

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：11101

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B））

研究期間：2018～2021

課題番号：18KK0261

研究課題名（和文）インドネシア・スラウェシ島における特異な放射線環境での住民の被ばく実態調査

研究課題名（英文）Investigation of dose assessments to the residents at an unique natural radiation area in Sulawesi Island, Indonesia

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） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、近年発見されたインドネシア・マムジュの高自然放射線地域において、住民を対象とした包括的な被ばく線量評価とその被ばくがもたらす人体での生体成分レベルとの関連性について検討した。その結果、住民の生涯累積線量の平均値は2.2 Svであり、がんや非がん疾患のリスクが実証されている原爆被爆者の平均線量をはるかに上回った。その要因の一つとして、生活圏において夜間の大気が非常に安定することで、屋内外ラドン濃度が急激に上昇する可能性が示唆された。また、質量分析による血中タンパク質の種類や量などの網羅的解析であるプロテオーム解析の結果、低線量バイオマーカの候補分子が発見された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低線量域における発がんリスクに関する情報は非常に限られており、この線量域での知見の蓄積が国内外で求められている。本研究で対象としたインドネシア・マムジュ地域は、他の高自然放射線地域と異なり、外部被ばくだけでなく内部被ばくの影響も大きい。東京電力福島第一原子力発電所事故後の一般公衆が抱えている最大の不安は、環境中に放出された放射性物質による低線量被ばくが周辺住民の健康状態にどのような影響を及ぼすのかということである。マムジュ地域で得られた知見は、放射線防護領域の研究者が直面している研究課題の解決に向けた示唆を与えるだけでなく、一般公衆が抱えている不安に対する科学的根拠を提供することにつながる。

研究成果の概要（英文）：Recently, we have found an unique area in Indonesia where naturally high radiation levels are present, resulting in chronic low dose-rate radiation exposures. We aimed to estimate the comprehensive dose due to internal and external exposures at the particularly high natural radiation area, and to discuss the biological responses to low-dose radiation. The lifetime cumulative dose estimated for the residents of study area were found to be received over 2.2 Sv as average which is much higher than the average dose of atomic bomb survivors for which risks of cancer and non-cancer diseases are demonstrated. According to the proteomic analysis of serum components based on blood samples from residents of study area, we discovered several interesting amino acids, and it can be used as a biomarker not only for the assessment of the presence or absence of radiation exposure but also for dose prediction in living organisms for chronic radiation.

研究分野：保健物理学

キーワード：インドネシア 高自然放射線地域 内部被ばく 外部被ばく ラドン トロン 大地放射線 生体影響
評価

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

東京電力福島第一原子力発電所(福島原発)事故による住民に対する被ばく線量は低いと考えられるが、その健康影響に関しては、公衆に対して科学的な事実に基づく説得力のある説明ができていない。広島・長崎の原爆被爆者に対する調査を通して、1回きりの急性の高線量被ばくがもたらす人体への影響では、100ミリシーベルト(mSv)以上で被ばく線量が高くなればがんのリスクが高まるという関係が見出されたものの、100 mSv以下の低線量域の放射線による人体への影響については統計的に有意な結論が導かれていない¹⁾。また、長期にわたる低線量放射線被ばくによる人体への影響に関する数少ない研究であるインド・ケララ州や中国・陽江地域での疫学調査結果では、生涯に受ける線量が100 mSvを超えてもがんのリスクは高くならなかった^{2,3)}。いずれにしても、低線量域における発がんリスクに関する情報は非常に限られており、既報に対する検証やこの線量域での知見の蓄積が国内外で求められている。

これまで実施されたインド・ケララ州での調査によって、外部被ばくによる線量寄与のみを考慮すべきであり、ラドン等による内部被ばく線量寄与は極めて小さいことが明らかとなった⁴⁾。さらに、同州では高線量地帯が広範囲に一樣に分布せず、様々な線量が地域一帯に偏在していることも明らかとなった⁵⁾。このことは環境中の空間線量率から個人の線量を推定することが困難であることを示唆しており、これまでの研究には線量評価の不確かさがある。また、中国・陽江地域での調査では、外部被ばく線量寄与が小さく、内部被ばくによる線量寄与が支配的であることが明らかとなった⁶⁾。これまでの疫学研究では、このような知見が考慮されていない。

近年のインドネシア原子力庁(BATAN)が実施した全国調査により、インドネシアの一部の地域に高自然放射線地域が存在することが明らかとなった⁷⁾。特にスラウェシ島南スラウェシ州と西スラウェシ州では自然放射線量が高い傾向にあり、年間実効線量として5 mSvを上回る地域があることを報告した⁷⁾。一方、ラドンを中心とした内部被ばくの実態は明らかとなっておらず、同地域における包括的な線量評価は行われていない。

2. 研究の目的

福島原発事故がもたらした一般公衆が抱えている最大の不安は、事故後も環境中に残存している放射性物質から放出される放射線が周辺住民の健康状態にどのような影響を及ぼすのかということである。そこで本研究では、現在我々が直面している低線量の長期間にわたる被ばくが人体にどのような影響をもたらすのかを明らかにするため、インドネシア・スラウェシ島(図1)の高自然放射線地域で生活する住民を対象とした包括的な被ばく線量評価とその被ばくがもたらす人体での生体成分レベルとの関連性を見出すことを目的とした。

