

vol. **28**
2021 秋冬号

ATOM SCIENCE KUMATORI

アトムサイエンスくまとり

京都大学複合原子力科学研究所広報誌

Vol. 28
2021
秋冬号



巻頭特集 複合原子力科学研究所の放射線管理

- ASKレポート1 研究所附施設と核燃料物質を用いた実験的研究 | アクチノイド化合物の新奇な磁気的性質の探索 | 原子核物理とその応用の研究
多成分溶液中でのタンパク質構造解析
- 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
- ASKレポート2 本研究所における「新型コロナウイルスへの対応」
- ASKレポート3 文部科学大臣表彰・科学技術賞

ATOM SCIENCE KUMATORI
アトムサイエンスくまとり

発行：京都大学複合原子力科学研究所
〒590-0494 大阪府泉南郡熊取町朝代西2丁目
TEL: 072-451-2300 FAX: 072-451-2600

編集：学術情報本部出版チーム

発行日：令和3年9月1日

制作／印刷：(有)フォトスベース・アールエス

はじめに

京都大学複合原子力科学研究所は、研究用原子炉(KUR)、臨界集合体実験装置(KUCA)、電子線型加速器(ライナック)、固定磁場強収束(Fixed Field Alternating Gradient; FFAG)加速器など、複合的で多様な放射線や放射性物質(放射性同位元素; RI)を利用できる共同利用・共同研究施設となっており、求められる放射線管理も、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(炉規法)と放射性同位元素等の規制に関する法律(RI規制法)の両方に縛られることになります。そのため、放射線管理部は、単純に放射性同位元素に関わる放射線を扱うだけではなく、原子炉施設に係わる放射線も広く扱うことになります。原子炉施設に係わる毎日の点検作業、屋内、屋外における放射線管理、放射線業務に従事する研究者の被ばく線量の管理など守備範囲は本当に幅広く、もしかすると日本一なのかもしれません。しかし、福島第一原発事故後の厳しい規制(法令規制)対応の中で、安全管理の重要性は増す一方です。放射線管理部は、この後に紹介されるRI管理室や、他の管理部室とも協力しながら、複合原子力科学研究所で働く人々と、周辺に居住されるみなさんの安全と安心のために日々活動しています。

放射線管理部の仕事の内容

もう少し具体的に仕事内容を説明します。放射線管理部は、①屋内管理班、②野外管理班、③個人管理班の3つの班で構成され、より詳細に任務分担を行っています。①屋内管理班は、1)放射線管理用のモニタや装置などの点検・記録、2)管理区域への出入り管理、3)汚染検査など、4)KUR起動前のモニタ点検、5)KUR連続運転中の外部線量率の測定・記録、6)書式の受理及び記入事項の確認(放射線管理窓口)、7)放射性物質等の管理(所内でのRI運搬、所外でのRI運搬、所内の全てのRIや加速器の使用の管理と汚染検査、8)各種の作業や工事に関連した立会・測定(外部線量率、表面密度、放射能濃度)などに当たります。②野外管理班は、1)周辺環境の放射線モニタによる監視、2)周辺環境放射線(能)レベル測定、3)風向・風速など気象観測データの取得、4)これらの装置の保守・点検、5)地元協定に基づく環境放射能調査、6)放射性気体廃棄物による被ばく線量評価などを行います。③個人管理班は、1)個人の外部被ばくの線量の測定・評価、2)内部被ばくの線量の評価、3)被ばく線量の記録・放射線業務従事者への写しの交付、4)身体汚染時の

対応、5)書式の受理及び記入事項の確認、6)個人線量計や防護具の貸出などに対応します。この分担とは別に、毎日の点検や全国から来訪する共同研究利用者の対応(物品持出検査、RI持出時の汚染検査、個人線量計の貸し出し等)にあたる放管当番があります。

みなさんからはなかなか見えない仕事の部分もあるかもしれませんが、放射線管理部の日常の仕事が無ければ、研究所の安全管理が成り立っていないという自負をもって日夜奮闘しています。メンバーは、技術職員5名(栗原、牧、山田、三宅、前本氏)、教員6名(高橋知之、木梨、八島、藤川、中村の5名の先生方に加えて著者の五十嵐)、非常勤職員2名(左官、久禮氏)となっていますが、ほとんどのメンバーが他の安全部室の兼任となっています。

