

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00559

研究課題名(和文) 高時間分解能化学形態別大気トリチウム捕集装置の開発と環境研究への応用

研究課題名(英文) Development of high time resolution atmospheric tritium sampler and its application as environmental research

研究代表者

赤田 尚史 (Akata, Naofumi)

弘前大学・被ばく医療総合研究所・教授

研究者番号：10715478

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：短時間での大気水蒸気の効率的捕集を目指し、ポリイミドメンブレンカラムを用いた大気水蒸気捕集システムを開発した。様々な環境条件下での屋外大気をカラムに導入し、水分回収量について検討を行った。このときの水分回収にはドライアイス-エタノールのコールドトラップを用い後段に吸湿カラムを取り付けた。また、ドライエアー出口部にも吸湿カラムを取り付け、重量により屋外絶対湿度と水分回収量から捕集効率を求めた。その結果、1日程度の捕集で絶対湿度の低い青森県の冬季でも90%以上の捕集効率を得られることが分かった。ここで得られた水分には不純物が混入していないことも確認され、直接トリチウム分析に利用できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ポリイミド中空系分離膜(以下「分離膜」)は、核融合工学研究の一環として除湿もしくは水分回収のために研究が進められてきた。そこで、この分離膜の一般環境条件化における濃縮基本特性を明らかにした。また、分離した水分の高効率回収系を確立し、高時間分解能低濃度レベル大気トリチウム捕集システムを開発した。現在、脱炭素社会の実現に向けて核融合炉の研究がすすめられ、今後実証炉が稼働する。一方、福島第一原子力発電所事故により大量に発生したトリチウムを含む処理水は、今後海洋への放出が予定されている。更に、水素エネルギー社会の実現に向けてトリチウムを含む水素の環境挙動の理解は不可欠である。

研究成果の概要(英文)：We have developed a rapid sampling system for measuring the tritium in atmospheric water vapor. Compressed air (0.4 - 0.7MPa) is introduced into stainless steel column containing polyimide membrane tubes. Water vapor permeates through the tubes and is collected by cold traps cooled with dry ice and ethanol. We have determined the recovery yields under various sampling conditions and find that this system can collect atmospheric water vapor with a well recovery yield. This system can thus be a useful tool for understanding short-term observations of tritium in atmospheric water vapor.

研究分野：環境放射能

キーワード：トリチウム 環境放射能 水素エネルギー社会

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

トリチウム(T)は水素の放射性同位体であり、天然には、主に宇宙線と窒素や酸素との核反応・核破砕反応により大気上層で生成される。一方、過去の大気圏内核実験により大量のトリチウムが環境中に放出され、現在でも環境中に 1.0×10^{18} Bq 残存していると推定される。また、世界中の原子力発電所や核燃料再処理施設の運転に伴い大気放出されており、その量は宇宙線による年間生成量の約 20% (1.4×10^{16} Bq/y [1995-1997 年]) に相当すると見積もられている。このトリチウムは大気中において主に水蒸気(HTO)、分子(H₂)および炭化水素(主にメタン: CH₃T)の化学形態で存在している。トリチウムから放出される放射線は最大 18.6keV の低エネルギー線であるため、人体への影響として内部被ばくが重要となる。国際放射線防護委員会(ICRP)が提示しているトリチウムの化学形別の線量係数(Sv/Bq)は、HTO と H₂ がそれぞれ 1.8×10^{-11} および 1.8×10^{-15} であり、HTO が 10,000 倍大きい。そのため、原子力施設周辺環境モニタリングでは、環境試料中に存在する水分を回収し、トリチウムを計測することで測定結果が基準値以下であることを目的にモニタリングが行われてきた。しかし、大気中での H₂(HT)の滞留時間は約 2 年と見積もられており、その後酸化されて H₂O(HTO)となることから、HT が潜在的に内部被ばく線量に影響を及ぼすとも言える。将来のエネルギー源として研究が進められている核融合炉では燃料として大量のトリチウム使用が想定されている。国際協力により進められている核融合炉実験施設である ITER(国際熱核融合実験炉)では、大量のトリチウムの使用(10^{18} Bq)が想定されており、運転に伴い定常的に HT の放出が想定されている。その為、核融合炉を含む施設周辺環境等において HT を計測することは、トリチウム環境影響を明らかにできるだけでなく、作業者の詳細な被ばく線量評価の為にも重要である。

