

未来へ **げんき**
G E N K I

季刊
NO.37
平成27年



未来へげんき

G E N K I

原子力機構は2015年4月から児玉敏雄氏が新理事長に就任しました。今号では児玉新理事長が考える今後の課題や抱負を取材、そして同じく4月から開所した廃炉国際共同研究センターの小川センター長にもインタビューしました。また、世界的に著名な科学雑誌の表紙を飾った研究成果である「103番元素の測定成功」や「大学との連携」についても取り上げました。



巻頭インタビュー

日本原子力研究開発機構 理事長 児玉敏雄

プロフィール

昭和51年 3月 名古屋大学大学院工学研究科機械工学専攻修了
昭和51年 4月 三菱重工業株式会社 技術本部 高砂研究所
平成17年 1月 同社 技術本部 高砂研究所長
平成19年 4月 同社 技術本部 副本部長兼広島研究所長
平成21年 4月 同社 執行役員 技術本部副本部長
平成25年 6月 同社 取締役 常務執行役員 技術統括本部長
平成27年 2月 同社 取締役 副社長執行役員 技術統括本部長
平成27年 4月 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構理事長

民間企業と比べて違いを感じる部分は？
児玉 民間の場合、研究開発をするとき、「できるか」、「売れるか」、「利益が出るか」ということが前提になり、なかでもとくに利益に比重が置かれます。利益が出ないことはやらないわけです。原子力機構は国の研究開発機関ですから、民間企業のように利益を問われることはないでしょうが、国立研究開発法人になったのですから、やはり成果を出さないとけない。

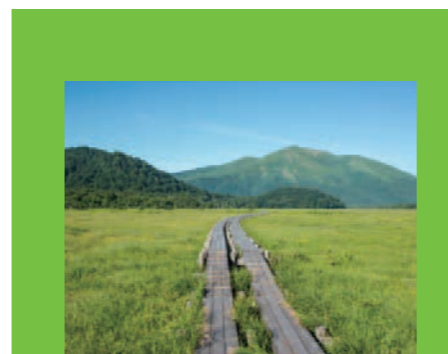
その点で意外だったのは、人件費の概念があまりないことです。研究開発の効率化を図るとき、民間企業ではまず適正な人員規模ということを考えます。適正規模より多いと判断したら人員を減らすわけです。研究開発に効率という言葉はなじまないかもしれませんが、もう少し無駄を省けるところがあるのではないかと感じるところはあります。

自分の殻に閉じこもってはいけないう。アンテナをもっと広げたほうがいいし、海外の人にもっと来てもらうことも必要です。

原子力機構の印象は？

児玉 私は長い間三菱重工にいましたけれども、原子力機構は日本で唯一の原子力に関する総合的な研究開発機関として、人材も設備も素晴らしいものがあると感じています。民間企業ではとてもカバーしきれない幅広い専門家がいて、設備もたくさんあります。

ただ、福島研究開発部門、高速炉研究開発部門など現在ある6部門がもう少しシナジー（相乗効果）を発揮したほうがいいと思います。人材、情報、技術の相互交流を図り、設備も各部門で有効に使う。そういうことをすれば1+1+1が2ではなく3にも4にもなる。そういうことが期待できる組織だと感じています。



尾瀬

尾瀬（おぜ）は、福島県・新潟県・群馬県の3県にまたがる盆地状の高原で、国立公園に指定され、日本百景に選定されています。中心となる湿原地帯・尾瀬ヶ原からは日本百名山の至仏山が望めます。

巻頭インタビュー

01 日本原子力研究開発機構 児玉 敏雄 理事長

特集

04 廃炉に向けた新たな取組 世界の英知を集めて 廃炉国際共同研究センター 小川 徹 センター長

私たちの研究1

06 103番元素 ローレンシウム (Lr) が解く 周期表のパズル —あの周期表が書き換わる?—

私たちの研究2

10 放射線イメージング技術が映し出す 世界的食糧事情の希望の光

シリーズ 地層処分研究開発

12 Vol.1 地層処分とはなにか

16 PLAZA 原子力機構の動き 読者アンケートハガキ



原子力機構は国の研究開発機関ですから、目先の利益、成果にとらわれずに研究開発を進められる部分はありますが、それに甘んじることなく、可能な限り無駄を省いて、全体的に資金と人材をより活用できるような方策を考える必要があります。

成果の評価方法は？

児玉 成果を評価する指標は部門によって違うのかもしれないが、たとえば研究開発の上流では、論文を何報書いたかということが基準になるかもしれないし、「もんじゅ」のようなプラント（現場）に近いところでは再稼働に

向けて着実に進んでいるかということの評価していきます。

いすれにしても細かい単位で成果目標をはっきり決めることが大事であり、そのためには外を知らないといけないと思います。昨日より今日のほうが自分はいくらもたというのではなく、世界のレベルに比べて自分はどうなのかということを考えてほしい。

トヨタグループの創始者である豊田佐吉は「障子を開けてみる。外は広いぞ」と言いました。自分の殻に閉じこもってはいけません。アンテナをもっと広げたほうがいいし、多様性、ダイバーシティという観点から、女性職員を増やすことや、外国の人にもどんどん来てもらうことも必要です。

原子力機構の改革は？

児玉 松浦前理事長を中心にこれまで1年半改革を進めてきたわけですが、さらに何をすべきなのか。私が求めていることは、自分たちの「ミッション」、「ビジョン」、「ストラテジー」をはっきり示すことです。

原子力機構は何を使命としているのか、その使命を果たすためにはどういう組織にすべきか、そしてそのビジョンを実現するためには何をすべきなのかというところを、各部門長に示してもらいました。

組織、業務、人材育成、顧客等々の視点で、どういう改革をしていくべきなのか、それぞれの考えをまとめてもらいました。大事なことは「コミットして、有言

原子力機構の顧客は国民であり、国民目線で考えることを徹底していきます。

原子力機構にとっての顧客とは？

児玉 企業なら顧客は明確ですが、原子力機構にとってはそこが難しい。私としては、原子力機構の顧客は国民であると思っていますし、職員にも国民と答えてほしいと思っていますが、そもそも顧客ということ考えたことが今まであまりなかったのではないのでしょうか。

原子力機構のミッションは？

児玉 原子力の科学技術を通じて人類社会の福祉と繁栄に貢献

【計画】→Do【実行】→Check
【評価】→Act【改善】を回すように、各部門長に指示しました。部門長の意識レベルはとも高くと感じしており、期待しています。

することが最大の使命です。と同時に、国民の皆様への信頼を回復することも私たちに課せられた重大な使命だと考えています。そこは全職員がしっかりベクトルを合わせて結果を出していかないといけない。当面、重点的に取り組むのは、中長期目標に示された4つの柱、すなわち、

「東京電力(株)福島第1原子力発電所事故への最優先での対応」、
「原子力の安全性向上研究」、
「核燃料サイクルの研究開発」、
「放射性廃棄物処理・処分技術開発」です。これに加えて人材育成も、重要な課題です。

それぞれの柱はターゲットに向かって方向性を過たずに進んでいると認識しています。

現場からの反応は？

児玉 「人員が足りない」、「予算が足りない」との意見はよく聞きます。だから「予算がないのは仕方ないから知恵を出してください」と言っています。

民間企業ならお金がなければ借金することもありますが、原子力機構はなかなかそういうわけにはいきません。

リソースが不足している中で、成果を出させるのが責任者であるマネージャーの役割なのです。

成果を出させるためには？

児玉 「見える化」だと思います。たとえば特許をどれだけ出すか、ヒヤリハットの事例をどれだけ減らすか、そういう定量化できる指標を使って目に見える目標を設定し、PDCAを回すのです。定量化しないと評価できませんから、まず各組織レベルで目標値を定量化していきます。