まとめ「見えないけれども重要な安全管理」から「見える安全管理」に

放射線は目では見えませんし、匂いもしませんし音も出してくれません。そのため、場所の汚染を防止し、みなさんの無用な放射線被ばくを防止するために、測定機器や測定用具を用いて放射線や放射性物質を検知しています。これらの活動全般を支えているのが放射線管理部といえましょう。放射線管理は、放射線のように、あるいは空気のように、見えない方が良い研究サイトだ、良い安全管理だという風潮も過去にはあったかもしれませんが、今後はもっとみなさんから見える形で、どのような意味があるのかを示しながら、その活動をホームページなどで報告して行きたいと考えています。どうぞよろしくお願いいたします。

放射線管理部長 五十嵐 康人



RI払い出し時の汚染検査風景



屋外モニタリングポスト修理



環境試料の採取



野菜の前処理



線量計貸し出し風景



RI管理室スクリーンショット

RI管理室の紹介

次に、RI管理室長の黒崎より、RI管理室の紹介をします。京都大学複合原子力科学研究所では、「放射性同位元素等の規制に関する法律」に基づき放射性同位元素等の取扱い及び管理に関する事項を放射線障害予防規程で定めています。RI管理室では、放射性同位元素の安全管理に関する業務、X線発生装置等の安全管理に関する業務、特定放射性同位元素の防護措置に関する業務を行っています。

2021年度から、RI管理室は副室長二名体制をとっています。一人目の副室長の牧氏は、放射線管理に関する豊富な知識、深い理解、的確な判断力を有しており、RI

に関して特に専門性を有する業務、例えば、RI変更申請及び国・大学本部対応並びに規程類の運用を担っています。もう一人の副室長の奥村氏は、その高い人間力をいかして、RI管理室の庶務運営、RI管理室が関係する管理区域設備関係対応、KWFS(電子申請システム)の維持管理等を担っています。技術職員からは、牧氏と奥村氏の他に飯沼氏と竹下氏が室員となっています。飯沼氏は、主に実験設備やRI防護に関する業務を担っています。竹下氏は、主にX線発生装置に関する業務を担っています。教員からは、沖先生、高橋知之先生、関本先生が室員となっています。RI管理に関して抜群の実績を有されている沖先生と高橋先生には、特に、RI変更申請や規程類の整備の面でサポートいただいています。関本先生は、ホットラボの整理整頓と改善の提案という今後の管理のモデルとなりうる重要な業務を担っています。左官さん、吉田さん、久禮(くれ)さんは、保健物理室の窓口業務、RI変更申請作業の補助、室の業務用データベースの開発と維持及び予算管理といった事務的な仕事を担っています。RI管理室では月に一度オンライン室会議を開催しており、室員それぞれ

ぞれの仕事の内容、進捗、今後の進め方等を、室員全員で共有しています。

以上、本稿では、RI管理室で働く人たちと、その仕事の内容をごく簡単に紹介してきました。ほとんどの室員は他の部室を兼務していますが、RI管理という旗印のもと、RI管理室という一つのグループができています。寄合的なところはありませんが、意外とよいチームワークで仕事ができていると感じています。今後ともRI管理室をよろしくお願いいたします。

RI管理室長 黒崎 健

研究所附施設と核燃料物質を用いた実験的研究

原子力基礎工学研究部門・核物質管理学研究分野 高橋 佳之 助教

本研究所では、研究用原子炉 (KUR) をはじめ、臨界集合体実験装置 (KUCA)、電子線型加速器 (ライナック) 等、様々な附施設で核燃料物質を使用することができます。これを安全に管理することを第一優先に、貴重な研究資源として活用することも非常に重要です。ここでは、研究所内にあるこれらの施設・装置を利用した私の研究の一部を紹介したいと思います。



