

令和 2 年 7 月 15 日現在

機関番号： 21601
研究種目： 国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）
研究期間： 2016～2019
課題番号： 15KK0301
研究課題名（和文）物質の三態を制御したRn/Atジェネレータの開発と 線内用療法への展開（国際共同研究強化）
研究課題名（英文）Development of a matter phase controlled Rn/At generator for targeted alpha therapy(Fostering Joint International Research)
研究代表者
鷲山 幸信（Washiyama, Kohshin）
福島県立医科大学・公私立大学の部局等・准教授
研究者番号：80313675
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,900,000円
渡航期間： 12ヶ月

研究成果の概要（和文）：²¹¹Atは核医学治療への応用が期待される。放射体の一つであるが、半減期が短いためその利用は製造拠点に限られている。本研究では遠隔地での²¹¹Atを用いた研究を支援するための²¹¹Rn/²¹¹Atジェネレータ作成のために、米国アルゴンヌ国立研究所および、²¹¹Atの臨床経験のある米国デューク大学との共同研究として²¹¹Rnの製造実験と高放射能の²¹¹Atを用いた有機溶媒の放射線分解に関する影響を評価した。検討の結果、タンデム型加速器ATLASでの²¹¹Rnの製造を確認した。また硝酸溶液から有機溶媒へ高放射能の²¹¹Atを抽出する場合、放射線分解に起因する現象は見られなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国際共同研究の下でGBq量の²¹¹Rnを製造し、本研究で開発するジェネレータを用いることで、²¹¹Atを製造拠点や半減期に依存することなく²¹¹Atを提供することが可能になり、世界各国のアイソトープ治療の拠点病院で²¹¹Atを用いた治療が可能になる。さらに、半減期と製造法に依存した供給体制のために研究が困難であった²¹¹Atが、広く希望する施設および研究者に提供されることで、At元素そのものに対する物理化学的性質がより明らかとなり、新しい現象や物性、およびそれに基づく生命科学・医療への応用の道が拓かれる。そして、海外の研究者にも日本における研究の状況が理解され、今後日本主体の共同研究を導く。

研究成果の概要（英文）：²¹¹At is one of the α -emitters expected to be applied to radionuclide therapy in a field of nuclear medicine, but its use is limited to manufacturing sites because of its short half-life. In this study, ²¹¹Rn was manufactured in collaboration with Argonne National Laboratory and Duke University in the United States, which has clinical experience with ²¹¹At, in order to create a ²¹¹Rn/²¹¹At generator to support studies using ²¹¹At in remote areas. Under the collaboration work, we tried to manufacture the ²¹¹Rn by using ⁶Li beam of the tandem accelerator ATLAS. And we also evaluated the effects of the radiolysis in organic solvents using high activity ²¹¹At. As a result, we confirmed the production of ²¹¹Rn at Argonne National Laboratory. Moreover, when extracting highly radioactive ²¹¹At from nitric acid solution to organic solvent, no phenomenon due to radiolysis was observed.

研究分野： 放射性薬品学，放射化学

キーワード： 放射体 ジェネレータ アスタチン-211 アイソトープ治療 放射線 がん 薬学 ラドン-211

様式 F-19-2

1. 研究開始当初の背景

半減期 7.2 時間の α 放射体 ^{211}At は核医学において、がん治療への応用が期待されるアイソトープの一つである。製造には $^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)^{211}\text{At}$ 反応を利用し、アルファ粒子を 28MeV まで加速可能なサイクロトロン施設が求められる。しかし、仮に加速器があったとしても ^{211}At の半減期が短いがゆえに、その利用は製造拠点近辺施設に制限されてしまい、遠隔地や多くの施設への供給は難しい。 ^{211}At の親核種 ^{211}Rn (半減期 14.6 時間) は 14.6 時間の半減期で β 壊変し、 ^{211}At (半減期 7.2 時間) になることによりジェネレータを作ることが出来る。そこで研究代表者は先に実施した若手研究 (A) において、有用な α 放射体 ^{211}At の広範囲での利用の実用化を目指し、 $^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$ ジェネレータの開発に取り組んだ。この $^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$ ジェネレータとは、 $^{209}\text{Bi}(7\text{Li}, 5n)^{211}\text{Rn}$ 反応で生成した ^{211}Rn 親核種が 14.6 時間の半減期で β 壊変し、 ^{211}At になる過渡平衡状態を利用した放射壊変体系 (図 1) のことである。

