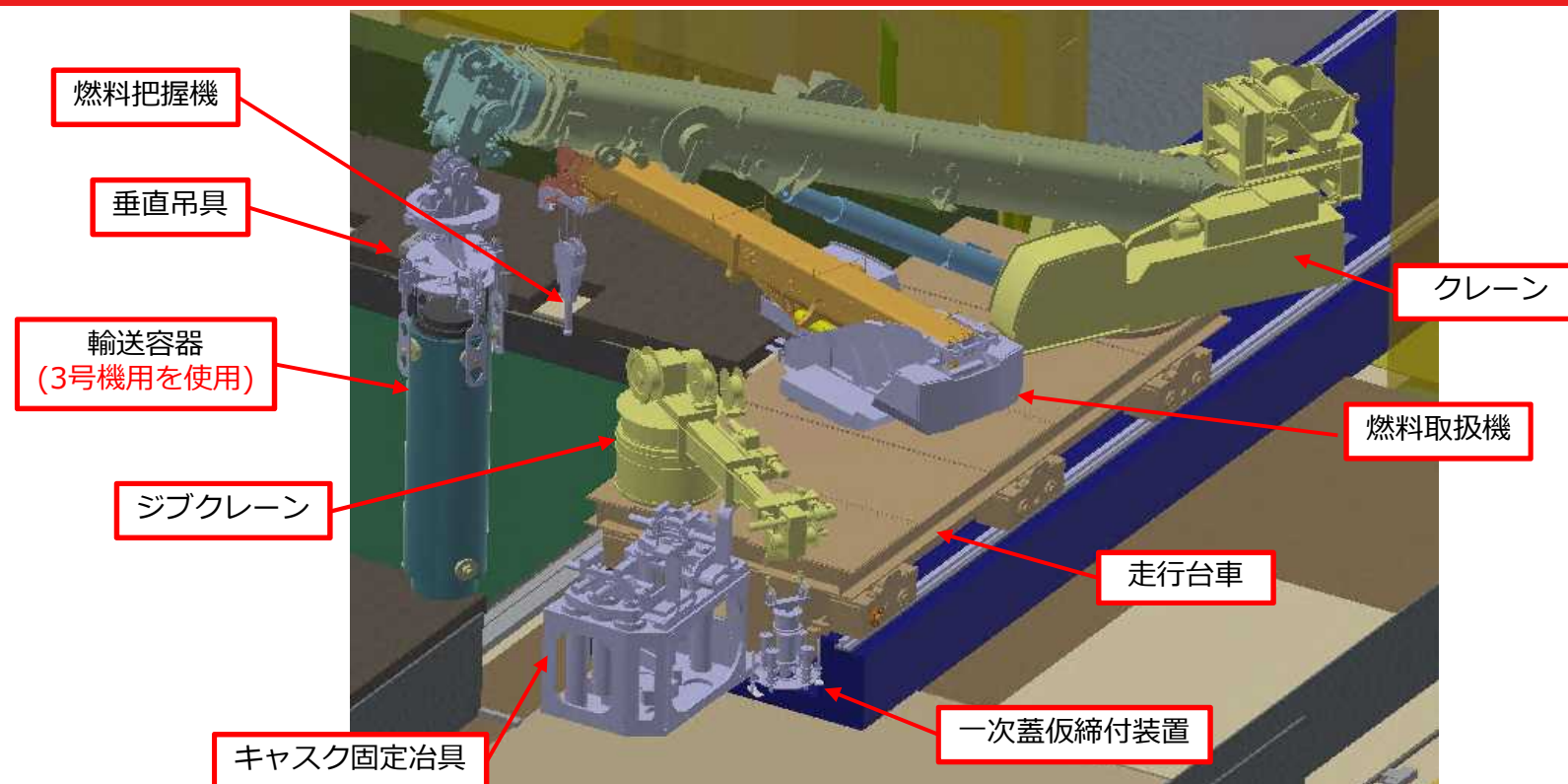


2号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台 の設置について

2021年3月17日（第9回）

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

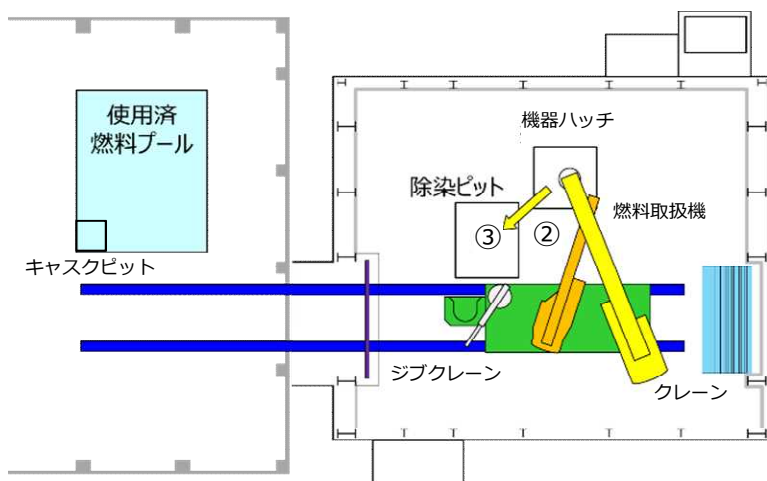


構成機器の目的、機能

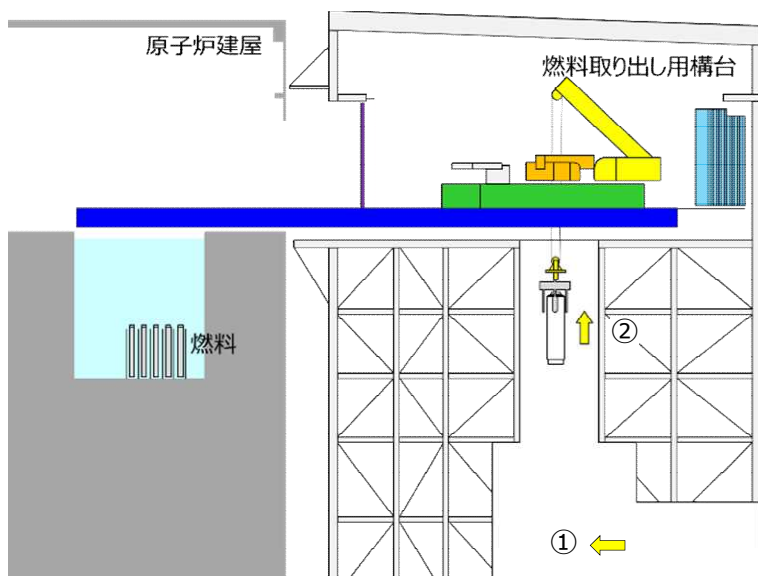
- **燃料取扱機**：燃料を把持する燃料把握機を介して燃料を輸送容器へ収納する。
- **クレーン**：輸送容器を把持する垂直吊具を介し、原子炉建屋内及び燃料取り出し用構台内で輸送容器を移動する。
- **走行台車**：燃料取扱機、クレーン及びジブクレーンを搭載し、原子炉建屋及び燃料取り出し用構台間を移動する。また、キャスク固定治具を介し原子炉建屋への輸送容器の搬出入を行う。
- **ジブクレーン**：一次蓋仮締付装置を介し、輸送容器の一次蓋の取外し・取付けを行う。
- **キャスク固定治具**：走行台車走行時に輸送容器を積載、固定する。
(原子炉建屋南側小開口をクレーンで輸送容器を懸架した姿勢では通過できないため)

燃料取り出し手順 (1/12)

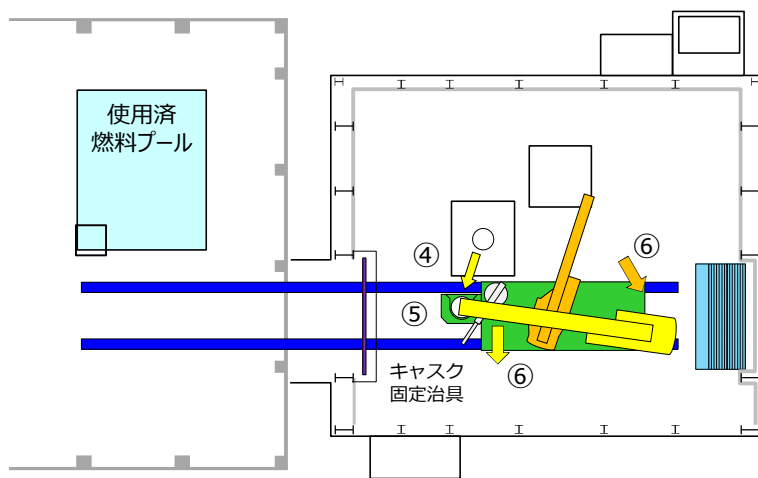
<変更なし> **TEPCO**



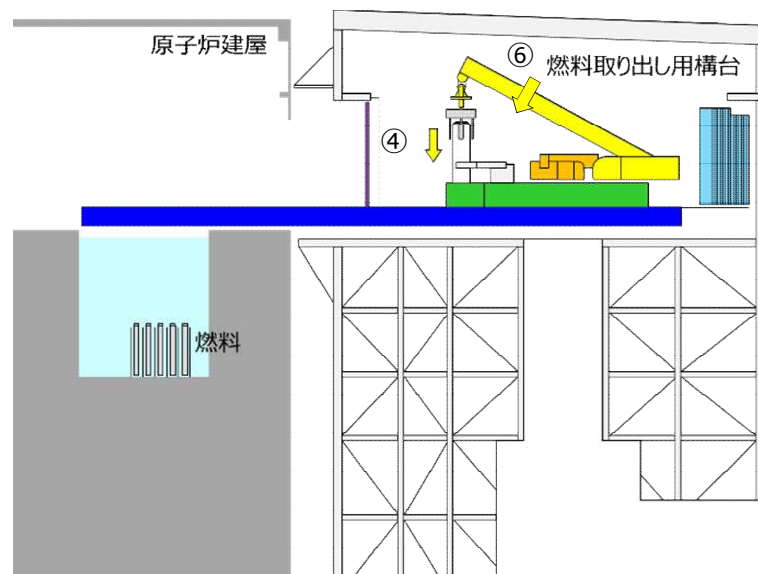
- ① 燃料取り出し用構台へ輸送容器を搬入
- ② 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器を前室内まで引き上げ、除染ピットに設置する。
- ③ 除染ピットにて垂直吊具と輸送容器の接続を解除し、輸送容器の二次蓋を取り外す。



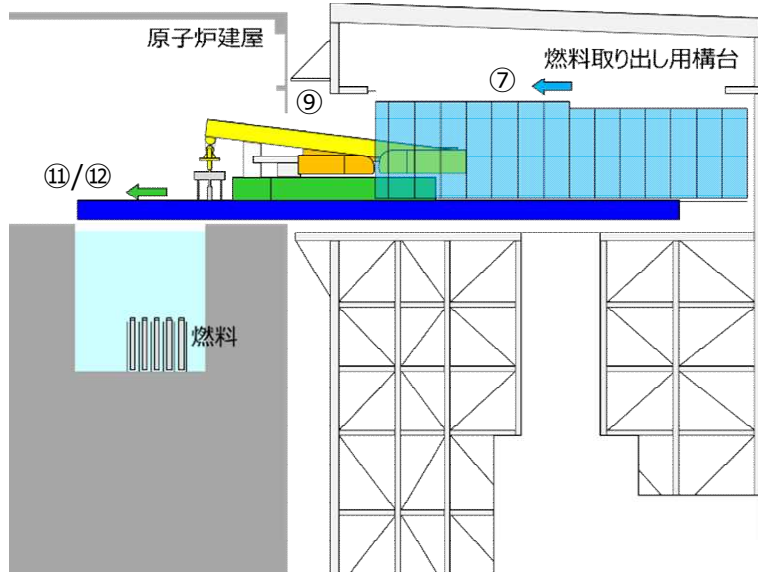
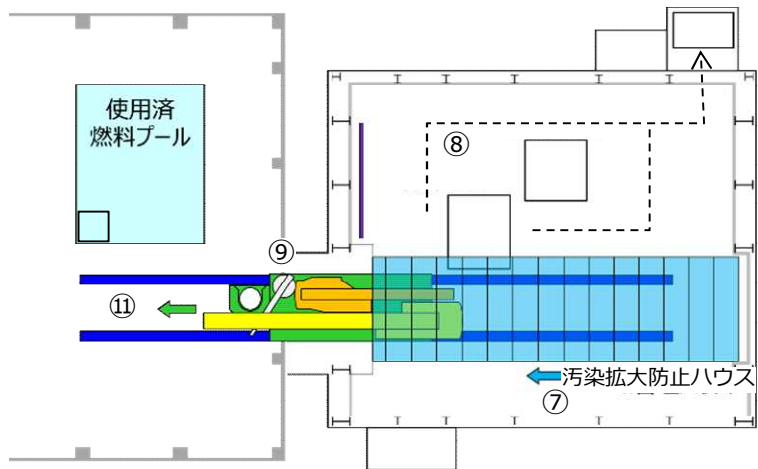
燃料取り出し手順 (2/12)



