

# アトムサイエンス くまとり

vol.21  
2018 春夏号

<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/>

巻頭特集 「原子炉実験所」から  
「複合原子力科学研究所」へ



京都大学原子炉実験所広報誌

# 「原子炉実験所」から「複合原子力科学研究所」へ

原子炉実験所長・川端祐司

## 研究所名称の変更について

原子炉実験所は昭和38(1963)年に京都大学の附置研究所として設立され、京都大学研究用原子炉(KUR)や京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)の利用を中心とする全国共同利用研究所として活動してきました。平成22(2010)年からは、共同利用・共同研究拠点に認定され、より一層の努力を積み重ねてきたところです。さて、このたび自らの役割及びその特長を見直した結果、よりふさわしくかつ「我々の意図」を明示するものとして研究所名を平成30(2018)年4月1日付で変更することにしました。

## なぜ名称変更を行うのか

今回、「原子炉実験所」の名前の由来を記録した資料を探して見ましたが、残念ながら適当なものを見つけることは出来ませんでした。その由来には所内でも諸説ありますが、研究所の50年史の「回顧録」を見ますと、研究所設立に深く関わられた住田健二先生(大阪大学名誉教授)が、「…KURがこれほど学問的な成果を挙げているにもかかわらず、今日に至るも「研究所」という格付けを与えられていないことである。…京大附置の自由さを持った「実験所」ではなく、やはり「大学の研究所」にしてもらえないものだろうか?」と締めくくっておられます。所内での記憶は薄れつつあるものの、「実験所」という他では見られない(やや変わった)名前には、設立時の経緯に何らかの特別な意味合いがあったと推察されます。

さて、研究所設立以来、半世紀以上が経過し、我々の意識や周囲の意見も大きく変化しました。現在、原子炉実験所が求められているものは、「原子炉の安全管理は最優先であることは言うまでもありませんが、それだけでは不十分であり、高度な研究成果の創成が必須」というものです。KUR建設当時は、「原子力」の黎明期であり、研究用原子炉を安全に運転・管理を行うことだけで「最

先端の活動」でした。しかし現在では「研究用原子炉は中性子源として優れてはいますが、やはり研究用ツールの一つに過ぎず、それを用いてどのような研究成果をどの程度生み出しているかが重要」ということが学術界での共通認識となっています。「原子炉の安全確保」は、現実には最重要かつ最優先課題ではあります。我々に求められていることは、さらにその先の、それらを用いて行う「高度な研究」です。

原子炉実験所に集まった研究者は、研究用原子炉という研究ツールを使うという共通点がありますが、逆に研究分野を問わないという特徴があります。通常の研究所は、研究分野を研究所名とし、その分野の研究者が集まって研究を発展させます。それに対して、原子炉実験所では、通常の研究所では出会う機会がほとんど無い様な異分野の研究者が日常的に接触するという「他では得がたい機会」があるのです。その結果、今まで無かった新しい分野が、「異分野が出会うことに触発されて生まれてくる」ことが期待できます。そして、このようにして生まれた新しい学問分野のことを我々は「複合原子力科学」と名付け、これこそが我々の「長所」であり、これからも伸ばすべき特長だと考えています。その例としては、ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)や加速器駆動システム(ADS)などといった複数の「研究領域」が融合して生まれてきた分野が挙げられます。

これまでの研究所名(原子炉実験所)は「研究ツール」を冠したものでしたが、それを我々が担うべき研究分野名を新たな研究所名(複合原子力科学研究所)にしたいということが、今回の改名の理由です。

## 我々は何を目指すのか

京都大学原子炉実験所は、工学・理学・農学・医学など様々な研究分野のコミュニティに対して、原子力を利用した研究を推進する「実験の場」を開発・提供するところから始まり、さらに複数の「研究領域」が融合した「複合