職員の「危機意識」「責任感」については？

児玉 拠点長や部長など、要になっている人がまず危機感と価値観を共有しなければなりません。自

この1年半の改革で、枠組みは出来上がりました。これからはスピード感を持って実行することが大事です。あれこれ考えるより前に、早く実行する。考えすぎて実行まで行きつかないのが一番よくありません。

分が責任をとるという意識を持つてもらいたい。

民間企業では結果を出せなければ、その人は別の仕事に回されるでしょうし、解雇されるかもしれないし、最悪の場合、会社がつぶれてしまうかもしれません。自分たちは安泰なのだと思います。繰り返す言わないといけません。

「もんじゅ」の運転再開に向けた取り組みは？

児玉 喫緊の課題は保安措置命令の早期解除です。原子力規制委員会から指摘されることに對しては、早急の確にお答えしていくしかありません。

1年半の改革で改善されてきたところを「見える化」して、前に進んでいるという意識を職員

福島対応は？

児玉 原子力機構としてやるべきことは、廃止措置と環境回復が2本柱です。

廃止措置については、平成27年4月に廃炉国際共同研究センターが発足しました。夏頃には、福島県楢葉町に「楢葉遠隔技術開発センター」の研究管理棟が一部運用開始します。また平成29年度内を目指し、大熊町に「大熊放射性物質分析研究センター」を立ち上げていく予定です。このように設備も人も重点的に投入し、原子力損害賠償・廃炉支援機構(NDF)など国の機関と分担

人材育成については？

児玉 旧日本原子力研究所の設立当初から50年以上にわたり、人材教育をしてきました。これまで民間企業や大学も含めて約11万人を超える方たちに対して教育をしてきました。

放射線の取り扱いなどは実際にやってみることが大事で、その

点、原子力機構にはホットラボなどしっかり対応できる設備があるので、果たす役割は極めて大きいと考えています。さらに、原子力発電所の検査を行う人たちの育成や教育にもきちんと対応しています。

安全文化の醸成は？

児玉 安全には終わりがありません。これで大丈夫と思ったとたん、劣化が始まります。現場の拠点長には定期的に安全パトロールをして自分の目で確認するようにお願いしました。成果はフォロワーに比例します。改善すべき点があれば指摘し、改善されたらきちんと評価する。それが大きなモチベーションになっていくのです。

ヒューマンエラーをなくすため業務の1T化にも取り組んでいます。また、安全を最優先する組織に向けて体質改善にも取り組んでいます。

廃炉に向けた新たな取組

世界の英知を集めて

原子力機構では、二日も早い福島の実現に貢献するため、東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃炉という、世界にも前例のない課題の解決に取り組んでいます。2015年4月には、茨城県東海村に「廃炉国際共同研究センター」を開設。安全かつ確実に廃止措置等を実施するための研究開発拠点として、大きな役割が期待されています。今後同センターでは、どのような取組が行われるのでしょうか。小川徹センター長に話を聞きました。



廃炉国際共同研究センターセンター長
小川 徹
長岡技術科学大学教授

「廃炉」という課題の難しさ

廃炉国際共同研究センターは、東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃炉に向けた様々な課題を解決するため、2015年4月に原子力機構内に開設された中核的な研究開発拠点です。2014年6月に下村文部科学大臣が発表した「東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等研究開発の加速プラン」に基づき、原子力機構のみならず、国内や海外の研究者等と連携し、廃炉を加速するための取組を実施していく予定です。

原子力施設における重大事故については、半世紀にわたる研究開発の歴史があります。スリーマイル島原子力発電所事故や、様々な試験のデータが国内外の研究機関に蓄積されているので、炉心がある程度融解するまでは、その状況を解析することが可能であると言われています。ただし今回の事故のように、融解炉心が原子炉の圧力容器を貫通し、格納容器に落下するような状

況に対処する知見は未だ不十分で、現段階では様々な試験データや解析を組み合わせた合理的推測しかありません。

中でも廃止措置というのは、実際にそこで何が起ったのか、今はどのような状況なのか必ずしも明確ではない場合、極めて困難な取組になります。未知の部分をひとつひとつ明らかにしつつ、積極的に新しい技術を取り入れて試していく必要があります。さらに原子力分野の専門家だけではなく、様々な分野の研究者や技術者が開発する先端技術を事業主体側に渡していくことも、私たちに求められています。

断片的な情報をくみ上げて、廃炉に向けた全体像を作りつつ、新技術を提供していく。それがまさに当センターが担うべき役割のひとつであると、私は考えています。

私自身は原子炉用の燃料、特に高温下での燃料の挙動を調べることが専門分野としてきました。原子炉の中で高温に熱せられた物質については、自分の研究に近い部分もありますが、その後それらの物質をどの

行っていく予定です。

3つ目は「中長期的な人材育成機能の強化」です。現在の原子力研究のように、開発部分が停滞気味の分野においては、よい人材を育てるのは至難の業です。そうした中で、新しい技術要素をどんどん取り入れていかなければならない廃炉研究は、人材育成という観点においては、大変重要な分野です。

4つ目は「情報発信機能の整備」です。国立国会図書館と連携し、国や東京電力が発信する情報を、IAEAの原子力事故

情報分類に従って整理した「JAEAアーカイブ*4」を開発しました。こちらはメディアや大学関係者だけではなく、一般の方々にとっても、アクセスしやすいツールとなっています。

未来に向けた、新しい場の創出

今回私たちが創ろうとしているのは、トッポダウンの組織ではなく、色々な人が自由に入りながら情報交換をし、技術を

ように取り出していくのかという部分は専門外ですので、それぞれの分野の研究者や技術者とコミュニケーションを取りながら、開発していければと思っています。

センターが実施する4つの取組

当センターでこれから行おうとしている取組は、大きく4つあります。

1つ目は「国内外の英知を集結する場を整備」することです。現在は、東海や大洗にある既存の施設で研究を行っています。2016年には福島第一原子力発電所の付近に研究棟を設置し、本格的に運用を開始する予定です。ここでは現在整備中の櫛葉遠隔技術開発センターや大熊分析研究センターをはじめ、東京電力、国や福島県、国際機関、国内外の大学、研究機関、企業とも連携し、人の交流や研究開発が促進されるような枠組みを構築していきたいと考えています。

2つ目は「廃炉研究の強化」です。デブリに関して色々なデータや証拠を集める「燃

持ち寄り、その上で役に立つものを見つけ、廃炉に向けて取り組んでもらう」という、言わば「バザール型」の「コミュニティ」のような枠組みです。

できるだけ広い分野の方たちに係わっていただき、廃炉の問題に目を向けるとともに、我々と一緒になって問題解決のために、力を貸していただきたいと思っています。そういうことが可能になる場を創出するのが、当センターの使命であり、今後皆さまに評価いただく際の、ひとつの基準にしていきたいと思っています。

また廃炉の事業主体に対しては、このセンターで収集したデータや、作業のサポートができる解析ツール、具体的な技術などを、できるだけタイムリーに届けていきたいと考えています。技術は日進月歩、どんどん進化していきます。解析ツールを開発して精緻な予測をする前に、無人ロボットによる計測技術が先に答えを出すことも、あるかもしれません。ニーズに対して、その都度最適な方法を提案するという柔軟性も、必要になります。

「廃止措置」というと、後ろ向きに聞こえてしまうかもしれませんが、実際には最新技術を活用した、未来に向けた取組です。廃炉の計画を立てる上で、今の原子炉の状況を把握するには、わずかなサンプルから最大限の情報を引き出す



小川センター長をはじめとする、廃炉国際共同研究センターの皆さん。

廃炉国際共同研究センター — 国内外の英知を集結する拠点 —



目標:日本原子力研究開発機構(JAEA)を中核とした国際的な研究開発拠点を構築し、国内外の大学、研究機関、産業界等の人材が交流するネットワークを形成、産学官による研究開発と人材育成を一体的に進める体制を構築する。

