

第6章

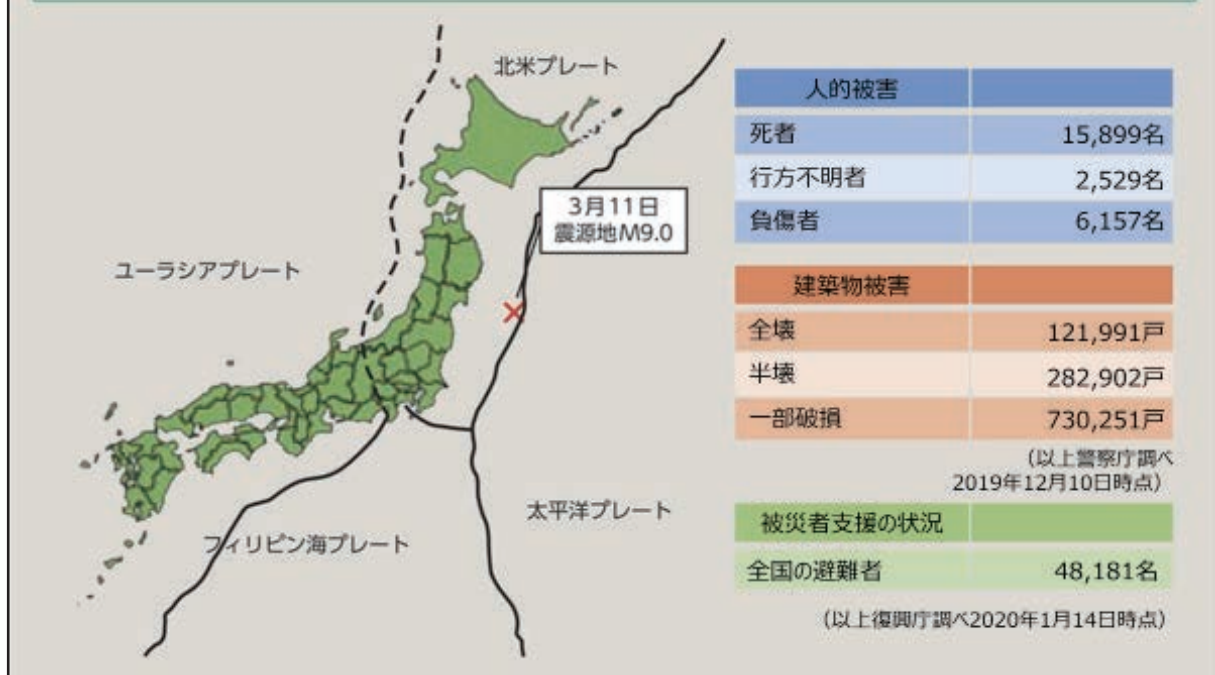
事故の状況

東京電力福島第一原子力発電所の事故の状況、事故発生直後の対応、及び廃炉に向けた取組について説明します。

東京電力福島第一原子力発電所事故において、いつ、どのようなことが起きていたのかを知ることができます。また、廃炉や汚染水対策など、現在の東京電力福島第一原子力発電所の状況を知ることができます。

東日本大震災における被害状況

- 平成23年3月11日（金）14:46に三陸沖でマグニチュード9.0の地震が発生。東北地方を中心に地震、津波等により大規模な被害。
- 日本の観測史上最大規模の地震、世界的にも1900年以降、4番目の規模の地震となる。



2011年3月11日午後2時46分、三陸沖を震源とする大地震があり、宮城県栗原市で震度7を観測しました。地震の規模を示すマグニチュード（M）は9.0で、記録が残る大正12年以降国内で最大、前年のチリ大地震（M8.8）に匹敵する世界最大級の地震になりました。