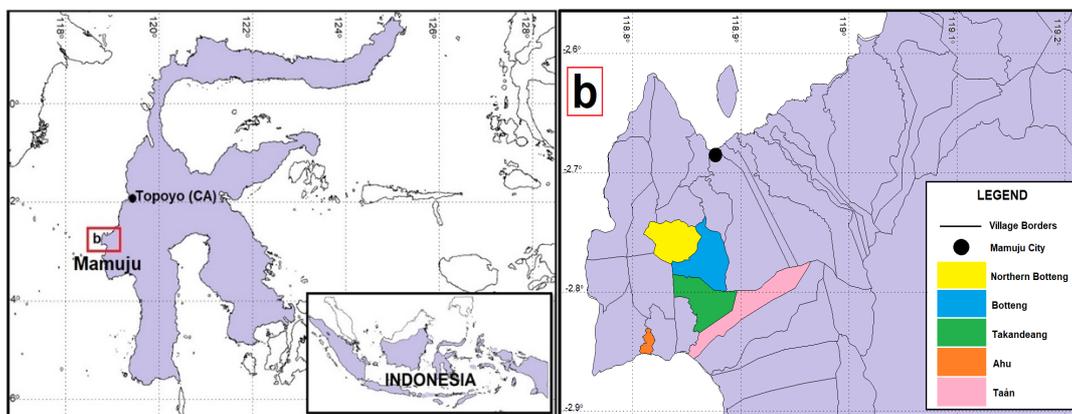


図1 調査対象地域周辺の地図。aはスラウェシ島マムジュ市の位置。また、コントロール地域としてトポヨ村を選択した。bは本研究で調査対象となった高自然放射線地域の位置関係。黄色：北ボッテン村、水色：ボッテン村、緑：タカンディアン村、橙色：アフー村、桃色：タアーン村。

3. 研究の方法

1) 外部被ばく線量評価

対象地域及びその周辺地域の空間線量率(空気吸収線量率)の分布を評価するため、3-in x 3-in NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータを自動車に搭載した自動車走行サーベイを実施した。30秒間隔で車内の計数値を測定し、得られた計数率(cpm)に車体の遮蔽係数と計数率から空気吸収線量率への換算係数(nGy/h/cpm)を乗じることで、車外の空気吸収線量率へと換算した。遮蔽係数は、13地点の車内外でそれぞれ2分間の計数値の測定を行い、換算係数は6地点(図2中のP1からP6に対応)で取得した15分間のγ線波高分布の解析によって得た。

また、個人線量当量の測定には光刺激ルミネセンス(OSL)線量計を用いた。高自然放射線地域及びコントロール地域の住民100名にOSL線量計を配布し、住民には線量計を日中は着用し、就寝時には就寝場所の近くに置くことで個人の外部被ばく線量評価を行った。

2) 内部被ばく線量評価

天然に存在する放射性希ガスであるラドン（質量数: 222）とその放射性同位体であるトロン（質量数が 220 のラドン）の吸入摂取による内部被ばく線量を評価した。屋内ラドン・トロン濃度の調査対象家屋数は、調査対象地域の全 4,151 家屋の約 10%に相当する 408 家屋であった。一方、調査対象地域の全人口は 286,389 人であり、屋内ラドン・トロン濃度の調査対象家屋に住む全人数は 1,987 人と全人口の約 0.7%であった。全ての高自然放射線地域の該当する村においては概ね同様の割合となるように調査家屋を選択した。しかし、中レベル自然放射線地域であるサルガタやコントロール地域であるトポヨでは必ずしもその限りではなかった。なお、設置家屋数は高自然放射線地域で 208 家屋、トポヨで 100 家屋、サルガタで 100 家屋とした。

ラドン濃度の測定には、パッシブ型ラドン・トロン弁別モニタ (RADUET) を用いた⁸⁾。RADUET を各家屋のリビングルームの中央に設置した。RADUET は低換気率容器と高換気率容器を組み合わせたモニタであり、それぞれの容器内に固体飛跡検出器である CR-39 が設置されている。一般に、トロン濃度は測定器の設置場所によって大きく変わることがあるため、測定器の設置場所の影響を受けない子孫核種濃度を評価した。トロン子孫核種濃度の評価には、パッシブ型トロン子孫核種モニタを用いた⁹⁾。トロン子孫核種モニタの検出器にも CR-39 が用いられており、その前面にアルミマイラ膜で覆われている。これは、トロン子孫核種である Po-212 からの 8.8 MeV の α 線エネルギーのみが選択的に到達するようにアルミマイラ膜の厚さが計算されている。

RADUET とパッシブ型トロン子孫核種モニタは 3 ヶ月ごとに交換し、1 年間の調査を行なった。曝露後の CR-39 は、60°C に管理された 6M NaOH 溶液で 24 時間の化学エッチングをし、得られた α 線によるエッチピットを光学顕微鏡で計数し、ラドン及びトロン子孫核種の放射能濃度を評価した。

得られたラドン濃度およびトロン子孫核種濃度から吸入摂取による年間実効線量 E を以下の式を用いて評価した。

$$E_{Rn} = C_{Rn} \times F \times DCF_{Rn} \times OF$$

$$E_{Tn} = EETC \times DCF_{Tn} \times OF$$

ここで、 F は平衡係数 (0.4)、 OF は所在係数 (年間 7,000 時間)、 DCF_{Rn} および DCF_{Tn} はそれぞれラドンおよびトロンの線量係数である。本調査では、国際放射線防護委員会から近年報告されたラドンとトロンの換算係数として、 $17 \text{ nSv (Bq h m}^{-3})^{-1}$ および $107 \text{ nSv (Bq h m}^{-3})^{-1}$ を用いた¹⁰⁾。