用語解説

*1 燃料デブリ

原子炉の炉心にある核燃料が過熱し、燃料集合体や制御棒などの炉心構造物と融解して混じり合い、冷え固まった物体のことです。

*2 OECD/HALDEN原子炉計画

ノルウェーのハルデンにある沸騰重水炉HBWRを利用して、通常時及び事故時の燃料の挙動を調べるプロジェクトです。OECD/NEAによって主催されています。

*3 IAEA

原子力の平和的利用を促進するとともに、原子力が平和的利用から軍事的利用に転用されることを防止することを目的としている国際機関です。

*4 JAEAアーカイブ

「福島原子力事故関連情報アーカイブ」のこと。東京電力福島第一原子力発電所事故に関するインターネット情報及び学会口頭発表情報の検索・閲覧や、関連する文献情報データベースの横断検索が可能です。

<http://dspace.jaea.go.jp/dspace/>



原子力機構 福島研究開発部門
<http://fukushima.jaea.go.jp/>



2015年4月20日に茨城県東海村で行われた、廃炉国際共同研究センター開所式の様子。登壇者は下村文部科学大臣。

103番元素 ローレンシウム (Lr)が解く 周期表のパズル

あの周期表が書き換わる？

世界で最も著名な科学雑誌のひとつである「Nature」の表紙を飾った研究。それは、化学の授業で習った周期表を書き換える可能性をはらんだ、素晴らしい研究成果と発見でした。その発見とは、どういうものだったのでしょうか。重元素核科学研究グループの塚田和明研究主幹、浅井雅人研究主幹、佐藤哲也研究員に話を聞きました。

世界初!
謎の103番元素を
解明

高校の化学の時間に習った元素の周期表には、「水素(H)、ヘリウム(He)、リチウム(Li)…」と、100種類以上の元素が並んでいます。周期表とは、元素を原子番号の順に並べると、性質がよく似たものが周期的に現れることを利用して配列した、元素の一覧表です。縦の列に並んでいる元素同士は、同じような化学的性質を持つていることも知られています。

原子番号57のランタン(La)から71のルテチウム(Lu)までの元素群は、「ランタノイド」元素群と、89のアクチノイド(Ac)以降は「アクチノイド」元素群と呼ばれています。それぞれ物質的・化学的に似た性質を持っており、どちらの元素群も周期表の欄外に別記されています。

1940年代、ノーベル化学賞受賞者のシーボルク博士は、ある仮説を提唱しました。その仮説とは「ランタンから始まり、15個の元素からなるランタノイド元素群と同様に、アクチノイドから始まるアクチノイドと

いう元素群が存在する」と言ったのです。それから70年、シーボルク博士の仮説は徐々に証明され、理論上も正しいとされてきました。しかし、ローレンシウムがルテチウムと同様に「アクチノイド」元素群最後の元素としての性質を示すのか、実験的な裏付けはなされていませんでした。

103番元素ローレンシウム(Lr)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1 H																2 He		
2 3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3 11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4 19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
5 37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
6 55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
7 87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo	
ランタノイド	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
アクチノイド																		
	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

▲元素の周期表。元素は原子番号の順に周期的に配列され、ローレンシウムは103番目に位置する。

科学誌
「Nature」の
表紙を飾る



▲英国科学誌「Nature」2015年4月9日号の表紙を「周期表のパズル」が飾った。

この研究成果は、世界にも大きなインパクトを与えました。英国科学誌「Nature」(4月9日号)に掲載され、同誌上の「News&Views」で研究の意義が紹介されるとともに、イオン化エネルギーを立体的に表現した周期表が同号の表紙を飾ったのです。その他の科学雑誌や専門媒体でも、このニュースは大きく取り上げられました。

解明に成功したのは、先端基礎研究センター重元素核科学研究グループの佐藤哲也研究員、浅井雅人研究主幹、塚田和明研究主幹をはじめ、ドイツマインツ大学、スイス欧州原子核研究機構の研究員からなる、国際的な共同研究チームです。

研究チームは、原子力科学研究所にあるタンデム加速器*1施設に設置したオンライン同位体分離器(SOL)*2を改良し、新たに開発した表面電離イオン化法*3により、世界で初めてローレンシウムのイオン化エネルギー*4を測定しました。それを用いて、ローレンシウムの原子核の周りを運動している最も外側の電子が、極めて緩く結合していること、すなわち電子を引きはがすためのエネルギーが極端に小さいことを実証したのです。

エネルギーが小さくなる現象は、「ランタノイド」の15番目であるルテチウムと一致しました。そのため、「アクチノイド」も「ランタノイド」と同様に15の元素群で構成されること、すなわち、「15番目のローレンシウムでアクチノイドが終わる」ということを実証することができたのです。

佐藤研究員は、こう振り返ります。「今まで世界中の研究者が、様々なアプローチによって、ローレンシウムの化学的性質を実験的に見出そうとしてきましたが、ほとんど成果はありませんでした。今回私たちは、ローレンシウムのイオン化エネルギーを求めることができれば、化学的性質を決める電子の状態を解明できるのではないかと考えたのです。」

ローレンシウムのように周期表上で原子番号100を超えるものは、非常に重いことから「超重元素」と呼ばれています。そして超重元素は自然界には存在しないため、加速器によって人工的に作り出されます。超重元素のイオン化エネルギーを求めるといことは、今までの手法が全く通用しないということでもありました。



▲イオン化エネルギーの量を再現した周期表の立体模型。ローレンシウムとルテチウムが、他の元素より低くなっていることがわかる。



佐藤哲也

原子力科学研究部門
先端基礎研究センター
重元素核科学研究グループ
研究員
新潟県出身 2003年採用



浅井 雅人
原子力科学研究部門
先端基礎研究センター
重元素核科学研究グループ研究主幹
東京都出身 2001年採用

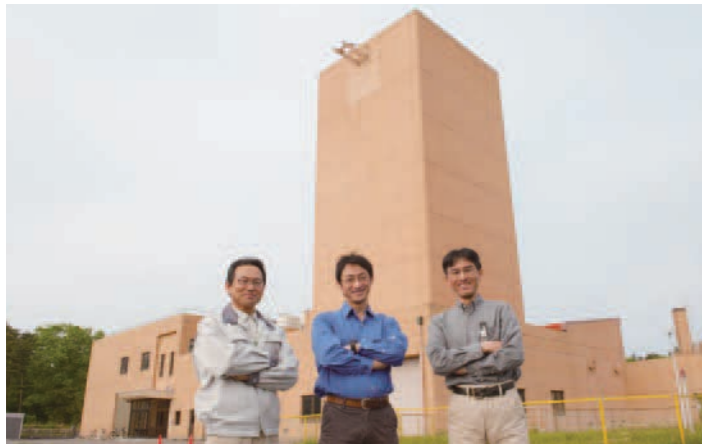
もちろん最初から、全てが思い通りに進んでいただけではありませんでした。「この手法に行きつくまでには、別のアプローチを含め様々な試行錯誤がありました。ISOLは、もともと原子力機構で短い半減期の原子核の研究に使われていたのですが、その特徴から重い元素のイオン化エネルギー測定にも応用できるのではないかと考えたのがはじまりです。最初の1〜2年は、全くうまくいきませんでした。その後イオン源の温度を一定化するか、加熱するフィラメントを増やして温度を高くしてみるとか、細かい部分でいろいろな改良を重ねていった結果、ようやくこの手法が適用できるのでは、という確信を得ることができました」(浅井)

ローレンシウム が解く周期表のパズル ～周期表が書き換わる?～



塚田 和明
原子力科学研究部門
先端基礎研究センター
重元素核科学研究グループ研究主幹
神奈川県出身 1992年採用

「今回私たちは、アクチノイドはここで終わります」という、未解明だったパズルのピースをはめ込むことができました。それによって、ローレンシウムとルテチウムの位置をめぐり、新しいパズルが見えてきたのです。ある意味、私たちが「周期表のパズル」を、さらに面白くしたのではないかと思っ