本資料への収録日：2013年3月31日

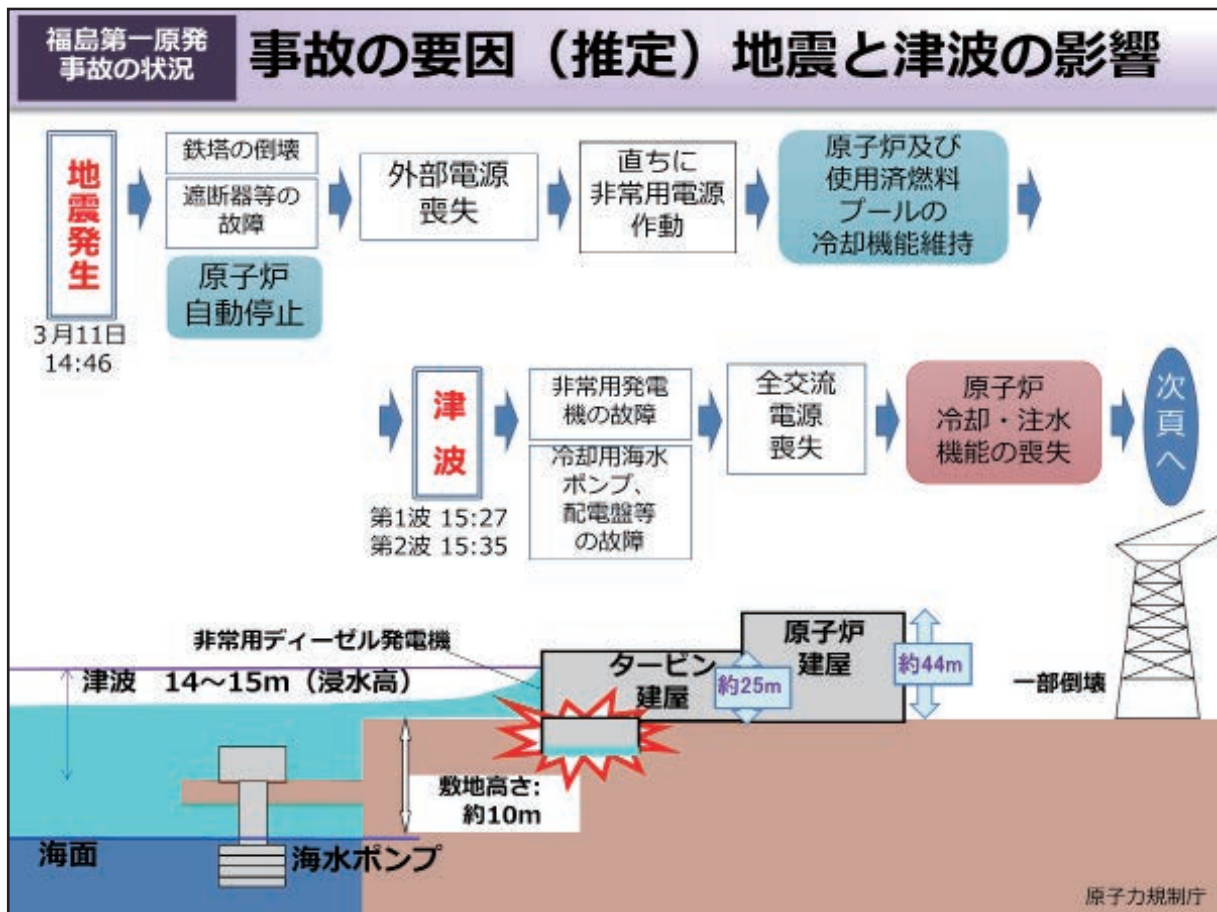
改訂日：2020年3月31日

**東京電力福島第一原子力発電所3号機（空撮）**

（2011年3月16日撮影、東京電力提供）

地震当時、運転中であった東京電力福島第一原子力発電所の1～3号機は、地震とその後の津波により、その全てで交流電源が喪失し、冷却システムが停止したことから、原子炉が冷却できなくなり、最終的に燃料の溶融に至りました。燃料の溶融の過程で、大量の水素ガスが発生し、原子炉建屋内にその水素ガスが滞留した1号機、3号機では、12日（1号機）と14日（3号機）に水素爆発が起こりました。また、3号機に隣接する4号機でも3号機から流れ込んだとみられる水素ガスにより水素爆発が発生しました。

本資料への収録日：2013年3月31日



地震発生直後、運転中であった東京電力福島第一原子力発電所の1～3号機は、全ての原子炉が自動停止しました。

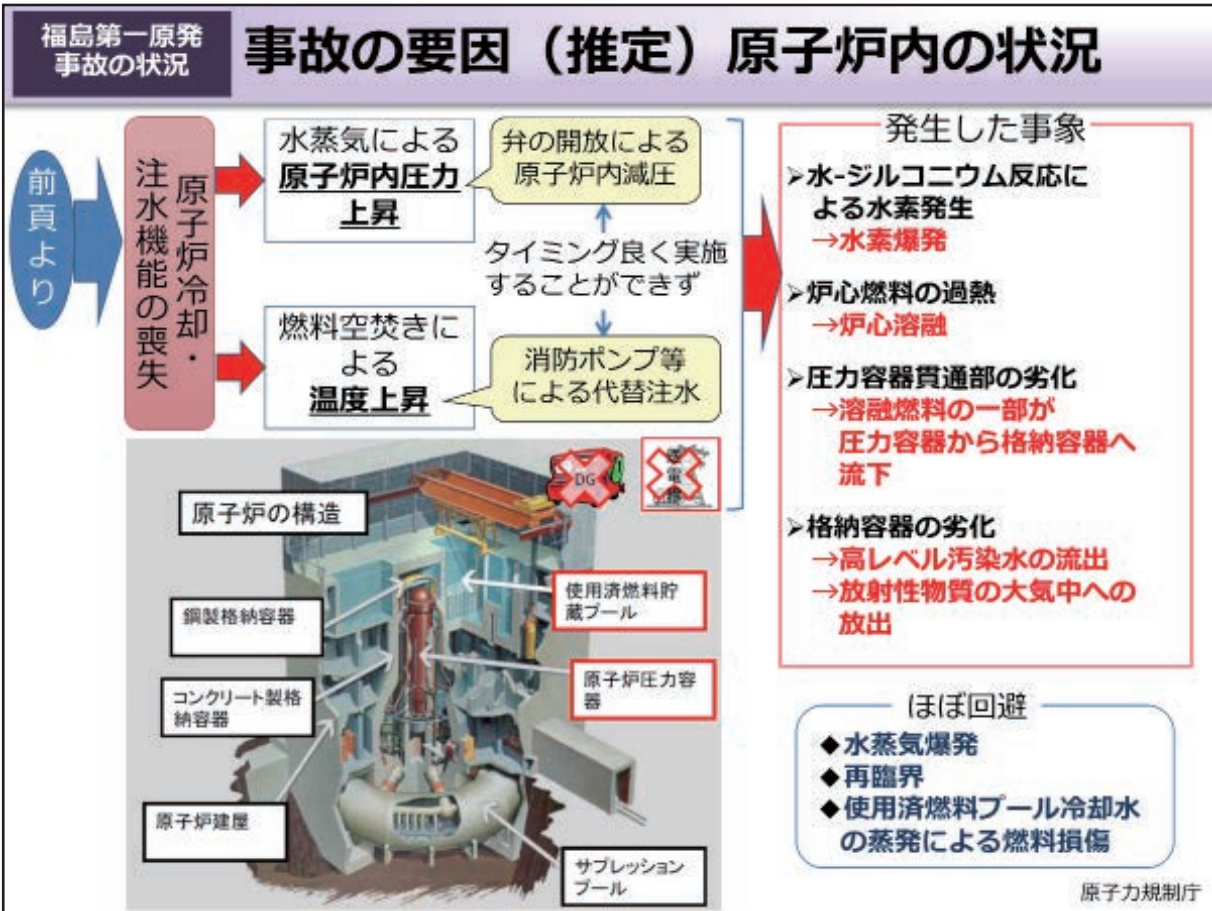
停止後のプラントにおいても、炉心の燃料の崩壊熱を冷却する必要があります。東京電力福島第一原子力発電所では、送電鉄塔の倒壊等による外部電源喪失のため非常用ディーゼル発電機が自動起動し、通常の冷温停止に向けた手順が進められました。