原子力の平和的利用の拡大に併せて、核燃料物質の不法な流出等を防ぐために核セキュリティ技術の向上が世界的にも求められています。これを受けて、京都大学グループでは、放射線計測技術を用いて、輸送用コンテナ等に隠匿された特定核物質を感知する核物質探知システムの研究開発を進めています。可搬型で、特定のエネルギーを持った中性子を発生させる中性子源の開発を行い、この特性と核分裂反応を利用した測定手法を開発しました。核燃料物質が中性子を吸収すると、高いエネルギーを持った中性子を放出します。この中性子は、元々の中性子源から発生した中性子よりも高いエネルギーを持っており、この高いエネルギーの中性子を検出することで核物質を感知することが可能となります。現在、KUCAに保管されている核燃料物質を用いてシステムの実証試験を実施しています。

また、KUCAにおいては、福島第一原子力発電所の燃料デブリ取り出し時の安全確保が必要とされる未臨界監視装置の開発を英国ランカスター大学と進めています。この監視装置には、小さな空間に挿

入可能で、非常に高い放射線場においても機能するような中性子検出器を使用する必要があります。そこで、小型で遠距離でも通信可能な耐放射線性のある新しい中性子検出器を開発しました。今後、KUCAでこの検出器の性能試験を実施する予定です。この他にもKUCAでは、次世代炉燃料として注目を集めているトリウムという核燃料物質があり、これを用いた実験的基礎研究を行っています。トリウムの臨界実験結果は学術的にも貴重であり、ライナックで実施する微分実験と併せて、今後も継続的に研究を進めていきます。

核燃料物質と合わせて原子炉や加速器を使える施設は世界的にも貴重であり、海外研究者の利用も増えています。近年では、英国ブリストル大学と連携し、KURやライナックを用いた新しい原子力電池開発のための基礎研究等も行っております。

現在、KUCAでは、これまでの燃料とは異なる低濃縮ウランを用いた世界初となる新しい燃料の作成を、海外の研究機関、企業と協力して進めております。KUCAへの低濃縮燃料導入後は、この新しい燃料の基礎データを世界に供給するとともに、KUCAの積極的な活用を進めていきたいと考えています。



KUCA固体減速架台

アクチノイド化合物の新奇な磁気的性質の探索

原子力基礎工学研究部門・アクチノイド物性科学研究分野 田端 千紘 助教

原子炉燃料としてよく知られているウランやプルトニウムは、アクチノイドと呼ばれる元素群の一種です。アクチノイドとは元素周期表の一番下の周期に位置する原子番号89~103の元素群を指し、全て放射性です。原子力分野での工学応用からだけではなく、基礎科学の観点からも非常に興味深い元素群として認識されています。



原子には電子が入る「軌道」という入れ物があり、原子番号が増えるに従い、エネルギーの低い軌道から順々に詰められていきます。アクチノイドでは5f軌道とよばれる軌道に電子が順次詰められていきますが、この完全に満たされていない非占有5f軌道があることで、非常に多彩な磁気的性質 (磁性) を示します。磁性は非占有3d軌道を持つ遷移金属 (鉄、コバルトなど) や、非占有4f軌道を持つ希土類 (ネオジムなど) にも見られますが、アクチノイド化合物には5f電子特有の性質 (軌道の広がりや強い相対論的效果) に起因した独特な磁性が見られます。例えば、いくつかのウラン化合物では、低温で磁石の状態 (強磁性状態) になりつつ、同時に超伝導体にもなるという稀有な物質が存在します。強磁性体 (磁石) が発する磁場は超伝導状態を破壊してしまう、というのがこれまでの定説であったため、両者が同じ物質で共存するのは驚くべきことです。他にも、結晶内で電子のスピンが渦を巻いたように整列するトロイダル秩序 (図1下) や、スピンだけでなく軌道も渾然一体となって整列した状態を示す物質も見つかっています。私はそのような5f電子の多彩な秩序状態を研究対象として、物質合成と量子ビーム実験による研究を行っています。最近では、トロイダル秩序を示すウラン化合物について、渦構造を引き起こすことが理論的に可能な結晶構造が実現していることを、精密なX線結晶構造解析から明らかにしました (図1上)。このような研究を行うには、興味深い性質を示す物質の合成が

欠かせませんが、ウランを使用した合成実験を行える場所は限られています。複合研のホットラボはそれが可能な貴重な環境であり、実験環境の充実にに向けた活動にも日々取り組んでいます。

