生成システム 1 0 は、この放射線源部 1 2 へ送り込まれた空気と天然放射性源 1 3 から発生する天然放射性希ガスと混ぜて混合槽 3 0 へ送る。特定粒子径エアロゾル発生システム 2 0 は、微粒子を発生させる噴霧器 2 1 と、所定の粒子径の微粒子を弁別する静電分級器 2 3 とを有しており、噴霧器 2 1 により発生させた非放射性微粒子から静電分級器 2 3 により特定の粒子径の非放射性微粒子を弁別して混合槽 3 0 へ送る。噴霧器 2 1 から発生したエアロゾルは幅広い粒子径の分布を持つ多分散のエアロゾルとなっている。この多分散エアロゾルを混合槽 3 0 内へ送り込むと、様々な粒子径の放射性微粒子になってしまう。そこで、粒径が均一に揃った特定の粒子径のエアロゾル (単分散のエアロゾル) のみにして混合槽 3 0 内へ送り込むために、乾燥管 2 2 を通ったエアロゾルを静電分級器 2 3 により特定の粒子径のエアロゾルに弁別する。混合槽 3 0 において、放射性ガス生成システム 1 0 から送られた天然放射性希ガスは放射性壊変により子孫核種に変換する。この子孫核種を特定粒子径エアロゾル発生システム 2 0 から送られた特定の粒子径の非放射性微粒子に付着させることにより、特定の粒子径の放射性微粒子を生成することができる。放射性ガス生成システム 1 0 の天然放射性源 1 3 として ^{220}Rn を用いた場合、混合槽 3 0 において、トリウム系列で ^{220}Rn の次から始まる子孫核種 ^{216}Po 、 ^{212}Pb 、 ^{212}Bi 、 ^{212}Po 、 ^{208}Tl の各々が、特定粒子径エアロゾル発生システム 2 0 から送られた特定の粒子径の非放射性微粒子に付着して、全体として特定の粒子径の種々の放射性微粒子を含むように形成される。

20

30

【 0 0 4 0 】

以上より、本発明の実施例 1 によれば、放射性ガス生成システム 1 0 、特定粒子径エアロゾル発生システム 2 0 および混合槽 3 0 を備えたシンプルな放射性微粒子製造システム 1 により、大掛かりな設備を使用することなく天然放射性核種を用いた放射性微粒子を製造することができる。特に、天然放射性核種として ^{220}Rn を用いることにより、放射性壊変によって変換した物理的に安定した子孫核種で放射性微粒子を製造することができる。さらに、粒径が均一に揃った特定の粒子径のエアロゾル (単分散のエアロゾル) のみに子孫核種を付着させるため、特定の粒子径の放射性微粒子を生成することができる。この結果、これまでにない新規な物理的指標 (エアロゾルの粒子径) を用いた放射能測定機器の性能評価を可能とする放射性微粒子製造システム 1 等を提供することができる。エアロゾルの粒子径を用いた具体的な放射能測定機器の性能評価については、ばく露装置 4 0

40

50

の利用と関連するため、実施例 3 で説明する。

【実施例 2】

【0041】

背景技術で説明したように、 ^{220}Rn の放射能濃度測定技術において、ガスを送り込むための空気中の水分量が多い方が線源となる試料からの ^{220}Rn の放出量が多いことが明らかにされた。そこで、実施例 2 では放射線源部 12 へ送り込む空気の湿度を制御することにより、天然放射性源 13 から発生する天然放射性希ガスの放射能濃度を制御する仕組みについて説明する。具体的には、放射性ガス生成システム 10 における湿度制御部 100 の機能について説明する。図 2 は、湿度制御部 100 の機能を示す。図 2 で図 1 と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 2 の左右端に示されるパイプ P1 および P2 は図 1 の放射性ガス生成システム 10 におけるパイプ P1 および P2 に対応しており、実施例 1 で簡単に触れたように、放射性ガス生成システム 10 におけるパイプ P1 とパイプ P2 との間に図 2 に示される湿度制御部 100 が配置されている。

10

【0042】

図 2 に示されるように、外部の空気 OA はポンプ Pm によりフィルタ・ホルダ 11 を通しパイプ P1 を介して取込まれた後、フロー・メータ Fm を通って乾燥部 110 へ送り込まれる。乾燥部 110 は乾燥管 (Diffusion Dryer) 111a、111b、111c、111d、111e、111f から構成され、送り込まれた空気 OA は乾燥管 111a ~ 111f をこの順に通って乾燥させられる。乾燥管 111a ~ 111f は実施例 1 の乾燥管 22 または 72 と同様であるため説明は省略する。乾燥管 111a ~ 111f の数は 6 個に限定されるものではなく、必要に応じて任意個接続可能である。乾燥部 110 を通った乾燥した空気は、温度および相対湿度モニタ 105 に通されてから 2 系統のポンプ Pma および Pmb により圧縮されて湿度調整器 120 へ送られる。温度および相対湿度モニタ 105 は実施例 1 で説明した環境モニタ 50 と同様であるため、説明は省略する。2 系統のポンプ Pma および Pmb としては各々最大 5 L/min の定流量を用い、両方のポンプ Pma および Pmb で 10 L/min の定流量を得ている。10 L/min の定流量を得られるポンプであれば 1 系統 (1 台) のポンプであってもよい。流量は温度および相対湿度モニタ 105 と 125 との間に設置されたフロー・メータ Fm で測定する。

20

【0043】

湿度調整器 120 内には洗浄瓶 121a、121b および 121c があり、2 系統のポンプ Pma および Pmb により圧縮された空気が洗浄瓶 121a から 121c へ順に送られる。例えば、両方のポンプ Pma および Pmb により圧縮された空気はパイプ 121a IN から洗浄瓶 121a へ送られ、洗浄瓶 121a 内の水を通すことにより水蒸気が添加されて加湿空気となり、パイプ 121a OUT から次の洗浄瓶 121b へ送られる。洗浄瓶 121a 内の水は純水または精製水を用いる。洗浄瓶 121a から送られた加湿された空気は洗浄瓶 121b においても同様に加湿される。一方、洗浄瓶 121c には水は無く、圧縮された空気の除湿に用いられる。最終的に洗浄瓶 121c から所望の湿度に制御された空気がパイプ 121c OUT を通って温度および相対湿度モニタ 125 へ送られてパイプ P2 から出ていく。相対湿度は温度を規定することにより定まる量であるため、湿度調整器 120 は洗浄瓶 121a ~ 121c に設置された加熱および冷却装置 (いずれも不図示) を適宜用いることにより、洗浄瓶 121a および 121b 内の加湿量を上昇または下降させて相対湿度を上昇または下降させる。必要に応じて洗浄瓶 121c の温度を下げることにより、洗浄瓶 121c へ送られた圧縮空気の湿度を下げる。湿度調整器 120 は、湿度調整器 120 の入口側にある温度および相対湿度モニタ 105 と出口側にある温度および相対湿度モニタ 125 とを用いることにより、洗浄瓶 121a ~ 121c の加熱および冷却の制御を行って空気の湿度を制御する。湿度調整器 120 内の洗浄瓶 121a ~ 121c は 3 個に限定されるものではなく、任意個設けることもできる。洗浄瓶としてはガス洗浄瓶 (アズワン (登録商標) 株式会社製、「AS ONE (登録商標) 研究用総合機器カタログ 2017」、p. 1340) を用いた。洗浄瓶は当該ガス洗浄瓶に限定され

