

廃炉発官 R 4 第 1 5 3 号  
令和 4 年 1 2 月 2 1 日

原子力規制委員会 殿

東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 3 号  
東京電力ホールディングス株式会社  
代表執行役社長 小早川 智明

福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 変更認可申請書の  
一部補正について

令和 4 年 3 月 2 2 日付け廃炉発官 R 3 第 2 3 5 号をもって申請しました福島第一  
原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 変更認可申請書を別紙の通り一部補  
正をいたします。

以 上

「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画」及び「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 別冊集」について、下記の箇所を別添の通りとする。

補正箇所、補正理由及びその内容は以下の通り。

○福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画

2号機燃料取扱設備設置に関して、審査の進捗を踏まえ、下記の通り補正を行う。

併せて、増設多核種除去設備前処理設備改造に関する配管仕様の追加に伴い記載の適正化を行う。

併せて、原規規発第2210277号にて認可された実施計画の反映を行う。

Ⅱ 特定原子力施設の設計、設備

2 特定原子力施設の構造及び設備、工事の計画

2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備

本文

- ・2号機燃料取扱設備設置に伴う基本設計及び基本仕様について記載の追加
- ・記載の適正化
- ・原規規発第2210277号にて認可された実施計画の反映

添付資料－1－1

- ・2号機燃料取扱設備の燃料の落下防止に関する記載の追加
- ・記載の適正化

添付資料－1－3

- ・変更なし

添付資料－3－3

- ・変更なし

添付資料－4－1

- ・2号機燃料取扱設備の構造強度及び耐震性について記載の追加

2.16 放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設

2.16.2 増設多核種除去設備

本文

- ・主要配管仕様の追加に伴う記載の適正化



○福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 別冊集

目次

- ・別冊 2 8 VI 燃料取扱設備の耐震性についての計算書を新規記載

別冊 2 8 2号機 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備に係る補足説明について

I 燃料取り出し用構台 補足説明資料

- ・変更なし

II 換気設備 換気風量について

- ・変更なし

III 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耐震性についての計算書

- ・変更なし

IV 2号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台に対する1/2Ss450評価について

- ・変更なし

V 2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書

- ・変更なし

VI 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を新規記載

以 上

別添

## 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備

### 2.11.1 基本設計

#### 2.11.1.1 設置の目的

使用済燃料プールからの燃料取り出しは、燃料取り出し用カバー（又はコンテナ）の設置による作業環境の整備、燃料等を取り扱う燃料取扱設備の設置を行い、燃料を使用済燃料プール内の使用済燃料貯蔵ラックから取り出し原子炉建屋から搬出することを目的とする。

使用済燃料プールからの燃料取り出し設備は、燃料取扱設備、構内用輸送容器、燃料取り出し用カバーで構成される。燃料取扱設備は、燃料取扱機、クレーンで構成され、燃料取り出し用カバーにより支持される。なお、燃料の原子炉建屋外への搬出には、構内用輸送容器を使用する。

また、クレーンはオペレーティングフロア上での資機材運搬や揚重等にも使用する。

#### 2.11.1.2 要求される機能

##### (1) 燃料取扱設備

燃料取扱設備は、二重のワイヤなどにより落下防止を図る他、駆動源喪失時にも燃料集合体を落下させない設計とする。

また、遮蔽、臨界防止を考慮した設計とする。

##### (2) 構内用輸送容器

構内用輸送容器は、除熱、密封、遮蔽、臨界防止を考慮した設計とする。また、破損燃料集合体を収納して輸送する容器については、燃料集合体の破損形態に応じて輸送中に放射性物質の飛散・拡散を防止できる設計とする。

##### (3) 燃料取り出し用カバー

燃料取り出し用カバーは、燃料取扱設備の支持、作業環境の整備及び放射性物質の飛散・拡散防止ができる設計とする。

#### 2.11.1.3 設計方針

##### (1) 燃料取扱設備

###### a. 落下防止

(a) 使用済燃料貯蔵ラック上には、重量物を吊ったクレーンを通過できないようにインターロックを設け、貯蔵燃料への重量物の落下を防止できる設計とする。

(b) 燃料取扱機の燃料把握機は、二重のワイヤや種々のインターロックを設け、また、クレーンの主要要素は、二重化を施すことなどにより、燃料移送操作中の燃料集合体等の落下を防止できる設計とする。

b. 遮蔽

燃料取扱設備は、使用済燃料プールから構内用輸送容器への燃料集合体の収容操作を、燃料の遮蔽に必要な水深を確保した状態で、水中で行うことができる設計とするか、放射線防護のための適切な遮蔽を設けて行う設計とする。

c. 臨界防止

燃料取扱設備は、燃料集合体を一体ずつ取り扱う構造とすることにより、燃料の臨界を防止する設計とする。

d. 放射線モニタリング

燃料取扱エリアの放射線モニタリングのため、放射線モニタを設け放射線レベルを測定し、これを免震重要棟集中監視室に表示すると共に、過度の放射線レベルを検出した場合には警報を発し、放射線業務従事者に伝える設計とする。

