

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 29 日現在

機関番号：11101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26670324

研究課題名(和文)パッシブ型ラドン・トロン子孫核種弁別測定装置は人々を肺がんのリスクから護る

研究課題名(英文)Passive radon/thoron progeny monitor protects human beings from lung cancer risk

研究代表者

床次 眞司(Tokonami, Shinji)

弘前大学・被ばく医療総合研究所・教授

研究者番号：80247254

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：福島原発事故以降、低線量放射線による被ばくについて国民の間に関心が高まっている。翻って、世界では天然に存在する放射性物質の一つであるラドンによる被ばくが国際的な問題となっている。本研究ではその被ばく量を精度良く測定するための線量計を開発することを最終目的としたばく露試験装置の開発に取り組んだ。世界に1つしかない装置は国内外からの要請に応じて校正実験に今後使用される予定である。

研究成果の概要(英文)：A large concern on health effects by low dose radiations has increased among Japanese nations since Fukushima nuclear accident. On the other hand, radon, one of natural radioactive materials, gives a significantly social problem in the world. A sophisticated exposure chamber system has been developed throughout the present study for the final purpose of development of radon dosimeters. This system will be used for calibration of many other dosimeters produced in foreign countries based on their requirement.

研究分野：保健物理

キーワード：放射線 線量計

1. 研究開始当初の背景

^{222}Rn (ラドン)、 ^{220}Rn (トロン) およびそれらの子孫核種は、自然放射線源によるヒトの被ばくに最も影響を与える因子である。ラドンの短寿命壊変生成物 (^{218}Po 、 ^{214}Po 、 ^{214}Bi) とトロンの短寿命壊変生成物 (^{212}Po) はそれぞれエネルギーを有しているが、これらは放射性エアロゾル粒子を含む空气中で呼吸することによって肺内の生体組織に影響を与え肺がんに導く可能性のある重要な放射性核種とみなされうる。現在、ラドン、トロンおよびそれらの子孫核種を測定する調査が世界中の大部分の場所で行われている。大部分の測定技術は環境中でラドンやトロンを監視するために用いられている。しかしながら、トロンはラドンの測定に影響を与える可能性があるという報告があったため、ラドン濃度はトロンの影響を除いて明白に評価されるべきである。

2. 研究の目的

校正設備は世界中でかなり限定されているが、この章では、トロンのジェネレーターが取り付けられた曝露チェンバーが QA・QC に基づく放射性ガスモニタの校正のために設計され、開発されたことについて述べた。チェンバーはステンレスで作られており、容量は 150L である。ラドンがその半減期のために長期間チェンバー内に供給・蓄積されるのに対して、トロンは短半減期核種であるためチェンバーの容積はトロンガス安定性に影響を与えうる。それゆえ、ラドンチェンバーの容量は、より多くの応用に適応できるように、しばしばさらに大きくなるように設計されており、このチェンバーはトロンの特性に合ったものであるといえる。システムの性能試験は合計 4 つの曝露レベル (500、1,000、2,000、3,000

kBq h m^{-3}) で実施された。高い、そして低い換気率のチェンバー (RADUET, Radosys Ltd, Hungary) に取り付けられた CR-39 と商品名の SSNTD が校正作業のために用いられた。

3. 研究の方法

曝露チェンバーシステムの安定性を試験するために、4 つの曝露レベル (500、1,000、2,000、3,000 kBq h m^{-3}) におけるトロン濃度の測定が行われた。

150L のステンレス製チェンバーは放射性ガスモニタの校正のために設計された。そのシステムは以下の 3 つのセクションに分けられる。1) トロン濃度制御装置、2) トロンガスモニタ、そして 3) 湿度制御装置である。チェンバーシステムの模式図を図 1 に示した。第 1 セクションでは、屋外空気 (Open air) が空気ポンプによって、設定された 10L/min の流量でシステムに入ってくる。その後空気は、空気を浄化するためにフィルターホルダーに取り付けられた直径 47mm のガラス繊維フィルター (Whatman: GF/F, England) で濾過される。濾過された新鮮な空気は、空気の流量を調節するためのバルブを通過する前に、湿度が低くなる (相対湿度: $< 8\% \text{RH}$) まで 6 つの乾燥管 (Diffusion dryer) のカラムを通過して進んでいく。乾燥した空気はその後、2 部に分けられる。1 部は直接トロンジェネレーターに接続されている。もう 1 部の乾燥した空気はトロンジェネレーターカラムに流入する前に湿度を約 40% に増加させるために加湿器の中を経由させられる。トロン濃度のレベルは空気の湿度に依存するため、この手順がシステムの相対湿度をコントロールするために確立された。ランタンマントルはトロンガスの発生源として用いられ、発生したトロンガスはポリエチレンチューブを通過して曝露チェンバーの中に流れ込む。チェンバーに流入する前に測

