

ATOM SCIENCE KUMATORI

アトムサイエンスくまとり

vol. **29**
2022 春夏号



巻頭特集 トレーサ棟 –多彩な研究の場として–

ASKレポート1 アクチノイドを含む分子の理論計算 | サイクロトロン加速器を利用した中性子源の検討 | 構造と機能の関係性に着目したタンパク質の溶液構造解析
鉛ビスマス共晶合金の膨張現象

ASKレポート2 アトムサイエンスフェア2021報告

ASKインタビュー 京都大学複合原子力科学研究所の人たち

特集 | トレーサ棟 — 多彩な研究の場として —

はじめに

トレーサ棟は、複合研の研究用原子炉(KUR)などで生成された比較的弱い放射性同位体(RI)や他事業所から入手したRI及び核燃料物質を取り扱うことのできる実験棟である。メガワット級の研究炉であるKURの利用を支える重要な役割を果たすとともに、共同利用研究を含めた複合研に所属する各研究室が進める物理、化学、生物、工学や医学など多岐にわたる実験研究が行われている。

歴史

トレーサ棟は1964年(昭和39年)のKUR初臨界とほぼ時を同じくして建設された。建設当初、RIを利用した放射化学的研究、及びホットラボとともにKUR圧気輸送管照射設備を利用した放射化分析の拠点としてその創成期を切り開き、以降、環境試料、生体試料、宇宙起源の試料などに関する多くの放射化分析ユーザーを支えてきた。また、マルチカウンター・ゴニオメーターなどの独創的な計測装置の開発により短寿命核種の核分光学的研究を進展させるとともに、これらの装置開発は、その後、ガンマ線摂動角相関法やメスバウアー分光法を用いたRIをプローブとした研究へと継承されている。特に、白川英樹博士(2000年ノーベル化学賞受賞)によって、放射性ヨウ素を用いたメスバウアー実験によりポリアセチレ

ンに関する研究が行われたことは、エポックメイキングな出来事であった。

トレーサ棟は、全国の数多くの大学等の共同利用ユーザーにも利用され、さらに、学部学生の実験演習、修士課程及び博士課程の研究教育にも貢献し、大学での原子力研究の基礎・基盤を支えてきた歴史的価値を持つ施設である。

構造・機能

トレーサ棟は鉄筋コンクリート平屋建て(一部二階と地下)の主棟と、廊下で接続された生物別棟から成っている(図1)。主棟はX線回折装置などの大型実験装置が設置されているコア部分と、その周りにある物理、化学、生物系の実験室などから構成されている。各化学実験室にはステンレス鋼製ケミカルフードが据え付けられ、非密封状態のRIの化学操作が可能である。また、トレーサ棟は100m程離れたホットラボ棟ホットケープ室と圧気輸送管で結ばれ、試料が封入されたポリエチレン製カプセル(直径4cm、長さ10cm)を迅速に受け取ることが可能であり、その取出口が化学実験室No.1に設置されている。さらに、物理系・生物系の実験室には、電子顕微鏡、各種分析装置やインキュベータなどが設置されている。

