

令和 4 年 6 月 4 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01877

研究課題名(和文) 土壌トリチウム蓄積機構の解明と新規除染法の原理実証

研究課題名(英文) Elucidation of mechanism for tritium accumulation to soil and proof of principle for new decontamination method

研究代表者

片山 一成 (Katayama, Kazunari)

九州大学・総合理工学研究院・准教授

研究者番号：90380708

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：トリチウム水に浸漬した天然土壌試料からの加熱に伴うトリチウム放出ピークと水分放出ピークの位置は一致し、土壌中に存在する水分或いは軽水素それぞれに、吸着反応或いは同位体交換反応を通じてトリチウムが取り込まれることが示唆された。マイクロ波支援酸溶解法による土壌の溶解で放出されるトリチウム量は、1000℃加熱で放出されるトリチウム量よりも多いことが明らかとなった。このことは、トリチウム汚染土壌からのトリチウム全量回収は、加熱のみでは困難であり、完全溶解が必要であることを示す。トリチウム含有土壌で育成されたシロイヌナズナには、土壌に供給されたトリチウムの一部が有機結合型トリチウムとして蓄積された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高度な社会文明を維持するために必要なエネルギーを継続的に安定して供給可能なエネルギー源として、核融合炉の実現が期待されている。しかしながら、核融合炉が社会に受け入れられるためには、万が一の事故により燃料トリチウムが施設外へ漏洩した際の環境・公衆への影響を科学的根拠に基づいて説明することが求められる。本研究は、トリチウム水が土壌に漏洩した際のトリチウム挙動を解明するものであり、核融合炉の受容性向上の観点から社会的意義は大きい。また、土壌中でのトリチウム移動現象は解明されておらず、本研究で得られるトリチウム実験による成果は学術的意義が大きい。

研究成果の概要(英文)：The positions of the tritium release peak due to heating from the natural soil sample immersed in tritiated water and the water release peak were the same. This suggests that tritium is taken up by the water or hydrogen existing in the soil through an adsorption reaction or an isotope exchange reaction, respectively. It was revealed that the amount of tritium released by dissolving the soil by the microwave-assisted acid dissolution method is larger than the amount of tritium released by heating to 1000℃. This indicates that it is difficult to recover all tritium from tritium-contaminated soil only by heating, and complete dissolution is required. *Arabidopsis thaliana* was grown in tritium-containing soil, and a part of the tritium supplied to the soil was accumulated as organic bound tritium.

研究分野：核融合炉工学 トリチウム理工学 物質移動工学

キーワード：トリチウム トリチウム水 土壌 粘土鉱物 同位体交換 マイクロ波加熱 環境保全 有機結合型トリチウム

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

公衆へ影響を及ぼしうる環境中トリチウム挙動は、社会的に注目されており、科学的根拠を背景とした移行モデルの構築と挙動予測が求められている。環境中におけるトリチウム動態研究については、トリチウムを燃料とする核融合エネルギー開発研究の開始とともに取り組まれてきており、当該研究分野においてその重要性は認識されてきた。研究の進展により、国内においては、大気中および地表付近でのトリチウム挙動予測計算コードが開発され、国外においても、カナダやドイツなどで計算コードが開発された。さらには、カナダ・チョークリバーでのトリチウムガス原野放出実験と計算コードによるシミュレーション結果との比較検証も実施されている。しかしながら、これら過去に開発されたトリチウム移行モデルは、HT ガスあるいはHTO ガスとして大気放出された後のトリチウム挙動を予測するものであり、トリチウム水漏洩事故時の土壌中でのトリチウム移行には適用できない。土壌中での水の移行については、土壌物理学分野においてマトリックポテンシャルによる水分移動モデルが確立されており、土壌に含まれる化学物質の移行についても、農業、土木分野で多くの知見が得られている。しかしこれらの分野ではトリチウムを対象とした研究は行われていない。原子力分野では、公衆への影響が大きいセシウム等の土壌中挙動研究は行われているものの、トリチウムを対象とした系統的な研究は未だ行われていない。つまりこれまで、トリチウム汚染水漏洩事故が発生した際の土壌中でのトリチウム移行挙動を、科学的根拠に基づいて正確に予測することができない状況にあった。そこで、研究代表者は、土壌中トリチウム挙動に関する課題に取り組み、これまでに天然土壌充填層トリチウム水透水実験や、トリチウム水長期間浸漬実験などを行ってきた。その成果として、土壌が一定のトリチウムを捕捉できることを明らかにし、この現象が土壌を構成する粘土鉱物等に存在する軽水素とトリチウムとの同位体交換反応に因るとする、これまでになかった水-土壌間トリチウム移行モデルを提案した。土壌がトリチウムを捕捉するという事は、トリチウム水が土壌深層に浸透するにしたがって、トリチウム濃度は減少するもののトリチウム水浸透経路の土壌内にはトリチウムが蓄積されることを意味する。トリチウム漏洩事故後の環境回復を実現するためには、土壌に対する効果的なトリチウム除染法を見出すことも望まれる。将来的に公衆への影響を検討するためには、土壌から植物への移行挙動についての理解を深める必要もある。