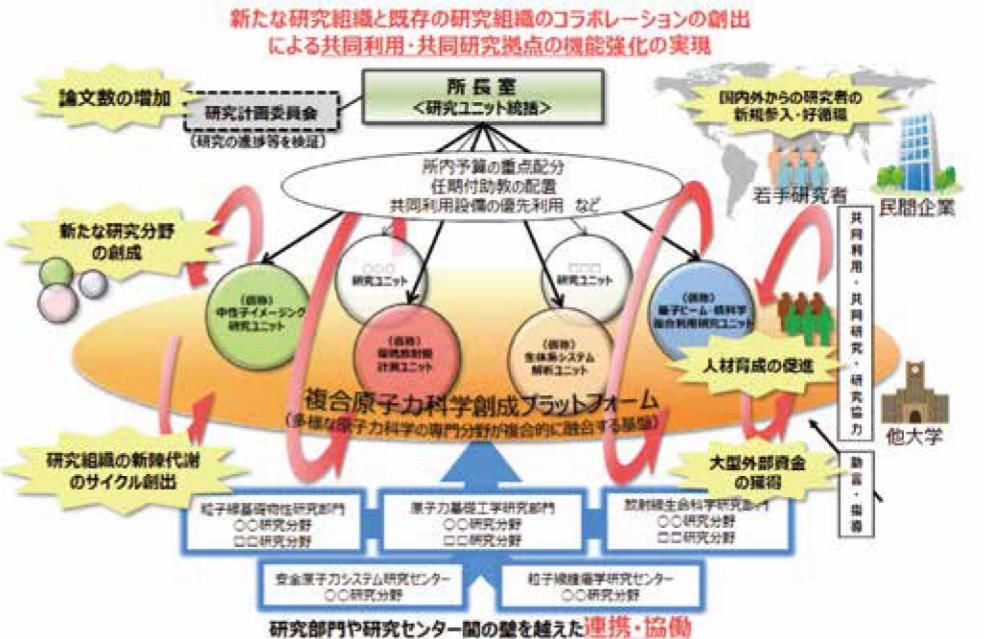
原子力科学」を生み出してきました。

我々は、多様化する社会の諸課題解決へ大学独自の学術的視点を一層効果的に活用して、異分野が融合した「複合原子力科学」を加速・推進し、放射線や放射性物質の利用等によって、基礎科学、医学応用、農業、工業分野での産業応用など多岐にわたる研究教育を行い、エネルギーの安定供給、医療技術、食料問題などの多様化する諸課題を解決していくうえでの社会的役割を果たすことを目指します。

また、国内の研究炉の動向等を踏まえると、原子力利用を支える関連コミュニティにとって、本研究所の役割的重要性は増しています。このような環境下において、現在果たしている共同利用・共同研究拠点の機能を維持し、複合原子力科学研究分野を主導・提供する使命を担っていることを改名によって内外に強く明示し、その価値を一層高めていきます。

より具体的には、改名すると共に、研究組織については、"研究フィールド"の融合を加速・促進する研究ユニットを立ち上げる改組を行うことにより、特徴的かつ多様な測定手段(中性子放射化分析、陽電子消滅、中性子・X線構造解析、メスバウアーフィルタ等)を同一サイト内で実施できる環境を生かし、外部研究者の参加も得た分野を融合した"複合原子力科学"を創成する『複合原子力科学創成プラットフォーム』を構築し、今後もコミュニティの研究活動をより強力にリードして行こうと考えています。

今後、さらに、中性子をはじめとする放射線および放射性物質とそれらを利用できる施設を共同利用・共同研究に供するとともに、放射線利用と核エネルギー利用をコアとした基礎的・萌芽的な実験的研究を行い、新しい複合原子力科学研究の展開を行います。すなわち、研究用原子炉による実験及び原子力・放射線の有効利



