

福島第一原子力発電所

4号機使用済燃料プールからの 燃料取り出しについて

2013年11月



本資料の目的



1

「4号機」は大丈夫なのか？

皆さまから、震災時の4号機の損傷状況を心配して、建屋や使用済燃料プールの健全性への懸念や燃料取り出しに関する不安等をご指摘いただいております。



今回の4号機の使用済燃料プールからの燃料取り出しについて、
私たちは、**福島第一原子力発電所の安定化・廃炉に向けての
1つの大きな進展である**と考えております。

使用済み燃料プールからの「燃料」の取出しという作業自体は、
震災前からどの発電所でも行っている通常の作業です。

一方で、震災時に4号機は水素爆発も起こしており、
燃料の保管状況や作業環境等において、
「燃料」取り出し作業上で通常と明らかに違うことによるリスクがあります。

リスクに対してしっかり対策を打ち、作業の過程の中で確認された問題
があれば、**慎重に確認を行い、安全第一で**作業を進めてまいります。

- 4号機の事故時の状況と現状
 ・いま、4号機はどうなっているのか？ _____ P4
- 4号機の「使用済燃料プール」から「燃料」を取り出す重要性について
 ・なぜ、4号機の使用済燃料プールから燃料を取り出す必要があるのか？ _____ P5
- 燃料の取り出しは「安全」に行えるのか？ _____ P6
- * 建物(建屋)そのものは大丈夫なのか？
 ・建物(建屋)は傾いていないのか？地震が来ても倒壊しないのか？ _____ P7
 ・建物(建屋)は損傷していないのか？ _____ P8
 ・燃料プールの底が抜けてしまうことはないのか？ _____ P9
 ・燃料取り出し設備の重さが建物にかかっても耐えられるのか？ _____ P10
- * 作業時に放射性物質を飛散・拡散させないか心配
 ・燃料を移動させたら、放射性物質が飛散するのではないのか？ _____ P11
 ・作業時に、また核反応が起こることはないのか？ _____ P12
- * 燃料プールの燃料は上手く取り出せるのか
 ・ガレキとぶつかって燃料が損傷することはないのか？ _____ P13
 ・取り出す途中で地震が来ても燃料を落とすことはないのか？落としたらどうなるのか？ _____ P14
 ・取り出した燃料を保管する共用プールは問題ないのか？ _____ P15
- * 取り出した燃料の管理は大丈夫なのか？安定して冷却できるのか？
 ・冷却の機能は十分なのか？プールの電源が喪失したらどうなるのか？ _____ P16

□ 4号機使用済燃料プールからの燃料取り出しQ&A

- ・なぜ4号機は爆発したのか _____ P18
- ・共用プールは津波被害を受けなかったのか？ _____ P19
- ・海水注入等による「燃料」や「燃料プール」の腐食の影響は？ _____ P20
- ・落下ガレキの衝撃による燃料棒の塑性変形への影響は？ _____ P21
- ・燃料プールに落ちた“大小のガレキ”の取り出し業務への影響は？ _____ P22
- ・そもそも「燃料」の損傷の把握は？ _____ P23
- ・キャスクピット(輸送用容器格納場所)からの輸送プロセスは？ _____ P24
- ・トレーラーに乗せてから共用プールまでの輸送プロセスは？ _____ P25
- ・「燃料取扱機」による「燃料」の取り出しが困難な場合は？ _____ P26
- ・つかみ具が燃料を離さない仕組み(インターロック)は？ _____ P27

いま、4号機はどうなっているのか？

4号機の事故時の状況

- 事故時の「4号機」は**定期検査中**で稼働しておらず、全ての燃料が**使用済燃料プール**にありました。
- 1,500体ある**燃料の溶融は起きていませんが**、3号機から流入したと考えられる水素により爆発を起こしました。

4号機の現状

- 建屋上部のガレキを取り除き、外壁や屋根をパネルで覆って、燃料を使用済燃料プールから取り出すための準備を行っています。取り出し作業は、2013年11月から開始予定です。

事故時の4号機



燃料取り出しカバーが設置された4号機



なぜ、4号機の使用済燃料プールから燃料を取り出す必要があるのか？

各号機でそれぞれ燃料を保管するよりも共用プールで**集中的に保管することで、より安全性は高まると**考えています。

- 原子炉建屋の使用済燃料プールから、中の燃料をより**信頼性が高い状態で保管するために「共用プール」へ移動**させる必要があります。
- 共用プールは**10年、20年といった長期的な保管も考慮**されており、今後地震対策や津波対策も強化していきます。
- また、他の号機からも準備ができ次第共用プールへの移動を実施していきます。

燃料の取り出しは「安全」に行えるのか？



建物（建屋）そのものは大丈夫なのか？

 詳細
P7～10

- ✓ 建物は傾いていないのか？ 地震が来ても倒壊しないか？
- ✓ 燃料プールの底がぬけてしまうことはないのか？
- ✓ 燃料取り出し設備の重さが建物にかかっても耐えられるのか？

作業時に、放射性物質を飛散・拡散させないか心配

 詳細
P11～12

- ✓ 燃料を移動させたら、放射性物質が飛散するのではないのか？
- ✓ 作業時に、また核反応が起こることはないのか？

燃料プールの燃料は上手く取り出せるのか？

 詳細
P13～15

- ✓ ガレキとぶつかって燃料が損傷することはないのか？
- ✓ 取り出す途中で地震が来ても燃料を落とすことはないのか？
- ✓ 落としたらどうなるのか？

取り出した燃料の管理は大丈夫なのか？ 安定して冷却できるのか？

 詳細
P16

- ✓ 取り出した燃料を保管するプールは、十分な耐震性があるのか？
- ✓ 冷却の機能は十分なのか？ プールの電源が喪失したらどうなるのか？

建物は傾いていないのか？ 地震が来ても倒壊しないのか？

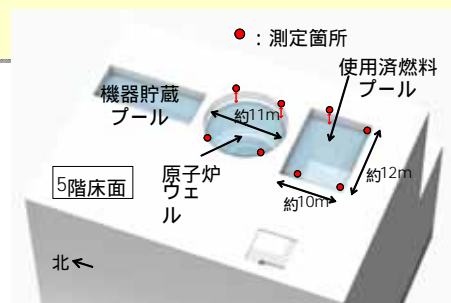
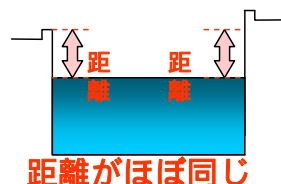
再び東北地方太平洋沖地震と同程度の地震が発生しても使用済燃料プールを含め、建物の耐震性が十分であることを**定期点検**や**コンピュータ解析**等で確認しました。



