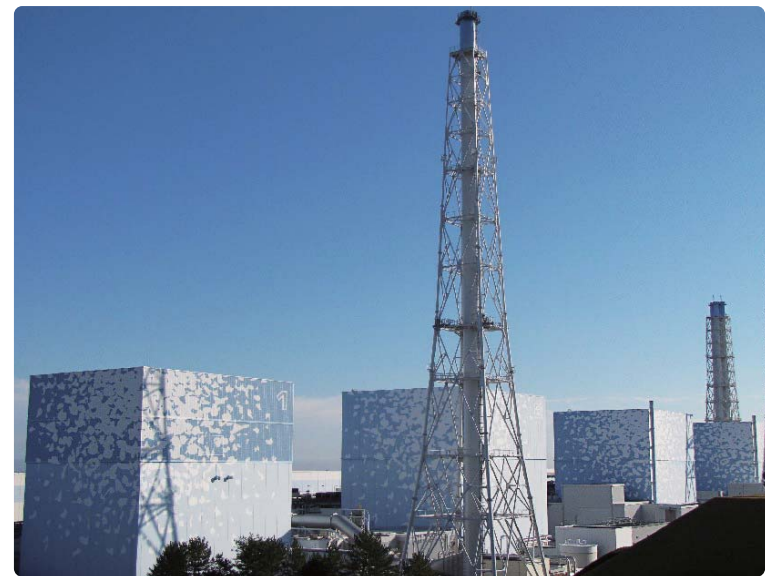


福島第一原子力発電所事故の 経過と教訓



事故前の福島第一原子力発電所(左から1、2、3、4号機/2009年11月撮影)

ごあいさつとこの冊子について

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、多くの方々にご迷惑、ご心配をおかけしておりますことを深くお詫び申し上げます。

東京電力では、二度とこのような事故を起こさないために、福島第一原子力発電所事故の経過について調査と分析を進めております。

この冊子では、その調査結果をご報告申し上げますとともに、事故から得た教訓についてご説明致します。

なお、この冊子における福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所についての記述は、これまでの東京電力の調査結果をもとに作成しています。



事故後の福島第一原子力発電所（左から1、2、3、4号機/2011年3月16日撮影）

この冊子の構成について

1. イントロダクション

i 福島第一原子力発電所事故をご理解頂くために
福島第一原子力発電所事故をご理解いただくための情報をご紹介します。

1-1. 止める、冷やす、閉じ込める	P03
1-2. 「冷やす」について	P05
1-3. 「冷やす」とどうなるか	P07



2. レビュー

? 福島第一原子力発電所はなぜ、過酷事故に至ったのか
シビアアクシデント
福島第一原子力発電所の各号機の事故の経過と過酷事故に至らなかった福島第二原子力発電所の対応についてご説明します。

2-1. 福島第一原子力発電所1～3号機の事故の経過の概要	P09
2-2. 福島第一原子力発電所を襲った地震及び津波の規模と浸水状況	P11
2-3. 1号機はなぜ過酷事故に至ったか	P13
2-4. 1号機の事故の経過	P15
2-5. 2号機はなぜ過酷事故に至ったか	P17
2-6. 2号機の事故の経過	P19
2-7. 3号機はなぜ過酷事故に至ったか	P21
2-8. 3号機の事故の経過	P23
2-9. 4号機ではなぜ水素爆発が発生したか	P25
2-10. 4号機の事故の経過	P27
2-11. 1～4号機同時事故による被害の拡大	P29
2-12. 福島第二原子力発電所はなぜ過酷事故を免れたのか	P31
2-13. 炉心損傷した号機と冷温停止した号機の比較	P33



3. プラン

! 検証から得られた教訓について
事故の検証を経て得た教訓に基づき、原子力発電所の今後の安全対策の方針をご説明致します。

3-1. 事故から得た教訓と今後の対応	P35
---------------------------	-----

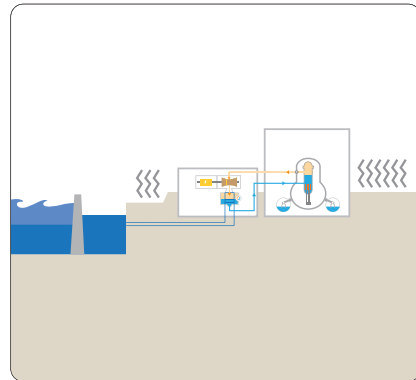
福島第一原子力発電所の安全確保に向けた取り組み / これからの安全確保に..... P37
係る東京電力の取り組みについて / 情報の公開について

福島第一原子力発電所事故をご理解頂くために
止める、冷やす、閉じ込める
 (福島第一原子力発電所1号機の場合)

原子力発電所はどのような考え方で安全を確保するよう設計されているのか。まずはその基本となる「止める、冷やす、閉じ込める」についてご説明致します。

原子力発電所は「止める、冷やす、閉じ込める」という考え方で安全を確保するように設計されています。

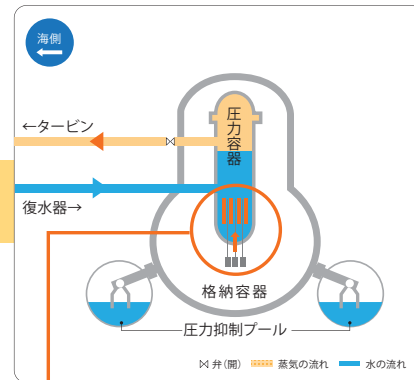
0. 防ぐ



津波の高さ、地震の強さを考慮した設計

発電所敷地で想定される地震や津波の襲来に備えて設計されています。

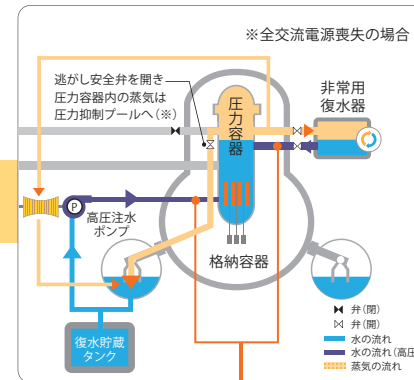
1. 止める



制御棒の挿入による緊急停止

大きな地震などの緊急時には制御棒が素早く挿入され、原子炉は緊急停止します。

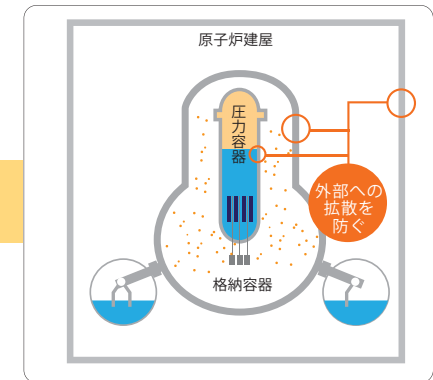
2. 冷やす



水の注入・循環による
 圧力容器の冷却

燃料が高温になって炉心が空焚き状態にならないように、大量の水を炉内に送り込んで冷却する設備が設置されています。

3. 閉じ込める



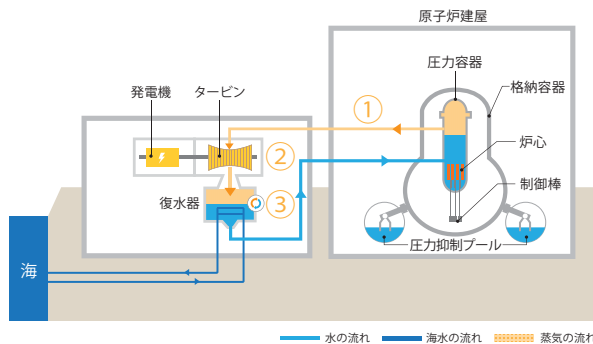
圧力容器・格納容器等で
 放射性物質を閉じ込める

事故があっても、放射性物質が外部に出ないように、放射性物質を閉じ込める防壁をつくっています。

■原子力発電プラントの各部の名称と通常時の熱の流れ (沸騰型原子炉の例)

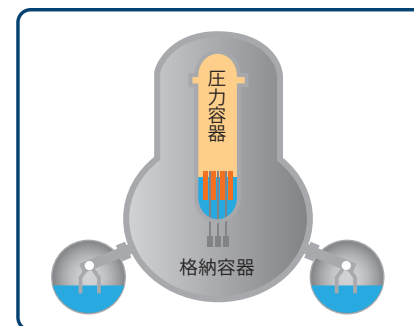
[原子炉から発生する熱の流れ]

- ① 原子炉の熱で発生した水蒸気をタービンに送る
- ② その水蒸気でタービンを回して発電する
- ③ タービンを回した蒸気を復水器で冷やし水に戻す (冷却には通常海水を使用)

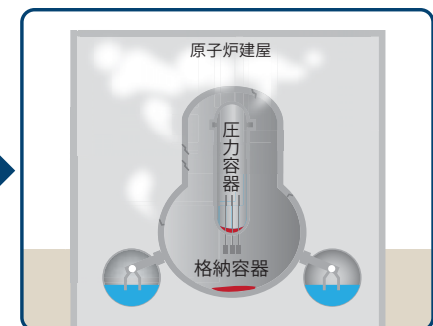


冷やすに失敗すると...

圧力容器内の水位が低下、炉心損傷に



冷やせなければ閉じ込め続けることは困難。閉じ込めるのに失敗すると外部への水素や放射性物質の放出に



次は原子炉を冷やす仕組みについてご説明致します ▶ 04

福島第一原子力発電所事故をご理解頂くために 「冷やす」について (福島第一原子力発電所2・3号機の場合)

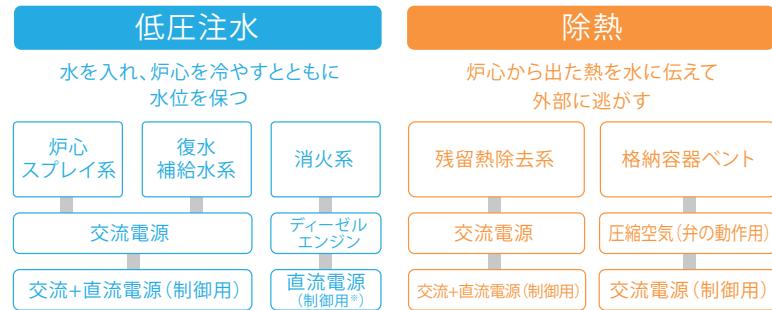
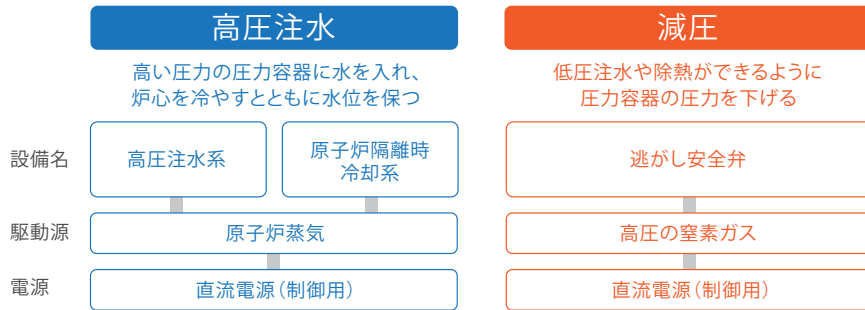
福島第一原子力発電所の事故の原因は「冷やす」ことに失敗したことです。
ここでは原子力発電所の「冷やす」仕組みについてご説明致します。