- ④ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器を除染ピットからキャスク固定治具に移動する。
- ⑤ 輸送容器をキャスク固定治具にて固定する。
「キャスク固定治具の概要」参照
- ⑥ 垂直吊具と輸送容器の接続を解除し、クレーンと燃料取扱機を収納姿勢にする。



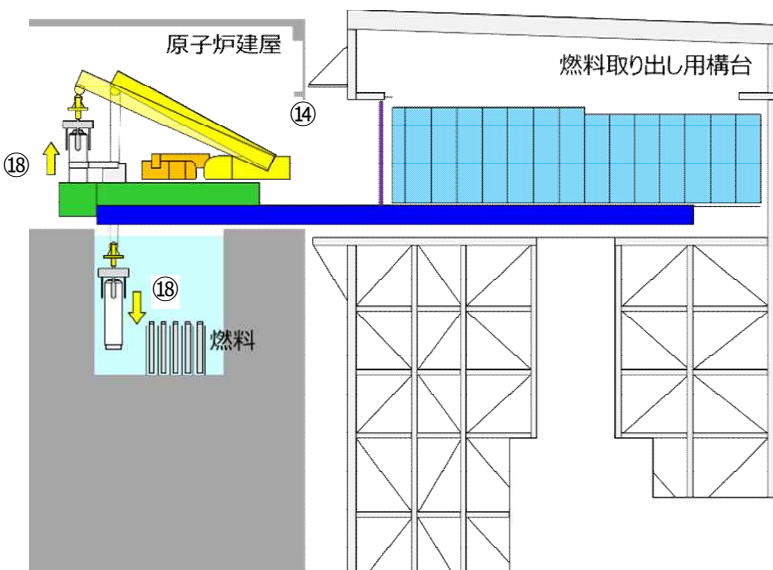
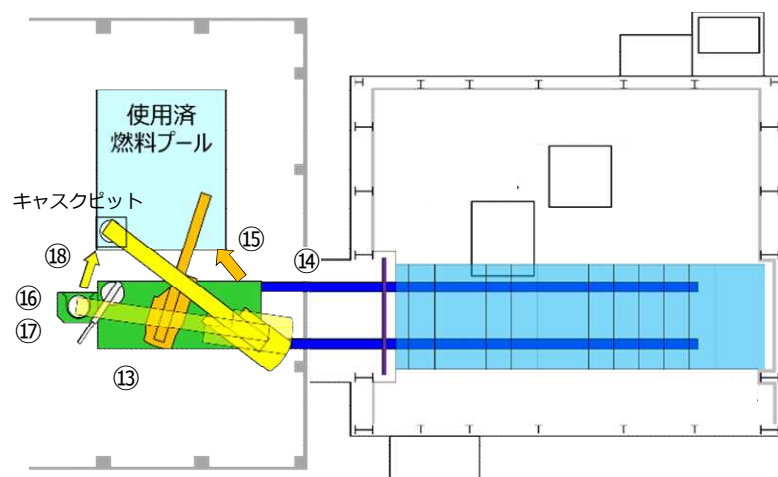
燃料取り出し手順 (3/12)



- ⑦ 汚染拡大防止ハウスを展開する。
- ⑧ 前室から作業員を退避させる。
(以降, 遠隔操作)
- ⑨ 原子炉建屋南側シャッターを開放する。
- ⑩ アウトリガーピンを格納し, ランウェイガータとの固定を解除する。
(「アウトリガーピンの概要」参照)
- ⑪ 燃料取扱設備を原子炉建屋内に移動する。
- ⑫ 所定の位置で燃料取扱設備の移動を停止する。

燃料取り出し手順 (4/12)

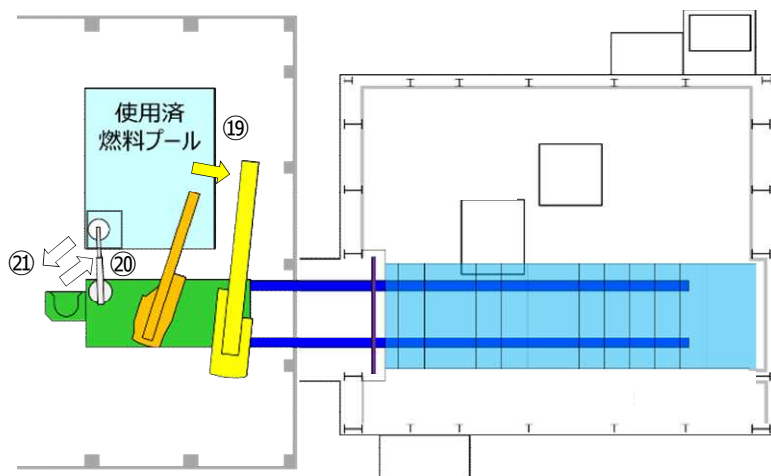
<変更なし> **TEPCO**



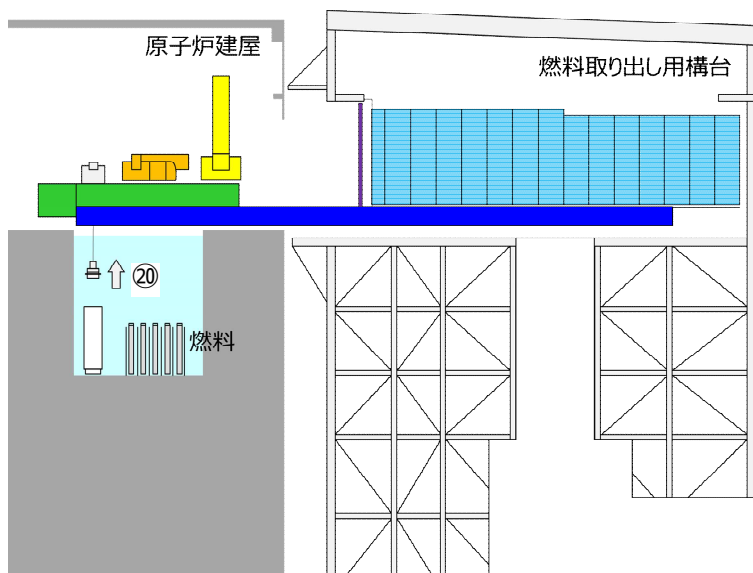
- ⑬ アウトリガーピンを展開し，燃料取扱設備をランウェイガーダに固定する。
- ⑭ 原子炉建屋南側シャッターを閉止する。
- ⑮ 燃料取扱機を退避姿勢とする。
- ⑯ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器を把持する。
- ⑰ 輸送容器のカスク固定治具による固定を解除する。
- ⑱ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器をカスク固定治具からカスクピットに移動する。

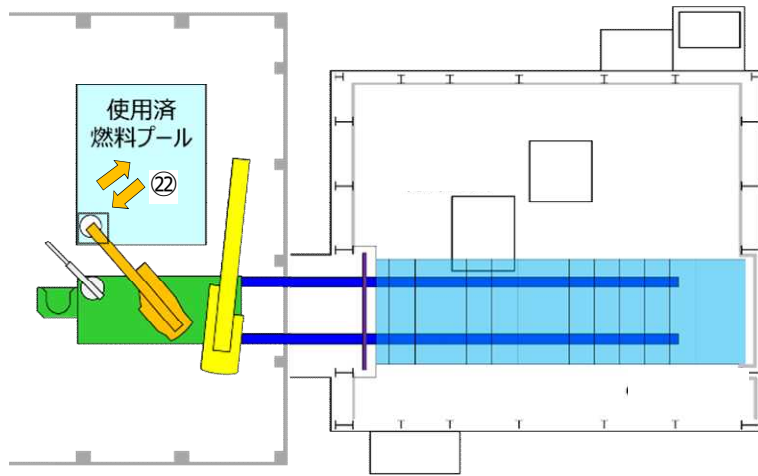
燃料取り出し手順 (5/12)

<変更なし> **TEPCO**

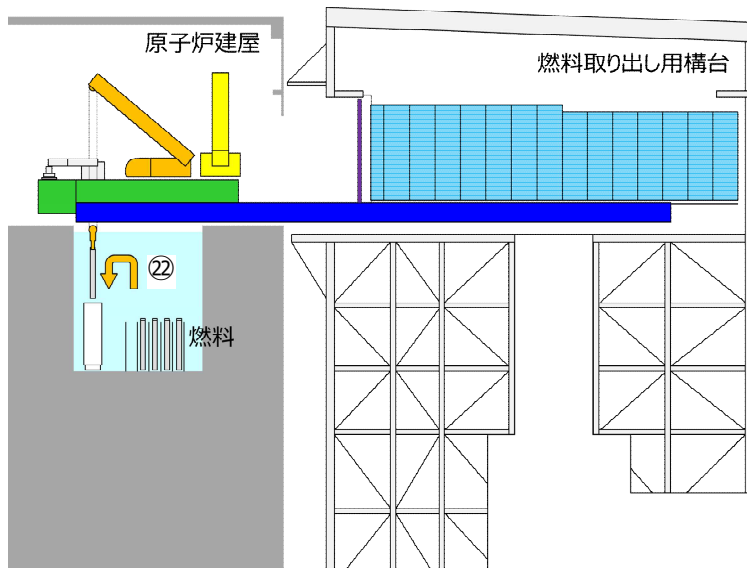


- ⑱ クレーンを退避姿勢にする。
- ⑳ ジブクレーンをキャスクピット上に移動し、
輸送容器一次蓋を取り外す。
- ㉑ ジブクレーンを退避姿勢にする。



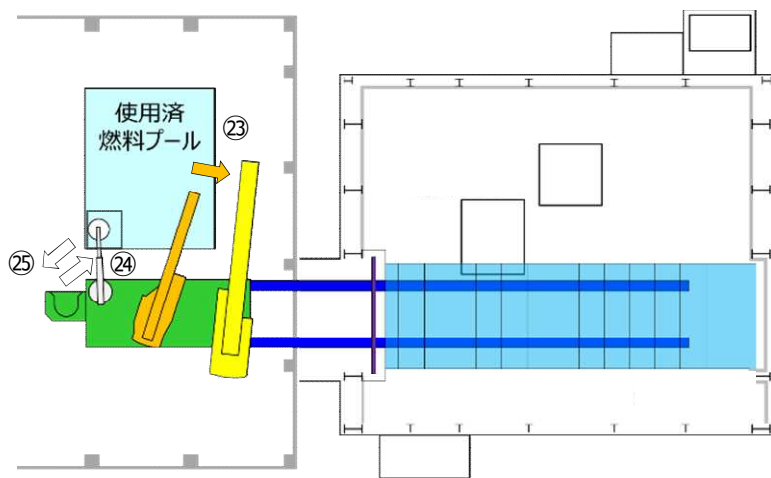


- ② 燃料把握機を介し燃料取扱機にて燃料7体を1体ずつ使用済燃料貯蔵ラックから輸送容器に移動する。

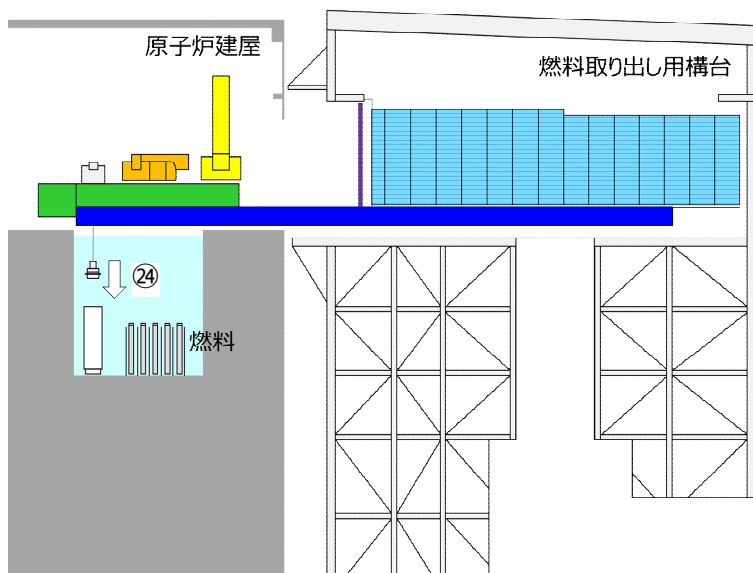


燃料取り出し手順 (7/12)