環境中に存在するトリチウムは高緯度地域ほど濃度が高くなる“緯度効果”、海岸部より内陸の方が高くなる“内陸効果”があることが知られている。極東アジアの中緯度地域に位置する日本においては、大陸からの空気塊の影響によりその濃度が上昇すると考えられている。日本国内におけるこれまでの観測結果として、青森県内の大気中 HTO と HT の平均濃度は、それぞれ 3.6 ± 2.3 mBq/m³ および 8.5 ± 2.6 mBq/m³ であると報告されている。環境中に低濃度で存在するトリチウムは電離箱での検出は困難であるため、トリチウムを水として捕集し、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンターで計測する必要があるが、低エネルギー線しか放出しないというトリチウムの特徴から、同時に存在する他の放射性核種を除去することでクエンチングを抑制する必要がある。また、大気中 HT 濃度は低く、燃焼して水として回収するには時間をかけて大量の試料大気を捕集・処理する必要がある。その為、大量の大気から HTO と HT を分離・回収するシステムが必要である。日本国内において同様な大気中トリチウムの観測を進めている大学や研究所の研究室はほとんどなく、数カ所での原子力施設関連モニタリングデータしかないのが現状である。これは、試料採取法が煩雑であり、低濃度トリチウム分析のための前処理操作に時間を要することが原因の一つと考えられる。しかしながら、福島第一原子力発電所事故以降、国民のトリチウムに対する関心は高い。その為、短時間で HTO と HT を分離し、前処理不要な水として捕集して直接トリチウム測定できる捕集システムの確立は、将来の水素エネルギー社会における環境アセスメント、原子力・核融合施設周辺地域住民の安全・安心の醸成のためにも重要である。さらに、このようなシステムを構築できれば、トリチウムが表層地球環境を解明するためのレーザーとして応用できる可能性も拡がり、研究データの充実に繋がる。

2. 研究の目的

ポリイミド(以下「分離膜」)は、核融合工学研究の一環として除湿もしくは水分回収のために研究が進められ、大型施設のトリチウム除去装置や水蒸気捕集システムに利用されてきた。しかし、酸化することで HT も水(H₂O)として捕集可能であるはずであるが、フィールド観測で使用可能な可搬式サイズの装置としては利用されていない。膜分離の技術は、将来の水素エネルギー社会の実現のためにも有効である。

本研究課題では、この分離膜の一般環境条件化における濃縮基本特性を明らかにする。また、分離した水分の高効率回収系を確立し、高時間分解能低濃度レベル大気トリチウム捕集システムを確立する。同様に、トリチウム除去システム開発の一環として研究が進められてきた水素酸化触媒の知見を基に、分離した HT を高効率で HTO に酸化する触媒を用い、HTO と HT を独立して不純物を含まない水として回収するシステムを確立する。確立したシステムについて風場により刻々と変化することが予想される大気中トリチウムの高時間分解能観測(数時間/試料)を目指す。

3. 研究の方法

中空系分離膜モジュールは、モジュール内に湿潤空気を加圧導入することで、乾燥空気と水素/水蒸気に分離することができる。国内では水蒸気と水素を分離することができるモジュールがいくつか市販されている。本研究課題では、分離性やサイズ等の観点から、宇部興産より市販さ

れているフォローファイバー型固体高分子膜モジュール (UMS-B5) を採用した。膜モジュールの外観を図 2 に示す。また、モジュールの基本特性を表 1 に示す。フォローファイバーは SUS の円筒管内に組み込まれており、内部に加圧空気を導入することで、外側に水蒸気と水素が絞り出される原理である。一般的には、外側に乾燥空気の一部を戻して使われる。本研究では乾燥空気ではなく、水蒸気と水素を回収することを目的とすることから、外側のアウトレットの一つを封じ、もう一方から膜分離された水蒸気と水素を吸引することで捕集することとした。

