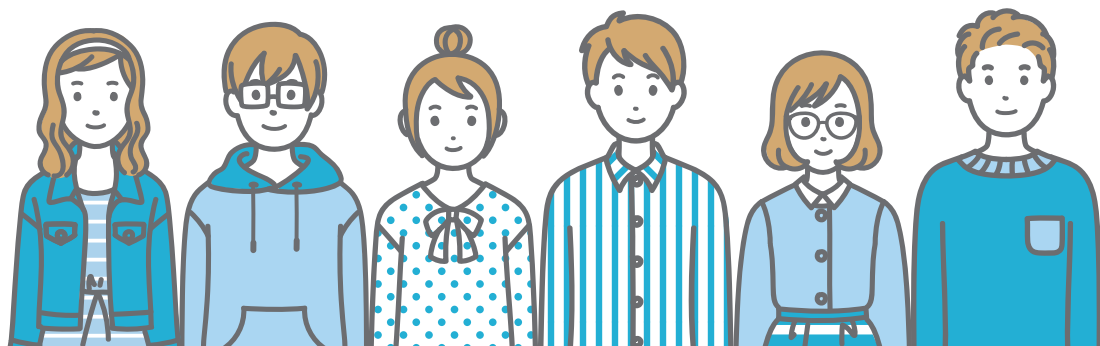


学ぼう!
考えよう!

福島第一原子力発電所

.....
廃炉と未来

HAIRO
MIRAI



はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の事故から11年の月日が過ぎました。

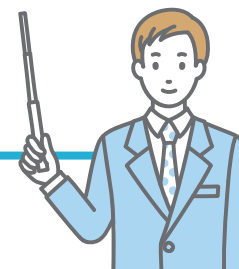
これまでの期間で、「廃炉」に向けた取り組みは一步一步進められていますが、その状況をよく知らない人も多いのではないのでしょうか。また、特に若いみなさんの中には、事故当時のことを知らない、覚えていないという人もいますかと思えます。

現代に生きる私たちにとって、事故による記憶と教訓を風化させないこと、福島の復興及び再生の姿を正しく知ることは大切です。この本を手にとったことが、「廃炉」に対する理解を深めるための一助になるとともに、福島の未来を考えるきっかけになれば幸いです。

(2022年3月現在)

INDEX

あの日、福島で起こったこと	03,04
福島第一原子力発電所の建屋の現状	05,06
原子炉の現在の状態	07
周辺への影響	08
福島第一原子力発電所の廃炉について	09-14
1.燃料取り出し	15,16
2.燃料デブリ取り出し	17-20
3.汚染水対策	21,22
4.ALPS処理水の処分	23-38
5.廃棄物の処理・処分	39,40
地域産業への貢献	41
将来的な技術発展	42
「廃炉と私たち」—地元福島の高校生の声—	43,44
原子力発電の仕組み	45
原子炉の構造	46
避難指示の解除	47
福島の復興に向けた動き	48
日常生活の放射線	49
もっと廃炉を知りたい方へ	50



あの日、福島で起こったこと

2011年3月11日14時46分、三陸沖の海底を震源とするM9.0の地震が発生しました。

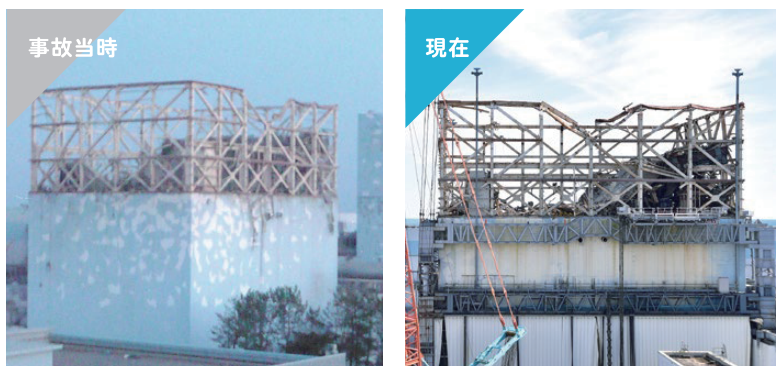
福島第一原子力発電所は、地震発生から約50分後には、高さ約13メートルの津波に襲われ、原子炉を運転・制御するための電源が喪失し、冷却システムが停止しました。

原子炉が冷却できなくなったことで燃料の溶融に至り、さらに、燃料の溶融の過程で発生した大量の水素ガスにより、水素爆発が起こりました。こうして、多くの放射性物質が環境中に放出されることとなりました。



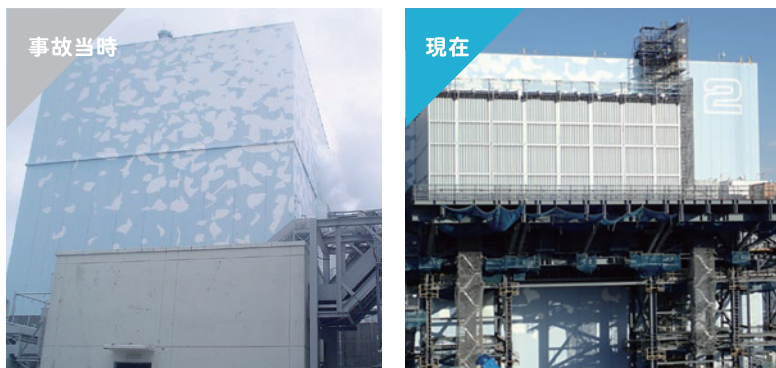
福島第一原子力発電所の建屋の現状

1号機



燃料取り出しに向け、ダストの飛散防止のために建屋をすっぽり覆う大型のカバーを設置する予定です。

2号機



燃料取り出しに向け、南側に構台を設置する準備を進めています。
※2号機では、原子炉建屋上部側面のパネルが1号機の爆発の衝撃で開いたため、水素が外部へ排出され、爆発をまぬがれたと考えられている。

3号機



2019年4月に燃料取り出しを開始し、2021年2月に、燃料デブリが残る号機としては初めて燃料取り出しが完了しました。

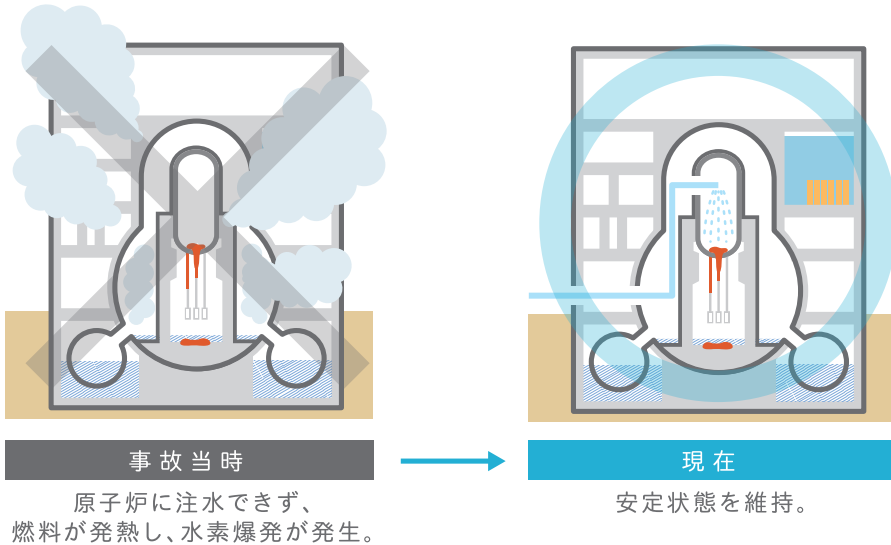
4号機



2013年11月に燃料取り出しを開始し、翌年2014年12月にすべての燃料取り出しが完了しました。

原子炉の現在の状態

2011年12月にすべての号機で冷温停止状態を達成し、現在まで安定状態を維持していることから、再び事故が発生する可能性は限りなく低いといえます。万が一原子炉内の燃料が再臨界したとしても、核分裂を抑える設備を整備しており、十分な対応が可能です。