▲原子力科学研究所タンデム加速器実験施設の前面にて。

用語解説

- *1 タンデム加速器**
ペルトチェーンなどに電荷を乗せて高電圧端子(ターミナル部)に運び上げ、高電圧を発生させてイオンを加速する装置のことです。原子力機構のタンデム加速器では、核燃料物質やα放射線のアクチノイドなど、特殊な標的を利用した研究が行われています。
- *2 オンライン同位体分離器(ISOL)**
加速器のイオンビーム照射で生成した大量の核反応生成物から、目的とする核種のみを迅速に同位体分離するために用いる装置のことです。
- *3 表面電離イオン化法**
表面電離は、高温の金属表面に原子又は分子を接触させると熱イオン化が起きる現象で、その効率は金属の仕事関数、温度、原子のイオン化エネルギーなどに依存します。
- *4 イオン化エネルギー**
「イオン化」とは、原子が電子を失うか、逆に電子を得て、電荷をもった状態になることです。今回は、Lr原子から電子を1個取り去り、プラスの電荷を帯びた状態(陽イオン)にしています。この陽イオンにするときに必要なエネルギーを、「イオン化エネルギー」といいます。
- *5 ガスジェット法**
核反応生成物を、ヘリウムなどの気体中で微粒子に吸着させ、ジェット気流にのせて迅速かつ連続的に実験装置へと運ぶ手法のこと。本研究では表面電離イオン化法の利用に最適化したヨウ化カドミウム(CdI₂)を利用した手法を新たに開発しました。
- *6 IUPAC (The International Union of Pure and Applied Chemistry)**
国際純正・応用化学連合のこと。1919年に組織された化学および応用化学に関する国際機関で、化学者が組織する各国の学会・アカデミーの連合体である。原子量、有機および無機化合物の命名法、実験法などに関する国際的な標準化や提案を行っています。



プレス発表
<https://www.jaea.go.jp/02/press2015/p15040901/>

世界最大の タンデム加速器を 利用

「元素のイオン化エネルギーを測定する場合、これまでは少なくとも10億個以上の原子を用意して実験する必要がありました。ところがローレンシウムの場合、加速器で生成できるのは数秒間に1個程度、しかも半減期が27秒と非常に短いため、従来法での実験は不可能でした」(浅井)

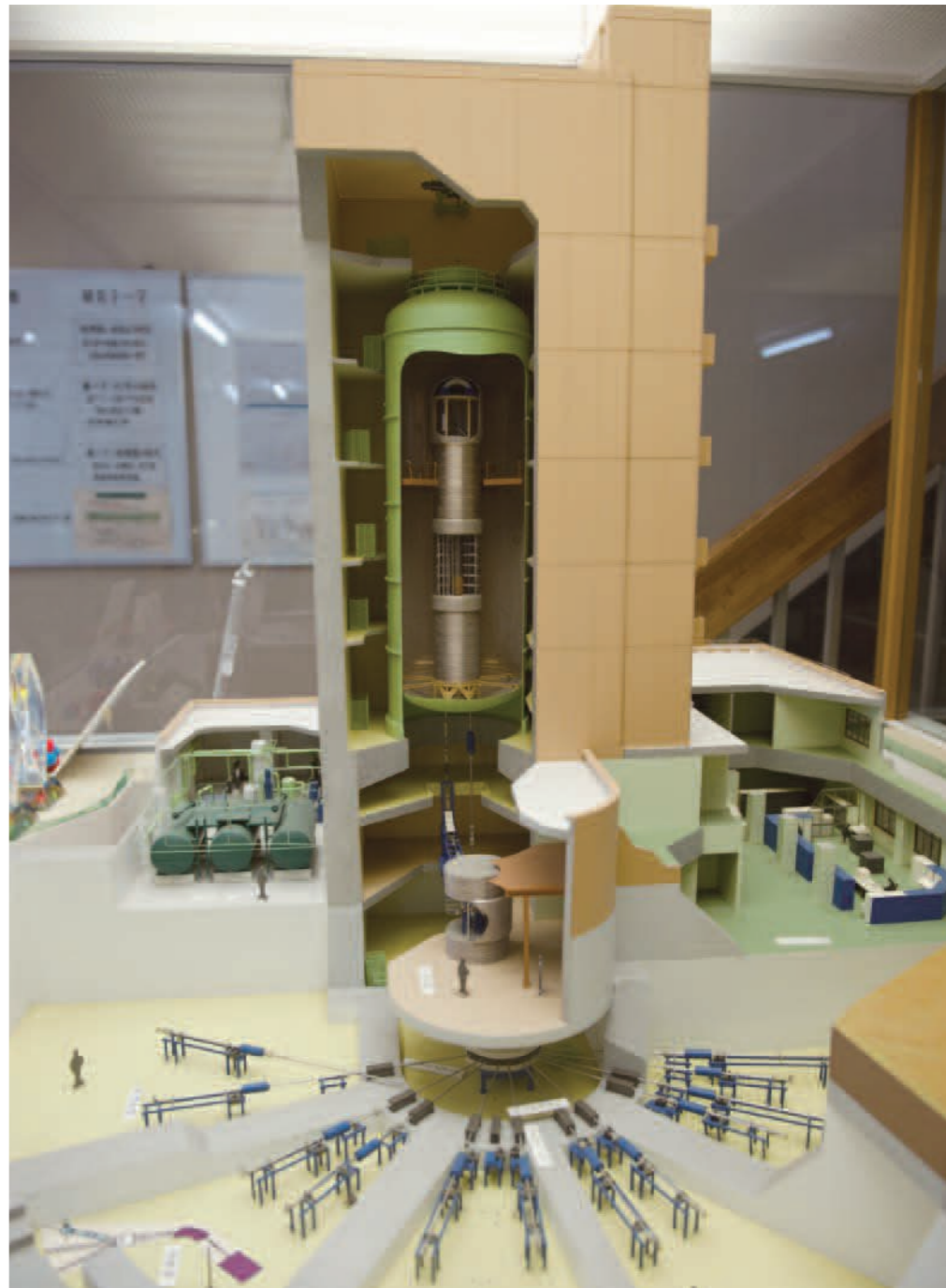
そこで研究チームは、原子力機構の「タンデム加速器」を利用した実験装置の開発に取り組みました。このタンデム加速器は、現在運用されている世界最大の静電加速器です。

多彩な元素を、イオンビームとして利用することができず。ここでは、やはり人工元素である希少なカリホルニウム(Cf)を標的に立て、ホウ素(B)ビームを当てることで、ローレンシウムの合成を試みました。

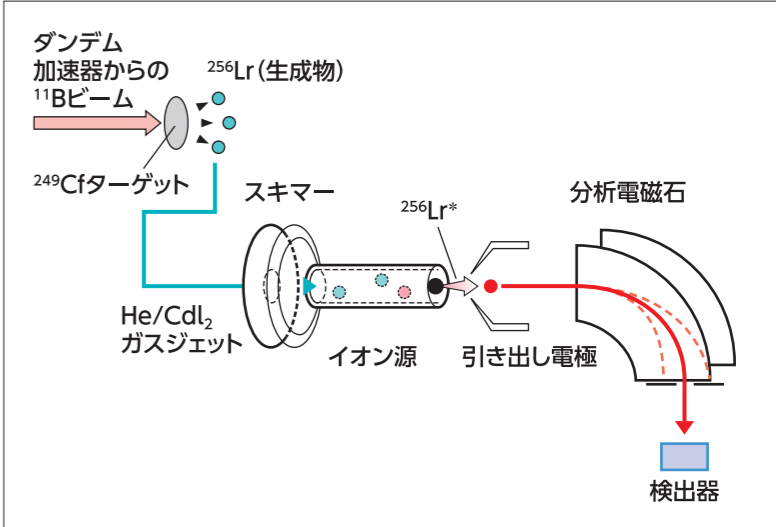
「直径3mmほどのカリホルニウムにビームを当てることのできる加速器は、タンデム加速器だけです。合成したローレンシウムをガス気流にのせて、新たに開発した特殊な表面電離型イオン源へ移動させてイオン化。その結果、ローレンシウムの短寿命同位体²⁵⁶Lr