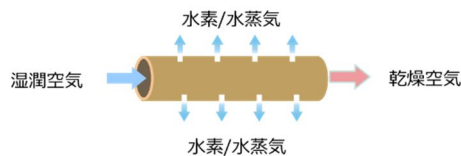


図 1 膜モジュールの原理



図 2 膜モジュールの外観

表 1 膜モジュールの基本特性

Basic specification of UMS-B5	
Container material	SUS304
Size (mm)	L: 680, D: 65
Inlet pressure	Max 1.0MPaG
Inlet temperature	1 - 40 °C
Ambient temperature	1 - 40 °C
Heatproof temperature	60 °C

本研究で試作した高分解能大気水蒸気捕集システムの概要を図 3 に示す。外気を取り入れ口には HEPA フィルターカートリッジを取り付けて粒子の混入を防止した。その後オイルフリーのコンプレッサーで加圧した空気を膜モジュールに導入した。その際の流量はフローメーターとニードルバルブにより調整した。湿潤空気の出口側にドライアイス-エタノールのコールドトラップを 2 段取り付け、ポンプで吸引することでトラップに水蒸気を回収した。本システムにおいては、水蒸気の捕集効率も重要となってくることから、2 段に設置したコールドトラップの後段と乾燥空気出口側に吸湿材を詰めたカラムを取り付け、重量の増加をモニターすることで捕集効率を求めることとした。水蒸気は温度によりその拡散速度が変化することが予想されることから、モジュールはリボンヒーターと温度コントローラーにより外部から温度制御できるように加工した。ただし、モジュールの耐熱温度を考慮し、加温は 50 までとした。

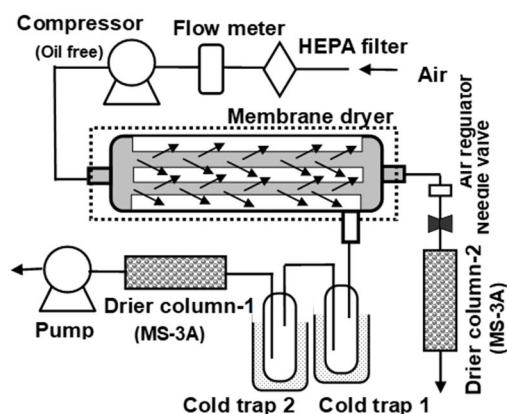


図 3 捕集システムの概要

4. 研究成果

試作したシステムの条件として、大気導入圧力、膜モジュール温度を変えて、大気水蒸気の捕集効率の試験を実施した。本システムに用いた膜モジュールに利用されているポリイミド中空系膜の一般的な分離条件は、0.3~1.0 MPaG の供給圧力であることがカタログにより報告されている。また、使用温度等の基本特性を取りまとめたレポートがいくつか報告されており、これらを参考に実験条件を設定した。本実験では、試作システムに圧縮空気 (外気) を供給する際、空気調整器とニードルバルブを用いて圧縮空気の圧力条件を 0.4、0.5、0.7 MPaG 変化させた。膜モジュールの温度は加温条件として 50 に制御した場合、加温していない室温条件 (約 24) での実験を実施した。

実験結果を表 2 に示す。その際、大気導入圧力を上げると回収率は上昇する結果が得られた。また、膜モジュールを加熱することでも回収率の向上が認められた。膜モジュールのカタログや関連論文によると、回収率は非透過側（内側）と透過側（外側）の水蒸気分圧差に依存するようである。いくつかの実験条件で試験を実施した結果、供給圧力を 0.5 MPaG、モジュールの温度を 50 にして試験した際、 $99.4 \pm 0.3\%$ の高い大気水蒸気回収率を得ることができた。この高回収率はこれらのバランスによるものであると言える。また、得られた回収水について、電気伝導度を測定した結果、 $0 \mu\text{S}/\text{cm}$ であり、不純物の混入は認められなかった。一方、水試料に含まれる有機物の有無については、200nm 付近の UV スペクトルで確認することが一般的である。そこで、吸光度計 (V-560) を用いて 200 nm 付近の UV スペクトルを測定した結果、有機物の混入は認められなかった。このことから本システムを用いて捕集できた大気水蒸気試料は、蒸留のような前処理を必要とせず、トリチウム分析に用いることができると判断された。

