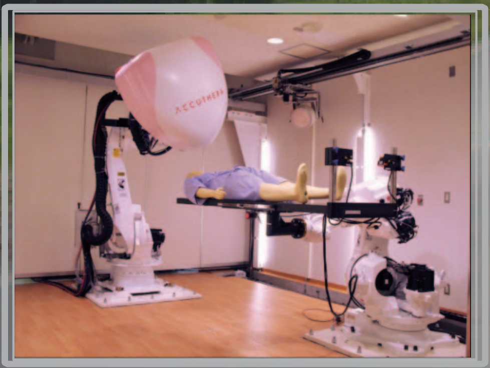
学生が作る工学部広報誌

Ttime!

Vol.47
2012.4

特集 原子力・原子力国際専攻

原子力のこれから



材料の原子から
システムの安全を予測する

小型高エネルギーX線源
～がん治療の高度化と構造物健全性評価～

放射性廃棄物処分のこれから

原子力国際専攻　学生座談会
～研究と、将来のビジョン～

タンデム加速器研究施設
MALT

材料の原子から システムの安全を予測する

関村 直人 教授
工学系研究科
原子力国際専攻

原子力安全と保全について、物質と材料のシステム的観点から研究をされている関村先生にお話を伺いました。今回、先生自身の研究だけでなく、原子力国際専攻の特徴や将来像についてもお話をいただきました。

原子力国際専攻とはどのような専攻でしょうか？

原子力国際専攻は、さまざまな工学領域の集大成である原子力工学の基盤的な知識や活用方法を体系的に身につけていく専攻です。

原子力のシステムは有用である反面、一旦安全性を損なうと、社会、環境、人間の安全や健康にも影響を及ぼします。そのため、科学技術がどう人間社会に役に立てるかという点からも研究、教育、勉強することが重要です。

総合工学分野では、教養学部から学んできた基礎的な知識を深めただけで課題を設定することは容易ではありません。また各領域の専門家を集めただけでは解決方法を見出せません。原子力国際専攻では、広い知識や文化論など、高度の教養を身に付けるとともに、原子力の安全性、国際的なエネルギー問題、放射線の医学応用、地球環境問題などの深い分野も扱っています。また、原子炉システムを現代の巨大で複雑な社会経済システムの一例として取り扱い、今後の工学研究のあるべき姿を追究しています。

先生の研究について教えてください。

私は、放射線があたった物質の特性の変化と、機器とシステムの安全性と保全性の研究を行っています。

放射線は、物質中の原子熱振動の100万倍以上のエネルギーを持っているので、放射線が原子に衝突すると、原子が弾き飛ばされます。その原子もまた高いエネルギーを持ち、別の原子をさらに弾き飛ばします。こうして、放射線を照射すると、物質にマクロな特性変化が起こります。この現象を照射損傷と呼んでいます。

照射損傷過程の微視的なシミュレーションを、計算機を活用して進めています。極短時間の物理的現象に基づいて長時間の工学的事象を追えるかが重要な研究テーマです。放射線が原子核と相互作用する時間は非常に短く、フェムト秒

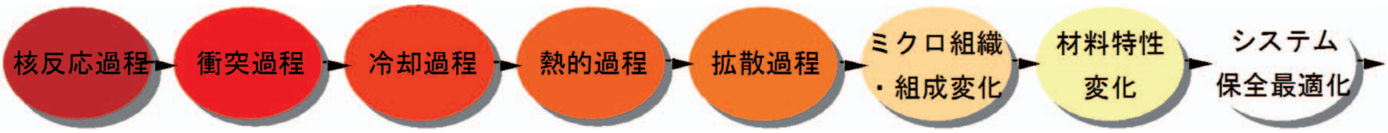


図１　放射線照射損傷の過程と時間スケール

(10の－15乗秒）くらいです。そこから図１のような時間スケールの異なる現象が引き起こされます。最終的に材料を40年、100年間使うことから、10の９～10乗秒くらいまでの間までのマルチスケールシミュレーションが大きな課題となっています。

例えば原子炉の圧力容器は、燃料から出た高速の中性子が長期間当たることで、損傷が蓄積して、脆くなります。仮に事故時に低温の冷却水が急激に入ると容器が破壊し、放射性物質が放出される可能性があります。材料と機器の安全性を予測する必要がありますが、40年間の実験をするわけにはいかないので、シミュレーション技術を高めるとともに、材料が脆くなるミクロな機構を解明する基礎実験も行っています。さらに、原子炉に入れた試験片とシミュレーション結果を照らし合わせることで、安全性を損なうリスクの評価法をより精度よくする必要があります。このようにシミュレーションや実験を組み合わせ、課題の解決法を見出すのです。