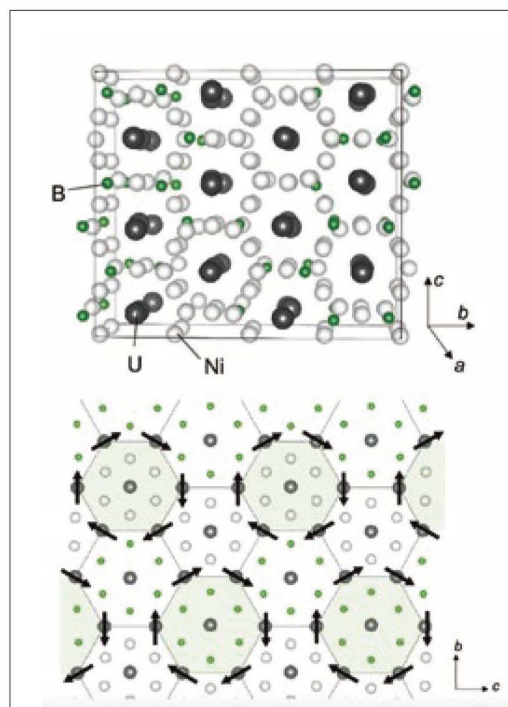


図1 ウラン化合物 (UNi₄B) の渦状の結晶構造 (上) と磁気構造 (下)

原子核物理とその応用の研究

粒子線基礎物性研究部門・核ビーム物性学研究分野 谷垣 実 助教

原子の中心にある原子核は陽子と中性子が結びついてできています。自然界に約300存在する安定な原子核では陽子と中性子のバランスが取れていますが、理論上8000個存在すると予想されている不安定な原子核では陽子と中性子のバランスが大きく崩れており、安定な原子核に見られなかった性質が次々と発見されています。その中でも特に宇宙の元素合成でも重要な役割を演じている中性子過剰な不安定な原子核の構造(陽子と中性子の結合や運動状態など)について電磁気モーメント(磁石としての能力や電荷分布)の精密な測定による研究を進めています。

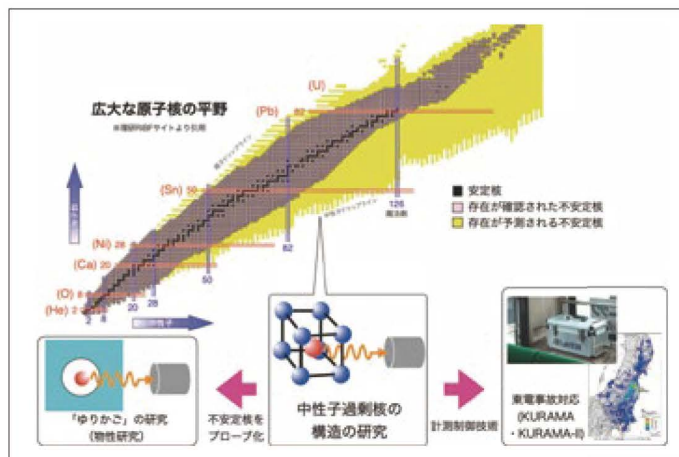
不安定な原子核の電磁気モーメントの測定では、不安定な原子核をビームにして「ゆりかご」となる内部構造のよくわかった結晶格子に植え込んで留めた後、ナノ秒程度の非常に短い時間の間に立て続けに放出される放射線の強度変化で歳差運動を観測することが多いです。であれば、電磁気モーメントがわかっている不安定な原子核を未知の「ゆりかご」に入れてやれば「ゆりかご」の中の状態を知ることが出来るはず。実際その通りで、可視光の波長よりも小さく内部の状態を知ることが極めて困難なウルトラファインパブルの中に不安定な原子核を導入し、パブル内の圧力の直接測定に成功しました。

不安定な原子核の電磁気モーメント測定では、放射線検出器やデータ処理の技術、不安定な原子核のビーム生成や制御の技術も



必要です。この計測・制御技術を活用したのが東電福島第一原子力発電所事故を機に開発したGPS連動型放射線自動計測システムKURAMA/KURAMA-IIです。事故直後より福島県をはじめとする東日本一帯の環境放射線の大規模かつ継続的なモニタリング活動で被災地の復興に大きく貢献しており、国内だけでなくIAEAやUNSCEAR他の国際機関からも高く評価されています。