しかし、その後の津波の襲来を受けて、起動した非常用ディーゼル発電機や配電盤等が被水・冠水し、6号機を除き全ての交流電源が喪失すると共に、冷却用の海水ポンプも機能を喪失しました。1号機では原子炉を冷却する機能が喪失しました。2号機及び3号機では交流電源がなくても駆動できる冷却設備（2号機：原子炉隔離時冷却系¹、3号機：原子炉隔離時冷却系と高圧注水系²）でしばらく原子炉を冷却していましたが、やがてこれらも停止して崩壊熱を冷却する手段を失うこととなりました。

こうした事態を受け、1～3号機では、消防ポンプ等を用いた代替注水を行うべく作業が進められましたが、津波の再来の恐れなどもあり、代替注水に切り替えるまでの間、炉心を冷却するための注水ができない状態が続きました。1号機では14時間程度、2号機は6時間半程度、3号機では6時間半程度、炉心への注水が停止していたとみられています。さらに、代替注水系には隠れたバイパスが多く、注入した水を効果的に炉心冷却に供することができず、炉心溶融に至りました。

1. RCIC: Reactor Core Isolation Cooling System
2. HPCI: High Pressure Coolant Injection System

本資料への収録日：2013年3月31日
改訂日：2019年3月31日



炉心への注水が停止したことによって原子炉水位が低下し、燃料が露出しました。その結果、炉心燃料が過熱し炉心溶融が始まり、圧力容器の一部が損傷したと考えられます。溶融した燃料は圧力容器から格納容器内に漏れ出すと共に、燃料体から放出されたセシウムなどの放射性物質が大量に格納容器内に放出されました。また、炉心損傷に伴う高温下において、燃料被覆管の金属（ジルコニウム）と水蒸気が反応して大量に発生した水素が、蒸気と共に圧力容器の損傷部から格納容器内に放出されました。

格納容器においては、炉心損傷の影響により高温・高圧状態となり閉じ込め機能が劣化し、格納容器の外に通じる配管貫通部等に隙間が生じました。こうした箇所から、放射性物質が格納容器の外に放出され、環境に拡散していきました。また、燃料被覆管の金属が水蒸気と反応して発生した水素は原子炉建屋に漏れい、滞留し、水素爆発が発生したと考えられます。

また、冷却のために原子炉へ注水した水が圧力容器や格納容器から漏れいし、大量の放射性物質を含んだ高レベル汚染水となり、原子炉建屋地下やタービン建屋地下に滞留し、さらにその一部は海洋へ流出しました。

圧力容器の損傷や格納容器の閉じ込め機能の劣化により放射性物質を含む蒸気が漏れいしたことに加えて、格納容器ベント等によって大気中に放射性物質が放出されました。

このような高レベル汚染水の海洋への流出や放射性物質の大気中への放出により、放射性物質が環境中に放出されることになりました。

本資料への収録日：2013年3月31日
改訂日：2019年3月31日

時刻	内容	東京電力の対応	国（保安院）の対応
3/11 14:46	東北地方太平洋沖地震発生 (福島第一において震度6強)	福島第一1~3号機 (地震により自動停止) 4~6号機 (定期検査で停止中)	政府対策本部設置、緊急時対応センターへ職員参集、現地に職員をヘリコプターで派遣。
15:15			保安院プレス会見、モバイル保安院による情報発信。
15:27 15:35	津波第1波(高さ4m)が到達 津波第2波(高さ15m)が到達		
15:42	↑ 震度5強以下の 余震が数回発生 ↓	原災法10条通報(全交流電源喪失 1~5号機で起動していた非常用発電機が津波により故障)	原子力災害警戒本部設置
16:36		原災法15条の事象と事業者が判断	
19:03			原子力緊急事態宣言の発出、原子力災害対策本部設置
21:23			半径3km圏内住民避難指示、10km圏内住民屋内退避
3/12 5:44			半径10km圏内住民避難指示
18:25			半径20km圏内住民避難指示