2. 研究の目的

本研究では、未だ確立されていない土壌蓄積トリチウムの全量評価法を構築し、土壌からのトリチウム放出特性を解析することで、トリチウム水との接触による土壌へのトリチウム蓄積機構の解明を目指す。さらには、土壌に蓄積されたトリチウムの植物への移行特性についても、実験に基づく知見を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は、(1)トリチウム汚染土壌からのトリチウム放出特性の把握、(2)マイクロ波支援酸溶解法によるトリチウム回収、(3)土壌から植物へのトリチウム移行の3項目を柱として研究を遂行した。

4. 研究成果

(1)トリチウム汚染土壌からのトリチウム放出特性の把握

研究代表者が以前実施した天然土壌充填層へのトリチウム水透水実験におけるトリチウムバランス評価から、一定量のトリチウムが土壌に蓄積されることが明らかとなっている。土壌には、大きく分けて3種類の水が存在する。1つ目は、土壌粒子表面の吸着水である。2つ目は、土壌粒子を構成する粘土鉱物の珪酸層間に保持される層間水である。3つ目は、水酸基など粘土鉱物を構成する構造水である。一般的な粘土鉱物の構造式にはOHやH₂Oが含まれており、トリチウム水が土壌と接触した際には、これら各種水に含まれる軽水素と同位体交換することによって、トリチウムが取り込まれると考えられる。2つの天然土壌試料 (Soil2, Soil5) 約40gを約300kBq/ccのトリチウム水40gに長期間浸漬した際のトリチウム濃度の変化を図1に示す。トリチウム崩壊量や水の蒸発量を考慮した変化を実線で示しており、水中のトリチウム量は時間とともに緩やかな減少を続けていることがわかる。粘土鉱物粒子内に緩やかにトリチウムが浸透しているものと考えられる。

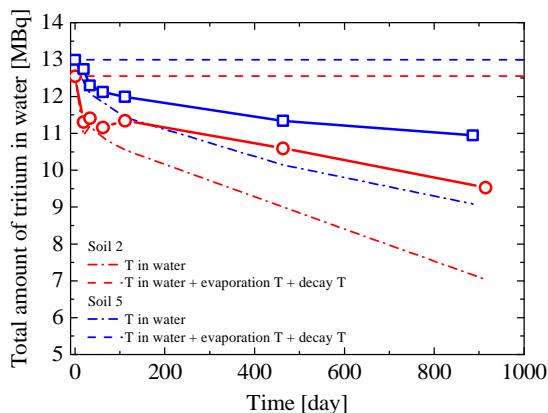


図1 土壌浸漬水中のトリチウム量経時変化

上記の土壌試料からのトリチウム放出特性を調べるため図2の実験装置を構築した。湿潤状態の土壌試料をアルゴンガスパージにより乾燥し、乾燥過程で放出されるトリチウム水は、水バブラーで捕集した。その後、アルゴンガスパージ下で1000°Cまで等速昇温し、加熱に伴う放出トリチウムは、別途設置した水バブラーで捕集した。天然土壌試料には有機物が含まれるため、炭化水素状でのトリチウム放出も想定される。そこで、1つ目のバブラーで水蒸気状トリチウム HTO を回収し、2つ目のバブラーでは、炭化水素状 CH_3T あるいは水素状 HT トリチウムを触媒酸化し、HTO として回収することとした。2つのバブラーをそれぞれ5分ごとに切り換え、各5分間での放出量を液体シンチレーションカウンターで測定した。

