

Tracer 第73号

目 次

巻頭言

RI 関連の研究・教育の拠点としてのアイソトープ総合センターへの期待
..... 中園 幹生 1

研究紹介

THz-TDS によるセルロース系材料の結晶性評価 稲垣 哲也・王 晗 2

プラスチック表面への PET 薬剤吸着研究
..... 山口博司・藤田尚利・櫻木庸博・山城敬一・中村嘉行 7

技術レポート

初心者向け教育での利用を念頭においた遮へい効果の可視化プログラムの試作
..... 小島康明 12

2022年 研究業績 14

センターへの講師依頼 15

2023年度 アイソトープ総合センター講習会案内 16

2023年度 アイソトープ総合センター講習会日程 17

新規購入図書 18

機器貸出実績 18

放射線安全管理室からのお知らせ 19

『名古屋大学アイソトープ総合センター運営委員会』委員名簿 20

委員会等の報告 21

人事異動 21

叙位・叙勲について 21

編集後記

RI 関連の研究・教育の拠点としてのアイソトープ総合センターへの期待



生物機能開発利用研究センター長／生命農学研究科教授

中園 幹生

私の所属している生命農学研究科の植物遺伝育種学研究室では、現在、アイソトープ総合センター教員との共同研究によって、「RI を用いた植物の炭素および養分動態の可視化」という研究課題に取り組んでいます。そのため、日頃より RI 実験棟を利用しており、アイソトープ総合センターとの連携の重要性を実感しているところです。

2023年4月より生命農学研究科長という立場になり、アイソトープ総合センター利用者一覧を拝見する機会がありました。その際に、2022年度のアイソトープ総合センター本館の RI 実験棟・X 線実験棟の利用者169名中、4 割弱にあたる65名が生命農学研究科の構成員であり、生命農学研究科がアイソトープ総合センターの最大のユーザーであることを知りました。このことは、ライフサイエンス分野における様々な実験手法の中で、生命農学研究科の研究分野では非密封 RI を用いた研究が重要であることを示しています。特に生物学の分野では、RI 標識化合物を用いて動物や植物の体内の微量物質の移動や分布を調査するトレーサー実験や、ラジオイムノアッセイによるホルモン定量実験などでは、検出感度が極めて高い RI を用いた実験手法以外の選択肢はありません。また、生命農学研究科の森林・環境資源科学専攻では、アイソトープ総合センターの X 線実験棟にて、X 線回折法による木材細胞壁のセルロース結晶特性の評価実験などを実施しています。

近年、生命農学研究科や理学研究科では施設の老朽化や管理人員の不足などから各部局の RI 施設が廃止され、アイソトープ総合センターに集約されました。2017年に最新施設を有する RI 実験棟が建設され、150の許可核種を扱えるアイソトープ総合センターは、今後も全学共同利用施設として研究推進の大きな役割を担うことは言うに及びませんし、生命農学研究科の研究の発展にとっても必要不可欠な施設であります。

アイソトープ総合センターには、全学共同利用施設としての役割に加えて、全学の放射線取扱に関する安全教育・訓練の業務もあると理解しています。研究で RI を扱う学生が減っている現状だからこそ、大学という高等教育機関で学んだ学生が放射能や放射性物質について正しく理解をする必要があると思います。そのためには、カリキュラムに放射線に関する教育を入れて、アイソトープ総合センター教員による講義を実施してもらうなどの取り組みが必要ではないかと考えており、今後の展開に期待しているところです。

今後、アイソトープ総合センターが、本学だけでなく、東海国立大学機構、さらには中部地域の RI 関連の研究と教育の中核拠点として発展することを願っております。

THz-TDS によるセルロース系材料の結晶性評価



稲垣 哲也

(名古屋大学大学院生命農学研究科 生物システム工学研究室)

王 晗 (名古屋大学・西オーストラリア大学国際連携生命農学専攻)

1. はじめに

天然セルロースは細胞膜上のセルロース合成酵素複合体で重合され結晶化する¹⁾。高等植物では、数十本の分子鎖が合成されるモデルが一般的で、幅3-4nmのマイクロフィブリルが基本単位として考えられている。天然セルロースはセルロースIという結晶構造を持ち、 I_α 型と I_β 型で構成されている。バクテリアや緑藻海藻では I_α 型が主成分であるのに対して、木材やホヤセルロースでは I_β 型が主成分である。木材はセルロース・ヘミセルロース・リグニンという3つの化学成分から主に構成される。木材を構成する細胞壁は層構造になっており、細胞の外側から細胞間層(I層)、一次壁(P層)、二次壁の外層(S-1層)、中層(S-2層)、内層(S-3層)に分けられる。各壁層は、セルロース分子が集合して結晶化した細長い糸状のマイクロフィブリルと呼ばれる構造と、それらの間を埋めているヘミセルロース・リグニンからなるマトリックスで構成されていることが知られている。このマイクロフィブリルが結晶性の構造単位を形成しており、木材の密度や強度的性能と高い相関関係にある。また木材は放湿・吸湿することで力学的性能などが変化するが、セルロース結晶性は木材の吸脱着性能にも影響を与える。通常木材中の結晶性は①結晶化度と②マイクロフィブリル傾角度(MFA: microfibril angle)によって評価される。MFAとは細胞壁とセルロースマイクロフィブ

リルの成す角度のことで、木材中の未成熟材ではMFAが大きく、成熟材ではMFAが小さいことが知られている。またこのMFAは木材の強度的性質に大きく影響を及ぼす。

このようにセルロース系材料の結晶性の評価は非常に重要であり、これまで赤外分光法や各種回折法によりその性質が調べられてきた。セルロースは分子内・分子間水素結合を形成して結晶を形成するが、赤外領域に観察されるCH基準振動による吸収は、水素結合状況によってピークがシフトする。このように赤外分光法では水素結合を介して結晶性を評価しているといえる。一方電子線、X線および中性子回折法による結晶性評価では、回折光を観察することで各結晶多型の構造を精密に把握することが可能となる。X線を中心とした各種回折法は、結晶構造の把握には非常に適しているといえる。

ところで木材中の「結晶量」は通常、X線回折チャートから得られる「結晶化度」によって評価される。セルロースのX線回折チャートの例を図1に示す。セルロースでは複数の格子面間隔からの干渉ピークが表れる。ここから通常Segal法や面積法によって結晶化度が評価される。Segal法とは200面と110面の間の極小値と200面の極大値との比率を評価する手法であり、面積法とはカーブフィッティングにより各結晶格子面からの面積強度と非晶由来の面積強度を算出し、その比率を

評価する手法である。このように結晶化度では、各格子面からの回折強度を一緒くたに取り扱っている。そのため結晶化度は結晶性の指標として利用可能であるものの、「結晶量」としては評価できない。そのため異なる試料間（例えば木材とセルロース）での結晶化度の比較は適切ではない。

そこで我々はセルロース系材料の結晶性評価にテラヘルツ時間領域分光法（THz-TDS）を利用することを考えた。テラヘルツ波（THz）は遠赤外線領域にある周波数範囲0.1-10THzの電磁波であり、そのエネルギーはセルロース結晶の格子振動（フォノン）に相当する。つまりTHz領域には結晶由来のピークが存在している。Ermolinaらが報告しているように、非晶スクロースでは $10-80\text{cm}^{-1}$ に全く吸収ピークが観察されないにも関わらず、結晶セルロースでは同領域に多くの吸収ピークが表れる²⁾。そこで我々は、THz-TDSによる新たな結晶性評価手法の構築を目指し研究を展開している。ここでは、これら研究で得られた2つの内容について紹介したい。

2. THz-TDSによる結晶多型評価

前述のように、天然セルロースは2種類の結晶構造(I_α 型、 I_β 型)を持ち、その比率は生物によって異なる。また、セルロースは化学処理によって結晶構造が変化することもよく知られており、天然セルロース繊維を農アルカリ溶液で短時間処理した後、これを水洗、乾燥させることで、セルロースIIが得られることが知られている（マーセル