さらに、30 家屋において飲料水中のラドン濃度を測定し、ラドンの経口摂取による内部被ばく線量を評価した。採水の際に水が泡立つことで飲料水中のラドンが脱気されることがないように留意した。採水した試料は水中ラドン濃度測定専用のガラスバイアル瓶 (250 mL) に封入した。飲料水試料中のラドン濃度 C_w は、静電捕集型ラドンモニタ (RAD7) とそれに付属する水中ラドン測定キット (RADH2O) を用いて測定した。採水は雨期 (11 月) と乾期 (7 月) に同じ場所で行なった。飲料水の経口摂取による年間実効線量 E_{ing} は以下の式から評価した。

$$E_{ing} = C_w \times W \times K_w$$

ここで、 W は年間摂取量であり、住民への聞き取り調査によって 584 L とした。 K_w は線量係数であり $3.5 \times 10^{-6} \text{ mSv Bq}^{-1}$ を用いた。

3) 生物影響評価

BATAN の協力を得て、北ポッテン村 (タンデタンデ) とトポヨ村に居住する住民それぞれ 26 名から採血を実施した。なお、弘前大学大学院保健学研究科倫理委員会の承認を得て実施した。地区代表者の自宅に住民が集まり、医師による問診を行った後、身長や体重の計測を行ったのち、採血した。採血した血液は、直ちにマムジュ市内の医療施設内の検査室に移送し、遠心分離にて血清を分離、分取した。血清は冷蔵保存で BATAN に運び、その後、弘前大学に移送した。血清資料は、高速液体クロマトグラフィー及び質量分析を用いて解析した。

4. 研究成果

1) 外部被ばく線量評価

自動車走行サーベイによって得られた空気吸収線量率のマップを図 2 に示す。このマップでは、青から赤になるほど空気吸収線量率が高いことを意味する。つまり、マムジュ市の北部および南部の空気吸収線量率は、マムジュ市やその周辺の北ポッテン村、ポッテン村、タカンディアン村、アフー村と比べて明らかに低い。本調査では、1,600 データ以上を取得し、その結果、マムジュ市およびその周辺地域の空気吸収線量率は 50 nGy h^{-1} から $1,109 \text{ nGy h}^{-1}$ まで幅広く分布して

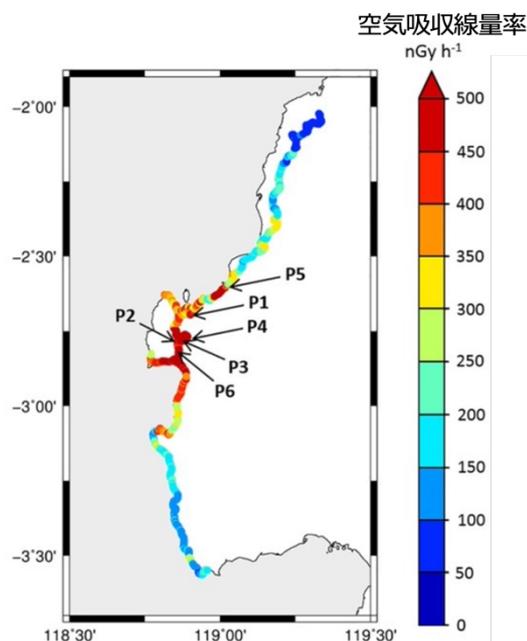


図 2 空気吸収線量率のマップ

いることが明らかとなった。一方、OSL 線量計を用いた個人線量当量の測定結果より、高自然放射線地域における年間実効線量の幾何平均値は 4.7 mSv (範囲: 1.9 から 14.3 mSv)、サルガタ村では 0.8 mSv (0.5 から 1.0 mSv)、トポヨ村では 0.5 mSv (0.3 から 0.9 mSv) であった。この値は、インド・ケララ州で得られた 0.5 mSv から 1.9 mSv、中国・陽江で得られた 0.6 mSv から 1.8 mSv と比較してもさらに高いことが明らかとなった^{4,5)}。

2) 内部被ばく線量評価

高自然放射線地域におけるラドン濃度の幾何平均値 (範囲) は 270 Bq m^{-3} ($90\text{--}1,644 \text{ Bq m}^{-3}$)、であった。一方、コントロール地域のラドン濃度の幾何平均値 (範囲) は 29 Bq m^{-3} ($15\text{--}42 \text{ Bq m}^{-3}$) であった。高自然放射線地域では 208 家屋中、1 家屋を除いた 207 家屋で WHO が報告する参考レベルである 100 Bq m^{-3} を超えた¹¹⁾。トロン子孫核種濃度は、高自然放射線地域で 12 Bq m^{-3} ($4\text{--}15 \text{ Bq m}^{-3}$)、コントロール地域で 1.9 Bq m^{-3} ($0.4\text{--}4 \text{ Bq m}^{-3}$) であった。得られたラドン濃度およびトロン子孫核種濃度からそれらの吸入摂取による年間実効線量を評価した結果、高自然放射線地域では 4 mSv から 78 mSv (幾何平均値: 28 mSv) であった。特に、北ボッテン村とボッテン村が高く (中央値で概ね 20 mSv 程度)、今後はラドンやトロンの吸入被ばくによる低減手法についても検討する必要があると考えられる。一方、コントロール地域のトポヨ村の吸入摂取による年間実効線量の幾何平均値は 1.4 mSv であった。雨期と乾期の飲用水中のラドン濃度は、それぞれ $1\text{--}652 \text{ Bq L}^{-1}$ 及び $1\text{--}1,141 \text{ Bq L}^{-1}$ であり、乾期の方が雨期よりも総じて高い傾向にあった。乾期では、約半分の 14 家屋の飲用水で WHO の参考レベルである 100 Bq L^{-1} を超えていた。経口摂取による実効線量は 0.01–2.3 mSv と評価された。聞き取り調査により、住民は飲用する前に煮沸するようなことはせず、直接摂取していることが確認された。一般に、飲用する前に煮沸処理をすることでラドン濃度は十分に低減させることができ、それに伴い経口摂取による実効線量は大きく減少する。各測定地域における吸入摂取と経口摂取による内部被ばく線量の分布を図 4 に示す。