e. 単一故障

- (a) 燃料取扱機の燃料把握機は、二重のワイヤや燃料集合体を確実につかんでいない場合には吊上げができない等のインターロックを設け、圧縮空気等の駆動源が喪失した場合にも、フックから燃料集合体が外れない設計とする。
- (b) 燃料取扱機の安全運転に係わるインターロックは電源喪失、ケーブル断線で安全側になる設計とする。
- (c) クレーンの主要要素は、二重化を施すことなどにより、移送操作中の構内用輸送容器等の落下を防止できる設計とする。

f. 試験検査

燃料取扱設備のうち安全機能を有する機器は、適切な定期的試験及び検査を行うことができる設計とする。

また、破損燃料を取り扱う場合、燃料取扱設備は、破損形態に応じた適切な取扱手法により、移送中の放射性物質の飛散・拡散を防止できる設計とする。

(2) 構内用輸送容器

a. 除熱

使用済燃料の健全性及び構内用輸送容器構成部材の健全性が維持できるように、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計とする。

b. 密封

周辺公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込める設計とする。

c. 遮蔽

内部に燃料を入れた場合に放射線障害を防止するため、使用済燃料の放射線を適切に遮蔽する設計とする。

d. 臨界防止

想定されるいかなる場合にも、燃料が臨界に達することを防止できる設計とする。

また、破損燃料集合体を収納して輸送する容器は燃料集合体の破損形態に応じて輸送中に放射性物質の飛散・拡散を防止できる設計とする。

(3) 燃料取り出し用カバー

a. 燃料取り出し作業環境の整備

燃料取り出し用カバーは、燃料取り出し作業に支障が生じることのないよう、風雨を遮る設計とする。

また、必要に応じ燃料取り出し用カバー内にローカル空調機を設置し、カバー内の作業環境の改善を図るものとする。

b. 放射性物質の飛散・拡散防止

燃料取り出し用カバーは、隙間を低減するとともに、換気設備を設け、排気はフィルタユニットを通じて大気へ放出することにより、カバー内の放射性物質の大気への放出を抑制できる設計とする。

2.11.1.4 供用期間中に確認する項目

(1) 燃料取扱設備

燃料取扱設備は、動力源がなくなった場合においても吊り荷を保持し続けること。

(2) 構内用輸送容器

構内用輸送容器は、除熱、密封、遮蔽、臨界防止の安全機能が維持されていること。

(3) 燃料取り出し用カバー

対象外とする。

2.11.1.5 主要な機器

(1) 燃料取扱設備

燃料取扱設備は、燃料取扱機、クレーンで構成する。なお、2号機の燃料取扱設備には、これらに加えてジブクレーンを備える。

a. 燃料取扱機

燃料取扱機は、使用済燃料プール及びキャスクピット上を水平に移動するブリッジ並びにその上を移動するトロリで構成する。なお、2号機の燃料取扱機は、低床ジブクレーンとし、原子炉建屋オペレーティングフロア、燃料取り出し用カバー間を水平に移動する走行台車とその上に設置する旋回体で構成する。

b. クレーン

クレーンは、オペレーティングフロア上部を水平に移動するガーダ及びその上を

移動するトロリで構成する。なお、2号機のクレーンは、低床ジブクレーンとし、原子炉建屋オペレーティングフロア、燃料取り出し用カバー間を水平に移動する走行台車とその上に設置する旋回体で構成する。

(2) 構内用輸送容器

構内用輸送容器は、容器本体、蓋、バスケット等で構成する。

(3) 燃料取り出し用カバー

燃料取り出し用カバーは、2号機を除き使用済燃料プールを覆う構造としており、必要により、燃料取扱機支持用架構及びクレーン支持用架構を有する。

なお、2号機については、燃料取扱機支持用架構及びクレーン支持用架構を有する燃料取り出し用構台を新設し、既存の原子炉建屋に新たに設ける開口部から、燃料取扱設備を出し入れする構造とする。

また、燃料取り出し用カバーは換気設備及びフィルタユニットを有する。

1号機の燃料取り出し用カバーは、大型カバーとその内部に設ける内部カバーで構成する。

なお、換気設備の運転状態やフィルタユニット出入口で監視する放射性物質濃度等の監視状態は現場制御盤及び免震重要棟集中監視室に表示され、異常時は警報を発するなどの管理を行う。

#### 2.11.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

燃料取扱設備は、東北地方太平洋沖地震津波相当の津波が到達しないと考えられる原子炉建屋オペレーティングフロア上（地上からの高さ約30m）に設置する。

燃料取り出し用カバーは鉄骨構造と鋼製の外装材により構成されているが、閉空間になっておらず、津波襲来時には、水は燃料取り出し用カバーの裏側に回り込み、津波による影響を受けない。