2002年(平成14年)には、高経年化対策の一環とし

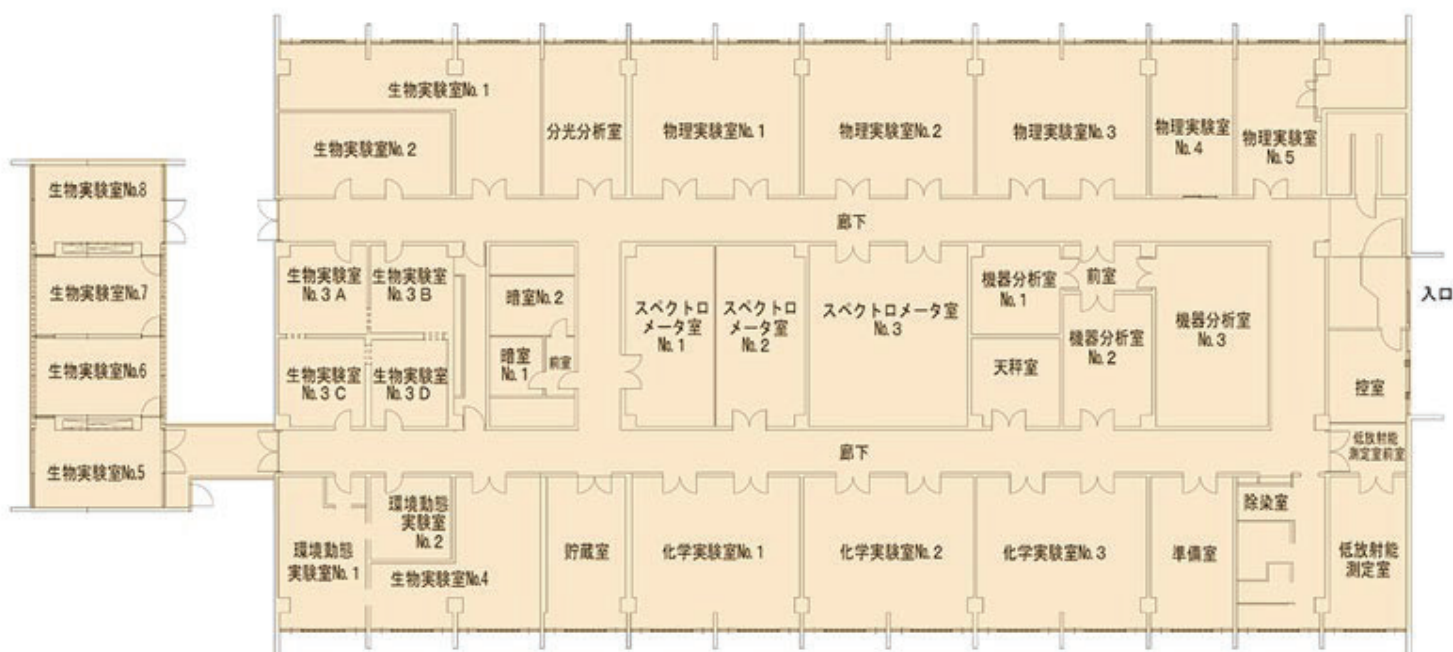


図1 トレーサ棟内の概略

て、RI空調ダクト改修や実験室床材の更新などが実施された。さらに、2014年(平成26年)に大規模な耐震補強及び機能改修工事が行われた。機能改修においては、RI排水系など給排水管の更新(屋外RI排水管の二重管化は2013年(平成25年)に実施)、気密性・断熱性の向上、屋上防水、配電盤の更新など基本インフラが再整備された。特に、RI空調設備においては、排風機の性能向上が図られるとともに、吸気側には大型除湿機が設置された。これにより、多湿期における棟内環境が改善され、さらに、各実験室のエアコンからのドレイン水が抑えられたことによりRI廃水の排出量が低減され、放射性廃棄物処理に対する負担が軽減されている。一方、利便性の点では、物品用保管室や除染室の改装、及び、正面玄関周辺においては、扉の自動ドア化、物品搬入出用スロープの設置、共同利用者控室の改装などが行われた。また、ほぼ同時期に、生物系実験室において、フードの更新や動物飼育設備が整備された。

これら一連の改修により、施設の安全性が確保された上に、施設管理者・利用者のアイディアも採り入れられたため、使い勝手も含め実験環境もかなり向上した。

利用状況・今後の展望

建設当初、RIを利用した放射化学・放射化分析・核分光学的研究などから始まったトレーサ棟での研究は、現在、RIをプローブとした物性科学、分析科学、X線回折や電子顕微鏡などを用いた材料科学、たんぱく質構造や放射線影響の研究、ホウ素中性子捕捉療法に関わる基礎医学、及び地球科学を含めた環境科学などへ広がり、所内の各研究室や共同利用研究者の研究及び院生・学生の研究教育に利用されている。(棟内で遂行されている研究は多岐にわたり、紙面の都合上、それら一つ一つを紹介できない。詳しくは複合研の各研究分野のHPをご覧ください。)

複合研においては、放射性物質が利用できるトレーサ棟の重要性は高まると思われる。使用施設としての環境は整えられ、今後は、その特長を生かした多彩な研究に柔軟に対応できる施設となることを目指している。



図2 全面改装された屋上。手前に太陽光パネル、奥に大型除湿器用室外機と二階機械室が見えている。



図3 玄関と管理区域境界付近。大型物品の搬入・搬出が容易となった。

トレーサ棟施設管理者

谷口 秋洋(粒子線基礎物性研究部門・核ビーム物性学研究分野 准教授) / 飯沼 勇人(技術室)