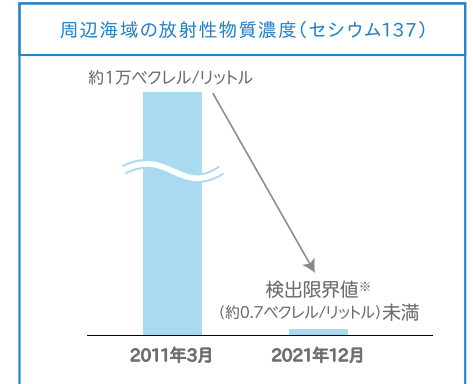
用語解説

- 冷温停止状態** 原子炉の圧力容器底部の温度がおおむね100℃以下になり、放射性物質の放出が管理され、冷却システムの中期的安全が確保できるようになっている状態。
- 臨界** 核分裂が連鎖的に持続している状態のこと。原子力発電所では原子炉内でこの連鎖反応を一定のレベル(出力)で維持しながら発電を行っている。

周辺への影響

海

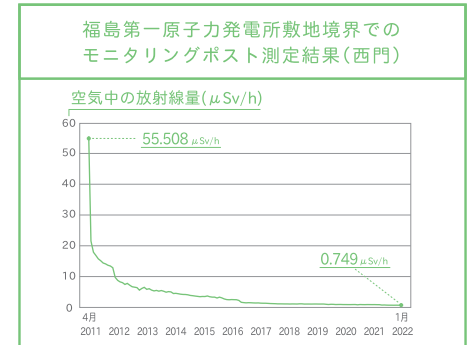
周辺海域の水質は大きく改善しており、世界的な飲料水の水質基準を十分に満たしていることが確認されています。



※周辺海域の放射性物質濃度は、南放水口付近のセシウム137値
※世界的な飲料水の水質基準は10ベクトル/リットル

大気

敷地境界において測定している空気中の放射線量は十分に低下し、安定した状態となっています。



※福島第一原子力発電所の敷地境界にあるモニタリングポスト(MP.5)の測定結果の月平均値の推移

用語解説

- ベクレル(Bq)** 1秒間に出る放射線の数を表す単位
- シーベルト(Sv)** 放射線の人体へ影響度を表す単位 (mSv=ミリシーベルト)
- 放射線** 高いエネルギーをもった高速の粒子(電子など)や電磁波のうち波長が短いもの
- 放射性物質** 放射線を出す物質
- 放射能** 放射線を出す能力