青森県原子力安全対策検証委員会報告書より
原子力安全・保安院作成資料

原子力規制庁

2011年3月11日午後7時03分、東京電力福島第一原子力発電所1、2号機で炉心を冷やす緊急炉心冷却システムが動かなくなったことから、政府は原子力災害対策特別措置法（原災法）に基づき原子力緊急事態宣言を発令し、原子力災害対策本部を設置しました。

政府は同日午後9時23分、原災法に基づき、東京電力福島第一原子力発電所から半径3km以内の住民に対して「避難指示」を、また半径3～10km以内の住民に「屋内退避指示」を発令しました。

その後、政府は東京電力福島第一原子力発電所から半径3km以内としていた避難指示を半径10kmまで拡大して、10km圏の4町に滞在する5万1,207人を避難対象にしました。

さらに、3月12日午後3時36分に東京電力福島第一原子力発電所1号機の原子炉建屋内で水素爆発が起こったため、避難指示対象をさらに広げて、東京電力福島第一原子力発電所から半径10kmを半径20kmに拡大しました。

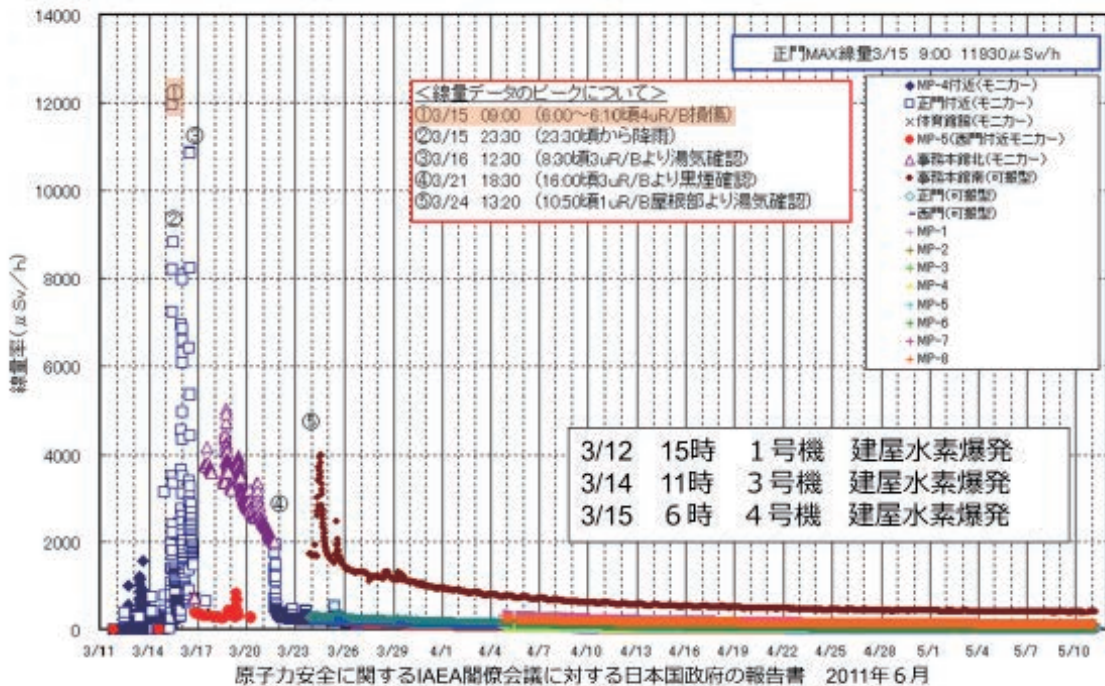
（関連ページ：下巻P105「避難指示区域の設定について」、下巻P106「警戒区域、避難指示区域の設定及び解除について」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日

事故直後から2か月間の空間線量率 (東京電力福島第一原子力発電所敷地内及び敷地境界)

1-4号機建屋等で水素爆発が発生、3月15日午前中に放射線量のピークが観測されている。



μSv/h : マイクロシーベルト/時間、u : 号機 (unit)、R/B : 原子炉建屋 (Reactor Building)