表 2 各実験条件における回収率

Feed pressure (MPaG)	Module temperature (°C)	Recovery yield (%)	Number
0.4	50	85.7	1
0.5	50	99.4 ± 0.3	14
0.5	Room Temp.	94.4 ± 1.5	4
0.7	Room Temp.	95.2 ± 1.0	3

大気水蒸気中トリチウム濃度は高緯度ほどその濃度が高い「緯度効果」があることが知られている。そのため、試験運転は日本の高緯度地域である北海道で実施することを計画した。そこで、北海道札幌市において予備調査を実施した。予備調査は北海道科学大学（札幌市手稲区： $43^{\circ}8' \text{N}$, $141^{\circ}14' \text{E}$ ）の屋上に設置した吸引ポンプと吸湿カラムからなる従来型の大気水蒸気サンプラーを用いて 2-3 日間隔で採取した。観測期間は 2018 年 11 月 6 日から 21 日の間である。水分を捕集する吸湿材にはモレキュラーシーブ 3A (MS-3A 1/16) を用いた（約 300g/カラム）。充填したカラムから吸湿材を取り出し、石英管に詰めて窒素ガスを流しながら 400 に加熱し、吸着された水分をコールドトラップ（ -70 ）で回収した（回収率： $>98\%$ ）。回収した水は、常圧蒸留により不純物を取り除いたのち、その 50 mL を 145 mL の低拡散バイアル内で同量の液体シンチレーター (UltimaGold LLT, PerkinElmer) と混合し、低バックグラウンド液体シンチレーション計数装置 (LSC-LB5, Hitachi) を用いてトリチウムによる線を 1,500 分計測して濃度を求めた。同時期の気象データは、試料採取地点から最も近い札幌市内のアメダス山口局のデータを用いた。観測結果を図 4 に示す。観測期間中の大気湿分中トリチウム濃度は、 $0.39 \sim 0.68 \text{ Bq}/\text{L}$ の範囲で、Nakasone et al. (2019) により報告されている札幌市における近年の降水中トリチウム濃度（年平均： $0.66 \pm 0.28 \text{ Bq}/\text{L}$ ）と同程度であった。大気中 HTO 濃度は $19.1 \sim 39.9 \text{ mBq}/\text{m}^3$ の範囲であり、11/14-16 にかけて最大値を観測したのに対し、その直後の 11/16-19 では最も低い濃度を示した。これは、前線の通過による空気塊の入れ替わりが原因と考えられる。