$^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$ ジェネレータ中で ^{211}At は親核種の ^{211}Rn と平衡状態に達するため、 ^{211}Rn の半減期で減衰し、その結果 ^{211}At 単独の場合と比較して約 2 倍の半減期で減衰していくことになる (図 2)。そのため、これまで放射能の減衰により利用が不可能であった広範囲の遠隔地医療施設および研究施設に対して治療用 RI の供給が見込める。

研究代表者は若手研究 (A) において核反応で製造した ^{211}Rn をターゲット物質や副反応生成物の RI から非常に高い純度で分離して貯蔵する系を見いだした。これは一般式 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ で表される鎖式飽和炭化水素 (アルカン) 類の一種のドデカンを用いた溶媒抽出系から成る。また ^{211}Rn から壊変して生成する ^{211}At を高率に回収できる有機-有機溶媒抽出系を実験的に見いだした。

さらに 2014 年度から 2018 年度まで実施した基盤研究 (C) 「物質の三態を制御した Rn/At ジェネレータの開発と α 線内用療法への展開」において、より安定に且つ簡便にジェネレータを取り扱うために 1) ドデカン等のアルカン類は炭素数が増えるに従い物質の融点が低くなること、2) 照射後のターゲット中に生成した ^{211}Rn は大気中に放出されない (固体中に保持される) という事実に基づき、 ^{211}Rn をアルカン類に抽出後にアルカン類を低温で管理 (固体化) することで、 ^{211}Rn をアルカン内に保持する簡易 $^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$ ジェネレータを開発した。

研究代表者らは、このジェネレータの製作を推進している過程において、安全性や保持率の検証は、実際に臨床で使われる高レベル放射能 (GBq 量) に即している必要があるという認識に到った。しかし、現在 ^{211}Rn の製造に利用しているタンデム加速器では、加速器の性能上すぐには臨床応用可能な量の ^{211}Rn を製造することができない。したがって原理的にはどのような放射能にも対応できる $^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$ ジェネレータであるが、その検証を国内で行うことは事実上不可能である。これに対して、米国のアルゴンヌ国立研究所 (ANL) では、大強度イオンビームを照射できるイオン源の開発が報告された。そこで、我々の作成した $^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$ ジェネレータを ANL に技術提供し、臨床に応用可能な放射能 (GBq 量) を製造しジェネレータ化することができれば、日本のみならず国外での ^{211}At の供給が十分可能になると発想した。

2. 研究の目的

本研究では、これまでの科学研究費助成事業等の研究で培ってきた $^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$ ジェネレータ技術を、実際の臨床スケールに応用し、GBq 量の ^{211}Rn を有するジェネレータの安全性の検証を目指し、さらにジェネレータ装置から生成する ^{211}At を用いたアイソトープ治療の有効性を検証することを目指した。具体的には以下のとおりである。

1. アルゴンヌ国立研究所のタンデム加速器を用いた GBq 量の ^{211}Rn の製造
2. 科研費で開発した $^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$ ジェネレータへの ^{211}Rn の導入および高レベル放射能への耐性ならびに ^{211}At ミルキングの経時的安定性の検証
3. ジェネレータ技術で製造した ^{211}At を用いたアイソトープ治療の有効性の検証本研究では、より炭素鎖数の多いアルカン類を用いた溶媒抽出系を対象とし、溶媒温度をコントロールすることで ^{211}Rn の取扱いが容易になる $^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$ ジェネレータの開発を目的とした。