廃炉って何？
なぜ必要があるの？

どのくらいの人が
作業しているの？

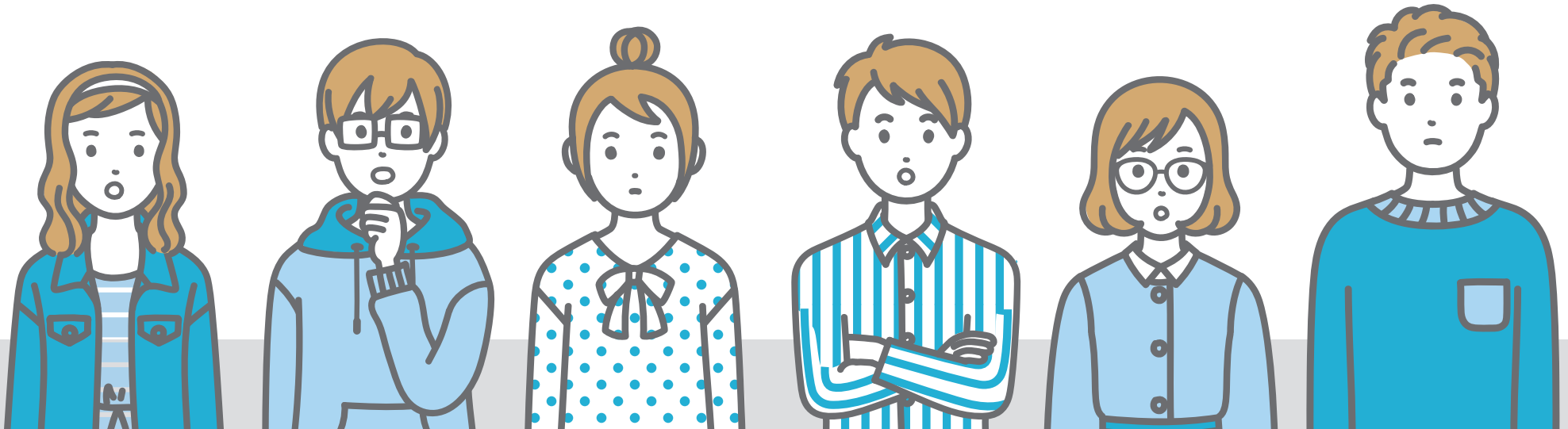
どんな作業を
やっているの？

作業は何年
かかるの？

燃料はどれくらい
取り出しできたの？

福島第一原子力発電所の 廃炉について

廃炉は今後
どうなっていくの？



廃炉って何？
なぜ必要なの？



廃炉とは

安心して暮らせる環境を取り戻すため、周辺の住民や環境へのリスクを下げ、原子炉施設の解体を進めていく、福島の復興の大前提となる取り組みです。



どのくらいの人が
作業しているの？



構内の作業員

現在、福島第一原発構内では1日4,000人程度の方が働いています。構内の放射線量は大幅に低下し、現在、約96%のエリアで一般作業服での作業が可能になっています。



防護服

構内のおよそ
96%

一般
作業服

軽装備化が
実現



どんな作業を
やっているの？



廃炉の主な作業

廃炉の主な作業は、次の5つです。

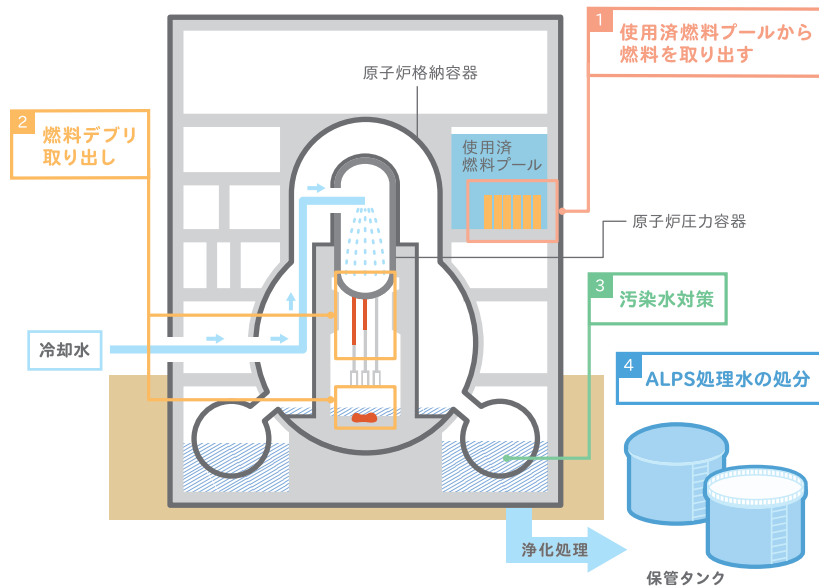
1 燃料取り出し

2 燃料デブリ取り出し

3 汚染水対策

4 アルプスALPS処理水の処分

5 廃棄物の処理・処分/原子炉施設の解体等

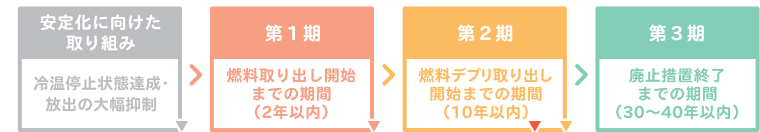


作業は何年
かかるの？



廃炉全体の工程

30～40年かけて安全、着実にっていきます。



※新型コロナウイルス感染拡大の影響により、試験的取り出し機器の開発が遅れているため、遅延を最小限にし1年程度に留められるよう努める。

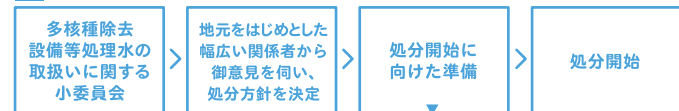
1 燃料取り出し



2 燃料デブリ取り出し



4 ALPS処理水の処分

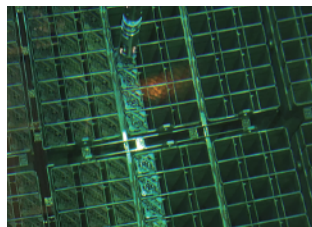
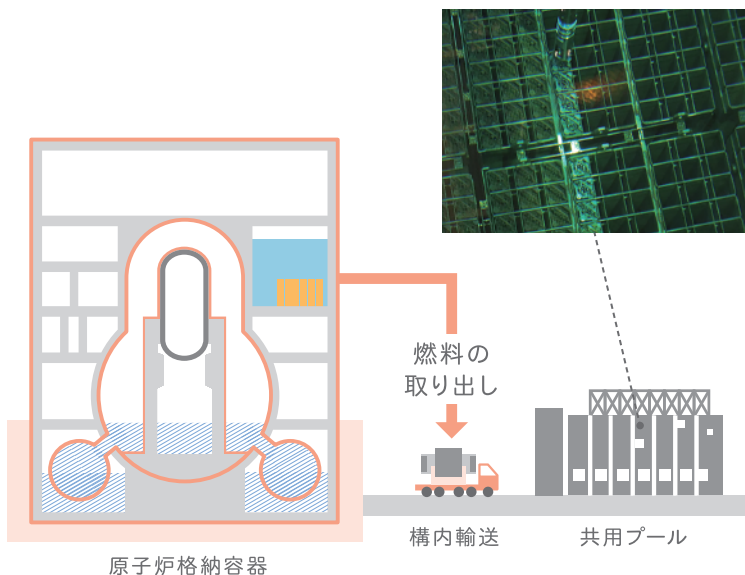


5 廃棄物の処理・処分/原子炉施設の解体等



1 燃料取り出し

原子炉建屋の中には、燃料が残っています。これらによるリスクを低減するため、燃料が収納されている各号機の使用済燃料プールから回収し、構内の共用プールに運搬しています。

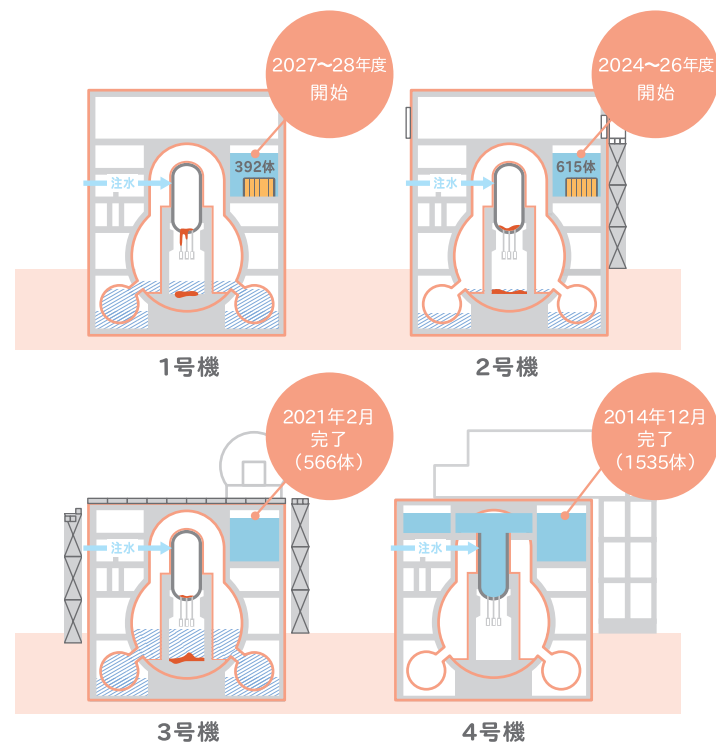


各号機の燃料取り出し状況

どれくらい取り出しできたの？



3・4号機ですべての燃料の取り出しが完了。他号機でも取り出しに向けた作業を進めています。

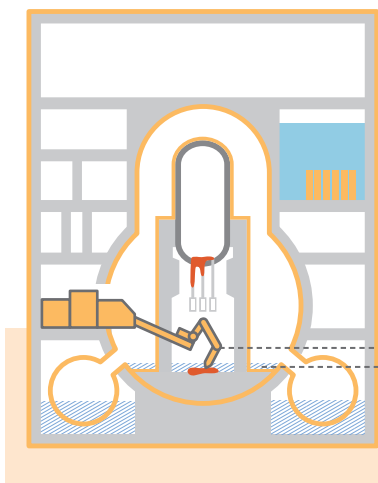


5・6号機

1・2号機における取り出しの進捗状況を考慮しながら順次進めていきます。

2 燃料デブリ取り出し

燃料デブリとは、原子炉内部にあった燃料が溶け、さまざまな構造物と混じりながら固まったものです。その取り出し作業は、廃炉において最も困難な作業の一つです。国内外の叡智を結集しながら、まずは試験的取り出しの開始に向け、準備を進めています。



2019年2月2号機にてロボットが燃料デブリと思われる堆積物の持ち上げに成功



2022年2月1号機にて水中ロボットが原子炉格納容器内を撮影

ここで問題!



福島第一原発の燃料デブリは、現時点でどのくらいの量と推定されているでしょうか？

1	8トン
2	880トン
3	88,000トン

答え!