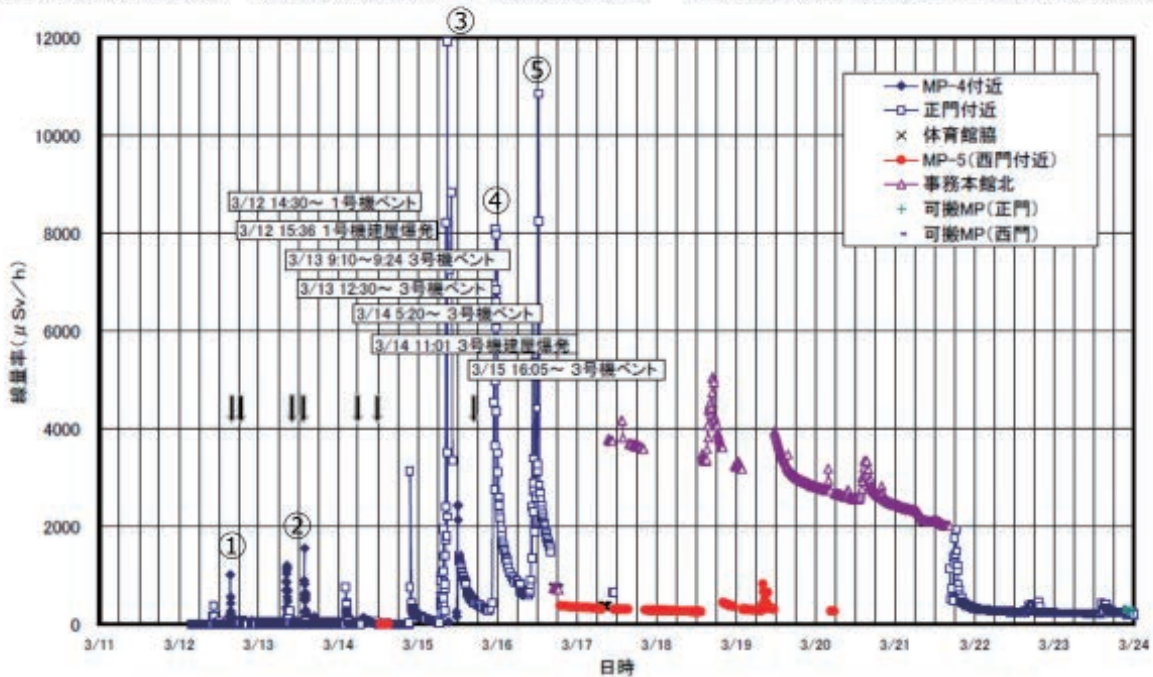
原子力規制庁

2011年3月12日の明け方に東京電力福島第一原子力発電所敷地内のモニタリングカーによる測定で空間線量率が上昇したことが判明し、地震後初めて、放射性物質の放出が明らかになりました。このとき、1号機では格納容器圧力が異常上昇した後、若干の圧力低下がみられたことから、格納容器からの放射性物質の漏えいがあり、大気中への放出があったものと推定されています。その後もベント操作や建屋爆発の影響により、空間線量率の一時的上昇が何度も観察されています。最も高い空間線量率が計測されたのは3月15日9時で、発電所正門付近のモニタリングカーが約12ミリシーベルト/時の数値を測定しています。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日

●東京電力福島第一原子力発電所モニタリングカーにより測定された空間線量率の推移



国際原子力機関に対する日本国政府の追加報告書-東京電力福島原子力発電所の事故について-第2報

μSv/h : マイクロシーベルト/時間

原子力規制庁

今回の事故では、事象の進展に伴い、燃料が溶融、大量の放射性物質が压力容器から炉外に放出されました。格納容器ベント操作やさらに格納容器、原子炉建屋の損傷によって、溶融燃料の一部や放射性物質が炉心から空気中へ放出されることになりました。1号機のベント操作は、3月12日14時30分に格納容器の圧力が低下し、ベントが成功したと判断されています。その際、大気中に放出された放射性物質のプルームの影響で約1ミリシーベルト/時が観測されています(①)。翌13日にも明らかに空間線量率が上昇しました(②)が、これは3号機で原子炉水位が低下して、燃料が露出した後にベント操作をした影響と考えられています。3月15日9時には約12ミリシーベルト/時の数値が観測されました(③)が、同日早朝の6時頃に2号機で爆発音と共に圧力抑制室の圧力が低下していることから、この上昇の原因は2号機からの放射性物質の放出と考えられています。

3月15日23時と翌16日12時にも空間線量率の上昇が観測されています(④と⑤)が、前者は3号機、後者は2号機において格納容器圧力の低下がみられていることから、それぞれ3号機及び2号機からの放射性物質の放出が原因と考えられています。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日

レベル	事故例
7 深刻な事故	旧ソ連・チェルノブイリ原発事故（1986年） 日本・東京電力福島第一原子力発電所事故（2011年）
6 大事故	2011年4月12日にレベル7と暫定評価
5 広範囲な影響を伴う事故	英国・ウインズケール原子炉事故（1957年） 米国・スリーマイル島発電所事故（1979年）
4 局所的な影響を伴う事故	日本・JCO臨界事故（1999年） フランス・サンローラン発電所事故（1980年）
3 重大な異常事象	スペイン・バンデロス発電所火災事象（1989年）
2 異常事象	日本・美浜発電所2号機蒸気発生器伝熱管損傷事象（1991年） 日本・大洗研究開発センター燃料研究棟における核燃料物質の飛散による作業員の被ばく（2017年）
1 逸脱	日本・「もんじゅ」ナトリウム漏れ事故（1995年） 日本・敦賀発電所2号機1次冷却材漏れ（1999年） 日本・浜岡発電所1号機余熱除去系配管破断（2001年） 日本・美浜原子力発電所3号機2次系配管破断事故（2004年）
0 尺度未満	（安全上重要ではない事象）
評価対象外	（安全に関係しない事象）

IAEA「The International Nuclear and Radiological Event Scale User's Manual」、原子力災害対策本部「原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書（2011年6月）」等から作成