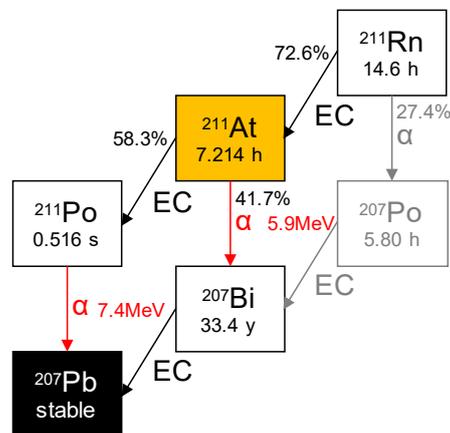


図1 ^{211}At とそれを生み出す Rn/At ジェネレータ系

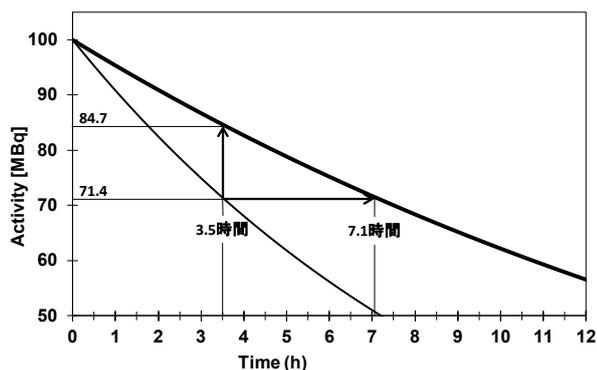


図 2 $^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$ ジェネレータでの放射能の時間変化

3. 研究の方法

本研究は二度の海外滞在を行うことで、目的の $^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$ ジェネレータの開発をすすめることである。そのために以下の方法を実施した。

- 1) アルゴンヌ国立研究所で ^{211}Rn が製造できるための研究打ち合わせおよび製造に必要な加速器の利用の申請書の作成および ^{211}Rn の製造実験を行った。

ATLAS は、陽子、ヘリウム、リチウム、およびより重いイオンを含むあらゆるイオンのビームを広範囲に調整可能なエネルギーで提供できるため、医療用同位体の製造に適した加速器である。より強力なリチウムビームを生成するための加速器のアップグレードと、改良された中性子シールドの建設が進行中であり、この作業が完了すると、 $1\sim 10\mu\text{A}$ のリチウムビーム電流が利用可能になる。これらのアップグレードの組み合わせにより、1度の勝者により 100 mCi の ^{211}Rn の製造が可能になる。この開発の一環として、本検討では酸化ビスマスターゲットを用いた ^{211}Rn の製造を試みた。酸化ビスマスターゲットは照射中 600°C まで加熱し、ターゲットから遊離した ^{211}Rn は He ガスを用いて回収された。生成量は ^{211}Rn から生成する長半減期の ^{207}Bi の γ 線を用いて定量した。

- 2) 日本に於いて高放射能による有機溶媒の放射線分解に関する影響を調べるには、 370MBq の ^{211}At を製造する必要がある。しかし日常的にこの量の放射能を製造できる施設は少なく、また作る機会も限られている。そこでデューク大学で得られる高い放射能の ^{211}At を利用して、ジェネレータ製造時に予想される α 線によるジェネレータ構成物質の放射線分解による影響の検討を実施した。特に、無極性の有機溶媒に対する硝酸溶液下での ^{211}At の溶媒抽出挙動に関する検討を行った。

デューク大学メディカルセンターのサイクロトロンから供給される α ビームを Bi 金属標的に照射し、 $^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)^{211}\text{At}$ 反応により ^{211}At を製造した。照射後の標的から乾式分離法を用いて ^{211}At を分離したのち、 3mL の 6M HNO_3 で回収し一定量の放射能を分注して 0.1M , 0.2M , 0.5M , 1M , 3M , 6MHNO_3 溶液とした。また蒸留水、 1M NaOH 溶液も作成した。これらの溶液と直鎖状の分子構造を持つドデカンを用いて溶媒抽出を行った。またこの比較対象として ^{131}I を用いた同様の実験を行った。また、放射能の違いによる抽出挙動の違いが無いかを検討するために、 0.07 , 0.8 , 1.5 , 3.7 , 7.4 mCi の At を 1M HNO_3 で溶解し、ドデカンへの抽出実験も行った。溶媒抽出の諸検討では、1) ^{211}At の抽出挙動の硝酸濃度依存性、2) ドデカンと硝酸中の ^{211}At の溶液抽出平衡到達時間、3) 1M HNO_3 溶液中の放射能の異なる ^{211}At のドデカンに対する抽出挙動を調べた。抽出を行う際の ^{211}At 入り硝酸溶液と各種飽和炭化水素溶媒は同容積を混合し 10 分間攪拌した。攪拌後、両相を一定量別々の密閉容器に分取し、 Ge 半導体検出器または NaI(Tl) シンチレーションカウンタを用いて、 X 線を測定した。得られた計数率を基に水相と有機相中の ^{211}At の濃度比として分配比 (D 値) を算出した。