部局名称変更に伴うユニット制の導入について－「複合原子力科学創成プラットフォーム」の構築－

用の研究などといった世界に誇る独創的かつトップレベルの研究の深化と展開を図り、関連研究分野の拠点としての役割を果たして行きたいと考えております。

改名により気持ちを新たにし、所員一同、より一層研究教育の発展に努めて参ります。今後とも、皆様方のご支援・ご鞭撻をお願い致します。



所長 川端祐司



# ASKレポート1

## 研究ハイライト

### 電子ライナックによる放射性核種の製造

原子力基礎工学研究部門放射能環境動態工学研究分野  
窪田卓見助教

放射性核種は放射線を放出する物質であり、一般にはあまり好まれない物質のひとつです。しかし、ガムマ線を放出するものは、その透過力の強さから非破壊分析に用いることができるので、重要な物質もあります。このような有用な放射性核種を、京都大学原子炉実験所の電子ライナックで製造することができます。電子ライナックは電子を加速して高エネルギーの電子を発生させる装置ですが、この高エネルギーの電子を白金に照射して得られる制動放射線を用いて放射性核種の製造を行います。研究炉(KUR)でも放射性核種の製造は行えますが、反応機構が異なるため、研究炉では製造が難しい核種を製造することができます。放射性核種の製造では、原料の元素とは別の元素を製造することができます。例えば、水銀から金を、カドミウムから銀を製造することができます。ただし、生産量は少なく放射性物質ですので、残念ながら、これで商売をするのは難しそうです。それでも、分析に使う分には、十分な放射能を得ることができます。



ウムやカドミウムを原料にして放射性核種を製造し、放射性核種の土壤に対する吸着、植物への移行および動物体内への蓄積に関するトレーサー実験を行っています。また、高レベル放射性廃棄物(核のゴミ)の地層処分において、安全評価上、重要な核種である<sup>135</sup>Csの環境中での挙動についての研究を進めています。上述の手法で製造した<sup>135</sup>Csを用いて、環境試料の処理方法の高度化および測定手法の開発を行っています。成果のひとつとして、環境試料中の<sup>135</sup>Csの分析により、放射性セシウムの起源が原発事故か大気圈核実験かを示すことができました。この成果を基に、原発事故(原子炉)由来の放射性セシウムの拡散に関する研究に繋げたいと考えています。

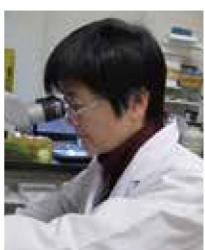


植物(かんきつ類)への放射性核種の移行係数の測定

### タンパク質の構造を明らかにする

粒子線基礎物性研究部門中性子物質科学分野  
喜田昭子助教

生物のカラダは、大半がタンパク質から出来ています。このタンパク質は、健康食品のCMなどでお馴染みになった「アミノ酸」という分子が鎖状につながり複雑な「構造」をとつて、初めて機能するようになります。水はH<sub>2</sub>Oですが、比較的小さなタンパク質であるリゾチウムというタンパク質でもC<sub>616</sub>H<sub>963</sub>N<sub>193</sub>O<sub>182</sub>S<sub>10</sub>で、あまりに複雑なので、化学式を見るだけではどこがどうなっているのか判りません。そこで、「タンパク質の構造解析」が必要になります。構造がわかると、そのタンパク質の活性部位に結合させて機能を失わせる「阻害剤」を設計したり、酵素タンパク質を産業利用するときにはどうすれば酵素の最大限の能力を引き出せるか、を考えたりする道が開けるので、構造情報はとても重要です。



の位置が、中性子線では水素の位置がわかりますので、相補的に使用することで格段に精密な構造が得られます。原子炉実験所は中性子線が利用できる施設ですが、タンパク質結晶の中性子線回折実験では非常に大きくて良質な結晶を必要とし(写真)、その上、タンパク質の水素をなるべく重水素に置換することが求められるので、結晶の巨大化、重水素置換の汎用的な方法の開発を進めています。またそれに加えて、中性子線を使ってタンパク質変性過程を明らかにする研究に着手しています。