を分離することに成功しました」(佐藤)

「ローレンシウムを合成できる加速器は、タンデム加速器だけではありませんが、ガスジェット法⁵やISOLと組み合わせると、効率よく、安定した実験が可能なのは、国内はもとより世界的に見ても、原子力機構だけです。これらを複合的に開発したことで、生成したローレンシウムから、イオン化エネルギーの値を導き出すことが可能になったのです」(塚田)



▲タンデム加速器の構造模型。アルファ放射線の放射性同位元素や核燃料物質を利用することができる、国内では特殊な加速器。



▲タンデム加速器を利用したローレンシウムの合成と、イオン化の概念図

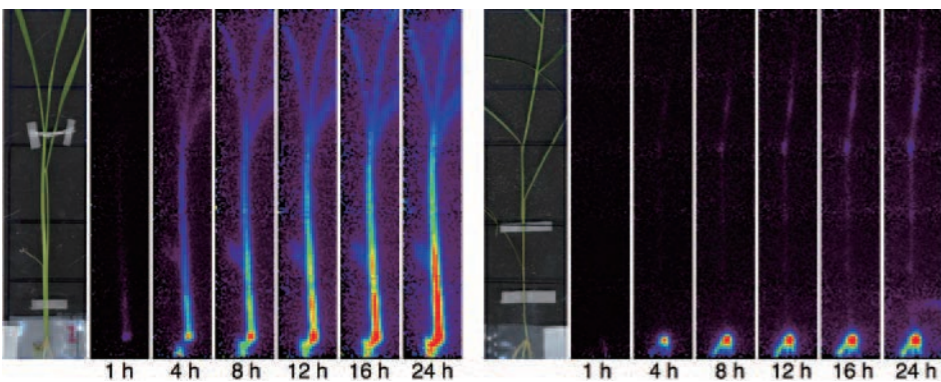


図2 左がイネ、右がヨシのイメージング画像。ナトリウムの濃度が高いほど赤く、低いと青色を示す。イネはナトリウムが時間とともに上昇して地上部へ送り出され、一方のヨシはナトリウムが地上部へ上昇せず、茎のつね部分に留まっている様子がわかる。

今回の共同研究が大いなる成果を残せたのは、技術はもちろん、人の力も大きかったと樋口教授は言います。

樋口 「私が生物学的な視点から立てた仮説を、藤巻さんが物理的な思考と技術力で論理的に証明してくれました。異分野間の共同研究では得てして、専門家同士の「ミニニケーション」がうまく取れずにギクシャクすることも多いのですが、藤巻さんのように、生物学的な知識があつてこちらの言い分を理解しながら進めてくれる人材は貴重です。今回の研究は、藤巻さんと原子力機構が培ってきた「植物ポジトロンイメージング技術」抜きでは成果にたどり着くのが難しかった

研究成果が示す未来が世界の食糧事情を大きく変える

樋口 「私が生物学的な視点から立てた仮説を、藤巻さんが物理的な思考と技術力で論理的に証明してくれました。異分野間の共同研究では得てして、専門家同士の「ミニニケーション」がうまく取れずにギクシャクすることも多いのですが、藤巻さんのように、生物学的な知識があつてこちらの言い分を理解しながら進めてくれる人材は貴重です。今回の研究は、藤巻さんと原子力機構が培ってきた「植物ポジトロンイメージング技術」抜きでは成果にたどり着くのが難しかった



樋口 「私が生物学的な視点から立てた仮説を、藤巻さんが物理的な思考と技術力で論理的に証明してくれました。異分野間の共同研究では得てして、専門家同士の「ミニニケーション」がうまく取れずにギクシャクすることも多いのですが、藤巻さんのように、生物学的な知識があつてこちらの言い分を理解しながら進めてくれる人材は貴重です。今回の研究は、藤巻さんと原子力機構が培ってきた「植物ポジトロンイメージング技術」抜きでは成果にたどり着くのが難しかった

用語解説
*1 植物ポジトロンイメージング技術
医療分野でがん検査に用いる「PET」と同じ原理による、放射線を利用した画像化技術で、特に植物研究分野に特化したもの。「PETIS」(positron-emitting tracer imaging system)という計測装置を使い、植物の根や葉に投与した放射線を放出する元素の動きをビデオカメラのように画像化。植物を傷つけることなく、その生理機能を解析する技術のこと。



プレス発表
<https://www.jaea.go.jp/02/press2015/p15042301/>

ほぼ同一な双子のような存在です。ヨシは塩分濃度の高い条件で水耕栽培するにあたり、このナトリウム22をごく微量、一時的に混ぜました。

すると、ナトリウム22が放射線を出すことで、どこにどのくらいあるかというシグナルを送ってくれる。その放射線をイメージング技術で追跡し読み取ることで、ヨシの内部を外側から観察する、というのが今回の研究実験でした。

簡単そうに聞こえますが、それを研究成

果として、実証するには、根気が必要だったと、藤巻リーダーは言います。

藤巻 「植物は、私たち人間や動物と違い、個体差がとても大きなものです。一つひとつ根や葉、茎の数や形が違うのがあたり前。野生のヨシであればなおさらです。



▲海辺に群生するヨシ

だからこそ、ヨシがナトリウムを根から吸い上げてまた根に戻す、という仕組みが普遍的であることを実証するには、イメージング画像を数値化し解析する必要があります。そこがもっとも苦労した点であり、時間のかかった部分です。

その長く根気のいる研究の結果、ヨシでは根から吸い上げたナトリウムが茎のつね部分で留まり、そこから徐々に根の先端方向へ向かって送り返される、という動きをしていることが解明できました。

樋口 「私たちの主食である米を実らせるイネは、元々塩分に弱い作物です。台風などで海水を被った田畑では、塩害が生じてい

が、多くの植物にとっては有害なナトリウムを上手に排除する仕組みを持つているからです。ツブツブと塩味は、ナトリウムを葉の表面に吐き出したものであり、それは、水に塩分を多く含む砂漠でも育つよう進化したアイスプラントの特徴と言えるでしょう。

このアイスプラントの例にこそ、今回ご紹介する研究のテーマがあります。

最近、水資源、特に農業用水の真水不足が深刻化(図1)し、さらに土壌の塩分濃度が高くなった農地が放棄され、砂漠化がひろがってきました。そのため塩分(ナトリウム)に耐えられる作物が世界中で求められています。もし、無尽蔵にある海水を活用できれば、食料生産は飛躍的に増加することでしょう。

しかし、多くの作物はナトリウムに弱い

ため、海水では育たないのが現実です。では、ナトリウムに耐える作物は皆無かといえ、そうではありません。アイスプラントのように塩分濃度の高い乾燥地砂漠でも育つ「例外」もあります。そこに注目したことが、樋口教授が研究をスタートさせるきっかけとなりました。

「私たちが主食である米を実らせるイネは、元々塩分に弱い作物です。台風などで海水を被った田畑では、塩害が生じてい

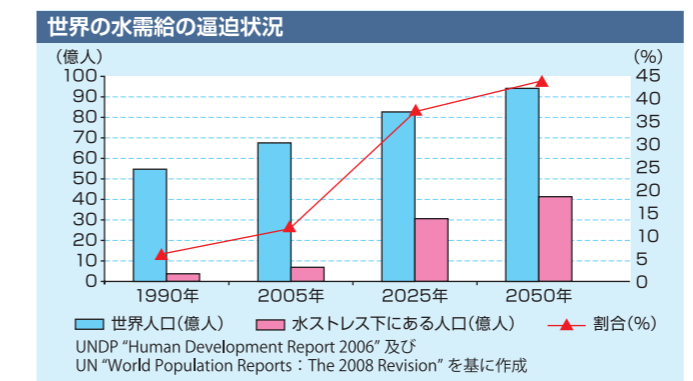


図1 世界の人口増加に伴い、水資源の不足が深刻化。(出典:国土交通省HP(http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/_international/about/about002.html)を加工して作成)