(2) 豪雨、台風、竜巻、落雷

燃料取り出し用カバーは、建築基準法及び関係法令に基づいた風圧力に対し耐えられるよう設計する。

燃料取扱設備は、建築基準法及び関係法令に基づいた風圧力に対し耐えられるよう設計している燃料取り出し用カバー内に設置する。

燃料取出し用カバーは外装材で覆うことにより風雨を遮る設計とする。燃料取扱設備は、風雨を遮る設計である燃料取出し用カバー内に設置する。

燃料取扱設備および燃料取り出し用構台は建築基準法及び関連法令に従い必要に応じて避雷設備を設ける。

(3) 外部人為事象

外部人為事象に対する設計上の考慮については、Ⅱ.1.14 参照。

#### (4) 火災

燃料取り出し用カバー及び燃料取り出し用カバー内外の主要構成機器は不燃性のものを使用し、電源盤については不燃性又は難燃性、ケーブルについては難燃性のものを可能な限り使用し、火災が発生することを防止する。火災の発生が考えられる箇所について、火災の早期検知に努めるとともに、消火器を設置することで初期消火活動を可能にし、火災により安全性を損なうことのないようにする。

#### (5) 環境条件

燃料取扱設備については、燃料取り出し用カバーに換気設備を設け、排気はフィルタユニットを通じて大気へ放出することとしている。

燃料取り出し用カバーの外部にさらされている鉄骨部及び機器等は、劣化防止を目的に、塗装を施す。

#### (6) 被ばく低減対策

放射線業務従事者が立ち入る場所の外部放射線に係る線量率を把握し、作業時間等を管理することで、作業時の被ばく線量が法令に定められた線量限度を超えないようにする。

また、放射線業務従事者の被ばく線量低減策として、大組した構造物をクレーンにてオペレーティングフロアへ吊り込むことにより、オペレーティングフロア上での有人作業の削減を図る。

### 2.11.1.7 運用

#### (1) 燃料集合体の健全性確認

使用済燃料プールに貯蔵されている燃料集合体について、移送前に燃料集合体の機械的健全性を確認する。

#### (2) 破損燃料の取り扱い

燃料集合体の機械的健全性確認において、破損が確認された燃料集合体を移送する場合には、破損形態に応じた適切な取扱手法及び収納方法により、放射性物質の飛散・拡散を防止する。

### 2.11.1.8 構造強度及び耐震性

#### (1) 構造強度

##### a. 燃料取扱設備

燃料取扱設備は、設計、材料の選定、製作及び検査について、適切と認められる規格及び基準による。

燃料取扱設備は、地震荷重等の適切な組合せを考慮しても強度上耐え得る設計とする。

b. 構内用輸送容器

構内用輸送容器は取扱中における衝撃、熱等に耐え、かつ、容易に破損しない設計とする。

構内用輸送容器は、設計、材料の選定、製作及び検査について適切と認められる規格及び基準によるものとする。

c. 燃料取り出し用カバー

燃料取り出し用カバーは、設計、材料の選定、製作及び検査について、適切と認められる規格及び基準を原則とするが、特殊な環境下での設置となるため、必要に応じ解析や試験等を用いた評価により確認する。

燃料取り出し用カバーは、燃料取扱設備を支持するために必要な構造強度を有する設計とする。

(2) 耐震性

a. 燃料取扱設備

(a) 燃料取扱機

燃料取扱機は、2021年9月8日及び2022年11月16日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で、核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とする。

ただし、2021年9月8日以前に認可された設備については、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を参考にして耐震クラスを分類している。

(b) クレーン

クレーンは、2021年9月8日及び2022年11月16日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で、核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とする。

ただし、2021年9月8日以前に認可された設備については、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を参考にして耐震クラスを分類している。

b. 燃料取り出し用カバー

燃料取り出し用カバーは、2021年9月8日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で、核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参



考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とする。

ただし、2021 年 9 月 8 日以前に認可された設備については、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を参考にして耐震クラスを分類している。

## 2.11.2 基本仕様

### 2.11.2.1 主要仕様

#### (1) 燃料取扱設備

(2号機, 3号機及び4号機を除く)

##### a. 燃料取扱機

個数	1 式
----	-----

##### b. クレーン

個数	1 式
----	-----

(4号機)

##### a. 燃料取扱機

型式	燃料把握機付移床式
----	-----------

基数	1 基
----	-----

定格荷重	燃料把握機	: 450kg
	補助ホイス	: 450kg

##### b. クレーン

型式	天井走行式
----	-------

基数	1 基
----	-----

定格荷重	主巻	: 100t
	補巻	: 5t
	ホイス	: 10t

##### c. エリア放射線モニタ

検出器の種類	半導体検出器
--------	--------

計測範囲	$10^{-3} \sim 10\text{mSv/h}$
------	-------------------------------

個数	2 個
----	-----

取付箇所	4号機 原子炉建屋 5FL (燃料取り出し用カバーオペフロ階)
------	---------------------------------

(3号機)

a. 燃料取扱機

型式	燃料把握機付移床式		
基数	1 基		
定格荷重	燃料把握機	:	1t
	西側補助ホイスト	:	4.9t
	東側補助ホイスト	:	4.9t
	テンシルトラス	:	1.5t

b. クレーン

型式	床上走行式		
基数	1 基		
定格荷重	主巻	:	50t
	補巻	:	5t

c. エリア放射線モニタ

検出器の種類	半導体検出器		
計測範囲	$10^{-2} \sim 10^2 \text{mSv/h}$		
個数	2 個		
取付箇所	3号機 燃料取り出し用カバー 燃料取り出し作業フロア		