INES（国際原子力・放射線事象評価尺度）とは、原子力発電所等の事故・トラブルについて、それが安全上どの程度のものかを表す国際的な指標です。

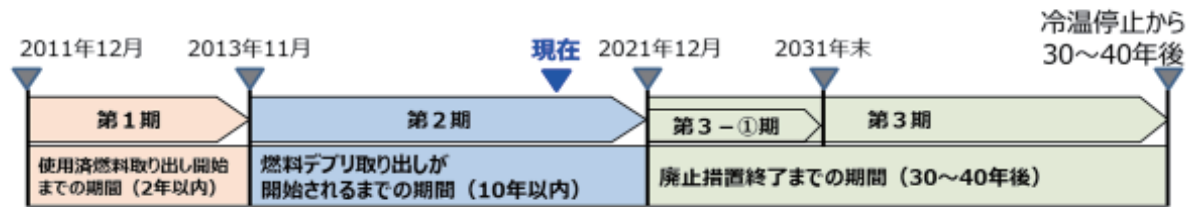
東京電力福島第一原子力発電所事故のINES評価はチェルノブイリ原発事故と同じレベル7（放射線影響としてヨウ素131と等価となるように換算した値として数万テラBq（ 10^{16} Bqのオーダー）を超える値）に相当すると評価されています。

（関連ページ：上巻P28「国際原子力事象評価尺度」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日

廃炉工程全体の枠組み



- 第1～3期という大きな期間区分に基づいた廃炉工程。
- この枠組みは、2019年12月に改訂された中長期ロードマップにおいても維持。
- 燃料デブリは2021年内に2号機から取り出しを開始予定。

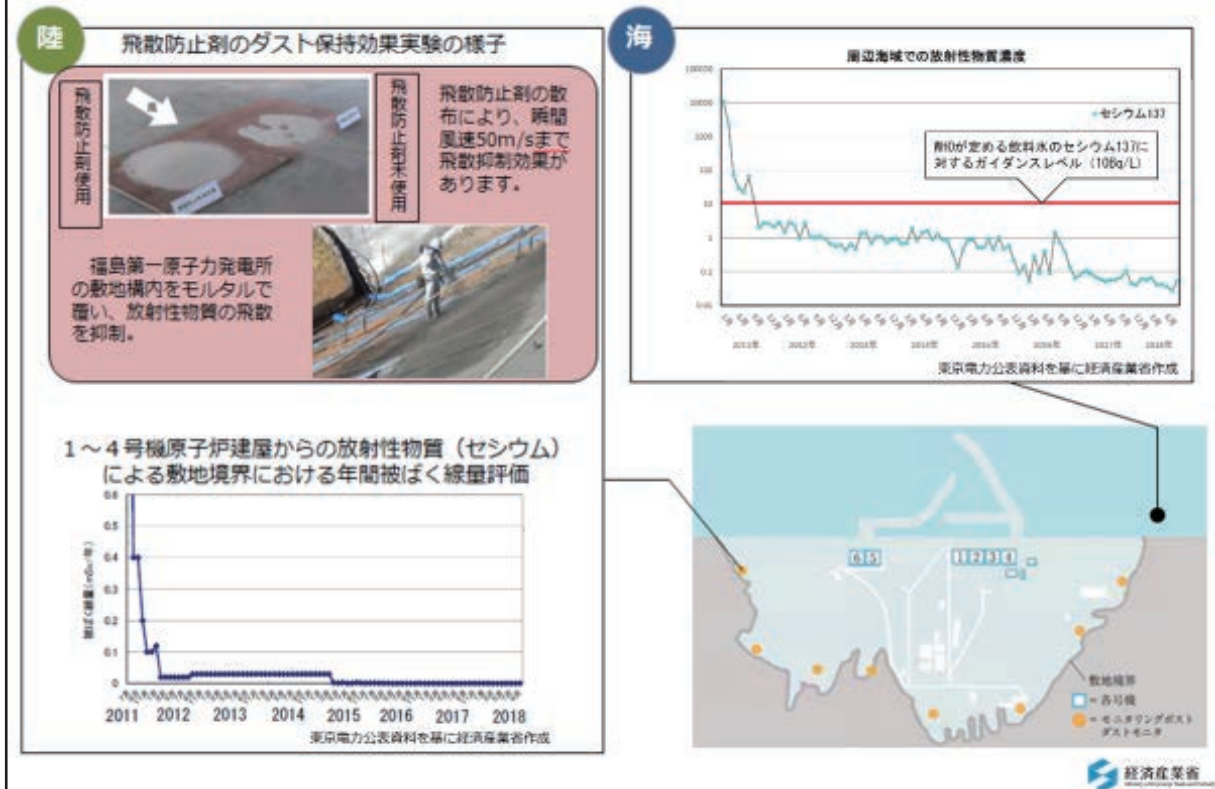
東京電力福島第一原子力発電所では、安定化に向けた取組が続けられており、現在では、各号機ともに原子炉の冷却が維持されるなど、安定した状態が維持されています。

この廃炉・汚染水対策は、世界にも前例のない困難な事業であり、国も前面に立って、「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」(中長期ロードマップ)に基づき、安全かつ着実に対策を進めることにしています。

2019年12月に、中長期ロードマップを改訂し、初号機の燃料デブリの取り出し方法を確定しました。30～40年後の廃止措置完了の目標に向け、引き続き、安全を最優先に、廃炉作業を進めていきます。

本資料への収録日：2018年2月28日

改訂日：2020年3月31日



発電所の敷地境界周辺では、水も大気も常に監視しており、生活への影響は十分に低いことが確認されています。万が一、空間線量率やダストの放射性物質濃度が異常に上昇した場合に備えて、直ちに通報/対応できる体制を構築しています。

<海洋モニタリング>

2015年10月に完成した鋼鉄製の杭を打ち込んだ海側遮水壁や、様々な取組（詳しくは、下巻P13「汚染水対策に関する取組（1/2）」を参照）により周辺海域の放射性物質濃度はWHO（世界保健機関）が定める飲料水のガイダンスレベルよりも十分に低い状態を継続しています。