アクチノイドを含む分子の理論計算

原子力基礎工学研究部門・アクチノイド物性化学研究分野 砂賀 彩光 助教

水兵リーベ僕の船(H,He,Li,Be,B,C,N,O,F,Ne)。これらの元素は身の回りにもたくさんありますが、全て周期表の上の方の元素(軽元素)です。水(H₂O)のH-O-H角度は104.5度である、二酸化炭素(CO₂)は2重結合を持つ等、軽い分子の性質は高校の化学でも習います。一方、私の研究ターゲットは、周期表の下の方に位置している元素(重元素)です。その中でも、ウランやプルトニウム等の「アクチノイド」に特に興味を持っています。それでは、重元素を含む分子は、どのような構造や化学結合を有しているのでしょうか？



重元素系では、原子核の核電荷が大きくなります。すると、原子核の周りを動いている電子は、光の速さに近くなります。光速に近い電子の理論研究を行う場合は、アインシュタインが提唱した「相対性理論」に基づいたシミュレーション(相対論計算)を行う必要があります。

周期表の同族元素(同じ縦の列に並んでいる元素)は似たような性質を示す、と習った方もいると思います。しかし、この相対性理論の効果により、周期表の下の方の重元素は、軽元素では見られない興味深い性質を示します。例えば、ウランの2原子分子(U₂)は、4重結合を形成することが報告されています。私は、相対論計算を行うためのプログラム開発や、アクチノイドを含む分子の相対論計算を行っています。

可能であれば、全ての分子や化合物について実験を行うことが理

想です。しかし、そのためには膨大な時間や費用が必要です。放射性元素やアクチノイドを使用する場合には、安全管理上のコストも掛かります。理論計算を行えば、実験を行わずに分子の化学的性質を予想することができます。また、実験では化学現象の「結果」が得られるのみですが、理論計算では「現象が発生するメカニズム」を説明できます。実験と理論の協奏により、アクチノイド物性化学を抜本的に進展させようと考えております。

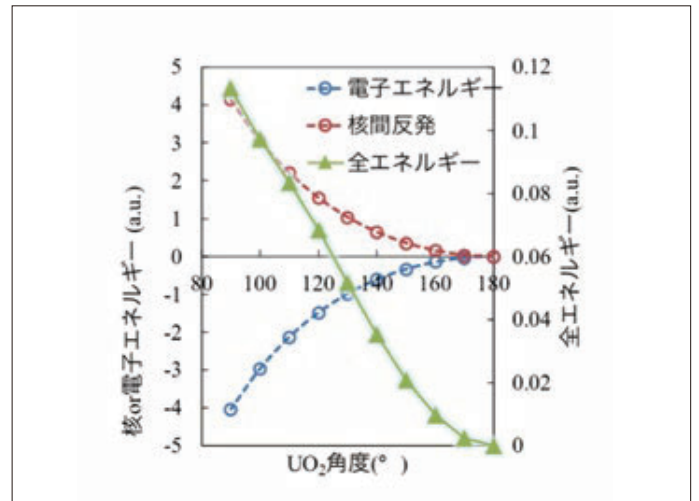


図 相対論計算に基づくUO₂²⁺の構造

サイクロトロン加速器を利用した中性子源の検討

粒子線基礎物性研究部門・中性子応用光学研究分野 中村 吏一朗 助教

中性子は電荷を持たず透過性が良いことから、分厚い構造材の非破壊検査に用いられたりします。また、他の放射線(X線、電子線)と異なり、軽い元素(水素やリチウムなど)に敏感に反応するため、電池材料の観察などに多く利用されてきています。中性子は自然環境でも発生しますが、研究に利用するためには高い強度の中性子が安定的に供給される必要があります。そして、その中性子源として最も利用されてきているのが研究用原子炉です。



京都大学複合原子力科学研究所(京大複合研)は研究用原子炉(KUR)の共同利用を通じて西日本での原子力分野の研究開発・人材育成で中心的な役割を担ってきています。しかし、KURでの使用済み核燃料の廃棄受け入れ期限が迫っており、2026年度以降の運転継続は未定となっております。したがって、KURの代替となる中性子源の整備が喫緊の課題となっております。