樋口 「ヨシが持つナトリウム排除の仕組みが明らかになったことで、今度はこれに関係する遺伝子が発見される可能性が高まりました。これを活用すれば、海水でも育つイネへと品種改良する道が拓けます。

さらに、それを参考に同じイネ科の小麦やとうもろこしの改良も進み、世界中の主食を海水で育てることが可能になります。海水は無尽蔵にあるのですから、水資源の不足を恐れることもなくなるでしょう」

塩害を受けやすいイネや小麦などの主食を安定供給することができれば、世界の食糧事情は大きく変わります。その可能性を、今回の研究成果は示しました。

樋口 「ヨシが持つナトリウム排除の仕組みが明らかになったことで、今度はこれに関係する遺伝子が発見される可能性が高まりました。これを活用すれば、海水でも育つイネへと品種改良する道が拓けます。

樋口 「ヨシが持つナトリウム排除の仕組みが明らかになったことで、今度はこれに関係する遺伝子が発見される可能性が高まりました。これを活用すれば、海水でも育つイネへと品種改良する道が拓けます。

放射線イメージング技術が映し出す 世界的食糧事情の希望の光

多くの植物にとって有害な塩分濃度の高い水でも「ヨシ」はなぜ育つのか。その仕組みを明らかにする共同研究が、この春、ひとつの結論を得ました。それは、世界初の成果であり、将来、世界の食糧事情を大きく変えるかもしれない貴重な発見となりました。注目の高まる研究内容について、東京農業大学の樋口恭子教授と、量子ビーム応用研究センターの藤巻秀リーダーに話を聞きました。



東京農業大学 応用生物科学部
樋口 恭子 教授



原子力科学研究部門
量子ビーム応用研究センター
バイオ・医療応用研究ディビジョン
植物PETイメージング研究グループ
藤巻 秀 リーダー
東京都出身 2002年採用

シリーズ 地層処分研究開発

地層処分とは 研究開発の現状

地層処分とは、原子力発電に伴って発生する高レベル放射性廃棄物を、人工的なバリアと地層が持っている物質を閉じ込める能力を組み合わせた多重のバリア機能によって、長期にわたって人間の生活環境から隔離しようとするものです。

地層処分はどのように行われるか

原子力発電所で燃やした使用済燃料を再処理し、燃え残ったウランと新しくできたプルトニウムを取り出して、再び燃料として発電に利用する連の仕組みのことを「核燃料サイクル」といいます。

この過程で発生する高レベル放射性廃液はガラス原料とともに高温で溶かし、ステンレス製の容器に入れて冷やし固めます。それが「ガラス固化体」です。

ガラス固化体は、冷却のために30〜50年程貯蔵し、その後地下300mよりも深い地層中に処分されます。

地層処分では、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材という3つの人工的なバリアと、長期にわたって安定した岩盤（天然バリア）という多重のバリアによって、放射性物質を長期間にわたって閉じ込め、私たちの生活環境から隔離します。

地層処分施設は、地上施設と地下施設から構成されています。地上施設では、ガラス固化体の受け入れ検査やオーバーパックへの封入など、ガラス固化体を地下300m以深に建設される地下施設へ搬送するための準備などを行うとともに、地下での作業を支援する機能を持っています。

地下施設は、ガラス固化体が埋設されることになる処分坑道をはじめ、処分坑道をつりまく連絡坑道、さらにこれらの坑道と地上施設とを結びアクセス坑道などから構成されています。地下施設の面積は、地質などによっても変わってきますが、約4万本[※]のガラス固化体に対して数平方キロメートル程度と想定されています。

原子力発電に伴って発生する高レベル放射性廃棄物の処分をめぐって、現在様々な議論が行われています。高レベル放射性廃棄物は、既に発生しているものであり、私たちの世代で解決すべき重要な課題です。「未来へげんき」では技術的にもっとも実現性と安全性が高いと言われている「地層処分」と、それに関連する原子力機構における研究開発について、シリーズで紹介していきます。

(瑞浪超深地層研究所主立坑を上部から撮影)

Vol.1 地層処分とはなにか

高レベル放射性廃棄物の対応方策については、これまでも様々な方法が国際機関や世界各国で検討されてきました。その中で、長期にわたって物質を安定した状態に保つ機能があること、地下の深いところでは地上に比べて地震、津波や台風などの自然災害の影響を受けにくいこと、戦争や

テロなど人間の行為による影響を受けにくいなどの観点から、地層処分が最も適した方法であるということが、現在世界の共通認識になっていきます。日本においては「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」が2000年に制定され、高レベル放射性廃棄物はガラス固化体として地下300m以深に最終処分されることになっています。

日本における地層処分技術に関する研究開発は、1976年から始まりました。日本原子力研究開発機構の前身である、動力炉・核燃料開発事業団および核燃料サイクル開発機構では、1991年には地層処分がわが国でも実施が可能であることを示し、以降の研究開発の目標を定めました（動力炉・核燃料開発事業団（1992）高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書「平成3年度」）。

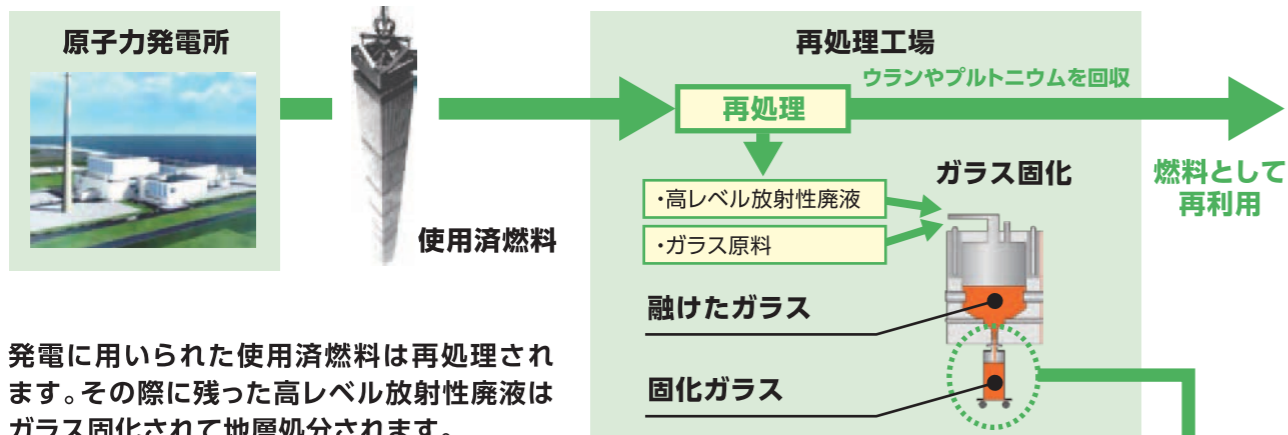
1999年にはわが国の地層処分技術が信頼のおけるものであることを示し、地層処分の事業化に向けた技術的根拠を取りまとめた（核燃料サイクル開発機構（1999）わが国における高レベル放射性廃棄物 地層処分の技術的信頼性―地層処分研究開発第2次取りまとめ―）。地層処分は候補地の選定から処分場の閉鎖まで約100年を要する事業であるため、国が責任をもって継続的に技術基盤を強化し、社会の信頼を得ながら段階的に進めていくことが必要です。