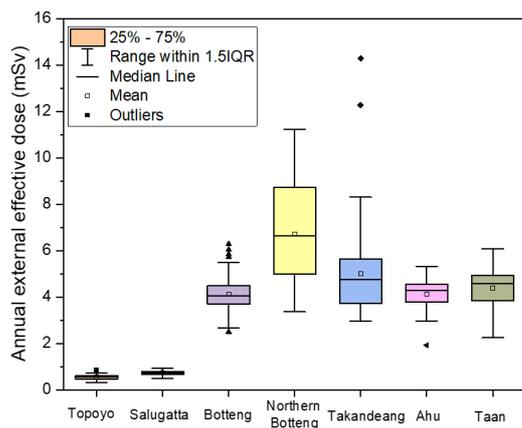


図 3 外部被ばく線量の分布

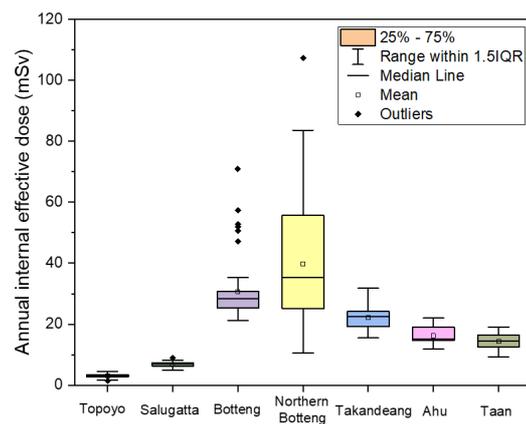


図 4 内部被ばく線量の分布

3) 外部および内部被ばくによる線量の包括的評価

内部被ばくと外部被ばくによる年間実効線量の合計は、トポヨ村、サルガタ村、ボッテン村、北ボッテン村、タカンディアン村、アフー村、タアーン村において、幾何平均値 (範囲) でそれぞれ 3.6 (2–5) mSv、7.5 (5–10) mSv、33.9 (25–75) mSv、41.6 (17–115) mSv、27 (20–41) mSv、20.1 (16–27) mSv 及び 18.5 (13–24) mSv であった。ラドンとトロンの吸入摂取による内部被ばくが全体の 81%、大地放射線による外部被ばくが 16% を占めた。住民の生涯累積線量 (70 年間に受ける総線量) の平均値は 2.2 Sv であり、がんや非がん疾患のリスクが実証されている原爆被爆者の平均線量をはるかに上回った。

4) 生物影響評価

質量分析による血中タンパク質の種類や量などの網羅的解析であるプロテオーム解析の結果、208 種類のタンパク質が同定され、そのうち 19 種類が高自然放射線地域群とコントロール地域との比較で有意な生成量の増減が認められた。両地域での Apolipoprotein B-100 及び Hemoglobin subunit alpha1 の ROC 解析の結果、それぞれの AUC 値は 0.819 ± 0.056 及び 0.801 ± 0.067 であり、低線量バイオマーカーの候補分子の可能性が示された。血清アルブミンに多様な酸化修飾が全部で 270 箇所検出された。そのうち高自然放射線地域群で有意な酸化修飾が認められたアミノ酸配列は 4 箇所であった。さらに、同一集団の血液試料を用いて、北ボッテン村の住民の末梢血単核細胞 (PBMC) におけるスーパーオキシドジスムターゼ (SOD) とグルタチオンペルオキシダーゼ (GPX) の活性を測定した結果、同住民の SOD と GPX の活性は、コントロール地域であるトポヨ村に住む住民の活性レベルと有意な差が認められないことが明らかとなった。

5) 高ラドン濃度の要因調査

図5に電離箱式ラドンモニタ (AlphaGUARD) を用いて屋内外のラドン濃度を連続測定した結果を示す。一般に屋内と比べて屋外のラドン濃度が低いことはよく報告されているが、当該地域の屋内外のラドン濃度レベルとその変動パターンは同様であった。この結果は、おそらく本研究分野では初めての実測例である。この現象は、一般に言われている屋内空気の換気ではラドンによる内部被ばく線量の低減にはつながらないことを意味する。今後は、このような地域における屋内ラドン濃度の低減手法を開発する必要があり、さらなる調査が求められる。