<変更なし> **TEPCO**

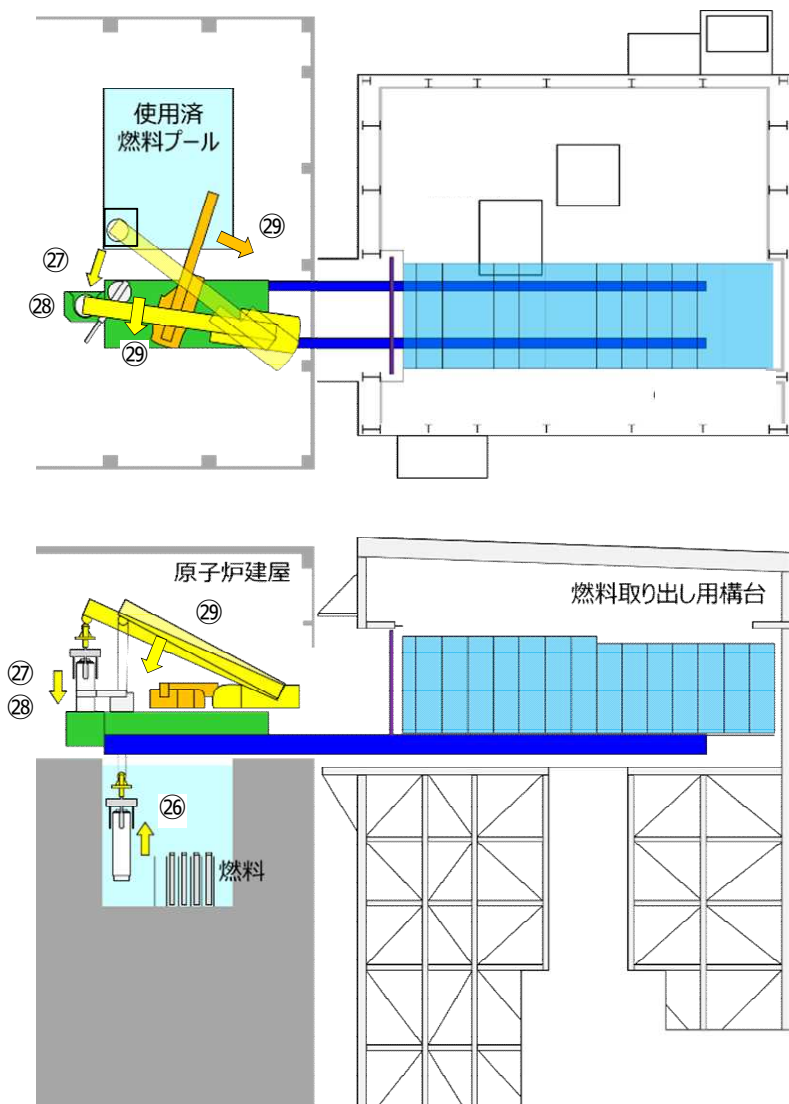


- ②③ 燃料取扱機を退避姿勢にする。
- ②④ ジブクレーンをキャスクピット上に移動し、輸送容器一次蓋を取りつける。
- ②⑤ ジブクレーンを退避姿勢にする。



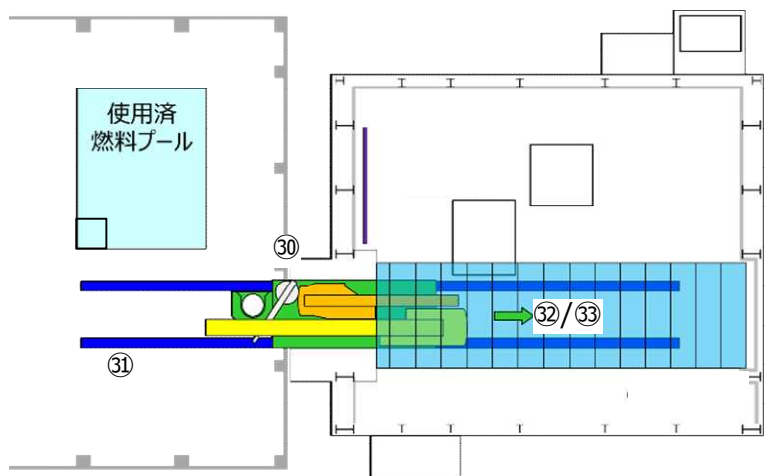
燃料取り出し手順 (8/12)

<変更なし> **TEPCO**

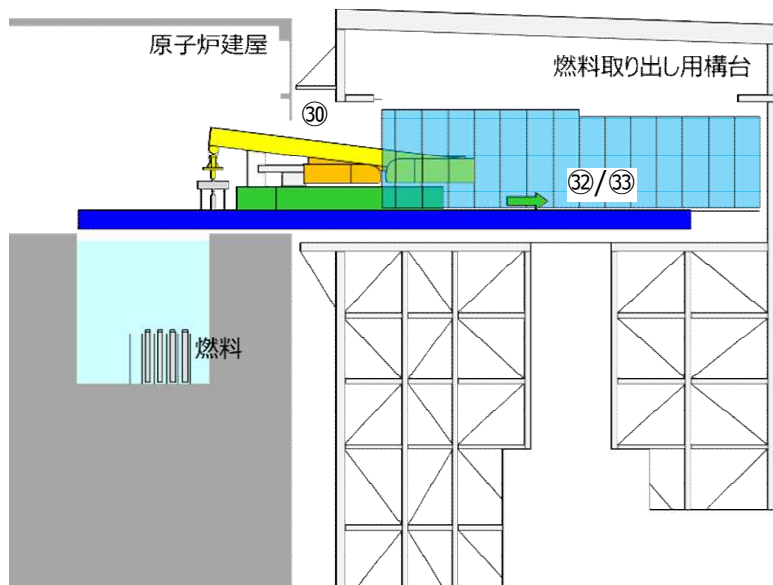


- ②⑥ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器をキャスクピットから吊り上げる。クレーンの上昇動作に合わせてキャスク表面のプール水を洗浄する。
- ②⑦ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器をキャスクピット上からキャスク固定治具に移動する。
- ②⑧ 輸送容器をキャスク固定治具にて固定する。
- ②⑨ 垂直吊具と輸送容器の接続を解除し、クレーンと燃料取扱機を収納姿勢にする。

燃料取り出し手順 (9/12)

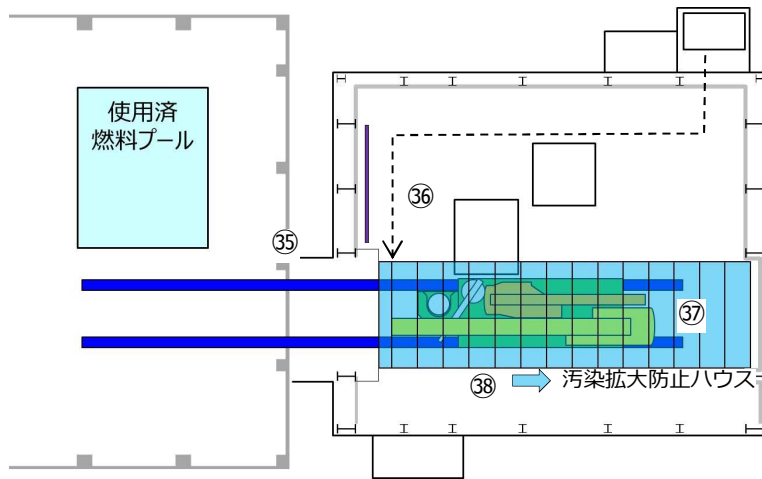


- ③0 原子炉建屋南側シャッターを開放する。
- ③1 アウトリガーピンを格納する。
- ③2 燃料取扱設備を燃料取り出し用構台前室内に移動する。
- ③3 所定の位置で燃料取扱設備の移動を停止する。



燃料取り出し手順 (10/12)

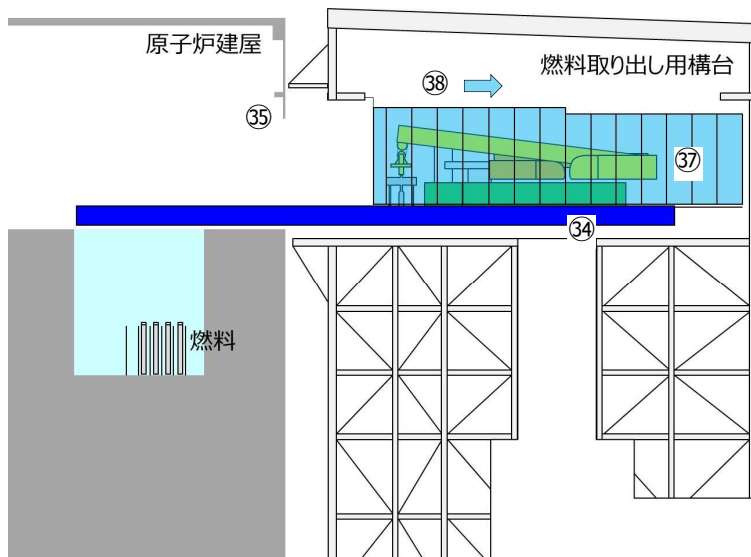
<変更なし> **TEPCO**



③④ アウトリガーピンを展開し，燃料取扱設備をランウェイガードに固定する。

③⑤ 原子炉建屋南側シャッターを閉止する。

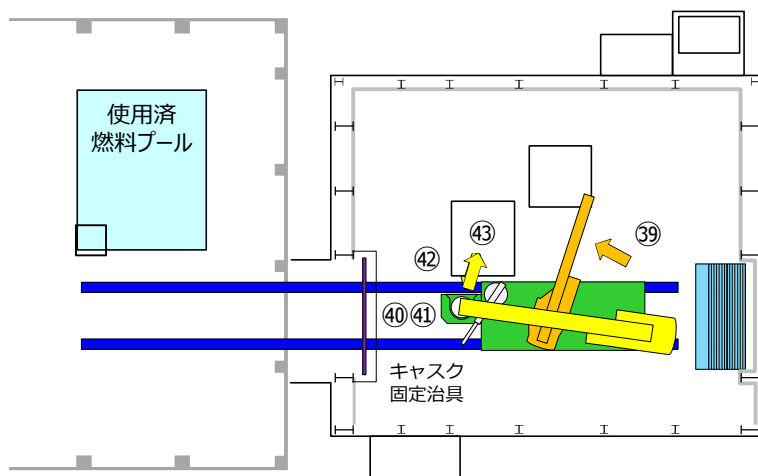
③⑥ エリア放射線モニタに変動のないことを確認し，作業員を前室に入れる。
(以降，有人作業)



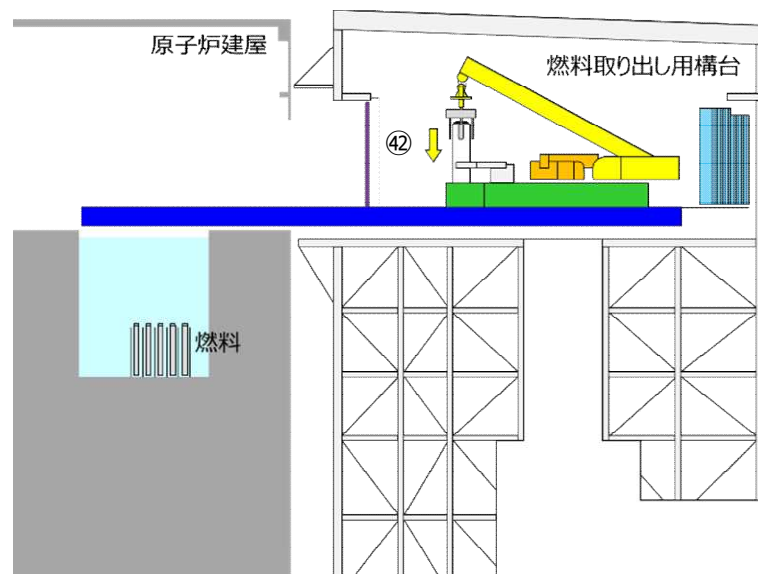
③⑦ 汚染拡大防止ハウス内で輸送容器及び燃料取扱設備表面の汚染の有無を確認する。(汚染部はふき取り除染)

③⑧ 輸送容器及び燃料取扱設備表面に汚染のないことを確認し，汚染拡大防止ハウスを収納する。

燃料取り出し手順 (11/12)



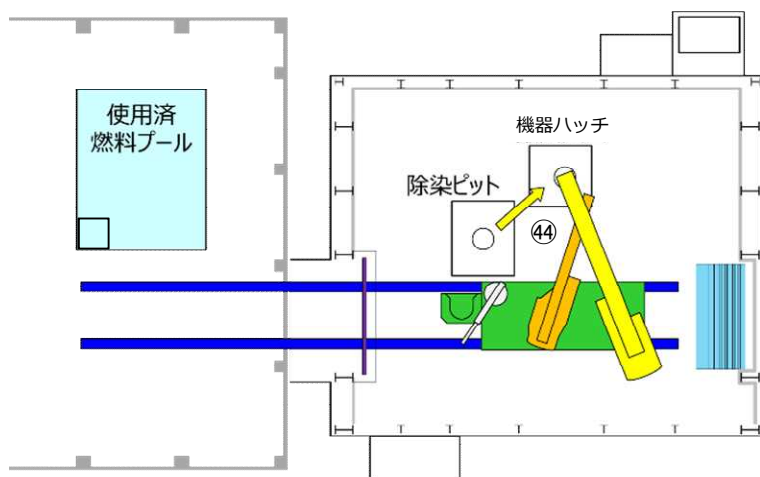
- ③⑨ 燃料取扱機を退避姿勢にする
- ④⑩ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器を把持する。
- ④⑪ 輸送容器のキャスク固定治具による固定を解除する。



- ④⑫ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器をキャスク固定治具から除染ピットに移動する。
- ④⑬ 除染ピットにてキャスク表面の拭き取り除染，二次蓋の取付を行う。