- 3) 北米で α 線を用いた核医学利用の研究を実施している大学ならびに研究所に訪問し、意見や情報の交換の実験を行った、

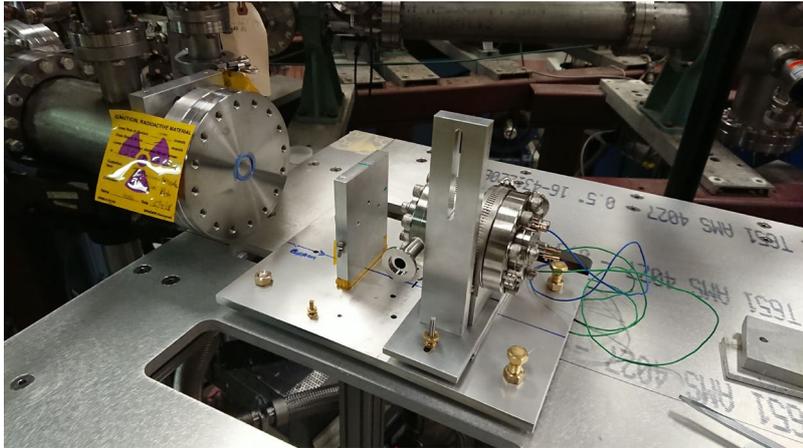


図3 照射チャンバーの設置状況



図4 実験装置の設置状況

4. 研究成果

- 1) アルゴン国立研究所では、研究課題が研究所内の審査により実験課題として採択され、加速器の使用許可が承認された。しかし、米国大統領の交代により、国の機関である国立研究所に配分される予算が減額されたため、実験の実施は2018年度に持ち越された。2018年度に Jerry A. Nolen 氏らとともにタンデム型加速器 ATLAS を用いて ^{211}Rn の製造を行った。酸化ビスマススを密閉されたチャンバーに封入し、その中の核反応で生成した ^{211}Rn を活性炭に吸着させて外部から γ 線の計測を行って、その生成量を評価した。 ^{211}Rn の製造中はターゲット周囲の中性子による線量率が高くなるため、安全管理のスタッフと共に実験環境を構築しながらの実験を行った。その結果、 ^{211}Rn のごく一部のみが放出され、オンラインで収集されたことが確認された。
- 2) ドデカンに対する ^{211}At の抽出は 1M HNO_3 溶液からが最も高く、硝酸濃度が高くて低くても分配比は減少傾向を示した。また ^{211}At は硝酸溶液とドデカンとの接触時間が長くなるにつれてドデカンに対する分配比が上昇し、抽出平衡に到達した。これに対して ^{131}I を用いた場合は平行到達までの時間は硝酸濃度によって異なったが、最終的な分配比は一定値（約1）に収束した。アルカリ溶液である 1M NaOH を用いた場合の分配比は ^{211}At も ^{131}I も 0.1 以下であった。