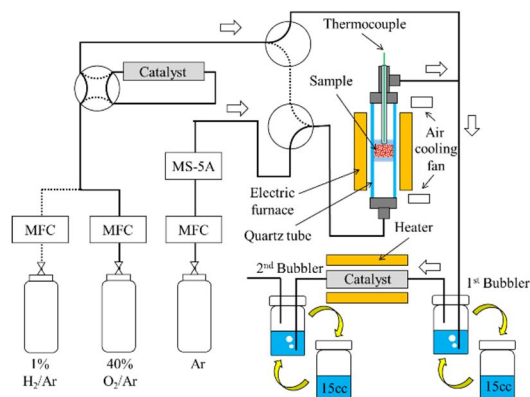


図2 トリチウム加熱放出実験装置

図3に天然土壌試料(Soil5)からのトリチウム放出放出曲線と、同じ昇温速度で得られた水分放出曲線を比較して示す。トリチウムと水分の放出ピーク位置は、ほぼ一致しており3つのピークに対応する3種類の土壌水分にそれぞれトリチウムが捕捉されていたことを示すものである。水分の放出温度域から、最も低温の放出水は、主に土壌粒子表面の吸着水に起因すると考えられる。また、300°C及び500°C付近でピークを示す放出水は層間水に起因すると考えられる。500°C付近では、炭化水素状トリチウムの放出が若干見られており、少量ではあるがトリチウムの一部は有機物に捕捉されていたことを示している。

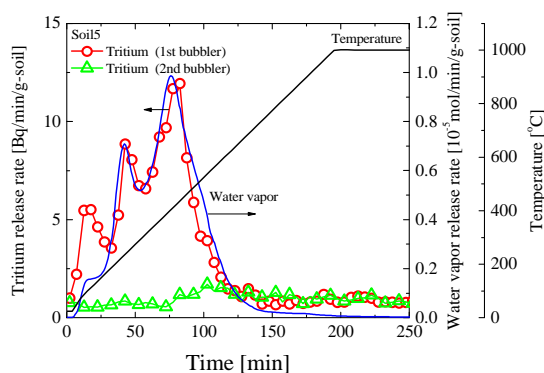


図3 トリチウム加熱放出実験装置

土壌からの H_2O 及び T_2O の脱離速度を土壌中平均濃度の1次に比例すると仮定して、物質移動速度式を立式し、物質移動係数と平衡濃度をパラメータとして、実験結果へのフィッティングを行った。なお、フィッティングにあたっては、充填層内気相における H_2O 及び T_2O の物質収支式と物質移動速度式を数値的に解いた。図4に各ピークに対してフィッティングした結果を示す。計算結果は実験結果をうまく再現できていることがわかる。放出ピークは600°C付近の膨らみを含めると4つ見られており、それぞれの量と脱離速度を得ることができた。これらの数値は、天然土壌に含まれる粘土鉱物の種類やその割合によって異なるものの、事前の解析によって水分の脱離温度、脱離速度を調べておけば、昇温下でのトリチウム脱離挙動についてある程度予想することが可能となる。

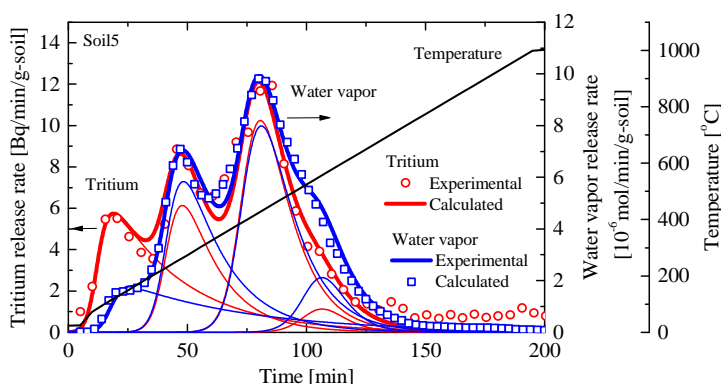


図4 トリチウム及び水分放出曲線とピーク曲線

加熱により放出されたトリチウムは、トリチウム水への浸漬中に、土壌中に存在する軽水素と置換することで捕捉されたと考えられる。天然土壌試料 Soil2, Soil5 とも約900日間トリチウム水に浸漬しており、水中のTH比と土壌中のTH比はほぼ平衡に達していたと想定される。図5に放出されたトリチウム量と水分量の比 (TH比) をピークごとに示す。放出TH比は、浸漬水TH比に比べて非常に小さいことがわかる。要因として、加熱により脱離可能だがトリチウムと置換しにくい水分が多く存在することや、1000°C加熱でも脱離しない軽水素と置換したトリチウムが1000°C加熱後も土壌中に残留していることが考えられる。