また、現場では傷の有無で破壊様式が変わるので、感度の高い検査技術開発も重要です。検査の基準を技術的な根拠を持って定めることが保全という分野です。保全とは壊れたものを直すだけではなく、信頼性を高く保つべきシステムにおいて壊れる前の検査、評価、処置をルールとして定めて計画的に運用する考え方も指すのです。原子炉などの複雑なシステムにおいて、多くの機器の検査基準や必要知識を体系的に考える学問を、「システム保全学」と命名しています。

圧力容器を例にとれば、経済性だけを考えると、少し不純物を含んでよいなら安くなります。しかし、少量の銅の不純物が含まれた鉄に、何年かの間中性子が照射されると、銅が２～３nmくらいの微小集合体を作り、それがたくさんできると鉄が脆化（ぜいか）することがわかりました。マンガンとシリコンも集合体の形成に影響を与えます。この様な原子レベルのメカニズムを基に、どれだけ中性子を浴びたら材料が脆くなり、破壊の確率が高くなるか、理論的な予測式をつきつめていく研究が進んでいます。

先生自身、また、原子力国際専攻が3.11以後に原発関連の問題に対してどう取り組んできたのか教えてください。

まず、「安全」について改めて考え直す必要があります。総合工学としての原子力を研究してきた人間としては、事故の状況を把握し、その背後にある課題を整理し、解決策を含めてとりまとめ、発信する役割・責任があると考えています。また、システムの安全が損なわれたときどの程度安全でないかも伝える必要があります。システムの安全は一番弱い部分からほころびが出ます。社会システムを含めて、脆弱性を見出して改善する仕組みの徹底が必要です。深く研究をするだけでなく、補強すべきところを見つけ出す研究が必要であると考え、強い反省を持って、大学院教育プログラムの改革を進めてきました。

２番目は国際的な視点です。海外の研究者や技術者は、異なる視点で複雑なシステムとその安全性を研究し、設計しています。原子力国際専攻では幅広い基礎的知見を蓄えるとともに、基礎的なコミュニケーション能力や、異なる文化的基盤を持つ方々とのディスカッションの仕方などを身に付けてほしいと考えています。そのために、学生さんに国際機関での研修など多くの勉強の機会を用意しています。

３番目に、科学技術的な基盤を固めるとともに人文社会科学を専門とする方々と協力関係を作ってゆく必要があります。この点でも国際的な議論ができることを目的として、原子力国際専攻の大学院講義を全て英語で行っています。

今後、原子力はどのようになっていくのでしょうか。

１番目の課題は、現存の原子炉をライフサイクルの観点から考えることです。これからはより安全な設計や運転管理と廃炉措置に関するハードウェアの観点に加えて、人間と社会に影響を及ぼす放射性廃棄物に関する環境科学技術にも取り組んでいかなければなりません。

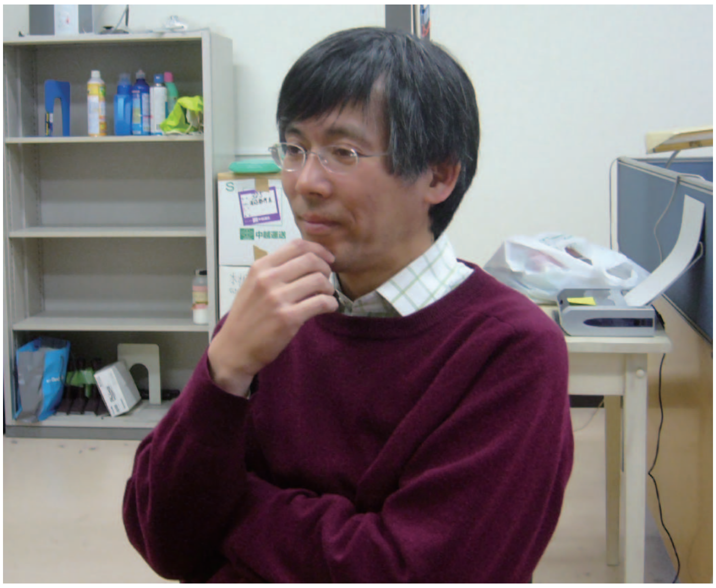
２番目の課題として、ウランという地球から与えられた貴重な資源を、今活用すべきか、技術が本当に成熟した時点で使うべきか、しっかりと議論することが重要だと思います。その上で、基礎的な研究や人材育成を進め、国際社会に貢献していくことが必要だと考えています。