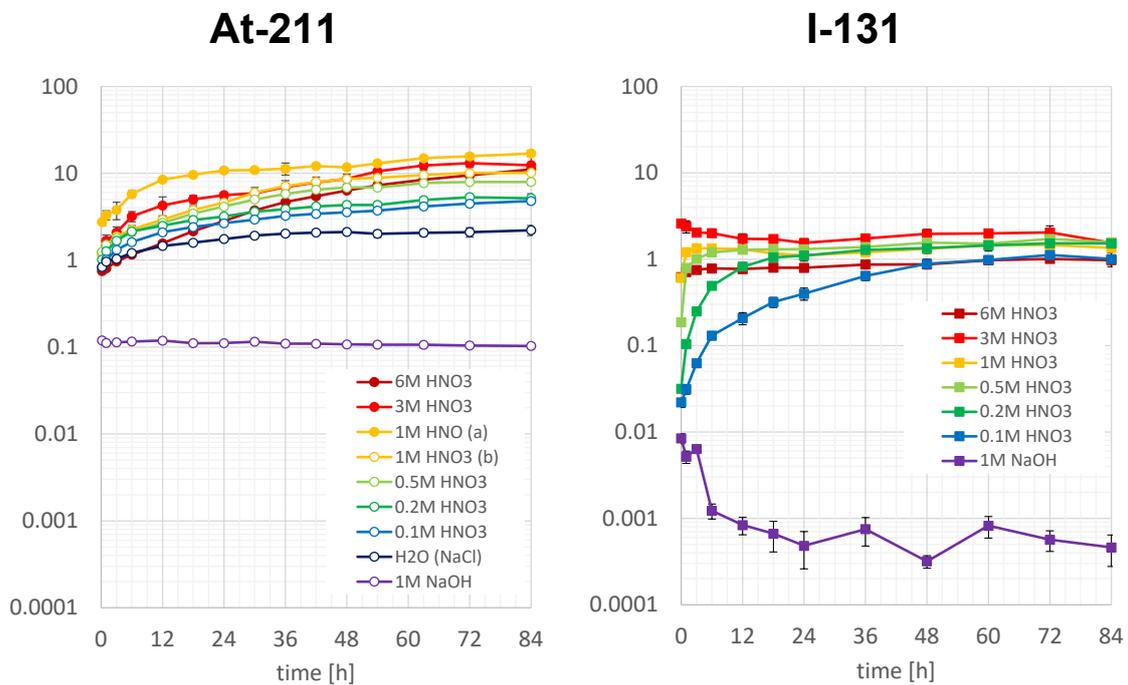


図5. 硝酸濃度の違いによるドデカンへの ^{211}At と ^{131}I の分配の比較

また、放射能の濃度を変化させた場合の ^{211}At のドデカンに対する抽出率はどれも同じ傾向を示した。このことから、少なくともこの実験で用いた放射能濃度 7.4mCi/1mL の放射能濃度の条件では放射線分解等による抽出の違いは得られなかった。今後はより放射能濃度の高い条件で検討を行う予定である。

- 3) 滞在期間中に TexasA&M 大学 (カレッジステーション)、シカゴ大学 (シカゴ)、ワシントン大学 (シアトル)、TRIUMF (バンクーバー)、ブルックヘブン国立研究所 (アプトン) スローンケタリング記念がんセンター (ニューヨーク) に訪問し、 ^{211}At の製造や分離に関する意見交換および標的アルファ線治療に関する議論を行った。

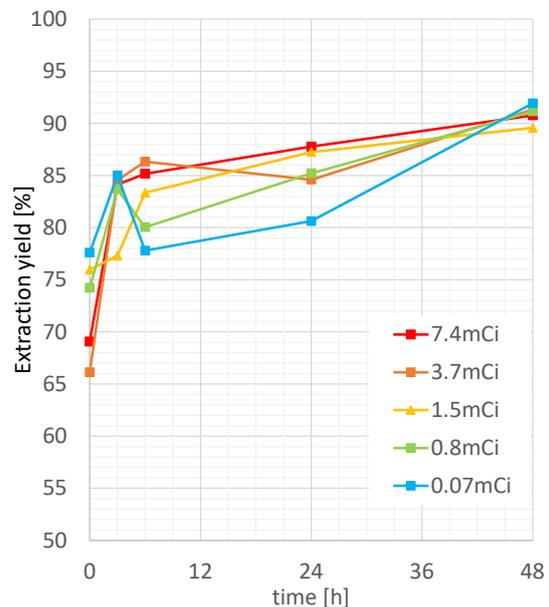


図6. 放射能の違いによる ^{211}At の抽出量の変化

Development of ^{211}At production via continuous extraction of ^{211}Rn

Jerry Nolen, Brahim Mustapha, Matthew Gott, Robine de Kruijff, Jeongseog Song, James Specht, Ravi Gampa, John Greene, and Shaofei Zhu (Physics Division)
David Rotsch and M. Alex Brown (Chemistry and Fuel Cycles Technology Division)
Argonne National Laboratory, Argonne, IL USA