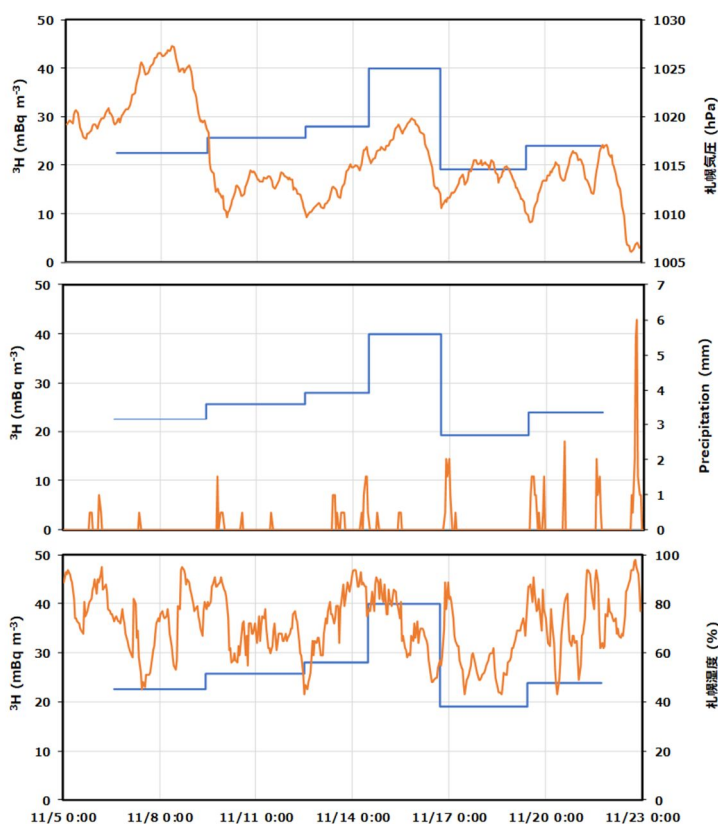


図 4 冬季の札幌市における大気水蒸気中トリチウム濃度と気象条件

本研究で試作した高時間分解能大気水蒸気捕集システムを用いて数時間のサンプリングを行

った場合、季節による絶対湿度の違いにもよるが、おおよそ 10-15 mL/数時間と見積もられる。一方、少量の水試料で比較的低い検出下限値を有する低バックグラウンド液体シンチレーション計数装置 (Quantalus 1220) を用いた場合、その検出下限値は 1000 分の計測時間でおおよそ 0.8 Bq/L 程度である。今回の調査結果より、大気水蒸気中トリチウム濃度は同時期の降水中トリチウム濃度レベルを参考にすることができる。日本の降水中トリチウム濃度についてはいくつか報告がある。これらのデータより、冬季の北海道札幌市において本研究で試作した高時間分解能トリチウム測定用大気水蒸気捕集システムを用いて大気水蒸気を捕集した場合、時々刻々と変化するトリチウム濃度を追跡できる可能性が示唆された。

一定時間での試料採取を実現するため、2 段のコールドトラップに繋がるラインを複数準備し、電磁バルブとタイマーにより自動で切り替わるようにした。このシステムでは、ドライアイス-エタノールのトラップは 5 つ設置することができ、深夜の自動切り替えも可能となった。本システムを用いて、低湿度の実験室内大気を捕集する試験を行った結果、実験室内絶対湿度に対し、95%以上の捕集効率を実現できた。実験室より絶対湿度の高い屋外大気では、99%以上の捕集効率を得ることができる。今後、新型コロナウイルスの終息を待ち、冬季の札幌市において試験観測を実施し、本システムの有効性の最終確認を実施する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Akata Naofumi, Tanaka Masahiro, Iwata Chie, Kato Akemi, Nakada Miki, Kovacs Tibor, Kakiuchi Hideki	4. 巻 16
2. 論文標題 Isotope Composition and Chemical Species of Monthly Precipitation Collected at the Site of a Fusion Test Facility in Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 3883 ~ 3883
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph16203883	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 Nakasone, S., Yokoyama, S., Takahashi, T., Ota, M., Kakiuchi, H., Sugihara, S., Hirao, S., Momoshima, N., Tamari, T., Shima, N., Atarashi-Andoh, M., Fukutani, S., Ishimine, A., Furukawa, M., Tanaka, M., Akata, N.	4. 巻 15
2. 論文標題 Preliminary investigation of pretreatment methods for liquid scintillation measurements of environmental water samples using ion exchange resins	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.15.2405027.	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 AKATA Naofumi, IWATA Chie, MIYAKE Hitoshi, TANAKA Masahiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Expiratory Testing as a Simple and Effective Bioassay Method for Screening Workers for Tritium Exposure in Fusion Test Facilities	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1305076 ~ 1305076
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.13.1305076	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 Akata Naofumi, Kakiuchi Hideki, Shima Nagayoshi, Tamari Toshiya, Kovacs Tibor	4. 巻 319
2. 論文標題 Determination of non-exchangeable organically bound tritium concentration in reference material of pine needles (NIST 1575a)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 1359 ~ 1363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10967-018-6397-9	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 Akata, N., Shiroma, Y., Ikemoto, N., Kato, A., Hegedus, M., Tanaka, M., Kakiuchi, H., Kovacs, T.	4. 巻 7
2. 論文標題 Atmospheric Concentration and Deposition Flux of Cosmogenic Beryllium-7 at Toki, Central Part of Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Radiation Environment and Medicine	6. 最初と最後の頁 47-52
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 Akata, N., Kakiuchi, H., Tanaka, M., Shima, N., Shiroma, Y., Tokonami, S., Hosoda, M., Ishikawa, Y., Furukawa, M., Sanada, T.	4. 巻 13
2. 論文標題 Development of rapid sampling system of atmospheric water vapor for tritium measurement	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 3405064
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.13.3405064	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 Akata, N., Shiroma, Y., Furukawa, M., Kato, A., Kakiuchi, H., Hosoda, M., Kanai, Y., Yanagisawa, F.	4. 巻 53
2. 論文標題 Concentrations of chemical components, including 210Pb, present in aerosols collected at Naha, Okinawa Prefecture, a sub-tropical region of Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Health Physics	6. 最初と最後の頁 17-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5453/jhps.53.17	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 Akata N, Hasegawa H, Sugihara S, Tanaka M, Furukawa M, Kurita N, Kovacs T, Shiroma Y, Kakiuchi H	4. 巻 184
2. 論文標題 TRITIUM, HYDROGEN AND OXYGEN ISOTOPE COMPOSITIONS IN MONTHLY PRECIPITATION SAMPLES COLLECTED AT TOKI, JAPAN	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Radiation Protection Dosimetry	6. 最初と最後の頁 338 ~ 341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/rpd/ncz062	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 Akata Naofumi, Iwata Chie, Nakada Miki, Tanaka Masahiro, Kakiuchi Hideki, Kovacs Tibor, Yanagisawa Fumitaka, Kanai Yutaka	4. 巻 327
2. 論文標題 Characterization of atmospheric 210Pb concentration and its relation to major ion species at Tsukuba, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 755 ~ 760
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10967-020-07568-w	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