30

40

50

るものではなく、他の洗浄瓶を用いてもよい。

【0044】

以上を纏めると、放射性ガス生成システム10は取込んだ空気OAの湿度を制御して放射線源部12へ送り出す湿度制御部100をさらに備えている。外部から取り込まれた空気OAを湿度制御部100に通して湿度が制御された空気を放射線源部12へ送り込むことにより、天然放射性源13から発生する天然放射性希ガスの放射能濃度を制御することができる。天然放射性源13としては ^{220}Rn だけではなく、 ^{222}Rn を用いることも可能である。

【0045】

以上により、本発明の実施例2によれば、短半減期の放射性希ガス(^{220}Rn または ^{222}Rn)を用いて放射性微粒子を製造するに際し、空気の湿度により放射能濃度を制御する方法を具体的に示した放射性微粒子製造システム等を提供することができる。

10

【実施例3】

【0046】

本発明の実施例3では、放射能測定機器全体としての性能評価を実施することができる放射性微粒子製造システム1について説明する。

【0047】

図1に示されるように、放射性微粒子製造システム1は混合槽30から特定の(所定の)粒子径の放射性微粒子を送り込むべく露装置40を備えている。ばく露装置40は混合槽30とジョイント32cを介して接続されている。ばく露装置40内には、ばく露装置40内のガスを攪拌するためのファン41a、41b、41cおよび41dが設置されている。ばく露装置40は540リットル相当の容積(540-L vol.)であり、サイズは縦×横×高さ=600mm×1500mm×600mmである。但し、ばく露装置40内のファンの数、ばく露装置40の容積およびサイズ等は上記の数、値に限定されるものではない。ばく露装置40としては例えば、市販の真空式グローブボックス、グローブボックスシステム等を用いた。

20

【0048】

図1に示されるように、ばく露装置40には走査式電気移動度粒径分布測定器(Scanning Mobility Particle Sizer(SMPS):走査式モビリティパーティクルサイザーModel 3034、東京ダイレック株式会社製)90が接続されている。走査式モビリティパーティクルサイザー90は上述した微分型静電分級器(DMA)と粒子を計測する凝縮粒子カウンター(CPC)とを組合わせた装置である。DMAから流れてくるDMAの設定電圧に応じた粒径の単分散粒子がCPCでカウントされ、その個数濃度、粒径分布を測定する。放出口(Exhaust:EX)からは半減期を経過した放射性微粒子および経過していない放射性微粒子も含めて一緒に外気へ放出される。

30

【0049】

実験例:

放射性微粒子製造システム1を用いて実際に放射性エアロゾルを作成し、当該放射性エアロゾルを用いて放射線計測器を校正した実験例について説明する。放射性ガス生成システム10における天然放射性源13としてはウラン系列における ^{222}Rn (ラドン)を用いた。トリウム系列における ^{220}Rn (トロン)を用いてもよいことは勿論である。放射性ガス生成システム10で生成された天然放射性希ガス ^{222}Rn と、特定粒子径エアロゾル発生システム20内の噴霧器(エアロゾルアトマイザー Model 3079)21により発生させ特定の粒子径に分級された非放射性微粒子とを混合槽30に入れて、非放射性微粒子にラドン子孫核種を付着させて放射性微粒子を作成した。その放射性微粒子で放射線計測器(半導体検出器が搭載されたアルファ線用のラドン子孫核種モニタ)を校正した。

40

【0050】

ばく露装置40は、混合槽30から送り込まれた特定の粒子径の放射性微粒子を捕集する外部へ取出し可能なフィルタ(不図示)を有している。ばく露装置40内のラドン子孫

50

核種の放射性微粒子を上記フィルタに捕集し、そのフィルタをばく露装置 40 の外壁にあるサンプリングポート（不図示）から取り出し、実験室（不図示）内に設置された上記放射線計測器で測定した。図 3 は、上記放射線計測器による測定（検出）結果を示すグラフである。図 3 で横軸はチャンネル（ch）、縦軸は計数値である。図 3 に示されるように、ラドン子孫核種 ^{218}Po およびラドン子孫核種 ^{214}Po のアルファ線のエネルギーピークが検出された。そのピークから計測対象とするエネルギー領域を設定（校正）した。

【0051】

以上を纏めると、放射性微粒子製造システム 1 は混合槽 30 から特定の（所定の）粒子径の放射性微粒子を送り込むばく露装置 40 を備えている。ばく露装置 40 は混合槽 30 とジョイント 32c を介して接続されている。ばく露装置 40 は、混合槽 30 から送り込まれた特定の粒子径の放射性微粒子を捕集する外部へ取出し可能な（ばく露装置 40 の）フィルタを有している。混合槽 40 内のラドン子孫核種の放射性微粒子を上記フィルタに捕集し、そのフィルタをばく露装置 40 の外壁にあるサンプリングポートから取り出し、実験室内に設置された放射線計測器で測定することにより、当該放射線計測器を校正することができる。

10

【0052】

以上により、本発明の実施例 3 によれば、大掛かりな設備を用いずに、放射線測定機器メーカーが製造した放射能測定機器全体としての性能評価を実施することができる放射性微粒子製造システム等を提供することができる。

【0053】

本放射性微粒子製造システム 1 により製造される放射性微粒子は、トレーサビリティの取れたトロンまたはラドン標準線源と考えられる。従って、標準線源の放射能の値と上記放射線計測器で測定された測定結果とを比較することにより、当該放射線計測器の校正を行うことができる。放射能測定に関わる測定器のトレーサビリティの確保は世界的に望まれているが、そのための測定設備等は不十分と言われている。本放射性微粒子製造システム 1 は標準線源として用いることができる簡易な放射性微粒子を製造するシステムであり、放射能測定に関わる測定器のトレーサビリティを確保する上で標準となり得る技術と言える。

20

【0054】

実施例 1 で触れたエアロゾルの粒子径を用いた具体的な放射能測定機器の性能評価について説明する。放射能測定機器としてはトロン壊変生成物沈着モニタを用いることができる。トロン壊変生成物沈着モニタとは、空気中に存在するトロン壊変生成物がモニタの測定部等の表面に沈着し、この沈着した壊変生成物が放出する放射線を計測する測定機器である。