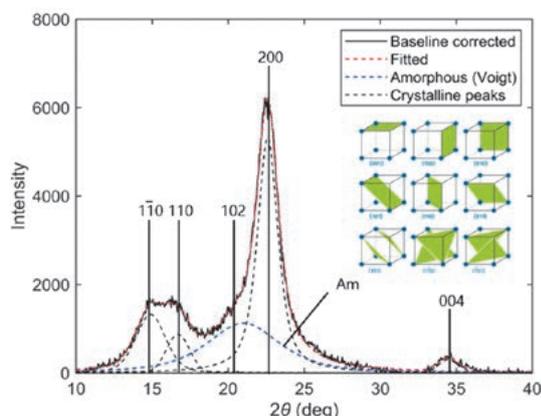


図1. セルロース X 線回折チャートの例

化処理)。一度セルロースIIが形成されるとセルロースIには再変態しない(不可逆的)。結晶多型によってX線の回折ピーク位置は変化する。ここでは、これら結晶多型をTHz-TDSによって評価できるかを調査した。①藻類(主に I_α 型)・樹木(主に I_β 型)から抽出した異なる I_α 、 I_β 比率を有するセルロース試料(*Glaucocystis nostochinearum*, *Valonia*, *Cladophora*, *Boergesenia*, *Oocystis*, *Halocynthia*)および②セルロース結晶構造を変化させるため、異なる濃度のNaOH溶液でマーセル化処理したMCC(マイクロクリスタリンセルロース)試料を準備した。上記2種類のセルロース試料から厚さ約0.3mm程度のペレットを作成した。各試料の寸法を測定後、THz時間領域分光器(日邦プレジジョン製Tera Prospector-Kit model)を用いて、積算回数100回で各試料につき3回透過測定を行った。また、X線回折装置(リガク製RINT-Ultima IV)を用いて、 $2\theta = 5\sim 40^\circ$ 範囲で各試料につきXRD測定を行った。

図2(A)に異なる I_α 、 I_β 比率を有するセルロース試料のTHz吸収スペクトル(1.7-2.6THz)を示す。ここからセルロース I_α 型(2.38THz)および I_β 型(2.13THz)由来の特徴的な吸収が存在することが確認できた。また、その吸収ピークの強度は I_α の含有量と高い相関関係にあることを確認した(図2(B))。さらに、NaOH溶液でセルロース結晶粉体をマーセル化処理したサンプルのX線回折チャートおよびTHz吸収スペクトルを図3に示す。

NaOH溶液濃度12%以上でX線回折チャートとセルロース吸収スペクトルの両方が特異的に変化した。これはマーセル化処理によってセルロースIがセルロースIIへと遷移したことが原因である。特にTHz領域におけるセルロースII由来の吸収ピーク(1.32THz, 1.76THz, 2.77THz)を特定した。このことから、THz-TDSによって試料の結晶多型を評価できることが示された^{3, 4)}。

3. THz-TDSによる結晶多型評価

本研究ではTHz-TDSによる新たな結晶量評価

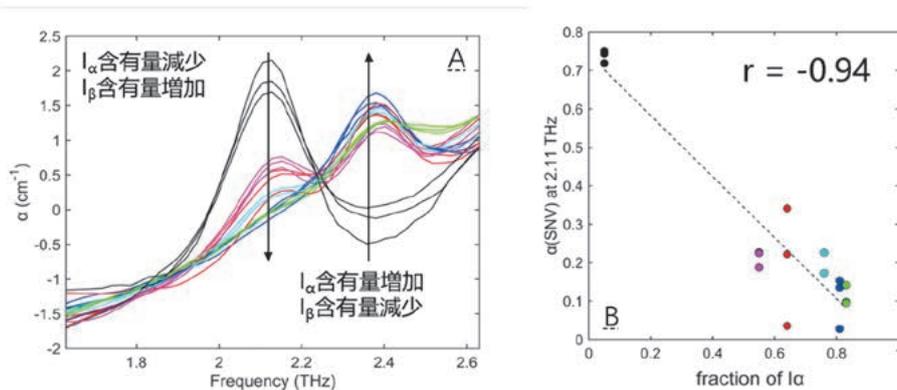


図2 (A) 試料の THz 吸収係数スペクトルおよび (B) 2.11THz における吸収係数と I_α 比率の関係

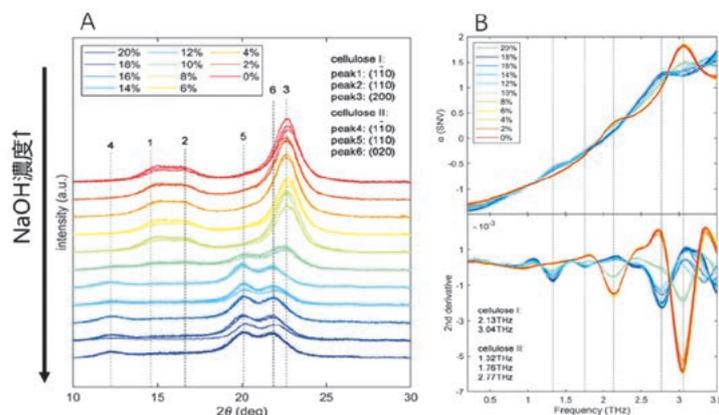


図3 マーセル化処理した試料の (A) X線回折チャートおよび (B) THz 吸収スペクトル

手法の確立を目指して実験を行った⁵⁾。結晶量を変化させるため、異なる時間でボールミル処理をほどこしたセルロース結晶パウダー (Avicel 0, 12, 24, 48, 72, 144時間とヒノキ材 *Chamaecyparis obtusa* 0, 6, 12, 24, 32, 48, 72, 144時間0.075g) を用意し、40MPa で直径14 mm 厚さ0.3 mm 程度のペレットを作成した。このペレットを各処理時間で3枚作成した。また、疑似木材パウダーとして酢酸有機溶媒によって抽出したリグニン (Guangzhou ESUN bio tech co., LTD) を重量比率 0, 25, 50, 75, 100% で Avicel セルロースと混合し、セルロース試料と同じ手順でペレットを作成した。各試料の寸法を測定後、THz-TDS (日邦プレジジョン製 Tera Prospector-Kit model) を用いて、積算回数100回で各試料につき3回透過測定を行った。リファレンスは試料を置かずに測定の前後で2回測定した。また、試料水平型 X 線回折装置 (リガク製 RINT-Ultima IV) を用いて、

2θ=5~40° 範囲で各試料につき XRD 測定を行った。

疑似木材、セルロース及びヒノキ材試料の THz 領域における吸収スペクトルを図4に示す。いずれの試料でも 3 THz 付近で吸収ピークが見られた。その後2.8-3.3THz 範囲を切り取ってベースライン補正後、面積強度を計算した。また得られた XRD 回折パターンをピーク分離し、結晶性由来のピークと全体ピーク的面積比率から結晶化度を算出した。算出した結晶化度と疑似木材のリグニン含有量及びセルロース、ヒノキ材のボールミル時間の関係を図5に示す。

疑似木材サンプルの THz 領域の吸収強度とリグニン含有量には高い負の線形関係が見られた。また、セルロースとヒノキ材サンプルの THz 領域の吸収強度はボールミル時間の増加によって減少することが確認できた。上記の結果から THz-TDS を用いて木材などのセルロース系材料の結

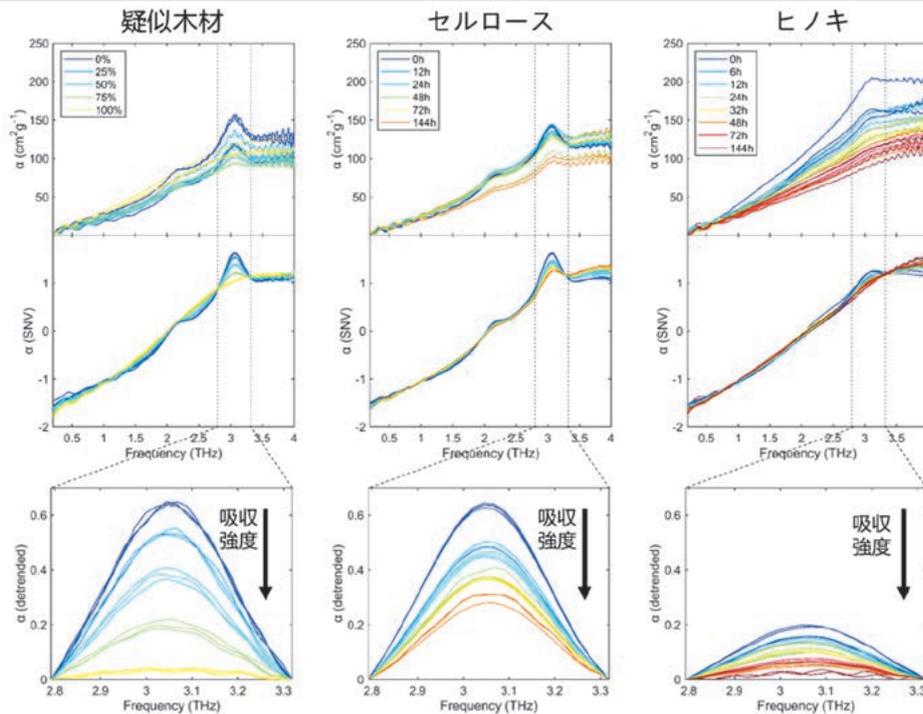
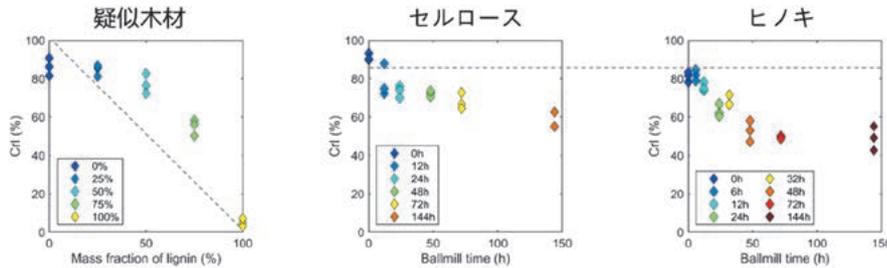


図4. 各試料のTHz吸収スペクトル

XRD非晶性由来のピークをフーリエ級数で近似した結果:



THz吸収スペクトル2.77-3.34THzの積分強度結果:

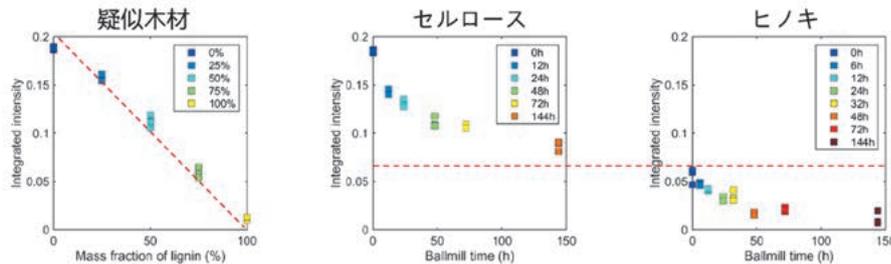


図5. XRDによる結晶化度とTHz面積強度の比較

晶化度を評価できることが示唆された。また、XRD結果から算出した疑似木材の結晶化度はリグニン含有量の増加と非線形関係にあったが、THz領域の吸収強度はリグニン含有量の増加によって線形的に減少した。このことから、XRDでは相対的な結晶化度が得られるのに対して、THz

領域における吸収はセルロースの絶対的な結晶量を反映することが示唆された。

上記のようにXRDでは結晶構造の厳密な決定に非常に有用ではあるものの、結晶量評価には解決すべき課題があった。これをTHz-TDSによって解決できることが示された。

謝辞

本研究は JSPS 科研費21H02255の助成を受けたものです。また X 線回折測定には名古屋大学アイソトープ総合センターの機器を利用しました。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 杉山淳司, 堀川祥生, 木材学会誌, 54, 49-57 (2008).
- 2) Ermolina, I., Darkwah, J., & Smith, G., *AAPS PharmSciTech*, 15, 253-260 (2014).
- 3) Han Wang, Satoru Tsuchikawa, Tetsuya Inagaki, *Cellulose*, 27, 9767-9777 (2020).
- 4) Han Wang, Satoru Tsuchikawa, Tetsuya Inagaki, *Cellulose*, 29, 3143-3151 (2022).
- 5) Han Wang, Satoru Tsuchikawa, Tetsuya Inagaki, *Cellulose*, 28, 5293-5304 (2021).

プラスチック表面への PET 薬剤吸着研究



山口博司
(アイソトープ総合センター分館)

藤田尚利 (医学部附属病院), 櫻木庸博 (医学部附属病院),
山城敬一 (医学部附属病院), 中村嘉行 (アイソトープ総合センター分館)

1. はじめに

PET (Positron Emission computed Tomography) や SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) など核医学に用いる放射性医薬品は超希薄濃度であり, 合成過程, 薬剤調製や投与時, 機器校正に用いる器具類への吸着が問題となる場合がある。標識化合物の合成や精製にはシリンジやチューブなどの各種プラスチックデバイスが使用され, これらのプラスチックデバイスへの放射性医薬品やその原料の吸着は最終製剤の放射エネルギーを著しく減少させるという問題がある。これまで我々は PET, SPECT 薬剤のプラスチック素材に対する吸着の評価をおこなってきた。

2. 目的

本研究は, ^{18}F -Fluoro Deoxy Glucose (FDG) およびその原料である ^{18}F -F⁻ マイナスイオン (F⁻ イオン) の各種プラスチック材料への吸着と溶液による洗浄効果の評価を目的とした。

例えば, 病院内での ^{18}F -FDG の製造には主として小型サイクロトロンと標識合成装置を用いるが, 初期の化学形は ^{18}F -F⁻ イオンである。 ^{18}F -F⁻ イオン, 標識合成・精製を経て製剤化した ^{18}F -FDG 薬剤は, いずれも安定同位体 ^{19}F -F⁻ イオン, ^{19}F -FDG と同等の化学的・物理的性質を持つ化合物ではあ

るが, 超希薄濃度という点から配管や容器への吸着によって生ずる損失は大きな問題となる。

本研究では, 標識合成・精製時に用いるプラスチック材料などの素材を対象として, ^{18}F -FDG および ^{18}F -F⁻ イオンの吸着率と洗浄効果について評価した。

3. 実験方法

3.1 使用放射性薬剤

実験には名古屋大学医学部附属病院放射線部アイソトープ検査室内ホットラボに設置されている小型サイクロトロン HM-18 および FDG 標識合成装置 F200 を用いて合成した ^{18}F -FDG (生理食塩水溶液) および標識合成の過程に用いる QMA から溶出した ^{18}F -F⁻ イオン (アセトニトリル溶液) を用いた。

3.2 吸着検討素材

吸着検討に使用した素材について表 1 に示した。

3.3 実施場所

実験はアイソトープ検査室内ホットラボおよび, 譲渡譲受によってポジトロン核種を移送した医学部アイソトープ総合センター分館で実施した。アイソトープ検査室とアイソトープ総合セン

表1 吸着検討素材一覧

No.	素材名
1	ガラス ※ 通常使用容器としての参照用
2	アクリル樹脂
3	塩化ビニル
4	コルク ※ 吸着しやすい素材としての参照用
5	シリコン
6	ブチルゴム
7	ポリエチレンテレフタレート (PET)
8	PET (アルミ蒸着)
9	ポリスチレン樹脂 (PS)
10	ポリプロピレン (PP)
11	PP + シリコン塗布
12	PP + 表面フッ素ガス処理
13	ポリテトラフルオロエチレン (PTFE)
14	ニトリル

ター分館は同じ敷地内にあるが、事業所が異なるため、移送にあたっては法令に従った手続きを取り、L型輸送物として徒歩で運搬した(図1)。

3.4 サンプルセットおよび測定方法

各吸着検討素材切片に対して約1 kBq / 10 μLの各放射性溶液をスポットして速やかにNaIシンチレーションサーベイメータ(TCS-172:アロカ社製)を用いて放射線量の測定をおこなった。サンプルスポットおよび装置セッティングの様子を図2に示す。

濃度調製した各放射性溶液10 μLを吸着検討素材上にスポット後1分経過後にピペットを用いてサンプルを吸引除去し、残存放射線量を測定し



図1 運搬に用いたL型輸送箱(上)と運搬経路(下)
※ 地図は医学部ホームページから引用

た。さらに各放射性溶液をスポットした部分に洗浄用として20 μLの生理食塩水(¹⁸F-F⁻イオンの場合はアセトニトリル)をスポットし、1分後にピペットを用いて洗浄液を吸引除去したのちに洗浄後放射線量として測定した。実験の流れを図3に示す。

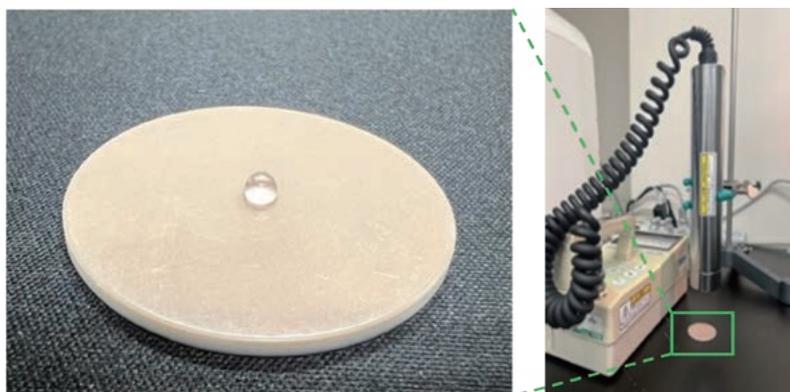


図2 サンプルスポットおよび測定装置構成
サンプル(10 μL)スポット(左)
測定装置セッティングの様子(右)

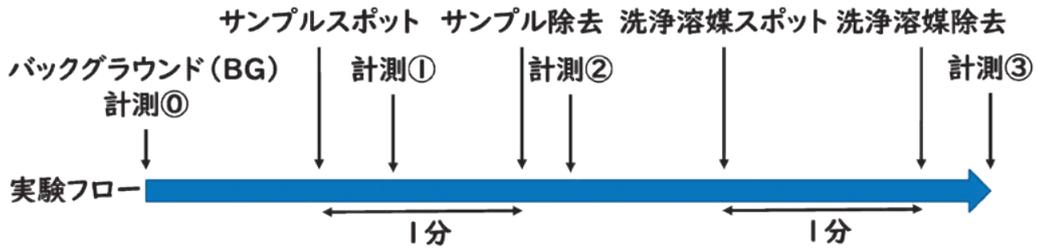


図3 実験プロトコル

3.5 データの処理

いずれも¹⁸F半減期(109.8分)を元に同一時刻に減衰補正し、溶液除去後および洗浄後の放射線量を初期スポットサンプルの放射線量で除して、各素材への吸着率(%)とした。

4. 結果

4.1 ¹⁸F-FDG 吸着実験

各検討素材への¹⁸F-FDGの吸着についての結果

を図4に示す。

コルクは¹⁸F-FDGの吸着というよりは滴下した¹⁸F-FDG溶液全てが吸収され、ピペットで回収ができなかった。コルクを除く素材はいずれも滴下した放射性溶液を目視確認で十分除去できたように見えるが、放射線の測定結果では10~30%の吸着があることが判明した。PPとシリコン塗布PPの比較では、シリコン塗布タイプはPPより初期吸着率が高いが、各溶液の共洗いによる洗浄効果

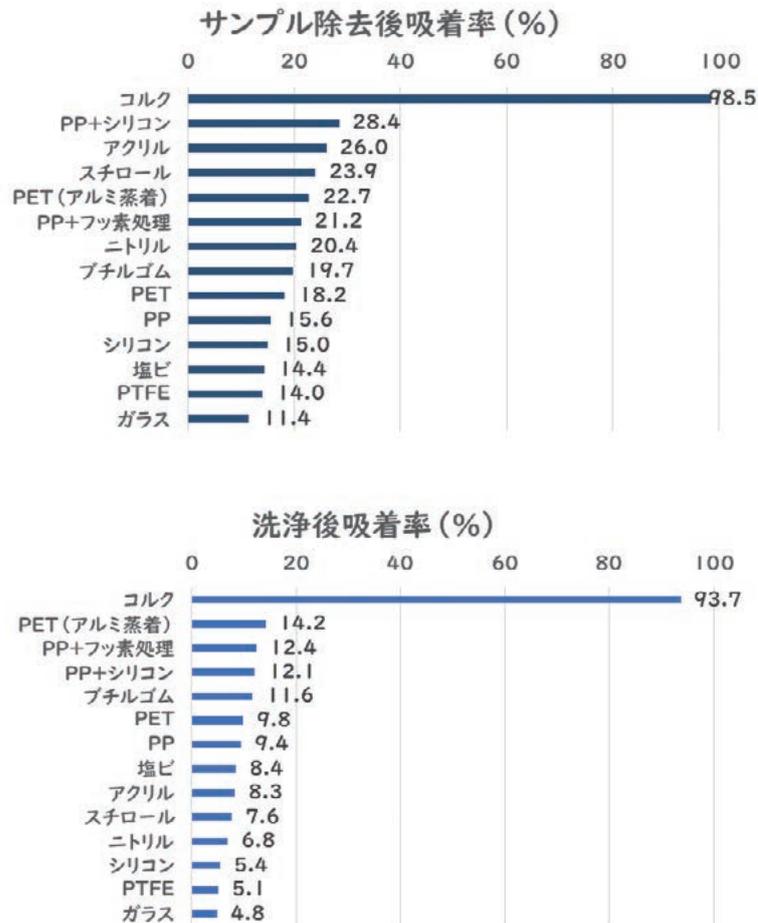


図4 ¹⁸F-FDG 吸着検討結果
サンプル除去後(上)、洗浄後(下)

(除去率)が高い。

コルクには ^{18}F -FDG 溶液と同様に生理食塩水も吸収されてしまい、洗浄できたとは言い難い。

4.2 $^{18}\text{F}\text{-F}^-$ 吸着実験

各検討素材への $^{18}\text{F}\text{-F}^-$ の吸着についての結果を図5に示す。

^{18}F -FDG の結果と同様に $^{18}\text{F}\text{-F}^-$ 溶液サンプルはコルクに溶液全てが吸収され、ピペットで回収ができなかった。全体的には ^{18}F -FDG の検討素材への吸着と類似した傾向が見られたが、一般的な化学物質の吸着が低いPTFEに対しては ^{18}F -FDG 溶液より $^{18}\text{F}\text{-F}^-$ イオンではその化学特性効果が低い(吸着率がやや高い)結果となった。

洗浄用アセトニトリルもコルクに吸収されてしまい、洗浄できたとは言い難い。

5. 考察

コルクのように表面に凹凸や細孔が多く、溶液自体を吸収するような素材は、除去や洗浄が出来ないため、放射性薬剤どころか薬剤を取り扱う操作に用いることは不適切である。

全ての素材において、目視確認で溶液除去が出来ていても放射能としての吸着があるとの結果から、放射性薬剤の取り扱いにおいては目視確認より線量測定が有効(必要)であると言える。

一部の薬剤と洗浄による除去効果の関係から、標識合成装置上等で洗浄(共洗い)操作を入れるべき工程の参考情報を得られた。

PTFEは全体的に吸着率が低かったが、 ^{18}F -FDG においては生理食塩水に溶解させているため、撥水性が寄与していると考えられる。 $^{18}\text{F}\text{-F}^-$ イオンのアセトニトリル溶液でも共洗い操

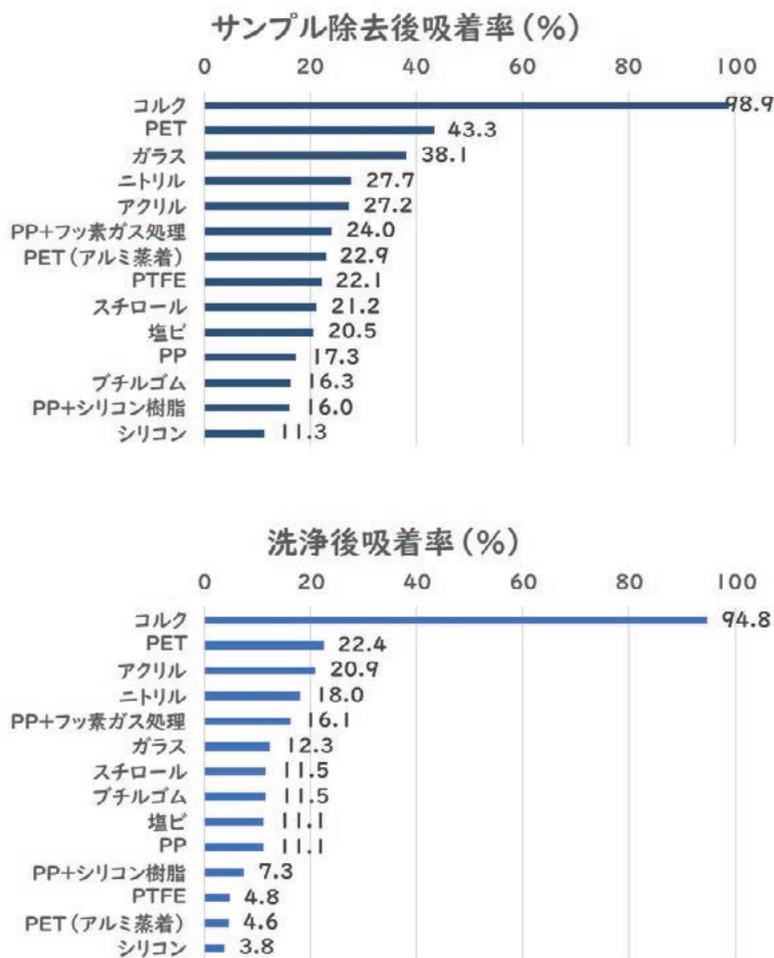


図5 $^{18}\text{F}\text{-F}^-$ 吸着検討結果
サンプル除去後(上)、洗浄後(下)

作の吸着率低下が観察できており、合成装置上の溶液移動などに用いるチューブ類を置き換えることで収率向上の可能性があると考える。

その他のフッ素樹脂系での検討も興味深いですが、部品製造の可否や耐薬品性、耐熱性、耐久性、コストなどが問題となってくる。

6. 結論

吸着の原因については、表面状態による物理吸着や静電氣的吸着が考えられる。

表面状態による物理吸着については ^{18}F -FDG、 ^{18}F - F^- イオン共にコルクに吸収された点から作用があることは明らかであるが、シリコン塗布した素材ではシリコン樹脂によって生じた表面の凹凸に溶液が吸着すると考えられる。一方、このシリコン塗布において洗浄による脱離効果も高く、共洗いなどを取り入れることで最終的な吸着は低減できる。

静電氣的吸着として、検討した ^{18}F - F^- イオンは、本来、通常の ^{19}F - F^- イオン単体と大きく性質は変わらないと考えられるが、液移送時に多用するガラスバイアルやニトリルキャップへの吸着も観察でき、放射性薬剤の標識原料としてクリプトフィックス-フッ化カリウム (KF) と包摂化しているため、電荷が複雑なことが起因していると予想される。

薬剤の種類によっては疎水相互作用、蛋白質薬剤を介しての錯体形成などが素材によって影響する可能性が考えられる。また、今回の報告は水溶性が高い薬剤であったが、脳機能イメージング剤のような脂溶性の高い薬剤についての検討も追加

したいと考えている。

本報告に用いた手法により、各種素材に対する放射性薬品の吸着評価が可能であるが、実際の放射性医薬品濃度はこの数百から数千倍の高放射線量であり、同様の結果が出るのかは興味深い。しかしながら、高線量下でのサーバイメータの窒息、十分に遮蔽しての操作が必要であり、測定方法の他、遮蔽壁、マニピュレータの使用などの工夫が必要である。

謝辞

本研究の実施にあたり、施設の利用や薬剤の譲渡譲受のご許可およびご助言をいただきました医学部放射線医学教室主任教授（アイソトープ総合センター分館長）の長縄慎二先生、総合保健学専攻バイオメディカルイメージング情報科学教授の加藤克彦先生、医学部附属病院診療放射線技師長の阿部真治先生、アイソトープ検査室副診療放射線技師長の山下雅人先生に心より感謝します。

参考文献

- 1) T. Inagaki, H. Yamaguchi, Y. Asano, K. Kato, J Nucl Med., 2022, 63 (supplement 2) 4121.
- 2) T. Inagaki, H. Yamaguchi, N. Fujita, Y. Asano, S. Abe, K. Kato, 13th Congress of the World Federation of Nuclear Medicine and Biology (WFNMB) 2022.
- 3) 山口博司, 藤田尚利, 櫻木庸博, 山城敬一, 中村嘉行, 日本フッ素化学会 フッ素化学討論会2022, 講演要旨集 (0-22), 49-50.

初心者向け教育での利用を念頭においた 遮へい効果の可視化プログラムの試作

アイソトープ総合センター

小島 康明

はじめに

前号の Tracer で、RI を初めて使う従事者を対象とした安全取扱実習の課題に「食品用ラップによる β 線の吸収実験」を追加したことを紹介した¹⁾。また、これに類似した課題として、「 ^{32}P の β 線を遮へいするために必要なアクリル板の厚さを調べる実験」や「アクリルと鉛で γ 線の遮へい効果はどの程度異なるかを調べる実験」も従来から行っている²⁾。これらの実習は放射線の吸収についての感覚を身につけてもらうことを目的としており、初心者向けの課題として有意義だと考えている。一方で、実習では放射線の種類やエネルギー、あるいは吸収体の材質や厚さを自由に変えることはできず、また、目では見えない放射線が具体的にどのように動いているのか、初心者にはイメージしづらいという問題点もある。このことを少しでも解消することを目指して、放射線の種類や遮へい条件をユーザーが自由に設定した上で、放射線と吸収体との相互作用をその場でシミュレーション計算し、結果を可視化して表示するソフトウェアを作成したので紹介する。

ソフトウェアの概要

物質中での放射線の飛跡をシミュレーションするためのツールキット Geant 4³⁾ を計算に用いることとし、放射線を物質に入射させた際の飛跡を出力するプログラム（以下、飛跡計算プログラムと呼ぶ）を作成した。ここで、放射線のエネルギーや吸収体を自由に変えて計算するには、それらの条件を飛跡計算プログラムに入力する必要があるが、

あるが、この種の計算に慣れていない人にはこの部分のハードルが少々高いように思われた。そこで、ユーザーが計算条件を入力して、その内容を飛跡計算プログラムに引き渡すためのグラフィカルなインターフェースを別途作成した(図1)。ユーザーはドロップダウンリストから放射線の種類を選び（現時点は、 γ 線、電子線、陽電子線に対応）、任意のエネルギーを入力する。さらに、吸収体の材質と厚さを設定した後に Calc ボタンを押すと、計算条件が飛跡計算プログラムに引き渡されて、シミュレーション計算が行われる（なお、吸収体以外の部分は真空としている）。いまは200本の放射線を入射させるようにしているが、計算は数秒で終わる。計算結果は VRML (Virtual Reality Modeling Language) 形式で出力されるので、FreeWRL⁴⁾ などの描画ソフトウェアをあらかじめインストールしておけば、自動的に飛跡が表示される。これにより、使い方の説明をしなくても誰でも使えるソフトウェアになった。

計算結果の例

安全取扱実習では、受講生に ^{32}P の β 線が厚さ3, 6, 9 mm のアクリル板でどの程度吸収されるかを測定してもらい、6 mm のアクリルでほぼ遮へいできることを確認してもらっている。このことに基づいて、実習後の解説では「厚さ10 mm のアクリル製シールドが市販されているので、これを使用すれば高エネルギーの β 線核種も安全に使用できる」ことを説明している。図2 (a) は2 MeV の電子線を厚さ10 mm のアクリルに入射させた

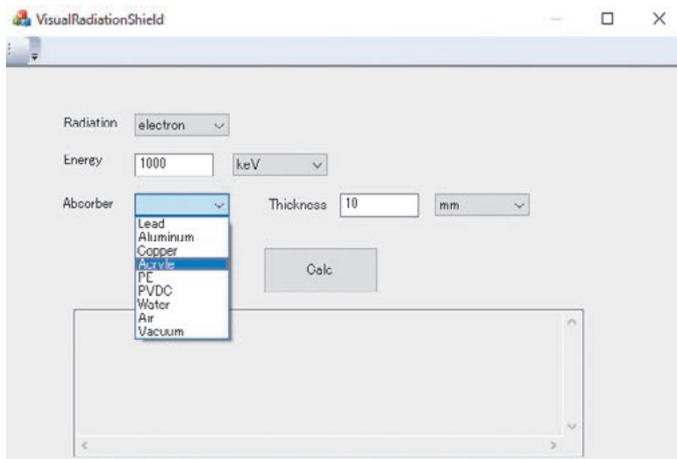


図1 条件設定ウィンドウ。

ときの計算結果であるが、これを見ることで視覚的により納得してもらえらるであろう。

ところで、初心者にとっては「放射線の遮へい材といえば鉛」というイメージが強い印象がある。実習前の講義では「常に鉛で遮へいすればよいというのは間違い。 β 線の遮へいにはアクリルなどの原子番号の小さいものを使うのが適切」と教育しているが、鉛を吸収体に使用したときの計算例を見ることでこの理由が直ちにわかる。すなわち、図2 (b) を見せることで制動放射線の発生量や電子線の後方散乱が非常に多くなっているのが誰にでも一目瞭然になり、このことから、不用意に鉛を使ってしまうと周辺の線量がかえって上がりかねないことが理解できる。また、これ以外にも、 γ 線は β 線に比べて透過能力が高いことや、

陽電子線源を使う場合は吸収体内で消滅光子が多数発生する様子を見せることができる。

まとめ

安全取扱実習の解説用に、様々な条件で放射線がどのように吸収されるかを可視化できるソフトウェアを試作し、2023年1月の実習時に使用した。現時点では単一エネルギーの放射線の計算機能しか含んでいないが、今後、 ^{32}P や ^{14}C などの連続 β 線スペクトルについての計算も追加するつもりである。各自が使う予定の放射線を入力値として、吸収体の条件を変えたときにどのように放射線が吸収あるいは散乱されるかを計算してみせることで（あるいは従事者自らが計算してみることで）、一層の安全取扱に結びつけることができるように、実習や基礎教育の場で活用していきたい。

参考文献

- 1) 小島康明, Tracer, 72号, 10-11, (2022).
- 2) 名古屋大学アイソトープ総合センター, ラジオアイソトープの安全取り扱い実習書 (第6版) (2020).
- 3) S. Agostinelli et al., Nucl. Instrum. and Meth. A 506, 250-303 (2003).
- 4) X3D/VRML open source viewer FreeWRL, <https://freewrl.sourceforge.io/>

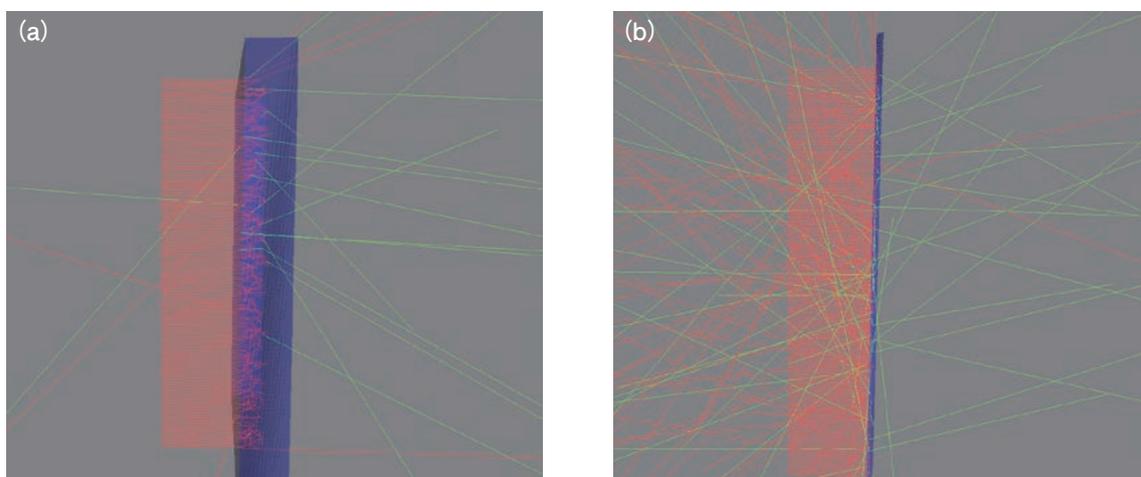


図2 2 MeV の電子線 (赤) を遮へいしたときの計算結果の一例。電子線は平行ビームとして左方向から遮へい体 (青) に入射している。緑色の線は制動放射線。(a) の遮へい体は厚さ10 mm のアクリル, (b) の遮へい体は厚さ1 mm の鉛である。

2022年 研究業績

A. 本館

(RI 実験棟利用)

所 属	著 者	タイトル：ジャーナル名, 巻, 頁 (年), DOI	No.
理学研究科 生命理学専攻 形態統御学講座 細胞間シグナル研究グループ	Ogawa-Ohnishi,M., Yamashita,T., Kakita,M., Nakayama,T., Ohkubo,Y., Hayashi,Y., Yamashita,Y., Nomura,T., Noda,S., Shinohara,H., Matsubayashi,Y.	Peptide ligand-mediated trade-off between plant growth and stress response; <i>Science</i> , 378, 175-180(2022) DOI: 10.1126/science.abq5735	1
生命農学研究科 応用生命科学専攻 応用酵素学研究室	Sompichoke,K., Nagasaka,A., Ito,T., Hemmi,H	Identification and biochemical characterization of a heteromeric <i>cis</i> -prenyltransferase from the thermophilic archaeon <i>Archaeoglobus fulgidus</i> ; <i>J.Biol.Chem.</i> , 171(6), 641-651(2022) DOI: 10.1093/jb/mvac022	2
	Aoki,M., Vinokur,J., Motoyama,K., Ishikawa,R., Collazo,M., Cascio,D., Sawaya,M.R., Ito,T., Bowie,J.U., Hemmi,H.	Crystal structure of mevalonate 3,5-bisphosphate decarboxylase reveals insight into the evolution of decarboxylases in the mevalonate metabolic pathways; <i>J.Biol.Chem.</i> , 298(7), 1-12(2022) DOI: 10.1016/j.jbc.2022.102111	3
アイソトープ総合センター	Noda,Y., Sugita,R., Hirose,A., Kawachi,N., Tanoi,K., Furukawa,J., Naito,K.	Diversity of Na ⁺ allocation in salt-tolerant species of the genus <i>Vigna</i> ; <i>Breeding Science</i> , 72, 326-331(2022) DOI: 10.1270/jsbbs.22012	4

(X 線実験棟利用)

所 属	著 者	タイトル：ジャーナル名, 巻, 頁 (年), DOI	No.
生命農学研究科 森林・環境資源科学専攻 木材物理学研究室	Yamamoto,H., Sujan,K.C., Matsuo-Ueda,M., Yoshida,M., Chen,S.	Microscopic mechanism of contraction of tension wood G-fiber due to boiling; <i>Cellulose</i> , 29, 7935-7954(2022) DOI: 10.1007/s10570-022-04742-z	5

B. 分館

所 属	著 者	タイトル：ジャーナル名, 巻, 頁 (年), DOI	No.
医学系研究科 総合医学専攻 基礎医学領域 神経科学講座 神経情報薬理学	Amano,M., Kanazawa,Y., Kozawa,K., Kaibuchi,K.	Identification of the kinase-substrate recognition interface between MYPT1 and Rho-kinase; <i>Biomolecules</i> , 12(2), 159(2022) DOI: 10.3390/biom12020159	6
	Faruk,M.O., Tsuboi,D., Yamahashi,Y., Funahashi,Y., Lin,Y.H., Ahammad,R.U., Hossen,E., Amano,M., Nishioka,T., Tzingounis,A.V., Yamada,K., Nagai,T., Kaibuchi,K.	Muscarinic signaling regulates voltage-gated potassium channel KCNQ2 phosphorylation in the nucleus accumbens via protein kinase C for aversive learning; <i>J.Neurochemistry</i> , 160, 325-341(2022) DOI: 10.1111/jnc.15555	7
	Tsuboi,D., Otsuka,T., Shimomura,T., Faruk,M.O., Yamahashi,Y., Amano,M., Funahashi,Y., Kuroda,K., Nishioka,T., Kobayashi,K., Sano,H., Nagai,T., Yamada,K., Tzingounis,A.V., Nambu,A., Kubo,Y., Kawaguchi,Y., Kaibuchi,K.	Dopamine drives neuronal excitability via KCNQ channel phosphorylation for reward behavior; <i>Cell reports</i> , 40(10), 111309(2022) DOI: 10.1016/j.celrep.2022.111309	8
	Wu,M., Funahashi,Y., Takano,T., Hossen,E., Ahammad,R.U., Tsuboi,D., Amano,M., Yamada,K., Kaibuchi,K.	Rho-Rho-Kinase regulates Ras-ERK signaling through SynGAP1 for dendritic spine morphology; <i>Neurochemical Res.</i> , 47, 2757-2772(2022) DOI: 10.1007/s11064-022-03623-y	9
医学系研究科 総合医学専攻 臨床医学領域 病態内科学講座 血液・腫瘍内科学	Adachi,Y., Sakai,T., Terakura,S., Shiina,T., Suzuki,S., Hamana,H., Kishi,H., Sasazuki,T., Arase,H., Hanajiri,R., Goto,T., Nishida,T., Murata,M., Kiyoi,H.	Downregulation of HLA class II is associated with relapse after allogeneic stem cell transplantation and alters recognition by antigen-specific T cells; <i>Int.J.Hematol</i> , 115(3), 371-381(2022) DOI: 10.1007/s12185-021-03273-w	10

センターへの講師依頼

A. 本館

依頼元	講習会名	受講対象者	期日	項目・担当者	受講者数
名古屋市消防局 消防学校	専科教育警防科特殊災害課程	名古屋市消防局 小隊長	令和4年12月6日	「放射線災害の基礎知識と対応要領」 柴田 理尋	32

B. 分館

依頼元	講習会名	受講対象者	期日	項目・担当者	受講者数
名古屋大学医学部 附属病院放射線取扱主任者	令和4年度名古屋大学医学部 附属病院新規放射線業務従事者 教育訓練 A	医学部附属病院 新規放射線業務 従事者	令和4年9月1日～ 令和5年1月31日 (楽々ですと君による e-learning)	「透過写真の撮影の作業の方法」 中村 嘉行	107
名古屋大学医学部 附属病院放射線取扱主任者	令和4年度名古屋大学医学部 附属病院新規放射線業務従事者 教育訓練 B	医学部附属病院 新規放射線業務 従事者	令和4年9月1日～ 令和5年1月31日 (楽々ですと君による e-learning)	「放射線発生装置の安全取扱い」 「放射線の人体に与える影響」 「関係法令」 中村 嘉行	110
名古屋大学医学部 附属病院放射線取扱主任者	令和4年度名古屋大学医学部 附属病院新規放射線業務従事者 教育訓練 C	医学部附属病院 新規放射線業務 従事者	令和4年9月1日～ 令和5年1月31日 (楽々ですと君による e-learning)	「放射性同位元素等、放射線発生装置の安全取扱Ⅰ」 山口 博司	23
名古屋大学医学部 附属病院放射線取扱主任者	令和4年度名古屋大学医学部 附属病院新規放射線業務従事者 教育訓練 D	医学部附属病院 新規放射線業務 従事者	令和4年9月1日～ 令和5年1月31日 (楽々ですと君による e-learning)	「放射性同位元素等、放射線発生装置の安全取扱Ⅱ」 山口 博司	24

2023年度 アイソトープ総合センター講習会案内

放射線業務従事者資格取得のための講習会を以下のとおり行います。

名古屋大学の放射線業務従事者資格は、従事可能な放射線業務別に、第1種、第2種、第3種に分かれています。

アイソトープ総合センターでは、第2種及び第3種資格取得のための講習会を開催しています。

取扱い可能な従事内容	第1種	第2種			第3種
		(A)	(B)	(B + 実習)	
非密封放射性同位元素の取扱い	○		条件付 ^(注1)	○	
密封放射性同位元素の取扱い	○	○	○	○	
放射化を伴う加速器施設の利用	○		条件付 ^(注1)	○	
放射化を伴わない加速器施設の利用	○	○	○	○	
放射光(シンクロトロン光)施設の利用 ^(注2)	○	○	○	○	
X線発生装置の取扱い	○				○

注1 本学で非密封放射性同位元素の取扱い資格及び放射化を伴う加速器施設の利用資格を取得するためには、講義と実習の受講が必要ですが、実習の代わりに「見習い期間」を設けることを可能としている部局もあります。見習い期間中は、単独での業務従事が制限され、教職員で放射線業務を熟知した者の指導の元に作業しなければなりません。見習い期間の可否については、所属部局の放射線安全管理室で確認をしてください。

注2 放射光施設において、X線が発生する業務に従事する場合には、第2種及び第3種両方の資格が必要です。

◎アイソトープ総合センターで開催する講習会及び取得可能な資格

① RI 講習

受講コース	内 容	時 間	資 格
講義 A	・放射線の人体に与える影響	40分	第2種 (A)
	・放射性同位元素等又は放射線発生装置の安全取扱い(非密封 RI 取扱い, 放射化を伴う加速器の項目を除く)	2 時間	
	・放射線障害防止に関する法令及び放射線障害予防規程	40分	
講義 B	・放射線の人体に与える影響	40分	第2種 (B)
	・放射性同位元素等又は放射線発生装置の安全取扱い(非密封 RI 取扱い, 放射化を伴う加速器の項目を含む)	3 時間	
	・放射線障害防止に関する法令及び放射線障害予防規程	40分	
講義 B + 実習	・放射線の人体に与える影響	40分	第2種 (B + 実習)
	・放射性同位元素等又は放射線発生装置の安全取扱い(非密封 RI 取扱い, 放射化を伴う加速器の項目を含む)	3 時間	
	・放射線障害防止に関する法令及び放射線障害予防規程	40分	
	・実習	6 時間	

※第2種 (A) 資格保有者は、講義Bコースの「放射性同位元素等又は放射線発生装置の安全取扱い」の非密封 RI 取扱い、放射化を伴う加速器の項目(1時間)を追加受講することにより、第2種 (B) の資格を取得可能です。

※第2種 (B) 資格保有者は、実習(6時間)を追加受講することにより、第2種 (B + 実習) の資格を取得可能です。

② X線講習(講義)

第3種の資格取得希望者対象の講義です。

この講義を受講後、各自が使用するX線装置の下で実習を受講することにより、第3種資格の取得が可能です。

2023年度 アイソトープ総合センター講習会日程

※以下の日程・実施方法は、変更になる場合があります。最新情報は、アイソトープ総合センターHPをご確認ください。

RI 講習（第2種）

名称	実施年月日	実施方法・場所	人数	申込期間
RI23- 講義 1（英語）	2023年 5 月 9 日（火）	(MS Teams)	-	2023年 4 月 17 日（月） ～2023年 4 月 26 日（水）
RI23- 講義 2（日本語）	2023年 5 月 10 日（水）10:00～2023年 5 月 12 日（金）13:00	(TACT)	-	
RI23- 実習 1	2023年 5 月 16 日（火）	東山	10	
RI23- 実習 2	2023年 5 月 17 日（水）	東山	10	
RI23- 実習 3	2023年 5 月 18 日（木）	東山	10	
RI23- 実習 4	2023年 5 月 22 日（月）	東山	10	
RI23- 実習 5	2023年 5 月 23 日（火）	東山	10	
RI23- 講義 3（日本語）	2023年 6 月 12 日（月）10:00～2023年 6 月 14 日（水）13:00	(TACT)	-	2023年 5 月 24 日（水） ～2023年 6 月 2 日（金）
RI23- 実習 6	2023年 6 月 22 日（木）	鶴舞	8	
RI23- 実習 7	2023年 6 月 23 日（金）	鶴舞	8	
RI23- 講義 4（英語）	2023年 7 月 10 日（月）	(MS Teams)	-	2023年 6 月 23 日（金） ～2023年 7 月 3 日（月）
RI23- 講義 5（日本語）	2023年 7 月 11 日（火）10:00～2023年 7 月 13 日（木）13:00	(TACT)	-	
RI23- 実習 8	2023年 7 月 19 日（水）	東山	10	
RI23- 実習 9	2023年 7 月 20 日（木）	東山	10	
RI23- 講義 6（日本語）	2023年 10 月 16 日（月）10:00～2023年 10 月 18 日（水）13:00	(TACT)	-	2023年 9 月 28 日（木） ～2023年 10 月 6 日（金）
RI23- 講義 7（英語）	2023年 10 月 19 日（木）	(MS Teams)	-	
RI23- 実習 10	2023年 10 月 23 日（月）	東山	10	
RI23- 実習 11	2023年 10 月 24 日（火）	東山	10	
RI23- 実習 12	2023年 10 月 30 日（月）	鶴舞	8	
RI23- 実習 13	2023年 10 月 31 日（火）	鶴舞	8	
RI23- 講義 8（英語）	2024年 1 月 15 日（月）	(MS Teams)	-	2023年 12 月 13 日（水） ～2023年 12 月 22 日（金）
RI23- 講義 9（日本語）	2024年 1 月 16 日（火）10:00～2024年 1 月 18 日（木）13:00	(TACT)	-	
RI23- 実習 14	2024年 1 月 24 日（水）	東山	10	
RI23- 講義 10（日本語）	2024年 2 月 13 日（火）10:00～2024年 2 月 15 日（木）13:00	(TACT)	-	2024年 1 月 26 日（金） ～2024年 2 月 5 日（月）
RI23- 実習 15	2024年 2 月 21 日（水）	鶴舞	8	

X 線講習（第3種）

名称	実施年月日	実施方法・場所	人数	申込期間
X23- 講義 1（日本語）	2023年 4 月 19 日（水）10:00～2023年 4 月 20 日（木）15:00	(TACT)	-	2023年 4 月 3 日（月） ～2023年 4 月 12 日（水）
X23- 講義 2（英語）	2023年 4 月 24 日（月）	(MS Teams)	-	
X23- 講義 3（日本語）	2023年 5 月 29 日（月）10:00～2023年 5 月 30 日（火）15:00	(TACT)	-	2023年 5 月 8 日（月） ～2023年 5 月 19 日（金）
X23- 講義 4（英語）	2023年 5 月 31 日（水）	(MS Teams)	-	
X23- 講義 5（日本語）	2023年 7 月 4 日（火）10:00～2023年 7 月 5 日（水）15:00	(TACT)	-	2023年 6 月 12 日（月） ～2023年 6 月 22 日（木）
X23- 講義 6（英語）	2023年 7 月 6 日（木）	(MS Teams)	-	
X23- 講義 7（日本語）	2023年 10 月 4 日（水）10:00～2023年 10 月 5 日（木）15:00	(TACT)	-	2023年 9 月 19 日（火） ～2023年 9 月 27 日（水）
X23- 講義 8（英語）	2023年 10 月 6 日（金）	(MS Teams)	-	
X23- 講義 9（日本語）	2023年 11 月 27 日（月）10:00～2023年 11 月 28 日（火）15:00	(TACT)	-	2023年 11 月 8 日（水） ～2023年 11 月 16 日（木）
X23- 講義 10（英語）	2023年 11 月 29 日（水）	(MS Teams)	-	
X23- 講義 11（英語）	2024年 1 月 29 日（月）	(MS Teams)	-	2024年 1 月 12 日（金） ～2024年 1 月 22 日（月）
X23- 講義 12（日本語）	2024年 1 月 30 日（火）10:00～2024年 1 月 31 日（水）15:00	(TACT)	-	

新規購入図書

●分館●

洋書

・ICRP(152) Radiation Detriment Calculation Methodology

機器貸出実績

本館

機器, 数量	貸出先	目的, 内容
《学内貸出》		
エックス線用サーベイメータ NHC 4 1台 × 2回	生命農学研究科	エックス線装置の漏洩検査のため
電離箱式サーベイメータ ICS-331B 1台 × 1回	生命農学研究科	エックス線装置の漏洩検査のため
電離箱式サーベイメータ ICS-331B 1台 × 1回	保健管理室	エックス線装置の漏洩検査のため
NaI シンチレーションサーベイメータ TCS-161 1台 × 1回	未来材料・システム研究所	福島県内調査時における被ばく管理のため
ポケット線量計 PDM-111 1本 × 1回	未来材料・システム研究所	福島県内調査時における被ばく管理のため
ポケット線量計 PDM-117 2本 × 1回	保健管理室	線量測定
DVD (放射線業務従事者のための法令入門：英語版)	アイソトープ総合センター分館	RI 講習 (英語) に使用するため

放射線安全管理室からのお知らせ

●本館●

2023年

- 4月 再教育（4月上旬）
1期利用開始（4/3）
- 7月 期末チェック（～7/31※）
- 8月 2期利用開始（8/16※）
廃棄物集荷（8月下旬）
- 9月 2023年集荷分廃棄物処分費請求
- 12月 期末チェック（～12/22）

2024年

- 1月 3期利用開始（1/8※）
 - 3月 施設・設備点検
2024年度利用申請
期末チェック（～3/27）
- （新規利用者説明会は随時予約制で受け付け、開催します。）

※日程は本学の予定に伴い変更することがあります。

●分館●

2023年

- 4月 1期利用開始（4/3）
- 6月 2期実験計画書提出期限（6/2）
- 7月 2期利用開始（7/3）
上半期利用料金等請求
施設・設備点検
- 8月 廃棄物集荷
- 9月 3期実験計画書提出期限（9/1）
床清掃（9/28～29）
- 10月 3期利用開始（10/2）
2023年集荷分廃棄物処分費等請求
- 12月 4期実験計画書提出期限（12/1）

2024年

- 1月 4期利用開始（1/4）
下半期利用料金等請求
 - 2月 施設・設備点検
 - 3月 2024年度実験計画書提出期限（3/1）
再教育講習会
床清掃（3/28～29）
- （分館利用説明会と時間外利用責任者講習会は随時予約制で受け付け、開催します。）

『名古屋大学アイソトープ総合センター運営委員会』委員名簿

令和5年3月1日現在

所 属 ・ 職 名	氏 名
セ ン タ ー 長	柴 田 理 尋
理 学 研 究 科 ・ 講 師	出 口 和 彦
医 学 系 研 究 科 ・ 教 授	清 井 仁
工 学 研 究 科 ・ 教 授 原 子 力 委 員 会 委 員 長	山 澤 弘 実
生 命 農 学 研 究 科 ・ 准 教 授	今 井 貴 規
環 境 学 研 究 科 ・ 准 教 授	植 村 立
情 報 学 研 究 科 ・ 准 教 授	青 木 撰 之
環 境 医 学 研 究 所 ・ 准 教 授	増 田 雄 司
分 館 長	長 縄 慎 二
コバルト60照射施設利用委員会委員長 工 学 研 究 科 ・ 教 授	瓜 谷 章
放 射 線 安 全 委 員 会 委 員 長 アイソトープ総合センター ・ 教 授	柴 田 理 尋
アイソトープ総合センター ・ 准 教 授	小 島 康 明
アイソトープ総合センター ・ 准 教 授	山 口 博 司
理 学 研 究 科 ・ 准 教 授	吉 岡 泰
生 命 農 学 研 究 科 ・ 准 教 授	上 野 山 賀 久
アイソトープ総合センター ・ 講 師	杉 田 亮 平

委員会等の報告

第180回アイソトープ総合センター運営委員会
(令和5年2月21日開催)

審議事項

1. アイソトープ総合センター長候補者の選考について
2. 総長管理定員(准教授)の人事について

報告事項

1. 技術職員募集について
2. 事業所境界について
3. 叙位・叙勲について

人事異動

－お疲れ様でした－

森本浩行(技師)

令和4年9月16日

全学技術センター(工)へ配置換

叙位・叙勲について

令和5年1月9日に逝去された本学名誉教授(元アイソトープ総合センター長)の西澤邦秀先生に対し、令和5年2月7日に従四位・瑞宝小綬章の授与が閣議決定されました。

編集後記

「プラスチック表面への PET 薬剤吸着研究」は、2021年4月に着任された山口先生の成果のひとつです。実はこの30年間、附属病院はサイクロトロンで作ったRIを外部に一切譲渡せず病院内の施設においてのみ使用してきました。それが、山口先生が附属病院と深く関わった研究をされていることから譲り受けることが可能になりました。今後、附属病院から譲受したRIを用いた研究の進展が期待されます。このように今まで不可能だったことをどんどん可能にしていくことが分館の将来のために不可欠です。やはり、未来は人に託されているということが分かります。こうした不可能を可能とする活動を継続推進するためには、今の教員以上に病院のことも熟知している若くて優秀な指導力のある人材に引き継がれていくことが重要だとしみじみ感じました。

トレーサー編集委員

委員長	柴田	理尋
幹事	小島	康明
	近藤	真理
	中村	嘉行
	富田	裕代

Tracer 第73号

令和5年3月27日 発行
編集発行

名古屋大学アイソトープ総合センター
〒464-8602 名古屋市千種区不老町
電話 〈052〉789-2563
FAX 〈052〉789-2567
E-mail: isotope@adm.nagoya-u.ac.jp