このように自分の研究や取り組みが分野を超えて広がっていくのは研究者として大変楽しいものです。



多成分溶液中でのタンパク質構造解析

粒子線基礎物性研究部門・粒子線物性学研究分野 守島 健 助教

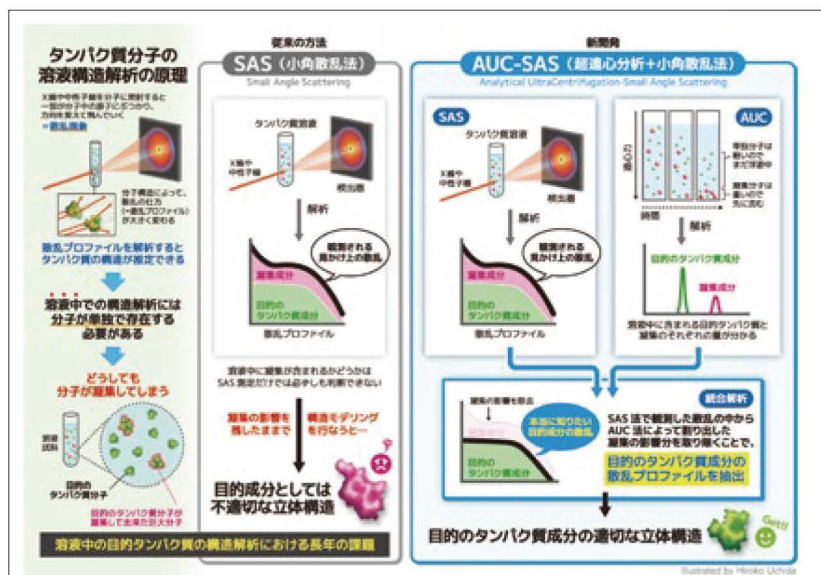
生命機能の理解には、タンパク質の構造を解明することが大変重要です。X線や中性子をプローブとして用いた小角散乱法 (Small Angle Scattering; SAS) は生体内に近い溶液中のタンパク質構造を解析できる強力な測定法です。近年は解析プログラムの発達により、以前より高分解能な立体構造を得ることができるようになりました。一方で、このような高度の解析を行うためには、目的とするタンパク質の高品質な実験データ(散乱プロファイル)を得ることが必須です。しかしながら、溶液中に目的タンパク質以外に異なる構造を持つ複数の成分が共存する場合 (= 多分散/多成分系)、溶液中の全成分の寄与を反映した散乱プロファイルが得られます。特に、複数のタンパク質が会合した「凝集」は分子量が大きく、目的タンパク質に対して僅か数%程度の存在比率であっても散乱プロファイルに大きく影響を及ぼしてしまいます。このような散乱プロファイルから得られるタンパク質構造は凝集の影響を強く受けるため、目的タンパク質の本来の構造と異なります。即ち、誤った解釈になる可能性があります。

私は上記の問題を解決するため、溶液中に存在する各分子の分子量とその重量濃度比を求められる超遠心分析 (Analytical UltraCentrifugation ; AUC) に注目しました。このAUCで得られる情報を用いて散乱プロファイルから凝集の寄与を除去し、目的タンパク質のみの散乱の寄与を得ることができる解析法「AUC-SAS法」の開発に取り組んできました。AUC-SAS法で得られる高品質な散乱プロファイルにより、従来



よりも高度な構造生物学的議論が可能になると期待されます。

現在はこのAUC-SAS法の適用を拡張して、解離会合平衡系のように生体環境により近い複雑な多成分溶液中でのタンパク質構造解析に取り組んでいます。



技術室(実験設備管理部) 吉野 泰史(よしの ひろふみ)

出身地:大阪府岸和田市 略歴:大阪工業大学機械工学科塑性工学専攻

Q1. 複合研に来られたいきさつを教えてください。

複合研の裏にあるゴルフ場によく遊びに来ていて、高校生の頃から複合研の存在は知っていました。国家公務員試験二種に合格したところ、当時の原子炉実験所よりオファーがあり、これも何かの縁と感じ入所しました。