2

880トン

国際廃炉研究開発機構(IRID)によれば、福島第一原発に存在する燃料デブリの総量は880トンと推定されています。事故により格納容器内の状況が変化しており、燃料デブリや構造物の状況に関する情報も限定的で不確実性がある中、これらを取り出すことは大変困難な作業です。



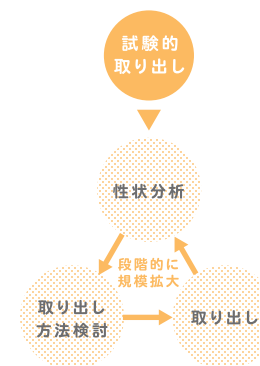
2号機原子炉格納容器内部調査におけるペDESTAL底部の様子(2018年1月)(一部加工)/
映像提供:国際廃炉研究開発機構(IRID)/映像処理:東京電力ホールディングス株式会社

試験的取り出しのスケジュール

燃料デブリの試験的取り出しは、最も調査が進んでいる2号機から着手する予定です。取り出した燃料デブリは、構内で保管し、その性状を調査した上で処分の方法を検討していきます。



性状分析イメージ(研究施設で実施)



試験的取り出しに向けたロボットアームの開発

今後、長さ22mの耐放射線ロボットアームを格納容器へ挿入し、まずは試験的に少量のデブリを採取する予定です。ロボットアームは英国で開発が進められていましたが、2021年7月に日本に到着し、2022年3月現在、JAEA 榎葉遠隔技術開発センターにおいて、原子炉の実寸大模型を用いた本格的な試験を実施しています。

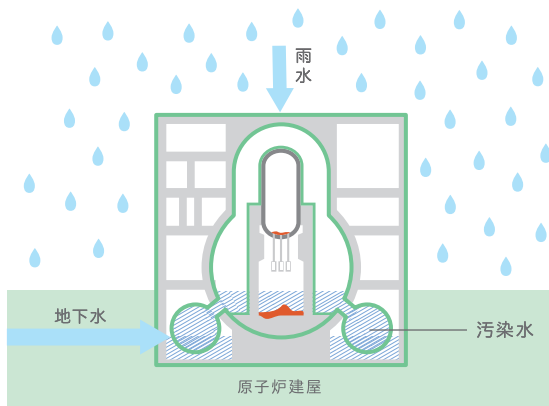


3 汚染水対策

どうやって汚染水はできるの？



冷却水が燃料デブリに触れると、高い濃度の放射性物質を含んだ汚染水になります。さらに、この汚染水が地下水や雨水と混ざり合うことで新たな汚染水も発生しています。



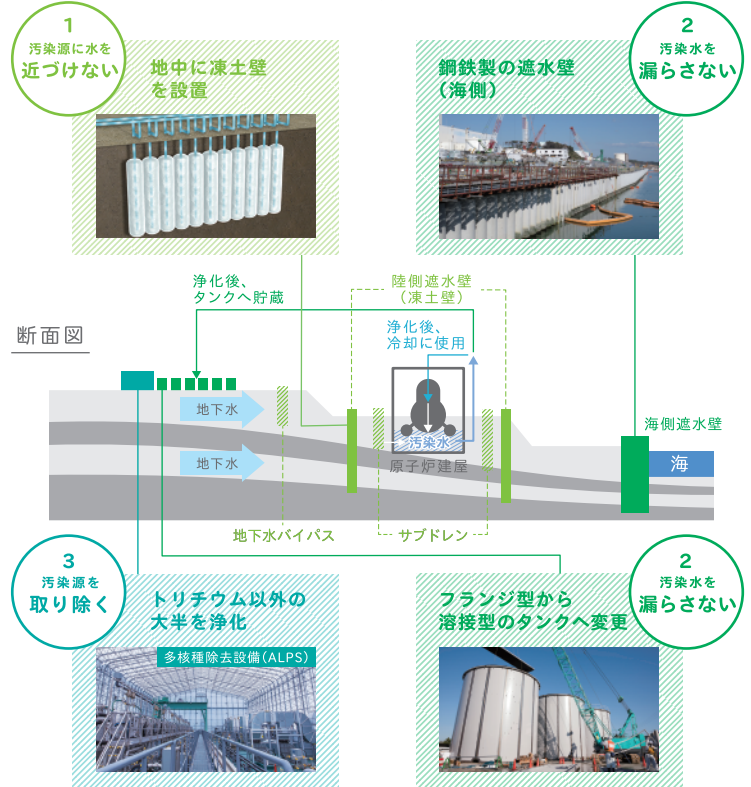
下記の3つの基本方針で、汚染水対策を行っています。

- 1 汚染源に水を近づけない
- 2 汚染水を漏らさない
- 3 汚染源を取り除く

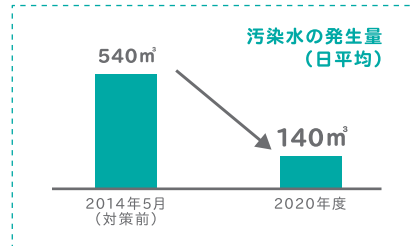
どんな対策をしているの？



主な汚染水対策



- 2 汚染水を漏らさない
- 2 汚染水を漏らさない
- 3 汚染源を取り除く
- 2 汚染水を漏らさない



今後も継続的に取り組みを実施し、2025年以内に汚染水発生量を100m³/日以下に抑制することを目指しています。

海に出しても大丈夫なの？

ALPS処理水って何？

なぜ処分が必要なの？

トリチウムって危険じゃないの？

ALPS処理水はどうやって処分するの？

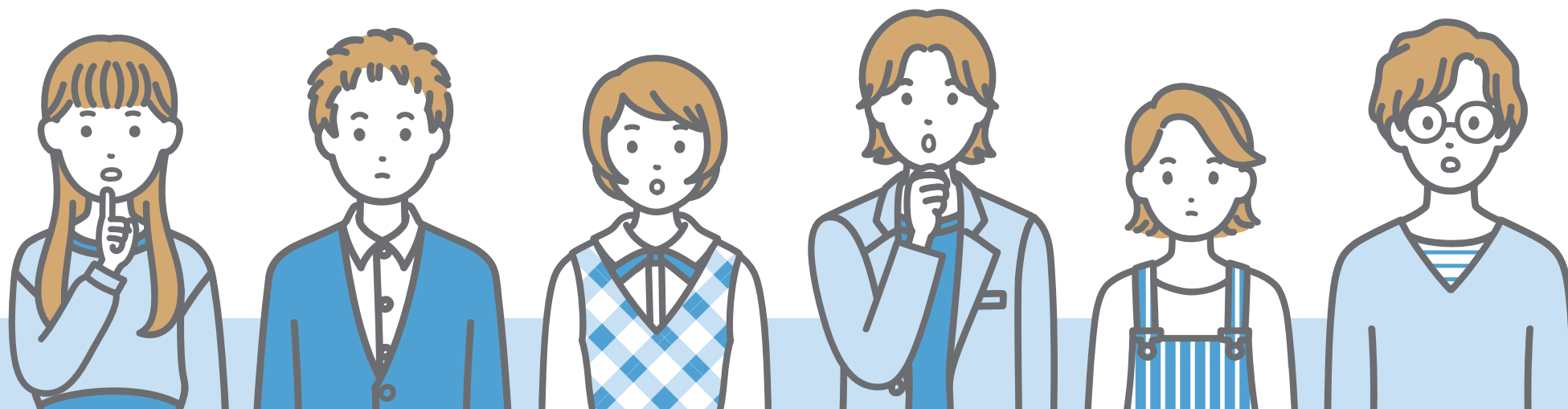
廃炉作業

4

ALPS処理水の処分

—ALPS処理水の海洋放出について—

トリチウムって何？



ALPS処理水
って何？



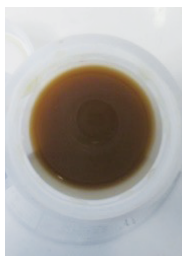
ALPS処理水とは

原子炉建屋では、日々、汚染水が発生しています。ALPS 処理水とは、汚染水を、トリチウム以外の放射性物質について安全基準を満たすまで浄化処理したものです。

浄化処理のプロセス



多核種除去設備 (ALPS)