最後に読者へのメッセージをお願いします。

原子力に限らず工学が直面する課題を正視し、客観的に原因を究明し解決すべき課題を整理するために必要な見識は、純粋に科学技術に立脚した中立なものであるべきです。短期的には現在できることを協力して進め、中期的には今ある技術をうまく組み合わせてより良いシステムを創っていく、そして長期的には、今実現できない科学技術へのビジョン・夢を提示してブレイクスルーに繋げていただければと思います。科学技術と社会の関わりを一層密にする必要があると思っています。これらに興味を持っていらっしゃる方は、是非東大工学部で学んでいただきたいと考えています。

（インタビュアー　大原　寛司）

放射性廃棄物処分のこれから



長﨑 晋也 教授　原子力国際専攻

放射性廃棄物処分学を専攻されている長﨑晋也教授にお話を伺いました。廃棄物処分学とは何をする学問なのか、安全評価をどう行っているか、今年の４月からカナダの大学に赴任して何をしたいかなどを伺いました。

放射性廃棄物処分学とはどのような学問ですか。

そもそも、原子力に限らず廃棄物は産業や人間の生活において重要な問題です。工学の世界では、これまで実験や経験によって得られた知見をもとに試行錯誤して技術を発展させてきました。しかし、我々が廃棄物によって受ける影響は短いスパンでは測ることができません。放射性廃棄物の場合は、100万年程度の長いスパンで被ばくなどの影響を考慮しなければなりません。しかし、このデータは実験や経験では検証できないので、「様式化された」仮想モデルを考え、コンピュータシミュレーションによる安全評価などを通して、安全について学術の体系化を進めることがその内容です。

安全評価とは具体的にはどのようなものですか。

まず、専門家が最悪な状況を考慮したモデルを作成します。これを「保守的な仮定」と呼びます。しかし、このような極端な例に対して対策しようとするとコストがかかりすぎるので、その兼ね合いを見る必要があります。そこで、得られた確率とリスクそのものの大きさを考慮して数値化することで安全評価を進め、その結果安全かどうかの判断が行われます。確率を例に説明すると、事故が10万年に1回起きるなら確率を10の－５乗とするように、10の階乗で表します。

3.11の前後で安全評価について変わったことはありますか。

今回の事故は、決して想定外ではありませんでした。想定していなければならなかった問題であり、それを結果として見逃したのであれ専門家と言われる立場のものとしては、痛恨の極みで、猛省すべきものです。私自身は、原発での勤務経験からも「安全神話はない」と言えますが、教育者として、また原子力の安全について社会に発言をしたことがある者として大変恥ずかしいと思っていますし、反省をしているところです。

リスク評価では、評価する人間が想定できる範囲外のリスクを考慮できないという弱点があります。今回の事故を受けて考慮すべき要素は間違いなく増えました。これまで以上にあらゆるリスクに対応することこそが工学に新たに突きつけられている課題だと思います。

これから研究者としてやっていきたいことは何ですか。

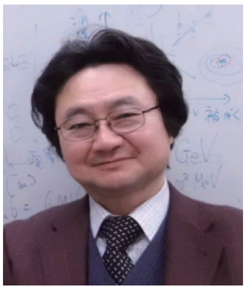
一つは、安全評価における不確かさを少しでも小さくしていきたいことです。もう一つは、社会とのやり取りの中でどのように安全性を示していけばよいかということです。例えば、放射性廃棄物の処分施設を作ろうと思ったら、付近の住民に安全性について理解してもらう必要があります。また、同一民族の割合が比較的高い日本の場合と違い、多民族国家で異なる価値観を持つそれぞれの民族に対してどのように説明していく必要があるかという点にも興味があります。4月からカナダの大学に赴任しますが、そこで多民族を相手に安全性をどのように示せばよいのか、外国から日本を眺めて両者でどのような違いがあるのかという点を見てみたいと考えています。