京大複合研のサイクロトロン加速器は30 MeV 1 mAの陽子ビームを取り出し、Be標的に照射することで大きな中性子生成(10¹⁴ n/s)が見込まれます。現在、この加速器を利用した中性子源にはBNCT臨床に適した中速の中性子(熱外中性子)用のビームポートのみが設置されています(図1)。KURで実施されている研究を遂行するためには、低速の中性子(熱中性子)を多く取り出せるようにしなければなりません。特に、BNCTの基礎研究のためには単位時間あたりに多くの熱中性子が必要となります。

我々の研究グループでは新たなポートをシミュレーションで構築し、BNCT基礎研究に利用できるかの評価を行っています。今の所、考案したポートはBNCT基礎研究の遂行に耐えうるパフォーマンスを出

せることが計算結果から推察されています。現在はポートから出てくる放射線を屋内に閉じ込めるための遮蔽設計など、実際の建設に資するデータを蓄積しております(図2)。今後もテンポを上げて、ビームポート建設に向けた取り組みを進めていきたいと考えております。

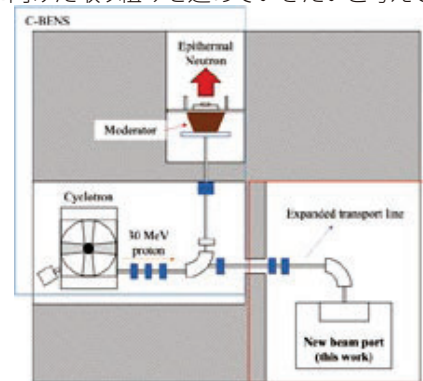


図1 既存のポート(青枠内)と追加のポート(赤枠内)の位置関係

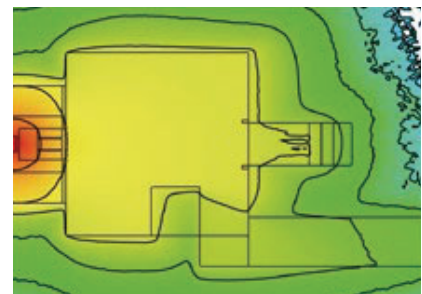
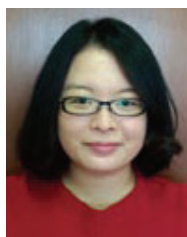


図2 左端ターゲット付近から広がる線量分布(遮蔽計算)

構造と機能の関係性に着目したタンパク質の溶液構造解析

粒子線基礎物性研究部門・粒子線物性学研究分野 奥田 綾 助教

私たち生物の構成成分であるタンパク質は非常に多くの種類が存在し、それぞれが生命現象を担う様々な機能を持っています。中でも私はタンパク質の構造を形作る酵素群PDIファミリータンパク質に興味を持って研究を進めています。PDIファミリータンパク質は機能を司る部分(活性中心)が酸化型の場合は酸化反応を行い、還元型の場合は還元反応を行います。これらの反応を駆使して基質タンパク質のジスルフィド結合を繋いだり正しく架け替えたりすることで、構造を正しく形成させます。この反応過程において、PDIファミリータンパク質が酸化/還元機能を発揮するには、自身も機能に応じた適切な構造をとっていると考えられます。また、タンパク質は溶液状態の細胞内で絶えず揺らいでおり、その揺らいでいる構造(ダイナミクス)が機能を発揮するのに重要であると考えられています。



私はX線や中性子による小角散乱法を用いて、溶液中で揺らいでいるタンパク質の構造観察を進めています。最近では、高度に精製したタンパク質試料を用いて高精度のX線小角散乱(SAXS)測定を行うことにより、PDIファミリーに属するER-60というタンパク質は活性中心が酸化型のものが還元型のものよりも僅かに広がった構造をとっていることを明らかにしました。この僅かな構造の違いは、非常に高い純度までタンパク質を精製する技術と、高精度の測定技術、分子動力学シミュレーションによる解析技術を組み合わせることにより観察が可能となりました。私はこれまで様々なタンパク質を扱う中で

試料調製技術を培ってきたのですが、測定と解析に精通した様々なバックグラウンドを持つ研究者と協力し、今まで誰も見ることができなかった溶液中のタンパク質の構造解析に挑戦しています。特に現在は、機能と構造の関係性をより深く追及するため、中性子小角散乱(SANS)法による特定の機能を持った部分に着目した構造解析を目指し、新たな試料調製技術の確立に取り組んでいます。