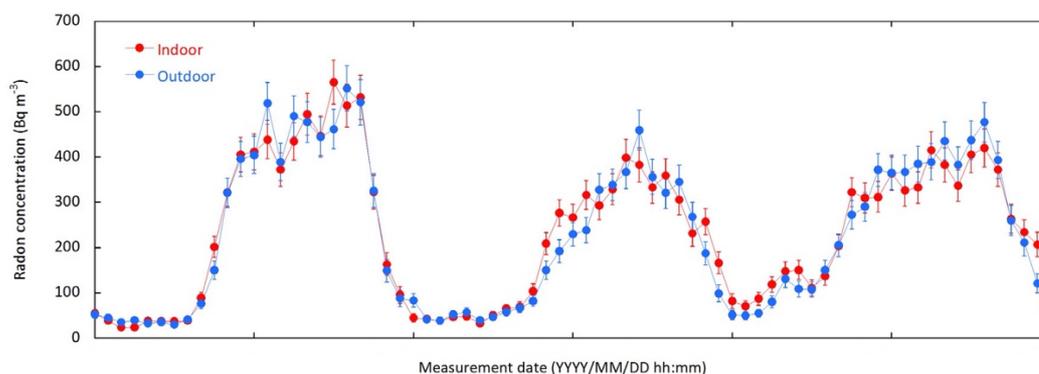


図5 家屋内外でのラドン濃度の連続測定の結果

大気中ラドン濃度の高濃度化の要因を調査するために、地表面から5 cm、10 m、25 mの大気をサンプリングしてラドン濃度の鉛直分布を評価した。得られた結果を解析することで、地表面から数 m 程度の生活圏において夜間の大気が非常に安定し、その結果、夜間の屋内外ラドン濃度が急激に上昇する可能性が示唆された。さらに、当該地域の地形が摺鉢状になっていることも高濃度化の要因の一つと考えられる。

本研究結果より、今後の課題として以下が挙げられる。

- ① 屋外ラドン濃度の高濃度化のメカニズムを明らかにするためには地球科学、地質学、土壌学など異分野の研究者との連携は不可欠であり継続的な調査が必要である。
- ② これまで実施されてきた強制換気による手法では屋内のラドン濃度を低減させることは不可能であり、このような高い肺がんリスクをどのようにして低減させることができるのかさらなる検討が必要である。
- ③ 低線量慢性放射線被ばくによる健康影響に関する疫学研究の可能性はあるのか、現地の医療機関などと連携した調査が必要となる。

<引用文献>

- 1) Preston, D. L. et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998. *Radiat. Res.* 168, 1–64 (2007).
- 2) Nair, R. R. K. et al. Background radiation and cancer incidence in Kerala, India-Karanagappally cohort study. *Health Phys.* 96, 55–66 (2009).
- 3) Tao, Z. et al. Cancer and non-cancer mortality among Inhabitants in the high background radiation area of Yangjiang, China (1979-1998). *Health Phys.* 102, 173–181 (2012).
- 4) Omori, Y. et al. Radiation dose due to radon and thoron progeny inhalation in high-level natural radiation areas of Kerala, India. *J. Radiol. Prot.* 37, 111–126 (2017).
- 5) Hosoda, M. et al. Estimation of external dose by car-borne survey in Kerala, India. *PLoS ONE*, 10, e0124433 (2015).
- 6) Kudo, H. et al. Comparative dosimetry for radon and thoron in high background radiation areas in China. *Radiat. Prot. Dosim.* 167, 155–159 (2015).
- 7) Syaeful et al. Radiometric mapping for naturally occurring radioactive materials (NORM) assessment in Mamuju, West Sulawesi, *Atom Indonesia*, 40, 33–39 (2014).
- 8) Tokonami, S. et al. Up-to-date radon-thoron discriminative detector for a large scale survey. *Rev. Sci. Instrum.* 76, 113505 (2005).
- 9) Tokonami, S. Characteristics of thoron (^{220}Rn) and its progeny in the indoor environment. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 17, 8769 (2020).
- 10) Tokonami, S. Some thought on new dose conversion factors for radon progeny inhalation. *Jpn. J. Health Phys.* 53, 282–293 (2018).
- 11) WHO (World Health Organization). WHO Handbook on Indoor Radon -A Public Health Perspective. WHO, Geneva, Switzerland (2009).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件/うち国際共著 10件/うちオープンアクセス 8件）