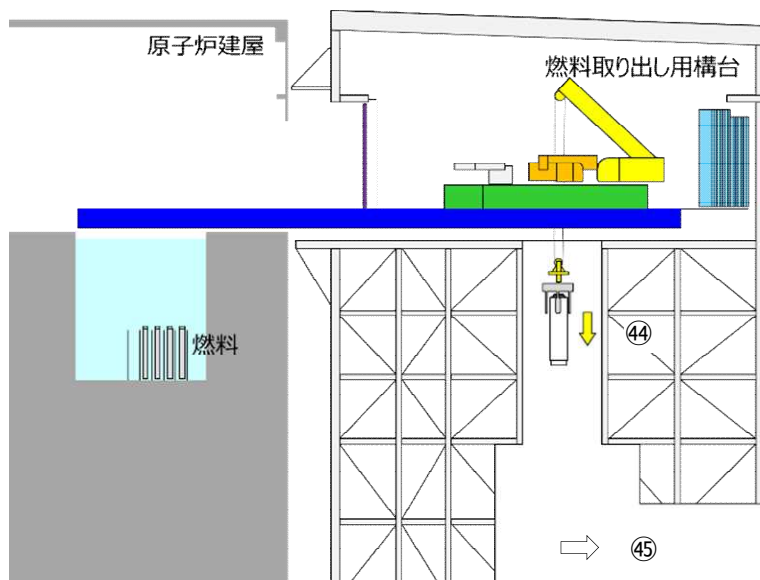
燃料取り出し手順 (12/12)

<変更なし> **TEPCO**



④④ 垂直吊具を介してクレーンにて輸送容器を
除染ピットから地上階に吊り下ろす。

④⑤ 燃料取り出し用構台から輸送容器を搬出する。

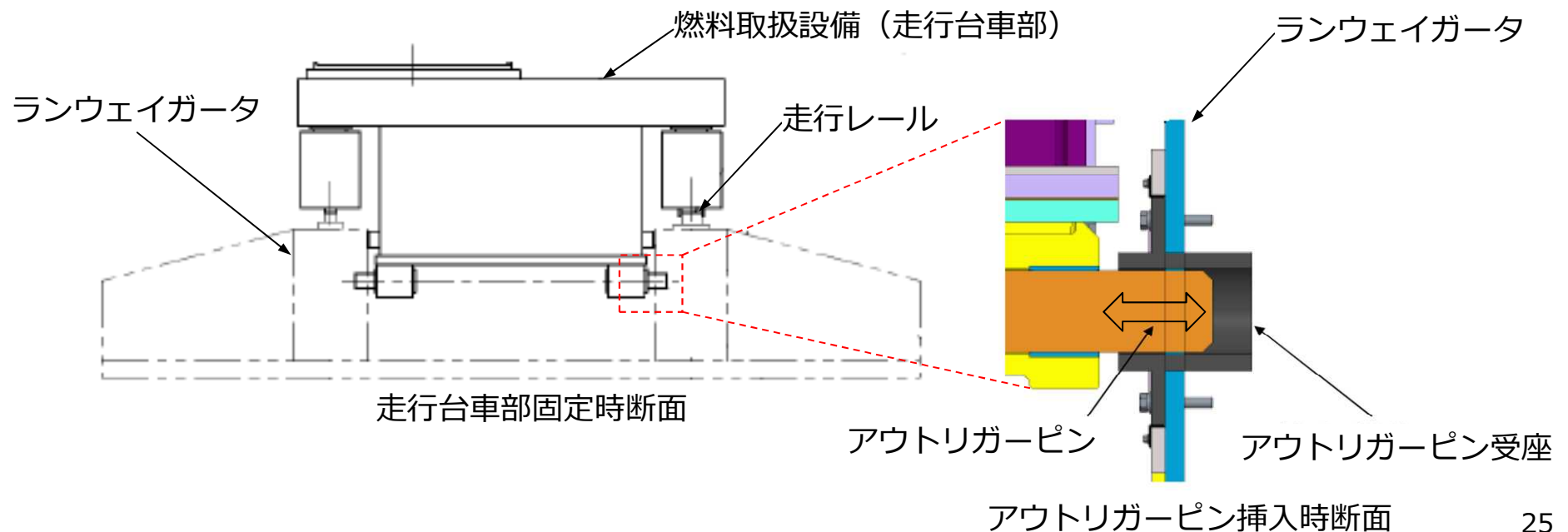


■ 目的

燃料取扱設備の揚重作業時の地震時の転倒を防止するため、燃料取扱設備をランウェイガーダに固定する。

■ 概要

- アウトリガーピンは燃料取扱設備走行台車部下面4箇所を設置される。
- 燃料取扱設備停止位置に設けるアウトリガーピン受座にアウトリガーピンを挿入することで燃料取扱設備をランウェイガーダに固定する。
- 走行台車停止位置は原子炉建屋内、燃料取り出し用構台前室内の二カ所。

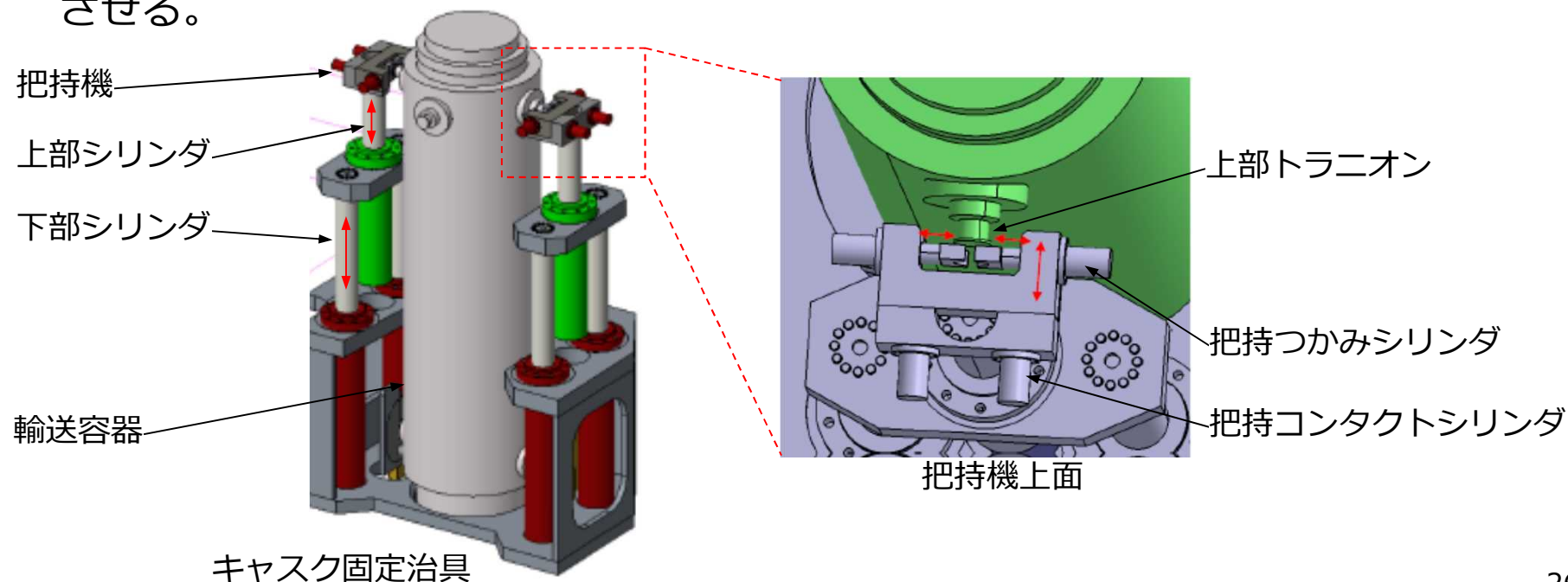


■ 目的

燃料取扱設備が原子炉建屋，燃料取り出し用構台間を移動する際に，輸送容器の転倒を防止するための機器。

■ 概要

- 把持機を介して輸送容器の上部トラニオンを固定する。
- 輸送容器取扱時は垂直吊具もしくはキャスク固定治具にて常に支持された状態とすることで輸送容器の転倒を防止する。
- 格納状態ではジブクレーンとの干渉を回避するため上部／下部シリンダを収縮させる。



説明スケジュール

■ 本申請内容は、下記スケジュールに沿って説明する。

No.	説明内容（実施計画の構成に基づいて説明）	2020年度						2021年度		
		12月	1月		2月		3月		4月	5月
全体スケジュール		申請(12/25) ▼	監視評価検討会(1/25) ▼				コメント回答期間	規制庁殿取り纏め期間 補正申請予定 ▼		認可希望 ▼
1	申請、申請範囲と措置を講ずべき事項への適合性に関する説明	第1回(12/25) ▼								
2	燃料取扱設備概要と燃料取扱いに関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本仕様 2.11 添付資料-1-1 燃料の落下防止、臨界防止に関する説明書 2.11 添付資料-5 使用済燃料プールからの燃料取り出し工程表		第2回(1/13) ▼					第10回(3/22週) ▼		
3	燃料取り出し用構台の構造強度及び耐震性に関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11 添付資料-4-2 燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書			第3回(1/21) ▼			第8回(3/9) ▼			
4	燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本仕様 2.11 添付資料-4-1 燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明書				第4回(1/28) ▼			第9回(3/17) ▼		
5	換気設備の設備概要、構造強度と耐震性に関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本仕様 2.11 添付資料-3-1 放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能に関する説明書 2.11 添付資料-4-3 燃料取り出し用カバー換気設備の構造強度及び耐震性に関する説明書					第5回(2/4) ▼		第11回(3/29週) ▼		
6	原子炉建屋オペレーティングフロアに設置する遮蔽体に関する説明 【記載箇所】 2.11 添付資料-4-2 別添8 2号機原子炉建屋 オペレーティングフロア床面に設置する遮蔽体の落下防止について					第6回(2/10) ▼		第11回(3/29週) ▼		
7	放射線管理関係設備、保安措置に関する説明 【記載箇所】 2.11 添付資料-1-2 放射線モニタリングに関する説明書 2.15.1 基本設計 2.15.2 基本仕様 2.15 添付資料-1 ダスト放射線モニタ系統概略図 Ⅲ 第1編 第42条 気体廃棄物の管理 Ⅲ 第1編 第60条 外部放射線に係る線量当量率等の測定 Ⅲ 第1編 第61条 放射線計測器類の管理 Ⅲ 第3編 2.1.3 放射性気体廃棄物等の管理 Ⅲ 第3編 3.1.2 放射線管理					第7回(2/18) ▼		第11回(3/29週) ▼		
8	燃料の健全性及び移送操作中の燃料集合体の落下に係る説明 【記載箇所】 2.11 添付資料-1-3 燃料の健全性確認及び取扱いに関する説明書 2.11 添付資料-3-3 移送操作中の燃料集合体の落下								第12回(補正申請後に実施) ▼	

■ 補足説明資料

- 添付資料1 燃料取り出し用構台 補足説明資料
- 添付資料2 燃料取扱設備の耐震性についての計算書

燃料取扱設備の耐震性についての計算書

I. 燃料取扱設備に係る耐震設計の基本方針

1. 設備の重要度による耐震クラス別分類

備名	耐震 クラス別	確認用 地震動
燃料取扱設備	B 相当	Ss 又は Sd

燃料取扱設備は、燃料取扱機及びクレーンによる揚重作業時、原子炉建屋側または燃料取り出し用構台側の所定の停止位置にて 4 本のアウトリガーピンを介してランウェイガータに固定し、原子炉建屋側では燃料取扱及び輸送容器取扱作業を、燃料取り出し用構台側では輸送容器取扱作業を行う。また、アウトリガーピンによる固定解除後、ランウェイガータに設置する走行ルール上を走行し、原子炉建屋と燃料取り出し用構台間を移動する。

燃料取扱設備の耐震クラス別分類は原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601・補-1984) に記載の原子炉建屋クレーンや燃料取扱設備と同様に B クラスに相当すると考えられるが、燃料取扱設備が地震による転倒や破損などの事象により、使用済燃料プールや使用済燃料貯蔵ラックに波及的影響を及ぼさないことを、確認用地震動を用いて確認する必要がある。燃料取扱設備が地震による転倒や破損などの事象により波及的影響を及ぼすと考えられる燃料取扱設備位置を図 1 に示す。上記以外の領域での機器の耐震性は B クラス相当 (Sd 地震動の 1/2 の床応答スペクトルによる評価) となるため、原子炉建屋側での確認用地震動による評価に包絡される。本書では原子炉建屋側での確認用地震動による確認結果について示す。