原子力機構では、日本における地層処分技術の中核的な研究開発機関として、これまで多様な観点から、地層処分の技術と信頼を支える研究開発に取り組んできました。

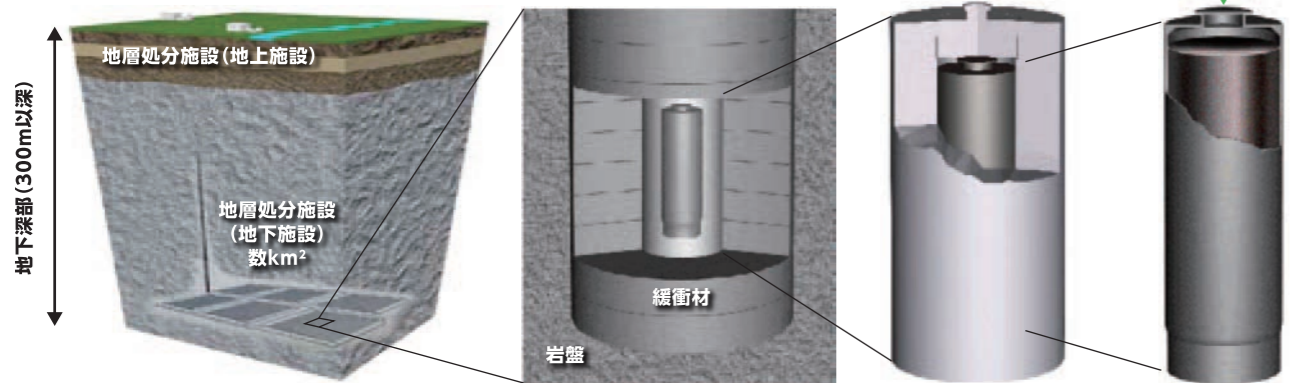
図 地層処分のしくみ

地層処分とは

人間の生活環境から十分離れた安定な地層中に適切な人工バリアを構築することにより長期的な安全性を確保する処分方法



発電に用いられた使用済燃料は再処理されます。その際に残った高レベル放射性廃液はガラス固化されて地層処分されます。



地質環境

地下深部の環境

- ・人間活動や自然現象の影響を受けにくい
- ・酸素がほとんどなく、鉄の腐食などが起こりにくい
- ・地下水の動きが極めて遅い

天然バリア

緩衝材

粘土を主成分

地下水や放射性物質の移動を遅くする

オーバーパック

金属製

ガラス固化体と地下水の接触を遮断する

ガラス固化体

ガラス

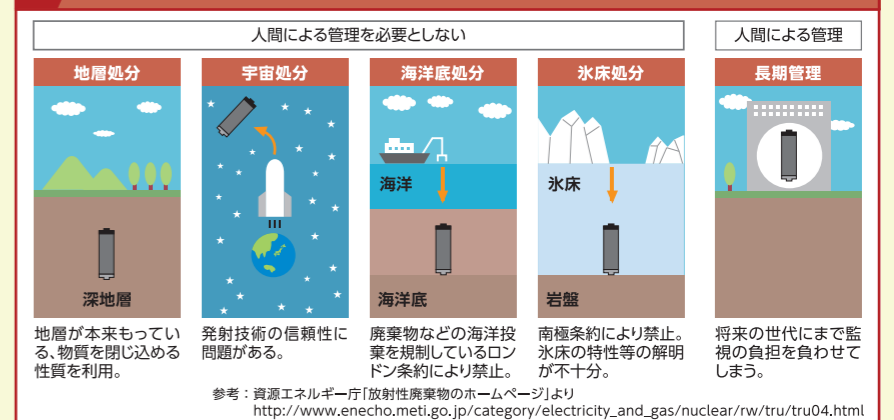
放射性物質を閉じ込め、溶け出しにくくする

人工バリア

用語解説

- *1 法律に基づいて地層処分されるのは高レベル放射性廃液をガラス固化したものだけではなく、放射能レベルの高い「長半減期低発熱放射性廃棄物」も対象となります。詳しくは資源エネルギー庁HPをご覧ください（資源エネルギー庁「放射性廃棄物のホームページ」：http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/）。
- *2 2021年頃までに原子力発電所で使用する燃料をすべて再処理したと仮定した場合に発生するガラス固化体の本数

図 放射性廃棄物



地下に埋めることには「リスク」もあるのでは？

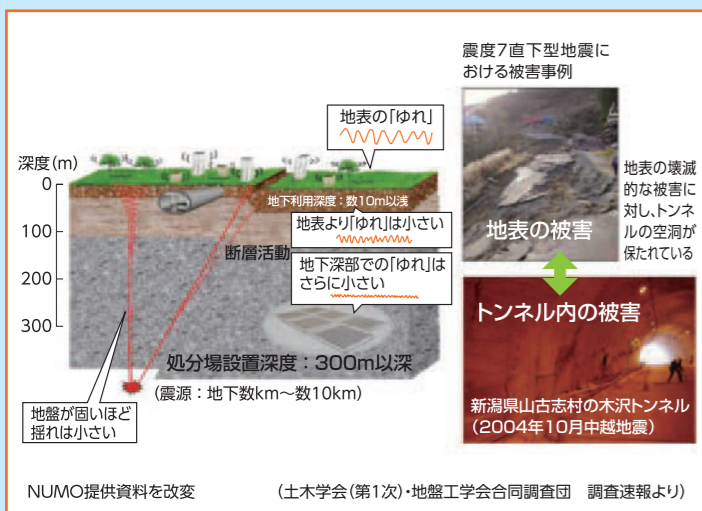
火山や断層の影響を受けないのですか？



「我が国の火山や活断層の分布は概ね把握されており、まだ把握されていない火山や活断層についても、調査によってその存在を把握することができます。火山や活断層の活動域については、過去から現在までの活動の傾向や規則性を把握することにより、これらの自然現象が将来処分場の安全性に影響を与えるような地域を避けて処分場を建設することができます。」

ガラス固化体を地下に埋めるということは、火山、活断層等の自然現象の影響を受けるではありませんか？

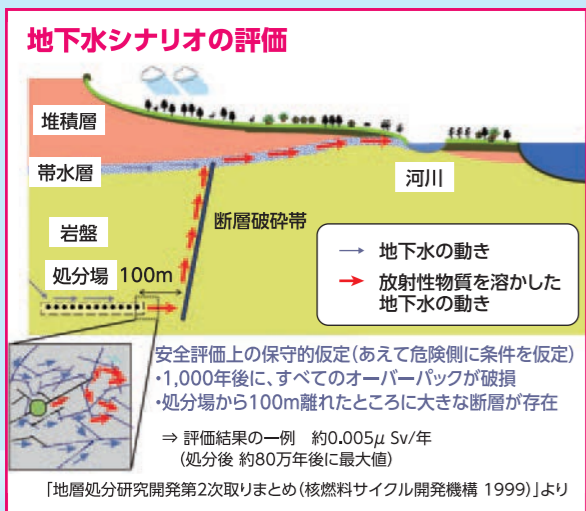
日本って、地震が多い国ですよね？



「地震の際に地下深くに埋めたガラス固化体は、周囲の岩盤と一体となって揺れます。地下での地震の揺れは地表での地震の揺れに比べ小さくなることとなります。ガラス固化体を収納する金属性の容器は、地震が揺れたとしても破損することが無いように十分な強度を持つよう設計します。また、ガラス固化体の中で放射性物質はガラスの成分と一体化しており、金属容器が破損しても中から放射性物質だけが流れ出すようなことはありません。」

日本は地震大国です。ガラス固化体が地震で壊れることはないのでしょうか？

地下水に溶け出して、地表に出てこないの？



「これについては将来起こりうるさまざまな状況を想定し、現在の科学水準で得られる種々のデータや知見に基づいて、シミュレーションによって安全性を示します。地下水によって放射性物質が溶け出すことを考えた評価の例(左図)では、放射性物質はゆっくりとした地下水の流れの中を途中で岩などに吸着されながら移動します。その間に放射能が減衰するために、地上で生活する人が受ける放射線量は、我々が日常受けている自然放射線に比べて非常に小さな値(10万分の1以下)となります。」