汚染水



ALPS処理水

トリチウム
って何？



身の周り にある トリチウム

トリチウムは水素の仲間で、雨水や河川、水道水など私たちの身の回りにも広く存在しています。またトリチウムは、宇宙から降り注ぐ放射線によって自然界の中で常に生成されています。

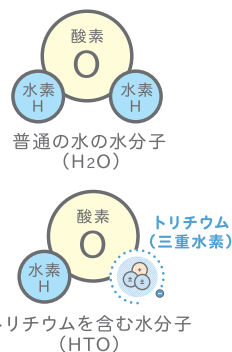


トリチウムって危険じゃないの？

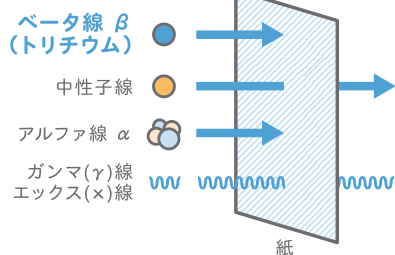


トリチウムの性質

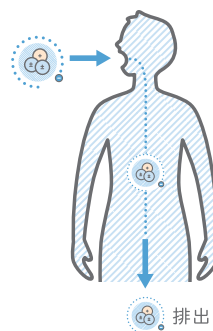
トリチウムは酸素と結びつき、水とほぼ同じ性質の液体として存在しています。そのため、水の中からトリチウムだけを分離することは極めて困難です。



一方で、その放射線のエネルギーは非常に弱いため、紙1枚で遮ることができます。



体内に入っても蓄積されることはなく、水と一緒に体外へ排出されます。



なぜ処分が必要なの？



ALPS処理水の処分が必要な理由

巨大な貯蔵タンクは1,000基を超え、今後廃炉に必要な設備を建設するスペースを圧迫する恐れがあります。また、災害の発生時における倒壊のリスクがある、大量のタンクの存在自体が風評の原因になるというご意見もいただいています。そのため、ALPS処理水を処分し、タンクを減らすことは、廃炉と復興に向けて不可欠な作業です。

今後、廃炉作業を進めていくために必要な設備例

- ・使用済燃料の保管施設
- ・燃料デブリ取り出しのための保守管理・訓練施設
- ・燃料デブリや放射性廃棄物の保管・分析施設

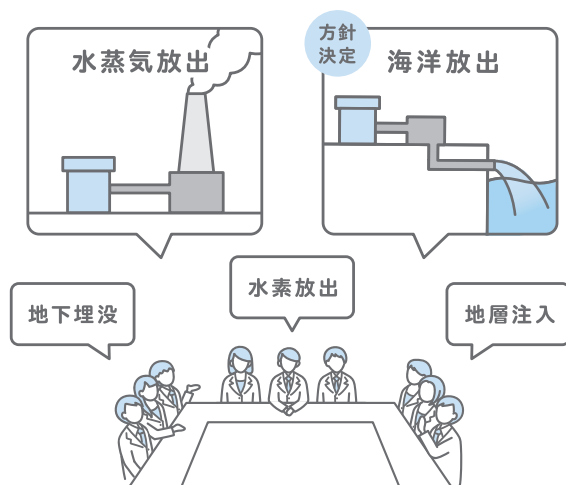


ALPS処理水は
どうやって
処分するの？



ALPS処理水の 処分方法

ALPS処理水の取扱いは、風評影響など社会的な観点も含めて専門家が6年以上にわたり議論を重ねてきました。そして2021年4月、政府は国内外での実績の有無やモニタリングの容易さを考慮し、海洋放出を行う方針を決定しました。

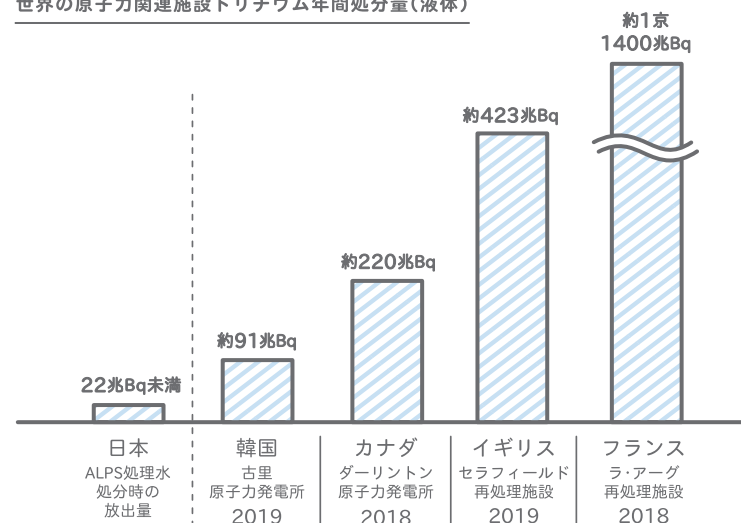


※海洋放出は、方針を決定した2021年4月から2年程度の準備期間を経て実施する予定です。

世界各国の トリチウム放出事例

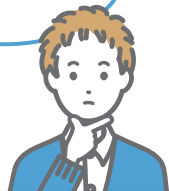
実際に、世界中の多くの原子力施設が安全基準を守った上でトリチウムの放出を行っています。これらの施設からはトリチウムが原因とされる影響は見つかっていません。

世界の原子力関連施設トリチウム年間処分量(液体)



福島第一原発におけるALPS処理水処分時のトリチウムの総量は、年間22兆ベクレルを下回るレベル(事故前の管理目標と同じ)。これは、国内外の多くの原子力発電所等からの放出量と比べても低い水準です。

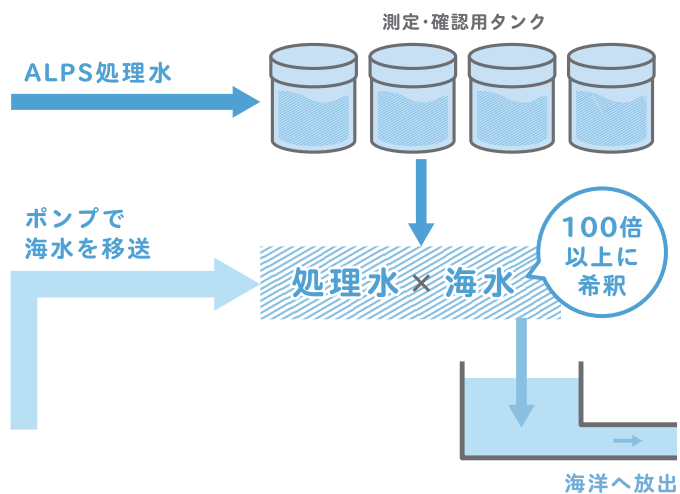
海に出しても大丈夫なの？



海洋放出時のトリチウム濃度

ALPS処理水についても、トリチウムを取り除くことはできませんが、海水で100倍以上に希釈し、安全基準を十分に満たす濃度(1500ベクレル/L未満)にした上で処分します。

ALPS処理水放出前の流れ



ここで問題!