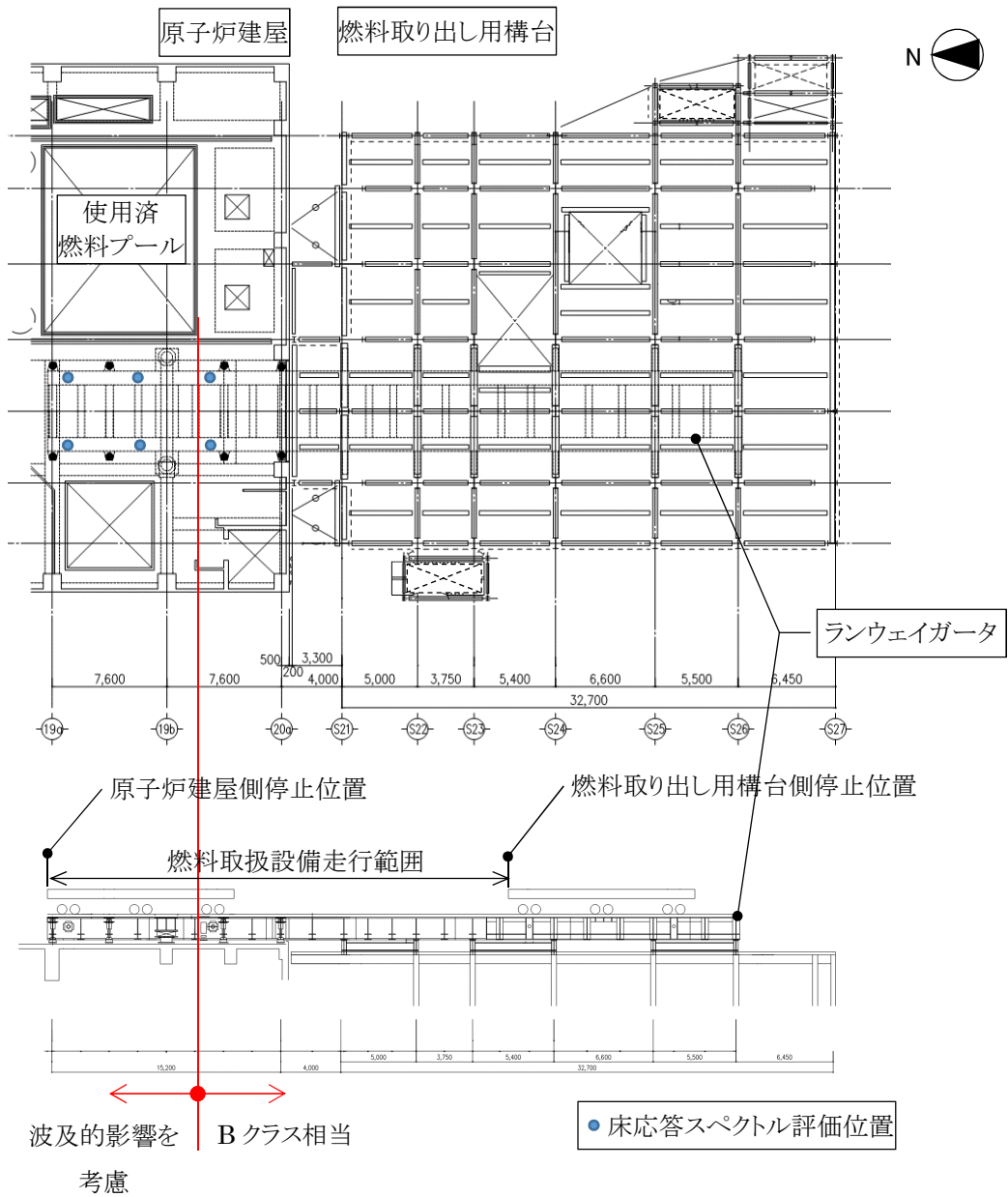


図 1 燃料取扱設備の波及的影響を考慮する必要がある領域

2. 構造設計

(1) 構造概要

燃料取扱設備は、輸送容器を取り扱うブーム型クレーン、燃料を取り扱うブーム型クレーン、キャスクを積載し転倒を防止するキャスク固定治具、それらを支持する走行台車から構成される。

3. 評価に適用する確認用地震動

使用済燃料プール、使用済燃料貯蔵ラックへの波及的影響を考慮するための地震動として、確認用地震動を適用する。波及的影響を考慮する必要のある設備状態の作業時間と地震の発生確率から確認用地震動を決定する。

3.1. 設備姿勢の継続時間

ここで各作業時間は機器の定格速度での移動時間に、位置決め、状態確認の時間を考慮した。燃料取扱状態は Ss 地震動で評価するため、作業時間評価の対象外とした。

設備状態	輸送 1 回あたりの作業時間	当該手順
燃料取扱状態	—	②②
輸送容器取扱状態	2h	①⑥, ①⑦, ①⑧ ②⑥, ②⑦, ②⑧
輸送容器移送状態	0.5h	①①, ①② ③①, ③②
輸送容器固定状態	0.5h	①③, ①④, ①⑤ ②⑨, ②⑩

ここで、

燃料取扱状態 : 燃料取扱機で燃料を取り扱う状態

輸送容器取扱状態 : クレーンで輸送容器を取り扱う状態

輸送容器移送状態 : 燃料取扱設備に輸送容器を積載し、走行台車部がアウトリガーピンでランウェイガータに固定されていない状態

輸送容器固定状態 : 燃料取扱設備に輸送容器を積載し、走行台車部がアウトリガーピンでランウェイガータに固定されている状態

3.2. 設備状態と地震動の組合せ

設備状態が確認用地震と重畳する確率を以下に示す。輸送容器取扱状態，輸送容器移送状態，輸送容器固定状態と Ss 地震動が重畳する可能性は十分低くなることから，各状態での耐震評価では Sd 地震動を用いる。

単位：/年		10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸
		輸送容器 取扱状態	Ss 地震動			
	Sd 地震動	←	→			
輸送容器 移送状態	Ss 地震動				↔	
	Sd 地震動		←	→		
輸送容器 固定状態	Ss 地震動				↔	
	Sd 地震動		←	→		

ここで，各設備状態と確認用地震動が重畳する確率は以下にて算定した。

各設備状態と確認用地震動が重畳する確率(/年)

$$= \frac{\text{設備状態の継続時間} \cdot \text{輸送回数}}{\text{燃料取り出し期間}} \cdot \text{確認用地震動の発生確率}$$

輸送回数 : 89 回

燃料取り出し期間 : 2 年

Ss 地震動の発生確率 : 10⁻⁴ ~ 10⁻⁵ / 年^(*)

Sd 地震動の発生確率 : 10⁻² ~ 10⁻⁴ / 年^(*)

(*)原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601・補-1984)より引用

4. 設計用地震力

4.1. 設計用床応答スペクトル

(1) 床応答スペクトルは，原子炉建屋及び燃料取り出し用構台の地震応答解析モデルに対して，確認用地震動を用いた時刻歴応答解析を行い，ランウェイガータ上の走行台車部車輪位置（計 6 箇所，図 1 参照）での加速度応答時刻歴を求める。時刻歴応答解析においては，地震動(Ss 地震動については Ss-1, Ss-2 及び Ss-3, Sd 地震動については Sd-1, Sd-2 及び Sd-3)，入力方向(+NS+UD, +EW+UD)，ランウェイガータに負荷する荷重(燃料取扱状態，輸送容器取扱状態，輸送容器固定状態)の組合せを考慮する。

(2) (1)で求めた各走行台車車輪位置での加速度応答時刻歴を入力として，1

自由度系の応答スペクトルを求める。

- (3) (2)で求めた応答スペクトル 6 点を包絡し, さらに各地震動 (Ss 地震動については Ss-1, Ss-2 及び Ss-3, Sd 地震動については Sd-1, Sd-2 及び Sd-3) を包絡する応答スペクトルを求める。
- (4) (3)で求めた応答スペクトルに対し, 周期方向に $\pm 10\%$ の拡幅を行い設計用床応答スペクトルとする。

4.2. 剛構造の機器に適用する設計地震力

評価対象機器が剛構造の場合は, 各地震動, 入力方向, ランウェイガータに負荷する荷重条件においてランウェイガータの原子炉建屋側燃料取扱設備停止位置から得られる最大床応答加速度の 1.2 倍の加速度を地震力とする。

5. 荷重の組合せ, 応力算定及び許容応力

記号の説明

D : 死荷重

Ss : Ss 地震動により求まる地震力

Sd : Sd 地震動により求まる地震力

1.5f_t: 許容引張応力

ボルト以外の支持構造物に対しては設計・建設規格 SSB-3121.3, ボルト材に対しては設計・建設規格 SSB-3133 により規定される値

1.5f_s: 許容せん断応力

同上

1.5f_c: 許容圧縮応力

設計・建設規格 SSB-3121.3 により規定される値

1.5f_b: 許容曲げ応力

同上

荷重の組合せ	許容限界 (ボルト以外)				許容限界 (ボルト等)	
	1 次応力				1 次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
D+Ss 又は D+Sd	1.5f _t	1.5f _s	1.5f _c	1.5f _b	1.5f _t	1.5f _s

注) 組合せ応力についても評価する。

II. 燃料取扱機(旋回体)の耐震性についての計算書

1. 概要

1.1. 一般事項

本計算書は燃料取扱機(旋回体)の耐震性についての計算書である。

1.2. 計算条件

- (1) 燃料取扱機(旋回体)の耐震性の評価は確認用地震動, 評価姿勢, 荷重条件ともに最も厳しい条件となる燃料取扱状態で代表する。
- (2) 燃料取扱機(旋回体)は, 走行台車上面に旋回輪軸受取付ボルトで固定されるものとする。
- (3) 燃料取扱機(旋回体)には水平方向地震力と鉛直方向地震力が同時に作用するものとし, **NS** 方向, **EW** 方向の地震力を燃料取扱機(旋回体)に対して厳しい方向に作用するものとする。

2. 計算方法

2.1. 固有周期の計算方法

2.1.1 条件

- (1) 燃料取扱機の重量として構造物及び搭載機器を考慮する。燃料取扱機(旋回体)の重量を表 1 及び構造概要を図 2 に示す。
- (2) 旋回輪軸受取付ボルトは剛な走行台車部に支持されているものとする。
- (3) 燃料取扱機(旋回体)の重量には, 定格荷重を考慮する。

表 1 燃料取扱機(旋回体)の重量

名称	重量(t)
燃料取扱機(旋回体)	22.5
定格荷重	1

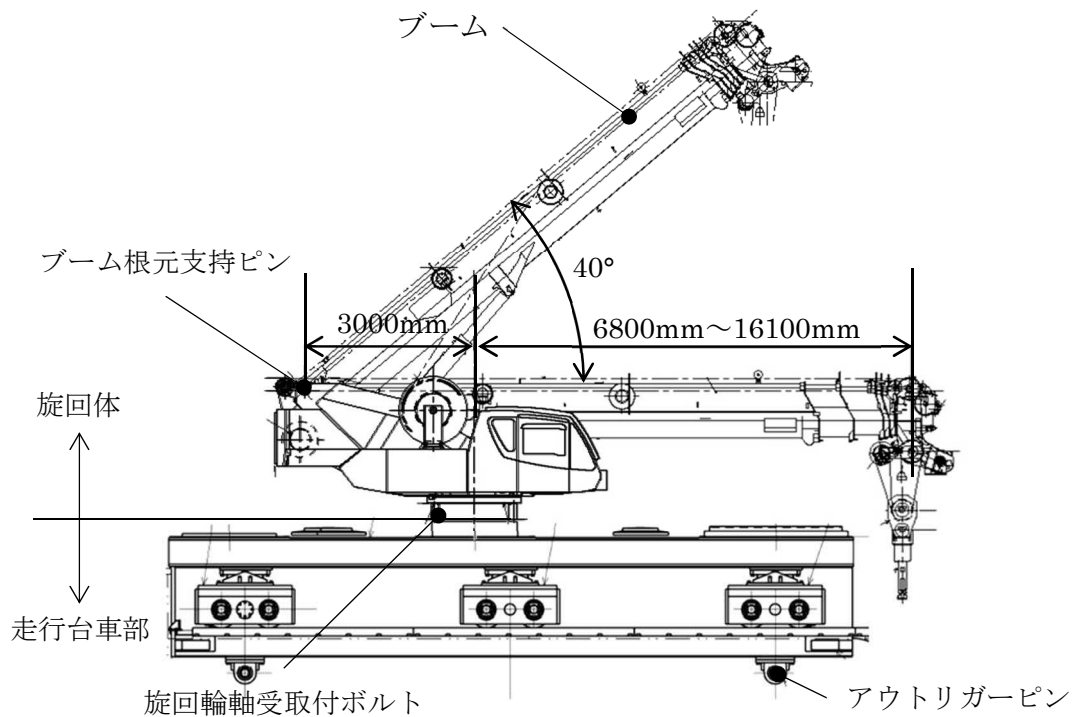


図 2 燃料取扱機 構造概要

2.1.2 計算モデル

2.1.1 の条件に基づいた計算モデルを図 3 に示す。

- (1) ブームは断面形状に基づき断面特性を設定したはり要素でモデル化する。
- (2) ブーム根元支持ピン及び旋回輪軸受取付ボルトははり要素でモデル化する。
- (3) 燃料取扱機(旋回体)は燃料移送時にブーム長さ, 起伏角を変化させて移動するため, 評価は最も厳しい姿勢を考慮し, ブーム長 19.1m, 起伏角 0° とする。