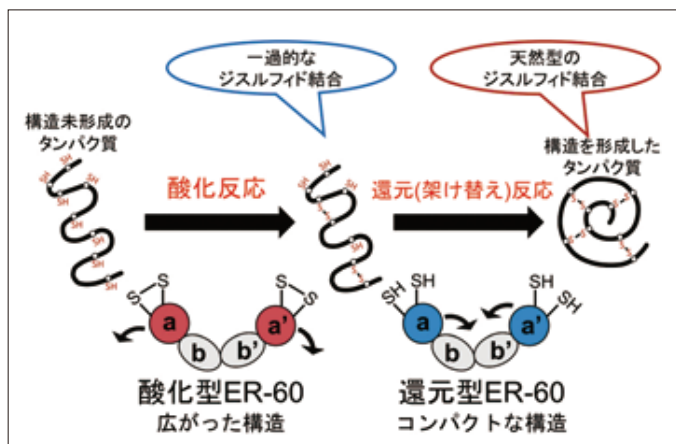


図 ER-60の酸化的フォールディング反応と構造

鉛ビスマス共晶合金の膨張現象

安全原子力システム研究センター・熱エネルギーシステム研究分野 大平 直也 助教

高速炉には、鉛ビスマス共晶合金(以下、LBE)や金属ナトリウムなどの液体金属を用いて原子炉を冷却します。LBEの融点は125℃で、非常に低い温度で融解する金属です。



また、LBEは固体でも非常に興味深い性質を持っており、固体になると徐々に膨張していきます。具体的には、100時間から1000時間をかけて体積が1%程度大きく(すなわち密度が低下)なります。ほとんどの金属は凝固すると体積が縮み、それ以上変化することはありませんが、LBEでは全く逆の現象が発生します。この現象が、例えば配管の中で発生すると配管が変形する恐れがあります。したがって、この現象を工学的に解明することは重要です。私はまず、膨張現象を定量化する研究と、その膨張によって発生する圧力を明らかにしました。しかし、また別の課題が発生し、凝固したLBEと固体金属(ステンレス鋼など)の接着強度によって発生する圧力が変化するということが徐々に明らかになりました。よって、固体金属同士の接着強度を正確に測定する必要があります。

私は、これを測定するためにパルス中性子源を用いた実験と、電子部品に用いられるはんだ付けの評価手法などを応用することで、これを明らかにしようとしています。パルス中性子源を用いると、これまでパルク金属であまり実施されてこなかった結晶構造の解析を行うことができ(図1)、かつそれを二次元的な分布として得ることができるので、LBEの膨張によって発生する内部の変形を明らかにできると期待しています。

またKURでは、中性子とX線を用いたイメージング技術の発展に貢献しています。特に中性子やX線によるCTでは、普段見ることができない物体の中身を可視化することができるので、非常に興味深く