30

図 4 は、上記トロン壊変生成物沈着モニタの一例であるパッシブ型トロン子孫核種モニタ 200 の概略を示す。図 4 で、符号 240 は固体飛跡検出器の CR-39（登録商標）（プラスチックレンズの 1 種）、230 は CR-39（登録商標）（240）を設置するステンレス製プレート、220 は CR-39（登録商標）（240）を覆うアルミ蒸着のアルミニウムフィルム、210 はアルミニウムフィルム 220 を覆うポリプロピレンである。CR-39（登録商標）（240）は線によってその素子の化学結合が損傷を受ける。受けた損傷による傷は強アルカリ溶液によってエッチングされると光学顕微鏡で見つけることができる。その傷の数と放射能濃度との間には直線関係があるため、トロン壊変生成物沈着モニタとして利用されている。CR-39（登録商標）（240）を覆うアルミニウムフィルム 220 およびポリプロピレン 210 はエネルギーの減速材として機能する。それらの表面に付着したトロン子孫核種が放出するエネルギーのうち、最も高いエネルギー 8.8 MeV を放出する $\text{Po}-212$ のみの線を検出できるように、アルミニウムフィルム 220 およびポリプロピレン 210 は適切な厚さに設定されている。図 4 ではアルミニウムフィルム 220 が 2 枚、ポリプロピレン 210 は 1 枚示されているが、枚数は適宜設定することができる。パッシブ型トロン子孫核種モニタ 200 は、放射性微粒子が拡散付着によって物質表面に付着する物理的現象を利用した測定器と言える。パッシブ

40

50

型トロン子孫核種モニタ200の曝露濃度とエッチピット(CR-39(登録商標)(240)に生じた損傷による穴)の数とを比較すると、トロン壊変生成物曝露濃度(本放射性微粒子製造システム1により製造されたトレーサビリティの取れたトロン標準線源によるもの)が $902(\text{Bq h m}^{-3})$ (hは放射能濃度の時間積分値の意味)に対し、エッチピット数は $2.5(\text{mm}^{-3})$ であった。当該比較を放射性微粒子の粒径を変えながら測定すればよい。

エアロゾルの粒子径によって、トロン壊変生成物沈着モニタへの沈着は異なる可能性がある。そこで、トロン壊変生成物沈着モニタへ沈着した静電分級器23により弁別された放射性微粒子の特定の粒子径と、当該放射性微粒子から放出される放射線とに基づき、トロン壊変生成物沈着モニタにおける粒子径別の応答性の性能評価を行うことができる。性能評価の際は上述した実験例と同様に、ばく露装置40内の放射性微粒子を上記フィルタに捕集し、そのフィルタをばく露装置40の外壁にあるサンプリングポートから取り出し、実験室内に設置されたトロン壊変生成物沈着モニタで測定した。なお、トロン壊変生成物沈着モニタ等に関しては例えば以下の文献で説明されている(文献1.Zhuo, W. and Iida, T. "Estimation of thoron progeny concentrations in dwellings with their deposition rate measurements.", Jpn J. Health Phys. 35(3), 365 - 370 (2000).文献2.Tokonami, S. "Why is ^{220}Rn (thoron) measurement important?", Radiat. Prot. Dosim. 141(4), 335 - 339 (2010).)以上により、これまでにない新規な物理的指標(エアロゾルの粒子径)を用いた放射能測定機器(例えばトロン壊変生成物沈着モニタ)の性能評価を可能とする放射性微粒子製造システム1等を提供することができる。

【実施例4】

【0055】

上述した実施例1~3では放射性微粒子製造システム1の構成および機能について説明した。本実施例4では放射性微粒子製造方法の観点から説明する。上述したように、放射性微粒子製造システム1は、天然放射性希ガスを生成する放射性ガス生成システム(放射性ガス生成装置)10と、非放射性微粒子を生成する特定粒子径エアロゾル発生システム(微粒子生成装置)20と、放射性ガス生成システム10により生成された天然放射性希ガスと特定粒子径エアロゾル発生システム20により生成された非放射性微粒子とを混合する混合槽30とを備えており、本放射性微粒子製造方法は以上の構成要素を備えた放射性微粒子製造システム1を用いた製造方法である。

【0056】

図1を参照して、放射性ガス生成システム10において、外部から取り込まれた空気OAが内部に天然放射性源13を設置した放射線源部12に送り込まれ、この空気と天然放射性源13とから天然放射性希ガスが生成されて、混合槽30へ送られる(天然放射性希ガス生成工程)。天然放射性源13は環境試料から発生する ^{220}Rn とすることが好適である。特定粒子径エアロゾル発生システム20において、微粒子を発生させる噴霧器(微粒子発生器)21により非放射性微粒子が発生され、この非放射性微粒子が特定の(所定の)粒子径の微粒子を弁別する微分型静電分級器(粒子弁別器)23により特定の粒子径の非放射性微粒子が弁別されて混合槽30へ送られる(非放射性微粒子生成工程)。天然放射性希ガス生成工程と非放射性微粒子生成工程とは並行して実施することができる。次に混合槽30において、非放射性微粒子生成工程で特定粒子径エアロゾル発生システム20から送られた特定の粒子径の非放射性微粒子に、天然放射性希ガス生成工程で放射性ガス生成システム10から送られた天然放射性希ガスが放射性壊変によって変換した子孫核種を付着させて特定の粒子径の放射性微粒子を生成する(放射性微粒子生成工程)。

【0057】

放射性ガス生成システム10は、取込んだ空気OAの湿度を制御して送り出す湿度制御部100をさらに備えることができる。この場合、上記天然放射性希ガス生成工程は、外部から取り込まれた空気OAが湿度制御部100に通された後に放射線源部12に送り込まれることにより、生成される天然放射性希ガスの放射能濃度を制御することができる。

【0058】

10

20

30

40

50

放射性ガス生成システム10は、混合槽30に接続するばく露装置40をさらに備えることができる。上記放射性微粒子生成工程で生成された混合槽30の特定の粒子径の放射性微粒子がばく露装置40に送り込まれ、この放射性微粒子はばく露装置40が有する外部へ取出し可能なフィルタにより捕集される(放射性微粒子捕集工程)。

【0059】

以上を纏めると、放射性微粒子製造システム1を用いることにより、天然放射性希ガス生成工程において外部から取り込まれた空気OAと天然放射性源13とから天然放射性希ガスが生成されて、混合槽30へ送られる。非放射性微粒子生成工程において特定粒子径エアロゾル発生システム20の噴霧器21により非放射性微粒子が発生され、微分型静電分級器23により特定の粒子径の非放射性微粒子が弁別されて混合槽30へ送られる。放射性微粒子生成工程において混合槽30内では、非放射性微粒子生成工程で送られた特定の粒子径の非放射性微粒子に、天然放射性希ガス生成工程で送られた天然放射性希ガスが放射性壊変によって変換した子孫核種を付着させて特定の粒子径の放射性微粒子を生成する。上記天然放射性希ガス生成工程は、外部から取り込まれた空気OAが湿度制御部100に通された後に放射線源部12に送り込まれることにより、生成される天然放射性希ガスの放射能濃度を制御することができる。放射性微粒子捕集工程において、上記放射性微粒子生成工程で生成された混合槽30の特定の粒子径の放射性微粒子が混合槽30に接続するばく露装置40に送り込まれ、この放射性微粒子はばく露装置40が有する外部へ取出し可能なフィルタにより捕集される。