(2号機)

a. 燃料取扱機

型式	低床ジブクレーン		
基数	1 基		
定格荷重	: 1t		

b. クレーン

型式	低床ジブクレーン		
基数	1 基		
定格荷重	: 47t		

c. ジブクレーン

型式	低床ジブクレーン		
基数	1 基		
定格荷重	: 3.9t		

d. エリア放射線モニタ

検出器の種類	半導体検出器
計測範囲	$10^{-2} \sim 10^2 \text{mSv/h}$
個数	2 個
取付箇所	2 号機 燃料取り出し用構台作業エリア

(2) 構内用輸送容器

(3 号機及び 4 号機を除く)

基数	1 式
----	-----

(4 号機)

型式	NFT-22B 型
収納体数	22 体
基数	2 基

型式	NFT-12B 型
収納体数	12 体
基数	2 基

(3 号機)

種類	密封式円筒形
収納体数	7 体
基数	2 基

種類	密封式円筒形
収納体数	2 体
基数	1 基

(3) 燃料取り出し用カバー（換気設備含む）

（４号機）

a. 燃料取り出し用カバー

種類	鉄骨造
寸法	約 69m（南北）×約 31m（東西）×約 53m（地上高） （作業環境整備区画） 約 55m（南北）×約 31m（東西）×約 23m（オペレーティングフロア上部高さ）
個数	1 個

b. 送風機（給気フィルタユニット）

種類	遠心式
容量	25,000m <sup>3</sup> /h
台数	3 台

c. プレフィルタ（給気フィルタユニット）

種類	中性能フィルタ（袋型）
容量	25,000m <sup>3</sup> /h
台数	3 台

d. 高性能粒子フィルタ（給気フィルタユニット）

種類	高性能粒子フィルタ
容量	25,000m <sup>3</sup> /h
効率	97%（粒径 0.3 μm）以上
台数	3 台

e. 排風機（排気フィルタユニット）

種類	遠心式
容量	25,000m <sup>3</sup> /h
台数	3 台

f. プレフィルタ（排気フィルタユニット）

種類	中性能フィルタ（袋型）
容量	25,000m <sup>3</sup> /h
台数	3 台

g. 高性能粒子フィルタ（排気フィルタユニット）

種類	高性能粒子フィルタ
容量	25,000m <sup>3</sup> /h
効率	97%（粒径 0.3 μm）以上
台数	3 台

h. 放射性物質濃度測定器（排気フィルタユニット出入口）

(a) 排気フィルタユニット入口

検出器の種類	シンチレーション検出器
計測範囲	10 <sup>0</sup> ～10 <sup>4</sup> s <sup>-1</sup>
台数	1 台

(b) 排気フィルタユニット出口

排気フィルタユニット出口については、Ⅱ2.15 放射線管理関係設備等参照

i. ダクト

(a) カバー内ダクト

種類	長方形はぜ折りダクト／鋼板ダクト
材質	溶融亜鉛めっき鋼板（SGCC 又は SGHC）／SS400

(b) 屋外ダクト

種類	長方形はぜ折りダクト／鋼板ダクト
材質	溶融亜鉛めっき鋼板 （SGCC 又は SGHC，ガルバニウム付着）／SS400

(c) 柱架構ダクト

種類	柱架構
材質	鋼材

（3号機）

a. 燃料取り出し用カバー

種類	鉄骨造
寸法	約 19m（南北）×約 57m（東西）×約 54m（地上高） （作業環境整備区画） 約 19m（南北）×約 57m（東西）×約 24m（オペレーテ ィングフロア上部高さ）
個数	1 個

b. 排風機

種類	遠心式
容量	30,000m <sup>3</sup> /h
台数	2 台

c. プレフィルタ（排気フィルタユニット）

種類	中性能フィルタ
容量	10,000m <sup>3</sup> /h
台数	4 台

d. 高性能粒子フィルタ（排気フィルタユニット）

種類	高性能粒子フィルタ
容量	10,000m <sup>3</sup> /h
効率	97%（粒径 0.3 μm）以上
台数	4 台

e. 放射性物質濃度測定器（排気フィルタユニット出入口）

(a) 排気フィルタユニット入口

検出器の種類	シンチレーション検出器
計測範囲	10 <sup>-1</sup> ～10 <sup>5</sup> s <sup>-1</sup>
台数	1 台

(b) 排気フィルタユニット出口

排気フィルタユニット出口については、Ⅱ2.15 放射線管理関係設備等参照

f. ダクト

種類	はぜ折りダクト／鋼板ダクト
材質	ガルバリウム鋼板／SS400

（2号機）

a. 燃料取り出し用構台

種類	鉄骨造
寸法	約 33m（南北）×約 27m（東西）×約 45m（地上高） （作業環境整備区画） 約 33m（南北）×約 27m（東西）×約 17m（オペレーティングフロア上部高さ）
個数	1 個