● 建物が傾いていないことを点検で確認しています

- ・ 水面は常に水平であることを利用して、5階床面と原子炉ウェルおよび使用済燃料プールの水面の距離を計測し、建屋が傾いていないことを確認しました。

※ 建屋が傾いていない場合



● 建物が倒壊するような損傷がないことを点検で確認しています。

- ・ コンクリート床・壁のひび割れを確認しています。
- ・ 非破壊検査を実施し、コンクリート強度および耐震安全性を確認しています。
- ・ 定期的観測を行い、必要に応じて適切な補修を実施しています。

コンクリートの強度確認結果

 [N/mm²]

計測箇所		コンクリート強度 (H25.8)	設計基準強度
壁	1階	39.1	22.1
	2階	34.0	
	3階	39.8	
	4階	37.7	
プール床 (底面)		31.6	

建物(建屋)は損傷していないのか？

原子炉建屋や、使用済燃料プールの健全性を、建屋の傾きを測る方法の他、目視やコンクリート強度確認等、定期点検を行って確認しました。

- 目視により、原子炉建屋内の損傷がないことを確認しています。



目視点検

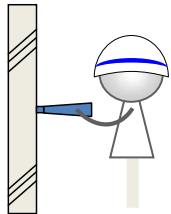


- ・「コンクリート床」「壁のひび割れ」の確認などの定期的観測を目視にて注意して行っています。
- ・必要に応じて適切な補修を実施します。

使用済燃料プールを支持する壁

- 年4回の定期的な点検を実施し、原子炉建屋および使用済燃料プールの健全性を確認しています。

* 非破壊検査(シュミットハンマー)



□コンクリートの強度確認結果

計測箇所		コンクリート強度 (H25.8)	設計基準強度
壁	1階	39.1	22.1
	2階	34.0	
	3階	39.8	
	4階	37.7	
プール床(底面)		31.6	

- ・非破壊検査を実施し、コンクリート強度および耐震安全性の確認を行います。

燃料プールの底が抜けてしまうことはないのか？

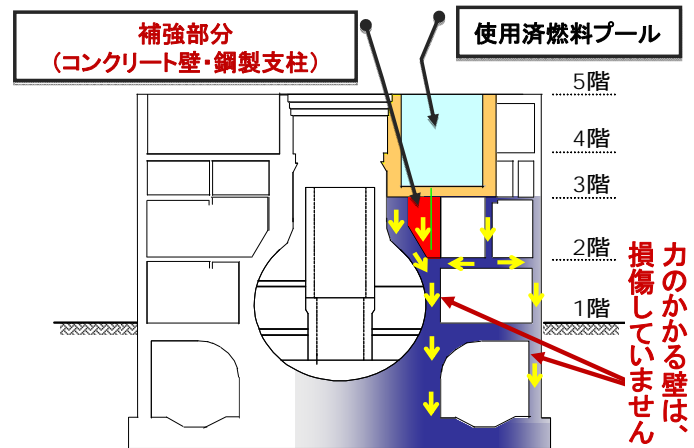
燃料プールの床や壁は非常に厚く作られています。
その上、プール全体もとても厚い「耐震壁」で支えられています。
 そのため、それ以外の外壁や床が損傷していても、
地震前と同等の耐震性が確保されており、底が抜けることはありません。

- プールからの漏洩対策を施しています

- ・プールは、厚さ約140~185cmの鉄筋コンクリート製で、更に厚さ約6mmのステンレス鋼板で内張りされています。
- ・プールの側面や底面を貫通する配管や水抜き用の穴はありません。

- さらに、耐震余裕度を向上させました

- ・**プール底部を補強しました。**
 プール底部に鋼製支柱を設置後、コンクリートを流し込んで、コンクリート壁を構築。



凡例 ↓ 力の流れ □ 力の分布
 小 大

使用済燃料プールの力の流れと分布のイメージ
 (原子炉建屋断面図)

※万が一水が抜けても、それを補う給水が出来る設備を用意しています。

燃料取り出し設備の重さが 建物にかかっても耐えられるのか？

建物(建屋)荷重がなるべくかからないような構造にしています。

- 取り出し設備を支えるための骨組みを設置し、建物に設備の重さをかけずに作業が出来る環境を整備しています。
(クレーン用支持用架構は構造上、建屋に荷重がかかりません)

建屋上部
ガレキ撤去完了
(5階床面)

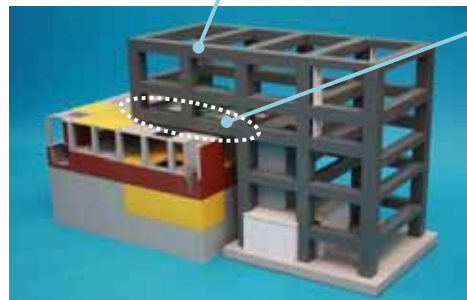
燃料取扱機支持用架構

クレーン用支持用架構

クレーン用支持用架構は、原子炉建屋に荷重がかからない構造にしています。



燃料取扱機支持用架構設置(南西面)



クレーン支持用架構設置(南西面)



【模型凡例(損傷状況)】

■ : 全壊

■ : 一部損傷

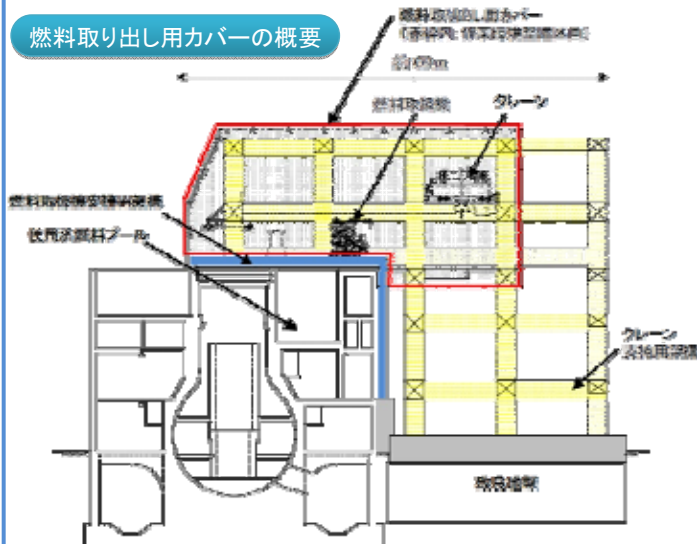
■ : 健全

燃料を移動させたら、 放射性物質が飛散するのではないか？

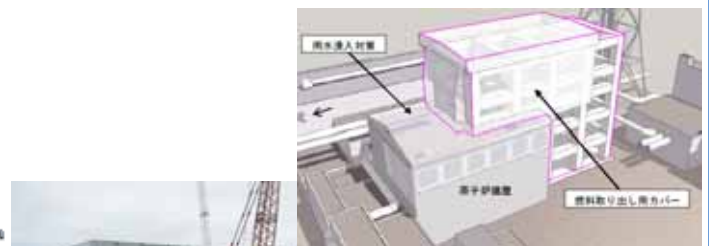
放射性物質の飛散・拡散を抑制するために「燃料取り出し用カバー」を設置します。
燃料の取り出し・輸送容器等への移動は、放射線を遮蔽するため、全て水中で実施します。

- カバー内は換気設備を設置しますが、フィルタユニットを通して、外部への排気を行い、カバー内の放射性物質の大気への放出を抑制します。

燃料取り出し用カバーの概要



外観、構造



屋根・外壁設置(南西面)

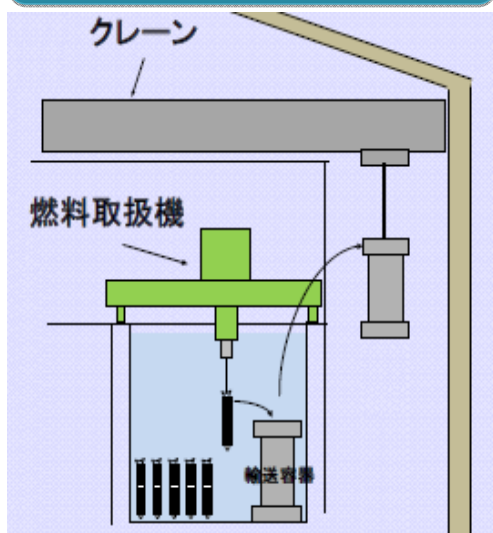


作業時に、また核反応が起こることはないのか？

燃料1体では臨界には達しないことを確認しており、作業は1体ずつ慎重に行います。



水中での燃料の取り出し・輸送容器等への移動方法



●燃料の重さよりも**多くの荷重がかかったことを検知するシステム**によって、落下の可能性は極めて低いと考えています。

・ガレキ等の引っかかりを検知した場合、つり上げをやめて元の位置に戻したり、固定したりします。

●作業時には、燃料に問題がないかどうかを**1体ずつ確認**しています。

●万が一燃料が壊れて他の燃料の上に落下した場合も、周辺に対し**著しい放射線被ばく**のリスクを与えないことを確認しています。

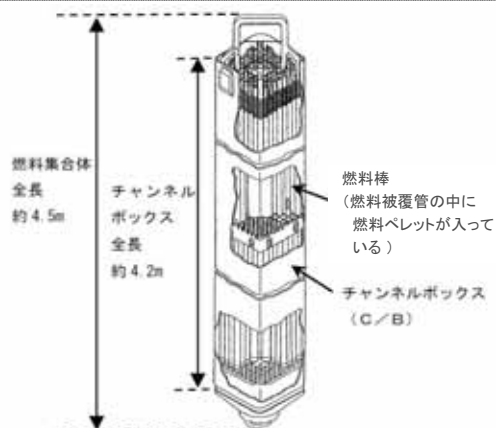
燃料プールの燃料は上手く取り出せるのか

ガレキで燃料が損傷することはないのか？

燃料の取扱いに支障となるプール内の「ガレキ」は、専用の器具を使って撤去します。燃料ペレット^{※注1}とガレキの間には、燃料被覆管^{※注2}とチャンネルボックスという非常に強度の高いジルコニウム合金があります。そのためガレキは、直接燃料ペレットにあたりません。



●燃料ペレット^{※注1}は、被覆管^{※注2}中にあり、またそれらはチャンネルボックスに入っているためガレキなどから守られます。



さらに

●上からガレキが落ちてきたことを想定した**衝突試験を実施**しています。

・極端な例として**100kgの鉄塊を5m高さから落下**させました。

ハンドルが大きく変形し燃料棒は湾曲しましたが、吊り上げ性能や燃料棒密封性は確保されていました。



ハンドル



注1) 燃料心材 (pellet) のことで、原子炉の炉心の部品のひとつである燃料棒を形成している。ひとつの大きさは小指の先位。

注2) 原子炉で核燃料が放出される放射性物質を、外部に漏らさないように封じ込めるために用いられるもの。

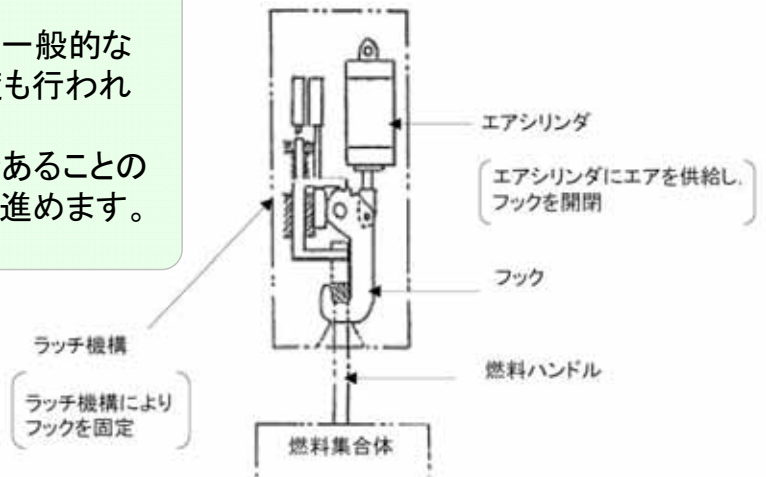
取り出す途中で地震が来ても燃料を落とすことはないのか？ 落としたらどうなるのか？

取り出す装置は、ワイヤーを二重化し、万が一作業中に電源を喪失しても、燃料をつかむフックが開かない構造にするようにする等、**多重の安全設計**がされています。
万が一落下しても、燃料1体では再臨界しないことを確認しています。



●燃料を吊り下げているときはロックがかかり、燃料を掴んで離しません。

- 使用済燃料の取り出しは、原子力発電所では一般的な作業であり、福島第一原子力発電所でも何度も行われた実績のある作業です。
- しかしながら震災後という通常と異なる環境であることのリスクをしっかりとふまえ、慎重に安全に作業を進めます。



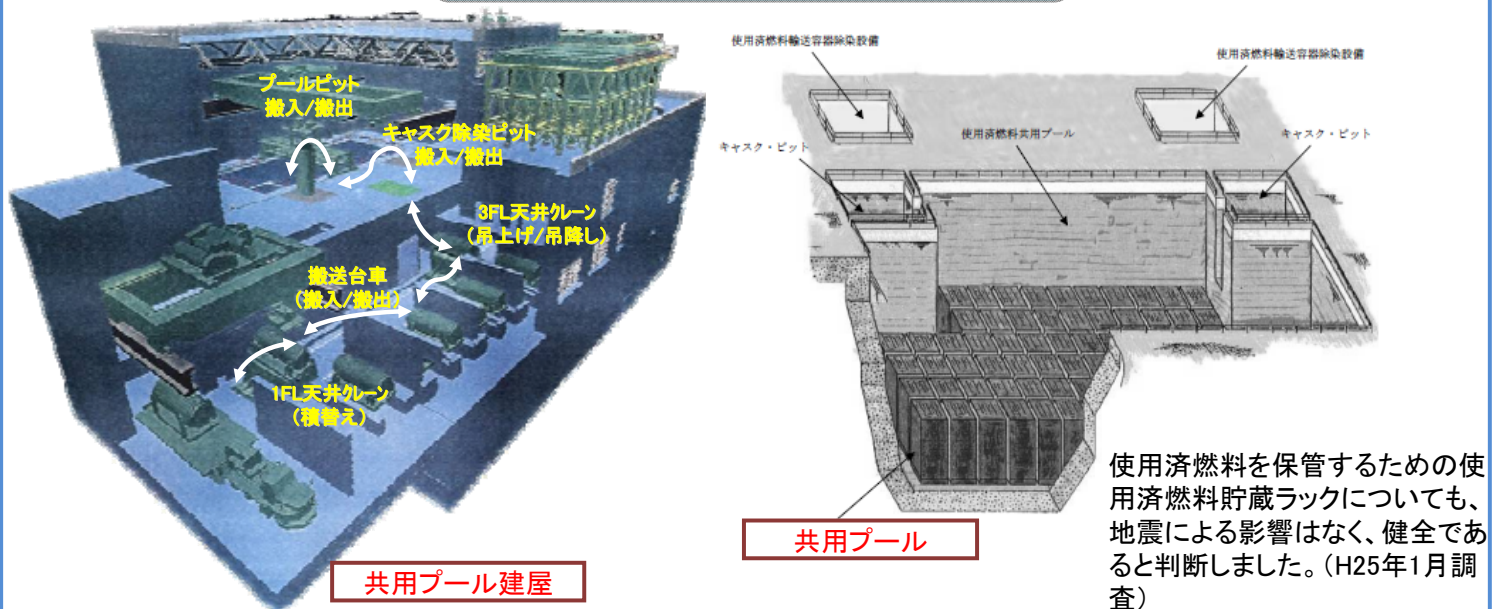
* インターロック説明資料参照:P27

取り出した燃料を保管する共用プールは問題ないのか？

津波による電源喪失のため、一時的に冷却機能が喪失したものの、主要設備の早期復旧により共用プールは安定的に冷却されています。
 H24年12月には燃料集合体の取扱いが可能な状態になりました。



共用プール概要図



使用済燃料を保管するための使用済燃料貯蔵ラックについても、地震による影響はなく、健全であると判断しました。(H25年1月調査)

冷却の機能は十分なのか？ プールの電源が喪失したらどうなるのか？

津波の影響時も、冷却機能を**早期復旧**することで、冷却機能を発揮しています。
非常用電源の多重化で、もしもの場合の安全も確保しています。



安全対策の視点

「冷やす・閉じ込める」の**多重化と多様化**

冷却機能の確保

- 消防ポンプ等の配備による原子炉や蒸気発生器等への供給水の確保



電源機能の確保

- 電源車等の配備による中央制御室等の電源の確保



浸水対策

- 配電盤、バッテリー、ポンプ等に浸水対策を施します。



建屋扉・配管貫通部等の改造、シール施工

写真資料等出典：電気事業連合会



福島第一原子力発電所

4号機使用済燃料プールからの燃料取り出し

Q & A

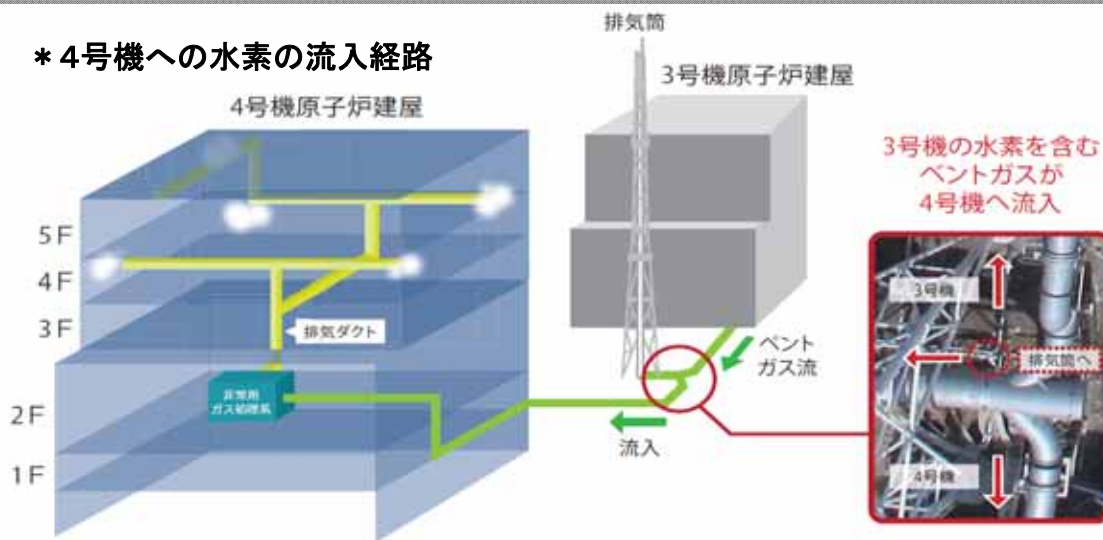
なぜ4号機は爆発したのか

4号機では、3号機で発生した水素が、ベント注1)した際に4号機の非常用換気空調系・建屋換気系に流入し、水素爆発を起こしたと考えられます。



- 主な要因は、3号機と4号機が排気筒を共用しているにも関わらず、3号機のベント操作時に4号機側の非常用換気空調系の出口弁が開状態であったことなどです。

* 4号機への水素の流入経路



注1) ベントとは、原子炉内で上昇した圧力を下げるため、放射性物質を含む格納容器内の気体の一部を外部へ放出すること。

共用プールは津波被害を受けなかったのか？

津波による影響を受け一時的に冷却機能が喪失しましたが、**主要設備の早期復旧により共用プールは安定的に冷却**されました。H24年12月には燃料の取り扱いが可能となっています。



【津波の影響がないと考えられる設備】

- 燃料貯蔵設備 : 影響なし(オペレーションフロアから外観確認、サンプリング点検)
- 使用済燃料 : 影響なし(プール水核種分析から大部分の使用済燃料が健全と推定)

【津波の影響があった設備とその対応内容】

電源設備	冷却浄化設備系	補給水系	補機冷却系
・原子炉に係る設備すべてに電源を供給する設備	・原子炉水水質を高純度に保ち原子炉の健全性を維持する設備 ※原子炉圧力容器、次冷却材設備等	・放射能を含む復水を供給する設備 ※復水貯蔵槽、復水移送ポンプ等	・発生する熱を除去する設備 ※非常用炉心冷却系、非常用ディーゼル発電機、棄物処理系機器等
● 津波により浸水し電源喪失	● 電源喪失に伴い停止	● 電源喪失に伴い停止	● 電源喪失に伴い停止
● 震災後11日で仮設電源を設置し対応	● 震災後11日で冷却設備を復旧し対応	● 震災後11日で補給水ポンプを1台復旧し、対応	● 震災後11日で復旧し、対応

海水注入等による「燃料」や「燃料プール」の腐食の影響は？

燃料プールへの海水注入等による器や部材の腐食の影響が心配されましたが、4号機の燃料プールより取り出した未使用燃料の外観や燃料構造部材の腐食試験を実施し、健全性に影響する腐食がないことを確認しています。

4号機燃料プール内未使用燃料調査(平成24年7月/2体取り出し)

- 平成24年7月 先行して4号機燃料プールより、未使用の燃料を取り出して検査
- 取り出した燃料の外観より、全体的に有意なキズも腐蝕もないことを確認
- 下部タイプレート的一部分に僅かな錆がみられたが、有意な腐蝕ではないことを確認



ナット



上部端栓



下部タイプレート

燃料プール内環境(水質、水温)を模擬した燃料構造部材の腐食試験

- 最多の海水を注入した4号機と大量のコンクリートが混入した3号機の燃料プールの水質環境を模擬して評価
- 燃料棒に有意な腐蝕は見られなかった
- ステンレス(上部/下部タイプレート)には、孔食が稀に発生するが、発生確率は低く、燃料の健全性に影響がないことを確認



上部タイプレートの孔食の例

(90°C、Cl⁻濃度:2500ppm、2000時間、上部端栓は照射材)

落下ガレキの衝撃による燃料棒の塑性変形への影響は？

震災時にガレキが上部から落下した場合の「燃料棒」の変形危惧に対し、「落下ガレキ衝突試験」を実施しました。結果、ハンドルの変形、燃料棒の湾曲はありましたが、吊り上げ性能や燃料棒密封性等の安全が確保されています。

原子炉建屋の上部タイプレート変形程度による燃料棒への衝撃影響の評価

◆使用済燃料プール内の落下ガレキ衝突順番

ハンドル・上部タイプレートに衝突

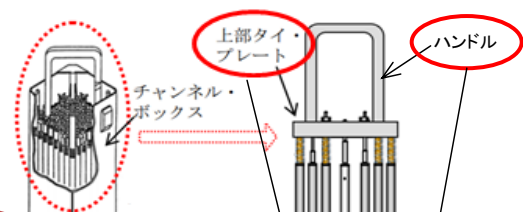
燃料集合体の膨張スプリングに
衝撃影響

燃料被覆管への衝撃伝達

ハンドル・上部タイプレートの変形量から
燃料の損傷具合を確認可能

落下ガレキ衝突試験結果

- * ハンドルが大きく変形、燃料棒は湾曲
- * 吊り上げ性能や燃料棒密封性は確保



5m高さ
から落下

100kg
の鉄塊



燃料プールに落ちた“大小のガレキ”が及ぼす燃料への影響は？

隙間に落ちた小片なガレキ等が燃料を覆うチャンネルボックスと燃料ラックに引っかかる可能性が指摘されています。当社では、引っかかり自体が発生する可能性は低いと考えていますが、荷重を監視しながら慎重に作業をすすめます。またそもそも燃料は、強固な合金でできているチャンネルボックスに入っているため、ガレキの落下などから守られます。

■ガレキの引っかかりの発生防止、対応方法

引っかかり発生の懸念点

13mmの間に入ったガレキの引っかかり

チャンネルボックス・燃料ラックも平滑なため発生可能性は低い

引っかかり発生防止策

燃料取り出し前に、可能な範囲でガレキを除去

吊り上げ速度：1cm/秒（最低速度）

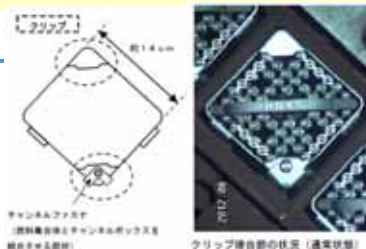
隣接する燃料の作業は同時に実施せず、トラブルを回避

引っかかり発生時対応策

荷重が変動したら作業を自動的に停止

仮に引っかかった場合、クレーンに吊り替えて損傷を防ぐ

仮に引っかかった場合、専用の治具を用いてガレキを撤去する



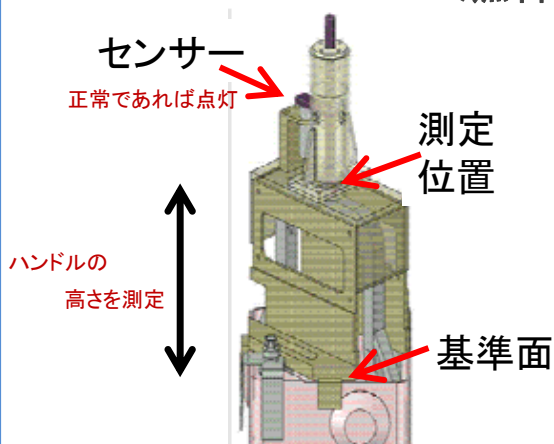
燃料を覆うチャンネルボックスと燃料ラックの隙間は13mm



そもそも「燃料」の損傷の把握は？

「燃料」の損傷は、「上部タイプレート」の変形の有無で確認ができます。下記の専用治具を製作し、ガレキによる影響が懸念される範囲の燃料は取り出し作業前に形が変わっていないかを確認しながら慎重に取り出します。

＜燃料の損傷有無を見分ける手法＞



専用器具
(健全性確認治具)図

●ハンドルの高さで確認

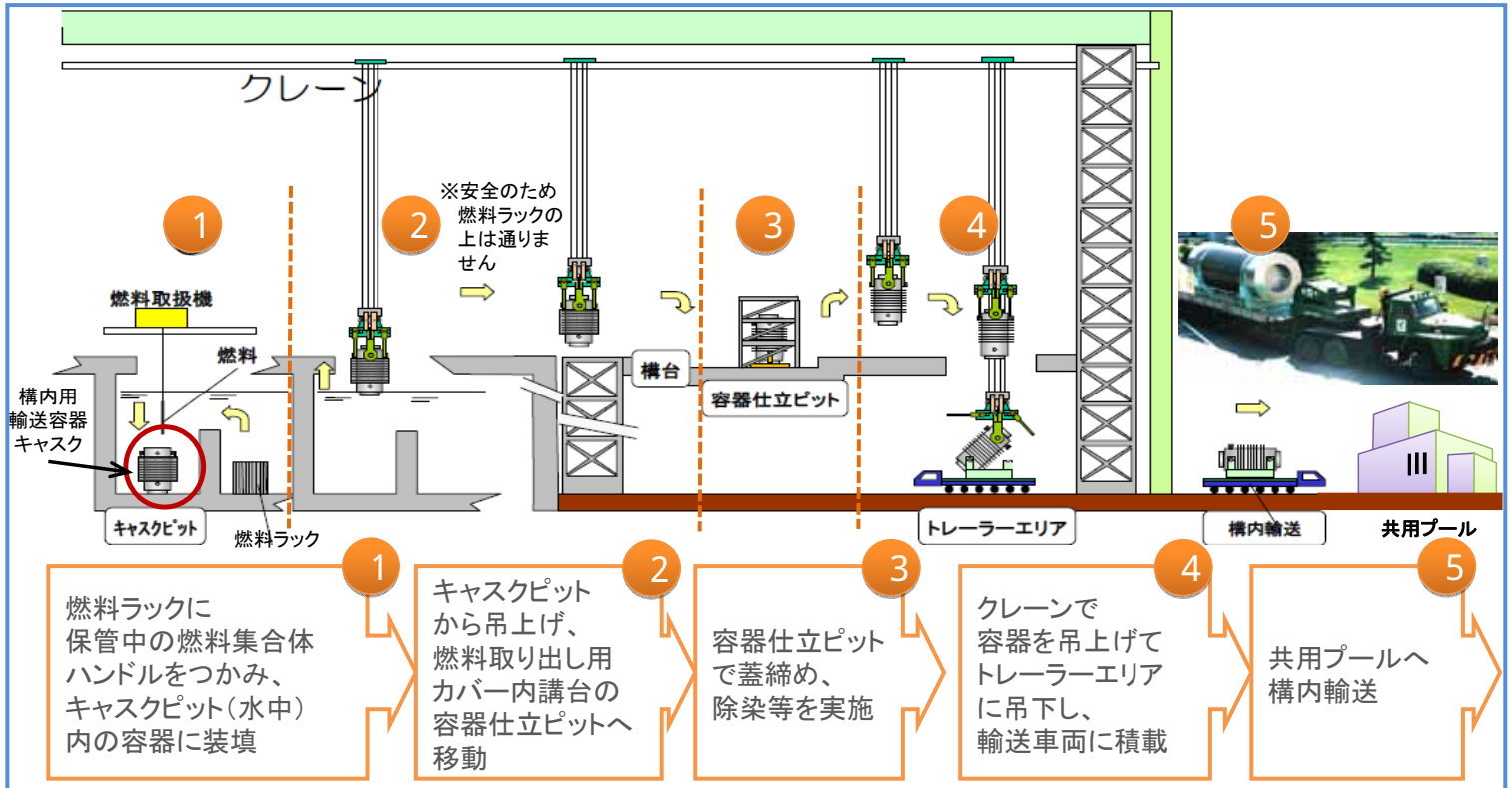
ハンドルの高さが基準値以内かどうかを確認します。ハンドルが変形しているものは燃料自体も損傷している可能性が考えられます。

●左図の健全性確認治具の枠に入るか否かで確認

約10度ハンドルが曲がっていると確認治具の枠に入らないため、入らない場合は、変形していると判断します。

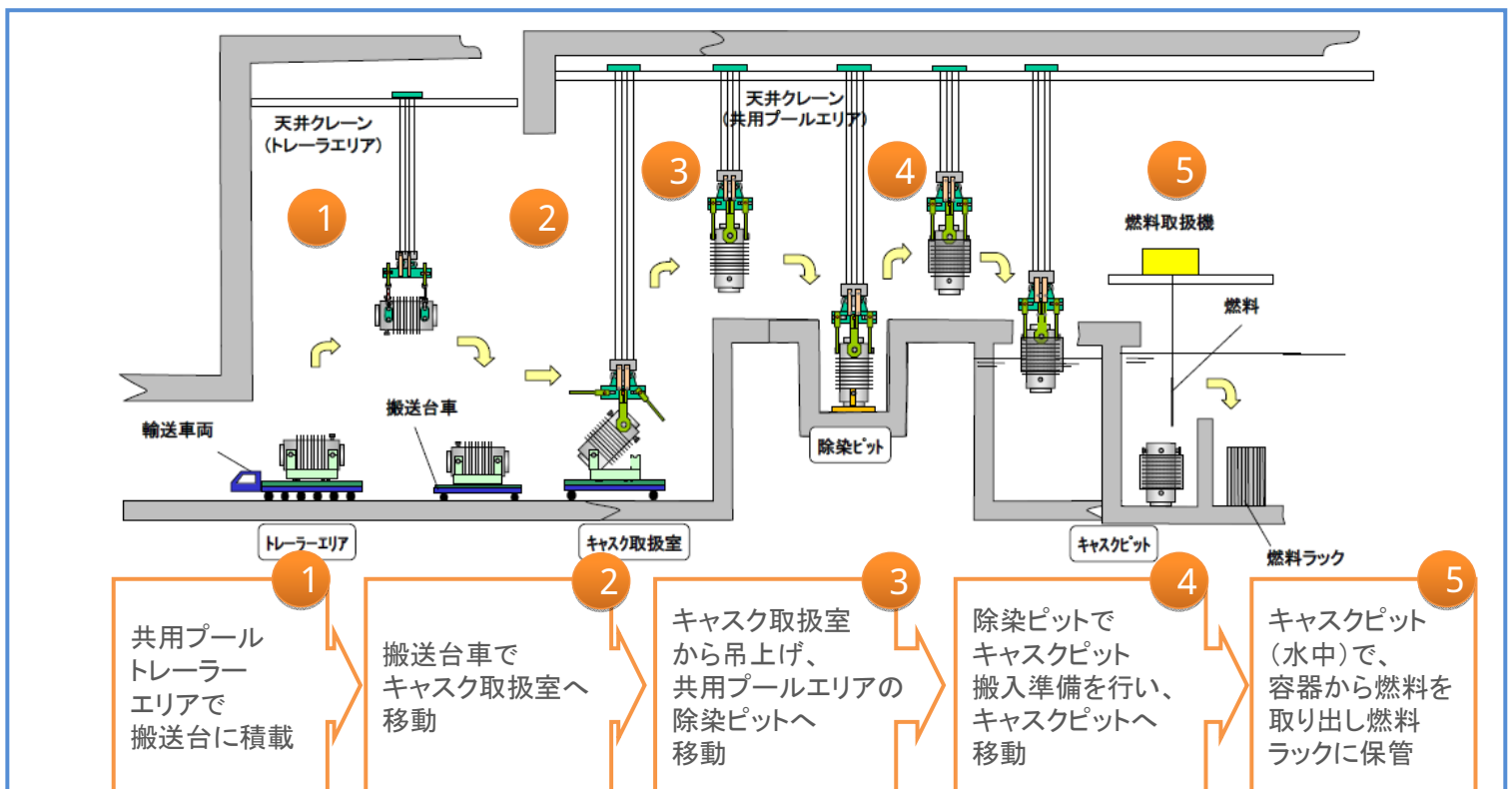
キャスクピット(輸送用容器格納場所)からの輸送プロセスは？

従来から行っている燃料取扱いと同様の構造・設計、安全性を有する設備を用いて、構内輸送を安全に実施いたします。これまでキャスクピットの移動は当社において**1200回以上**行われてきた実績のある作業です。



トレーラーに乗せてから共用プールまでの輸送プロセスは？

従来から行っている燃料取扱いと同様の構造・設計、安全性を有する設備を用いて、共用プール内でも、安全に燃料取扱いを実施いたします。



「燃料取扱機」による「燃料」の取り出しが困難な場合は？

ガレキが引っかかるなど燃料取扱機による取扱いが困難な燃料は、クレーンを用いて吊り上げることで安全な取り出しを実施



●燃料を安全に引き上げられる荷重範囲(1トン)以内でクレーンを用い、安全に燃料の引き上げを行います。

- ・「燃料取扱機」は最大負荷450kg、一方クレーンの引き上げ荷重はより大きく1トン以上の引き上げる力を持っています。
- ・またチェーンで引き上げるため作業員が揺るなどして引っかかりを取りながら作業ができます。

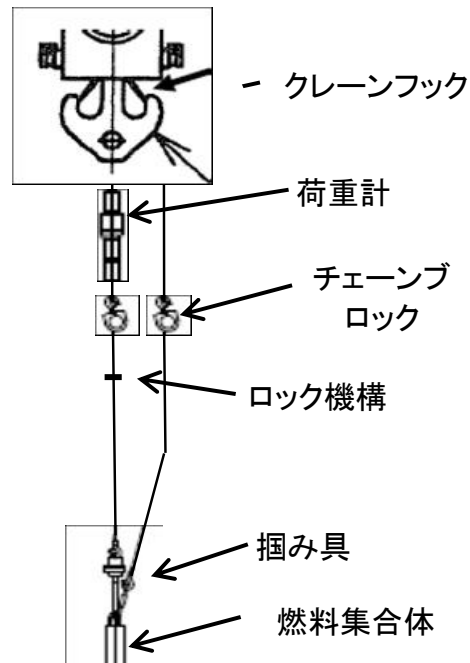
～クレーンを用いた場合の安全対策～

落下防止(二重吊り)

荷重監視

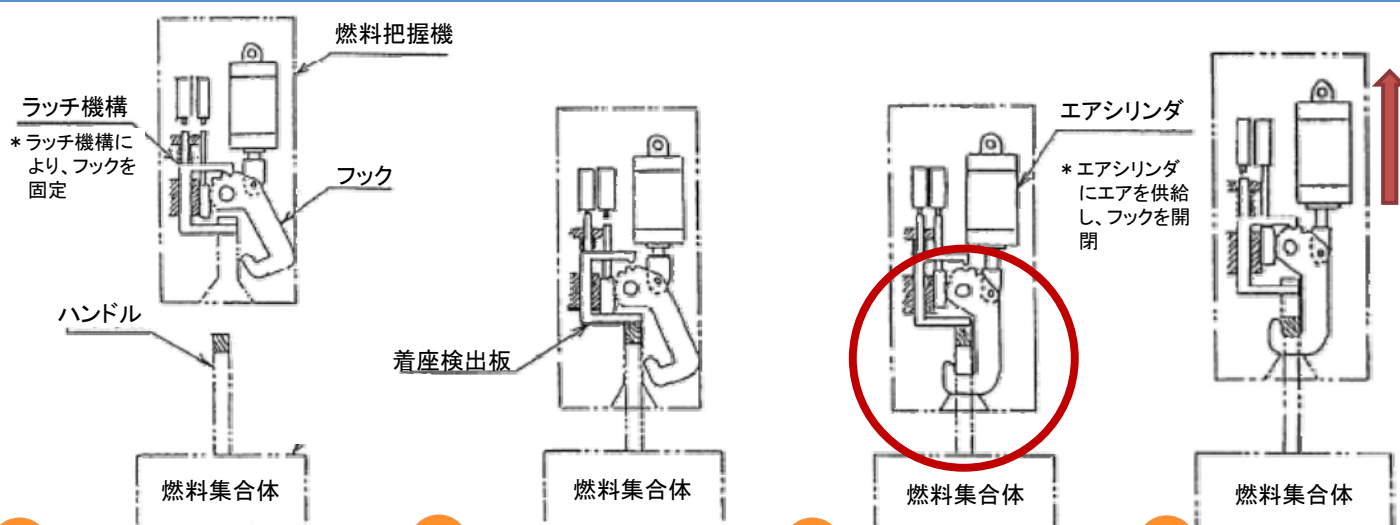
燃料集合体に作用する荷重は1トンまでとする荷重制限

吊上げ上限高さ制限(ロック機構、過剰被ばく防止)



つかみ具が燃料を離さない仕組み(インターロック)は？

つかみ具が燃料ハンドルをしっかりつかめていない場合は、吊り上げ動作が停止するインターロック機能や、「つかみ準備完了」「つかみ完了」を確認できる操作盤等で、燃料棒の落下防止を行います。



1 フック開、下降
・フックがラッチ機構により、開状態で固定され、燃料集合体へ下降。

2 フック開、着座
・燃料集合体ハンドル部が、着座検出板を押上げ、ラッチ機構が外れた状態

3 フック閉、着座
・エア駆動によりフックが閉じた状態

4 フック閉、上昇
・燃料集合体を吊上げた状態、ラッチ機構がフックを固定

ご協力いただいている有識者のご紹介

燃料取り出し作業は、東京電力の技術者だけではなく、協力企業のみなさまや国内外の有識者・専門家の方々のご協力により実現します。

ご協力いただいている有識者の方々の中から、2名をご紹介します。

デール・クライン氏

東京電力原子力改革監視委員会委員長

元米国国防次官補（核・生物化学兵器防衛担当）

元米国原子力規制委員会（NRC）委員長



「4号機の使用済燃料プールからの燃料の取り出しは、福島第一原子力発電所の廃炉に向けての大きな節目です。」

「技術者の方々は新しい燃料取り出し装置を創意工夫しながら設置しました。」

「作業員の方々の熱意と、安全に燃料を取り出すために工夫しながら困難な作業に取り組まれてきた姿に、私は非常に感銘を受けました。」

（本日上映のVTR中コメントより）



レイク・バレット氏

汚染水・タンク対策本部社外専門家

（スリーマイル島原子力発電所事故の収束に携わり、
廃炉技術に精通した専門家）

元米国原子力規制委員会（NRC）

元米国エネルギー省（DOE）

「燃料のラックの上には重たく大きなガレキがたくさんありましたが、これがほとんど取り除かれており、安全に作業が実施されていました。」

「福島事故はスリーマイル島の事故より深刻で複雑であることから一概に比較できませんが、日本は対応できる技術を保有していますし、最終的には、運転任務を終えた（通常の）原子炉と同様に廃炉ができると考えている。」

（11月13日汚染水・タンク対策本部会見より）