10

【0060】

以上より、本発明の実施例4によれば、放射性微粒子製造システム1を用いた放射性微粒子製造方法により、大掛かりな設備を使用することなく天然放射性核種を用いた放射性微粒子を製造することができる。特に、天然放射性核種として ^{220}Rn を用いることにより、放射性壊変によって変換した物理的に安定した子孫核種で放射性微粒子を製造することができる。さらに、粒径が均一に揃った特定の粒子径のエアロゾル(単分散のエアロゾル)のみに子孫核種を付着させるため、特定の粒子径の放射性微粒子を生成することができる。この結果、これまでにない新規な物理的指標(エアロゾルの粒子径)を用いた放射能測定機器の性能評価を可能とすることができる。短半減期の放射性希ガス(^{220}Rn または ^{222}Rn)を用いて放射性微粒子を製造するに際し、空気の湿度により放射能濃度を制御する方法を具体的に示すことができる。ガスモニタ用チャンバーの校正のみに

20

30

【実施例5】

【0061】

放射性微粒子製造システム1についての放射性エアロゾルの制御実験として、発明者は混合槽30における放射性エアロゾルの個数濃度および粒径を諸条件を変えて測定した。測定は、ばく露装置40に接続されたSMP S90を混合層30にも用いて行った(図1参照)。

【0062】

放射性エアロゾルの制御実験(個数濃度)。

図5は、個数濃度に関する放射性エアロゾルの測定結果を示すグラフである。図5で、横軸は経過時間(min)、縦軸は(放射性)エアロゾル個数濃度(particle cm^{-3})である。図5に示されるように、諸条件として放射性エアロゾルの噴霧器21(図1参照)の流量を 1.0 L/min (一点鎖線)、 1.5 L/min (鎖線)、 2.0 L/min (実線)の3条件とした。図5に示されるように、流量が 1.0 L/min の場合、(放射性)エアロゾルの個数濃度は平均 $1.7 \times 10^3 \pm 135$ (particle cm^{-3})であり、流量が 1.5 L/min の場合、(放射性)エアロゾルの個数濃度は平均 $4.3 \times 10^4 \pm 2610$ (particle cm^{-3})であり、流量が 2.0 L/min の場合、(放射性)エアロゾルの個数濃度は平均 $3.3 \times 10^5 \pm 22039$ (particle cm^{-3})であった。図5から、放射性エアロゾル個数濃度は流量に依存して多くなることがわかった。加えて、放射性エアロゾル個数濃度は時間の経過に

40

50

対しても安定していることもわかった。

【0063】

放射性エアロゾルの制御実験（粒径）。

図6は、粒径に関する放射性エアロゾルの測定結果を示すグラフである。図6で、横軸は（放射性）エアロゾル粒径（nm）、縦軸は（放射性）エアロゾル個数（particle）である。図6示されるように、放射性エアロゾルの粒径分布は約50nm付近に集中しており、一定の微粒子径の放射性エアロゾルを発生させることができることが確認された。

【0064】

放射性微粒子製造システム1についてのラドン濃度およびトリオン濃度の制御実験として、発明者はばく露装置40におけるラドン濃度およびトリオン濃度の時間的変動を測定した。測定は、ばく露装置40に接続されたSMP S90に加えて、混合層30に接続された放射性ガスモニタ部60を用いて行った（図1参照）。ラドン濃度（またはトリオン濃度）は放射性ガスモニタ61として市販のパルス型電離箱（製品名：ALPHAGUARD-RADON MONITOR: bertin INSTRUMENTS社製）を用いた。あるいは、放射性ガスモニタ61として上述したシンチレーションセル（製品名：AB-5）を用いてもよい。

10

【0065】

ラドン濃度の制御実験。

図7は、ばく露装置40におけるラドン濃度の変動を示すグラフである。図7で、横軸は経過時間（h）、縦軸はラドン濃度（Bq/m³）である。図7に示されるように、ラドン濃度を高濃度（円形）約4,000（Bq/m³）、中濃度（矩形）約1,500（Bq/m³）、低濃度（三角形）約350（Bq/m³）と変えて測定した。図7から明らかのように、ラドン濃度は時間の経過に対して安定していることがわかった。詳しくは、ばく露装置40内の平均ラドン濃度を約350~4,000（Bq/m³）の間で制御可能とした。

20

【0066】

トリオン濃度の制御実験。

図8は、ばく露装置40におけるトリオン濃度の変動を示すグラフである。図8で、横軸は経過時間（h）、縦軸はトリオン濃度（Bq/m³）である。図8に示されるように、トリオン濃度を高濃度（円形）約28,000（Bq/m³）、中濃度（矩形）約9,000（Bq/m³）、低濃度（三角形）約3,500（Bq/m³）と変えて測定した。図8から明らかのように、トリオン濃度は時間の経過に対して安定していることがわかった。詳しくは、ばく露装置40内の平均トリオン濃度を約3,500~28,000（Bq/m³）の間で制御可能とした。

30

【0067】

以上より、本発明の実施例5によれば、放射性微粒子製造システム1についての放射性エアロゾルの制御実験として、発明者は混合槽30における放射性エアロゾルの個数濃度および粒径を諸条件を変えて測定した。この結果、放射性エアロゾル個数濃度は流量に依存して多くなることがわかった。加えて、放射性エアロゾル個数濃度は時間の経過に対しても安定していることもわかった。放射性エアロゾルの粒径分布は約40nm付近に集中しており、一定の微粒子径の放射性エアロゾルを発生させることができることが確認された。放射性微粒子製造システム1についてのラドン濃度およびトリオン濃度の制御実験として、発明者はばく露装置40におけるラドン濃度およびトリオン濃度の時間的変動を測定した。この結果、ラドン濃度は時間の経過に対して安定していることがわかった。詳しくは、ばく露装置40内の平均ラドン濃度を約350~3,500（Bq/m³）の間で制御可能とした。トリオン濃度は時間の経過に対して安定していることがわかった。詳しくは、ばく露装置40内の平均トリオン濃度を約3,500~28,000（Bq/m³）の間で制御可能とした。

40

【0068】

50

図9は、ばく露装置40が設置された実験室内の写真を示す。出願書類の図面は白黒2値画像とされるため不鮮明となる可能性がある。そこで、図10に図9に映されたばく露装置40の白黒線画(一部)を示しておいた。