ALPS処理水を海洋放出する際のトリチウム濃度は、国のトリチウム安全基準の何分の1未満でしょうか。

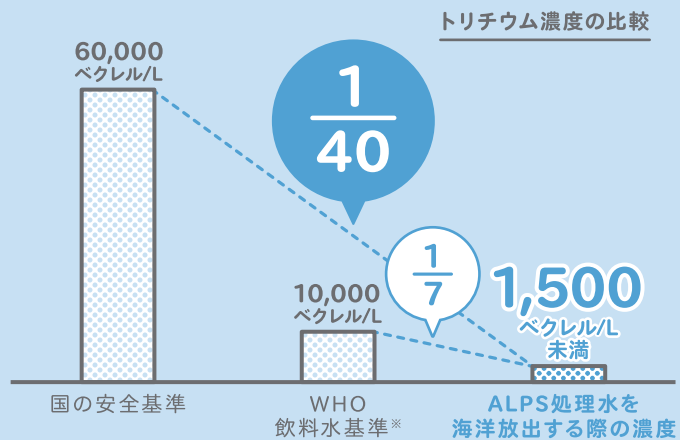
- | | |
|---|-------|
| 1 | 同じくらい |
| 2 | 4分の1 |
| 3 | 40分の1 |

答え!



3 40分の1

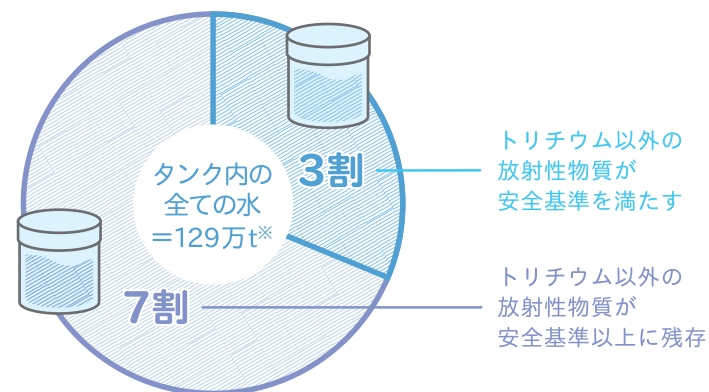
国のトリチウム安全基準は60,000ベクレル/L。ALPS処理水を海洋放出する際の濃度はこの40分の1となり、国の基準を大幅に下回ります。また、WHOの飲料水基準※のおよそ7分の1に値します。



※WHO飲料水水質ガイドライン(第4版)

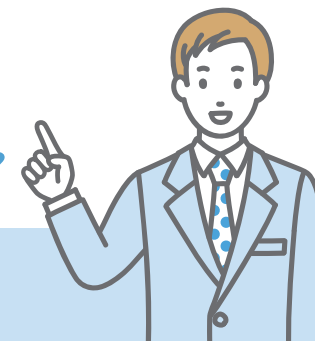
海洋放出前の再浄化

現在、タンクの水の7割には、トリチウム以外にも、規制基準を超える放射性物質が残っています。放出前には再度ALPSを用いて安全基準を下回るまで確実に浄化し、そのことを確認したうえで放出を行います。



※2022年2月時点

すでに二次処理の試験を実施し、問題なく浄化処理できることも確認しているよ。



IAEAによるチェック

国際原子力機関(IAEA)も海洋放出は科学的根拠に基づくものであり、国際慣行に沿うものと評価しています。また、海洋放出を行うに当たっては、IAEAの安全基準に則っているかどうかについて、厳しくチェックを行う予定です。



福島第一原発を視察するグロシー事務局長



2022年2月のレビューミッションの様子

【国際原子力機関(IAEA)】

原子力の平和利用について科学的、技術的協力を進める世界の中心的フォーラム。1957年、国連傘下の自治機関として設置。本部はウィーン。

ここで問題!



ALPS処理水を海洋放出した場合の1年間の放射線の影響は、自然界から受ける放射線の影響と比べてどのくらいでしょう?

1 同じくらい

2 数分の1～数十分の1

3 数千分の1～数万分の1

答え!

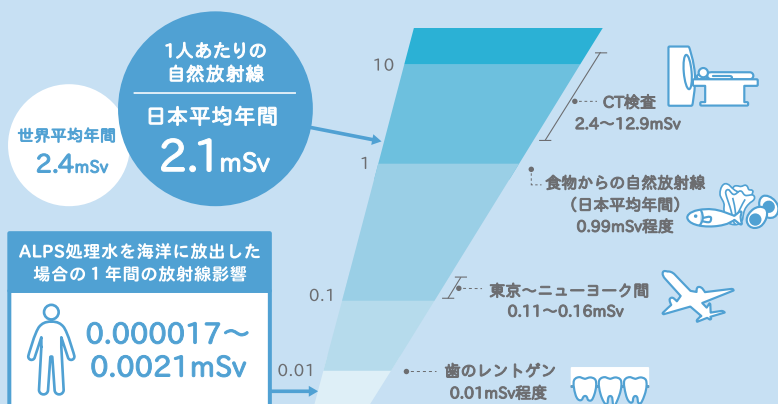


3 数千分の1～数万分の1

ALPS処理水を海洋に放出した場合の1年間の放射線影響は極めて小さく、自然界から受ける影響を大きく下回ります。

日常生活の放射線

mSv=ミリシーベルト



出典: 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所の資料、環境省「放射線による健康影響等に関する統一な基礎資料(令和2年度版)」第2章放射線による被ばくをもとに資源エネルギー庁にて作成

風評対策

ALPS処理水の処分に当たり、風評を生じさせないための取り組みとして、学生の皆さんも含め幅広く情報発信を行っています。



学生向け説明会(出前授業等)

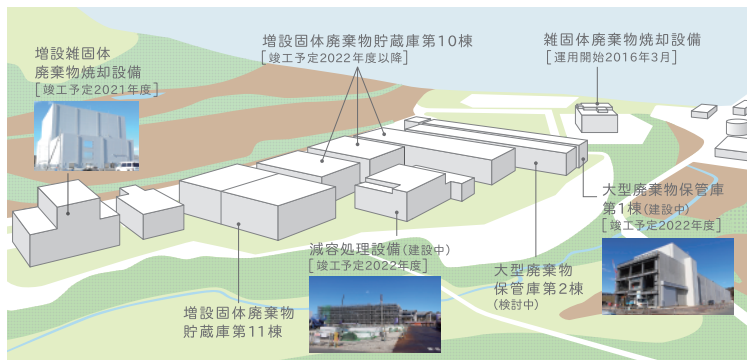


SNSでの情報発信

パンフレットや動画などのコンテンツ作成

5 廃棄物の処理・処分

ガレキなどの放射性廃棄物は、現在、線量率に応じて保管中です。今後、より一層のリスク低減を目指して可能な限り量を減らし、建屋内保管に集約していきます。



今後10年程度の廃棄物発生量と保管量



廃炉が終わった後について



廃炉が終わった後の具体的な姿については、現時点では原子炉内の状況や廃棄物の取扱いなど、不確定なことが多いため、今後さらなる調査と研究を進めながら、地元の皆様の思いもしっかり受け止めて検討していきます。