これからの原子力はどのようになると考えていますか。

今後も原子力の研究をしていく必要があると考えています。なぜなら、戦後になってから発展した分野で分かっていないことも多いため、技術開発をしていく余地がまだまだあるうえに、中国や東南アジアなどの現在発展途中にある国々を中心に原子力が推進されていくと予想されるからです。日本が原子力大国であることは間違いありませんし、世界唯一の被爆国として、原子力の技術にこれからも責任を持って取り組むべきです。

（インタビュアー　森西 亨太）

小型高エネルギーX線源　～がん治療の高度化と構造物健全性検査～


上坂 充 教授

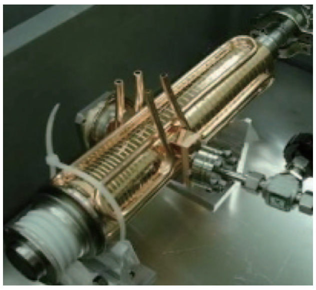


図１

図２

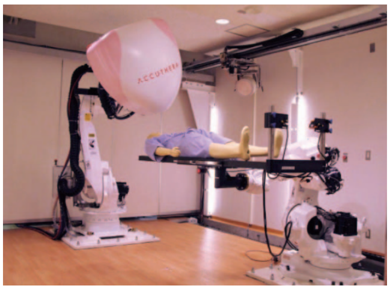


図３

原子力工学は発電のみならず、病気の治療や構造物の検査技術にも応用できることをご存知でしょうか。今後放射線は、私たちの生活をどのように支えていくのでしょう。上坂充教授にお話を伺ってきました。

先生の研究を教えてください。

小型のＸ線源を開発して医療や構造検査に役立てようと、研究しています。十数年かけて、持ち運べるほど小型のＸ線源を３種類作製しました（㈱アキュセラと共同）（図１、２、３）。

図１の装置は250mlペットボトル程度、図２は500mlペットボトル程度、図３はその約２倍の大きさの本体です。これらは電源や冷却装置などを含めるとスーツケース３個程度の大きさになります。装置の構造を最適化することで、従来なかった小型のＸ線源を実現しました。

「構造の最適化」とはどのようなものでしょうか？

Ｘ線源の中には共振回路があり、装置の長さがちょうど電磁波の半波長の整数倍の長さになっている時共振します。ですから波長を小さくすれば、共振する空間（装置）を小さくできます。図１～３の３つの小型Ｘ線源では、通信の技術から応用した高周波数技術で電磁波の波長を短くし、装置の小型化を図りました。

これらの小型装置は何に使えるのでしょうか？

高電界をかけて、図１の装置は950keV、図２が3.95MeV、図３が６MeVまで電子を加速させ、金属ターゲットに当ててＸ線を発生させます。これらのエネルギーにはそれぞれ意図があります。

図１と図２の装置は構造物を破壊することなく内部の欠陥を調べるのに使用できます。図１の装置のエネルギーが950keVなのは、１MeV以下であれば放射線障害防止法によって放射線管理区域外でも電離放射線障害防止規則に準じた透視非破壊検査が認められているためです。図２の装置のエネルギーが3.95MeVなのは、４MeV以下であれば橋の検査での使用が認められているためです。この装置を使えば、従来１時間かかっていた橋げたの透過像が、わずか数秒で撮影できます。この技術を使えば、構造物内部の欠陥をその場で透視することが可能になるでしょう。

図３の装置は６MeVで、これはがん治療に使われます。

図３の装置を用いたがん治療とはどのようなものですか？

Ｘ線がん治療ではがん周辺の正常細胞にもどうしてもＸ線が当たってしまいます。そこで我々の技術で正常細胞へのＸ線照射のリスクを最小限にとどめる研究を進めています。

具体的には肺がんのＸ線治療を研究しました。肺は呼吸時に３cmほど動き、一方がんの大きさは数mmのため、がん細胞のみにＸ線を照射しようとしてもずれていき、正常細胞にＸ線が照射されてしまいます。そこで、Ｘ線でがんの動きを観察しながら、それを追うようにＸ線源を動かすことで、正常細胞へのＸ線照射を最小限にとどめることができます。これは、Ｘ線源がロボットアームに乗るほど小型化したからこそできる治療法です。