【実施例6】

【0069】

本発明の活用例として、大気集塵用ろ紙または防塵マスク等の精密な性能評価に用いることができる。図11は、本発明の放射性微粒子製造システム1が必要とされる労働衛生の分野における防護マスクの性能評価の概念を示す。図11で、符号300は防護マスク(防塵マスク)、R1、R2等は放射性微粒子を示す。放射性微粒子R1等が存在するエリアRA内で防護マスク300を付けて作業を行うと、エリアRA内の放射性微粒子R1等が防護マスク300内に空気の流れAinとして取り込まれる。図12は、防護マスク300内に設置されたフィルタ(ろ紙)310による放射性微粒子R1等の捕集状態の概念を示す。図12で図11と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図12に示されるように、エリアRA内に存在する放射性微粒子R1等はフィルタ310により捕集されて、エリアRA'(防護マスク300内)では減少している。このため、フィルタ310の性能評価(捕集効率、耐久性等)が必要となる。

10

【0070】

そこで、本発明の放射性微粒子製造システム1の活用例として、上述したフィルタ310の性能評価を行った。図13は、防護マスク300内のフィルタ310等の性能評価を行うための放射性微粒子製造システム1の活用例を示す。図13で図1と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図13に示されるように、混合槽30のジョイント32cからばくろ槽40へ入るパイプPeの途中に2枚のフィルタ(ろ紙)310を直列に並べて設置しておく。パイプPe内のフィルタ310はいずれもパイプPeの外部へ取り出し可能である。この状態で、混合槽30内におけるトレーサビリティが取れた放射能濃度(濃度Ca)の特定の粒子径の微粒子をパイプPeへ送り出す。すると、図13に示されるように、濃度Caの特定の粒子径の微粒子Ra、Rm等は矢印A1の方向へ進み1枚目のフィルタ310により捕集され、1枚目のフィルタ310を通過すると濃度Cbの特定の粒子径の微粒子Ri、Rk等となる。続いて、図13に示されるように、濃度Cbの特定の粒子径の微粒子Ri、Rk等は矢印A2の方向へ進み2枚目のフィルタ310により捕集される。この後は実施例3と同様に、1枚目および2枚目のフィルタ310をパイプPeの外部へ取り出して、実験室内に設置された放射線測定器で測定する。当該放射線測定器は既に校正されているものとする、1枚目のフィルタ310の放射能濃度Caと2枚目のフィルタ310の放射能濃度Cbとを得ることができる。トレーサビリティが取れた1枚目のフィルタ310の放射能濃度Caと2枚目のフィルタ310の放射能濃度Cbとを比較することにより、特定の粒子径の微粒子に対するフィルタ310の捕集効率を評価することができる。2枚目のフィルタ310を通過した濃度Ccの特定の粒子径の微粒子Rkは矢印A3の方向(ばく露装置40の中)へ進み、ばく露装置40内のフィルタによって捕集される。実施例3と同様に、当該フィルタはばく露装置40の外部へ取り出して、実験室内に設置された放射線測定器で測定することができる。

20

30

【0071】

以上より、本発明の実施例6によれば、本発明の放射性微粒子製造システム1の活用例として労働衛生の分野における防護マスク300の性能評価に用いることができる。具体的には、混合槽30のジョイント32cからばくろ槽40へ入るパイプPeの途中に2枚のフィルタ(ろ紙)310を直列に並べて設置しておく。この状態で、混合槽30内におけるトレーサビリティが取れた放射能濃度(濃度Ca)の特定の粒子径の微粒子をパイプPeへ送り出す。1枚目および2枚目のフィルタ310をパイプPeの外部へ取り出して、実験室内に設置された放射線測定器で測定する。トレーサビリティが取れた1枚目のフィルタ310の放射能濃度Caと2枚目のフィルタ310の放射能濃度Cbとを比較することにより、特定の粒子径の微粒子に対するフィルタ310の捕集効率を評価することができる。

40

50

【実施例 7】

【0072】

本発明の活用例として、原子力発電所または病院等の医療機関に設置される放射性ダストモニタおよび当該モニタに用いられるフィルタ（ろ紙）の精密な性能評価に用いることができる。上記フィルタを実施例 3 と同様にばく露装置 40 内のフィルタとして用い、実験室内に設置された放射線測定器で測定すればよい。図 14 は、放射性ダストモニタに用いられるフィルタを放射線測定器で測定した結果を示すグラフである。図 14 で横軸はチャンネル（ch）、縦軸は計数値である。図 14 に示されるように、特定のチャンネル幅（約 100 ~ 700）の放射線を捕集していることがわかった。

【0073】

以上より、本発明の実施例 7 によれば、本発明の放射性微粒子製造システム 1 の活用例として、放射線管理の分野におけるモニタリング機器のフィルタの性能評価に用いることができる。

【実施例 8】

【0074】

本発明の活用例として、環境毒性学における放射性微粒子の人体への吸入ばく露メカニズムの研究に用いることができる。大気中の放射性微粒子は吸気により鼻腔部へ取り込まれ、さらに気管支領域へと取り込まれる。本発明の放射性微粒子製造システム 1 を用いることにより、人体への吸入摂取による内部被ばく（呼吸気道内での放射性微粒子沈着）の実態解明に寄与することが可能となる。図 15 は、吸気により鼻腔部へ取り込まれる放射性微粒子の捕集を示す概念図である。実施例 6 と同様に、放射性微粒子製造システム 1 の混合槽 30 のジョイント 32c からばくろ槽 40 へ入るパイプ Pe の途中に、フィルタ（ろ紙）320 を設置しておく。フィルタ 320 は 100 mesh（所定のサイズ）程度のメタルワイヤスクリーンであり、鼻腔部を模擬したサンプラーである。実施例 3、6 と同様に、混合槽 30 内におけるトレーサビリティが取れた放射能濃度（濃度 Ca）の特定の粒子径の微粒子をパイプ Pe へ送り出す。この後、フィルタ 320 をパイプ Pe から取り出し、ばく露装置 40 のフィルタを外部へ取り出して、両フィルタを実験室内に設置された放射線測定器で測定する。トレーサビリティが取れた放射能濃度 Ca（フィルタ 320 の放射能濃度）とばく露装置 40 のフィルタの放射能濃度とを比較することにより、特定の粒子径の微粒子に対するフィルタ 320 による捕集量、即ち鼻腔部における放射性微粒子の沈着量（内部被ばくの量）を得ることができる。