思っています(図2)。私は、KURに来て成果を創る様々なユーザーの補助ができ、かつ自らも成果を出せるようになりたいと思っています。

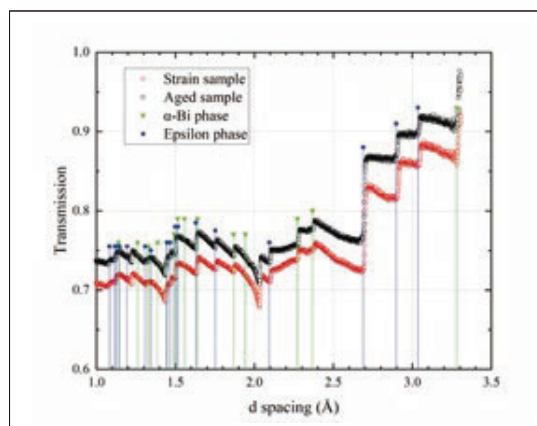


図1 LBEのパルス中性子スペクトルの解析結果

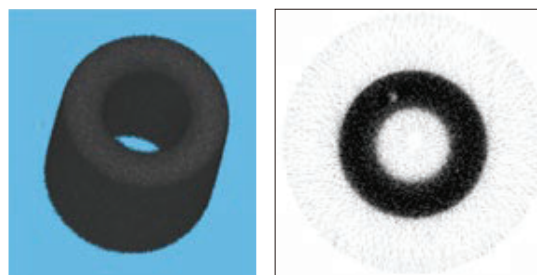
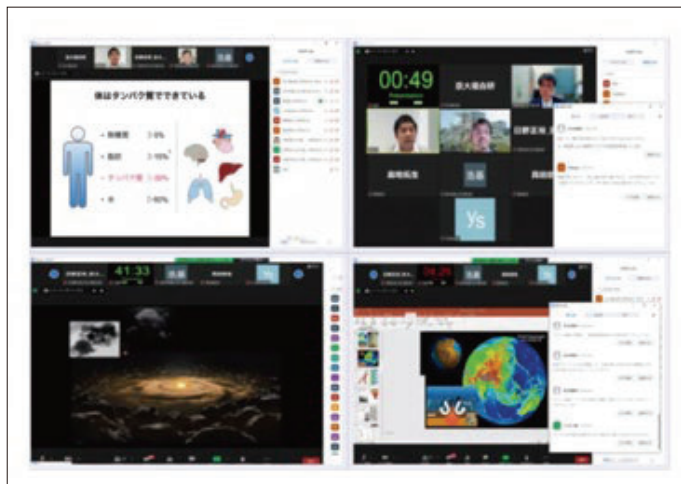
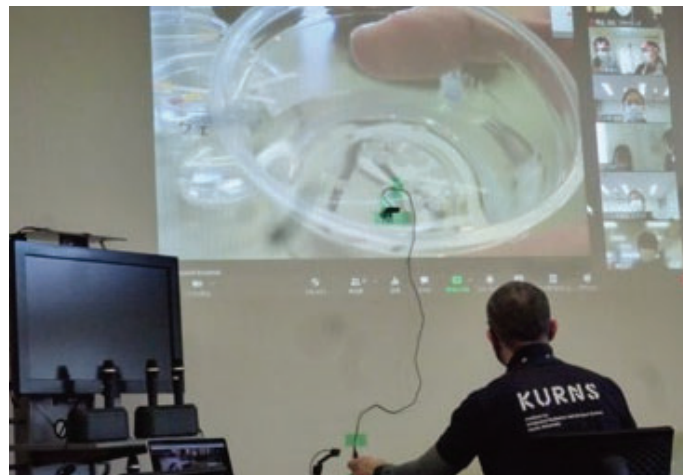


図2 直径1mmの穴をあけた銅のシリンダーの中性子CT再構成結果と断面図

アトムサイエンスフェア講演会2021

学術情報本部・学術公開チーム長 田中 浩基

2021年10月24日(日)13:30~16:00、アトムサイエンスフェア講演会2021がオンライン配信により開催されました。当研究所 高田 匠 准教授による「タンパク質中にある年輪—新しい老化の指標について—」、当研究所 奥地 拓生 教授による「水素と水と地球の歴史の研究」の2つの講演を行いました。例年、本講演会は熊取交流センター(煉瓦館)「コットンホール」にて行われておりますが、昨年度と同様に今年度も新型コロナウイルス感染対策のためオンライン開催となりました。参加者は74名でした。Q&Aの書き込みによる質疑応答が活発に行われ、大変実りある講演会となりました。



アトムサイエンスフェア実験教室2021

学術情報本部・実験教室チーム長 木野内 忠稔

2021年11月7日(日)13:30~15:30、アトムサイエンスフェア実験教室2021がオンラインで開催されました。例年、本実験教室は当研究所会議室にて対面で実施しておりましたが、昨年度は新型コロナウイルス感染拡大の影響により中止となりました。今年度は感染防止の観点からオンラインでの開催を試み、小学4~6年生を対象に、「カラフルなイクラを作ろう!」と「望遠鏡を作ろう!」の2つの実験を行いました。初のオンライン開催でしたので参加人数を11名に絞って実施しましたが、画面を通して丁寧に内容を伝えることを心がけたことで、対面と同様に実施できました。



技術室(研究炉部) 阿部 尚也(あべなおや)

出身地:大阪府富田林市 略歴:近畿大学理工学部応用化学科卒

Q1. 複合研に来られたいきさつを教えてください。

国家公務員2種化学で当時の原子炉実験所を希望しました。化学専攻ですので廃棄物処理関係の業務を想像していましたが、下記に示すように電気関係が強い職場となりました。

Q2. 現在の職務内容について簡単に教えてください。

電子線型加速器施設(通称ライナック)の運転・保守・管理を主にしております。運転では電子線のみならず、中性子線・X線・放射光など多種多様な実験に応じたビーム調整を短時間でできるように取り組んでいます。保守では冷却水や真空などありますが、主には高電圧を含む電気関係の作業が多いです。

