

TOMIC

とおみつ

九州エネルギー問題懇話会

高レベル放射性廃棄物の地層処分

～世界的に認められている地層処分について正しい認識を～



九州大学大学院
工学研究院 エネルギー量子工学部門
教授

出光一哉 (いでみつ かずや)

昭和55年、九州大学工学部応用原子核工学卒業。昭和57年、同大学大学院工学研究科応用原子核工学専攻修了。同年、動力炉・核燃料開発事業団東海事業所入社。平成元年より九州大学助手、平成5年に同助教授、平成14年より九州大学大学院工学研究院教授を務める。平成5年、九州大学にて工学博士取得。

前回に引き続き、放射性廃棄物の処分について九州大学大学院教授の出光一哉氏にお話を伺います。今回は世界的に処分の動きが始まっている高レベル放射性廃棄物について、より詳しい説明をしていただきました。原子燃料サイクルにおける再処理の重要性や、世界の主流となっている地層処分についての考え方もお聞きします。エネルギーの恩恵を受けてきた私たちの世代が何をすべきなのか、考えてみたいと思います。

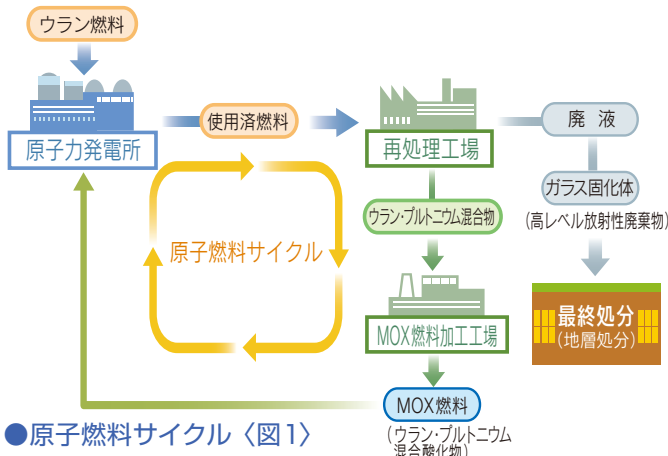
ウラン資源の有効活用を図る原子燃料サイクル

原子力発電所で使われるウラン燃料は、発電の際、わずか3～5%しか消費されず、残りの95～97%は再利用が可能です。そこで、発電所で使い終えた使用済み燃料から再利用可能なウラン、プルトニウムを回収して、再び原子力発電所の燃料として発電に利用するのです。これを「原子燃料サイクル」といいます。〈図1〉

使用済み燃料を再処理する過程で、放射能レベルの高い廃液が発生します。この廃液は融かしたガラスと混ぜ合わせ、ステンレス製の容器に入れて固めます。これがガラス固化体（高レベル放射性廃棄物）です。〈図2〉

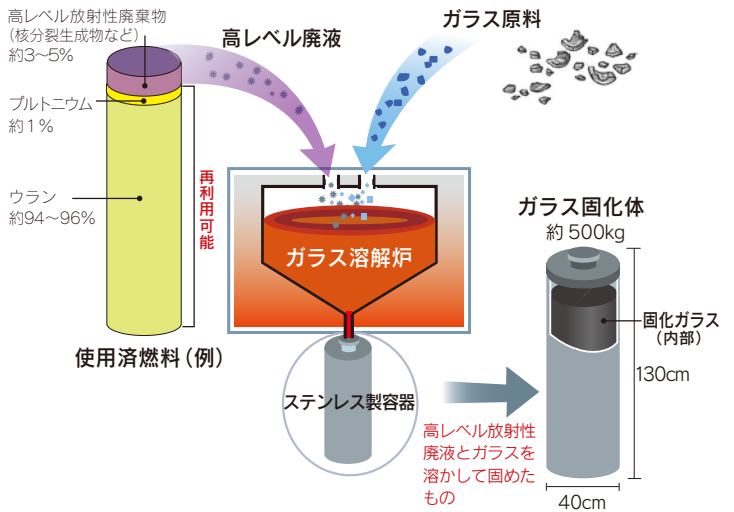
原子燃料サイクルのなかで使用済み燃料の再処理を行うことで得られる二つの大きなメリットがあります。