b. 排風機

種類	遠心式
容量	30,000m <sup>3</sup> /h
台数	2 台

c. プレフィルタ（排気フィルタユニット）

種類	中性能フィルタ
容量	10,000m <sup>3</sup> /h
台数	4 台

d. 高性能粒子フィルタ（排気フィルタユニット）

種類	高性能粒子フィルタ
容量	10,000m <sup>3</sup> /h
効率	97%（粒径 0.3 μm）以上
台数	4 台

e. 放射性物質濃度測定器（排気フィルタユニット出入口）

(a) 排気フィルタユニット入口

検出器の種類	シンチレーション検出器
計測範囲	10 <sup>-1</sup> ～10 <sup>5</sup> s <sup>-1</sup>
台数	4 台

(b) 排気フィルタユニット出口

排気フィルタユニット出口については、Ⅱ2.15 放射線管理関係設備等参照

f. ダクト

種類	はぜ折りダクト／鋼板ダクト
材質	ガルバリウム鋼板／SS400

（1 号機）

a. 排風機

種類	遠心式
容量	30,000m <sup>3</sup> /h
台数	2 台（うち 1 台予備）



b. プレフィルタ（排気フィルタユニット）

種類	中性能フィルタ
容量	30,000m <sup>3</sup> /h
台数	2 台（うち 1 台予備）

c. 高性能粒子フィルタ（排気フィルタユニット）

種類	高性能粒子フィルタ
容量	30,000m <sup>3</sup> /h
効率	97%（粒径 0.3 μm）以上
台数	2 台（うち 1 台予備）

d. 放射性物質濃度測定器（排気フィルタユニット出入口）

(a) 排気フィルタユニット入口

検出器の種類	シンチレーション検出器
計測範囲	10 <sup>0</sup> ～10 <sup>4</sup> s <sup>-1</sup>
台数	2 台

(b) 排気フィルタユニット出口

排気フィルタユニット出口については、Ⅱ2.15 放射線管理関係設備等参照

e. ダクト

種類	はぜ折りダクト／鋼板ダクト
材質	ガルバリウム鋼板／SS400

### 2. 11. 3 添付資料

#### 添付資料－１ 燃料取扱設備の設計等に関する説明書

添付資料－１－１ 燃料の落下防止，臨界防止に関する説明書※<sup>1</sup>

添付資料－１－２ 放射線モニタリングに関する説明書※<sup>1</sup>

添付資料－１－３ 燃料の健全性確認及び取り扱いに関する説明書※<sup>2</sup>

#### 添付資料－２ 構内用輸送容器の設計等に関する説明書

添付資料－２－１ 構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書※<sup>2</sup>

添付資料－２－２ 破損燃料用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書※<sup>2</sup>

添付資料－２－３ 構内輸送時の措置に関する説明書※<sup>2</sup>

#### 添付資料－３ 燃料取り出し用カバーの設計等に関する説明書

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

添付資料－３－２ がれき撤去等の手順に関する説明書

添付資料－３－３ 移送操作中の燃料集合体の落下※<sup>1</sup>

#### 添付資料－４ 構造強度及び耐震性に関する説明書

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※<sup>1</sup>

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※<sup>1</sup>

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※<sup>1</sup>

#### 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※<sup>1</sup>

#### 添付資料－６ 福島第一原子力発電所第１号機原子炉建屋カバーに関する説明書

#### 添付資料－７ 福島第一原子力発電所第１号機原子炉建屋カバー解体について

#### 添付資料－８ 福島第一原子力発電所第１・２号機原子炉建屋作業エリア整備に伴う干渉物解体撤去について

#### 添付資料－９ 福島第一原子力発電所第２号機原子炉建屋西側外壁の開口設置について

#### 添付資料－１０ 福島第一原子力発電所１号機原子炉建屋オペレーティングフロアのガレキの撤去について

#### 添付資料－１０－１ 福島第一原子力発電所１号機原子炉建屋オペレーティングフロア北側のガレキの撤去について

#### 添付資料－１０－２ 福島第一原子力発電所１号機原子炉建屋オペレーティングフロア中央および南側のガレキの一部撤去について

#### 添付資料－１０－３ 福島第一原子力発電所１号機原子炉建屋オペレーティングフロア外周鉄骨の一部撤去について

#### 添付資料－１０－４ 福島第一原子力発電所１号機原子炉建屋オペレーティングフロア床上のガレキの一部撤去について

#### 添付資料－１１ 福島第一原子力発電所１号機及び２号機非常用ガス処理系配管の一部撤去について

※<sup>1</sup>（２号機，３号機及び４号機を除く）及び※<sup>2</sup>（３号機及び４号機を除く）の説明書については，別途申請する。

## 燃料の落下防止，臨界防止に関する説明書

### 1 4号機燃料取り扱いに関する概要

#### 1.1 概要

燃料取扱設備は，燃料取扱機及びクレーンで構成し，新燃料及び使用済燃料を使用済燃料貯蔵プールから取り出し，燃料取り出し用カバーから搬出するまでの取り扱いを行うものである。