現在社会的にも原子力は大きな問題となっていますが、私はこのように放射線の利用で健康や防災のための技術に貢献したいと考えています。

放射線が人体に与える影響について、先生はどのようにお考えですか？

私は科学技術者として、また原子力に携わる者として、今回の福島原発の事故は重く受け止めています。300mSv以下の低線量被ばくのデータは、現段階では広島・長崎・チェルノブイリ等での統計がほとんどです。ですから今後さらに小型のチップ状のＸ線源を開発することで、低線量被ばくの研究を広く普及し、科学的データを充実させていくことが私の使命だと考えています。

最後に、学生へのメッセージをお願いします。

私の場合「小型の放射線源の開発と利用」というオリジナリティーがあり、これからも装置のさらなる小型化を目指して研究を続けていきます。皆さんも自分らしさを見つけて表現して下さい。

（インタビュアー　花村　奈未）

原子力国際専攻　学生座談会

～研究と、将来のビジョン～

原子力国際専攻に所属する学生は、どのような研究をし、どのようなビジョンを持っているのでしょうか？今回は、原子力の安全性や原子炉工学といった分野で研究を進めている石渡研究室から、３人の大学院生の皆さんに集まっていただき、座談会形式で研究や進路などに関してお話を伺いました。
参加していただいた大学院生の皆さんは、修士１年の河原卓美さん（写真左）、修士２年のシルワ・カムパナートさん（写真中央）、修士１年の川上俊弘さん（写真右）です。

皆さんが原子力国際専攻を選んだ理由をお聞かせください。

シルワ：もともとエネルギー関係、特に太陽光発電に興味を持っていたのですが、インターンで一度出身地であるタイに戻った際、将来のエネルギーとしてより現実味があるのは原子力だと思いました。そこで、大学院では原子力について学ぶことにしました。

河原：学部は理学部の地球惑星物理学科でしたが、工学系の大学院にも興味を持っていました。日本のエネルギーとして有力な原子力に魅力を感じ、この専攻を選びました。

川上：私の場合は、エネルギーへの興味に加え、大学院で学ぶ中で何か自分の軸を持ちたいと思っていました。そこで、原子力の分野でしっかり勉強・研究しようと決めました。

研究の面白いところは何でしょうか？

シルワ：理系でありながら、原子力の規制や政策に関われるところが面白かったです。修士論文では福島原発事故を題材に、マクロな立場から研究をしました。具体的には、原子炉の格納容器が破壊されるような過酷事故が起こった際、コスト面で社会にどのような影響が出るかを評価しました。これは原子力利用の規制や、原子力政策に対して役立つものになっています。 私自身、理系文系の枠にこだわらず幅広い分野に対して興味を持っているタイプなので、文献調査なども行い理系と社会との橋渡しとなれた今回の研究は自分に合っていたと感じています。

河原：自分で組んだシミュレーションが、実験事実と一致すると面白さを感じますね。研究は、シルワさんの研究にシミュレーションを用いて出したデータを加えるなどして、進めていく予定です。もともと漠然と、次世代の原子力技術について研究したいと思っていましたが、ちょうどこの専攻に入る直前に福島原発の事故が起きて以降、原子力安全に関連した研究に関心を持っています。

川上：私は二人とは違って、よりミクロな立場からの研究をしていきます。過酷事故の際には原子炉の炉心や圧力容器などに注水することが必要ですが、蒸気と水が反対方向に流れる状態では注水がうまくいかないことがあります。そこで、注水が成功する条件について、シミュレーションを使って解明していく予定です。原子力の研究は実験がしづらい分野も多いので、シミュレーションは重要な手法なんです。
そのような研究の背景として勉強した内容は、原子力だけでなく火力発電所などでも使える応用範囲の広いものなので、それらを学ぶこと自体が面白いですね。

皆さんの進路や、目標をお聞かせください。

河原：原子力関連に進みたいです。日本が原子力の技術を失うのは大きな損失だと考えているので、技術伝承に努めたい。そして技術的な視点をもって、原発のより高い安全性を追求したいです。

川上：私もなんらかの形で原子力に関わりたいです。具体的にはメーカーか電力会社などを考えています。また、河原君と同様、原子力技術の伝承には取り組んでいきたいです。

シルワ：私はこの４月からはタイに戻り、国の原子力技術研究所で働く予定です。将来的には、培った原子力の知識を活かしつつ、エネルギー全般に関して広く精通したジェネラリストとしてタイのエネルギー政策に関わっていきたいと思っています。

＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝＝

原子力に関連した立場で日々勉強・研究をされている方々の話が新鮮で、インタビュアーである筆者も刺激を受けた座談会となりました！

（インタビュアー　清水　裕介）

タンデム加速器実験施設 MALT

加速器と聞くと、ヨーロッパにある全周数十km におよぶ大規模なものが有名ですが、実は東大の浅野キャンパス敷地内にも加速器があります。今号ではタンデム加速器研究施設 MALT（Micro Analysis Laboratory, Tandem Accelerator）に取材に行ってきました。

加速器とはその名の通りイオンを加速させる装置で、加速イオンを用いて物質中の超微量の元素分析や同位体比測定を行うことが出来ます。例として、元素分析の測定原理を一つ挙げます。あるエネルギーを持つイオンが特定の原子と衝突すると核反応が発生します。この際生じる放射線を測定することで、物質中にどのような原子が存在するかがわかります。この核反応を起こすためのエネルギーをイオンに与えるために、加速器を用いてイオンを加速させます（図１）。今回はイオンを加速させる仕組みを紹介します。

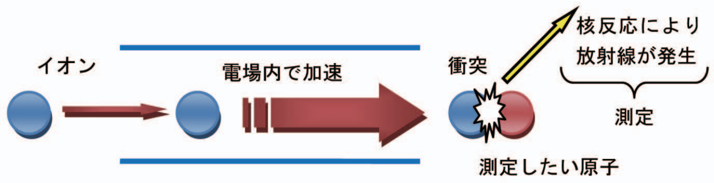


図１　元素分析の原理

図２　MALT 外観図
MALT は五階建ての建物で、このような外観をしています。図中赤丸で囲まれた部分でイオンが加速されます。

図４　MALT 加速部外観
上図の青い筒内でイオンは加速される。
写真左は今回取材に協力いただいた松崎先生

～二段階で加速されるイオン～

図３は加速部（図４）の模式図です。加速器中心部にかかる100万～500万ボルトという高電圧により内部には強い電場が発生しています。

まず、入口より入射した負イオンは中心に向かう力を受けて加速されます。装置の中央部には負イオンから電子をはぎ取り正イオンに変換する装置が設置されており、ここをイオンが通るとそれまでとは逆に出口に向かう力を電場から受けてさらに加速されます。このように二段階の効率の良い加速をする装置をタンデム加速器と呼びます。

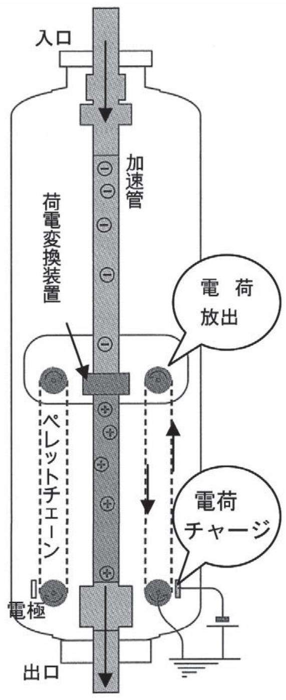


図３　加速部模式図

～高電圧を生みだす仕組み～

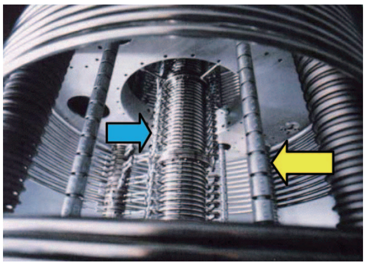


図５　加速部内部

図５は加速部内部の写真です。中央の加速管（青矢印）をイオンが通過します。横の細いチェーン（黄矢印）はペレットチェーンと呼ばれ、電位差を作り出します。

図３のように、このチェーンが下部にある電極から電荷を受け取ります。その後チェーンが回って上へ昇り、中央にある電極にチェーンの持つ電荷が放出されます。すると中央部の電位が上がります。下部の電位は０ボルトなのでここに電位差が発生します。まるで、井戸深くから水をくみ上げる桶のようにチェーンで電荷をくみ上げるイメージです。