定された湿度の値は約 31%であった。

第 2 セクションでは、内部のトロン濃度のレベルを監視するための 2 つのトロンガスモニタが曝露チェンバーに接続されている。Si 半導体検出器(RAD-7, DURRIDGE company, Inc., USA)は、1 時間ごとにトロン濃度レベルを連続的に測定するために取り付けられた。トロンのサンプルは、変換係数 (conversion factor ;CF) を推定するために 300A シンチレーションセル(Pylon Electronics Inc., Canada)が取り付けられた可搬型放射線測定器(AB-5, Pylon Electronics Inc., Canada)を使って採取された。シンチレーションセルが取り付けられた AB-5 を使用することはトロン測定標準技術であるが、これはトロン濃度を連続的に測定することは不可能である。一方、RAD-7 はトロン濃度を連続的に測定することが可能である。RAD-7 によって得られたデータは、CF 値を使用してデータを補正するために必要である。CF 値は AB-5 から得られたトロン濃度レベル (単位 : Bq m⁻³) と RAD-7 から得られたトロン濃度レベル (単位 : Bq m⁻³) 間での比率を用いることによって推定することができる。

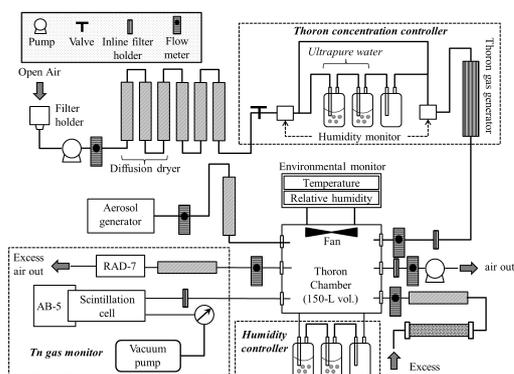


図 1 ラドン・トロン子孫核種モニタのためのばく露装置の概要

第 3 セクションでは、湿度制御装置がチェンバーに取り付けられている。湿度を約 50~60%に増加させるために、2 つの空気

ポンプを用いて合計 18L/min の流量下で、システム内に湿潤空気が生み出される。また、この曝露チェンバーシステムは、エアロゾルジェネレーターによってエアロゾル粒子の発生を手助けする。しかしながら、この研究では、状態がエアロゾルフリーとなるように決定されていたので、今回のシステムではエアロゾルジェネレーターを構成に含めなかった。

4 . 研究成果

4.1 校正係数 (CF) の推定

トロン濃度レベルを RAD-7 測定器から得た場合は、CF 値を掛けることによってチェンバー内の値を補正する必要がある。それぞれの曝露レベル (500、1,000、2,000、3,000 kBq h m⁻³) の CF 値は、4 回、9 回、6 回、8 回のトロンのグラブサンプリングによって推定された。AB-5 によって得られた濃度はモンテカルロ法によって評価された。

4.2 トロン濃度の推定

4 つの曝露条件における RAD-7 によって得られたトロン濃度 (C_{RAD-7}) は、(8) 式を用いて AB-5 でのトロン濃度 (C_{AB-5}) を推定することができる。

$$C_{AB-5} = 2C_{RAD-7} \times CF \quad (8)$$

計算において、補正された濃度値に変換するために、 C_{RAD-7} は壊変-補正因子によって掛けられる必要がある。ただし、 C_{RAD-7} は乾燥カラムの容量に関連している。

システムが稼働している間パラメータを維持することは可能であった。このシステムでは、トロン濃度レベルを 10,000 ~ 26,000 Bq m⁻³ の範囲で設定することができた。このシステムの温度はエアコンによってコントロールされる室温に依存し、この研究ではシステムの温度は約 20 に設定された。チェンバー内の湿度は 30 ~ 60%

RH に設定されることが可能であった。

トロン濃度レベルは%RH 値に依存するので、3つの条件(500、1,000、3,000 kBq h m⁻³)におけるトロン濃度間の変化を評価することによって、相対標準偏差(relative standard deviation ; RSD)の平均値は8.2%と推定された。

4.3 校正係数(CF)の推定

校正係数は4つの曝露レベルによるトラック密度と時間積分トロン濃度間の相関関係によって推定された。校正係数は、低い換気率のチェンバーでは 0.06 ± 0.001 tracks cm⁻²/ (kBq h m⁻³)、高い換気率のチェンバーでは 1.53 ± 0.003 tracks cm⁻²/ (kBq h m⁻³)と推定された。比較として、千葉市にある放射線医学総合研究所(National Institute of Radiological Sciences ; NIRS)での標準トロン設備において推定される校正係数は、低い換気率では 0.06 ± 0.002 tracks cm⁻²/ (kBq h m⁻³)、高い換気率では 1.99 ± 0.04 tracks cm⁻²/ (kBq h m⁻³)であり、この値はこの研究において得られた値に非常に類似しているといえる。