Q3. 出身地のご当地自慢をお聞かせください。

歴史ある寺内町を有していることと、PL関係(花火や平和塔)です。特に平和塔は地元に戻ってくると目印になるので、発見すると帰ってきた雰囲気になります。写真はスーパームーンと平和塔のものです。

Q4. 趣味はなんですか？

過去にはボウリングをしていましたが、ここ数年は環境が変わってできていません。他には配球を考えながらの野球観戦や、ナンバープレイスなどの論理パズルなど少し考えるものが多いです。また、小さいころからTVゲームを良くしています。

Q5. モットーを教えてください。

モットーとは少し違うかもしれませんが、使えるものはできるだけ長くの精神でいたいと思っています。上記のTVゲームでも本体やコントローラーを分解修理して使っており、この経験が保守作業にも生かされています。



中央管理室 小野 雪佳(おのゆか)

出身地:大阪府泉南郡熊取町

Q1. 複合研に来られたいきさつを教えてください。

研究所と縁のある方からの紹介で2006年に研究室の事務補佐員として採用されました。2019年から中央管理室に所属しています。

Q2. 現在の職務内容について簡単に教えてください。

各施設に設置されている警報装置の監視業務、各種教育訓練、保守管理等原子炉施設の安全管理・保安に関する事務業務を行っています。

Q3. 出身地のご当地自慢をお聞かせください。

永楽ダムや犬鳴山など周りに自然が多いことです。近くに大きな図書館もあり、よく利用しています。

Q4. 趣味はなんですか？

●楽器(バイオリン): 団員数15人程の弦楽器だけの合奏団に入っています。所属団体以外の市民オーケストラや、トリオ、カルテット等少人数で演奏することもあります。終わった後の達成感と打ち上げは最高です。

●歩く&走る: ある雑誌でメドックマラソンの記事を読んでどうしても参加したくなり、歩くところから始めました。今は気が向けば歩いたり走ったり、のんびり続けています。

●パン作り: パウンドケーキの型でミニ食パンを作ることが多いです。発酵は室温でゆっくりと。電子レンジの簡易オープン機能でも意外と美味しく焼けます。

●キャンプ(秋~初春): 「ひとりキャンプで食って寝る」というドラマを見てからハマりました。焚き火と美味しいごはんが目的です。蒸し

たての豚まんが食べたくなり、最近竹製の蒸籠を買いました。野外で使う日が楽しみです。



2021年度の講師派遣等について

複合原子力科学研究所では、地域広報活動の一環として「講師派遣」の取り組みを行っています。

■関西学院高等部への講師派遣

2021年5月27日(木) 高校3年生を対象に、放射線および原子力発電について講演と質疑応答を行いました。

講師：山村 朝雄 教授

■滋賀県放射線実験教室への講師派遣

2021年7月31日(土) 小学生5、6年生および中学生を対象に、放射線などについての講演および霧箱実験を行いました。

講師：講師：三澤 毅 教授 他

■NPO法人シニア自然大学校への講師派遣

2022年1月12日(水)「放射線と放射能の話ー広島及び長崎原爆由来の放射性降下物に関する自分の研究結果を交えて」と題して講義を行いました。

講師：藤川 陽子 准教授

講師派遣のお申し込みは、下記までお問い合わせください。

●総務掛 FAX:072-451-2600

ホームページからも申込みできます。

<https://www.rii.kyoto-u.ac.jp/pr/lecturer>

学術公開について

4月を除く毎月1回月曜の13:00～16:00に学術公開(施設の見学など)を開催いたします。ご関心のある団体、個人の来所をお待ちしております。構内において、飲食は可能ですが(アルコール飲料を除く)、禁煙および火気厳禁です。また、ペット同伴での入場はできません。申込などについての詳細は、複合原子力科学研究所のHPをご覧ください。

4月に開催を予定しておりました一般公開・桜公開については、現在の新型コロナウイルス感染拡大の状況に鑑み、感染拡大防止のため、2022年度の開催を中止といたします。何卒ご理解のほど、よろしく願い申し上げます。