一つはウラン資源の有効活用です。使用済み燃料の9割以



●原子燃料サイクル 〈図1〉

●ガラス固化体の製造イメージ 〈図2〉



上はリサイクルが可能です。現在17,000トンの使用済み燃料体が国内にありますが、解体・再処理を施すと合計4,000トンの燃料を得ることができます。東日本大震災以前に日本が使用していた原子力発電の燃料は年間約1,000トンだったので、ほぼ4年分のエネルギー資源に相当します。

リサイクルされ新しく生まれ変わった燃料は「準国産のエネルギー資源」といえます。エネルギー資源のほとんどを輸入に頼っている日本において、エネルギーの安定供給を高めるためにも必要な取組みなのです。

二つ目は高レベル廃棄物の量を減らすことができます。使用済み燃料をそのまま処分する場合に比べて、再処理することで廃棄物の体積は1/4になります。〈図3〉 加えて

TOMIC

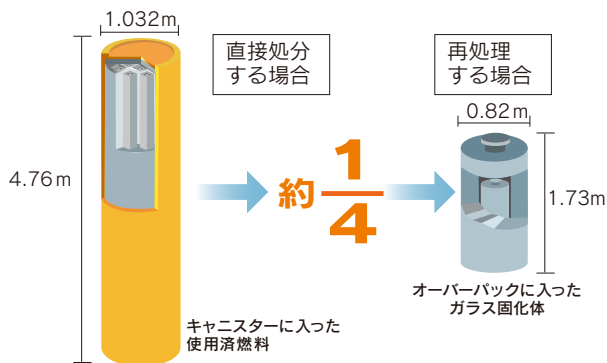
高レベル放射性廃棄物の地層処分

とおみくく ～世界的に認められている地層処分について正しい認識を～

半減期の長いウランやプルトニウムが再利用のために取り除かれるので、放射能そのものも少なくすることができます。

そのため、使用済燃料をそのまま処分した場合は、放射能が天然ウランと同程度に低下するには10万年ほどかかりますが、再処理後は8,000年程度と約1/12に短縮されます。

●高レベル放射性廃棄物の減容化の比較〈図3〉



世界的に認められた地層処分

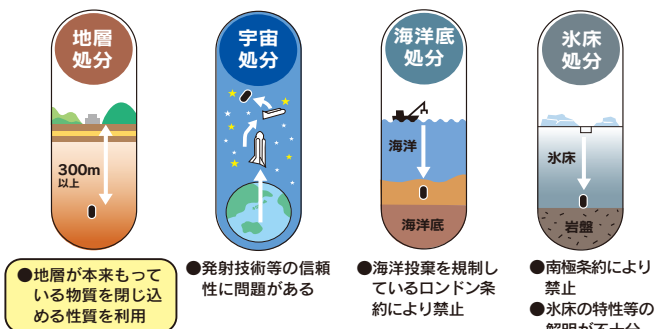
使用済燃料の再処理は、日本においては青森県六ヶ所村の再処理工場で行われる予定です。ガラス固化体はここで作られ、冷却のため現地で30～50年貯蔵されます。貯蔵初期のガラス固化体は280度ぐらいの高温ですが、貯蔵期間中に100度以下に下がります。

その後、最終処分場に運ばれて地下300メートルより深い地層中に埋設する最終処分が行われます。現在、高レベル放射性廃棄物の処分方法のうち、最も問題点が少ない解決方法として世界的に採用されているのがこの地層処分です。

仮に地上で管理した場合、地震や台風などの自然現象、人間による戦争やテロ、空気に触れることによる金属の腐食等の問題が起こる可能性があります。また地上で長期管理した場合のコストは膨大なものになり、将来の世代に技術的、経済的に大きな負担を残してしまうことになります。

他にも、宇宙処分や海洋底処分、氷床処分などが検討され

●高レベル放射性廃棄物の処分方法〈図4〉



※原子力・エネルギー図面集2016を基に作成

ましたが、いずれも問題点があり、最終的に最も安全確実で自国での処分が可能な方法として選ばれたのが地層処分です。〈図4〉人間による管理を必要としない解決方法として現在では世界で共通した認識となっています。