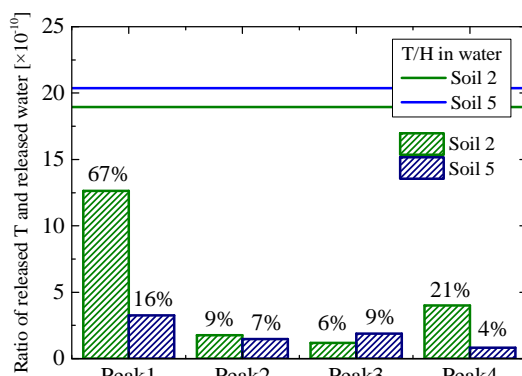


図5 浸漬水中のTH比と放出TH比の比較

(2) マイクロ波支援酸溶解法によるトリチウム回収

1000°Cまでの高温加熱によるトリチウム水浸漬土壌からのトリチウム放出実験では、600°C程度以上では、トリチウム放出は観測されなかった。しかしながら、高温加熱でも放出されないトリチウムが存在する可能性があるため、粘土鉱物の構造を破壊し、蓄積トリチウム全量評価法を構築する必要がある。そこで、1000°C加熱後のトリチウム水浸漬土壌を試料として、マイクロ波支援酸溶解法を適用し、残留トリチウム量の評価を試みた。構築した実験システムを図6に示す。同手法は、土壌を溶解する際に一般的に適用される手法であるが、安全上の配慮から、蒸気圧が一定圧力を超えると蒸気を放出することで、高压容器の破壊を防ぐ仕組みとなっている。そのため、土壌の溶解に伴って水素状あるいは水蒸気状で放出されるトリチウムが、高压容器外に放出されることとなる。この問題を解決するため、マイクロ波加熱装置をグローブボックス内に設置し、加熱中はH₂含有不活性ガスパージを行うことで、放出トリチウムをトリチウム回収系に輸送し定量する構成とした。放出された水蒸気状トリチウムHTOは一つ目の水バブラーに捕集し、水素状トリチウムHTは触媒塔でHTOに酸化し、2つ目の水バブラーで捕集した。各バブラー内のトリチウム濃度を液体シンチレーションカウンターで測定することにより、外部に放出されたトリチウム量を定量した。使用する酸はフッ酸と硝酸の混酸とし、混合比率は予備実験を通じて決定した。また、混酸中のトリチウム濃度の定量には、酸性溶液用の液体シンチレータを用い、酸溶液とシンチレータの混合比は、予備実験を通じて決定した。マイクロ波による加熱温度は200°Cとし、加熱時間は45分を基本とした。なお、加熱後に土壌試料が残留している場合は、追加熱を実施した。高压容器を開封する際に容器気相内に滞留するトリチウムが放出されうるため、図7のような装置を構築した。高压容器をグローブボックス内に設置し、アルゴンガスでパージしながら、ゆっくりと高压容器を開封し、放出されたトリチウムは、水バブラーに捕集することとした。しかしながら、開封時のトリチウムは検出限界以下であり、開封操作での有意なトリチウム放出はないことがわかった。

図8にマイクロ波支援酸溶解後の試料の様子を示す。若干残渣が残るものの酸溶解後には、ほとんどの土壌が消失していることがわかる。表1に酸溶解操作で放出されたトリチウム量を示す。マイクロ波加熱時に放出されるトリチウムの化学形は、主にHTであることがわかった。また、その量は酸溶液中に残留するトリチウムと同程度であり、マイクロ波支援加熱時に周辺に放出されるトリチウムの回収が重要であることが明らかとなった。Soil5の酸溶液中のトリチウムはSoil2に比べて少なかった。酸溶液に溶解しているトリチウムの化学形も多くは水素状HTである可能性が高く、水への水素溶解度は低いことから、測定作業中に酸溶液から大気へ放出された可能性がある。酸溶解により放出された単位質量あたりのトリチウム放出量は、1000加熱による放出量よりも多いことが明らかとなった。