Q2. 現在の職務内容について簡単に教えてください。

実験設備管理部の副部長をしており、部の統括業務や各施設および研究室の支援を行っています。最近では、事業者検査対応やFFAGの火災復旧作業の支援を行っていました。

Q3. 出身地のご当地自慢をお聞かせください。

私は岸和田生まれの堺育ちで、岸和田はご存じの通り、だんじりです。一方、育った堺は老舗のおいしい店が多く、是非皆さんに行ってもらえればと思います。

Q4. 現在の趣味を教えてください。

若い頃は、冬場の週末はほぼ雪山で過ごすほどスキーを頑張っていました。しかし、年には勝てず、現在は代わりの趣味として始めた釣りにハマっています。これまでの自慢の釣果は1mを超えるブリやサワラで、いつかはマグロを釣り上げたいと思腕を磨いています。

Q5. ご自身のモットーを教えてください。

常にアグレッシブであることを心掛けるようにしています。最近、少し控えめなのがいいと言われますが、若い人々には常にアグレッシブ、ギラギラして欲しいと思っています。



技術室(放射線管理部) 前本 桂太(まえもと けいた)

出身地:大阪府堺市 略歴:大阪府立大学 工学部 機械工学科

Q1. 複合研に来られたいきさつを教えてください。

国立大学法人等職員統一採用試験に合格した後に機関訪問させて頂いたことがきっかけです。初めは、原子力という福島事故など危険なイメージが強かったのですが、研究所を見学しながら説明をしてもらう中で、BNCTなどの医療や中性子の活用といった放射線利用の利点や研究内容に興味を持ち、この研究所で働きたいと考えました。

Q2. 現在の職務内容について簡単に教えてください。

放射線管理部に所属しております。(ちょうど今号の巻頭特集となっている部署です。)

そこで、法令に基づいて放射線モニタの値に異常がないかを日々確認するとともに、放射線モニタの保守などを行うことで、近隣の住民や所員、共同利用者の安全を守る仕事をしています。

安全で最適な放射線管理をするためには、正しい知識や経験が必要となるため、よりよい放射線管理ができるよう日々勉強しています。

Q3. 出身地のご当地自慢をお聞かせください。

出身地は大阪府堺市です。有名なものでは、世界一大きなお墓(仁徳天皇陵)があります。ただ、個人的に1番のいいところは美味しいご飯屋が多いところです。

特に府立大学の近くには安くて、美味しいお店がたくさんあるので、近くに行った際は是非行って見て下さい。私のおすすめを3つあげると、丸徳ラーメンと味の店 一番(味噌カツ)、豚麺(カツ丼、オムライス)です。

Q4. 趣味はなんですか？

ゲームが好きで、いろんなジャンルのものを遊んでいます。特に、対人ゲーム(ストリートファイター、スマブラ、ポケモン)などが好きで、友人と通話しながら対戦しています。最近では、子供が遊びたい

盛りなので、一緒に全力で遊んでいます。

Q5. モットーを教えてください。

「継続すること」です。結婚式が近づいてきたときに、一生に1度の機会なのだから、ダイエットをしようと決意しました。その際に、ジム通いや、きつい運動をしても一瞬で挫折してしまい、自分の意思の弱さを痛感しました。そこで、いろいろと試行錯誤した結果、簡単なことでも毎日継続することが1番だと実感しました。(結婚式には、全く間に合いませんでしたが…)



本研究所における「新型コロナウイルスへの対応」

複合原子力科学研究所 中島 健 所長

2020年春に新型コロナウイルス感染症が国内の活動にも影響を与えるようになり、同年4月には初めての緊急事態宣言が発出され、当研究所の活動を大幅に制限する事態となりました。しかし、この時点で、新型コロナウイルスとの闘いが、これほど長期に及ぶものであることを見通していた人はほとんどいなかったものと思います。国内での患者発生から1年半近くが経過した本年7月12日には、東京都に4度目の緊急事態宣言が発出され、また大阪府等へのまん延防止等重点措置が延長となり、まだ先が見通せない状況が続いています。新型コロナウイルスへの当研究所における初期対応につきましては、川端前所長が、本誌Vol.26に記載しておりますので、本稿では、主にその後の対応状況について述べることにします。