【0075】

図 16 は、吸気により鼻腔部および気管支領域へ取り込まれる放射性微粒子の捕集を示す概念図である。上述した鼻腔部の場合と同様に、放射性微粒子製造システム 1 の混合槽 30 のジョイント 32c からばくろ槽 40 へ入るパイプ Pe の途中に、フィルタ（ろ紙）320 と、フィルタ 320 とはメッシュの異なる複数のフィルタ 330a ~ 330d とを設置しておく。フィルタ 330a ~ 330d は 400 mesh（所定のサイズ）程度のメタルワイヤスクリーンであり、気管支領域を模擬したサンプラーである。上述した鼻腔部の場合と同様に、混合槽 30 内におけるトレーサビリティが取れた放射能濃度（濃度 Ca）の特定の粒子径の微粒子をパイプ Pe へ送り出す。この後、フィルタ 320 とフィルタ 330a ~ 330d とをパイプ Pe から取り出し、ばく露装置 40 のフィルタを外部へ取り出して、全てのフィルタ 320 等を実験室内に設置された放射線測定器で測定する。トレーサビリティが取れた放射能濃度 Ca（フィルタ 320 の放射能濃度）と、各フィルタ 330a ~ 330d の放射能濃度と、ばく露装置 40 のフィルタの放射能濃度とを比較することにより、特定の粒子径の微粒子に対するフィルタ 320 による捕集量（即ち鼻腔部における放射性微粒子の沈着量（内部被ばくの量））、各フィルタ 330a ~ 330d による捕集量（即ち気管支領域における放射性微粒子の沈着量（内部被ばくの量））を得ることができる。

【0076】

以上より、本発明の実施例 8 によれば、本発明の放射性微粒子製造システム 1 の活用例

10

20

30

40

50

として、環境毒性学における放射性微粒子の人体への吸入ばく露メカニズムの研究に用いることができる。具体的には、放射性微粒子製造システム1の混合槽30のジョイント32cからばくろ槽40へ入るパイプPeの途中に、鼻腔部を模擬したサンプラーであるフィルタ(ろ紙)320(100mesh程度のメタルワイヤスクリーン)を設置しておく。フィルタ320に加えて気管支領域を模擬したサンプラーであるフィルタ330a~330d(各々400mesh程度のメタルワイヤスクリーン)も設置しておくことができる。実施例3、6と同様に、混合槽30内におけるトレーサビリティが取れた放射能濃度(濃度Ca)の特定の粒子径の微粒子をパイプPeへ送り出す。この後、フィルタ320、330a~330dをパイプPeから取り出し、ばく露装置40のフィルタを外部へ取り出して、各フィルタを実験室内に設置された放射線測定器で測定する。各フィルタ320等の放射能濃度を比較することにより、特定の粒子径の微粒子に対する各フィルタ320等による捕集量(鼻腔部または気管支領域における放射性微粒子の沈着量(内部被ばくの量))を得ることができる。

10

【産業上の利用可能性】

【0077】

本発明の活用例として、大気集塵ろ紙または防塵マスク等の精密な性能評価、原子力発電所または病院等の医療機関に設置される放射性ダストモニタおよび当該モニタに用いられるろ紙(フィルタ)の校正、吸入摂取による内部被ばく(呼吸気道内での粒子沈着)の実態解明等に適用することができる。

20

【符号の説明】

【0078】

1 放射性微粒子製造システム、 5 (狭義の)放射性微粒子製造システム、 10 放射性ガス生成システム、 11 フィルタ・ホルダ、 12 放射線源部、 13 天然放射性源、 20 特定粒子径エアロゾル発生システム、 21 噴霧器、 22、 72、 111a、 111b、 111c、 111d、 111e、 111f 乾燥管、 23 静電分級器、 30 混合槽、 31、 41a、 41b、 41c、 41d ファン、 32a、 32b、 32c、 32d、 32e、 32f ジョイント、 40 ばく露装置、 50 環境モニタ、 51 温度計、 52 相対湿度計、 60 放射性ガスモニタ部、 61 放射性ガスモニタ、 70 乾燥空気取入れ部、 71 モレキュラー・シーブ・フィルタ装置、 80 圧力調整部、 90 走査式電気移動度粒径分布測定器、 100 湿度制御部、 110 乾燥部、 105、 125 相対湿度モニタ、 120 湿度調整器、 121a、 121b、 121c 洗浄瓶、 121aIN、 121aOUT パイプ、 200 パッシブ型トロン子孫核種モニタ、 210 ポリプロピレン、 220 アルミニウムフィルム、 230 ステンレス製プレート、 240 CR-39(登録商標)、 300 防護マスク、 310、 320、 330a、 330b、 330c、 330d フィルタ。

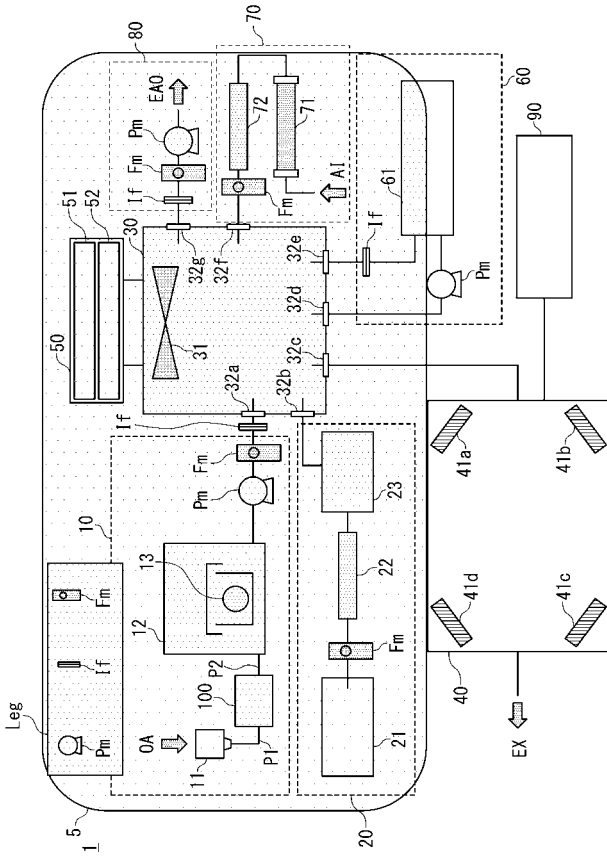
30

【0079】

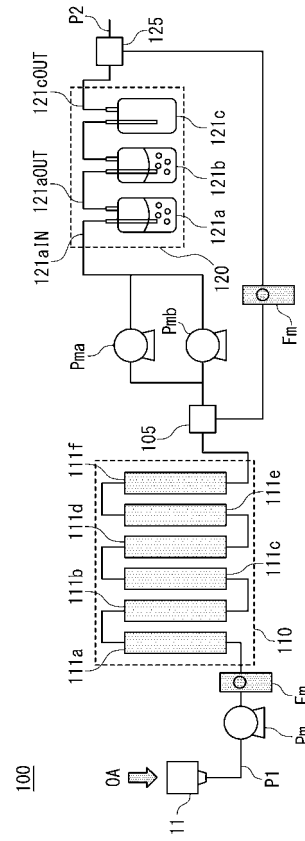
Leg 器具の凡例、 Pm ポンプ、 If インライン・フィルタ・ホルダ、 P1、 P2、 Pe パイプ、 OA 外部の空気、 AI 取入れた空気、 EAO 排出、 EX 放出口、 R1、 R2、 Ra、 Ri、 Rk、 Rm 放射微粒子、 Ra、 RA' 放射性微粒子R1等が存在するエリア、 Ca、 Cb Cc 放射能濃度。