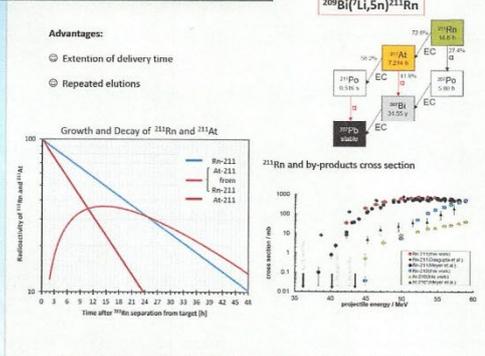
Chin-Tu Chen, Department of Radiology, University of Chicago, Chicago, IL, USA
Kohshin Washiyama, Fukushima Medical University, Fukushima, Japan
Uma Sampathkumaran and Raymond Winter, Innosense, LLC, Torrance, CA USA



Abstract

Critically needed radionuclides for cancer therapy include the alpha-emitter ^{211}At and therapeutically useful Auger-electron emitters. The ATLAS (Argonne Tandem Linac Accelerator System) superconducting linac at Argonne National Laboratory is suitable for production of these radionuclides. Our work demonstrates production capabilities for ^{211}At (7.2 h half-life) using the $^{209}\text{Bi}(\text{Li},5\text{n})^{211}\text{Rn}$ reaction. Presently, in the U.S. ^{211}At is primarily produced at 3 university facilities using the $^{209}\text{Bi}(\alpha,2\text{n})^{211}\text{At}$ reaction at in-house cyclotrons. Hence, clinical use of ^{211}At at nation-wide is limited due to its short half-life. By using the lithium induced reaction, the ^{211}At daughter is extracted from the parent ^{211}Rn , which has a half-life of 14 h, significantly extending the time-frame for effective distribution and use. ATLAS upgrades to produce more intense lithium beams and improved neutron shielding will enable yields of ~ 100 mCi of ^{211}Rn per batch. As part of this development, an option for the continuous collection of ^{211}Rn from a bismuth oxide target followed by separation of the ^{211}At daughter product is being investigated. Porous bismuth oxide targets have been developed by Innosense, LLC under a DOE Small Business Grant (DE-SC0007572). In two test runs to date, ^{211}Rn released from the targets was collected in charcoal traps. In the first run a metallic bismuth target was used and in the second the recently developed bismuth oxide target was used. In both runs only a low fraction of the ^{211}Rn was released and collected on line. The first case was limited by the melting point of the metal target, and the second was limited by the target being heated only to 60°C . The release and capture were quantified by off-line gamma counting of the long lived ^{209}Bi daughter remaining in the production target and in the charcoal. In upcoming test runs target heating up to 600°C will be implemented to enhance release and collection efficiency.

The $^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$ generator system



^{211}Rn R&D and target testing at Argonne

Alpha beam

- Cross section gives larger initial activity
- Target must be dissolved each run
- Dry distillation or wet extraction

Lithium beam

- 14 hour half-life > useful yield 1-3 days after production
- Continuous extraction of ^{211}Rn from the target
- Simple physical extraction of ^{211}At from the "generator"

Sample chamber at ATLAS for the first test — using metallic bismuth

The Argonne superconducting heavy ion linac delivers any ion beam from protons to uranium

The first Bi_2O_3 target tested at ATLAS 15.08 mg/cm² area density

Medical isotope R&D Station

Nanoporous Bi_2O_3 thin targets

Refining Bismuth Oxide Thin Film Processing by Innosense, LLC

As Deposited

Fired @ 600 °C; 3x

- Processing developed for contiguous nanoporous bismuth oxide films on stainless steel 303 coupons (0.5" thick, 7/8" diameter)
- Film thickness ranged from 9-15 mg/cm²
- Films remain adhered after 3x in vacuum heating to 600°C
- Some mass loss noted, investigating this