多重バリアシステムで守る地層処分の考え方

地層処分は地下300メートルより深い地中に、放射能レベルが極めて高い廃棄物を埋設します。そのため放射性物質が漏れることを防ぐさまざまな対策が施されます。ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材といった3層の人工的なバリアと、長期にわたって安定した天然の岩盤(天然バリア)という多重のバリアシステムによって、放射性物質を長期にわたって閉じ込め、私たちの生活環境から隔離します。

■ガラス固化体(人工バリア①)

再処理の過程で出る液体状の高レベル放射性廃棄物を、ガラス原料とともに融かして固めたものがガラス固化体です。ガラスはさまざまな元素を融かして閉じ込める特徴を持っています。主成分であるケイ素やホウ素などの原子が網目のような構造をしており、この網目構造の中に他の元素(放射性物質など)をしっかりと取り込むため、物質の保持能力が極めて高く、化学的に安定しているのです。

たとえば色ガラスもいろいろな元素が融け込むことによって作られたものです。遺跡から発掘された3000年前の古代のガラス製品が現在も色鮮やかに残っているのは、内部に元素を閉じ込めて長期に安定して存在しているからです。



●紀元前14世紀古代エジプトのガラス瓶(岡山市立オリエンタル美術館蔵)

また、ガラスは割れても取り込んだ成分がガラスの外に出てくることはありません。さらにガラスは非常に安定した素材で水には容易に溶けません。放射性物質はガラスの網目構造の中にしっかりと取り込まれているため、ガラスが割れても直ちには溶けだしません。こうしたガラスの性質を利用して、高レベル放射性廃棄物をガラス固化体に封じ込め、極めて長期にわたって安定的に処分しようということです。

■オーバーパック(人工バリア②)

このガラス固化体をさらにオーバーパックと呼ばれる金属製の容器で覆います。オーバーパックの役割は、ガラス固

化体が、放射能がある程度減少するまで、地下水と触れないようにすることです。

金属は酸素により酸化して腐食していくことが想定されます。ところが地下深くは微生物の活動などによって酸素が非常に少なく、腐食は極めてゆっくりとしか進まないため、金属製品が錆びずに長く存在することができます。1000年間の腐食量は大きく見積もって40ミリ程度です。厚さ19センチと余裕を持った設計で、非常に頑丈に作られており、もし仮に列車やトラックがぶつかっても壊れません。

■ 緩衝剤(ベントナイト) (人工バリア③)

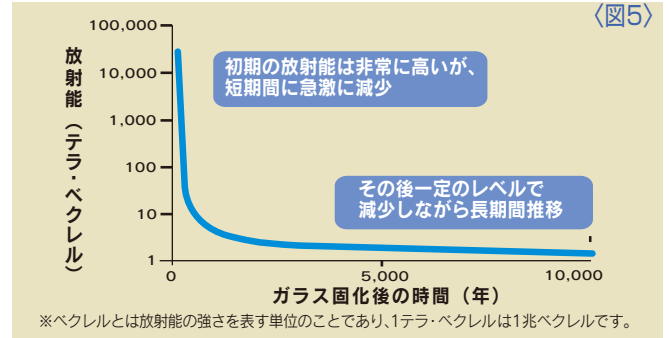
もうひとつ、オーバーパックの周囲のすき間を埋め、放射性物質の漏れを防ぐために使用されるのが緩衝材です。緩衝材としてベントナイトという粘土質のものが使われます。粘土は水を通しにくいという性質があり、柔らかいため周囲の圧力や岩盤の変化にも柔軟に対応することができます。緩衝材として使用することで放射性物質が水に染み込んで移動することを防ぐ(遅らせる)ことができ、放射能が生物圏に影響のないレベルに下がるまで、しっかりと地中に閉じ込めます。

ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材は、放射性廃棄物に対して人間が用意した人工バリアです。これに加えて天然バリアというものがあります。それが地中深くの安定した岩盤です。

■ 天然の岩盤 (天然バリア)