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Eka Djatnika Nugraha, Masahiro Hosoda, June Mellawati, Utara Utara, Ilsa Rosianna, Yuki Tamakuma, Umar Bobbo Modibo, Chutima Kranrod, Kusdiana Kusdiana, Shinji Tokonami | 4. 巻 18 |
| 2. 論文標題 Radon Activity Concentrations in Natural Hot Spring Water: Dose Assessment and Health Perspective | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health | 6. 最初と最後の頁 920 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph18030920 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 M. Hosoda, E. D. Nugraha, N. Akata, R. Yamada, Y. Tamakuma, M. Sasaki, K. Kelleher, S. Yoshinaga, T. Suzuki, C. Pornnumpa, M. Furukawa, M. Yamaguchi, K. Iwaoka, T. Sanada, T. Miura, Kusdiana, D. Iskandar, E. Pujadi, I. Kashiwakura, S. Tokonami | 4. 巻 750 |
| 2. 論文標題 A unique high natural background radiation area ? Dose assessment and perspectives | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Science of The Total Environment | 6. 最初と最後の頁 142346 ~ 142346 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2020.142346 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 Hu Jun, Yang Guosheng, Kranrod Chutima, Iwaoka Kazuki, Hosoda Masahiro, Tokonami Shinji | 4. 巻 17 |
| 2. 論文標題 An Improved Passive CR-39-Based Direct 222Rn/220Rn Progeny Detector | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health | 6. 最初と最後の頁 8569 ~ 8569 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph17228569 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 Rosianna Ilsa, Nugraha Eka Djatnika, Syaeful Heri, Putra Sugili, Hosoda Masahiro, Akata Naofumi, Tokonami Shinji | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Natural Radioactivity of Laterite and Volcanic Rock Sample for Radioactive Mineral Exploration in Mamuju, Indonesia | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Geosciences | 6. 最初と最後の頁 376 ~ 376 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/geosciences10090376 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Eka Djatnika Nugraha, Masahiro Hosoda, Kusdiana, Ilma D Winarni, Ariska Prihantoro, Takahito Suzuki, Yuki Tamakuma, Naofumi Akata, Shinji Tokonami | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Dose Assessment of Radium-226 in Drinking Water from Mamuju, a High Background Radiation Area of Indonesia | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Radiation Environment and Medicine | 6. 最初と最後の頁 79-83 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Hu Jun, Hosoda Masahiro, Tokonami Shinji | 4. 巻 65 |
| 2. 論文標題 Parameter sensitivity analysis of the theoretical model of a CR-39-based direct ²²² Rn/ ²²⁰ Rn progeny monitor | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Nukleonika | 6. 最初と最後の頁 95 ~ 98 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2478/nuka-2020-0014 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Miki Arian Saputra, Eka Djatnika Nugraha, Tri Purwanti, Rokhmat Arifianto, Roza Indra laksmana, Richard P. Hutabarat, Masahiro Hosoda, Shinji Tokonami | 4. 巻 65 |
| 2. 論文標題 Exposures from radon, thoron, and thoron progeny in high background radiation area in Takandeang, Mamuju, Indonesia | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Nukleonika | 6. 最初と最後の頁 89-94 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2478/nuka-2020-0013 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Eka Djatnika Nugraha, Masahiro Hosoda, Kusdiana, Ilma D Winarni, Ariska Prihantoro, Takahito Suzuki, Yuki Tamakuma, Naofumi Akata, Shinji Tokonami | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Dose Assessment of Radium-226 in Drinking Water from Mamuju, a High Background Radiation Area of Indonesia | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Radiation Environment and Medicine | 6. 最初と最後の頁 79-83 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Jun Hu, Kazuki Iwaoka, Masahiro Hosoda, Shinji Tokonami | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Lung dose estimation of 222Rn and 220Rn progeny based on IMBA Professional Software | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Radiation Environment and Medicine | 6. 最初と最後の頁 21-27 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Y. Tamakuma, R. Yamada, T. Suzuki, T. Kuroki, R. Saga, H. Mizuno, H. Sasaki, K. Iwaoka, M. Hosoda, S. Tokonami | 4. 巻 184 |
| 2. 論文標題 Comparative study on performance of various environmental radiation monitors | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Radiation Protection Dosimetry | 6. 最初と最後の頁 307-310 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/rpd/ncz104 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Kazuki Iwaoka, Masahiro Hosoda, Shinji Tokonami, Eliza B. Enriquez, Lorna Jean, H. Palad, Reiko Kanda | 4. 巻 184 |
| 2. 論文標題 Development of calculation tool for respiratory tract deposition depending on aerosols particle distribution | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Radiation Protection Dosimetry | 6. 最初と最後の頁 388-390 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/rpd/ncz074 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 玉熊佑紀, 山田椋平, 岩岡和輝, 細田正洋, 床次眞司 | 4. 巻 54 |
| 2. 論文標題 市販の大气中放射性エアロゾル捕集用フィルタの表面捕集効率及び流量の安定性の評価 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 保健物理 | 6. 最初と最後の頁 5-12 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5453/jhps.54.5 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Ryohei Yamada, Taiki Odagiri, Kazuki Iwaoka, Masahiro Hosoda, Shinji Tokonami | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Study of chemical etching conditions for alpha-particle detection and visualization using solid state nuclear track detectors | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Radiation Environment and Medicine | 6. 最初と最後の頁 21-25 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Kazuki Iwaoka, Lorna Jean H. Palad, Eliza B. Enriquez, Fe M. dela Cruz, Christopher O. Mendoza, Juanario U. Olivares, Ryan Joseph Aniago, Christian L. dela Sada, Masahiro Hosoda, Shinji Tokonami | 4. 巻 30 |
| 2. 論文標題 Preliminary Development of Thoron Exposure System in the Philippines | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Science Diliman | 6. 最初と最後の頁 87-95 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Shinji Tokonami, Masahiro Hosoda | 4. 巻 119 |
| 2. 論文標題 Thyroid equivalent doses for evacuees and radiological impact from the Fukushima nuclear accident | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Radiation Measurements | 6. 最初と最後の頁 74-79 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radmeas.2018.09.004 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 床次真司, 細田正洋 | 4. 巻 82 |
