

2022年9月15日(木)

A会場

基調講演 | プレナリートーク

基調講演

座長: 鷲山 幸信 (福島県立医大)

09:20 ~ 10:00 A会場 (小柴ホール)

[1S01] 臨床用放射性医薬品製造のための放射化学への  
IAEAの貢献

\*Amirreza Jalilian<sup>1</sup>、Aruna Korde<sup>1</sup>、Celina Horak<sup>1</sup>、M  
elissa Denecke<sup>1</sup> (1. International Atomic Energy  
Agency)

09:20 ~ 10:00

2022年9月16日(金)

A会場

基調講演 | プレナリートーク

基調講演

座長: 高橋 嘉夫

09:00 ~ 09:40 A会場 (小柴ホール)

[2S01] 放射光 X線分析から見たアクチノイド化学

\*矢板 毅<sup>1</sup> (1. 日本原子力研究開発機構)

09:00 ~ 09:40

2022年9月17日(土)

A会場

基調講演 | プレナリートーク

基調講演

座長: 久保 謙哉

09:00 ~ 09:40 A会場 (小柴ホール)

[3S01] リュウグウ試料のミュオン特性 X線分析

\*大澤 崇人<sup>1</sup>、二宮 和彦<sup>2</sup>、中村 智樹<sup>4</sup>、高橋 忠幸<sup>3</sup>、寺田  
健太郎<sup>2</sup>、坂本 尚義<sup>5</sup>、野口 高明<sup>6</sup>、岡崎 隆司<sup>7</sup>、藪田 ひかる<sup>8</sup>、  
奈良岡 浩<sup>7</sup>、坂本 佳奈子<sup>9</sup>、橘 省吾<sup>4</sup>、渡邊 誠一郎<sup>10</sup>、津  
田 雄一<sup>9</sup> (1. 日本原子力研究開発機構、2. 大阪大学、3.  
東北大学、4. 東京大学、5. 北海道大学、6. 京都大学、7.  
九州大学、8. 広島大学、9. JAXA/ISAS、10. 名古屋大学)

09:00 ~ 09:40

基調講演 | プレナリートーク

## 基調講演

座長: 鷲山 幸信 (福島県立医大)

2022年9月15日(木) 09:20 ~ 10:00 A会場 (小柴ホール)

Zoomはこちら

---

### [1S01] 臨床用放射性医薬品製造のための放射化学への IAEAの貢献

\*Amirreza Jalilian<sup>1</sup>、Aruna Korde<sup>1</sup>、Celina Horak<sup>1</sup>、Melissa Denecke<sup>1</sup> (1. International Atomic Energy Agency)

09:20 ~ 10:00

# 1S01 IAEA contribution to radiochemistry for the production of radiopharmaceuticals for clinical use

Amirreza Jalilian<sup>1</sup>, Aruna Korde, Celina Horak and Melissa Denecke

*Department of Nuclear Sciences and Applications, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria*

Radioisotopes are the critical component of radiopharmaceuticals, produced via cyclotrons, research reactors, electron beams and waste sources. Without contribution of chemical sciences esp. radiochemistry, production of high-quality radioisotopes cannot be achieved, especially in the case of high specific activity products where a radioisotope with the highest chemical and radiochemical purity is required (usually using cyclotrons and reactors). According to IAEA cyclotron database more than 1200 machines are operating worldwide [1], preparing a wide variety of Positron Emission Tomography (PET) and Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) radioisotopes in high specific activity as well as carrier free quality. In recent decades radioisotopes ranging from metals to halides have been prepared through liquid, solid and gas targets [2]. Their accurate production, separation, quality control is critical for the preparation of final radiopharmaceuticals in right quality and quantity. Metallic SPECT radioisotopes including In-111, Ga-67, Tl-201, Rb-82m etc. were initially produced by the cyclotrons, while for PET radioisotopes, historically non-metals such as F-18, I-123, I-124, N-13, O-15 were initially produced and used in practice [3]. Metallic PET radioisotopes such as Cu-64, Cu-61, Ga-68, Sc-43,44, etc. are produced and in some cases routinely used in the radiopharmaceutical production [4, 5, 6]. All custom separation techniques from solid phase chromatography, liquid-liquid extraction, electrophoresis, electrodeposition, sublimation etc. have been used in the radiochemistry and radiopharmaceutical sciences and improved in many cases for integration into automated/robotic modules to avoid radiation exposure and keeping constant production conditions and yields. On the other hand, routine quality control techniques for radiopharmaceuticals are widely used such as HPLC, RTLC, FPLC, GC etc. for production of radiopharmaceuticals in high quality [7].