なお，燃料の搬出には構内用輸送容器を使用する。

また，燃料取扱機は燃料集合体を 1 体ずつ取り扱う構造とすることにより，燃料の臨界を防止できる設計とし，燃料集合体の構内用輸送容器への収容操作が使用済燃料の遮蔽に必要な水深を確保した状態で，水中で行うことができる設計とする。

さらに，燃料取扱設備は地震荷重等の適切な組み合わせを考慮しても強度上耐え得る設計とするとともに，燃料取扱機は二重のワイヤロープや種々のインターロック等を設け，クレーンの主要要素は種々の二重化を行うこと等により，移送操作中の燃料集合体の落下を防止する設計とする。

また，燃料取扱設備はその機能の健全性を確認するため，定期的に試験及び検査を行う。燃料取り扱いに使用する燃料取扱機及びクレーンの概要を以下に示す。

#### (1) 4号機 燃料取扱機

燃料取扱機は使用済燃料貯蔵プール，キャスクピット上を走行し，ブリッジ，トロリ，燃料把握機，補助ホイストで構成されている。

トロリには運転台及び 1 体の燃料集合体をつかむ燃料把握機があり，燃料集合体を使用済燃料貯蔵プール内の適当な位置に移送することができる。

燃料把握機のフックは空気作動式であり，燃料集合体をつかんだ状態で空気源が喪失しても，フックが開としないようにする機械的機構を有しているため，燃料集合体を確実に保持できる。また，燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造である。さらに燃料取扱中に過荷重となった場合に上昇を阻止するため，燃料把握機にインターロックを設ける。

本装置は走行，横行，昇降を安全かつ確実に行うため，各装置にインターロックを設ける。

また，地震時にも転倒することがない構造であり，走行部はレールを抱え込む構造である。

なお，燃料取扱機は崩壊熱により燃料が溶融しないよう，使用済燃料を使用済燃料貯蔵プール水中で取り扱う設計とする。

## (2) 4号機 クレーン

クレーンは、燃料取り出し用カバー内及びオペレーションフロア上で構内用輸送容器の移送を行うものである。

本クレーンは、地震時にも落下することがない構造であり、構内用輸送容器の移送中において駆動源が喪失しても確実に保持できる。

また重量物を移送する主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造である。

フックは玉掛け用ワイヤロープ等が当該フックから外れることを防止するための装置を設ける。

さらに、重量物を吊った状態で使用済燃料貯蔵ラック上を通過できないようインターロックを設ける。

## 1.2 4号機 燃料落下防止対策

燃料取り扱いに使用する燃料取扱機及びクレーンは、以下に示す落下防止対策により燃料集合体を安全かつ確実に取り扱うことができる設計とする。

燃料集合体の落下防止対策を表 1.2-1 に示す。

表 1.2-1 燃料集合体の落下防止対策

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は電源断時に電動油圧押し上げ機ブレーキで保持する構造 (2) 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 主巻フックは外れ止め装置を有する構造

上記の落下防止対策の概要を次紙以降に示す

### 1.3 4号機 燃料取扱設備の未臨界性

燃料取扱機は、燃料集合体を1体ずつ取り扱う構造とすることにより、未臨界性は確保される。

また、クレーンは未臨界性について評価されている構内用輸送容器に燃料集合体を収納して取り扱う。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は電源断時に電動油圧押上機で保持する構造 (2) 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 主巻フックは外れ止め装置を有する構造

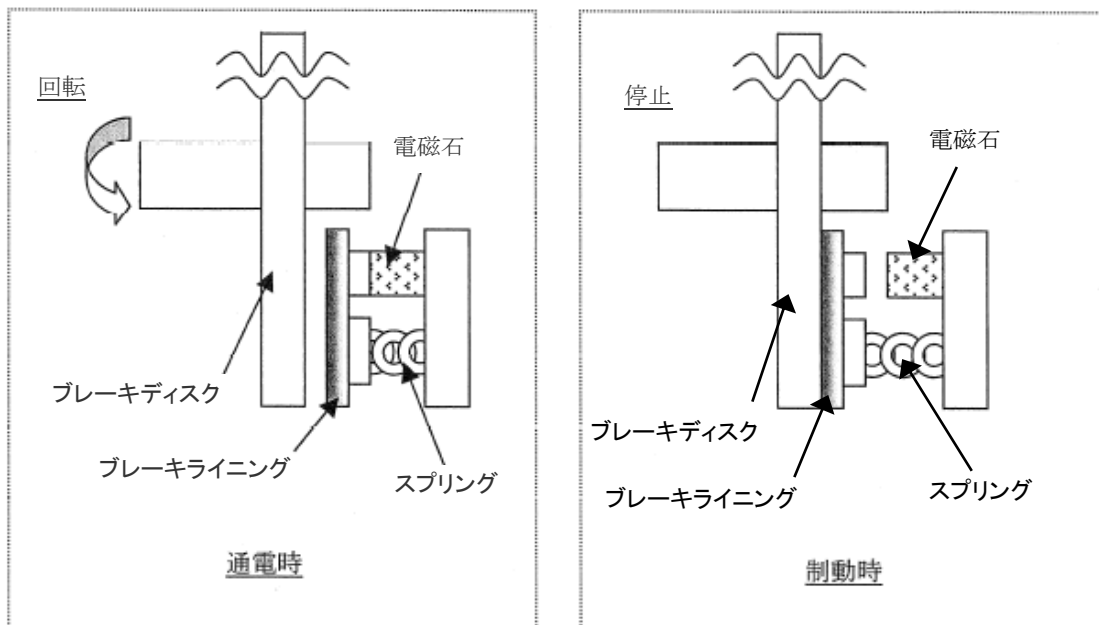
電磁ブレーキは、電源断時にバネによりブレーキがかかり保持できる機構を有している。