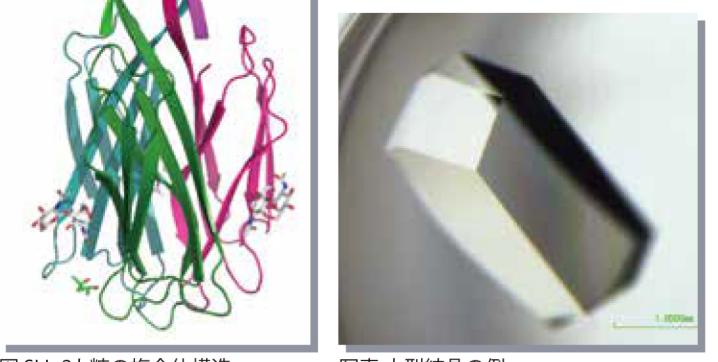
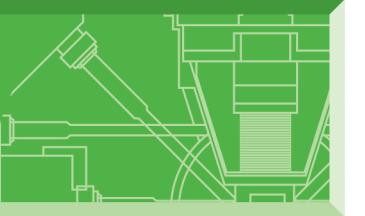


図:SLL-2と糖の複合体構造

写真:大型結晶の例



### 放射線耐性細菌の放射線耐性機構に関する研究

放射線生命科学研究部門放射線機能生化学研究分野  
齊藤毅助教

自然界には実に様々な環境が存在し、生物は多くの環境に適応できるよう多様な進化を遂げてきました。そして、高温環境、高塩濃度環境、強酸性環境、強アルカリ性環境等、我々の常識に基づくと生物の生存にとって大変過酷と考えられるような極限環境下においても生存可能な生物種が存在しています。このような生物種の過酷な外環境への適応機構を解明することは生物進化の全体像を捉え、進化の多様性を考察する上で極めて重要な情報を提供することになると考えられます。



それらの生物の中において、ある種の細菌は放射線に対して極めて高い抵抗性を有していることが知られています。この放射線耐性細菌の放射線に対する卓越した耐性機構は、生物の環境適応機構を考える上で大変興味深い研究対象であり、その耐性機構解明に向け世界中で多くの研究がなされています。

私は、この放射線耐性細菌の放射線耐性機構に関する研究を始めたに当たり、それら放射線耐性細菌の共通の特徴である生体脂質中に存在する赤色色素に注目しました(写真)。これまでに私は、「複数の代表的な放射線耐性細菌の含有赤色色素の構造を決定し、それらが特異な構造を有するカロテノイド分子であること(図)」「それらカロテノイドが極めて高いラジカル<sup>\*</sup>除去活性、抗酸化活性を有すること」「放射線耐性細菌のカロテノイド非産生株は放射線に対する

抵抗性が著しく低下すること」「カロテノイドが放射線照射による生体脂質損傷に対して防護効果を示すこと」等を明らかにしてきました。これらのことより私は、「放射線耐性細菌細胞中においてカロテノイドが、放射線によって生成するラジカルや活性酸素<sup>\*</sup>を除去し、細胞膜等の生体脂質構造を防護することによりその放射線耐性に寄与する」という生体防護機構を提唱しています。今後は、このような細菌の外的ストレスに対する防護機構のより詳細な解析を進めるとともに、どのような生体防護機構がどのように進化してきたかを明らかにしていきたいと考えています。

<sup>\*</sup>ラジカル、活性酸素は反応性の高い化学種であり、放射線によって生体内で生成し、放射線の生物影響に大きく関与する。



写真:代表的な放射線耐性細菌*Rubrobacter radiotolerans*(上)、*Deinococcus radiodurans*(下)(それぞれ細菌の学名)のコロニー(細胞の塊)