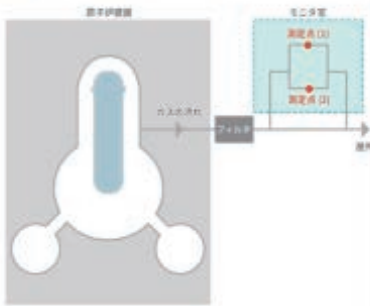
<周辺モニタリング>

東京電力福島第一原子力発電所では、放射性物質が構外に飛散しないように様々な対策が成されています。例えば、その代表的な取組として、飛散防止剤の散布や、地面をモルタルで覆うフェーシングなど、放射性物質の飛散抑制策を実施しています。これらの対策によって、敷地境界におけるモニタリングポストの数値は事故直後と比較し十分に低下し、安定した状態となっています。

本資料への収録日：2018年2月28日

改訂日：2020年3月31日

■ 希ガスの発生量



東京電力公表資料を基に経済産業省作成

■ 耐震、耐津波への対策

東日本大震災と同規模の地震や津波、さらにはそれ以上の規模の地震が発生したとしても、原子炉建屋など重要な建物については、倒壊しない健全性がコンピューター解析などにより確認されています。

緊急時の電源確保

電源喪失時に備え、電源を多様化し、「電源車」・「ガスタービン車」なども用意しています。緊急時には、この車から注水設備に電気を送ります。



津波が到達しない海拔高台エリアに電源車等のバックアップ電源や、消防車等の注水手段を用意しています。



仮設防潮堤(出典：東京電力HPより)



<再臨界について>

臨界（核分裂反応が連鎖的に発生、持続する状態）に達すると、キセノン135などの「希ガス」が突発的に増加します。東京電力福島第一原子力発電所では、希ガスの発生を24時間常に監視していますが、現在では希ガスの発生量は安定していることから、再臨界に至っていないと言えます。一方で、再臨界が万が一発生した場合に備えて、臨界時に核分裂を抑制するためのホウ酸水設備も設置されています。

<地震や津波に対する対策>

地震や津波への対策として、防潮堤の他に、建屋に津波が侵入しないよう、建屋開口部に閉塞工事を進めると共に、津波が到達しない高台のエリアに電源車等のバックアップ電源や、消防車等の注水手段を用意しています。

本資料への収録日：2018年2月28日

改訂日：2019年3月31日



東京電力福島第一原子力発電所では、作業時の負荷軽減による安全性と作業性の向上を図るため、ガレキ撤去やフェーシング等による労働環境の改善を進めた結果、一般作業服等で作業可能なエリアが、2018年6月に、構内面積の約96%に拡大しました。

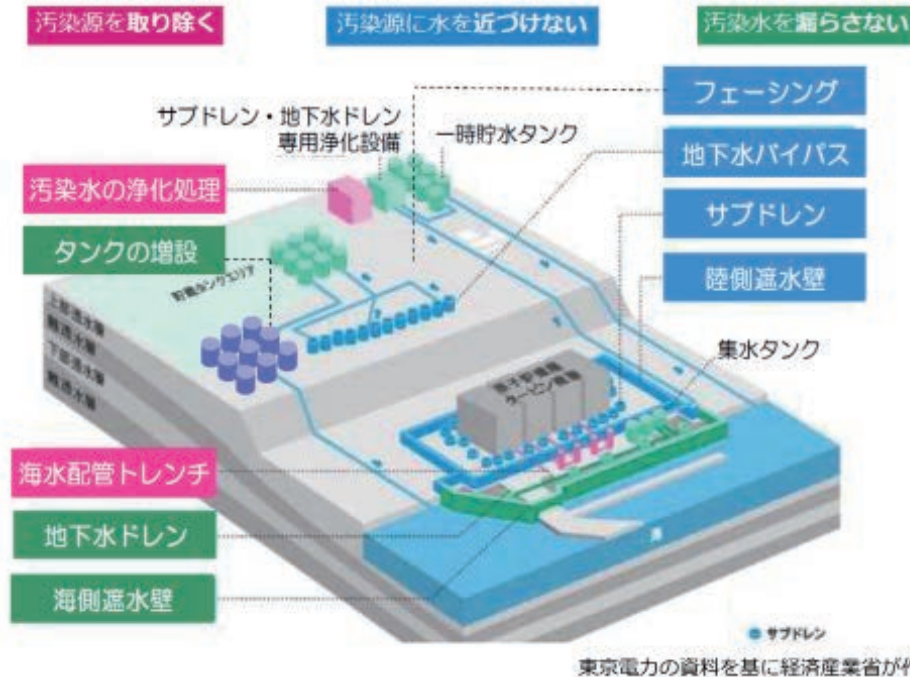
さらに、2018年10月以降、一部エリアの移動においては、特段の装備なしで移動が可能となりました。

このほか、2015年5月には大型休憩所がオープンし、給食センターで作られた温かい食事の提供やシャワーの利用、コンビニでの買物など、今では一部区域を除き一般の作業現場と変わらない環境での作業が可能となっています。