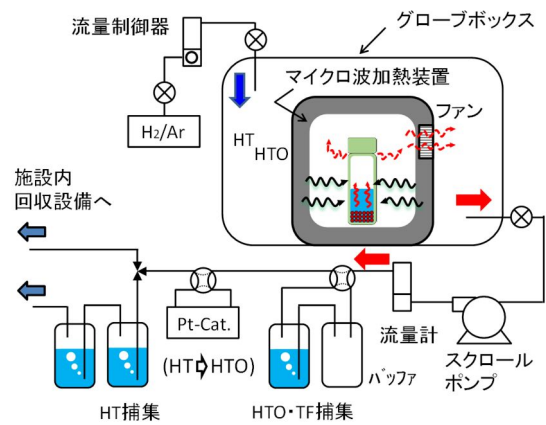


図6 マイクロ波支援土壌溶解トリチウム測定装置

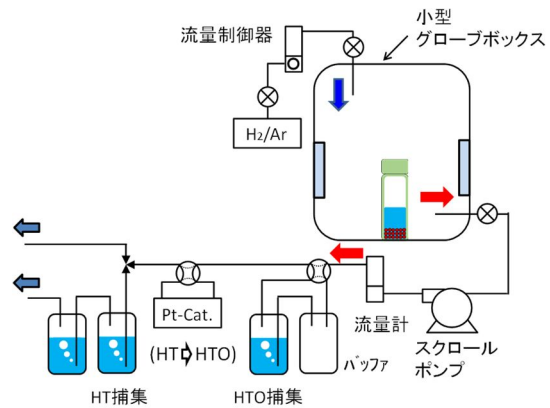


図7 高压容器開封時のトリチウム測定装置

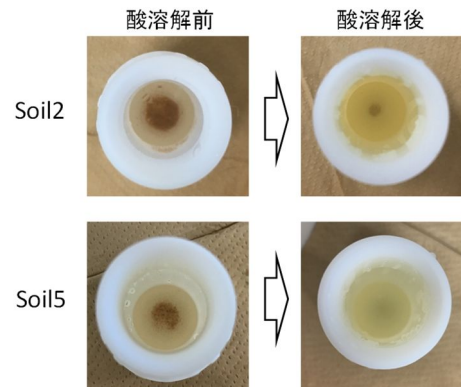


図8 溶解前後での試料土壌の様子

表1 酸溶解法によるトリチウム放出量

		Soil 2	Soil 5
加熱時[Bq]	HTO*	26	47
	HT	118	113
酸溶液[Bq]		152	24
酸溶解放出総量[Bq]		296	186
酸溶解放出トリチウム量[Bq/g]		7400	4650
1000 加熱放出トリチウム量[Bq/g]		3700	2940

(3) 土壌から植物へのトリチウム移行

土壌に蓄積されたトリチウムは、根からの水分吸収プロセス等を通じて植物に移行すると考えられる。植物中におけるトリチウム移行挙動については、古くから環境トリチウム分野で研究が進められており、組織自由水 (TFWT) としての比較的速やかな移行や、有機結合型トリチウム (OBT) としての植物中への固定化などが知られている。しかしながら、自然環境中でのトリチウムレベルは低く、環境変動による影響を受けるため、移行速度や蓄積率の定量的評価が難しい。そこで本研究では、植物中におけるトリチウムの検出効率を高めるため、環境よりも高いレベルでのトリチウム雰囲気において植物を育成可能な環境整備を行い、トリチウム含有土壌において植物の育成を実施した。採取した植物を試料として、水浸漬法及び燃焼法により、土壌から植物へのトリチウム移行量を評価した。図 9 にトリチウム雰囲気での植物育成装置の概略図を示す。土壌に滴下したトリチウム水の蒸気が周辺に漏洩することを防ぐため、植物は気密性の高いアクリルボックス内で育成した。空気供給ポンプで新鮮な空気を供給しつつ、排気ポンプでボックス内の空気を吸引し、水バブラーを通過させることで、排気中のトリチウム水蒸気を回収した。水は、自動供給器或いはスポイトにより適宜供給した。ボックスの上部に蛍光灯を設置し、植物に対して常時光を供給した。ボックス内にセンサーを設置し、温度、湿度、照度、圧力を計測した。試料植物としては、シロイヌナズナを用いた。人口気象器内にて 70 日程度成長させたシロイヌナズナを 4 株用意し、約 200kBq/cc のトリチウム水を各株に 5cc ずつ滴下した。12 日後に各株から 1 本ずつ試料採取し、植物表面や根に付着した土壌の表面トリチウムを回収するため、短期間水に浸した。次に、植物を別途用意した水に浸し密封して保管した。不定期に水を試料採取し、液体シンチレーションカウンターにてトリチウム濃度を測定した。その後、植物を石英管に移し、室温にてアルゴンガスパージ、湿潤ガスパージを行い、最後に 800 °C まで昇温し燃焼した。出口ガス中のトリチウム水蒸気は水バブラーで捕集した。根にわずかな土壌が付着していると、水に浸漬した際のトリチウム濃度が極端に高くなるため、根を切除し、葉及び茎に蓄積されたトリチウム量を評価した。