First Bi_2O_3 test at ATLAS

Target/ helium plumbing/ heater assembly

Off-line counting of long lived ^{209}Bi decay product

Cold trap and Ge gamma detector, counts gammas from ^{211}Rn transferred to charcoal

Counting the ^{209}Bi gammas from the cold charcoal trap (1% transferred at 65°C)

Counting the ^{209}Bi gammas from the Bi_2O_3 target. Results scale to 64 μCi of ^{211}Rn produced @ 30 pA current, 10 h.

50% of ^{211}Rn (14 hour) decays to ^{209}Bi (32 year), so counting the ^{209}Bi is useful for tracking the final location of the $^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$

Conclusions

- Refractory nanoporous bismuth oxide thin films developed on 303 stainless steel substrates (SBIR Project)
- Retain open porosity and remain adhered through thermal cycling — robust, ceramic-like coating of backing
- Tested 15 mg/cm² target on-line at ATLAS to produce ^{211}Rn
- Next steps in FY2019
 - Design and construct target cave w/ neutron shielding
 - Improve lithium beam ion source (larger cathode)
 - Improve sample heater to study $200-600^\circ\text{C}$ to increase release and determine target lifetime
 - Neutron shielding will permit higher beam currents and on-line counting of yields
- Ultimate goal 1: validate that Bi_2O_3 targets enable continuous extraction of ^{211}Rn
- Ultimate goal 2: demonstrate performance of a $^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$ radioisotope generator

This work was supported by the DOE Office of Nuclear Physics, Contract No. DE-AC02-06CH11357.