| 2. 論文標題 自然界の放射線 国内外の自然放射線レベルと高線量地域の放射線量 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 公衆衛生 | 6. 最初と最後の頁 809-815 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11477/mf.1401209003 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 床次眞司 | 4. 巻 53 |
| 2. 論文標題 新しいラドン線量換算係数を考える | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 保健物理 | 6. 最初と最後の頁 282-293 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5453/jhps.53.282 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計26件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 11件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 E. D. Nugraha, M. Hosoda, Nurokhim, Wahyudi, Kusdiana, Y. Tamakuma, S. Tokonami |
| 2. 発表標題 Inhalation Dose Assessment From 222Rn & 220Rn In Extremely High Background Radiation Area, Indonesia |
| 3. 学会等名 The 15th International Congress of the International Radiation Protection Association (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 E. D. Nugraha, Y. Tamakuma, Wahyudi, M. Hosoda, S. Tokonami |
| 2. 発表標題 A simple and fast method of radium-226 measurement in drinking water |
| 3. 学会等名 日本保健物理学会第53回研究発表会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Masahiro Hosoda, Eka Djatnika Nugraha, Yuki Tamakuma, Chutima Kranrod, Naofumi Akata, Shinji Tokonami |
| 2. 発表標題 A unique high natural background radiation area in Indonesia |
| 3. 学会等名 Third National Conference on Radiation Awareness and Detection in Natural Environment (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 細田正洋, Eka Djatnika Nugraha, Miki Arian Saputra, 赤田尚史, 山田椋平, 佐々木道也, 玉熊佑紀, 鈴木崇仁, 岩岡和輝, 古川雅英, 真田哲也, 山口平, 吉永信治, Abarrul Ikram, 柏倉幾郎, 床次眞司 |
| 2. 発表標題 インドネシア・マムジュにおけるラドンの高濃度化の要因調査 |
| 3. 学会等名 日本保健物理学会第52回研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Miki Arian Saputra, Yuki Tamakuma, Masahiro Hosoda, Shinji Tokonami |
| 2. 発表標題 Validation of Can Technique to Measure the Exhalation Rates of Radon and Thoron from Soil Sample |
| 3. 学会等名 日本保健物理学会第52回研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Jun Hu, K. Iwaoka, M. Hosoda, S. Tokonami |
| 2. 発表標題 Influential factor for radon/thoron measurements to inhalation dose |
| 3. 学会等名 日本保健物理学会第52回研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 根上颯珠, 玉熊佑紀, 細田正洋, 床次眞司 |
| 2. 発表標題 パッシブ式静電捕集型ラドンモニタに対するトロンの感度評価 |
| 3. 学会等名 日本保健物理学会第52回研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Chutima Kranrod, M.A. Saputra, E.D. Nugraha, Y. Takuma, N. Akata, M. Hosoda, S. Tokonami |
| 2. 発表標題 Measurement of attached radon and thoron progeny size distributions in Mamuju, Indonesia using passive detectors |
| 3. 学会等名 日本保健物理学会第52回研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 玉熊佑紀, 鈴木崇仁, 渡辺裕貴, 岩岡和暉, ミロソラフ ヤニック, ポロイクラトク タマポーン, エカ ジャトニカ ヌグラハ, 細田正洋, 床次眞司 |
| 2. 発表標題 コンタクトレンズケースを用いた小型パッシブ型ラドンモニタ |
| 3. 学会等名 日本保健物理学会第52回研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Eka Djatnika Nugraha, Masahiro Hosoda, Nurokhim, Yuki Takuma, Ryohei Yamada, Naofumi Akata, Shinji Tokonami |
| 2. 発表標題 Behavior Analysis of Radon in the water in Extremely High Background Radiation Area at Indonesia |
| 3. 学会等名 日本保健物理学会第52回研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 佐々木道也, 山田椋平, Eka Nugraha, 赤田 尚史, 床次眞司, 細田正洋, 岩岡和暉, Chanis Pornnumpa, 工藤ひろみ, Kumar Sahoo, Iskandar Dadong, Eko Pudjadi |
| 2. 発表標題 インドネシア高自然放射線地域における放射線線量評価-異なる地上高の線量率測定- |
| 3. 学会等名 日本原子力学会秋の大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuki tamakuma, Masahiro Hosoda, Tomonori Kuroki, Rikiya Saga, Hiroyuki Sasaki, Hiroyuki Mizuno, Takahito Suzuki, Eka Djatnika Nugraha, Shinji Tokonami |
| 2. 発表標題 A new portable radon progeny monitor using a silicon photodiode |
| 3. 学会等名 The 3rd International Conference "Radon in the environment (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Miki Arian Saptra, Tri Purweanti, Rokhmat Arifianto, Eka Djatinika, Nugraha, Ricard, Parulian Hutabarat, Masahiro Hosoda, Shinji Tokonami |
| 2. 発表標題 Exposures from radon and thoron progeny in high background radiation area in Takandeang, Indonesia |
| 3. 学会等名 The 3rd International Conference "Radon in the environment (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Eka Djatnika Nugraha, Masahiro Hosoda, Kusdiana, Miki Arian Saputra, Eko Pujadi, Takahito Suzuki, Yuki Tamakuma, Shinji Tokonami |
| 2. 発表標題 Preliminary survey of ²²² Rn concentration in dwelling & drinking water at high background radiation area Botteng, Mamuju, Indonesia |
| 3. 学会等名 The 3rd International Conference "Radon in the environment (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Shinji Tokonami, Yuki Tamakuma, Eka Djatnika Nugraha, Rungroj Sakulnaeromit, Takahito Suzuki, Chutima Kranrod, Supitcha Chanyotha, Masahiro Hosoda |
| 2. 発表標題 Development of radioactive aerosol chamber at Hirosaki University, Japan |
| 3. 学会等名 The 3rd International Conference "Radon in the environment (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 岡野杏奈, 鈴木崇仁, 玉熊佑紀, 城間吉貴, 岩岡和輝, 細田正洋, 床次眞司 |
| 2. 発表標題 パッシブ式静電捕集型ラドンモニタの改良と性能評価 |
| 3. 学会等名 日本放射線影響学会第61回大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 鈴木崇仁, フー クン, 森田祐貴, ヌグラハ エカ, サプトラ ミキ, 玉熊佑紀, 岩岡和輝, 細田正洋, 床次眞司 |
| 2. 発表標題 弘前大学におけるラドン較正場の空間分布及びその応用に関する考察 |
| 3. 学会等名 日本放射線影響学会第61回大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 浅野喬, 鈴木崇仁, 玉熊佑紀, 岩岡和輝, 細田正洋, 床次眞司 |
| 2. 発表標題 放射性エアロゾルの吸入にともなう線量評価のための基礎研究 |
| 3. 学会等名 日本放射線影響学会第61回大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T. Sanada, N. Akata, T. Suzuki, Y. Tamakuma, M. Hosoda, Y. Shiroma, S. Tokonami, K. Iwaoka |
| 2. 発表標題 Measurement of radon-222 concentration in groundwater from the Ra spa in Hokkaido using liquid scintillation counter, Japan |
| 3. 学会等名 9th International Conference on High Level Environmental Radiation Areas - For Understanding Chronic Low-Dose-Rate Radiation Exposure Health Effects and Social Impacts (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| | |
|----------|--|
| 1 . 発表者名 | M. Furukawa, Y. Omori, R. Shingaki, N. Masuda, M. Obata, Y. Tamakuma, T. Suzuki, S. Nakasone, A. Ishimine, M. Hosoda, N. Akata, S. Tokonami |
| 2 . 発表標題 | High indoor radon concentration observed in Yomitan-son, Okinawa Prefecture, southwestern part of Japan |
| 3 . 学会等名 | 9th International Conference on High Level Environmental Radiation Areas - For Understanding Chronic Low-Dose-Rate Radiation Exposure Health Effects and Social Impacts (国際学会) |
| 4 . 発表年 | 2018年 |