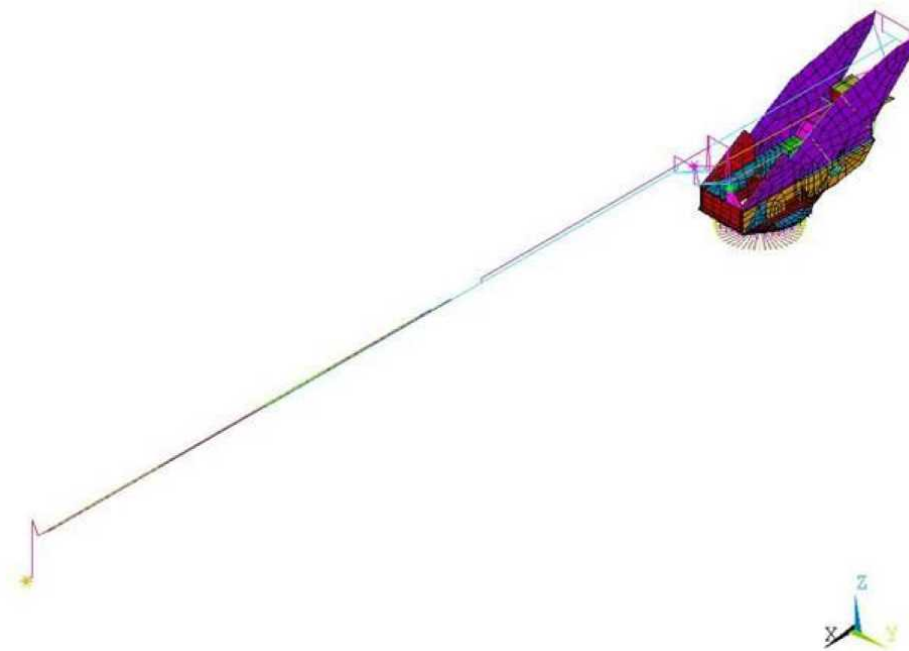


図 3 燃料取扱機(旋回体) 計算モデル

2.1.3 計算

計算には計算機(計算機コード ANSYS)を用いた。

2.2. 計算に用いる入力地震動

耐震設計の基本方針に基づき、入力地震動を選定する。

本評価では、最も厳しい条件として EW 方向+UD 方向の Ss 地震動を原子炉建屋及び燃料取り出し用構台の地震応答解析モデルへ入力し得られる加速度応答時刻歴から求めた設計用床応答スペクトルを用いる。ランウェイガードへの負荷荷重は、燃料取扱状態として燃料取扱設備重量及び燃料取扱機定格荷重を考慮した。本評価で用いる設計用床応答スペクトルを図 4 に示す。

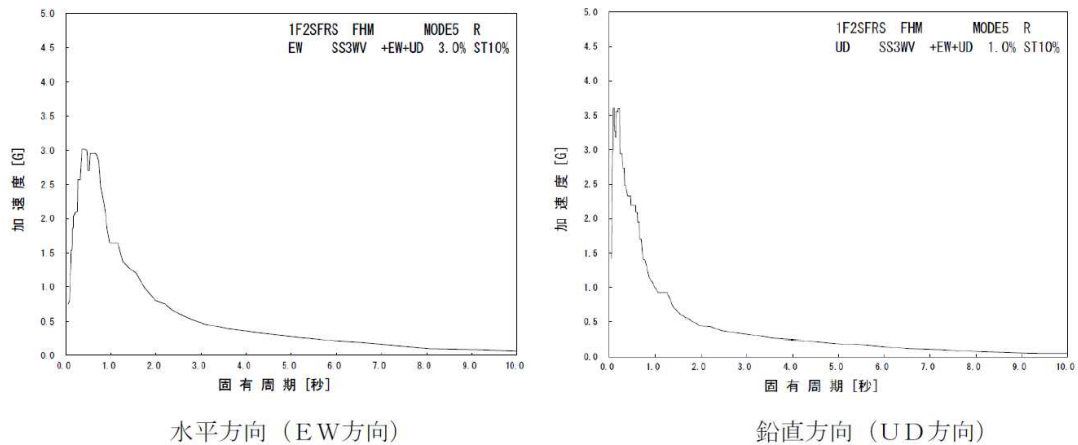


図 4 設計用床応答スペクトル(燃料取扱状態)

3. 評価方法

3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 2 に示す。

表 2 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
ブーム	WEL-TEN980RE	引張	686
		せん断	396
		曲げ	686
		組合せ	686
ブーム根元支持ピン	SNB23-1	せん断	460
		曲げ	1088
		組合せ	798
旋回輪軸受取付ボルト (内側)	SUS630	引張	687
		せん断	529
		組合せ	687
旋回輪軸受取付ボルト (外側)		引張	687
		せん断	529
		組合せ	687

4. 結論

算出応力は、表 3 に示すように、全て許容応力値以下であることを確認した。

表 3 算出応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力 (MPa)
ブーム	WEL-TEN980RE	引張	686	132
		せん断	396	18
		曲げ	686	434
		組合せ	686	567
ブーム根元支持ピン	SNB23-1	せん断	460	186
		曲げ	1088	136
		組合せ	798	350
旋回輪軸受取付ボルト (内側)	SUS630	引張	687	183
旋回輪軸受取付ボルト (外側)		せん断	529	54
		組合せ	687	183
旋回輪軸受取付ボルト (外側)		引張	687	262
		せん断	529	65
		組合せ	687	262

III. クレーン(旋回体)の耐震性についての計算書

1. 概要

1.1. 一般事項

本計算書はクレーン(旋回体)の耐震性についての計算書である。

1.2. 計算条件

- (1) 輸送容器取扱状態以外ではクレーン(旋回体)は吊荷, 旋回体ともに使用済燃料プール上になく, クレーン停止時の姿勢は維持されることから, クレーン(旋回体)の耐震性の評価は評価姿勢, 荷重条件ともに最も厳しい条件となる輸送容器取扱条件で代表する。
- (2) クレーン(旋回体)は, 走行台車上面に旋回輪軸受取付ボルトで固定されるものとする。
- (3) クレーン(旋回体)には水平方向地震力と鉛直方向地震力が同時に作用するものとし, NS 方向, EW 方向の地震力はクレーン(旋回体)に対して厳しい方向に作用するものとする。

2. 計算方法

2.1. 固有周期の計算方法

2.1.1 条件

- (1) クレーンの重量として構造物及び搭載機器を考慮する。クレーン(旋回体)の重量を表 4 及び概要図を図 5 に示す。
- (2) 旋回輪軸受取付ボルトは剛な走行台車に支持されているものとする。
- (3) クレーン(旋回体)の重量には, 定格荷重を考慮する。

表 4 クレーンの重量

名称	重量(t)
クレーン(旋回体)	54
定格荷重	47

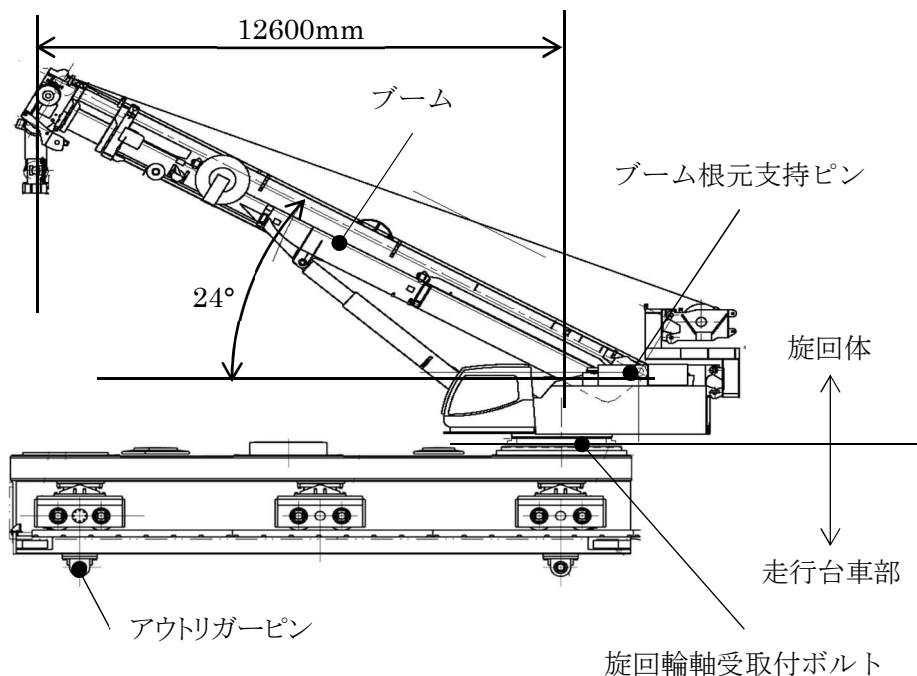


図 5 クレーン 構造概要

2.1.2 計算モデル

2.1.1 の条件に基づいた計算モデルを図 6 に示す。

- (1) ブームは断面形状に基づき断面特性を設定したはり要素でモデル化する。
- (2) ブーム根元支持ピン及び旋回輪軸受取付ボルトははり要素でモデル化する。
- (3) クレーンは輸送容器取扱時の姿勢である旋回半径 12.6m, 起伏角 24° とする。

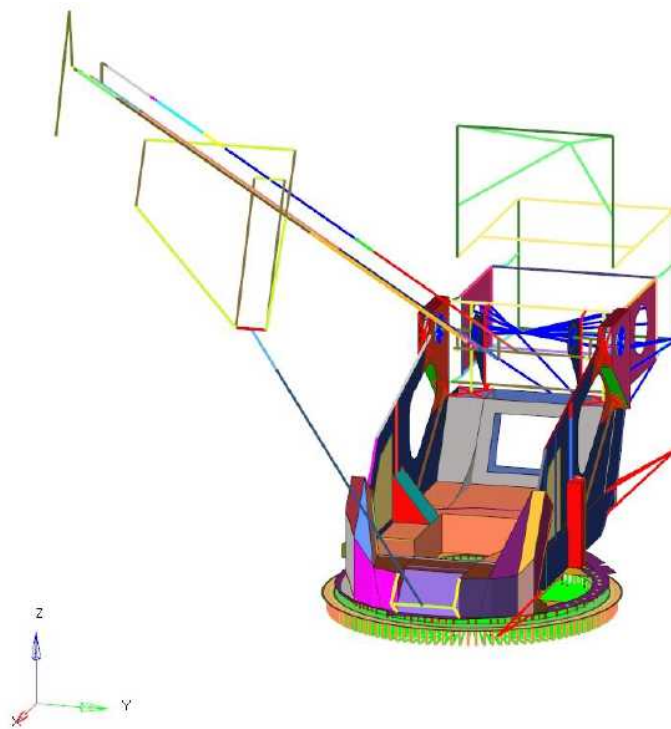


図 6 クレーン(旋回体) 計算モデル

2.1.3 計算

計算には計算機(計算機コード ANSYS)を用いた。

2.2. 計算に用いる入力地震動

耐震設計の基本方針に基づき、入力地震動を選定する。

本評価では、最も厳しい条件として EW 方向+UD 方向の Sd 地震動を原子炉建屋及び燃料取り出し用構台の地震応答解析モデルへ入力し得られる加速度応答時刻歴から求めた設計用床応答スペクトルを用いる。ランウェイガードへの負荷荷重は、輸送容器取扱状態として燃料取扱設備重量及びクレーン定格荷重を考慮した。本評価で用いる設計用床応答スペクトルを図 7 に示す。

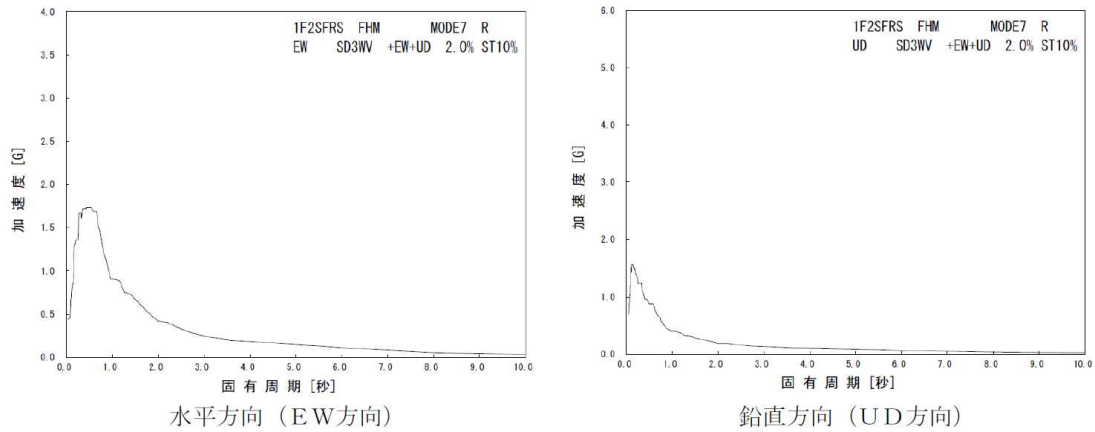


図 7 設計用床応答スペクトル(輸送容器取扱状態)