40

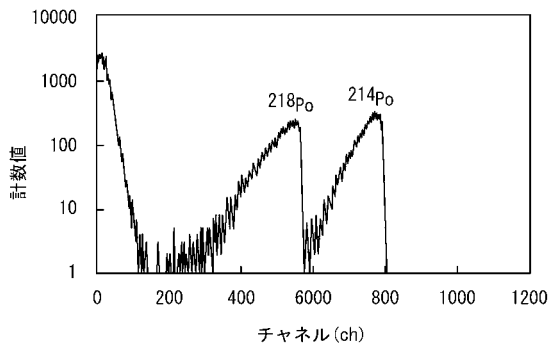
【 図 1 】



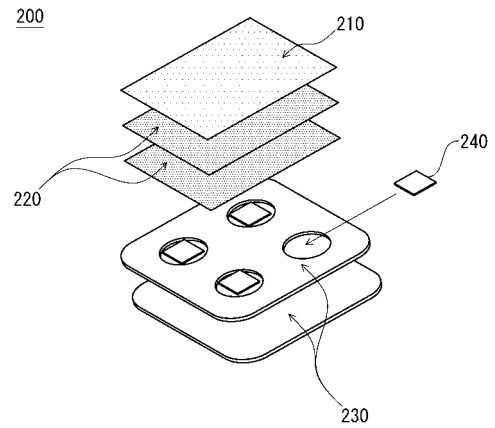
【 図 2 】



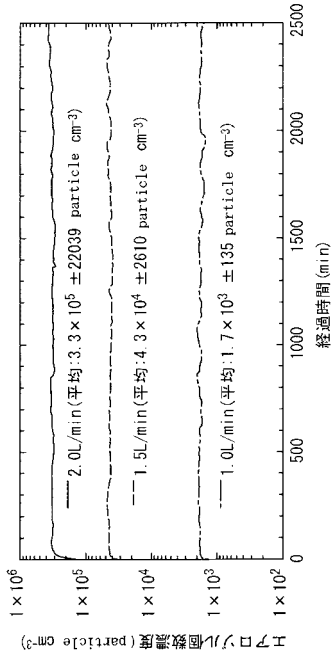
【 図 3 】



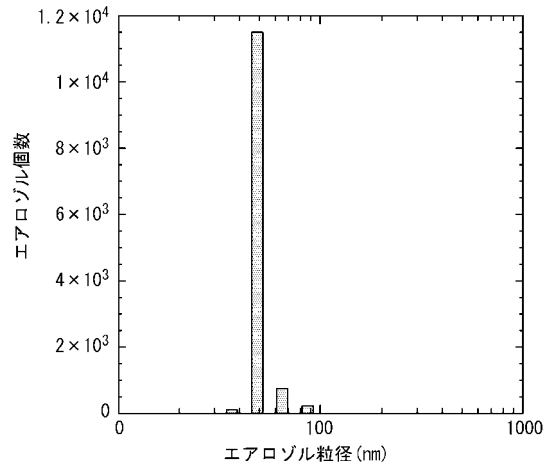
【 図 4 】



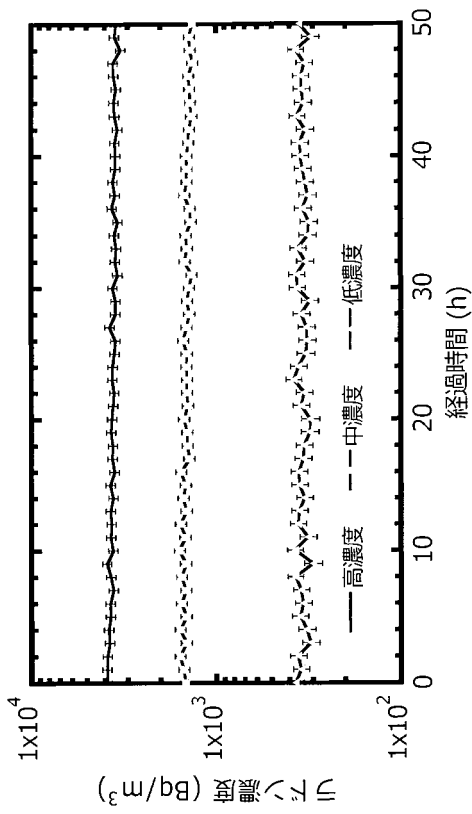
【 図 5 】



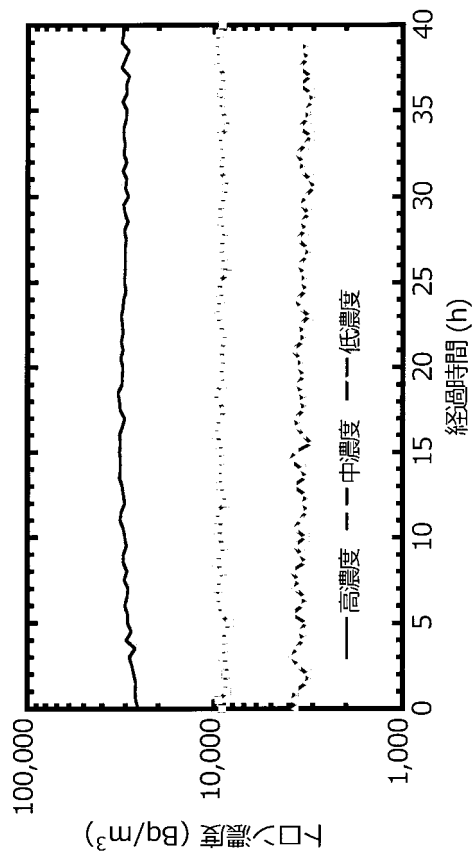
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