原子炉を「冷やす」とは？

原子炉を「冷やす」ことの目的は原子炉を「冷温停止(原子炉内の水の温度が100℃未満の状態)」という安定した状態にすることです。これには炉心の燃料から発生し続ける「崩壊熱」という熱を取り除く必要があります。このため、注水、減圧、除熱といった操作が必要になります。このため、原子力発電所には下に示すような設備が備えられています。

「注水」と「除熱」の違い

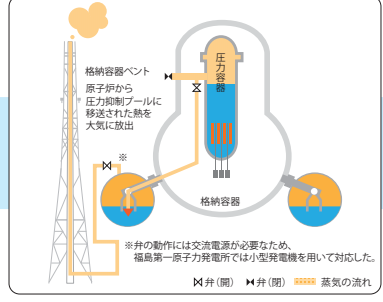
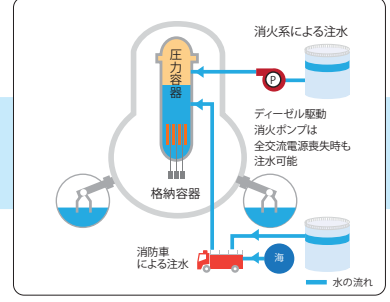
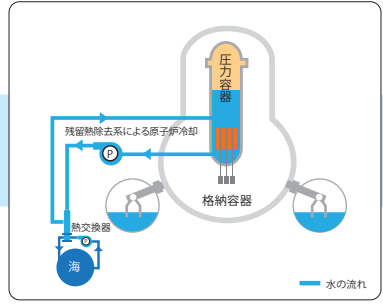
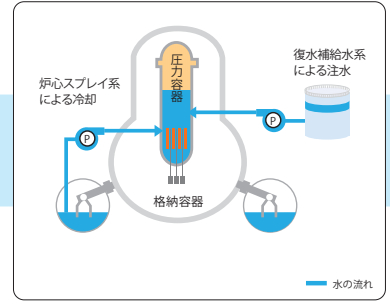
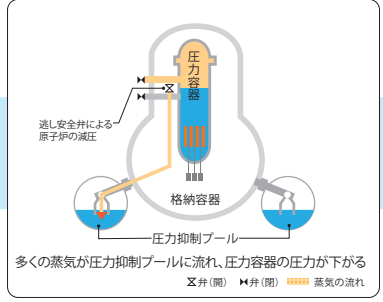
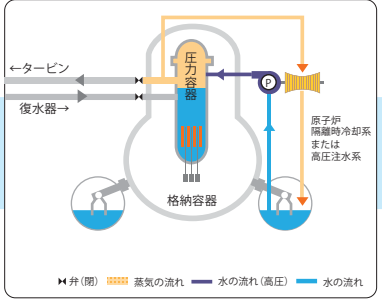
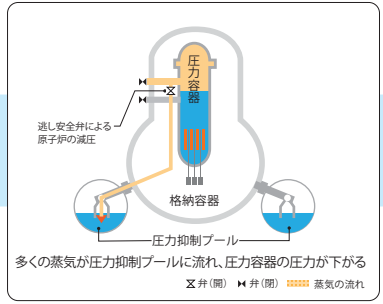
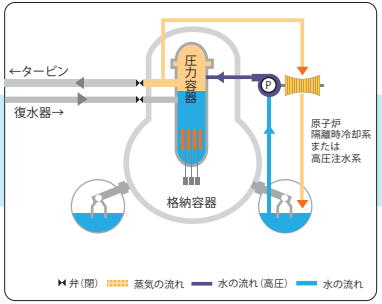
「注水」と「除熱」はどちらも「冷やす」ための手段です。「注水」は压力容器に冷たい水を入れて炉心を冷やす方法であり、「除熱」は炉心の熱を水に伝えて外部に逃がす方法です。緊急時、まずは即応性の高い注水を行います。注水だけでは炉心から出た熱を格納容器内に抱え込むことになってしまうため、いずれは「除熱」を行う必要があります。



止める(制御棒の挿入による緊急停止)

非常用電源(交流直流)が活用可能な場合

全交流電源喪失時



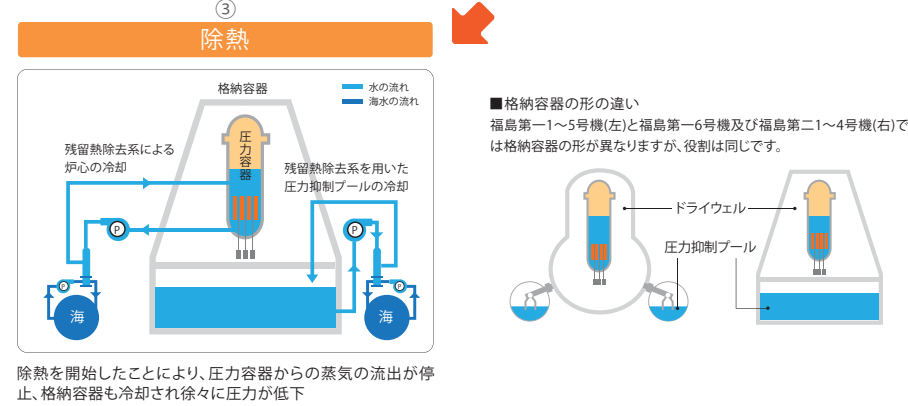
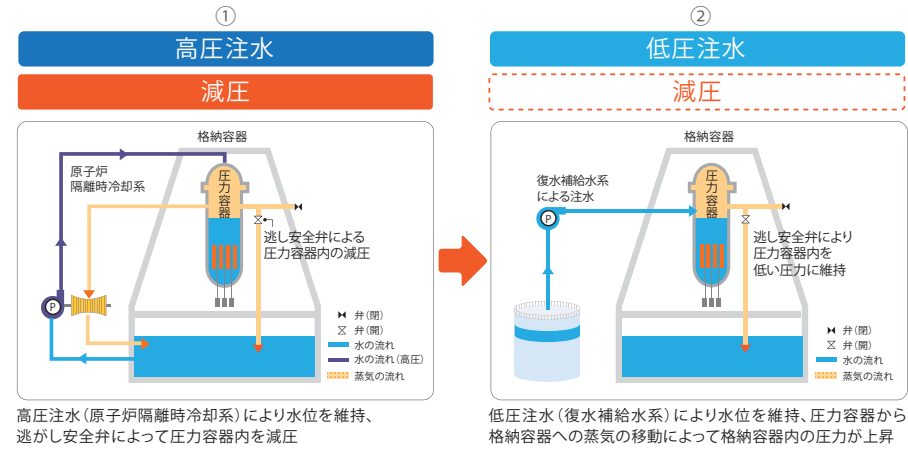
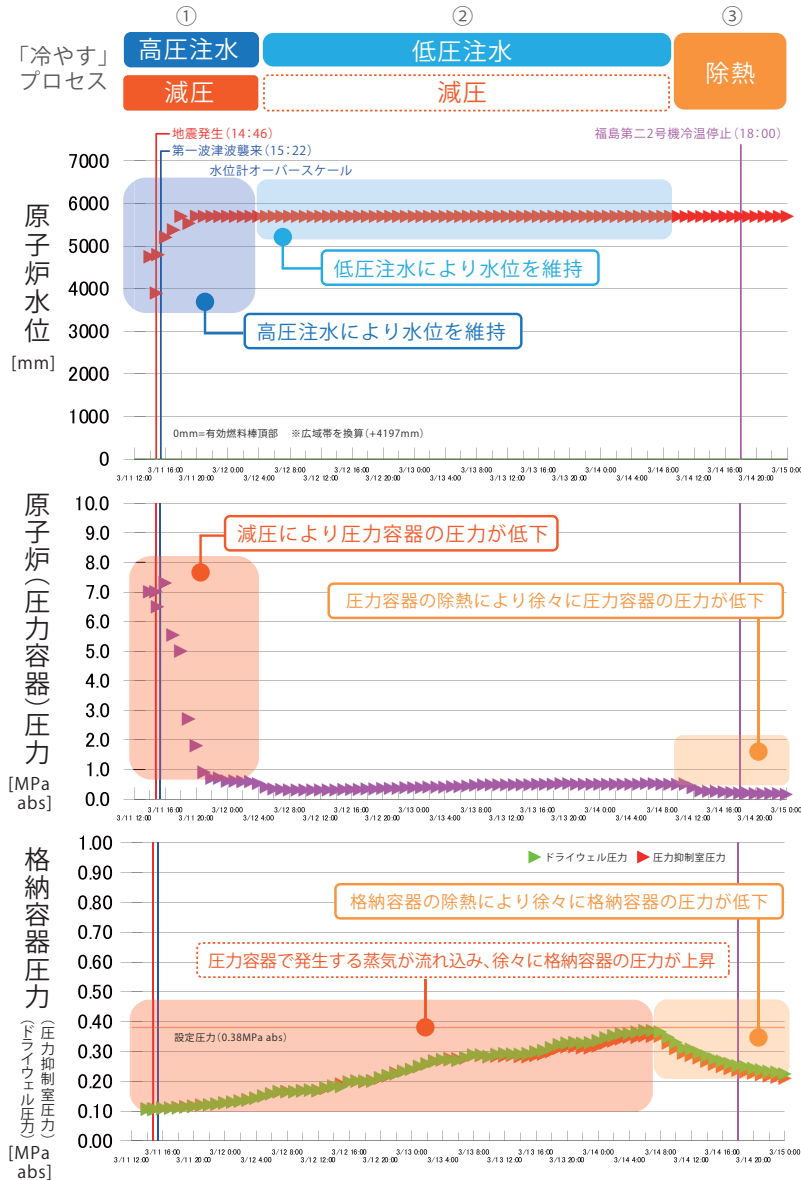
これらの操作を行うと原子炉や格納容器の中で何が起るのか、もう少し詳しくご説明致します ▶ 06

1-3

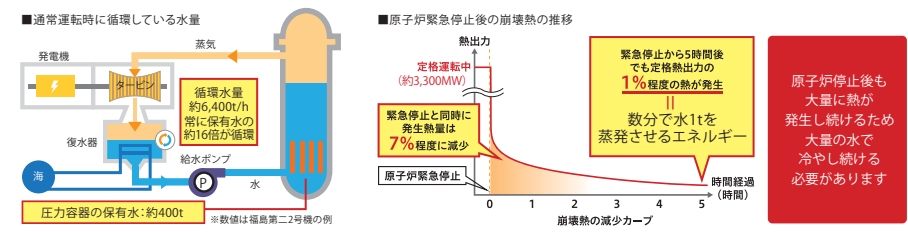
福島第一原子力発電所事故をご理解頂くために
「冷やす」とどうなるか
 (福島第二原子力発電所2号機の場合)

「冷やす」機能が働くと压力容器や格納容器の中では何が起るのか。比較的变化の流れの見やすい福島第二原子力発電所2号機のパラメータ変化と合わせてご説明致します。

「冷やす」機能による原子炉内のパラメータの変化 (福島第二号機を例示)



どのぐらいの熱が発生しているのか



1 インタロクメン
2 マナー
3 マナー

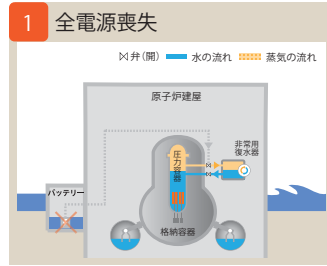
福島第一原子力発電所はなぜ過酷事故に至ったのか 福島第一原子力発電所 1～3号機の 事故の経過の概要

福島第一原子力発電所では、1号機～3号機が過酷事故に至りました。これらの事故は「冷やす」機能の喪失を発端としており、その後の経過の概要は1号機～3号機とも同じものでした。また、「冷やす」機能を失った最も大きな要因は、それらを運転・制御するための電源の喪失でした。

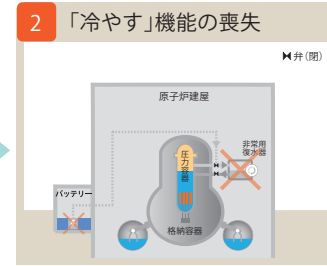
福島第一原子力発電所1～3号機の事故の経過の概要

福島第一原子力発電所では、運転中であった1号機～3号機が停止後の炉心の冷却に失敗し、炉心を損傷する事故（過酷事故）に至りました。

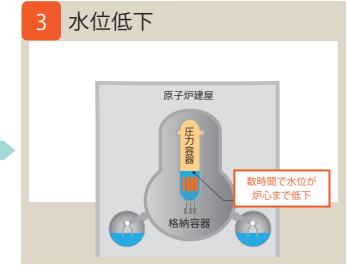
各号機とも、原子炉停止後に圧力容器への注水ができなくなり、圧力容器内の水が枯渇、燃料の温度が上昇して、水素が大量に発生、燃料の溶融、圧力容器の損傷、格納容器の損傷、原子炉建屋への水素や放射性物質の放出に至るといった経過をたどりました。冷却できなかった大きな要因は、電源の喪失により「冷やす」システムを運転・制御できなくなったことでした。電源や「冷やす」機能を失ったタイミングは各号機で異なりますが、事故の経過の概要は1号機～3号機とも同じものでした。



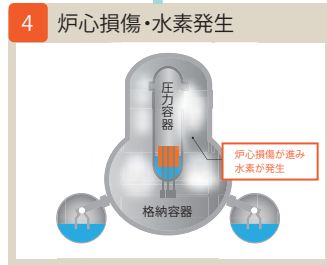
主に地震により外部からの送電(交流)を、津波による浸水により非常用ディーゼル発電機(交流)、バッテリー(直流)を喪失します。



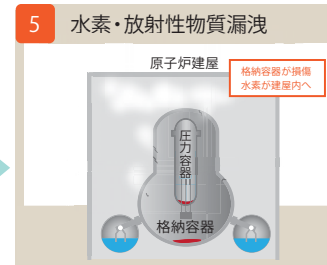
電源の喪失等により、冷却機能がいずれも使えなくなってしまう。



前壊熱により、圧力容器内の水が蒸気になり、水位が低下します。



水位低下に伴い燃料が露出し、温度が上昇します。高温の燃料は水蒸気と反応して水素を発生、燃料自体も高温により損傷します。



圧力容器、格納容器が損傷し、水素や放射性物質が原子炉建屋内に漏れだします。(原子炉建屋内に水素が蓄積した1、3号機は水素爆発に至りました。)



事故後の福島第一原子力発電所(左から1、2、3、4号機/2011年3月16日撮影)

各号機の経過の詳細については、P13以降でご説明致します。

各号機の経過の概要



福島第一原子力発電所はなぜ過酷事故に至ったのか 福島第一原子力発電所を襲った 地震及び津波の規模と浸水状況

地震により、緊急停止した原子力発電所を大きな津波が襲いました。
浸水は建屋内まで及び、電源設備等の重要な設備が使えなくなりました。

地震後も安全上重要な設備は機能を維持

地震による安全上重要な設備の損傷は確認されていません。

2011年3月11日(金)午後2時46分、三陸沖の海底を震源とするマグニチュード9.0の地震が発生しました。福島第一原子力発電所も大きな揺れに襲われましたが、運転中だった1~3号機は全て緊急停止するとともに非常用ディーゼル発電機が起動し、炉心の冷却が始まりました。

地震により、送受電設備等、一部の常用設備への被害は生じましたが、非常用ディーゼル発電機や注水・除熱のための設備といった安全上重要な設備への損傷は確認されていません。

2011.3.11
14:46 発生

マグニチュード
9.0

現場での目視確認

実測データによる確認

計算による確認

安全上重要な設備は地震後も必要な機能を保っていたと推定

津波により、ほとんどの電源と注水・除熱機能を失う

福島第一原子力発電所では、屋外設備の破損、重要な設備への浸水などの被害がありました。

福島第一原子力発電所は、地震発生から約50分後に大きな津波の直撃を受けました。海側に設置された、原子炉の熱を海に逃がすためのポンプなどの屋外設備が破損するとともに、原子炉が設置されている敷地のほぼ全域が津波によって水浸しになりました。また、タービン建屋などの内部に浸水し、電源設備が使えなくなったため、原子炉への注水や状態監視などの安全上重要な機能を失いました。また、津波によって押し流された瓦礫が散乱し通行の妨げとなるなど、様々な被害を受けました。

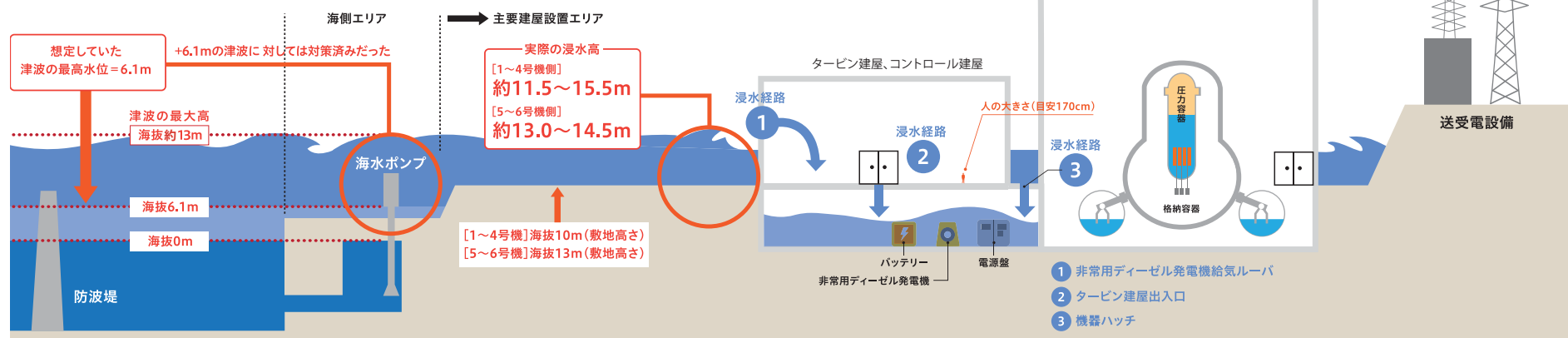


津波による被害を受けた後(全体)の福島第一原子力発電所 2011年3月19日撮影



水没した電源室 (福島第一原子力発電所2号機)

福島第一原子力発電所の敷地高さ&津波イメージ



福島第一原子力発電所はなぜ過酷事故に至ったのか 1号機はなぜ過酷事故に至ったのか

1号機の事故について

地震発生時、1号機は直ちに制御棒が挿入され、設計通り自動で原子炉が停止しました。1号機は地震により外部電源を全て失い、復水器などは使用できない状況でしたが、非常用ディーゼル発電機が自動起動し、非常用復水器^{※1}による炉心の冷却が始まりました。

しかし、地震から約50分後の津波とこれに伴う浸水により、非常用ディーゼル発電機やバッテリー（直流電源）、電源盤^{※2}等すべての電源を失いました。全ての電源を失ったことにより、非常用復水器が機能を喪失し、高圧注水系も起動できなくなりました。加えて、監視・計測機能も失ったため、原子炉や機器の状態を確認することができなくなりました。この後、圧力容器内の水は蒸発し続け、約4時間後、燃料が水面から露出して、炉心損傷が始まります。

露出した燃料棒の表面温度が崩壊熱により上昇したため、燃料棒の表面が圧力容器内の水蒸気と反応して、大量の水素が発生しました。格納容器の損傷部（温度上昇によって生じた蓋接合部等の隙間と考えています）から漏れ出した水素は、原子炉建屋上部に溜まり、何らかの原因により引火して、津波襲来から約24時間後の3月12日午後3時36分に爆発しました。また、溶融した炉心が圧力容器の底を貫通し、格納容器の床面のコンクリートを侵食しました。

水素爆発に伴う周辺の瓦礫の散乱等は作業の大きな妨げになり、2号機、3号機への対応が遅れる原因ともなりました。

浸水した電源室の様子



水素爆発直後の1号機原子炉建屋



非常用復水器の被害状況



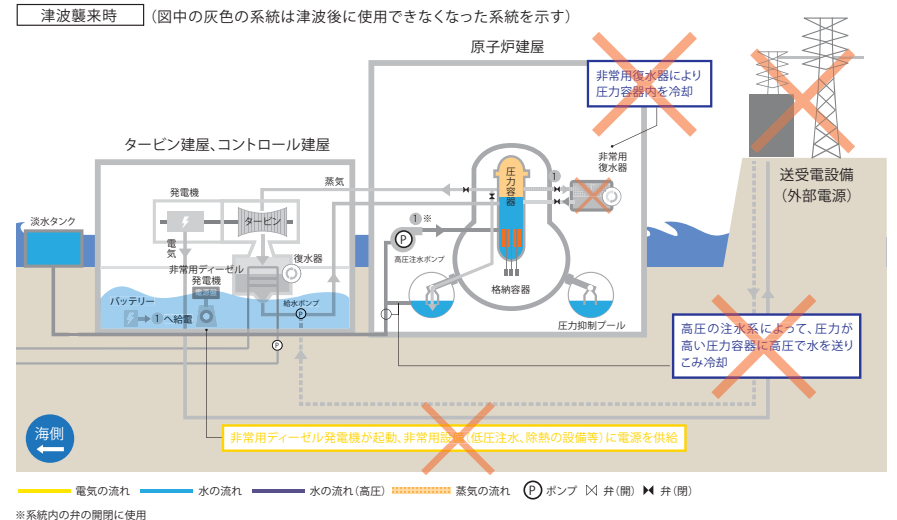
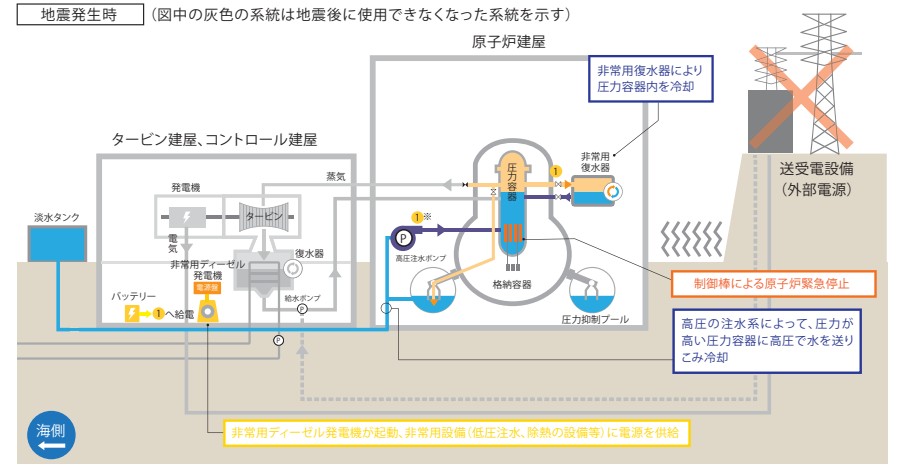
※1 非常用復水器: 圧力容器内の蒸気を冷却して水に戻し、再び圧力容器へ送り込むことで炉心を冷却する設備。
 ※2 電源盤: 受電・配電のための設備。発電機やバッテリーがあったとしても、電源盤が使えないと建屋内の各設備に電気を送ることができない。

事故のポイント(1号機)

事故の教訓	発生した問題点
1: 津波からの防護	●津波の襲来により、建屋内外が浸水した。
2: 電源/注水手段の確保	●交流・直流全ての電源を喪失したことにより、全ての注水・除熱機能を失った。 ●注水・除熱ができなくなったことにより、圧力容器内の水位が低下し、津波から約4時間で炉心損傷に至った。
3: 炉心損傷後の影響緩和	●炉心損傷によって発生した水素が、圧力容器・格納容器から原子炉建屋内に漏れ出し、水素爆発が起こった。 ●溶融した炉心が圧力容器を貫通して、格納容器のコンクリートを侵食した。
4: プラントの状態把握	●全ての電源が失われたことで照明、通信、監視・計測等の手段を失った他、全号機同時に危機的状況に陥ったことにより初動対応の混乱や情報共有の不備が生じた。
5: 復旧作業環境の改善	●大きな余震やそれに伴う津波の恐れ、瓦礫等の散乱により、現場のアクセシビリティ・作業性が低下した。

地震により外部電源を失ったものの、非常用ディーゼル発電機が起動して安全確保のための機能が保たれていた1号機ですが、津波の襲来により交流・直流の全ての電源を喪失し、「冷やす」機能を失いました。このため原子炉の水位が下がり続け、炉心が損傷、これに伴って発生した水素が原子炉建屋内に漏れ出し、水素爆発に至りました。

地震発生時と津波襲来時の1号機の変化



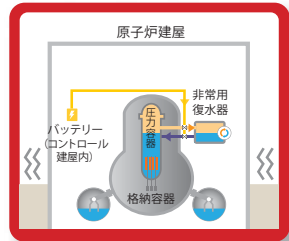
2-4

福島第一原子力発電所はなぜ過酷事故に至ったのか 1号機の事故の経過

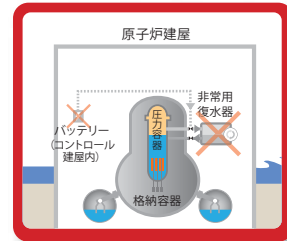
1号機の事故の経過

地震後、原子炉は緊急停止。外部電源を失ったものの、非常用ディーゼル発電機が自動起動。非常用復水器を使用して、炉心の冷却が進められていました。しかし、津波により、全電源を喪失したことで、非常用復水器や高圧注水系による冷却機能を失いました。冷却手段を失ったことに伴い、压力容器内の水位が低下。炉心損傷が進み、発生した水素が原子炉建屋に漏れ出し、水素爆発が発生しました。

14:46 地震発生



15:37 頃 津波襲来

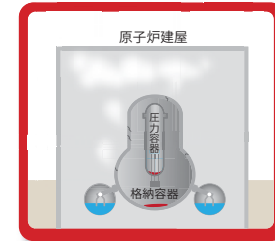


津波により使えなくなった非常用復水器

非常用復水器は弁の開閉だけで冷却を行うことができます。地震の後、緩やかに炉心を冷却するために非常用復水器の弁を開閉していましたが、津波により全ての電源を失ったときにはこの弁を閉めていたため、再び開けることができなくなり、非常用復水器は冷却機能を失いました。

津波により電源を喪失
炉心の冷却が困難に

水素が建屋に漏洩



15:36 1号機原子炉建屋水素爆発

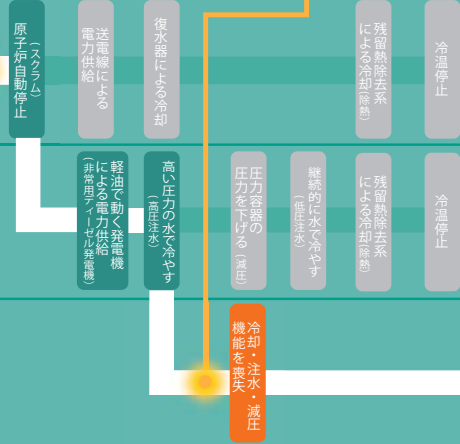


3/11

通常時の冷温停止プロセス

緊急時の冷温停止プロセス

津波発生後の対応・事象



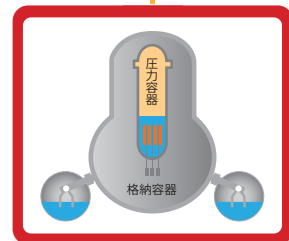
3/12

4:00 頃～

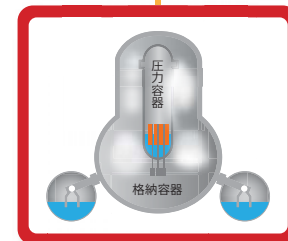
燃料棒の外側のジルコニウムと水蒸気が化学反応し水素が大量発生



- 燃料の露出・損傷 (不安定状態)
- 压力容器の損傷
- 格納容器の損傷
- 水素が建屋に漏洩
- 注水冷却
- 消防車などによる注水冷却



压力容器内の水位が低下



水素発生

水位の低下や炉心損傷及び水素発生
の順序は、注水量の不確かさに伴って前後
していた可能性があります。

福島第一原子力発電所はなぜ過酷事故に至ったのか 2号機はなぜ過酷事故に至ったのか

2号機の事故について

地震発生時、2号機は直ちに制御棒が挿入され、設計通り自動で原子炉が停止しました。2号機は地震により外部電源をすべて失い、復水器などは使用できない状況でしたが、非常用ディーゼル発電機が自動起動し、原子炉隔離時冷却系も運転することができました。その後、津波とこれに伴う浸水により、非常用ディーゼル発電機やバッテリー、電源盤等、全ての電源を失い、計器類の監視・計測機能や操作機能、照明等が使用不能となりました。

こここでは、1号機とほぼ同じ経過を辿りましたが、2号機では原子炉隔離時冷却系が津波襲来前から動作しており、全電源を失った後もこれが動き続けたことから、約3日間注水を続けることができました。この間、他の冷却系統での注水を行なうべく、水没を免れた電源盤に電源車をつなぎ、電源確保の作業を進めていましたが、12日午後3時36分の1号機の水素爆発によりケーブルが損傷し、電源車が使用不能となりました。また、14日の午前11時1分には3号機で水素爆発が発生し、準備が完了していた消防車及びホースが損傷し、使用不能となりました。同日午後1時25分に原子炉隔離時冷却系の停止が確認された後、減圧に時間がかかり、水位が低下、炉心損傷に至り、これと同時に水素が発生しました。

炉心損傷の後の压力容器及び格納容器の損傷に伴い、水素が原子炉建屋に漏洩したと推定されますが、2号機では原子炉建屋上部側面のパネルが1号機の水素爆発の衝撃で開きました。このため、水素が外部へ排出され、原子炉建屋の爆発が回避されたと推定されます。

一方で、2号機からは1〜3号機の中で最も多くの放射性物質が放出されたと推定しています。これは、1、3号機では、圧力抑制プールの水によってある程度放射性物質を取り除いてから格納容器の外へ気体を放出する「ベント」という操作が成功したことに対し、2号機ではベントのラインを開放することができず、ベントに失敗、格納容器から直接放射性物質を含む気体が漏洩したためと推定しています。

電源喪失後の作業風景 (1/2号機中央制御室)



集めたバッテリーを計器等に接続 (1/2号機中央制御室)



1号機の水素爆発に伴い開いた原子炉建屋上部側面のパネル

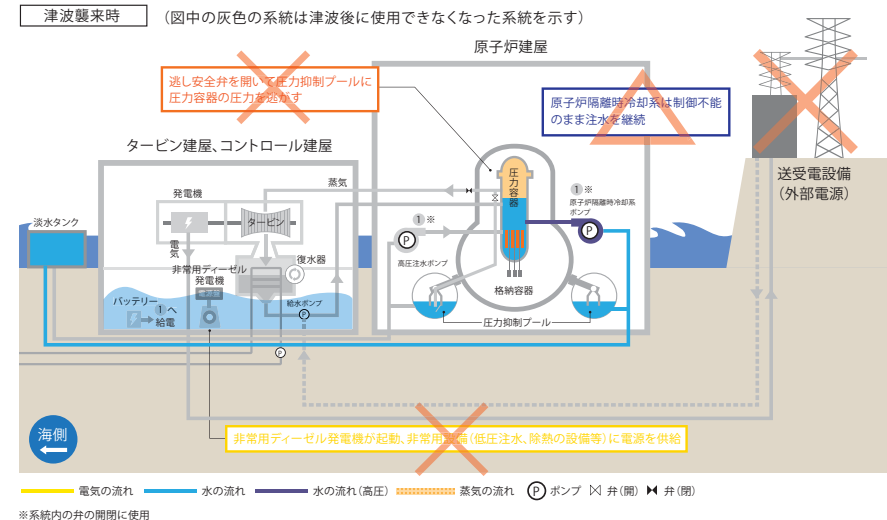
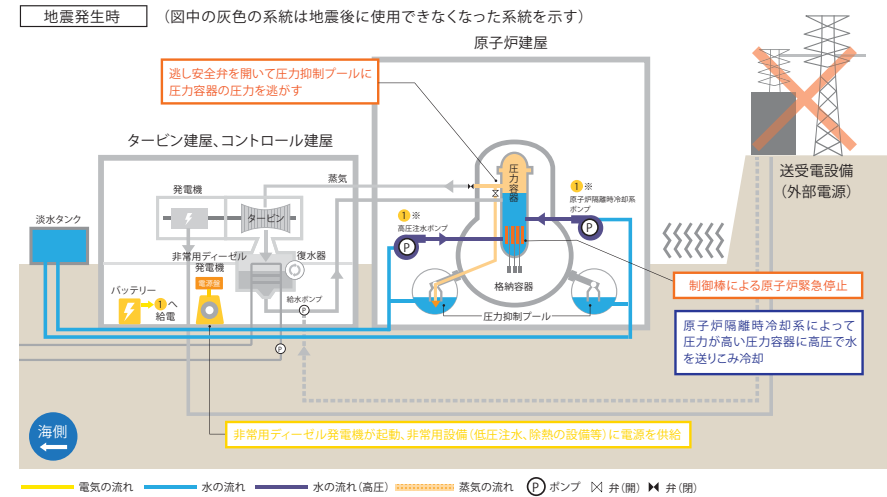


事故のポイント (2号機)

事故の教訓	発生した問題点
1: 津波からの防護	●津波の襲来により、建屋内外が浸水した。
2: 電源/注水手段の確保	●交流・直流全ての電源を喪失したことにより、原子炉隔離時冷却系を除く注水・除熱機能を失った。同時に原子炉隔離時冷却系は制御不能となり、数日間動作したが、その後停止した。 ●原子炉隔離時冷却系停止後、压力容器の減圧に時間を要し、水位が低下、炉心損傷に至った。
3: 炉心損傷後の影響緩和	●炉心損傷の後、格納容器も損傷し、水素や放射性物質が外部に漏れだした。
4: プラントの状態把握	●全ての電源が失われたことで照明、通信、監視・計測等の手段を失った他、全号機同時に危機的状況に陥ったことにより初動対応の混乱や情報共有の不備が生じた。
5: 復旧作業環境の改善	●大きな余震やそれに伴う津波の恐れ、津波や1・3号機の水素爆発による瓦礫の散乱で、現場のアクセス性・作業性が低下した。 ●1・3号機の水素爆発によって、準備を進めていた電源車や消防車が損傷した。 ●放射線量の上昇や放射線管理等に対応するための資機材の不足、事故対応が数日間に亘るなど著しく作業環境が悪化した。

津波で全ての電源を失った後も、原子炉隔離時冷却系が運転を続けていた2号機ですが、原子炉隔離時冷却系停止後の減圧に時間がかかり、炉心損傷へと事態が進展しました。結果的に、水素爆発には至らなかったものの、大量の放射性物質を放出する結果になりました。

地震発生時と津波襲来時の2号機の変化



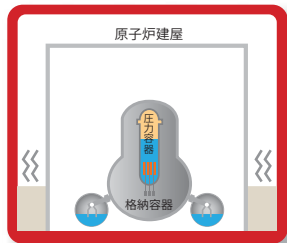
2-6

福島第一原子力発電所はなぜ過酷事故に至ったのか 2号機の事故の経過

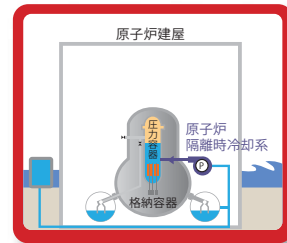
2号機の事故の経過

地震後、原子炉は緊急停止。外部電源を失ったものの、非常用ディーゼル発電機が自動起動。原子炉隔離時冷却系を使用して炉心の冷却が進められていました。津波により、全電源を喪失した後も原子炉隔離時冷却系は約3日間運転を続けましたが、3月14日には停止。減圧による低圧注水への移行が図られましたが、隣接プラントの爆発等の影響もあり、作業が難航したため、その間に压力容器内の水位が低下し、炉心の損傷、水素発生へと事態は進展しました。結果的に原子炉建屋の水素爆発には至らなかったものの、大量の放射性物質を放出する結果になりました。

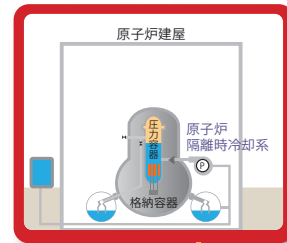
14:46 地震発生



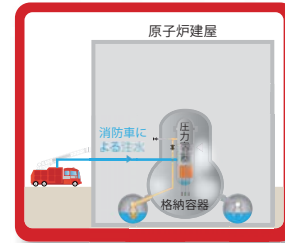
15:37 頃 津波襲来



13:25 原子炉隔離時冷却系停止と判断



19:54 注水開始



午前頃～ 原子炉建屋外への放射性物質の放出



3/11

通常時の冷温停止プロセス

原子炉自動停止
(スクラム)

送電線による
電力供給

復水器による冷却

残留熱除去系
による冷却(除熱)

冷温停止

緊急時の冷温停止プロセス

軽油で動く発電機
に非常用ディーゼル発電機

高い圧力の水で冷やす
(高圧注水)

圧力容器の
圧力を下げる(減圧)

継続的に水で冷やす
(低圧注水)

残留熱除去系
による冷却(除熱)

冷温停止

3/12

3/14

3/15

津波発生後の対応・事象

原子炉隔離時冷却系
の運転を確認

注水機能の喪失

圧力容器の圧力を
下げる(減圧)

燃料の露出(油滴)

圧力容器の損傷

格納容器の損傷

炉心損傷の要因は減圧の失敗

2号機及び3号機では、原子炉停止後、高い圧力の压力容器内に注水可能な高圧注水の系統が動作していたため、原子炉の水位が維持(冷却)されていました。しかし、一定期間の後、高圧注水の系統が停止し、再び運転することもできない状況となります。この場合、压力容器の圧力を下げ、低圧注水の系統で压力容器に注水して、炉心を冷やす必要がありましたが、減圧のための「逃がし安全弁」を速やかに開く事ができず注水できなかったため、压力容器内の水位が低下し、炉心損傷に至りました。

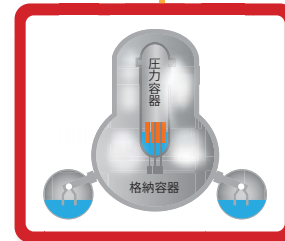


15:36 1号機原子炉建屋水素爆発



11:01 3号機原子炉建屋水素爆発

(2号機原子炉建屋上部側面のパネルが開放)



水素発生

水位の低下や炉心損傷及び水素発生
の順序は、注水量の不確かさに伴って前後
していた可能性があります。

1 | インターロッキング

2 | コピー

3 | プリン

福島第一原子力発電所はなぜ過酷事故に至ったのか 3号機はなぜ過酷事故に至ったか

3号機の事故について

地震発生時、3号機は直ちに制御棒が挿入され、設計通り自動で原子炉が停止しました。3号機は地震により外部電源をすべて失い、復水器などは使用できない状況でしたが、非常用ディーゼル発電機が自動起動し、原子炉隔離時冷却系も運転することができました。その後津波の襲来と共に伴う浸水によって交流電源を全て失ったものの、直流電源設備は1号機、2号機と異なり、少し高い位置にあったことから浸水を免れました。このため、原子炉隔離時冷却系や高圧注水系の運転・制御を継続できただけでなく、計器類による原子炉の状態監視も続けることができました。

1日半程度注水を続けた後、低圧(ディーゼル駆動消防ポンプ)での注水に切り替えるために高圧注水系を停止しましたが、この後の減圧に時間がかかり、水位が低下、水素が発生するとともに炉心損傷に至りました。

減圧を確認した後、消防車による注水を開始しましたが、格納容器から漏れ出した水素によって、3月14日午前11時1分に水素爆発が発生しました。

津波で機能を喪失した海水系ポンプ



水素爆発後の3号機原子炉建屋

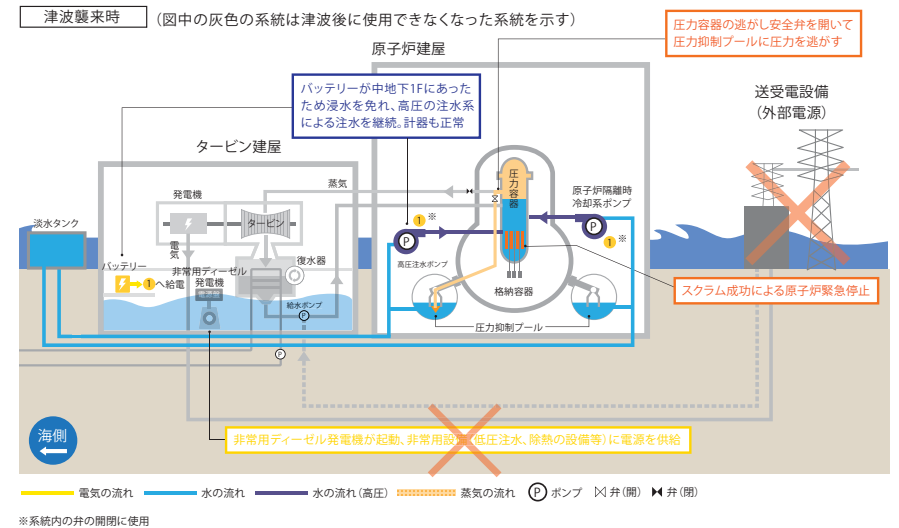
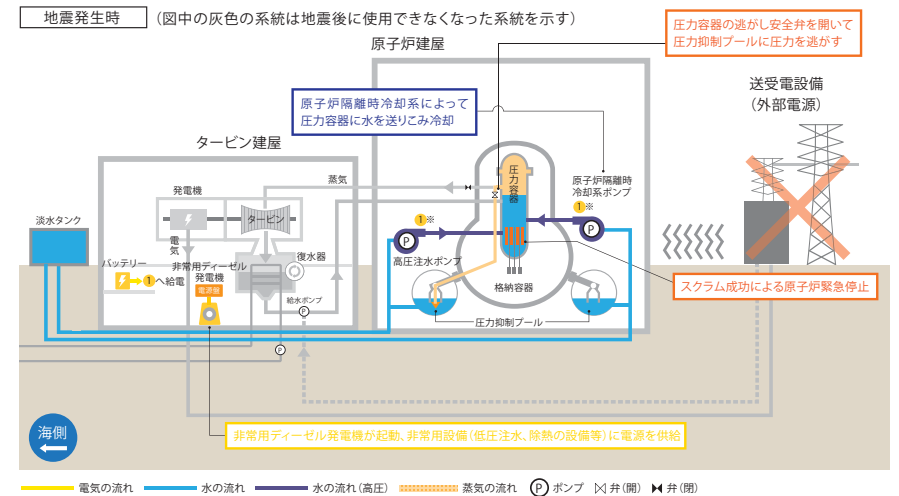


事故のポイント(3号機)

事故の教訓	発生した問題点
1: 津波からの防護	●津波の襲来により、建屋内外が 浸水した 。
2: 電源/注水手段の確保	●全ての交流電源を喪失したことにより、 交流駆動の注水・除熱機能を失った 。 ●高圧注水系の停止後、 圧力容器の減圧に時間がかかり、水位が低下、炉心損傷に至った 。
3: 炉心損傷後の影響緩和	●炉心損傷によって発生した水素が、圧力容器・格納容器から原子炉建屋内に漏れ出し、 水素爆発が起こった 。
4: プラントの状態把握	●交流電源が失われたことにより、照明や通信手段に限られた他、 全号機同時に危機的状況に陥ったことにより、初動対応の混乱が生じた 。
5: 復旧作業環境の改善	●大きな余震やそれに伴う津波の恐れ、瓦礫の散乱等により、 現場のアクセシビリティ・作業性が低下した 。 ●放射線量の上昇や放射線管理等に対応するための資機材の不足、事故対応が数日間に亘るなど著しく 作業環境が悪化した 。

津波後も高圧の注水系による注水を行っていた3号機ですが、高圧注水系を停止した後の減圧に時間がかかり、炉心損傷へと事態が進展しました。炉心損傷に伴って発生した水素は原子炉建屋に漏れ出し、原子炉建屋で水素爆発が発生しました。

地震発生時と津波襲来時の3号機の変化



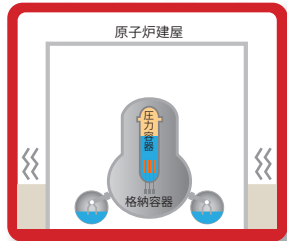
2-8

福島第一原子力発電所はなぜ過酷事故に至ったのか 3号機の事故の経過

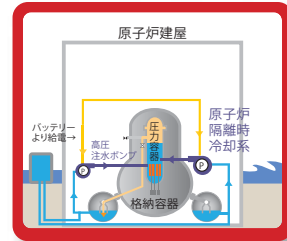
3号機の事故の経過

地震後、原子炉は緊急停止。外部電源を失ったものの、非常用ディーゼル発電機が自動起動。原子炉隔離時冷却系を使用して炉心の冷却が進められていました。津波により非常用ディーゼル発電機は停止しましたが、バッテリー（直流電源）が被害を免れたため原子炉隔離時冷却系や高圧注水系を制御しながら、冷却を続けることができました。高圧注水系の停止と並行して、低圧注水への移行が図られましたが、圧力容器の減圧がうまくいかず、作業が難航。その間に圧力容器内の水位が低下し、炉心の損傷、水素発生へと事態は進展し、3月14日午前11時に原子炉建屋で水素爆発が発生しました。

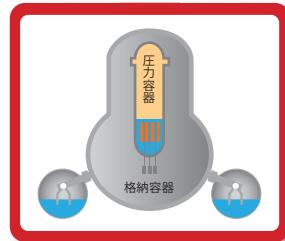
14:46 地震発生



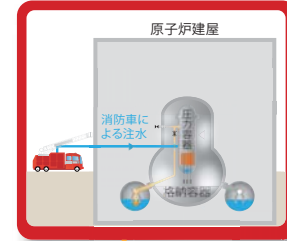
15:37 頃 津波襲来



圧力容器の水位が低下



9:25 頃 注水開始

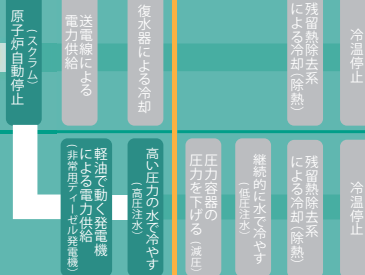


11:01 3号機原子炉建屋水素爆発



3/11

通常時の冷温停止プロセス



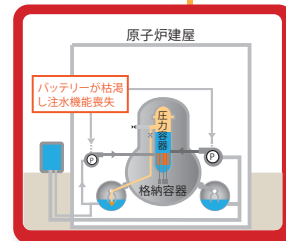
緊急時の冷温停止プロセス

津波発生後の対応・事象

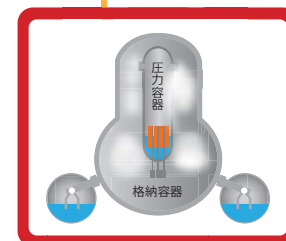
3/12

3/13

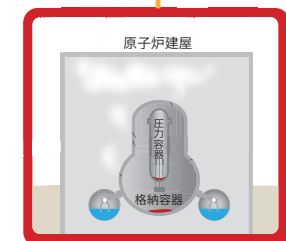
3/14



2:42 高圧注水系を停止



水素発生



水素が建屋に漏洩

水位の低下や炉心損傷及び水素発生
の順序は、注水量の不確かさに伴って前後
していた可能性があります。

福島第一原子力発電所はなぜ過酷事故に至ったのか 4号機ではなぜ水素爆発が発生したか

4号機の事故について

地震発生時、4号機は定期検査中で、運転を停止しており、原子炉の燃料は全て使用済燃料プールに取り出されていました。津波による全電源喪失で、使用済燃料プールの除熱機能も注水機能も失われ、蒸発による使用済燃料プールの水位低下が懸念されていました。また、3月14日午前4時8分の段階で、使用済燃料プールの水温は84度であることを確認し、燃料上端まで水位が低下するのは3月下旬と予想していました。

このため、対応にはある程度の時間的余裕があると確認していましたが、3月15日午前6時14分頃、4号機の原子炉建屋で水素爆発が起こりました。この原因は3号機の格納容器ベントに伴い、水素を含むベントガスが排気管を通じて4号機に流入したためと推定しています。

水素爆発後の4号機原子炉建屋



4号機の使用済燃料プールの様子 2011年6月29日撮影

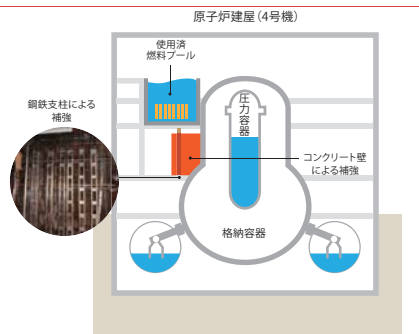


事故のポイント(4号機)

- 電源/注水手段の確保…地震と津波の襲来により全電源を喪失し、使用済燃料プールへの注水・冷却手段を喪失した。さらに、他号機の原子炉への対応と並行して使用済燃料プールへの対応を行わなければならなかった。
- 事故後の影響緩和……3号機からの水素の流入により水素爆発が発生した。

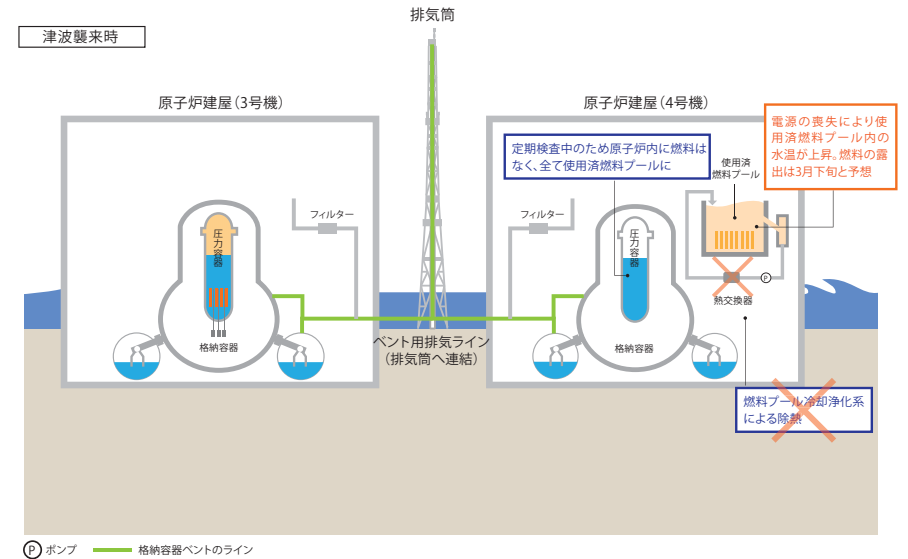
4号機使用済燃料プールの補強

使用済燃料プールは、厚さ140～185センチメートルの鉄筋コンクリートで作られています。そのため、外壁等が損傷した福島第一原子力発電所4号機も、使用済燃料プールの耐震性は地震発生前と変わらず、再び東北地方太平洋沖地震と同程度の地震(震度6強)が発生したとしても、安全上の問題は生じないことを確認しています。しかし、さらなる安全性向上のために、プール底部を鋼製支柱とコンクリート壁で補強する工事を行ない、耐震余裕度を20%以上向上させました(2011年7月完了)。

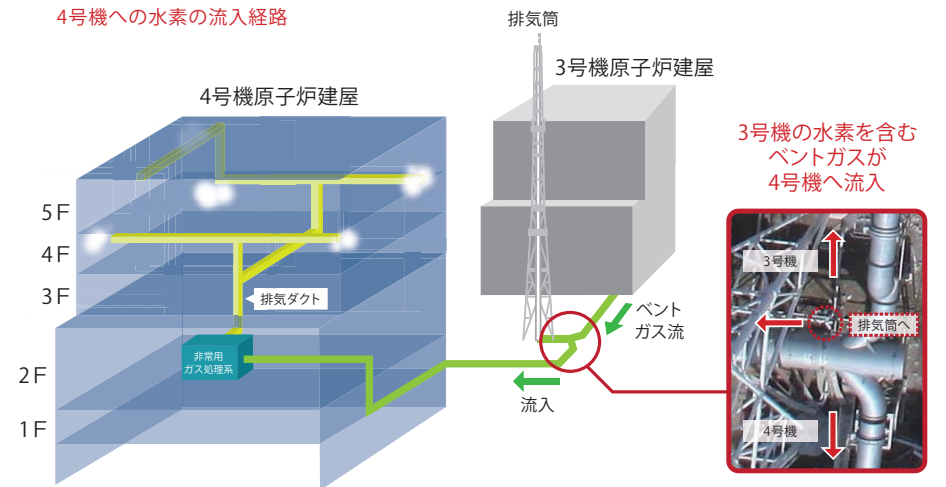


定期検査のため、運転を停止していた4号機ですが、3月15日早朝に原子炉建屋で水素爆発が発生しました。この原因は、3号機で発生した水素が排気管を通じて4号機に流れ込んだことと推定しています。

津波襲来時の4号機の変化



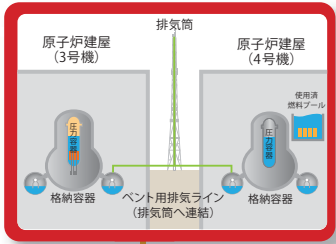
4号機への水素の流入経路



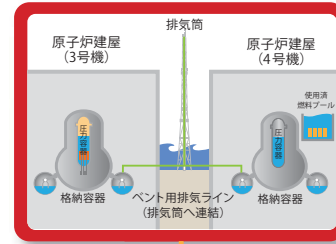
原子炉建屋内の変化(4号機)

定期検査中で運転を停止していた4号機もまた、地震により外部電源を喪失しました。津波の襲来後は、非常用ディーゼル発電機も使えなくなり、全ての電源を失いました。電源の喪失に伴い冷却機能や水の補給機能が失われたことで、燃料を貯蔵していた使用済燃料プールの水の蒸発による水位の低下が心配されましたが、3月下旬までは燃料が水面上に露出することはないと予想していました。このため、対応にはある程度の時間的余裕があると確認されていましたが、3号機のベントに伴い、ベントラインから4号機の原子炉建屋に水素が流入したことにより、原子炉建屋で水素爆発が発生しました。

14:46 地震発生

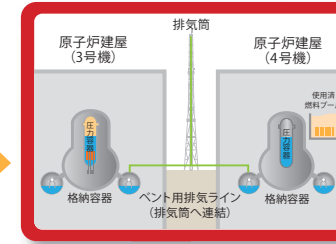


15:37頃 津波襲来

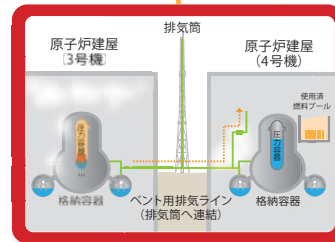
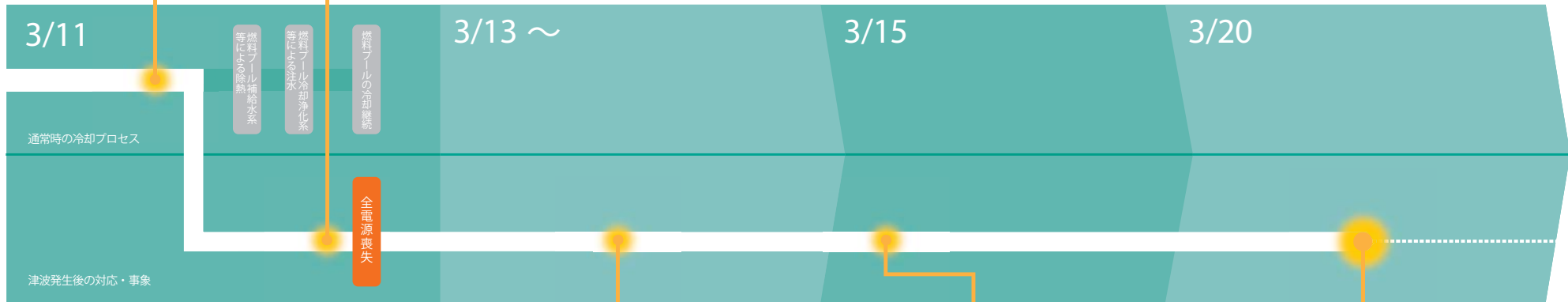


津波により
電源を喪失
冷却機能・
水の補給機能を喪失

使用済燃料プールの水温上昇



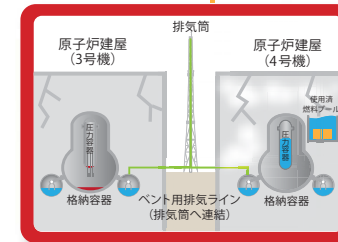
使用済燃料プールの水温が84℃であることを確認し、燃料が水面上に露出するのは、3月下旬と予想



3号機より水素流入



6:14頃 4号機原子炉建屋水素爆発



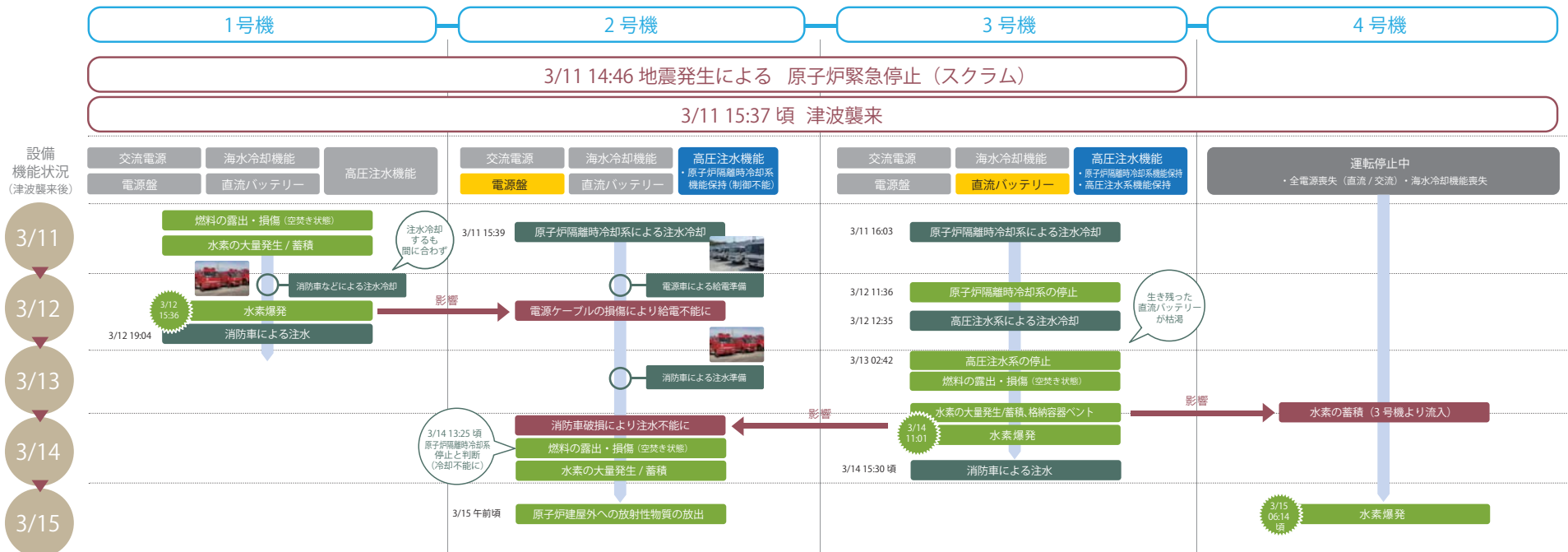
8:21 使用済燃料プールへの注水開始

福島第一原子力発電所はなぜ過酷事故に至ったのか
1～4号機同時事故による被害の拡大

福島第一原子力発電所事故では、複数の号機が同時に被災し、事故に進展したことで、同時並行での対応に追われたことに加え、ある号機の事故の進展が他号機の対応を妨げるなどの事態を招きました。

4機同時トラブルについて

隣接号機で発生した水素及び水素爆発の影響 発生したトラブル 取った対応



隣接号機の事故が被害の拡大を招く

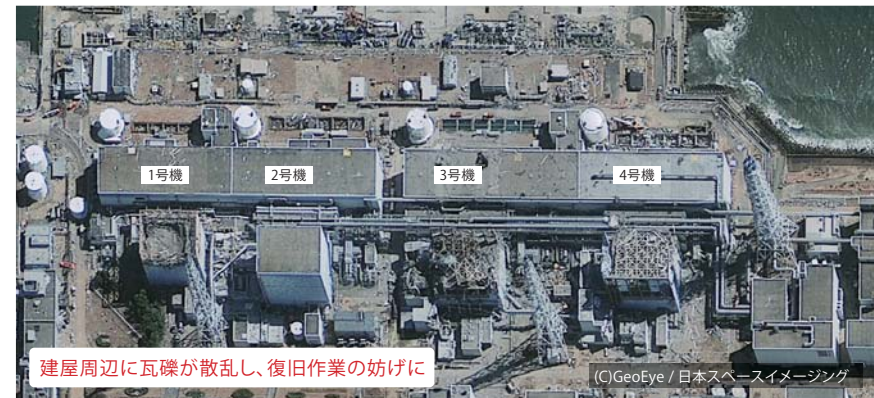
津波後の状況は、注水・除熱の途絶えた1号機が最も切迫していました。1号機へは消火ラインや消防車による注水の準備が進められましたが、注水が間に合わず原子炉の水位が低下、水素が発生するとともに炉心損傷に至りました。また発生した水素が原子炉建屋に漏洩し、津波から約1日後の3月12日午後3時36分に水素爆発が発生しました。1号機の水素爆発により、2号機では敷設していた電源ケーブルが損傷、3号機でも準備していた電源ケーブルが損傷し、2、3号機共に電源の復旧作業に大きな影響を受けました。

3号機は高圧注水系の停止後、減圧に時間がかかり、水位が低下、水素が発生するとともに炉心損傷に至りました。また発生した水素が原子炉建屋に漏洩し、津波から約67時間後の3月14日午前11時に水素爆発が発生しました。

2号機では準備していた消防車及びホースが3号機の水素爆発によって損傷し、使用不能となりました。また、3号機の水素爆発から約2時間後に原子炉隔離時冷却系が停止、この後の減圧に時間がかかり、水位が低下、炉心損傷に至りました。

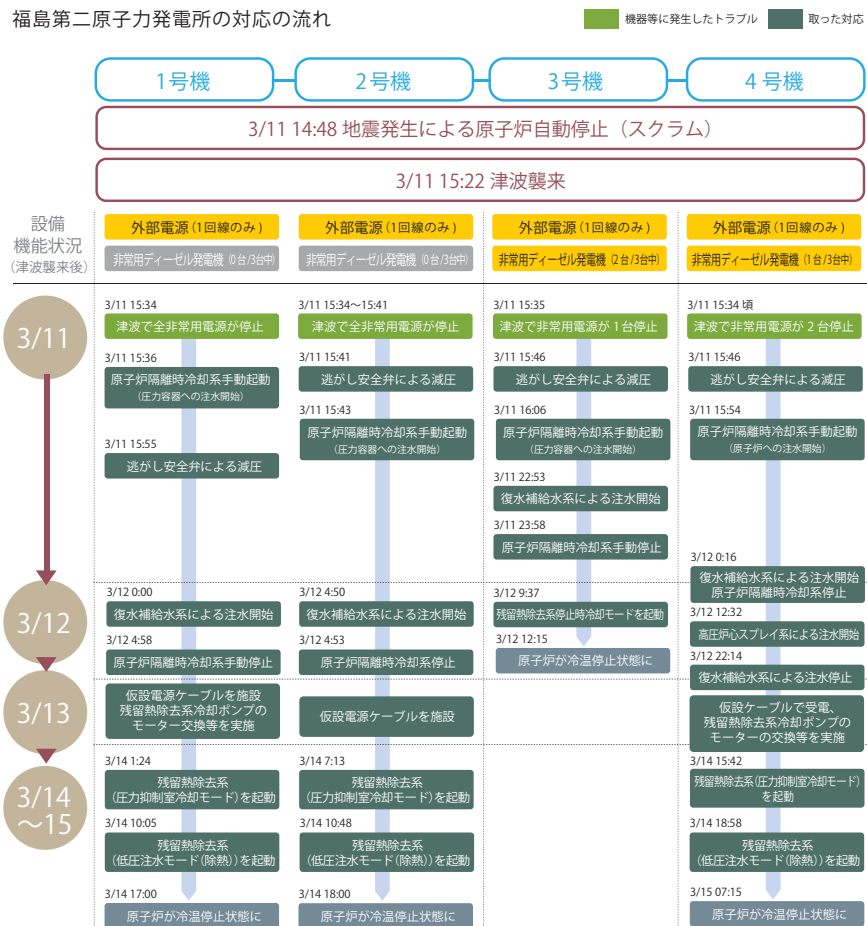
4号機では3号機の格納容器ベントに伴って放出された水素が原子炉建屋内に流れ込み、水素爆発を引き起こしました。このように、ある号機の事故の進展が他の号機の復旧作業等に大きな影響を与えたことも今回得られた教訓のひとつです。

福島第一原子力発電所1～4号機の被害状況 2011年3月19日撮影



福島第一原子力発電所はなぜ過酷事故に至ったのか 福島第二原子力発電所はなぜ過酷事故を免れたのか

福島第二原子力発電所の対応の流れ



ベントの準備を進めていた

福島第二原子力発電所では津波により1、2、4号機の除熱機能が失われました。注水して炉心を冷却していましたが、それによって発生する蒸気(熱)を逃がす先が無く、格納容器の圧力は徐々に上昇していきました。このため、各号機では格納容器ベントの準備を進めていましたが、並行して進めていた除熱機能の復旧に成功したため、ベントを実施することなく冷温停止を達成することができました。

福島第二原子力発電所1~4号機は、津波後も全て何らかの交流電源からの供給を受けることができました。また、注水を進めている間に被害を受けていた海水ポンプのモーター交換やモーターへの仮設ケーブルの敷設を実施したことにより、全ての号機を冷温停止にすることができまし

福島第二原子力発電所の対応

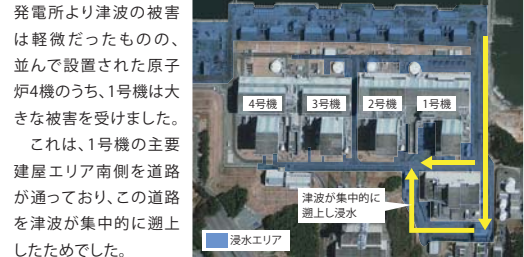
福島第二原子力発電所は、福島第一原子力発電所と同様に地震・津波の被害を受けましたが、炉心損傷に至ることなく全号機の冷温停止を達成しました。その要因としては、地震・津波の後も外部電源等、交流電源設備が使用可能であり、原子炉を冷やすことができたことが挙げられます。

一方で、海水ポンプが津波によって損傷したため、原子炉からの徐熱を行うことができなくなりました。

このため、原子炉隔離時冷却系や復水補給水系といった、海水ポンプのサポートを必要としない系統を活用するなど、臨機応変に圧力容器や格納容器内の冷却を進めました。その間に損傷していた海水ポンプのモーター交換や仮設ケーブルの敷設を行い、海水ポンプを復旧したことで除熱が可能になり、全号機を冷温停止とすることができました。

津波の集中的遡上により1、2号機が大きく浸水

福島第二原子力発電所は主要建屋設置エリアが海拔12mと高かったこと、また、襲来した津波が、福島第一原子力発電所に比べて低かったことが幸いし、福島第一原子力発電所に比べて被害は軽微だったものの、並んで設置された原子炉4機のうち、1号機は大きな被害を受けました。



津波による被害後(全体)
福島第二原子力発電所 2011年3月18日撮影

事故を免れたポイント(福島第二原子力発電所)

- 地震と津波により大きな被害を受けたものの、外部電源等、交流電源設備が使用可能であり、一部の機器への電力供給は可能であった。
- 海水ポンプ等の損傷により、冷却が必要な非常用の注水設備の殆どが使用不能となったが、除熱を必要としない常用の注水設備を臨機応変に活用し、原子炉の冷却を継続した。
- 格納容器内に蒸気(熱)を溜めておける時間内に海水ポンプ等の復旧に成功した。このため、格納容器ベントで大気中に気体を放出する前に海水への除熱が可能となった。