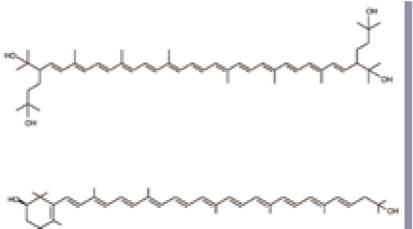
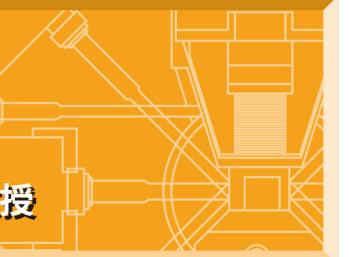


図:代表的な放射線耐性細菌*Rubrobacter radiotolerans*(上)、*Deinococcus radiodurans*(下)の含有赤色カロテノイド色素の構造

### ASKレポート2 平成29年度職員技術習得研修の報告 原子力基礎工学研究部門研究炉安全管理工学研究分野・高橋俊晴准教授



かれその境目を中性帯と呼ぶこと、下の層では遠くまで見通せるので何が燃えているのか見える可能性があること、放水や立った姿勢での避難により中性帯が崩れてしまうので、放水する前に中性帯があるかどうか確認することが重要であるとの話がありました。ふだんは目にすること耳にすることがない知識ですので大変参考になりました。

最後は放水総合訓練です。これまでの復習として、参加者のみで可搬型ポンプの起動、ホース3本の接続、実際の放水により標的を倒すところまでを行い、研修会は終了しました。

実験所には原子力防災のための全教職員で構成する緊急作業団があり自衛消防団も兼ねています。放射線災害に限らず、一般的の事業所や家庭と同様に火災が起こる可能性はゼロではありません。万一発生した場合に備え、年2回の防災訓練や本研修会のような技術研修を通じて、所員一人一人の防災意識・知識の向上および技術の習得に引き続き努めてまいります。



空気呼吸器取扱訓練の様子



放水総合訓練の様子

## 原子炉とともに過ごした波瀬万丈の40年

### 安全原子力システム研究センター 原子力防災システム研究分野・釜江克宏教授

原子炉実験所にお世話になり約40年になります。先輩方にはこのように実験所で始まり実験所で終わつた方が多くおられましたが、最近では珍しい存在です。実験所の良き時代も悪しき時代もいろいろな立場で経験してきました。

建築学(構造学)の大学院を出て、特に将来のことも考えずに原子力の世界に飛び込みました。実験所にとっても私にとっても波瀬万丈の40年間でした。就職のきっかけでもあった2号炉(高炉性束炉)計画とその後の撤回、研究・教育職への移動、強震動予測研究と言う新たな分野への挑戦、原子炉施設の設計・建設、KURの耐震バックチェック、KURやKUCAの新規制基準対応など、学生時代の専門とその後の研究テーマを生かし、研究者(教育者でもあり)と技術者の2足のわらじを履いた生活でした。特に2005年(平成17年)に教授に昇進以後は、2年間の副所長(安全管理担当)在任期間も含め、KURなどの耐震関係を含めた規制対応に明け暮れた日々でした。

今から30年近く前の1990年ごろ、将来の大地震時の強震動(地面の強い揺れ)を予測する重要性と必要性を背景に、それまでに地震学の世界で始まっていた強震動予測研究(断層モデルを用いた予測)を建築や土木構造物の耐震設計に生かすべく、工学の分野に積極的に手法やその有効性を発信するとともに、手法の高度化研究に没頭しました。現在、予測地震動は特に高層ビルや重要構造物、中でも原子力発電所などの耐震設計に必要不可欠な情報となっています。



プルトニウムは放射能毒性の強い物質であるが、一方、アルファ線のような放射線は粒子放射線と呼ばれ、細胞を殺傷する作用が強いので、上手く使えば非常に効果的な癌の治療法になる。重粒子線治療やホウ素中性子捕捉療法(BNCT)がその代表例である。私の研究もまた、プルトニウムの影響研究から、粒子線によるがん治療などの医学利用の研究を含めた研究へと広がっていった。放射線の悪い影響(放射線障害)と良い影響(放射線によるがん治療)の両面について、放射線管理の立場から研究を進めてきたのである。