ラドン・トロン子孫核種モニタ開発のために、トロンジェネレーターが取り付けられた曝露チェンバーが開発された。この研究から得られた結果は、このシステムはトロン校正について高い正確性を有しており、チェンバー内のトロン曝露によって得られるトロン濃度と相対湿度を維持することができるということを指し示した。このシステムのトロン濃度レベルは 10,000 ~ 26,000 Bq m⁻³ の範囲で、湿度レベルは 30 ~ 60%の範囲で設定可能であった。将来、このシステムはエアロゾル発生器と組み合わせることにより、放射性エアロゾルモニタや他の測定器との校正の性能試験に適用されることが期待できる。

5 . 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

〔雑誌論文〕(計 7件)

Atsuyuki Sorimachi, Tetsuo Ishikawa, and Shinji Tokonami. Development of an aerosol chamber for calibration of ²²⁰Rn progeny detectors, (*AIP Rev. Sci. Instrum.*, 85, 095104 (2014); doi: 10.1063/1.4894386

Atsuyuki Sorimachi, Tetsuo Ishikawa, Shinji Tokonami. Performance Experiments of the Humidity Control System in the ²²⁰Rn Chamber, *Radiation Emergency Medicine*, 3(2): 24-30(2014.8)

H. Kudo, S. Tokonami, Y. Omori, T. Ishikawa, K. Iwaoka, S. K. Sahoo, N. Akata, M. Hosoda, P. Wanabongse, C. Pornnumpa, Q. Sun, X. Li and S. Akiba, COMPARATIVE DOSIMETRY FOR RADON AND THORON IN HIGH BACKGROUND RADIATION AREAS IN CHINA, *Radiation Protection Dosimetry* (2015), pp. 1-5, doi:10.1093/rpd/ncv235(May 1, 2015)

Y. Shiroma, M. Hosoda, T. Ishikawa, S. K. Sahoo, S. Tokonami, M. Furukawa. Estimation of radon emanation coefficient for representative soils in Okinawa, Japan. *Radiat. Prot. Dosim.*, doi: 10.1093/rpd/ncv233 (2015.4).

Yasutaka Oomori, Shinji Tokonami, Tetsuo Ishikawa, Sarata Kumar Sahoo, Naofumi Akata, Atsuyuki Sorimachi, Masahiro Hosoda, Chanis Pornnumpa, Paitoon Wanabongse, Hiromi Kudo, Ye-Jing Hu, Yong-Xiang Ao, Xiao-Liang Li, Kun Li, Ying-Hua Fu, Quan-Fu Sun, Suminori Akiba. A pilot study for dose evaluation in high-level natural radiation areas of Yangjiang, China, *J Radionucl Chem*, 306(1) (2015), 317-323, DOI 10.1007/s10967-015-4286-z (27 August 2015)

A. Sorimachi, S. Tokonami, C. Kranrod, T. Ishikawa, Preliminary experiments using a passive detector for measuring indoor ²²⁰Rn progeny concentrations with an aerosol chamber, *Health Phys.*, 108(6), 597-606 (2015.6)

R. C. Ramola, Mukesh Prasad, Mukesh Rawat, Anoop Dangwal, G. S. Gusain, Rosaline Mishra, S. K. Sahoo and S. Tokonami. COMPARATIVE STUDY OF VARIOUS TECHNIQUES FOR ENVIRONMENTAL RADON, THORON AND PROGENY MEASUREMENTS, *Radiation Protection Dosimetry* (2015), 167(1-3), pp. 22-28, doi:10.1093/rpd/ncv215(2015.11).

〔学会発表〕(計 1件)

C. Pornnumpa, 岩岡和輝、細田正洋、床次眞司. 弘前大学におけるラドン・トロンばく露システムの構築、日本保健物理学会第49回研究発表会、弘前市、2016年6月(確定)

〔図書〕(計 1件)

W. Hofmann, H.S. Arvela, N.H. Harley, J.W. Marsh, J. McLaughlin, A. Roettger, **S.Tokonami**, Measurement and Reporting of Radon Exposures., ICRU Report 88, Journal of the ICRU, Vol. 12, No.2, 2012(Published December 2015).

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

床次真司 (TOKONAMI, Shinji)
弘前大学・被ばく医療総合研究所・教授
研究者番号：80247254

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者

反町篤行 (SORIMACHI, Atsuyuki)
細田正洋 (HOSODA, Masahiro)
石川徹夫 (ISHIKAWA, Tetsuo)