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 赤田尚史, 柿内秀樹, 岩田智恵, 真田哲也
2. 発表標題 札幌市における大気水蒸気中トリチウム濃度の集中観測
3. 学会等名 2019年度日本雪氷学会東北支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 保原雄大, 赤田尚史, 柳澤文孝
2. 発表標題 蔵王の樹氷 (アイスモンスター) (2) - 人工衛星画像を用いた越境大気汚染物質解析 -
3. 学会等名 雪氷研究大会2019山形
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤田尚史, 岩田智恵, 田中将裕, 古川雅英, Kovacs Tibor, 真田哲也
2. 発表標題 北海道札幌市で採取された降水のトリチウム濃度
3. 学会等名 第2回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naofumi Akata, Kovacs Tibor, Hideki Kakiuchi
2. 発表標題 Sampling system of tritium for atmospheric environment
3. 学会等名 2nd Workshop on Radiation Research and Related Issues 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akata, N., Kakiuchi, H., Shima, N., Tamari, T.
2. 発表標題 Determination of Non-Exchangeable Organically Bound Tritium concentration in reference material of pine needles (NIST 1575a)
3. 学会等名 VI. Terrestrial Radioisotopes in Environment International Conference on Environmental Protection (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 赤田尚史, 田中将裕, 柿内秀樹, 城間吉貴, 細田正洋, 岩岡和輝, 床次眞司, 古川雅英, Tibor Kovacs, 真田哲也
2. 発表標題 高時間分解能大気水蒸気捕集システムの開発
3. 学会等名 2018年度日本雪氷学会東北支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 赤田尚史, 柿内秀樹, 島長義, 玉利俊哉
2. 発表標題 松葉標準試料 (NIST-1575a) の非交換型OBT濃度
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 赤田尚史, 城間吉貴, 池本憲弘, 細田正洋, 柿内秀樹, 床次眞司, 古川雅英, 下道國, 岩岡和輝
2. 発表標題 極低濃度トリチウム計測手法を用いたトリチウム計測用バックグラウンド水の検討
3. 学会等名 日本保健物理学会第50回研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akata, N., Kakiuchi, H., Tanaka, M., Shima, N., Shiroma, Y., Tokonami, S., Hosoda, M., Ishikawa, Y., Furukawa, M., Sanada, T.
2. 発表標題 Development of rapid sampling system of atmospheric water vapor for tritium measurement
3. 学会等名 Joint meeting of 26th International Toki conference and 11th Asia Plasma & Fusion Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
連携研究者	床次 眞司 (Tokonami Shinji) (80247254)	弘前大学・被ばく医療総合研究所・教授 (11101)	
連携研究者	真田 哲也 (Sanada Tetsuya) (00544272)	北海道科学大学・保健医療学部・教授 (30108)	
連携研究者	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
連携研究者	田中 将裕 (Tanaka Masahiro) (00435520)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授 (63902)	

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