3. 評価方法

3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 5 に示す。

表 5 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
ブーム	WELDOX1100E	引張	875
		せん断	505
		曲げ	875
		組合せ	875
ブーム根元支持ピン	42CrMo4	せん断	303
		曲げ	525
		組合せ	525
旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	687

4. 結論

算出応力は、表 6 に示す通り、全て許容応力値以下であることを確認した。

表 6 算出応力の評価

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力 (MPa)
ブーム	WELDOX1100E	引張	875	101
		せん断	505	16
		曲げ	875	265
		組合せ	875	367
ブーム根元支持ピン	42CrMo4	せん断	303	187
		曲げ	525	71
		組合せ	525	332
旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	687	580

IV. 燃料取扱機／クレーン(走行台車部)の耐震性についての計算書

1. 概要

1.1. 一般事項

本書は燃料取扱機及びクレーンを構成する走行台車部の耐震性についての計算書である。

1.2. 計算条件

- (1) 燃料取扱設備全体が使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認するため、燃料取扱状態、輸送容器取扱状態、輸送容器移送状態、輸送容器固定状態について評価を行う。
- (2) 走行台車部は走行レール上を走行し、燃料取扱時及び輸送容器取扱時、輸送容器固定状態ではアウトリガーピンによりランウェイガードに固定されるものとする。
- (3) 走行台車部には水平方向地震力と鉛直方向地震力が同時に作用するものとし、水平方向地震力は走行台車に対して、NS 方向, EW 方向から作用する場合を考慮する。

2. 計算方法

2.1. 固有周期の計算方法

2.1.1 条件

- (1) 走行台車部の重量として構造物及び搭載機器を考慮する。走行台車部の重量を表 7 に示す。
- (2) 走行台車部の構造物及び搭載機器に作用する地震力は、搭載機器を支持する構造物フレームからアウトリガーピン及び転倒防止ラグを介してランウェイガードに支持される。このとき、アウトリガーピンは走行台車の走行方向である水平(NS)方向及び鉛直(UD)方向の荷重を、転倒防止ラグは水平(EW)方向の荷重を伝達する。

表 7 走行台車部の重量

名称	重量(t)	各状態において追加で考慮する重量
走行台車部	153.6	—
燃料取扱機(旋回体)	22.5	燃料取扱状態において定格荷重(1t)を考慮
クレーン(旋回体)	54	輸送容器取扱において定格荷重(47t)を考慮
キャスク固定治具	28	輸送容器移送状態、輸送容器固定状態において輸送容器重量(46.3t)を考慮

2.1.2 計算モデル

2.1.1 の条件に基づいた計算モデルを図 8 に示す。

- (1) 走行台車部の計算モデルは、H 形又は箱型断面を有する構造物フレームにより構成される。

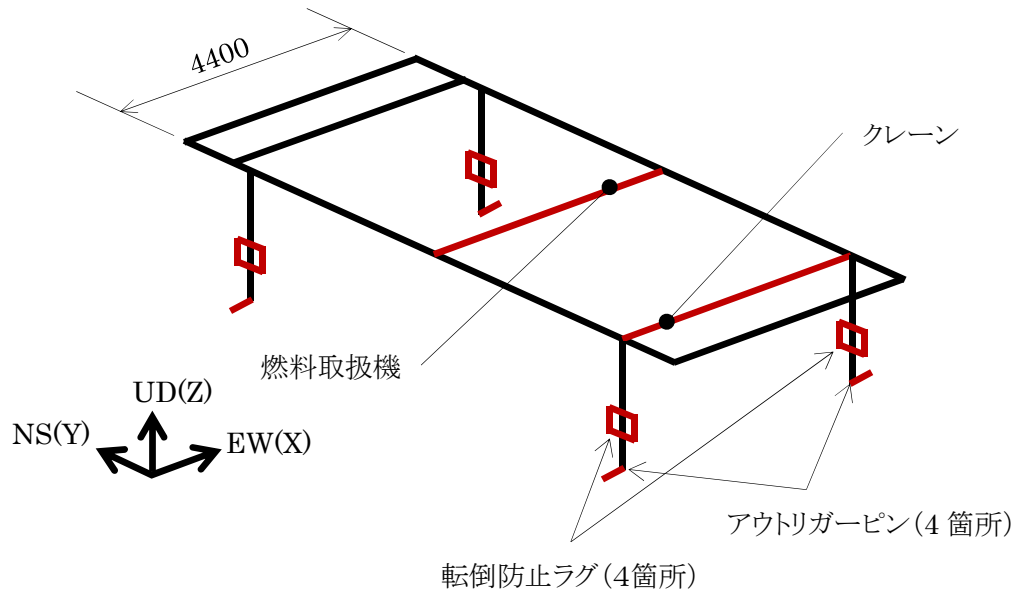


図 8 走行台車 計算モデル

2.1.3 計算

燃料取扱機及びクレーンを支持する構造物フレームの固有周期を次式により求める。

$$T = 2L^2/\pi \cdot \sqrt{w/1000EI}$$

T :固有周期

L :はりの長さ

w :単位長さ当りのはりの重量

E :はりの縦弾性係数

I :はりの断面二次モーメント

2.2. 計算に用いる入力地震動

2.1 項で求めた固有周期から、耐震設計の基本方針に基づき、設計用震度を決定する。表 8 に示す通り、構造フレームは剛構造と考えられるため、各状態におけるランウェイガータへの負荷荷重を考慮し、ランウェイガータの原子炉建屋側燃料取扱設備停止位置から得られる最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を用いて設計用震度とする。

表 8 固有周期と適用する地震動

	燃料取扱機 支持部	クレーン 支持部	設計用震度	
			Ss 地震動	Sd 地震動
鉛直方向	0.01s 以下	0.01s 以下	0.90	0.50
水平方向	0.01s 以下	0.01s 以下	1.22	0.67

3. 評価方法

3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 9 に示す。

表 9 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
構造物フレーム	SM490 ($16 < t \leq 40$)	引張	343
		せん断	198
		曲げ	343
		組合せ	343
アウトリガーピン	SNB23-1	せん断	460
		曲げ	1088
		組合せ	798
転倒防止ラグ	SM490 ($40 < t \leq 100$)	支圧	977

4. 結論

算出応力は、表 10 に示す通り、全て許容応力値以下であることを確認した。

表 10 算定応力の評価

(燃料取扱状態, 輸送容器取扱状態, 輸送容器固定状態, 輸送容器移送状態)

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力(MPa)		
				燃料取扱状態	輸送容器取扱状態	輸送容器固定状態/移送状態
構造物フレーム (燃料取扱機支持部)	SM490 ($16 < t \leq 40$)	引張	343	1	燃料 取扱状態 に包絡	評価 対象外
		せん断	198	13		
		曲げ	343	45		
		組合せ	343	52		
構造物フレーム (クレーン支持部)	SM490 ($16 < t \leq 40$)	引張	343	評価 対象外	1	
		せん断	198		36	
		曲げ	343		211	
		組合せ	343		221	
アウトリガーピン	SNB23-1	せん断	460	126	89	
		曲げ	1088	112	79	
		組合せ	798	246	174	
転倒防止ラグ	SM490 ($40 < t \leq 100$)	支圧	977	85	49	51

5. 数値計算

5.1. 形状・寸法

走行台車の構造概要を図 9 に示す。

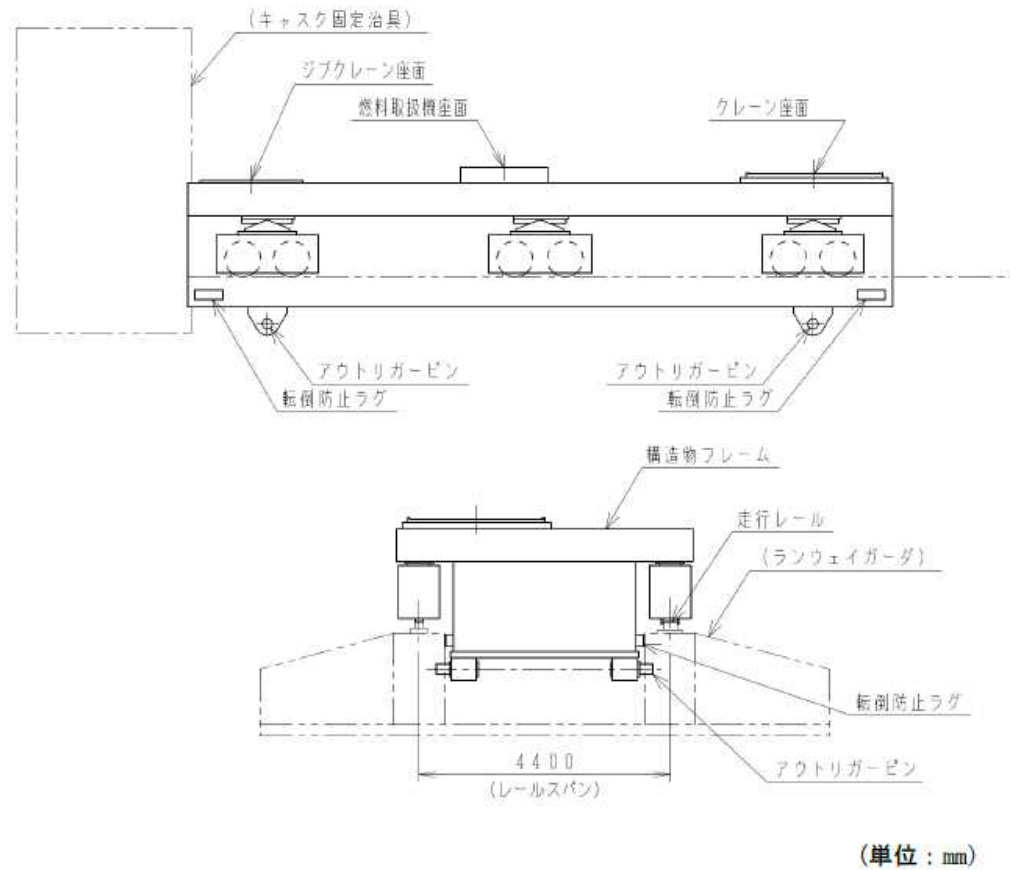


図 9 走行台車 構造概要

5.2. 燃料取扱状態における各部の強度

5.2.1 走行台車の構造物フレーム(燃料取扱機支持部)の強度検討

(1) 引張り応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = 1(\text{MPa})$$

P_{t1} : 構造物フレームに作用する軸方向引張力 $1.693 \times 10^5 (\text{N})$

A_1 : 構造物フレームの断面積 $1.734 \times 10^5 (\text{mm}^2)$

(2) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{\tau y1} + P_{\tau z1})/A_1 + T_1/(2A_{i1} \cdot t_1) = 13(\text{MPa})$$

$$P_{\tau y1} : \text{構造物フレームに作用する } y \text{ 軸方向せん断力} \quad 3.729 \times 10^5(\text{N})$$

$$P_{\tau z1} : \text{構造物フレームに作用する } z \text{ 軸方向せん断力} \quad 4.994 \times 10^5(\text{N})$$

$$T_1 : \text{構造物フレームに作用する捩じりトルク} \quad 3.126 \times 10^8(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$A_{i1} : \text{構造物フレームの内側境界断面} \quad 9.402 \times 10^5(\text{mm}^2)$$

$$t_1 : \text{構造物フレームの最小板厚} \quad 22(\text{mm})$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1} \cdot H_{z1}/I_{yy1} + M_{z1} \cdot B_{y1}/I_{zz1} = 45(\text{MPa})$$

$$M_{y1} : \text{構造物フレームに作用する } y \text{ 軸まわりのモーメント} \quad 1.473 \times 10^9(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{z1} : \text{構造物フレームに作用する } z \text{ 軸まわりのモーメント} \quad 5.071 \times 10^8(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$H_{z1} : \text{構造物フレームの評価断面中立軸から評価点までの } z \text{ 方向の長さ} \quad 288(\text{mm})$$

$$B_{y1} : \text{構造物フレームの評価断面中立軸から評価点までの } y \text{ 方向の長さ} \quad 850(\text{mm})$$

$$I_{yy1} : \text{構造物フレームにおける } y \text{ 軸まわりの断面二次モーメント} \quad 1.074 \times 10^{10}(\text{mm}^4)$$

$$I_{zz1} : \text{構造物フレームにおける } z \text{ 軸まわりの断面二次モーメント} \quad 9.279 \times 10^{10}(\text{mm}^4)$$

(4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma t1} = \sqrt{(\sigma_{t1} + \sigma_{b1})^2 + 3\tau_1^2} = 52(\text{MPa})$$

5.2.2 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)の強度検討

クレーン(旋回体)は吊荷, 旋回体ともに使用済燃料プール上から退避しており, クレーン停止中の姿勢は維持されることから, 使用済燃料プールや使用済燃料貯蔵ラックに波及的影響を及ぼすことはない。

5.2.3 アウトリガーピンの強度検討

(1) せん断応力

$$\tau_3 = P_{\tau 3} / (\pi d^2 / 4) = 126(\text{MPa})$$

$$P_{\tau 3} \quad : \text{ピンに作用するせん断力} \quad 3.206 \times 10^6 (\text{N})$$

$$d \quad : \text{ピンの外径} \quad 180 (\text{mm})$$

(2) 曲げ応力

$$\sigma_{b3} = (P_{\tau 3} \cdot L_3 / 2) / (\pi d^3 / 32) = 112(\text{MPa})$$

$$L_3 \quad : \text{ピンの曲げ長さ} \quad 40 (\text{mm})$$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 3} = \sqrt{\sigma_{b3}^2 + 3\tau_3^2} = 246(\text{MPa})$$

5.2.4 転倒防止ラグの強度検討

(1) 支圧応力

$$\sigma_{p4} = P_{p4} / A_4 = 85(\text{MPa})$$

$$P_{p4} \quad : \text{転倒防止ラグに作用する水平力} \quad 1.699 \times 10^6 (\text{N})$$

$$A_4 \quad : \text{支圧面積}$$

$$2.000 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

5.3. 輸送容器取扱状態における各部の強度

5.3.1 走行台車の構造物フレーム(燃料取扱機支持部)の強度検討

5.2.1 の評価に包含される。

5.3.2 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)の強度検討

(1) 引張り応力

$$\sigma_{t2} = P_{t2} / A_2 = 1(\text{MPa})$$

$$P_{t2} \quad : \text{構造物フレームに作用する軸方向引張り力} \quad 1.545 \times 10^5 (\text{N})$$

$$A_2 \quad : \text{構造物フレームの断面積} \quad 1.998 \times 10^5 (\text{mm}^2)$$

(2) せん断応力

$$\tau_2 = (P_{\tau y2} + P_{\tau z2}) / A_2 + T_2 / (2 \cdot A_{i2} \cdot t_2) = 36(\text{MPa})$$

$$P_{\tau y2} \quad : \text{構造物フレームに作用する y 軸方向せん断力} \quad 5.490 \times 10^5 (\text{N})$$

$$P_{\tau z2} \quad : \text{構造物フレームに作用する z 軸方向せん断力} \quad 3.057 \times 10^6 (\text{N})$$

$$T_2 \quad : \text{構造物フレームに作用する捩じりトルク} \quad 9.935 \times 10^8 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$A_{i2} \quad : \text{構造物フレームの内側境界断面} \quad 1.273 \times 10^6 (\text{mm}^2)$$

$$t_2 \quad : \text{構造物フレームの最小板厚} \quad 22 (\text{mm})$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_{b2} = M_{y2} \cdot H_{z2} / I_{yy2} + M_{z2} \cdot B_{y2} / I_{zz2} = 211(\text{MPa})$$

$$M_{y2} \quad : \text{構造物フレームに作用する } y \text{ 軸まわりのモーメント} \\ 9.096 \times 10^9 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{z2} \quad : \text{構造物フレームに作用する } z \text{ 軸まわりのモーメント} \\ 7.675 \times 10^8 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$H_{z2} \quad : \text{構造物フレームの評価断面中立軸から評価点までの } z \text{ 方向の長さ} \\ 288 (\text{mm})$$

$$B_{y2} \quad : \text{構造物フレームの評価断面中立軸から評価点までの } y \text{ 方向の長さ} \\ 1150 (\text{mm})$$

$$I_{yy2} \quad : \text{構造物フレームにおける } y \text{ 軸まわりの断面二次モーメント} \\ 1.276 \times 10^{10} (\text{mm}^4)$$

$$I_{zz2} \quad : \text{構造物フレームにおける } z \text{ 軸まわりの断面二次モーメント} \\ 1.793 \times 10^{11} (\text{mm}^4)$$

(4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma\tau 2} = \sqrt{(\sigma_{t2} + \sigma_{b2})^2 + 3\tau_2^2} = 221(\text{MPa})$$

5.3.3 アウトリガーピンの強度検討

(1) せん断応力

$$\tau_4 = P_{\tau 4} / (\pi d^2 / 4) = 89(\text{MPa})$$

$$P_{\tau 4} \quad : \text{ピンに作用するせん断力} \quad 2.255 \times 10^6 (\text{N})$$

$$d \quad : \text{ピンの外径} \quad 180 (\text{mm})$$

(2) 曲げ応力

$$\sigma_{b4} = (P_{\tau 4} \cdot L_3 / 2) / (\pi d^3 / 32) = 79(\text{MPa})$$

$$L_3 \quad : \text{ピンの曲げ長さ} \quad 40 (\text{mm})$$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 3} = \sqrt{\sigma_{b3}^2 + 3\tau_4^2} = 174(\text{MPa})$$

5.3.4 転倒防止ラグの強度検討

(1) 支圧応力

$$\sigma_{p5} = P_{p5} / A_4 = 49(\text{MPa})$$

$$P_{p5} \quad : \text{転倒防止ラグに作用する水平力} \quad 9.650 \times 10^5 (\text{N})$$

$$A_4 \quad : \text{支圧面積} \quad 2.000 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

5.4. 輸送容器固定状態／輸送容器移送状態における各部の評価

5.4.1 走行台車の構造物フレーム(燃料取扱機支持部)の強度検討

燃料取扱機(旋回体)は吊荷, 旋回体ともに使用済燃料プール上から退避しており, 燃料取扱機停止中の姿勢は維持されることから, 使用済燃料プールや使用済燃料貯蔵ラックに波及的影響を及ぼすことはない。

5.4.2 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)の強度検討

クレーン(旋回体)は吊荷, 旋回体ともに使用済燃料プール上から退避しており, クレーン停止中の姿勢は維持されることから, 使用済燃料プールや使用済燃料貯蔵ラックに波及的影響を及ぼすことはない。

5.4.3 アウトリガーピンの強度検討

輸送容器移送状態ではアウトリガーピンは格納状態とするため, 輸送容器固定状態を含めて, 転倒方向の荷重は転倒防止ラグにて荷重を受けるものとする。

5.4.4 転倒防止ラグの強度検討

(1) 支圧応力

$$\sigma_{p6} = P_{p6}/A_4 = 51(\text{MPa})$$

$$P_{p6} \quad : \text{転倒防止ラグに作用する水平力} \quad 1.018 \times 10^6 (\text{N})$$

$$A_4 \quad : \text{支圧面積} \quad 2.000 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

V. キャスク固定治具の耐震性についての計算書

1. 概要

1.1. 一般事項

本計算書はキャスク固定治具の耐震性についての計算書である。

1.2. 計算条件

- (1) キャスク固定治具に積載する輸送容器が転倒して使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認するため、輸送容器移送状態、輸送容器固定状態について評価を行う。設計床応答スペクトルは加速度応答のより大きいランウェイガータ先端側を含む走行台車車輪位置 6 点を包絡したものを使用するため輸送容器移送状態は輸送容器固定状態で代表する。
- (2) キャスク固定治具には水平方向地震力と鉛直方向地震力が同時に作用するものとし、水平方向地震力はキャスク固定治具に対し、NS 方向から作用する場合と EW 方向から作用する場合を考慮する。

2. 計算方法

2.1. 固有周期の計算方法

2.1.1 条件

- (1) キャスク固定治具の重量として構造物及び搭載機器(輸送容器)を考慮する。キャスク固定治具の重量を表 11 に、構造概要を図 10 に示す。
- (2) キャスク固定治具取付ボルトは剛な走行台車に支持されているものとする。
- (3) キャスク固定治具取付ボルトにせん断力が生じないよう、走行台車接続部に発生するせん断力は構造物フレームで支持する構造とする。

表 11 キャスク固定治具の重量

名称	重量(t)
キャスク固定治具	28
搭載機器(輸送容器)	46.3

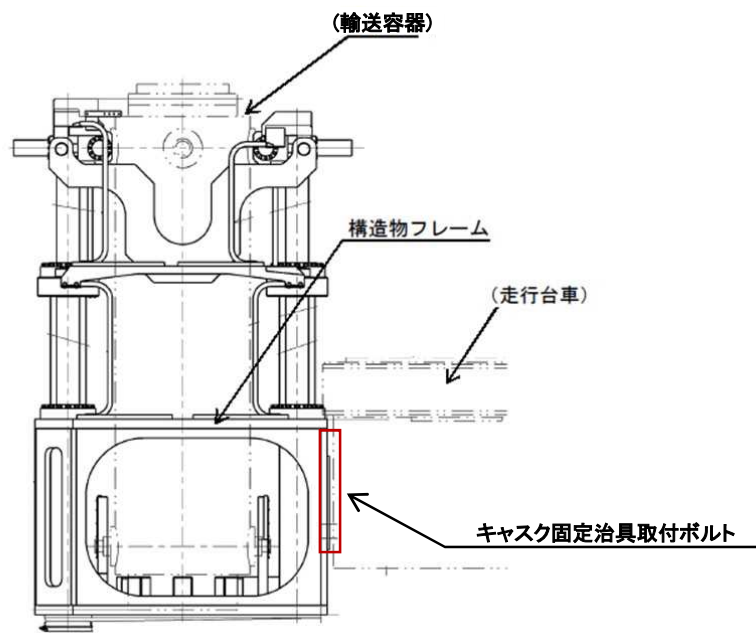


図 10 キャスク固定治具 構造概要

2.1.2 計算モデル

2.1.1 の条件に基づいた計算モデルを図 11 に示す。

- (1) 輸送容器を支持する構造物フレームははり要素でモデル化する。

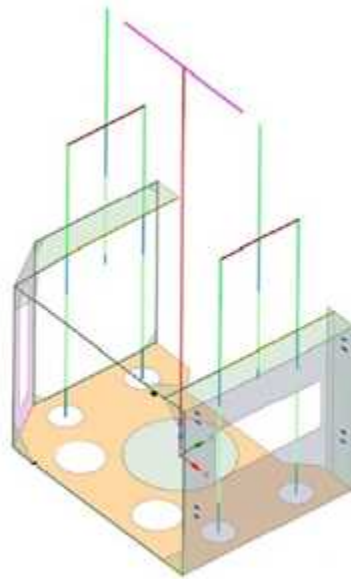


図 11 キャスク固定治具 計算モデル

2.1.3 計算

計算は計算機(計算機コード ANSYS)を用いて計算した。

2.2. 計算に用いる入力地震動

耐震設計の基本方針に基づき、入力地震動を選定する。

本評価では、最も厳しい条件として NS 方向+UD 方向の Sd 地震動を原子炉建屋及び燃料取り出し用構台の地震応答解析モデルへ入力し得られる応答加速度時刻歴から求めた設計用床応答スペクトルを用いる。ランウェイガータへの負荷荷重は、輸送容器固定状態として燃料取扱設備重量及び輸送容器重量を考慮した。本評価で用いる設計用床応答スペクトルを図 12 に示す。

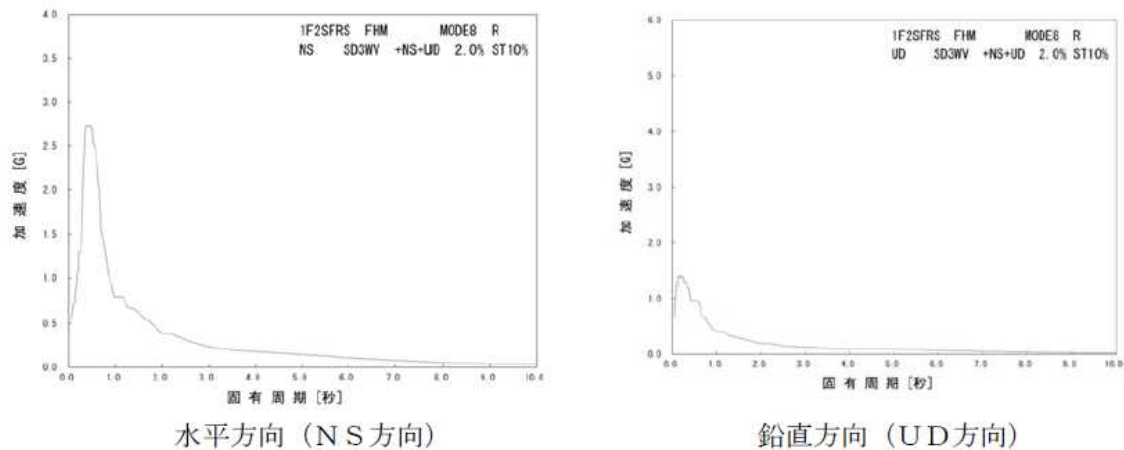


図 12 設計用床応答スペクトル(輸送容器固定状態)

3. 評価方法

3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 12 に示す。

表 12 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
構造物フレーム	SM490B (40<t≤100)	引張	343
		せん断	198
		曲げ	343
		組合せ	343
キャスク固定治具取付ボルト	SNB23-1	引張	598

4. 結論

算出応力は, 表 13 に示す通り全て許容応力値以下であることを確認した。

表 13 算出応力の評価

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力 (MPa)
構造物フレーム	SM490B ($40 < t \leq 100$)	引張	343	13
		せん断	198	22
		曲げ	343	162
		組合せ	343	180
キャスク固定治具取付ボルト	SNB23-1	引張	598	101