地域産業への貢献

長期にわたる廃炉作業を進めていくに当たっては、地域の産業・雇用の回復・振興に貢献するなど、地域との共生を進める必要があります。

地元企業の参画促進のための取り組み

2020年7月より、福島廃炉関連産業マッチングサポート事務局にて、個別相談や交流会の開催など、地元企業と元請企業をつなぐための取り組みを実施中。2022年1月までに計135件が成約。



株式会社木村管工(楢葉町)
使用済燃料を保管するための部品等を製作。



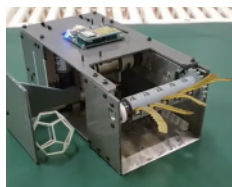
シオヤ産業株式会社(いわき市)
廃棄物の一時保管用コンテナ等を製作。



有限会社キャニオンワークス(浪江町)
福島第一原発で使用される防護服を製造。

人材育成

JAEA主催で、関係機関の技術者等を対象に、廃炉に関する基礎知識等を身に付けるための研修を実施。楢葉遠隔技術開発センターでは、全国の高専生が自作したロボットで課題に挑戦する「廃炉創造ロボコン」を開催。



第5回廃炉創造ロボコンで福島高専が製作したロボット

将来的な技術発展

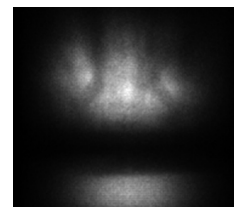
福島第一原発の廃炉は前例のない困難な取り組みであり、さまざまな現場で高度な技術が活用されています。



ロボット・マニピュレータは、人が立ち入ることができない現場で、代わりに作業を行う。



VR技術を用いて原子炉建屋内の様子を再現。作業者訓練や作業計画の検討・立案を行う。



透過力の強い宇宙線を利用した「透視」技術により、原子炉格納容器内の調査を実施。

ここで培われた技術が、将来さまざまな分野で
応用できるかもしれません。

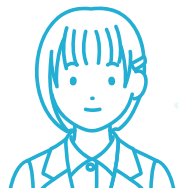
応用が期待される産業分野の例

他原発の廃炉	医療分野	宇宙分野	災害分野
	精密な作業が必要	放射線量の高い過酷な環境下での作業が必要	人が立ち入ることが困難な環境下での作業が必要

「廃炉と私たち」

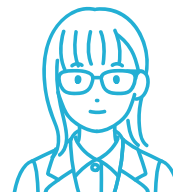
—— 地元福島の高校生の声 ——

福島第一原発の廃炉について
学んだ地元の高校生たちと
座談会を行いました。
そのときの声をご紹介します！



Mさん

疑いの気持ちがある人がいる中で、正しい情報を伝えること、安全だということが直接安心につながるとは思ってなくて、県内外の人、海外の人に、安全だと分かったうえで、安心してもらえるような情報の発信だったり、その発信を受け止める側の心構えができてくれば、対等な関係で正しい情報が伝わっていくと思います。



Sさん

原子力発電所のイメージはどうしても悪く描かれているものがほとんどだと思うけど、実際見てみると、最前線で働いている人は復興に向けてしっかり活動していて、そういうのももっと発信していければ心に響くのかなと思いました。

福島第一原発の事故って、震災だけではなくて、いろいろな方向に話が広がっている。それを実感していて、例えばエネルギー問題など、いろいろな面で考えていく必要があると感じました。



Tさん

こういった活動を友達と一緒にやってみたいっていう思いがあって、何回か誘って見たんですけど、全然反応してくれませんでした。どこか他人事のように考えるのではなくて、直接的ではなくても、ちょっとは関係しているんだなって意識を持ってもらいたいです。自分で何か少しだけでも調べたりする行動を起こしてもらえれば変わるのではと思います。

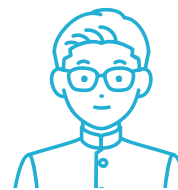


Kさん



Iさん

県外の人にも福島の処理水のこととか、安全性のこととかを伝えていくことは大切だと思うのですが、福島県内にも知らない人がまだまだたくさんいるので、県内からもっと福島第一原発や処理水についての課題や現状を伝えていかなければいけないと思いました。

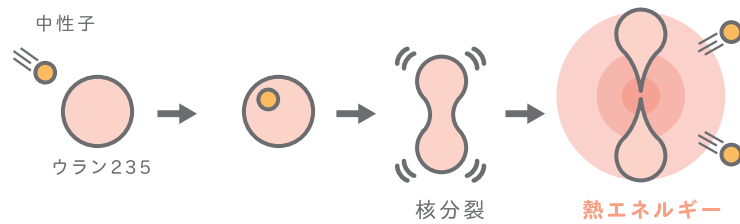


Oさん

何度も廃炉についてのお話をお伺いしたり、2回ほど原子力発電所に行ったりしていても、ちょっと勉強していないと忘れてしまっていることがあったりするので、情報の更新というか、止めちゃいけないんだということすごく感じました。