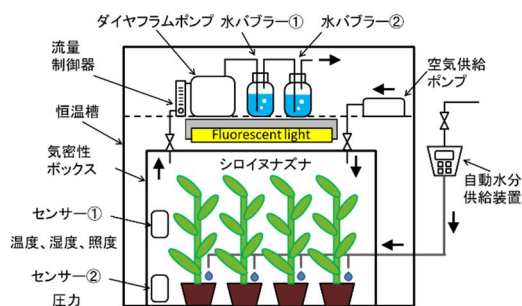


図 9 トリチウム雰囲気での植物育成装置

表 2 に試料 P2 及び P3 についての各操作におけるトリチウム放出量と放出割合を示す。水への浸漬による放出量が最も多く、TFWT として取り込まれるトリチウムが多いことがわかった。アルゴンガスパージで放出されたトリチウムも植物内に残留していた TFWT と考えられる。その後の水蒸気ガスパージでは、比較的多くのトリチウムが放出された。このトリチウムは、水蒸気との同位体交換反応により放出されたものであり、同位体交換可能な有機結合型トリチウム (E-OBT) と言える。最終的に燃焼で放出されたトリチウムは、同位体交換不可能な有機結合型トリチウム (Ne-OBT) であり、本実験では 4.5 ~ 8.9% 程度存在することが明らかとなった。Ne-OBT は植物内に長く留まることから、人体への影響が大きいとされており、育成条件と Ne-OBT 形成率の関係を明らかにすることは今後の重要な課題である。

表 2 トリチウム量及び放出割合

P2	Tritium [Bq/g]	Percentage [%]
Immersion	6530	48.1
Ar gas	1970	14.5
Wet gas	3870	28.5
Combustion	1210	8.9
Total	13600	100

P3	Tritium [Bq/g]	Percentage [%]
Immersion	9000	49.8
Ar gas	817	4.5
Wet gas	7440	41.2
Combustion	810	4.5
Total	18000	100