地震や火山等の影響がなくても放射性物質が地下水に溶け出して、地表へ出てくる可能性はないのでしょうか。その可能性をどう評価していますか？

原子力機構の取組

原子力機構では、地層処分技術に関する3つの研究開発拠点を設置しています。地層処分の舞台となる深地層の環境を総合的に研究するため、結晶質岩と堆積岩を対象に、2つの深地層の研究施設計画を進めています。現在、東濃地科学センターでは深度500m、幌延深地層研究センターでは深度350mまで掘削し、研究用の水平坑道を展開して調査・研究を実施しています。これらの地下の坑道は、深地層の環境を体験・学習する場としても活躍しています。また、何万年という長期間にわたる変化を考慮するため、火山や活断層などに関する研究も併せて行っています。核燃料サイクル工学研究所では、人工バリアや放射性物質の長期挙動に関する実験データや、深地層の研究で得られる情報などを活用して、処分場の設計や安全評価に必要な技術の開発を進めています。これまでの成果は、ガラスの溶解やオーバーバックなどのデータベースとして蓄積するとともに、ホームページ上で公開しています(国立研究開発法人日本原子力研究開発機構地層処分技術に関する研究開発: <http://www.jaea.go.jp/O4/tisou/toppage/top.html>)。これらの3つの拠点を中心に、原子力機構では、安全で安心な地層処分の実現に向けた研究開発を着実に進めるとともに、わかりやすい情報の発信や研究施設の公開などを通じて、地層処分に関する相互理解の促進にも努めています。

原子力機構の研究開発施設と各研究分野

東濃地科学センター (岐阜県土岐市、瑞浪市)

- 瑞浪超深地層研究所(結晶質岩)

地上施設

地下施設 (イメージ図)

幌延深地層研究センター(北海道幌延町)

- 幌延深地層研究所(堆積岩)

地上施設

地下施設 (イメージ図)

核燃料サイクル工学研究所 (茨城県東海村)

- 地層処分基盤研究施設(エントリー)
- 地層処分放射化学研究施設(クオリティ)

エントリー

クオリティ

皆さまの「声」をご紹介します

アンケートへのご協力、ありがとうございます。
皆さまから寄せいただきましたご意見を一部紹介いたします。

- 少し難しいけど、どんな研究がどのくらい進んでいるかわかってよい。
(福井県福井市 女性)
- もっと福島の研究開発のことが知りたいです。(茨城県水戸市 女性)
- もう少し字を大きくすると更に読み易くなる。写真をもっと大きくしてほしい。
(福井県福井市 男性)
- この冊子はより広く社会の目にふれるべきです。(大阪府枚方市 男性)

「内容が少し難しい」、「写真をもっと大きくしてほしい」とのご意見をいただきましたが、分かり易く、見やすい誌面構成を心がけて編集を行いました。
「未来へげんき」編集部では、皆さまからのご意見を編集に反映させてまいります。今後ともよろしくお祈りいたします。

※アンケートに記載いただきます個人情報は、本件以外には使用いたしません。

INFORMATION

メールマガジン

最新の研究開発成果などをお知らせします。
メールマガジンの配信を希望される方は、ホームページからお申込ください。
<http://www.jaea.go.jp/mailmagazine/>



ツイッター

最新の研究開発成果などをお知らせしています。
http://twitter.com/JAEA_japan



Webアンケート

「未来へげんき」へのご意見、ご感想などをお寄せください。
<https://www.jaea.go.jp/genki/enquete/37/>



「未来へげんき」バックナンバー

http://www.jaea.go.jp/study_results/newsletter/



PLAZA

原子力機構の動き

Topics



関西光科学研究所
X線多層膜回折格子とその電子顕微鏡への応用と評価に関する学術論文が「日本顕微鏡学会第30回論文賞(顕微鏡法基礎部門)」に選ばれました。

Topics



敦賀事業本部
【広報誌】「つるがの四季」No.107を発行しました。レーザー共同研究所の研究成果で、福島の日も早い復興に貢献します。

Topics



高崎量子応用研究所
「第38回花と緑の見学会」を開催し、約1,500人の方にご来場いただきました。

Topics



幌延深地層研究センター
「幌延深地層研究計画 平成27年度調査研究計画説明会」を開催し、約100名の地域の方々に対して説明を行いました。

Topics



人形峠環境技術センター
Project JAEA「廃止措置のフロントランナー～人形峠環境技術センター～」を、ホームページで公開中です。

Topics



東濃地科学センター
【広報誌】地層研ニュース6月号を発行しました。「平成26年度土木学会技術賞」を受賞しました。

Topics



青森研究開発センター
親子月食観望会を開催し、六ヶ所村内などにお住まいの12組のご家族(計33名)にご参加いただきました。



詳細は原子力機構ホームページへ
<http://www.jaea.go.jp/info/>



Topics



大洗研究開発センター
【広報誌】「夏海湖の四季」74号を発行しました。「第23回原子力工学国際会議の見学ツアー」を受け入れました。

Topics



J-PARC
【広報誌】「J-PARC News 第121号」を発行しました。J-PARC研究棟完成記念式を開催しました。タイ王国のシリントーン王女殿下がご視察されました。

Topics



那珂核融合研究所
「静峰ふるさと公園八重桜まつり」に出展し、太陽望遠鏡を用いた太陽観測や超伝導体を用いた人間浮上体験などを行いました。

Topics



福島研究開発部門
【広報誌】Topics福島No.66を発行しました。廃炉国際共同研究センターが発足しました。廃炉研究と人材育成に向け、国内外の英知を結集します。

Press Release

先端基礎研究センター
超伝導体中の準粒子スピン流による巨大スピンホール効果の観測に成功
強い磁場でよみがえる超伝導のしくみを解明

量子ビーム応用研究センター
放射線がん治療の副作用低減に新たな道筋
これまでになく強く明るいX線を発生する新たな技術誕生へ

編集後記

原子力機構は、平成27年4月1日から「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構」として、児玉新理事長のもとに新たなスタートを切りました。「未来へげんき」も構成や内容を一新して、より分かり易く、読者の皆様へ原子力機構の研究開発成果や活動内容をお伝えしていきます。新しくなった「未来へげんき」にご期待ください。

季刊 未来へげんき NO.37 2015

平成27年6月
編集・発行 日本原子力研究開発機構 広報部 広報課
制作 株式会社 毎日映画社



ご協力ありがとうございました。

皆様の声をお寄せください。今後の編集の参考にさせていただきます。

- どこで入手されましたか。
①原子力機構施設等 ②公共施設 ③郵送 ④その他
- 号の記事・読み物で良かったもの(複数回答可)
①巻頭インタビュー 日本原子力研究開発機構 児玉 敏雄 理事長
②特集 廃炉に向けた新たな取組 世界の英知を集めて
③私たちの研究1 103番元素 ローレンジウム(Lr)が解く周期表の謎
④私たちの研究2 放射線イメージング技術が映し出す
⑤シリーズ 地層処分研究開発 Vol.1 地層処分とはなにか
⑥PLAZA 原子力機構の動き
⑦その他
- 表紙や誌面のデザイン的印象
①良い ②まあ良い ③普通 ④あまり良くない ⑤悪い
- 原子力機構の震災対応や放射線について
①よく理解できた ②まあ理解できた ③普通
④あまりわからない ⑤わからない
- 「未来へげんき」の冊子配送についてお伺いします。
(今後の参考のためにお伺いします)
①冊子配送継続 ②冊子配送無し(JAEAホームページでの掲載のみ)
③冊子配送及び本誌に関するご意見・ご要望をお聞かせください。
また、取り上げてほしいテーマなどご自由に記入ください。