公式LINEアカウントについて

研究成果、イベント等の情報をお知らせします。ぜひ「友だち登録」をお願いします。



表紙の写真について

巻頭特集に関連した「トレーサ棟」正面玄関付近の写真です。トレーサ棟では多岐の分野にわたる実験研究が行われており、研究炉の利用を支える重要な施設となっています。

アトムサイエンスフェア講演会2021を開催しました。

日時：2021年10月24日(日)13:30～16:00、オンライン開催

参加者：74名

●『タンパク質中にある年輪ー新しい老化の指標についてー』 高田 匠 京都大学複合原子力科学研究所 准教授)

●『水素と水と地球の歴史の研究』 奥地 拓生 (京都大学複合原子力科学研究所 教授)

*詳細は「ASKレポート2」参照。

アトムサイエンスフェア実験教室2021を開催しました。

日時：2021年11月7日(日)13:30～15:30、オンライン開催

参加者：小学4～6年生11名

●実験テーマ：『カラフルなイクラを作ろう!』、『潜望鏡を作ろう!』

*詳細は「ASKレポート2」参照。

第56回学術講演会を開催しました。

日時：2022年2月9日(水)10:00～17:30、10日(木)10:00～15:10、オンライン開催

参加者：2日間でのべ192名(学内157名、学外35名)

●プロジェクト研究成果講演1『Gd-NCT研究の基礎的検討』鈴木 実 (京都大学複合原子力科学研究所 教授)

●プロジェクト研究成果講演2『BNCTにおける正常組織研究』鈴木 実 (京都大学複合原子力科学研究所 教授)

●プロジェクト研究成果講演3『アクチノイドの物性化学と応用』山村 朝雄 (京都大学複合原子力科学研究所 教授)

●プロジェクト研究成果講演4『材料照射及び欠陥評価における研究手法の高度化』木野村 淳 (京都大学複合原子力科学研究所 教授)

●他に、新人講演4件、ユニット研究活動報告3件、一般講演40件(Zoomブレイクアウトルームを使用)

編集後記

新しいデザインとなって1年経ちましたが、見慣れましたでしょうか？本誌だけでなく、巻頭特集で取り上げた「トレーサ棟」のように、研究施設・管理施設等も安全性・利便性・保守性等の向上の観点から随時更新されてきています。今後も本研究所内の様々な施設・装置の「進化」を紹介する予定です。ご期待下さい。

櫻井良恵

次号以降の配布を希望される方は、総務掛までご連絡ください

広報誌「アトムサイエンスくまとり」に対するご意見、ご感想をお待ちしています。総務掛までお知らせください。

京都大学複合原子力科学研究所 総務掛

〒590-0494 大阪府泉南郡熊取町朝代西2丁目

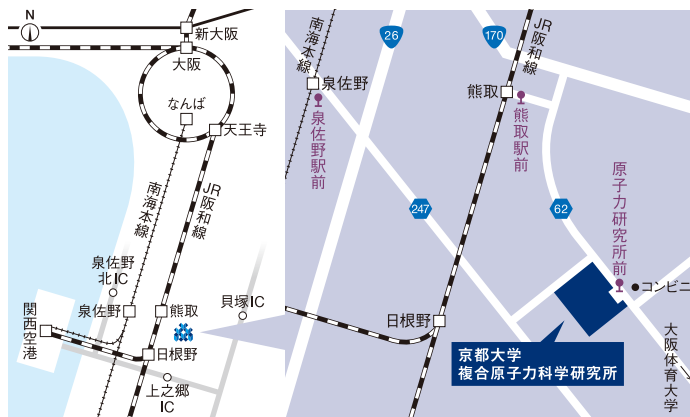
電話：072-451-2300

ファックス：072-451-2600

電子メールアドレス:soumu2@rii.kyoto-u.ac.jp

ホームページ:<https://www.rii.kyoto-u.ac.jp/>

●本誌の一部または全部を無断で複写、複製、転載することは法律で定められた場合を除き、著作権の侵害となります。



南海ウイングバス「原子力研究所前」下車すぐ

※JR熊取駅前発「大阪体育大学前」行き、または「つばさ丘北口」行き(所要時間約10分)

※南海本線 泉佐野駅前発「大阪体育大学前」行き(所要時間約30分)