10年前に千葉の放医研から原子炉実験所に異動後も、放射線の安全管理と放射線の医学利用(特にBNCTの基礎研究)の両面で研究を行ってきた。東京電力福島第一原子力発電所の事故は様々な点で極めて残念な出来事であり、事故を契機に地味な学問領域である放射線管理学が注目されたことは複雑な心境である。親切な先輩や同僚、職員の皆さん、暖かい心遣いの研究室スタッフ、そして優秀な学生さんに囲まれて、研究者人生の最後の10年間を原子炉実験所で過ごせたことに感謝している。

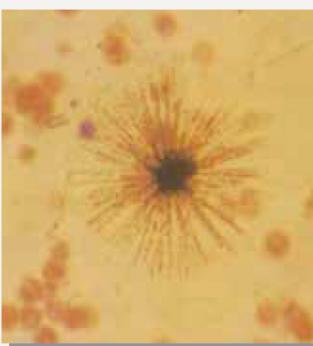


写真:マウス血液中のプルトニウムのオートラジオグラフィー(放射線自画像)。プルトニウムを投与した実験動物の血液や組織をガラス板の上に広げ、その上に特殊な写真フィルムを重ねると、アルファ線の通ったところ(飛跡)が黒く感光する。ウニのトゲのように見えるのがプルトニウムから放出されたアルファ線の飛跡である。プルトニウムは長期間にわたってアルファ線を出し続け、体内の沈着部位の近くの細胞を攻撃して、がん細胞に変えてしまうのである。

## 放射線管理学をして40年

### 原子力基礎工学研究部門 放射線安全管理工学研究分野・高橋千太郎教授

私が京都大学の大学院を出て、千葉にある放射線医学総合研究所(放医研)に採用されてから、ちょうど40年がたつ。採用された部署は、内部被ばく研究部といって、放射性物質を体内に取り込んだ時に起こる放射線被ばく(内部被ばく)に関する実験研究を行う我が国で最初の研究グループであった。研究テーマは「プルトニウムの人体への影響」であり、プルトニウムを安全に管理するために必須のデータであるプルトニウムの発がん率(どれくらいの量を摂取すると、どれくらいの確率でがんになるか)を実験動物で求めることであった。それ以降、放射線の人体への影響(良い影響(放射線治療)と悪い影響(放射線障害)の両方)を明らかにし、そのデータに基づき放射線を安全に管理するための方策を提示する研究(放射線管理学)に従事してきた。

私が研究を始めた1970年代は、先進国のが核燃料サイクルといって、原子炉で使った使用済みの核燃料からプルトニウムを再処理工場で取り出し、それを使って発電するという利用方法の開発が試みられ、それに伴って世界各国でプルトニウムの人体への影響研究、特に発がんに関する研究が進められたのである。プルトニウムは、ヘリウムの原子核でできたアルファ線という放射線を出すので、きわめて強い生物効果を有している(写真)。悪魔の元素とか、地球上で最も毒性の強い物質などと言われる所以である。厳格な放射線管理が必要で、その基礎となる生物効果(発がん率)に関する基礎的なデータを出すことが私の研究者人生の始まりであった。

す。特に30年前に提案した手法(統計的グリーン関数法:発表当時は統計的波形合成法と命名していた)が今も種々の分野で使われています。こうした研究が前述の耐震バックチェックや新規制基準への規制対応に生かされました。特に2011年東日本大震災以降は、原子力関連施設の耐震安全性は単に基準を満足するだけではなく、新知見を取り入れた科学的根拠に基づき審査されるようになったことが、その背景にあります。そうした新規制基準対応が無事終わり、KUCA、KURとも約3年ぶりに運転を再開し、以前のように多くの研究者に利用され、KURではがん患者さんへの医療照射も毎週のように実施され、感謝の声も届いてきます。退職間際まで続いた規制対応の忙しさも吹っ飛び、今は安堵の気持ちで一杯です。