地下の深い場所は大変変化が少なく、安定しています。例えば地下水は年間わずか数ミリから1センチ程度しか移動し

● 高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)1本あたりの放射能レベルの推移

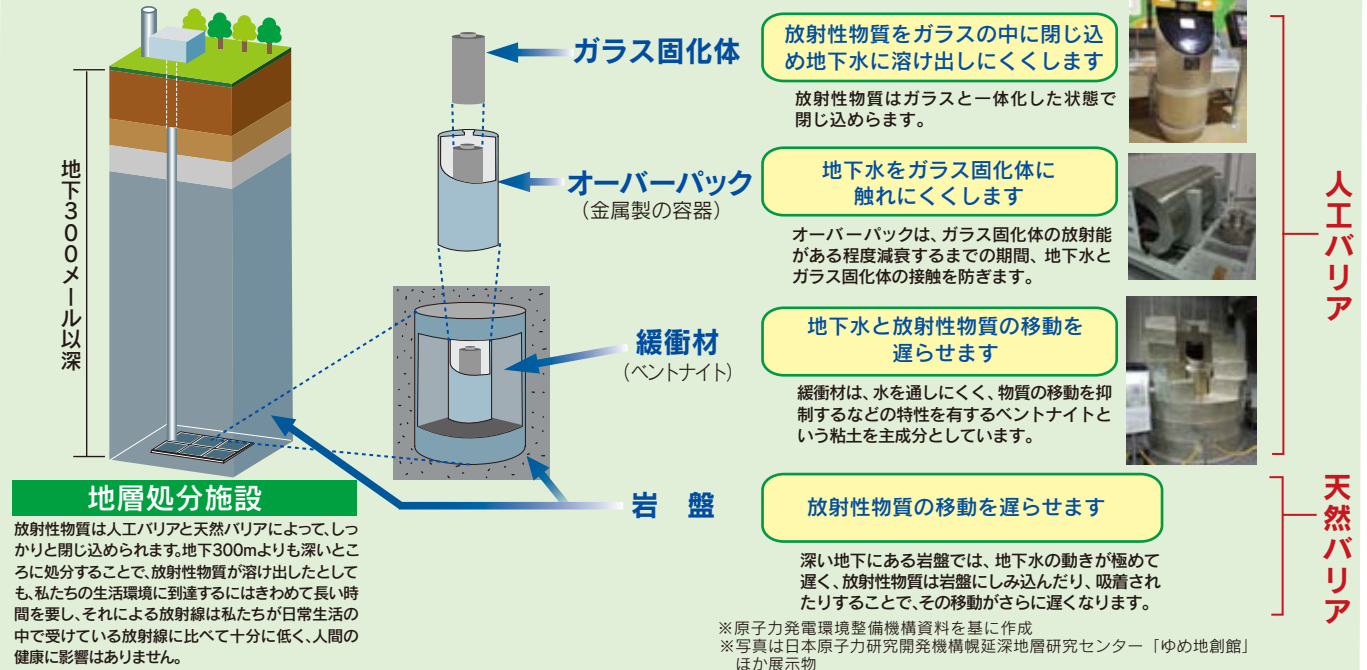


ません。爪が伸びる速度より遅く、それくらい変化の少ない場所なのです。また、酸素が非常に少ないので鉄が錆びにくく、オーバーパックなどの金属製品が錆びずに長く存在することができます。

地殻変動のある日本では将来的に土地が隆起する可能性もありますが、ある程度の深さであれば安全だと考えられています。これまでの記録では地表において、平均して100万年で1000メートル程度の隆起が起こることが分かっています。ただ、ガラス固化体は製造後、1000年間で放射能が約1/3000になり、さらに約8000年後には原料となったウラン鉱石と同程度の放射能となります。〈図5〉そのため300メートル以下の深さであれば問題のないレベルと考えられています。

このように人工バリアと天然バリアを加えた仕組みを多重バリアシステムと呼び、高レベル放射性廃棄物をさまざまな角度から保護します。人間の知恵や技術とあわせて天然のバリアを組み込むことにより、より安全で確実な処分ができるようになるのです。

● 高レベル放射性廃棄物の地層処分イメージ



たいへん重要な最終処分地の場所選び

最終処分地はいくつかの段階を経て決定されます。まず文献などで適性があるかどうかの調査を行ない、次にボーリングなどの概要調査を行ないます。最終的に候補地を2～3カ所に絞って精密調査を行ない、最後に地元からの最終合意が得られれば建設地が決定される段取りです。