#### ○電磁ブレーキ（電磁ディスクブレーキ）の動作原理

電磁ディスクブレーキは、スプリング力によってブレーキライニングをブレーキディスクに押しつけて電動機の回転を制動している。電動機に通電すると、電磁コイルに電流が流れ、電磁石がスプリングの力に逆らってブレーキを解放する。

電動機を停止させると、再びスプリング力によってブレーキライニングがブレーキディスクを押しつけて制動する。電磁ディスクブレーキは、ホイストの巻上装置等に使用されている。

以下に通電（回転）時と、制動時の模式図を示す。



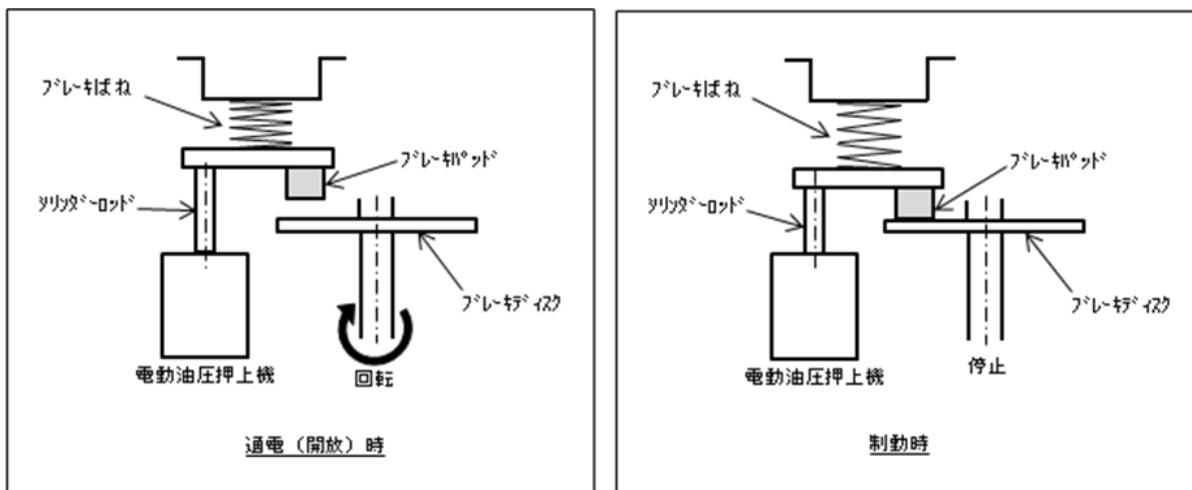
電動油圧押し上げブレーキは、電源断時にブレーキばねによりブレーキがかかり保持できる機構を有している。

#### ○電動油圧押し上げブレーキ（電動油圧押し上げ機ディスクブレーキ）の動作原理

電動油圧押し上げブレーキは、ブレーキばねの力によってブレーキパッドをブレーキディスクに押しつけて電動機の回転を制動している。巻上モータに通電すると、同時に電動油圧押し上げ機にも通電され、内蔵モータにより油圧が発生し、シリンダーロッドを押し上げ、ブレーキばねを縮めることによりブレーキを開放する。