本資料への収録日：2018年2月28日

改訂日：2019年3月31日

「汚染源を取り除く」、「汚染源に水を近づけない」、「汚染水を漏らさない」、という3つの基本方針に基づいて、予防的・重層的な対策を講じています。



放射性物質を含む汚染水の取扱いについては、3つの方針で取り組んでいます。

<方針1. 汚染源を取り除く>

- ①汚染水から62核種の放射性物質を除く浄化処理を行う。
- ②トレンチ等に残留する高濃度汚染水を除去する。(注1)

<方針2. 汚染源に水を近づけない>

- ①建屋山側で地下水をくみ上げ、建屋近傍への流入を抑制する。
- ②建屋近傍の井戸（サブドレン）により地下水をくみ上げ、地下水位を下げ、建屋への流入を防ぐ。
- ③建屋周りに凍土壁を設けて、地下水の建屋への流入を抑制する。(注2)
- ④敷地舗装（フェーシング）による雨水の土壌浸透を押さえる。(注2)

<方針3. 汚染水を漏らさない>

- ①海側に鋼管製の遮水壁を設けて、放射性物質を含む地下水の海洋への流出を低減する。(注3)
- ②護岸部に地下水ドレンを設けて、地下水をくみ上げ、海洋放出を抑制する。
- ③日々発生する汚染水処理水である、高濃度汚染水や処理後の浄化水の貯蔵のためにタンクを計画的に確保する。

以上の方針で、次の成果が得られています。

(注1) 2015年12月までに2-4号機の海水配管トレンチ内の汚染水を除去・充填を完了した。

(注2) 予防的・重層的対策により、汚染水発生量が約540m³/日（2014年5月）から約170m³/日（2018年度）まで減少した。

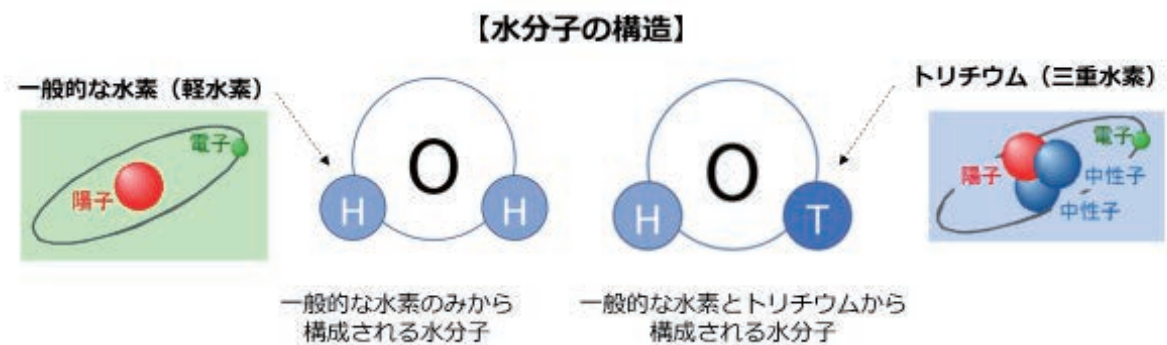
(注3) 2015年10月に海側遮水壁の完成により、港湾内の放射性物質の濃度は大幅に低減した。

また、課題として、トリチウムを含む浄化処理後の水の貯蔵量が増え続けており、対策が求められています。

本資料への収録日：2018年2月28日

改訂日：2020年3月31日

トリチウムは「三重水素」と呼ばれる水素の放射性同位体。
水分子を構成する水素として存在しており、多核種除去設備等での除去が困難。



出典：経済産業省資源エネルギー庁「廃炉の大切な話2018」、
トリチウム水タスクフォース「トリチウム水タスクフォース報告書」（2016年）、
多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会事務局「トリチウムの性質等について（案）」より作成



東京電力福島第一原子力発電所において多核種除去設備等で浄化処理した水の中には、放射性物質のトリチウムが含まれています。

トリチウムとは、日本語で「三重水素」と呼ばれる水素の放射性同位体です。一般的な水素と同じように酸素と化合して水分子を構成することから、身の回りでは水分子に含まれるかたちで存在するものが多く、大気中の水蒸気、雨水、海水、水道水にも含まれています。トリチウムは水分子の一部になって存在しているため、多核種除去設備等での除去は困難です。トリチウムは、原子力発電所を運転することで人工的に生成される以外にも、自然界で宇宙線により生成されます。

トリチウムは放射線の種類であるβ（ベータ）線を出します。ただしトリチウムの出すβ線はエネルギーが小さく、紙一枚で遮蔽が可能です。そのため外部被ばくによる人体への影響はほとんどありません。また、トリチウムを含む水は、生物学的半減期が10日で、体内に取り込んだ場合も速やかに体外に排出され、特定の臓器に蓄積することはありません（上巻P31「原発事故由来の放射性物質」）。トリチウムを経口摂取した場合の預託実効線量係数は0.000018μSv/Bqであり、他の核種と比較して小さい値となっています（上巻P57「実効線量への換算係数」）。

多核種除去設備等で浄化処理した水の取扱いについては、技術的な観点のみならず、風評などの社会的な影響等も含めた総合的な検討が進められています。

参考資料

トリチウムの基礎知識について：

・安全・安心を第一に取り組む、福島県の「汚染水」対策②「トリチウム」とはいったい何？
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/osensuitaisaku02.html>

トリチウムが人体に与える影響について：

・安全・安心を第一に取り組む、福島県の「汚染水」対策③トリチウムと「被ばく」を考える
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/osensuitaisaku03.html>

本資料への収録日：2019年3月31日