最後に、研究用原子炉を有する原子炉実験所での約40年間、原子炉の地震に対する安全性向上を目指した地道な研究に取り組ませていただいた諸先輩先生方に感謝申し上げるとともに、安全・安心な原子炉の取り組みにご理解、ご協力いただいた自治体や防災機関の担当者の皆さんに心から感謝申し上げます。また、実験所の皆様にはこれからも安全最優先に、原子炉を最大限活用しつつ、さらなる発展を期待したいと思います。ありがとうございました。

## 熊取滞在記

### 原子力基礎工学研究部門 同位体製造管理工学研究分野(大槻研究室) 短期留学生Tuさん



Hello everybody,

My name is Tu, came from Vietnam Agency for Radiation and Nuclear Safety. I am writing to express my good perception while working in Kyoto University Research Reactor Institute. At first, I would like to say thank you all for the people who are working in Professor Ohtsuki's laboratory (Isotope Production and Application) for their kindly support and help me for such the past and upcoming time.

It is now a nice autumn time when I really come to study here; my research category was "Neutron Activation Analysis (NAA) for the environmental materials". I think I am lucky because currently the reactor facilities were re-operated after of Fukushima accident, so Japan was in re-establish period time.

In my research, the content mostly included a determinedness of elements concentrations in suspended particulate matter (SPM). There is something useful for my future job in the Vietnam regulatory body such as review and assessment the safety of neutron application for an upcoming research reactor or participate in environmental monitoring project in Vietnam.

Beside the study, this is also an opportunity to go travelling for me. The weather in the south of Japan is very nice and there are many interesting places that I plan to visit near Osaka and Kyoto cities which are not so far from the institute such as Osaka castle, Tō-ji temple ...



## CERN/CHARM施設における遮蔽実験

### 原子力基礎工学研究部門放射線安全管理工学研究分野・八島浩助教

2017年8月20日から9月1日まで欧州原子核研究機構(CERN)にあ る高エネルギー加速器混合粒子場(CHARM)施設での遮蔽実験に 参加してきました。

CERNでは、衝突型加速器Large Hadron Collider(LHC)を用いて、ヒッグス粒子の発見等、様々な成果をあげていますが、将来計画としてLHCの衝突頻度を上げるためのR&Dを進めています。このR&Dを進める上での重要な項目の1つに2次粒子による機器への影響があり、その評価のために建設されたのがCHARM施設です。CHARM施設ではCERNのProton Synchrotron(PS)からの24GeV/c陽子ビームを銅やアルミニウムのターゲットに照射して発生する2次粒子を用いて機器への影響を評価するための照射場が設けられています。この照射場での2次粒子に関する情報はFLUKAというシミュレーションコードの計算から得られていますが、この計算結果の妥当性を実測で確認することは重要です。また、CHARM施設で発生する2次粒子



CHARMターゲット室内



CHARM遮蔽体上部

の生成や物質内挙動に関する実験データは放射線安全に関する点からも重要でCERNの放射線防護グループと日本の遮蔽実験グループが共同で遮蔽実験を行うこととなり、私も声をかけていただき実験に参加してきました。

CERNはスイスとフランスにまたがる巨大な研究所でスイス側にあるEast Hallという建物の中にCHARM施設があります。CHARM施設では以下の2つの実験を行いました。1つは2次中性子の遮蔽体透過実験です。CHARM施設のターゲット上側の遮蔽は厚さを変更することができるでの遮蔽体の厚さを変えながら中性子の測定を行いました。もう1つはターゲット室内での2次粒子測定実験です。私が主に担当したのはターゲット室内の2次粒子測定実験で放射化検出器を用いた試験照射を行いました。現在実験結果の解析を進めており、今後も2次粒子場の測定に関する研究を進められればと思っています。



実験を行ったCHARM施設があるEast Hall



CERNカーテリアからの風景