| | |
|----------|--|
| 1 . 発表者名 | S. Higuchi, Y. Kamishiro, M. Ishihara, Y. Yasuoka, Y. Mori, M. Hosoda, K. Iwaoka, S. Tokonami, M. Janik, J. Muto, H. Nagahama, T. Mukai |
| 2 . 発表標題 | Evaluation of a radon air monitor as a measurement of radon concentration in water in comparison with a liquid scintillation counter |
| 3 . 学会等名 | 9th International Conference on High Level Environmental Radiation Areas - For Understanding Chronic Low-Dose-Rate Radiation Exposure Health Effects and Social Impacts (国際学会) |
| 4 . 発表年 | 2018年 |

| | |
|----------|--|
| 1 . 発表者名 | T. Suzuki, M. Hosoda, N. Akata, W. Zhuo, K. Iwaoka, K. Yamanouchi, Y. Tamakuma, Y. Shiroma, M. Furukawa, S. Tokonami |
| 2 . 発表標題 | Development of a passive radon and thoron exhalation rate monitor for long-term and large-scale survey |
| 3 . 学会等名 | 9th International Conference on High Level Environmental Radiation Areas - For Understanding Chronic Low-Dose-Rate Radiation Exposure Health Effects and Social Impacts (国際学会) |
| 4 . 発表年 | 2018年 |

| | |
|----------|---|
| 1 . 発表者名 | Takahito Suzuki, Hu Jun, Yuki Morita, Chanis Pornnumpa, Yuki Tamakuma, Kazuki Iwaoka, Masahiro Hosoda, Shinji Tokonami |
| 2 . 発表標題 | Calibration experiment of Passive type radon-thoron discriminative monitor using radon and thoron calibration facilities at Hirosaki University |
| 3 . 学会等名 | The 44th European Radiation Research Congress (国際学会) |
| 4 . 発表年 | 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 細田正洋, 館山福樹, 玉熊佑紀, 鈴木崇仁, 山田椋平, 岩岡和輝, 床次眞司 |
| 2. 発表標題 シリコンフォトダイオードを用いた静電捕集型ラドンモニタの実用化に向けた検討 |
| 3. 学会等名 日本保健物理学会第51回研究発表会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 鈴木崇仁, 赤田尚史, 岩岡和輝, 山内可南子, 工藤ひろみ, 玉熊佑紀, 山田椋平, 城間吉貴, 古川雅英, 細田正洋, 床次眞司 |
| 2. 発表標題 ラドン・トロン環境中での空間分布と散逸率評価への応用 |
| 3. 学会等名 日本保健物理学会第51回研究発表会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 岩岡和輝, LJ Parad, E Enriquez, F dela Cruz, 細田正洋, 床次眞司 |
| 2. 発表標題 弘前大学のトロンガス曝露装置開発技術の活用 |
| 3. 学会等名 日本保健物理学会第51回研究発表会 |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 細田正洋, 床次眞司 | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 弘前大学出版会 | 5. 総ページ数 170 |
| 3. 書名 知の散歩シリーズ2 福島に学ぶ 放射線総合科学の展開を目指して(第一章 被ばくを調べるための放射線計測技術) | |

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

| | | |
|---------------------------------------|--------------|---------------|
| 産業財産権の名称 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 | 発明者 床次眞司 | 権利者 弘前大学 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、3608920 | 取得年 2021年 | 国内・外国の別 外国 |

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|-------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 柏倉 幾郎 (Kashiwakura Ikuo) (00177370) | 弘前大学・保健学研究科・特任教授 (11101) | |
| 研究分担者 | 古川 雅英 (Furukawa Masahide) (40238671) | 琉球大学・理学部・教授 (18001) | |
| 研究分担者 | 工藤 ひろみ (Kudo Hiromi) (50552684) | 弘前大学・保健学研究科・助教 (11101) | |

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|---------------------------------------|----|
| 研究協力者 | 真田 哲也 (Sanada Tetsuya) (00544272) | 北海道科学大学・保健医療学部・教授 (30108) | |
| 研究協力者 | 赤田 尚史 (Akata Naofumi) (10715478) | 弘前大学・被ばく医療総合研究所・教授 (11101) | |
| 研究協力者 | 細田 正洋 (Hosoda Masahiro) (30457832) | 弘前大学・保健学研究科・教授 (11101) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|---|--|----|
| 研究協力者 | 岩岡 和輝 (Iwaoka Kazuki) (70466051) | 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学研究所・主幹研究員 (82502) | |
| 研究協力者 | 山口 平 (Yamaguchi Masahiru) (00782822) | 弘前大学・保健学研究科・助教 (11101) | |
| 研究協力者 | 辻口 貴清 (Tsujiuchi Takakiyo) (90737454) | 弘前大学・災害・被ばく医療教育センター・助教 (11101) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |