福島第一原子力発電所2号機 燃料取扱設備の開発と現地への設置

Development and On-Site Installation of Fuel Handling Equipment at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 2

東倉　一郎 TOKURA Ichiro　　宮本　崇弘 MIYAMOTO Takahiro　　小園　俊晃 KOZONO Toshiaki

福島第一原子力発電所2号機では，原子炉建屋内の使用済み燃料プール（SFP）にある燃料を，放射線量が高い環境下で安全・確実に取り出すことが喫緊の課題である。

東芝グループは，原子炉建屋解体に伴う放射性ダストの飛散や周辺作業への影響を低減し，更に雨水流入による建屋滞留水の発生を抑制するために，建屋南側壁面に設けた開口部を介して燃料を取り出す燃料取扱設備を開発した。また，開発期間を短くするために，一般産業用ブーム型クレーンをベースに，耐震性の強化，安全機能の多重化，及び遠隔操作機能などの付加により，原子力特有の要求に対応した。工場及び現地での試験を経て，2026年3月に現地への設置を完了した。

At the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 2, the safe and secure retrieval of fuel from the spent fuel pool (SFP) inside the reactor building, where radiation levels are high, has been a critically important issue.

The Toshiba Group has developed fuel handling equipment capable of retrieving fuel through an opening in the south wall of the reactor building. This approach reduces both the dispersal of radioactive dust and disruption to nearby work while limiting the accumulation of water caused by rainwater inflow during demolition of the reactor building. Although the equipment is based on a general-purpose industrial boom crane to shorten the development period, it fulfills the requirements of the nuclear energy sector through enhanced seismic resistance, redundant safety functions, remote-control capabilities, etc. Following successful shop and on-site testing, installation at the site was completed in March 2026.

1. まえがき

福島第一原子力発電所2号機（以下，2号機と略記）の原子炉建屋は，東日本大震災後も水素爆発に至らず残存しており，原子炉建屋内は放射線量が高い環境となっている。原子炉建屋内のSFPに貯蔵されている燃料（以下，プール燃料と呼ぶ）は，SFP冷却系異常時のリスクを低減するために，早期に取り出し，発電所構内の共用プールへ移送する必要がある。2号機の原子炉建屋内部は放射線量が高く，既設の燃料交換機・天井クレーンの復旧が困難である。そのため，当初の計画では，原子炉建屋上部を全面解体し，新たにカバー建屋及び燃料取扱設備（従来型の門型クレーン式）を設置して，プール燃料を取り出すこととしていた。

しかし，原子炉建屋解体作業に伴う放射性ダストの飛散や建屋周辺での作業への影響，及び雨水流入による建屋滞留水の増加といった懸念が高まった。また，原子炉建屋内部の放射線量が低減し，ごく短時間の入域及び原子炉建屋内部への機器設置作業が可能となったことを受けて，東芝グループは，原子炉建屋上部を解体しない工法を立案した。この工法では，建屋南側に燃料取り出し用構台（以下，構台と呼ぶ）・構台前室を新設した上で，建屋南側壁面に開口を設置して，燃料取扱設備を構台前室から原子炉建屋内に移動させ，プール燃料を取り出す。新設した構台及び燃料取扱設備の概要を**図1**に示す[(1)]。更に，開発期間を短縮するために，一般産業用のブーム型クレーンをベースに燃料取扱設備

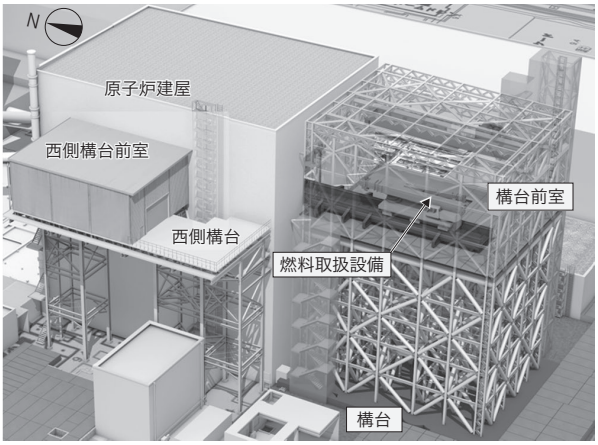


図1. 構台及び燃料取扱設備の概要
原子炉建屋の南側に，構台と構台前室を新設した。
Outline of fuel removal platform and fuel handling equipment

を開発した。

ここでは，燃料取扱設備の設計，製作，及び現地への設置について，工場及び現地での試験を含めて述べる。

2. 燃料取扱設備の設計

2.1　プール燃料取り出し・移送システムの構成

原子炉建屋の解体中に耐震性を維持するには，建屋の構造躯体（くたい）である柱と梁（はり）は撤去できず，南側壁面に設置可能な開口サイズが制限される。そのため，燃料取扱設備は，壁面開口部を通過して原子炉建屋及びSFPにアクセス可能にする必要がある。従来型の門型クレーンは開口部の寸法制約上適用できないこと，設備を新規設計するとプール燃料取り出し開始までに時間が掛かることを踏まえて，一般産業用のブーム型クレーンを活用することにした。これにより，建屋開口部を通過可能かつ短期間での製作を実現可能にし，更に，原子力特有の要求に対応するために耐震性や安全機能を付加した。

2号機のプール燃料取り出し・移送システムは，上部に構台前室を持つ構台を原子炉建屋の南側に設け，構台前室内に設置したランウェイガーダーの上を燃料取扱設備が走行し，開口部を通過して原子炉建屋へアクセスする構成とした（**図2**）[(1)]。燃料取扱設備はブーム型クレーンをベースとし，構台前室から開口部を通過して原子炉建屋へ進入後にブームを展開する。更に，プール燃料を輸送容器に収納して一次蓋を仮締めした後，原子炉建屋から構台前室へ輸送容器を搬出する。搬出した輸送容器は構台前室で蓋を本締めし，搬出・搬入口から燃料取扱設備で地上までつり降ろす。

2.2　燃料取扱設備の構成

燃料取扱設備でプール燃料を取り出すために，以下の作業を遠隔操作で実施する機能が必要である。

⑴　SFP中でのプール燃料の取り扱い
⑵　気中及びSFP中での輸送容器の取り扱い
⑶　SFP中における輸送容器一次蓋の取り扱い
⑷　輸送容器を積載した状態での燃料取扱設備の走行

また，原子炉建屋壁面の開口部を通過し，原子炉建屋の内壁面及び天井トラス高さを考慮した寸法制約を満たし，かつ従来の燃料交換機や天井クレーンと同等の機能が必要である。

燃料取扱設備は，燃料取扱機，クレーン，及びジブクレーンの合計三つのクレーンを走行台車上に備える構成とした（**図3**）。また，開口部の寸法制約上，輸送容器をつり上げた状態で原子炉建屋から搬出できないことから，走行台車の先端に輸送容器を固定するための治具（以下，キャスク固定治具と呼ぶ）を備え，輸送容器を搭載した状態で搬出するようにした。

各機器の構成及び機能を以下に示す。

⑴　燃料取扱機　　燃料把握機でプール燃料を把持し，輸送容器へ収納する。
⑵　クレーン　　垂直つり具で輸送容器を把持し，原子炉建屋内及び構台内を移動する。
⑶　ジブクレーン　　一次蓋仮締め付け装置で，輸送容器の一次蓋の取り外し・取り付けを行う。
⑷　走行台車　　燃料取扱機，クレーン及びジブクレーン

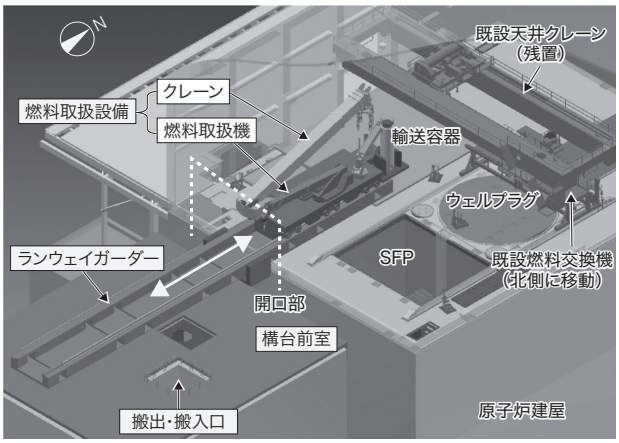


図2. プール燃料取り出し・移送システムの概要
原子炉建屋と燃料取り出し用構台前室間を燃料取扱設備が往来し，プール燃料を取り出す。
Outline of spent fuel removal and transfer system

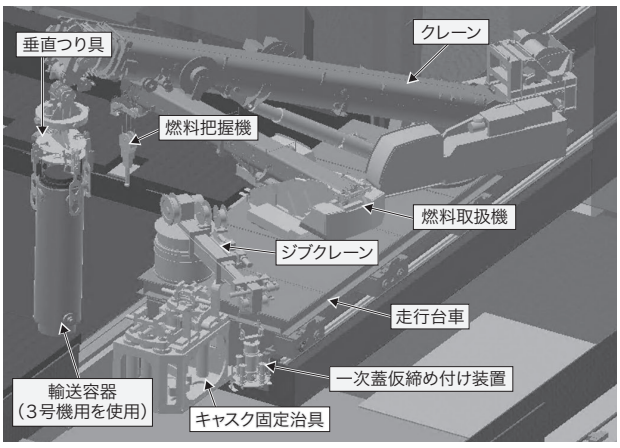


図3. 燃料取扱設備の構成
燃料取扱設備は，走行台車上に三つのクレーン（燃料取扱機，クレーン，ジブクレーン）を持つ。
Overall layout of fuel handling equipment

を搭載し，原子炉建屋と構台の間を移動する。また，キャスク固定治具で原子炉建屋への輸送容器の搬出入を行う。

2.3　燃料取扱設備の安全設計・制御設計

汎用のブーム型クレーンをベースとした燃料取扱設備は，従来の門型クレーン方式と異なり，以下の特徴や，解決が必要な課題がある。

⑴　極座標系での起伏・旋回・伸縮動作

⑵　複数のクレーン（燃料取扱，クレーン，ジブクレーン）が同一の走行台車上で動作することによる干渉（衝突）リスク

⑶　原子炉建屋内構造物などとの高い干渉リスク

そのため，運転範囲や速度を詳細に定めた設計，多数のセンサーによる位置・角度・荷重の検知，及びインターロックを組み合わせ，機器同士や原子炉建屋構造物との干渉を確実に防止できるようにした。複雑な動作を伴う設備構成でも，操作順序や動作姿勢の組み合わせごとに許容条件を設定し，条件が満たされない場合には動作を許可しない制御ロジックを構築した。

また，一般産業用のブーム型クレーンを燃料取扱設備に適用するにあたり，原子力発電所の設備としての安全機能を追加する必要があった。まず，従来の燃料交換機及び天井クレーン，並びにプール燃料取り出しで先行する3号機に適用した燃料取扱設備での実績を参照した。次に，この設備特有のブーム型クレーンの適用を考慮した上で，2号機の燃料取扱設備に必要な安全機能を抽出し，適用方法を具体化した。主なものを以下に示す。

⑴　原子力特有の耐震要求を満足させるために，加振試験や耐震解析を行い，強度が不足している箇所を補強する。

⑵　単一故障や誤操作があっても，プール燃料及び輸送容器を落下させないため，ワイヤロープの二重化や，メカニカルロック・ネガティブブレーキなどの機能の付加を実施する。

⑶　プール燃料移送時の放射線影響を防止するため，プール燃料移送時のつり上げ高さが遮蔽水深を上回らない運転範囲を設定して制御する。

⑷　遠隔操作時の誤操作による各クレーンの干渉及び機器損傷を防止するため，複雑な繰り返し動作の自動化，操作者の視認性を向上するカメラの追設，運転範囲の設定，リミットスイッチによる極限位置の設定，制御ロジックによる同時操作の制限などを付加する。

3. 製作・工場試験

製作段階では，3D（3次元）シミュレーターを用いてプール燃料取り出しの全作業工程の制御・動作検証を行い，動作手順の妥当性，機器間及び原子炉建屋構造物との干渉の有無，及びインターロックの妥当性について，工場試験の実機動作前に確認した。

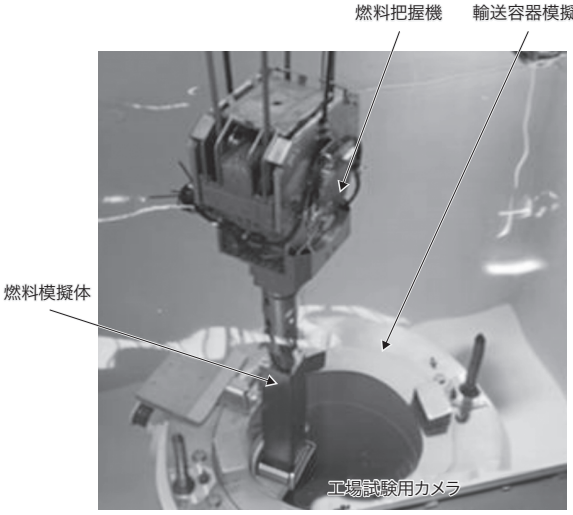


図4. 工場での水中燃料装荷模擬の様子
工場試験時に，水中で輸送容器模擬体の中に燃料模擬体を装荷した。
Underwater fuel loading simulation during shop testing

また，原子炉建屋内の放射線量が高い環境下では機械動作やインターロック制御などの調整が困難であるため，工場内に原子炉建屋内でのプール燃料・輸送容器取扱作業を想定したプール燃料，輸送容器などの模擬環境を構築し，現地試験に先立ち，機械・制御設計及び運転手順の妥当性について，次の点を確認した。

⑴　プール燃料及び輸送容器の取扱手順

⑵　ブームの起伏・旋回・伸縮・つり具昇降の動作・速度制御

⑶　実機寸法・クリアランスを踏まえた機器間干渉リスク

⑷　操作順序や姿勢変化に伴う機器間干渉リスク

これらの機械的モックアップ試験と3Dシミュレーターを組み合わせた多角的な検証により，設計段階及び工場製作・試験段階で潜在的な問題点を可能な限り洗い出し，是正した。その結果，工場出荷時点で十分な検証を行い，現地試験における課題発生，後戻りリスクを低減した。水中で燃料装荷を模擬した工場試験状況を，**図4**に示す[(2)]。

4. 燃料取扱設備設置工事・現地試験

4.1　設置工事・現地試験

燃料取扱設備は，工場から出荷後，海上輸送を経て構台天井から一体でつり込んで設置することを計画していた。海



図5. 陸揚げ時の一体つり込み作業
構内1階の物揚げ場で，燃料取扱設備を一体で陸揚げした。
Single-lift unloading of fuel handling equipment

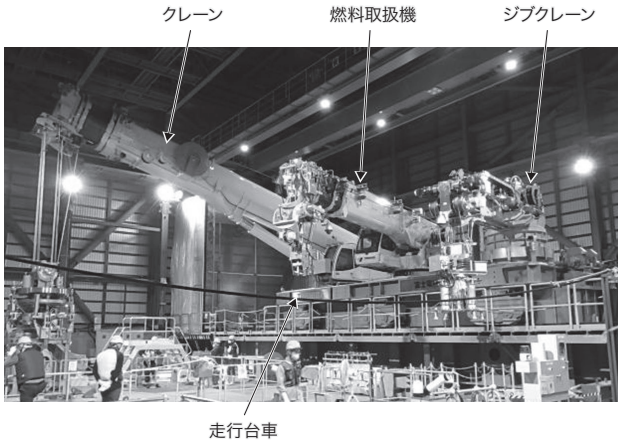


図6. 現地据付後の燃料取扱設備
燃料取り出し用構台前室内に，燃料取扱設備を据え付けた。
Fuel handling equipment installed on-site

上輸送，陸揚げ，及び構台前室への一体つり込みの作業は東京電力ホールディングス(株)が，設置後の燃料取扱設備の復元及び現地試験は東芝グループが担当するので，引き継ぎの要点を文書化して合意形成を図ることで，不備が発生しないよう対策を講じた。

輸送時やつり込み時の干渉回避の観点から，工場出荷時に各クレーンのつり具・ケーブルを取り外した状態で梱包(こんぽう)し，燃料取扱設備を設置後に開梱(かいこん)して復元した。燃料取扱設備の一体つり込み作業状況を**図5**に示す[3]。

現地試験は，燃料取扱設備の工場出荷・現地復元に伴う再確認項目，工場で物理的に検証できなかった項目などを考慮して試験項目を抽出した。抽出した試験項目を計画工程に収まるように整理して試験を遂行し，試験を進める中で懸案が発生した際には即時対策を検討し，対応方針や処置期限などをリスト管理することで計画工程に影響が出ないように解決した。また，設備の機械設計・電気制御設計の技術者が現地に常駐し，機器のトラブルやその他の想定外事象の発生時に迅速に対応方針を決定できる体制を構築したことで，計画工程に影響を与えることなく設置工事・現地試験を完了した(**図6**)[4]。

4.2 現地における機器の干渉リスク対策

燃料取扱設備は，機器同士や原子炉建屋内構造物との干渉リスクがあるため，定められた運転手順どおりに動作させることで極力干渉を回避する思想である。また，3Dシミュレーターなどを用いて事前に干渉リスクがある箇所を抽出した上で，原子炉建屋内・SFP内・構台前室内の各所，及び機器に，複数の監視カメラを配置した。これら監視カメラで，プール燃料，輸送容器，及び各クレーンの状態を多視点で監視

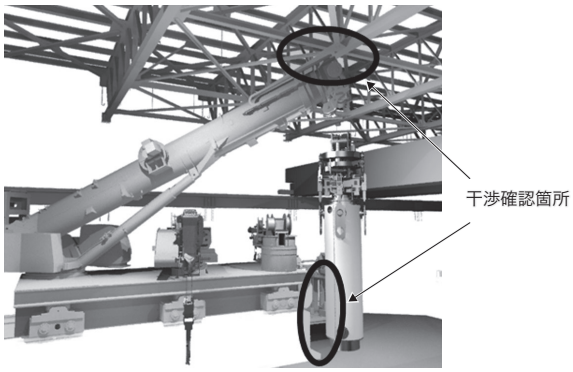


図7. 3Dシミュレーターによる干渉確認
3Dシミュレーターを用いて，機器同士や原子炉建屋内構造物との干渉を確認した。
Interference verification using three-dimensional (3D) simulator

し，干渉リスクへの対策を行った(**図7**)。更に，万が一設計情報と現場環境が異なる場合にも干渉回避できるように，特に干渉リスクが高い箇所の初回動作時は，カメラ映像だけでなく原子炉建屋内で目視確認を行った。以上のように，細心の注意を払って干渉なく運転できることを確認した。

5. あとがき

2号機のプール燃料取り出しに向け，東芝グループは燃料取扱設備の設計・製作，工場試験及び現地試験を着実に進め，現地設置を完了した。

今後も，燃料取り出し作業の着実な遂行及び廃止措置の進展に貢献していく。

文　献

⑴　東京電力ホールディングス. 2号機燃料取り出し工法の検討状況について. 2019, 8p. <https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2019/10/3-2-4.pdf>, (参照 2026-06-26).

⑵　東京電力ホールディングス. 2号機燃料取り出しに向けた工事の進捗について. 2025, 7p. <https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2025/03/03/3-2-4.pdf>, (参照 2026-06-26).

⑶　東京電力ホールディングス. 福島第一原子力発電所 2号機使用済燃料プールからの燃料取り出しに使用する燃料取扱設備の燃料取り出し用構台への搬入完了について. 2025, 2p. <https://www.tepco.co.jp/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2025/1h/rf_20250530_1.pdf>, (参照 2026-06-26).

⑷　東京電力ホールディングス. 1・2号機燃料取り出しに向けた工事の進捗について. 2026, 19p. <https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2026/01/01/3-2-4.pdf>, (参照 2026-06-26).



東倉　一郎　TOKURA Ichiro
原子力事業部 磯子エンジニアリングセンター
原子力機械システム設計部
Mechanical System Design & Engineering Dept.



宮本　崇弘　MIYAMOTO Takahiro
原子力事業部 原子力営業第一部
Nuclear Marketing & Sales Dept. 1st



小園　俊晃　KOZONO Toshiaki
原子力事業部 磯子エンジニアリングセンター
原子力電気システム設計部
Electrical System Design & Engineering Dept.