処分場の場所選びは非常に重要で、いくつか適さない条件があります。水の流れが速い場所、岩盤に大きなヒビが入っているような場所はそもそも向きません。また火山が近い場所、断層が走っている場所、隆起侵食の可能性が大きい場所も避ける必要があります。火山国である日本では火山の影響について気になる人も多いでしょう。火口は100万年の間に最大で10キロ程度動くことがわかっています。そのため現在活動している火山はもちろん、休眠火山などの火口を避け、少なくとも15キロ以上離れた場所が選定される予定です。加えて地下資源が埋蔵されていないことも大切です。将来、人類が使うような地下資源がその場所にあると、掘り起こして放射性廃棄物に触れる危険性が高くなってしまいますからです。

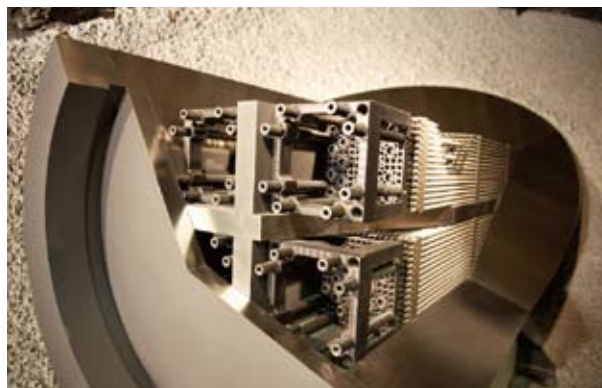
また、地下水の流れや水質、量などの調査はもちろん、地質学、化学、考古学、地下資源などの観点からも調査・研究が行なわれています。国内には北海道幌延町、岐阜県瑞浪市の2カ所に研究施設が設けられています。それぞれ堆積岩で塩水系の地下水、結晶質岩で淡水系の地下水と、地盤や地下水の性質が違っており、こうした岩盤や地下水の影響を調べるだけでなく、地下に施設を造るための技術開発などが行なわれています。

世界各国における放射性廃棄物の処分状況

地層処分を行なうことは世界共通の認識となっていますが、国によって具体的な処分の内容や進展状況は違います。

北欧のフィンランドとスウェーデンはすでに処分地が決まっており、フィンランドのオルキルオトは2022年から、スウェーデンのフォルスマルクは2029年から操業が予定されています。いちばん進んでいるのはフィンランドで、すでに地下施設の建設が始まっています。当初は地元議会の反対もありましたが、地域への地道な説明により住民が事業を正しく理解し、最終的には住民の84%が最終処分場の受け入れを賛成しました。

北欧の2カ国は使用済み燃料を再処理せず、そのまま処分



●使用済み燃料を再処理せず、そのまま地層処分する国も
(スイス モンテリ岩盤研究所 カットモデル)

することになっています。原子炉の数も少なく、一国の中で再処理まで行なうには負担が大きくメリットが少ないからです。スカンジナビア半島は固い岩盤に覆われているため、この固い岩盤を利用して地層処分を行ないます。日本では資源の再利用の観点から再処理を施し、ガラス固化体にして地層処分を行ないます。

フランスは日本と同様、使用済み燃料に再処理を施し、ガラス固化体にして最終処分を行なう予定です。フランスには優れた天然のバリアとなる粘土層が存在します。そのため、この粘土層の中から処分地が選ばれる予定です。国によって地層の条件や燃料の使用状況が違うため、その場所に適したやり方で、自国内で無理なく処分することとなります。

次の世代に負の遺産を残さないために

高レベル放射性廃棄物の最終処分を進めていくためには多くの問題を解決しなければなりません。何よりも重要なことは最終処分について正しい知識を持ち、その重要性について多くの人に理解を深めてもらうことです。これまで見てきたように処分の方法や処分地の選定については安全性を第一に考え、さまざまな観点から詳細な検討を重ねていますが、なかなか理解を得られないのが現状です。

最終処分地は迷惑施設といった印象が強く、「危ない施設が近くにできるのはイヤだ」と考える人がほとんどです。けれども自分たちが出したゴミなのだから、自分たちで処理しなければいけないという意識を持つべきです。自らが望んで原子力発電所ができたわけでもなく、その恩恵を受けて快適な生活をしてきたことは事実なのですから。

今回ご紹介したように、いかに安全性を考えて設計されているかを理解していただき、次の世代に負の遺産を残さないために問題を先送りすることなく、自分たちの課題として考えてもらえればと思います。