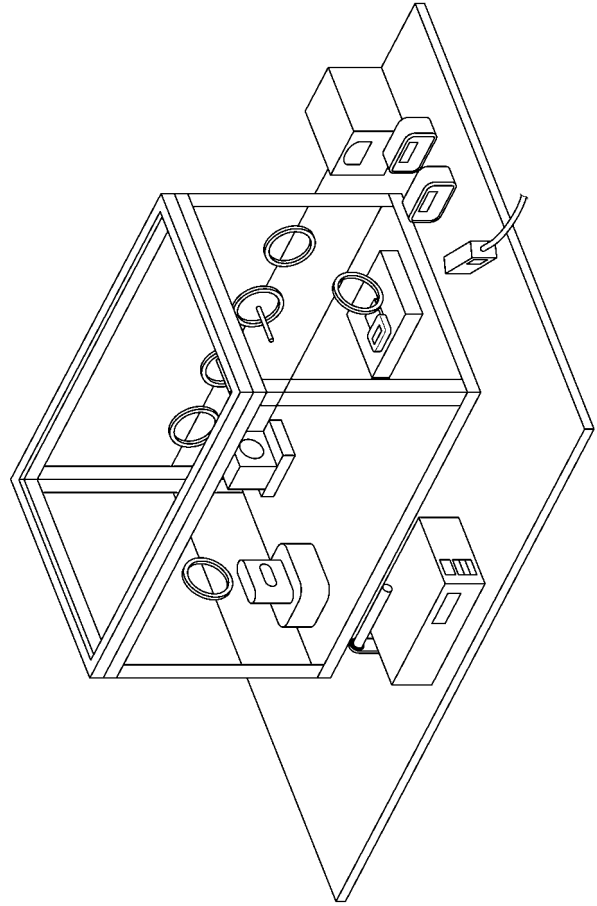


【 図 9 】

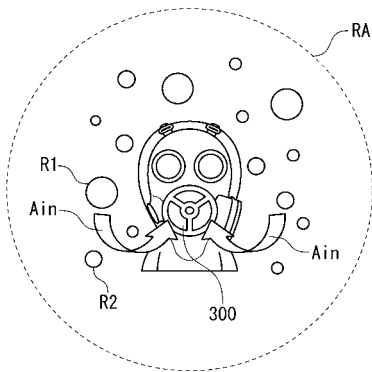


40

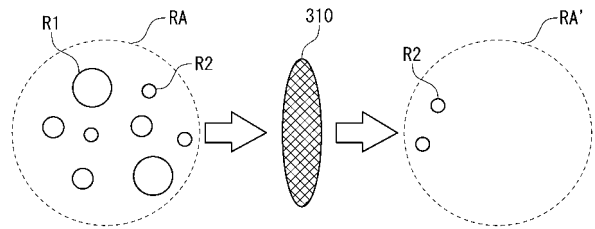
【 図 1 0 】



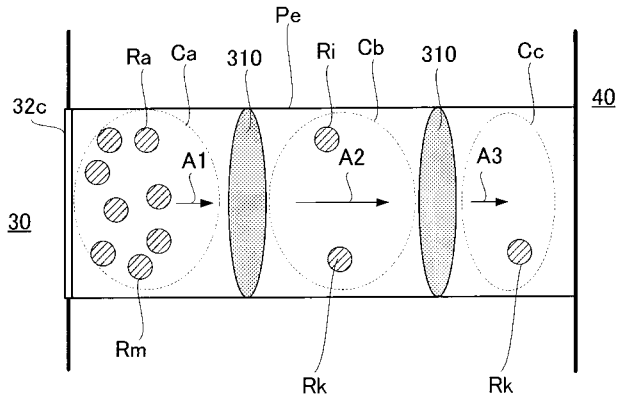
【 図 1 1 】



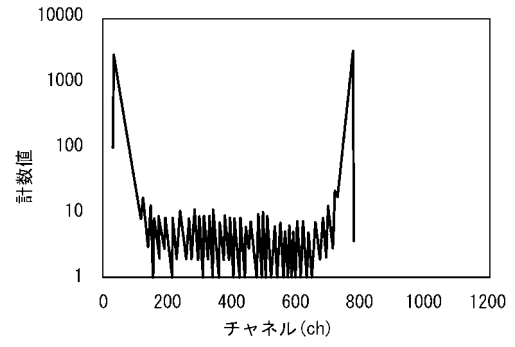
【 図 1 2 】



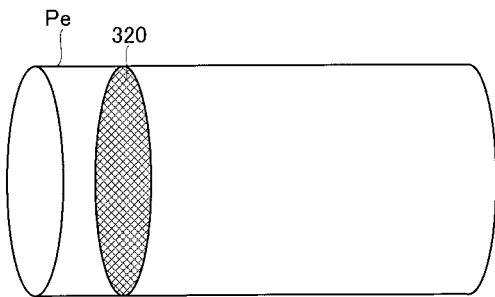
【 図 1 3 】



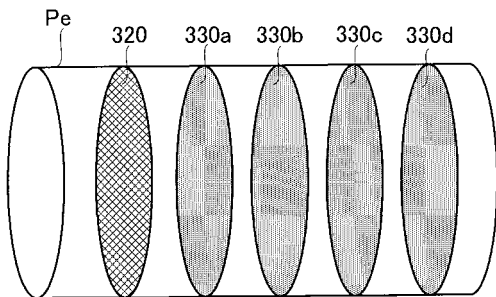
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2018/009285
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. G21G4/10 (2006.01) i, G21G4/06 (2006.01) i, G21H5/00 (2006.01) n According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl. G21G4/10, G21G4/06, G21H5/00 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018 Registered utility model specifications of Japan 1996-2018 Published registered utility model applications of Japan 1994-2018 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	TOKONAMI, Shinji et al., "Intercomparison exercise of measurement techniques for radon, radon decay products and their particle size distributions at NIRS", Jpn. J. Health Phys., 2005, vol. 40, issue 2, pp. 183-190	1-12
A	HASSAN, N. M. et al., "The effect of water content on the radon emanation coefficient for some building materials used in Japan", Radiation Measurements, 2011, vol. 46, pp. 232-237	2-7, 9-12
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 27.04.2018		Date of mailing of the international search report 22.05.2018
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/009285

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-38802 A (RADON MEDICAL RESEARCH & DEVELOPMENT ORGANIZATION CO., LTD.) 18 February 2010, paragraph [0025], fig. 1 (Family: none)	1-12

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 8 / 0 0 9 2 8 5													
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G21G4/10(2006.01)i, G21G4/06(2006.01)i, G21H5/00(2006.01)n															
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G21G4/10, G21G4/06, G21H5/00															
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2018年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2018年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2018年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2018年	日本国実用新案登録公報	1996-2018年	日本国登録実用新案公報	1994-2018年				
日本国実用新案公報	1922-1996年														
日本国公開実用新案公報	1971-2018年														
日本国実用新案登録公報	1996-2018年														
日本国登録実用新案公報	1994-2018年														
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)															
C. 関連すると認められる文献															
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号													
A	TOKONAMI, Shinji, et al., "Intercomparison Exercise of Measurement Techniques for Radon, Radon Decay Products and Their Particle Size Distributions at NIRS", Jpn. J. Health Phys., 2005, Volume 40, Issue 2, Page 183-190	1-12													
A	HASSAN, Nabil M., et al., "The effect of water content on the radon emanation coefficient for some building materials used in Japan", Radiation Measurements, 2011, Volume 46, Page 232-237	2-7, 9-12													
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。															
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>の日の後に公表された文献</td> </tr> <tr> <td>「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)</td> <td>「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td>「&」 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</td> <td></td> </tr> </table>				* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献	「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献	「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	
* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献														
「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの														
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの														
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの														
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献														
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願															
国際調査を完了した日 27.04.2018		国際調査報告の発送日 22.05.2018													
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 鳥居 祐樹	2G 4070												
		電話番号 03-3581-1101 内線 3226													

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2018/009285
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2010-38802 A (株式会社ラドン医療研究開発機構) 2010.02.18, [0025]、図1 (ファミリーなし)	1-12

フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。