---

## References:

- 1 Pages - Cyclotrons used for Radionuclide Production (iaea.org)
- 2 Standardized High Current Solid Targets for Cyclotron Production of Diagnostic and Therapeutic Radionuclides, Technical Reports Series No. 432, 2004, IAEA
- 3 IAEA RADIOISOTOPES AND RADIOPHARMACEUTICALS SERIES No. 3 CYCLOTRON PRODUCED RADIONUCLIDES: GUIDANCE ON FACILITY DESIGN AND PRODUCTION OF <sup>18</sup>F, <sup>123</sup>I, <sup>124</sup>I, <sup>13</sup>N, <sup>15</sup>O, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA, 2012 I
- 4 Cyclotron Produced Radionuclides: Emerging Positron Emitters for Medical Applications: <sup>64</sup>Cu and <sup>124</sup>I, IAEA Radioisotopes and Radiopharmaceuticals Reports No. 1, 2016.
- 5 Gallium-68 Cyclotron Production, IAEA TECDOC No. 1863, English, 2019
- 6 Q J Nucl Med Mol Imaging, IAEA contribution to the development of <sup>64</sup>Cu radiopharmaceuticals for theranostic applications. 2020 Dec;64(4):338-345.
- 7 Quality Control in the Production of Radiopharmaceuticals, IAEA TECDOC No. 1856, 2018.

IAEA contribution to radiochemistry for the production of radiopharmaceuticals for clinical use  
JALILIAN, A. (IAEA)

---

基調講演 | プレナリートーク

## 基調講演

座長:高橋 嘉夫

2022年9月16日(金) 09:00 ~ 09:40 A会場 (小柴ホール)

Zoomはこちら

---

### [2S01] 放射光 X線分析から見たアクチノイド化学

\*矢板 毅<sup>1</sup> (1. 日本原子力研究開発機構)

09:00 ~ 09:40

## 2S01

## 放射光 X線分析から見たアクチノイド化学

(日本原子力研究開発機構)○矢板 毅

【緒言】 1990年代から KEK PFBL27 でのアクチノイドなど放射性核種への放射光利用がはじまり、講演者はその初期から、PFをはじめ、SPring-8のJAEA専用ビームライン、米国 LBNL の ALS 等により研究を継続してきた。アクチノイドの研究は、放射性物質であるという制約が大きい中で微量の物質利用で研究が進められるわけであるが、高輝度放射光は、極めて大きなツールの一つとなり得る。本発表では、関与してきた研究トピックスをいくつか紹介しつつ、今後の計画などについても紹介する。

【実験】 本講演で紹介する研究は、SPring-8のJAEA専用ビームライン BL11XU および 22XU、米国 LBNL の ALS BL7.0.1 および 11.0.2 などで行われた実験結果であり、測定手法としては、X線吸収微細構造法(XAFS)、単結晶 X線構造解析および軟 X線共鳴非弾性散乱(SX-RIXS)などを用いている。

【トピックス】 ソフトドナー系配位子とMAの共有結合性について 高レベル廃液処理における MA に対する分離・核変換技術の開発が行われている。高速炉、加速器を用いる短寿命核種への核変換では、アクチノイドの単離が不可欠であり、この分離では、主に窒素ドナー系配位子とアクチノイドとの共有結合的相互作用の利用が検討されている。分離のターゲットとなる MA は一般的にはハードなイオンとして区別されるが、Cm および Gd のフェナントロリン錯体における電子状態との比較において共有結合的相互作用の明確な証拠を得ることに成功した。発表では、詳細なスペクトルの解釈を踏まえその意義について紹介する。

多光子励起による Am(III)の選択的酸化 先の分離は、化学的相互作用のみを用いる分離法であるが、我々のグループでは、短パルスレーザーを Am(III)に照射し、禁制遷移である f-f 遷移をゲートとした多段階の電子励起を実現し、Am を 3 価から 5 価に酸化させることに成功した。その結果、多種の 3 価アクチノイド、ランタノイドが存在する溶液中で Am のみを選択的に酸化、化学反応のみでは選択的な分離が難しい酸素ドナー系配位子を用いる抽出分離を実証した。最新の実験計画についても紹介する。

水和におけるアインスタインニウムブレイクについて 実験室で扱えるアクチノイドで最も重い元素であるアインスタインニウムの水和構造を放射光 XAFS 法により明らかにした。水和アクチノイドイオンは、基本的にアクチノイド収縮に沿って水との原子間距離が短くなるが、その系統性から外れることを見いだした。本講演では、ランタノイドなどの水和構造と比較しつつ、そのメカニズムについて簡単に紹介する。

【終わりに】 放射光分析を一例として紹介したが、放射光は未だ先端分析の一つではあるが、電頭急速な発展、あるいはもう一つの重要なプローブである中性子の利用などで、アクチノイドの未解明な特性が徐々に明らかにされるであろう。今後はこの複合的なプローブの利用は極めて重要であると考えているが、それぞれの分析手法におけるアクチノイドの利用はまだ高いハードルがあると思われる。一方で、これらの分析は、その専門家に任せているだけでは、なかなか先に進まない。放射化学などサイエンスとしてこれらの物質を直接扱っている研究者が、一般ユーザーとしての利用の域から飛び出して、積極的に分析手法の高度化などにも関わるのが重要であると考えている。

Actinide Chemistries from Synchrotron X-ray Analyses  
YAITA T.

---

基調講演 | プレナリートーク

## 基調講演

座長:久保 謙哉

2022年9月17日(土) 09:00 ~ 09:40 A会場 (小柴ホール)

Zoomはこちら

---

### [3S01] リュウグウ試料のミュオン特性 X線分析

\*大澤 崇人<sup>1</sup>、二宮 和彦<sup>2</sup>、中村 智樹<sup>4</sup>、高橋 忠幸<sup>3</sup>、寺田 健太郎<sup>2</sup>、塚本 尚義<sup>5</sup>、野口 高明<sup>6</sup>、岡崎 隆司<sup>7</sup>、  
藪田 ひかる<sup>8</sup>、奈良岡 浩<sup>7</sup>、坂本 佳奈子<sup>9</sup>、橘 省吾<sup>4</sup>、渡邊 誠一郎<sup>10</sup>、津田 雄一<sup>9</sup> (1. 日本原子力研究  
開発機構、2. 大阪大学、3. 東北大学、4. 東京大学、5. 北海道大学、6. 京都大学、7. 九州大学、8. 広島  
大学、9. JAXA/ISAS、10. 名古屋大学)

09:00 ~ 09:40

## 3S01

## リュウグウ試料のミュオン特性 X 線分析

(原子力機構<sup>1</sup>、大阪大学<sup>2</sup>、東北大学<sup>3</sup>、東京大学<sup>4</sup>、北海道大学<sup>5</sup>、京都大学<sup>6</sup>、九州大学<sup>7</sup>、広島大学<sup>8</sup>、JAXA/ISAS<sup>9</sup>、名古屋大学<sup>10</sup>)

○大澤崇人<sup>1</sup>、二宮和彦<sup>2</sup>、中村智樹<sup>3</sup>、高橋忠幸<sup>4</sup>、寺田健太郎<sup>2</sup>、塚本尚義<sup>5</sup>、野口高明<sup>6</sup>、岡崎隆司<sup>7</sup>、藪田ひかる<sup>8</sup>、奈良岡浩<sup>7</sup>、坂本佳奈子<sup>9</sup>、橘省吾<sup>4</sup>、渡邊 誠一郎<sup>10</sup>、津田雄一<sup>9</sup>

**【緒言】** 負の電荷を持つミュオンはレプトンの一種であり、電子の 207 倍の質量を持つ。ミュオンビームを試料に照射した場合、ミュオンは原子に捕獲されてミュオン原子を形成する。ミュオンは徐々に内殻軌道へと遷移するが、その際に捕獲特性 X 線を放射する。この X 線を Ge 検出器で検出することで元素分析を行う手法がミュオン特性 X 線分析である。ミュオン由来の X 線は電子由来の通常の X 線と比較して約 200 倍という高いエネルギーを持つため、物質の内部を直接観測することができる利点がある。この分析手法は炭素を含む軽元素を非破壊で検出できることから、はやぶさ 2 が採取する小惑星リュウグウ試料の分析に応用できるのではないかと期待されていた。はやぶさ 2 計画では C タイプ小惑星をターゲットとしており、生命の起源物質を探るという目標があったため、有機物を構成する炭素は最も重要な分析対象元素とされていた。

**【実験】** 実験は大強度陽子加速器施設 J-PARC 物質・生命科学実験施設 (MLF) のミュオンビームライン (D2) にて行った。リュウグウ試料を分析するまでに 4 段階で予備実験と装置開発を行い、その後リュウグウ試料の分析を行った。

**【実験 1】** ミュオンビームの条件出しと、ビームコリメータの有効性を検証する実験を行った。その結果、コリメータを使用すべきでないことが判明した。

**【実験 2】** 金属製チェンバーを使用し、内部をヘリウム充填する形で実験を行った。バックグラウンド測定と Murray 隕石 (CM2) の分析を行った。その結果、チェンバーの内壁や窓材に多数のミュオンが当たってしまうことが判明した。

**【実験 3】** 実験 2 の情報を基に新たにグローブボックス付き分析チェンバーを開発した。分析チェンバー内は銅で内張りし、グローブボックス内で小惑星試料をヘリウム雰囲気下で操作できるようにした。サンプルホルダーは銅で作成し、グローブボックスから分析チェンバー内は LM ガイドによって導入可能とした。その結果、バックグラウンドは大幅に低下したが、C や Fe のピークは完全に消えていなかった。

**【実験 4】** 実験 3 の後にグローブボックスと分析チェンバーの内壁をほぼ全て銅板で蔽い尽くす大規模な改造を施して実験を行った。その結果さらにバックグラウンドが低下し、C や Fe のピークはほぼ完全に消滅した。

**【リュウグウ試料分析】** 実験 4 で確立した手法で小惑星試料の分析を行った。その結果、リュウグウの元素組成は CI コンドライトに近く、C の濃度も CI に近かったが、O は大幅に少ないことが判明した。また Na の濃度は CI より有意に高かった。これは地球に落下した CI コンドライトが地球大気により風化しているためと考えられ、太陽系を代表する物質としてのリュウグウ試料の重要性が浮き彫りとなった。

Muonic X-ray analysis for Ryugu sample collected by Hayanusa2

OSAWA T., NINOMIYA K., NAKAMURA T., TAKAHASHI T., TERADA K., YURIMOTO H., NOGUCHI T., OKAZAKI R., YABUTA H., NARAOKA H., SAKAMOTO K., TACHIBANA S., WATANABE S., TSUDA Y.