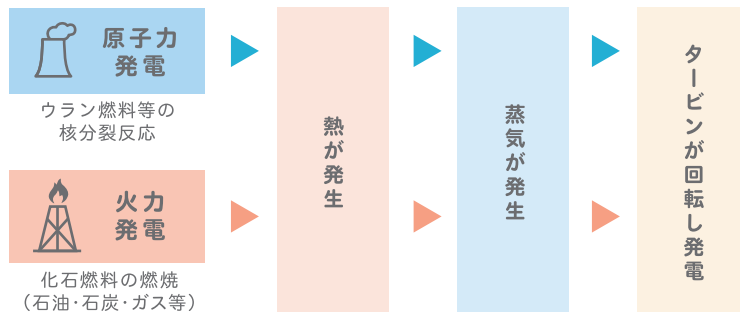
原子力発電の仕組み

原子力発電は、熱エネルギーとして「核分裂反応」を利用します。

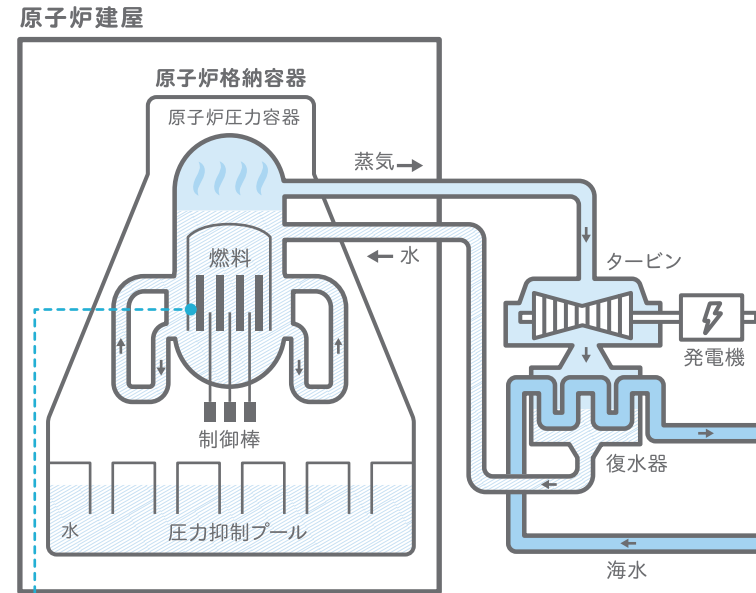


ウランに中性子が衝突すると、大きな熱エネルギーが発生

「熱を蒸気に変えてタービンを回す」点では、火力発電と同じです。



原子炉の構造

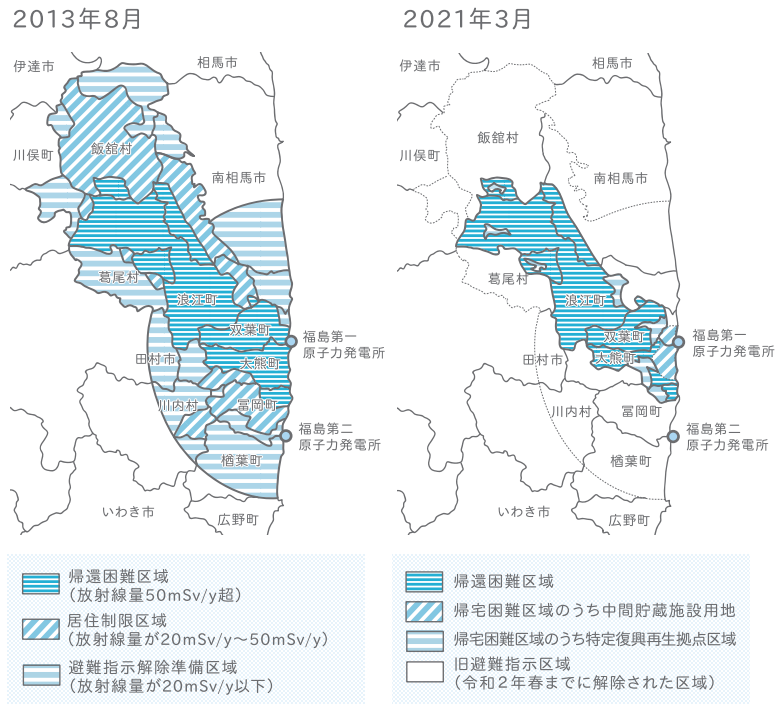


燃料集合体のレプリカ(東京電力廃炉資料館)

避難指示の解除

避難指示の対象人口・区域の面積は、区域の設定時と比較しておおむね7割減となりました。

	2013年8月	2021年3月
避難指示区域からの避難対象者数	8.1万人	2.2万人
避難指示区域の面積	1,150km ²	337km ²



福島への復興に向けた動き

帰還に向けた環境整備が進むとともに、被災事業者の事業・なりわいの再建の動きや、新しい産業の芽ばえが活発化しています。



常磐線の全線再開 双葉駅
(2020年3月14日 再開)



道の駅なみえ
(2021年3月 グランドオープン)

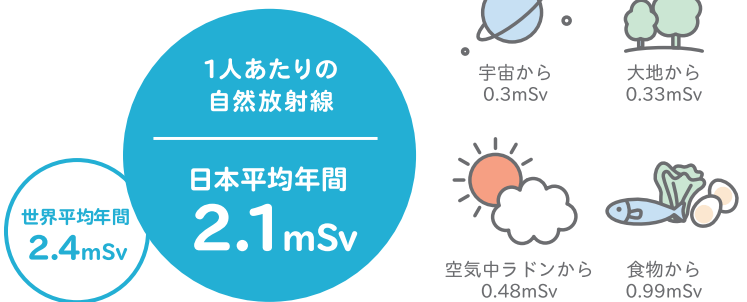


福島ロボットテストフィールド
(2020年3月 全面開所)

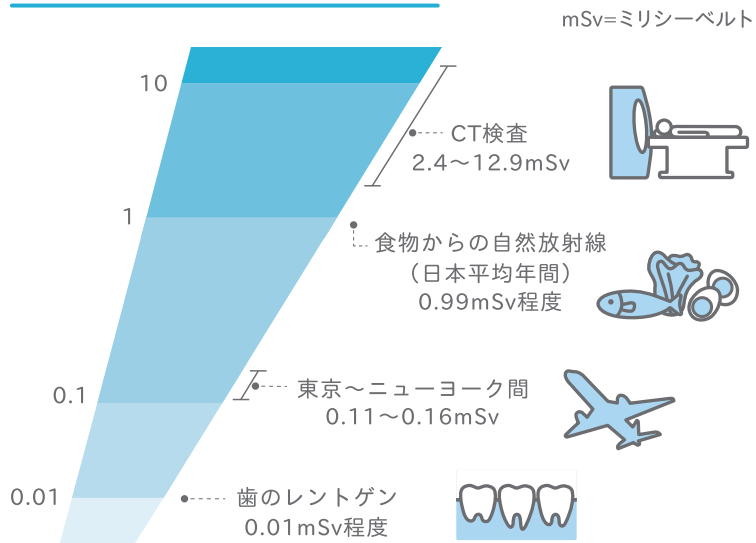


日常生活の放射線

自然放射線



そのほか日常生活の放射線



出典:国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所の資料、環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(令和2年度版)」第2章放射線による被ばくをもとに資源エネルギー庁にて作成

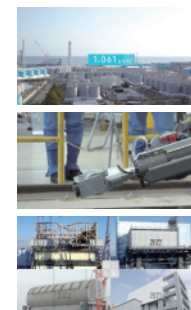
動画で知ろう、廃炉のいま。

一歩ずつ、福島未来へ

1FFACT

実際に視察をしているような視点で、廃炉作業の進捗状況や今後の展望を伝える動画。

福島第一原子力発電所を現場の映像やデータなどで伝える3つの動画。



- 01 ALPS処理水の海洋放出
- 02 燃料デブリの取り出しに向けて
- 03 福島第一原子力発電所の現状

廃炉ポータル



東京電力廃炉資料館

発電所周辺地域をはじめとした福島県の皆様、そして多くの皆様に、福島第一原子力発電所事故の事実と廃炉事業の現状等をご確認いただけます。



所在地:福島県双葉郡富岡町大字小浜字中央378
 開館時間:9時30分~16時30分
 (休館:毎月第3日曜日 および年末年始)
 入館料:無料(駐車場無料)
 連絡先:0120-50-2957

※新型コロナウイルス感染拡大防止のため、予約制となっている場合がございます。



INSIDE Fukushima Daiichi

廃炉の現場をめぐるバーチャルツアー



廃炉の「今」を知る。東京電力福島第一原発オンラインツアー



学ぼう!
考えよう!

福島第一原子力発電所 「廃炉と未来」