当研究所では、2020年2月より所長を室長とする新型コロナウイルス対策室（当初は拡大所長室として活動）を設置し、対応方針の策定、実施を行ってきました。この対応に当たっては、京都大学が策定している方針及び当研究所の立地自治体である大阪府の方針に従うことは当然ですが、原子炉施設や核燃料・RI（放射性同位体元素）を取り扱う大型施設を有していること、また、全国共同利用研究所として全国の研究者が共同利用のために来所する、という当研究所独自の状況を適正に反映した方針とする必要があります。第1回目の緊急事態宣言下（2020年4月7日～5月21日）では、施設の安全管理に必要な要員のみが出勤することを原則とした活動制限（研究所の活動制限レベル4）としていましたが、その後は、健康管理の徹底、マスク

着用・手洗い実施・3密回避等の感染防止策を実施することにより、共同利用を再開しています。この感染防止策の一つとして、正門において職員に対して実施している「検温システム」の設置があります。この検温システムは職員有志の提案により設置が決まったのですが、職員の健康状態の把握に役立つとともに、人手で行っていた検温作業の負担及び感染のリスクを大きく減らすものとなっています。

第1回目の宣言解除後は、感染拡大の程度に応じて、活動制限レベルをレベル2から1の間で設定しており、第2回目（2021年1月13日～2月28日）、第3回目（2021年4月25日～6月20日）の緊急事態宣言下においても、共同利用を完全に止めることなく、その必要性が認められるものは実施することとしました。それでも、多くの利用者の皆様には、ご不便・ご迷惑をおかけしたことと思います。現在、全国的にワクチン接種が進んでおり、京都大学でも7月から職域接種が開始となりました。これにより、今後状況が大きく改善することを期待しております。当研究所では、今後も感染状況の変化に応じた対策を講じるとともに、その情報を適切に発信*していくこととしますので、皆様のご理解・ご協力をお願いいたします。（2021年7月12日 記）

*参考：共同利用掛からのお知らせのサイト

<https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/inter-univ/news>

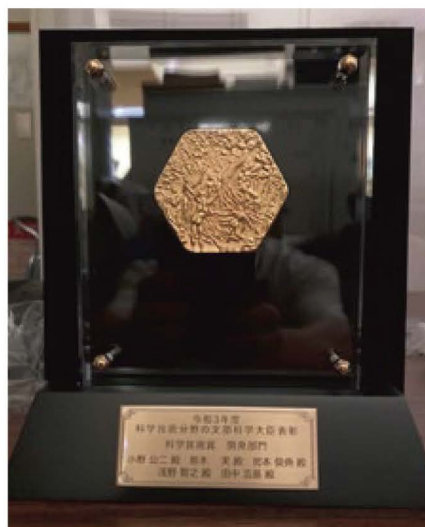
ASKレポート3

文部科学大臣表彰・科学技術賞について

粒子線腫瘍学研究センター粒子線医学物理学研究分野 田中 浩基 教授

京都大学研究用原子炉（京大炉）におけるホウ素中性子捕捉療法（Boron Neutron Capture Therapy: BNCT）の臨床研究の経験と成果及び住友重機械工業株式会社の加速器技術を元に治療システムを設計・構築しました。この治療システムではサイクロトロンとベリリウム標的を採用することで、京大炉の1.5倍量の中性子を安定に生成することが可能となりました。また、従来臨床研究で用いられてきたL-4-boronophenylalanine (L-BPA)フルクトース溶液は安定性に課題がありましたが、D-ソルビトールを溶解補助剤とすることで、不安定性が解消しました。これにホウ素-10同位体濃縮技術と組み合わせることで、ステラファーマ株式会社によりBNCT専用ホウ素薬剤が実現しました。

治療システムとホウ素薬剤によるBNCTの臨床試験を行い、医療機器及び医薬品としての製造販売承認を取得し、世界初の加速器BNCTの保険診療実現に貢献してきました。これらの成果が認められ、令和3年4月14日に「世界初の加速器ホウ素中性子捕捉療法システムの開発」として令和3年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞を受賞しました。



本メダルの図版は古代ローマの建築家ヴィトルヴィウスにより著された「建築十書」（フランス語版1547年刊行）の挿絵と考えられる。

科学技術の象徴として、「人類と火の関わり」の図のデザイン化したものである。

受賞者：小野 公二、鈴木 実、密本 俊典、浅野 智之、田中 浩基