今回の取材では、このように電位差という目に見えないモノを作り出す機構が、動きを目で見ることのできる機械的な構造をしていることが興味深かったです。

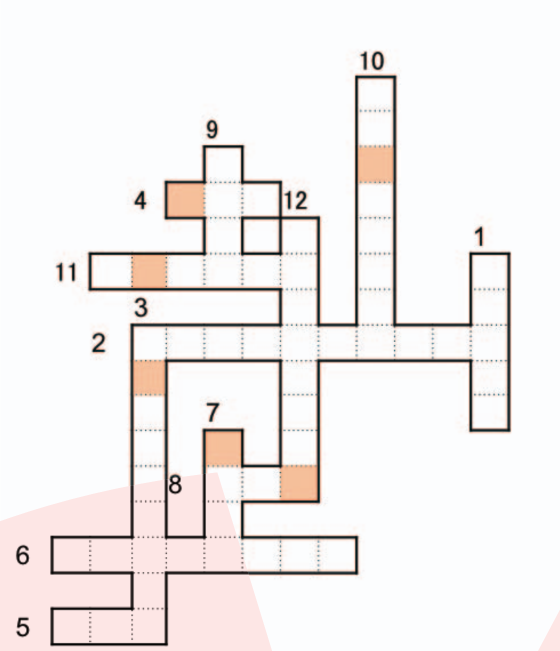
取材協力　松崎浩之准教授（原子力国際専攻）
（インタビュアー　逢澤　正憲）

学生が作る工学部広報誌

Ttime!

CROSS WORD 問題

色のついた部分を並べてください。 ある波長域の電磁波の名前になります。



1. 東大の１，２年生が基礎的な学問を学ぶのは○○学部
2. 物質が放射線の照射によって損傷すること
3. 原子力発電所など巨大で複雑なシステムにおいて、安全を確保するために必要な学問
4. 原子力国際専攻の講義は何語で行われている？
5. 放射線にさらされること
6. 複数の民族からなる国
7. 原子力の今後の利用法など、政府・政党が決定する方針や方策
8. MALTで加速されるもの
9. 上坂先生の開発した装置は何の病気の治療に応用できる？
10. MALTにおいて電位差を作り出しているチェーンの名前は？
11. エネルギーをもつイオンが特定の原子と衝突することで○○が起こります。
12. 上坂先生のオリジナリティは小型の○○の開発と利用

編集後記

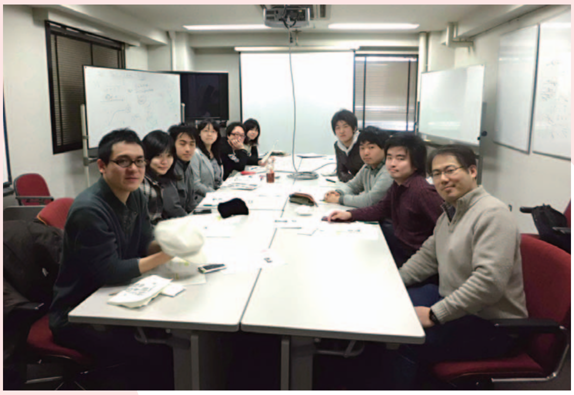
Ttime!４月号では、原子力国際特集をお届けしました。

現在、放射能の目に見えない危険性が大問題になっていますが、病気の治療や構造物の検査技術など、原子力は次世代技術として非常に魅力的な一面を持っていることを、今回の取材や編集を通じて感じました。

安全性の問題など、これから解決しなければならない問題は山積みですが、リスクへの対応、技術革新の双方から研究が進み、この分野がよりよい社会のために発展してくれることを切に願っています。

今号が、原子力への関心を深める一助となれば幸いです。　（岡）

表紙作成（長谷川）



<広報アシスタント>

企画：岡　　功、西村　知、森西　亨太

逢澤　正憲、朝倉　彰洋、伊與木健太、大嶽　晴佳、小川　灯

大原　寛司、皆藤　彰吾、清水　裕介、須原　宜史、土居　篤典

沼田　恵里、長谷川拓人、花村　奈未、藤島孝太郎、本田　信吾

間部　悟、松浦　慧介、本山　央人、谷中　瞳

<広報室>

松崎　浩之（原子力国際専攻）

中須賀真一（広報室長・航空宇宙工学専攻）

川瀬　珠江、永合由美子

Twitter、Facebookでも情報を配信しています。

Webで Ttime! が読めます！

http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/t-pr/ttime/

ブログはこちらから

http://d.hatena.ne.jp/ttime/

@UTtime

Follow me

工学部広報誌 Ttime!

ミックス
責任ある木質資源を使用した紙
FSC www.fsc.org FSC® C018215

Ttime! No.47 2012.4
発行日：2012年4月27日　発行：東京大学工学部広報室　東京都文京区本郷7－3－1
編集：工学部広報アシスタント　無断転載厳禁