津波の集中的遡上の様子



水圧で破壊された扉



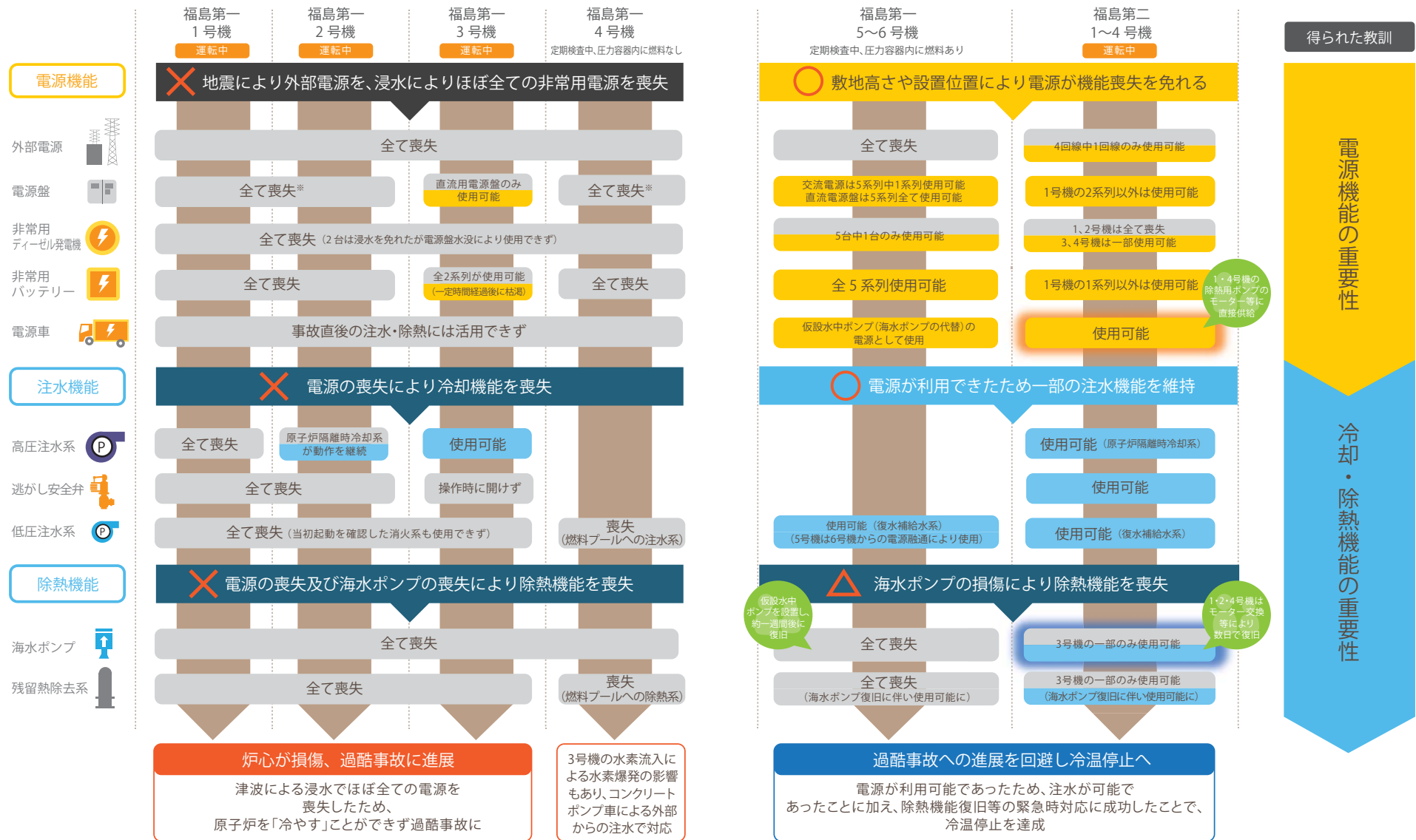
海水系ポンプモーターの交換作業の様子(後日撮影)



福島第一原子力発電所はなぜ過酷事故に至ったのか
炉心損傷した号機と冷温停止した号機の比較

福島第一原子力発電所1～4号機と同様に、地震・津波による被害を被ったにもかかわらず、福島第一原子力発電所の5・6号機や福島第二原子力発電所では過酷事故を免れました。この違いはどこにあったのでしょうか。

津波襲来後の設備被害状況の比較一覧(福島第一:1～6号機 / 福島第二:1～4号機)



*2、4号機の一部の低圧電源盤は浸水を免れたが、接続元の高圧の電源盤が浸水したため使用できず

検証から得られた教訓について
事故から得た教訓と今後の対応

福島第一原子力発電所の事故の教訓を活かし、どのような事態が起きても再び過酷事故に至ることの無いよう、深層防護という考え方にに基づき安全対策を強化・推進します。

深層防護とは、事態の段階に応じてそれぞれ対策を用意する考え方です。

[車の事故に例えると...]

①トラブルを発生させないためのブレーキ・タイヤの整備



②事故を食い止める急ブレーキやABS



③事故後の被害を防止するシートベルトやエアバックなど



④事故後の影響（二次災害など）を減らす
発煙筒やレスキュー対応



深層防護の考え方と事故から得た教訓に基づいた対策を行います。

教訓 津波に対する防護が脆弱でした。

対策 設計時の想定を超える津波が襲来した場合でも、敷地内への浸水や施設への衝撃を低減することのできる防潮堤や防潮壁を設置したり、建屋内外の水密化を図るなど徹底した津波対策を実施します。

ここは、制御棒による原子炉の停止機能に相当しますが、緊急停止については福島第一、第二ともに問題ありませんでした。

教訓 全ての電源を失った場合の注水手段が十分に準備されていませんでした。

対策

- 電源車を津波の影響を受けにくい高台に配置したり、直流電源（バッテリー）を長時間使用できるようにするなど、さまざまな電源を用意し、電源供給能力を強化します。
- 貯水池を設置するなど、事故時の注水に必要な水源を増強します。
- 新たな注水手順や手段を整備し、高圧注水手段を強化します。
- 逃がし安全弁を確実に操作可能にすることで、圧力容器の減圧手段を強化します。
- 消防車を津波の影響を受けにくい高台に配備することなどにより、低圧注水手段を強化します。
- 移動式の熱交換器車を津波の影響を受けにくい高台に配備することなどにより、除熱手段を強化します。

教訓 炉心損傷後の影響を緩和するための手段が十分に整備されていませんでした。

対策 事故後の放射性物質の放出を低減するため、格納容器内の冷却手段の整備やフィルター付バント設備を設置すること等により、炉心損傷後の影響緩和手段を強化します。

プラス

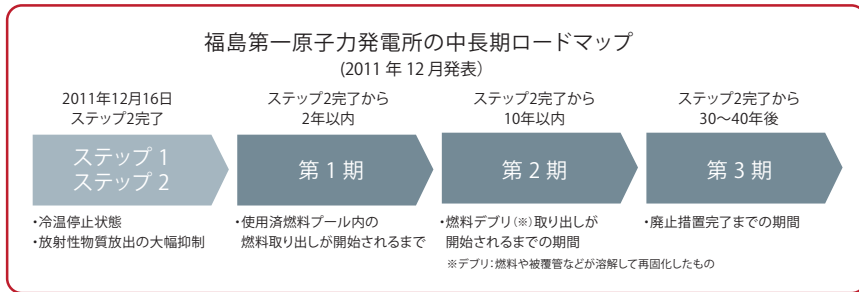
教訓 照明、通信手段の制限や、監視・計測手段の喪失、作業環境悪化などへの対応手段が十分に整備されていませんでした。

対策 監視・計測機器用の電源の確保や事故発生後の現場へのアクセス路の確保、通信手段の増強等、復旧を迅速に行うための作業環境の改善対策を実施します。

原子力発電所における深層防護とは？

深層防護とは、守りや備えを何層にもするという考え方です。原子力発電所では、この深層防護を安全確保の基本にしています。上の図に示すように、第1層としてトラブルの発生防止のための対策を講じますが、仮にトラブルが発生しても事故に進展させない、事故に進展したとしても炉心損傷させないというように、前段の対策は失敗するという考えの下に後段での対策を講じています。

福島第一原子力発電所の安全確保に向けた取り組み



東京電力では、福島第一原子力発電所1～4号機の中長期の安全を確保するために、廃止措置を含めた作業スケジュールや目標をまとめたロードマップを、政府・東京電力中長期対策会議にて、2011年12月に決定致しました。このロードマップでは、安全確保、透明性確保、継続的なロードマップの見直しなどを原則とするとともに、冷温停止からの3年間については、できるかぎり各作業・対策等の実施時期を明確にすることとしており、現在は、原子炉の冷却・滞留水処理の安定継続、海洋汚染の拡大防止、事故後に発生した放射性廃棄物による放射線量の低減などに取り組んでいます。

●福島第一原子力発電所1～4号機の廃炉措置等に向けた中長期ロードマップ
<http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/conference-j.html>

これからの安全確保に係る東京電力の取り組みについて

ここまでは、福島第一原子力発電所事故発生の経過及び、事故から得た課題と教訓について、ご説明致しました。現在、東京電力では、福島第一原子力発電所事故に対する反省をもとに、社長をトップとする新体制を構築し、安全文化、安全対策、防災、リスク・危機管理、情報公開・リスクコミュニケーション等、原子力部門の様々な課題に対する改革に取り組んでいます。この原子力改革を着実に進め、世界最高水準の安全確保の実現を目指します。

●原子力改革の取り組み
http://www.tepco.co.jp/nu_reform/index-j.html



現在、事故から得た教訓をもとに、
原子力発電所では各安全対策を進めております。
各対策については
「柏崎刈羽原子力発電所の安全対策[設備対策編]」
でご説明致します。

情報の公開について

東京電力では、福島第一及び福島第二原子力発電所各号機の現況をはじめ、事故の状況の動画解説、事故調査報告書、福島第一原子力発電所1～4号機の廃炉措置等に向けた中長期ロードマップなど、福島第一原子力発電所の事故に係る情報をホームページで公開しています。



トップページ > 福島復興へ向けた取り組み > 福島第一・第二原子力発電所の状況

福島第一・第二原子力発電所の状況

福島第一原子力発電所 情報 設備の概要

<p>▶ 各号機の現況</p> <p>各号機で進めている主な作業・状況データ、滞留水の処理・貯蔵状況など、図を用いて解説しています。</p>	<p>▶ 東京電力からのお知らせ</p> <p>新聞、テレビ、インターネットなどで取り上げられている話題について、東京電力から解説いたします。</p>	<p>▶ 動画解説 事故と現在の状況</p> <p>現地の映像や写真も交えながら事故の影響や事故収束の取り組みなどについてシリーズでご説明いたします。</p>
<p>▶ 中長期ロードマップ</p> <p>政府・東京電力中長期対策会議による福島第一原子力発電所の廃炉に向けた中長期ロードマップを掲載しております。</p>	<p>▶ 事故の社内調査情報</p> <p>「原子力安全・品質保証会議 事故調査検証委員会」における検証・調査の結果をとりまとめております。</p>	<p>▶ 原子力発電所の影響と現在の状況</p> <p>地震および津波の発生と事故の概要、地震の教訓と対策などを説明する資料を掲載しております。</p>
<p>▶ プレスリリース</p>		

福島第二原子力発電所 情報 設備の概要

<p>▶ 各号機の現況等</p> <p>復旧計画に基づき進めている、プラントの停止維持に係わる設備等の本設復旧の状況を掲載しています。</p>	<p>▶ 発電所の不適合情報(不適合管理委員会報告)</p> <p>発電所において発生した不適合については、不適合管理委員会にて審議を行い、是正活動状況をこちらで公表しています。</p>	<p>▶ プレスリリース</p>
---	---	------------------

●東日本大震災後の福島第一・第二原子力発電所の状況
<http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/index-j.html>

※お示したURLは、2013年3月現在のものであり、今後変更となる場合があります。