Contact: nolen@anl.gov

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kobayashi M, Kato T, Washiyama K, Ihara M, Mizutani A, Nishi K, Flores LG 2nd, Nishii R, Kawai K.	4. 巻 14
2. 論文標題 1.The pharmacological properties of 3-arm or 4-arm DOTA constructs for conjugation to melanocyte-stimulating hormone analogues for melanoma imaging	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PLoS One	6. 最初と最後の頁 e0213397
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0213397	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 Hanadate S, Yoshii Y, Washiyama K, Yoshimoto M, Yamamura T, Watanabe M, Matsumoto H, Igarashi M, Tsuji B A, Higashi T.	4. 巻 42
2. 論文標題 2.Reduction of 223Ra retention in the Large Intestine during Targeted Alpha Therapy with 223RaCl2 by Oral BaSO4 Administration in Mice	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)	6. 最初と最後の頁 95-102
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 Nakayama K, Kita J, Washiyama K.	4. 巻 41
2. 論文標題 Development of a remotely operable digital rate meter for radiation monitoring	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Wellness Health Care.	6. 最初と最後の頁 159-166
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 Nishinaka I, Yokoyama A, Washiyama K, Makii H, Hashimoto K.	4. 巻 314
2. 論文標題 Production of iodine radionuclides using 7Li ion beams	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J Radioanal Nucl Chem.	6. 最初と最後の頁 1947-1965
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10967-017-5525-2	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 鷲山幸信	4. 巻 41(4)
2. 論文標題 標的アイソトープ治療に対する 放射体からのアプローチ	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 放射線	6. 最初と最後の頁 211-220
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 無
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15件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Takahashi K, Tominaga H, Washiyama K, Nishijima K, Aoki M, Zhao S, Ukon N, Oriuchi N.
2. 発表標題 Advanced Clinical Research Center of Fukushima Medical University: two cyclotrons installed facility for basic research and clinical application of medical radioisotopes
3. 学会等名 17th International Workshop on Targetry and Target Chemistry (WTTC17) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Oda T, Washiyama K, Aoki M, Taniguchi M, Kato J, Gomez FG, Ishizuka T, Takahashi K.
2. 発表標題 Initial Experiences on the Production of Astatine 211 at Fukushima Medical University using "CYPRIS MP-30" Cyclotron.
3. 学会等名 17th International Workshop on Targetry and Target Chemistry (WTTC17) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川崎康平, 新 裕喜, 青井景都, 鷲山幸信, 西中一郎, 羽場宏光, 矢納慎也, 横山明彦
2. 発表標題 ラドンガス密封シリンジを利用したRn-At ジェネレーターシステムの開発
3. 学会等名 第62回放射化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鷲山幸信, 粟生木美穂, 佐々木茂範, 小田敬, 西嶋剣一, 高橋和弘
2. 発表標題 中型サイクロトロンを用いた ²¹¹ At の製造と化学分離
3. 学会等名 第62回放射化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新裕喜, 川崎康平, 青井景都, 横山明彦, 鷲山幸信, 西中一朗, 矢納慎也, 羽場宏光
2. 発表標題 ²¹¹ Rn - ²¹¹ At ジェネレーター開発のためのアスタチン溶媒抽出の研究 ¹³¹ I との抽出挙動の比較及び酸化剤の効果の調査
3. 学会等名 第62回放射化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鷲山幸信
2. 発表標題 ²²⁵ Ac/ ²¹³ Bi と ²¹¹ At の核薬学研究の最先端
3. 学会等名 第58回日本核医学会学術総会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鷲山幸信, 小田敬, 佐々木茂範, 粟生木美穂, Francisco L. Guerra Gomez, 谷口愛実, 西嶋剣一, 高橋和弘
2. 発表標題 垂直照射法を用いた ²¹¹ At の製造に関する諸条件の検討
3. 学会等名 第58回日本核医学会学術総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鷺山幸信, 小田敬, 粟生木美穂, 佐々木茂範, 西嶋剣一, 高橋和弘
2. 発表標題 Astatine-211の乾式分離法の検討
3. 学会等名 第58回日本核医学会学術総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shin Y, Ooe S, Murakami K, Taniguchi T, Maeda E, Yamada N, Washiyama K, Yokoyama A, Nishinaka I
2. 発表標題 Wet chemistry processes utilized in the development of a 211Rn/211At generator for targeted alpha therapy
3. 学会等名 6th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Washiyama K, Kato K, Yamamura T, Yoshii Y, Yoshimoto M, Kobayashi M, Kawai K
2. 発表標題 Optimization of 225Ac labeling to DOTA conjugated peptide for targeted alpha therapy
3. 学会等名 ACITINIDES 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshii Y, Hanadate S, Washiyama K, Yoshimoto M, Matsumoto H, Yamamura T, Watanabe M, Tsuji AB, Higashi T.
2. 発表標題 Development of method to reduce radiation exposure to the large intestine during 223Ra alpha therapy with barium sulfate
3. 学会等名 ACITINIDES 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kitabayashi K, Furuta M, Ohta S, Yamamura T, Washiyama K.
2. 発表標題 Stability constants of EDTA, DOTA, EDTMP and DOTMP complex with Th(IV) for nuclear medicine
3. 学会等名 ACITINIDES 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hanadate S, Yoshii Y, Washiyama K, Yoshimoto M, Matsumoto H, Tsuji AB, Higashi T
2. 発表標題 Administration of barium sulfate reduces radiation exposure in the large intestine during alpha-therapy with radium-223-dichloride
3. 学会等名 SNMMI 2017 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hanadate S, Washiyama K, Yoshimoto M, Matsumoto H, Tsuji AB, Higashi T, Yoshii Y
2. 発表標題 Reduction of radiation exposure to the large intestine during 223Ra alpha therapy with oral administration of barium sulfate
3. 学会等名 10th International Symposium on Targeted Alpha Therapy (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shin Y, Ooe S, Murakami K, Taniguchi T, Maeda E, Yamada N, Washiyama K, Yokoyama A.
2. 発表標題 Wet chemistry of radon and astatine for the development of a 211Rn/211At generator
3. 学会等名 10th International Symposium on Targeted Alpha Therapy (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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	ザルツスキー マイケル (Zalutsky Michael)	デューク大学・メディカルセンター・Professor	
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	ノーレン ジェリー (Nolen Jerry)	アルゴンヌ国立研究所・物理部門・Physicist	