(4) まとめ

土壌を構成する粘土鉱物中には、吸着水、層間水、構造水といった形態で多くの水分あるいは軽水素が存在しており、トリチウムを含む水と接触した際に、吸着反応或いは同位体交換反応を通じて、土壌粒子さらには粘土鉱物内に取り込まれることが明らかとなった。吸着トリチウム水は、真空乾燥や 100 °C 程度の加熱で除染できるものの、層間水トリチウムは 600 °C 程度の高温加熱が必要である。本研究を通じて、マイクロ波支援酸溶解法による土壌の溶解で放出されるトリチウム量は、1000 °C 加熱で放出されるトリチウム量よりも多いことが明らかとなった。トリチウム汚染土壌からのトリチウム全量回収は、加熱のみでは困難であり、完全溶解が必要である。しかしながら、600 °C 加熱後の土壌に残留するトリチウムは、酸溶解等により粘土鉱物の構造を破壊しなければ放出されない安定した状態で蓄積されていることから、環境への放出速度は極めて遅いと想定され、その影響は小さいと言える。環境よりも高いレベルでのトリチウム雰囲気において植物を育成可能な環境整備を行い、トリチウム含有土壌においてシロイヌナズナの育成を実施した。土壌に供給されたトリチウムの一部が、シロイヌナズナ中に蓄積されることを実証した。植物内に長く留まる Ne-OBT は、葉及び茎に蓄積した全トリチウム量のうち、4.5 ~ 8.9% 程度であった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Matano Takahiro, Katayama Kazunari, Takeishi Toshiharu	4. 巻 173
2. 論文標題 Accumulation of organically bound tritium in Arabidopsis thaliana cultivated in soil containing tritiated water	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 112787 ~ 112787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2021.112787	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 Hara Yuki, Katayama Kazunari, Oya Makoto	4. 巻 172
2. 論文標題 Modeling of hydrogen permeation behavior through tungsten deposition layer growing on nickel substrate by hydrogen plasma sputtering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 112851 ~ 112851
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2021.112851	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 Ipponsugi Akito, Katayama Kazunari, Hoshino Tsuyoshi	4. 巻 170
2. 論文標題 The influence of the long-term heating under H ₂ atmosphere on the tritium release behavior from the neutron-irradiated Li ₂ TiO ₃	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 112495 ~ 112495
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2021.112495	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 Katayama Kazunari, Someya Youji, Chikada Takumi, Tobita Kenji, Nakamura Hirofumi, Hatano Yuji, Hiwatari Ryoji, Sakamoto Yoshiteru, Ipponsugi Akito, Oya Makoto	4. 巻 169
2. 論文標題 Effect of temperature distribution on tritium permeation rate to cooling water in JA DEMO condition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 112576 ~ 112576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2021.112576	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 Henzan Daisuke, Katayama Kazunari, Matsuura Hideaki	4. 巻 168
2. 論文標題 Evaluation of tritium confinement performance of the assembly composed of zirconium and alumina simulating lithium rod	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 112372 ~ 112372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2021.112372	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 Ito Hideki, Katayama Kazunari, Mori Daisuke, Hara Yuki, Oya Makoto	4. 巻 162
2. 論文標題 Hydrogen permeation behavior through tungsten deposition layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 112083 ~ 112083
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2020.112083	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 Katayama Kazunari, Ipponsugi Akito, Hoshino Tsuyoshi	4. 巻 161
2. 論文標題 Influence of Lithium Mass Transfer on Tritium Behavior in Pebbles of Li ₂ TiO ₃ with Excess Lithium	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 112011 ~ 112011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2020.112011	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 Ipponsugi Akito, Katayama Kazunari, Hoshino Tsuyoshi	4. 巻 25
2. 論文標題 Li mass loss and structure change due to long time heating in hydrogen atmosphere from Li ₂ TiO ₃ with excess Li	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 100777 ~ 100777
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2020.100777	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9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 片山 一成, 俣野 貴宏, 和田 優太郎
2. 発表標題 土壌から植物へのトリチウム移行挙動に関する研究
3. 学会等名 日本原子力学会2021年春の年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahiro Matano, Kazunari Katayama, Toshiharu Takeishi
2. 発表標題 Accumulation of organically bound tritium in arabidopsis thaliana cultivated in soil containing tritiated water
3. 学会等名 The 31th Symposium on Fusion Technology (SOFT2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takahiro Matano, Kazunari Katayama, Toshiharu Takeishi
2. 発表標題 Study on tritium transfer to plants from soil exposed to tritiated water
3. 学会等名 Technology of Fusion Energy (TOFE2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazunari Katayama, Daiki Ishii, Yuji Hatano, Akira Taguchi
2. 発表標題 Tritium trapping in natural soil immersed in tritiated water
3. 学会等名 Technology of Fusion Energy (TOFE2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazunari Katayama, Daiki Ishii, Toshiharu Takeishi, Satoshi Fukada
2. 発表標題 Measurement of tritium trapped in natural soil by microwave assisted acid dissolution method
3. 学会等名 12th International Conference on Tritium Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片山 一成, 石井 大貴, 俣野 貴宏, 大宅 諒, 竹石 敏治
2. 発表標題 土壌からの水分放出挙動とトリチウム放出挙動の比較
3. 学会等名 日本原子力学会2019年秋の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井 大貴, 片山 一成, 竹石 敏治
2. 発表標題 マイクロ波支援酸溶解法によるトリチウム水浸漬土壌からのトリチウム回収
3. 学会等名 日本原子力学会2019年秋の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片山一成, 俣野貴宏, 石井大貴, 大宅 諒, 竹石敏治
2. 発表標題 土壌から植物へのトリチウム移行に関する研究
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 俣野貴宏, 片山一成, 石井大貴, 大宅 諒, 竹石敏治
2. 発表標題 土壌から植物へのトリチウムの移行
3. 学会等名 日本原子力学会九州支部第38回研究発表講演会
4. 発表年 2019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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------