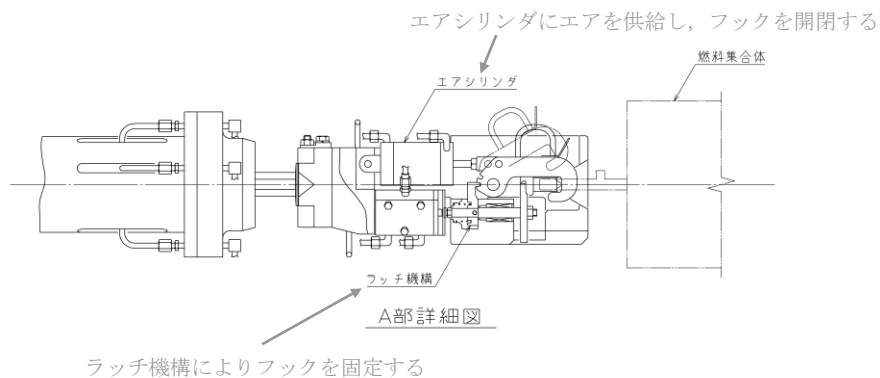
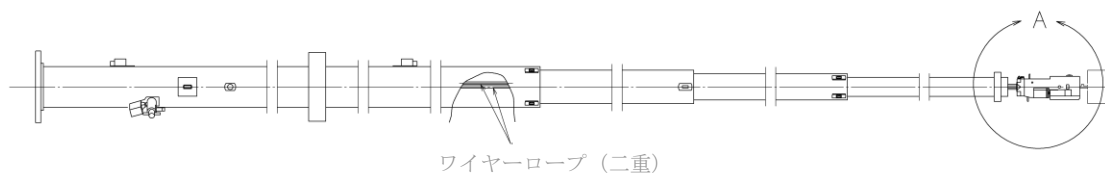
巻上モータを停止させると、電動油圧押し上げ機も停止するため、再びブレーキばねの力によってブレーキパッドがブレーキディスクを押しつけて制動する。

以下に通電（開放）時と、制動時の模式図を示す。



機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は電源断時に電動油圧押し上げ機ブレーキで保持する構造 (2) 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 主巻フックは外れ止め装置を有する構造

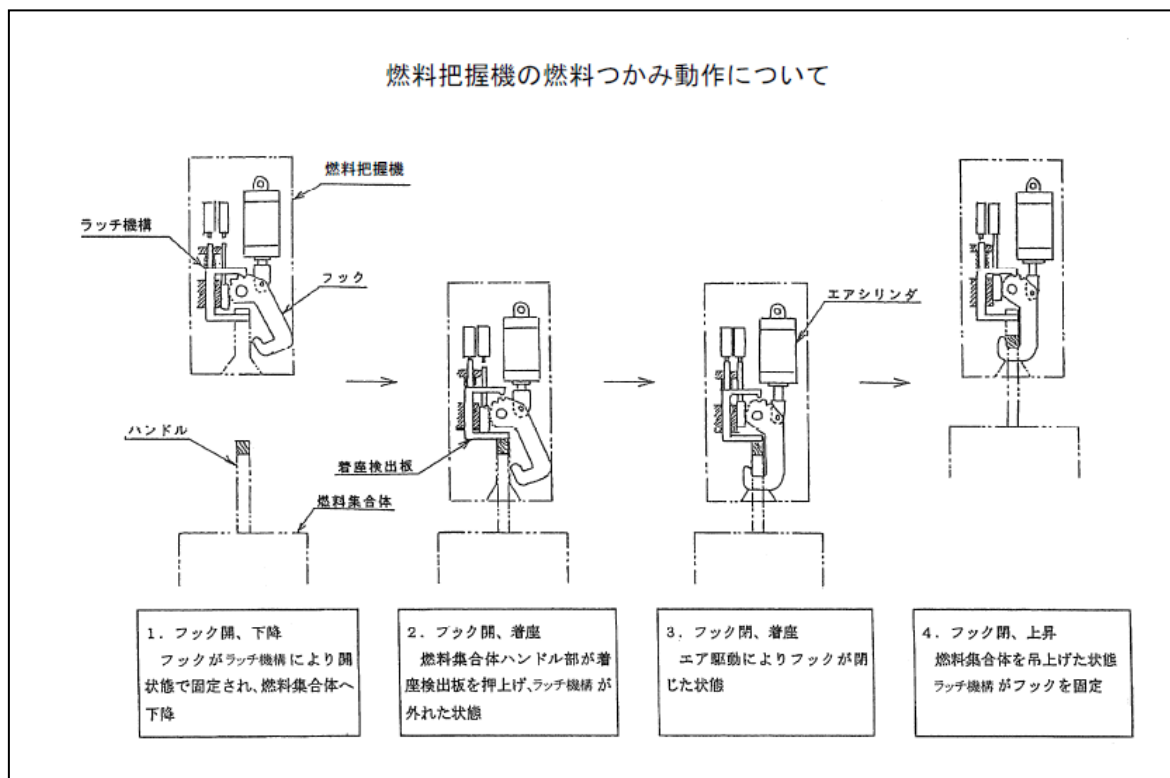
燃料把握機は、フックの駆動に用いる空気源が喪失しても、ラッチ機構によりフックが開かないような設計としている。





機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 <b>(3) 燃料把握機の機械的インターロック</b> (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は電源断時に電動油圧押し上げ機ブレーキで保持する構造 (2) 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 主巻フックは外れ止め装置を有する構造

燃料集合体を吊った状態においては、燃料把握機はラッチ機構により固定されフックを開くことができない。また、燃料把握時には燃料集合体ハンドル部が着座検出板を押し上げるとラッチ機構が外れる機械的インターロックを備えている。

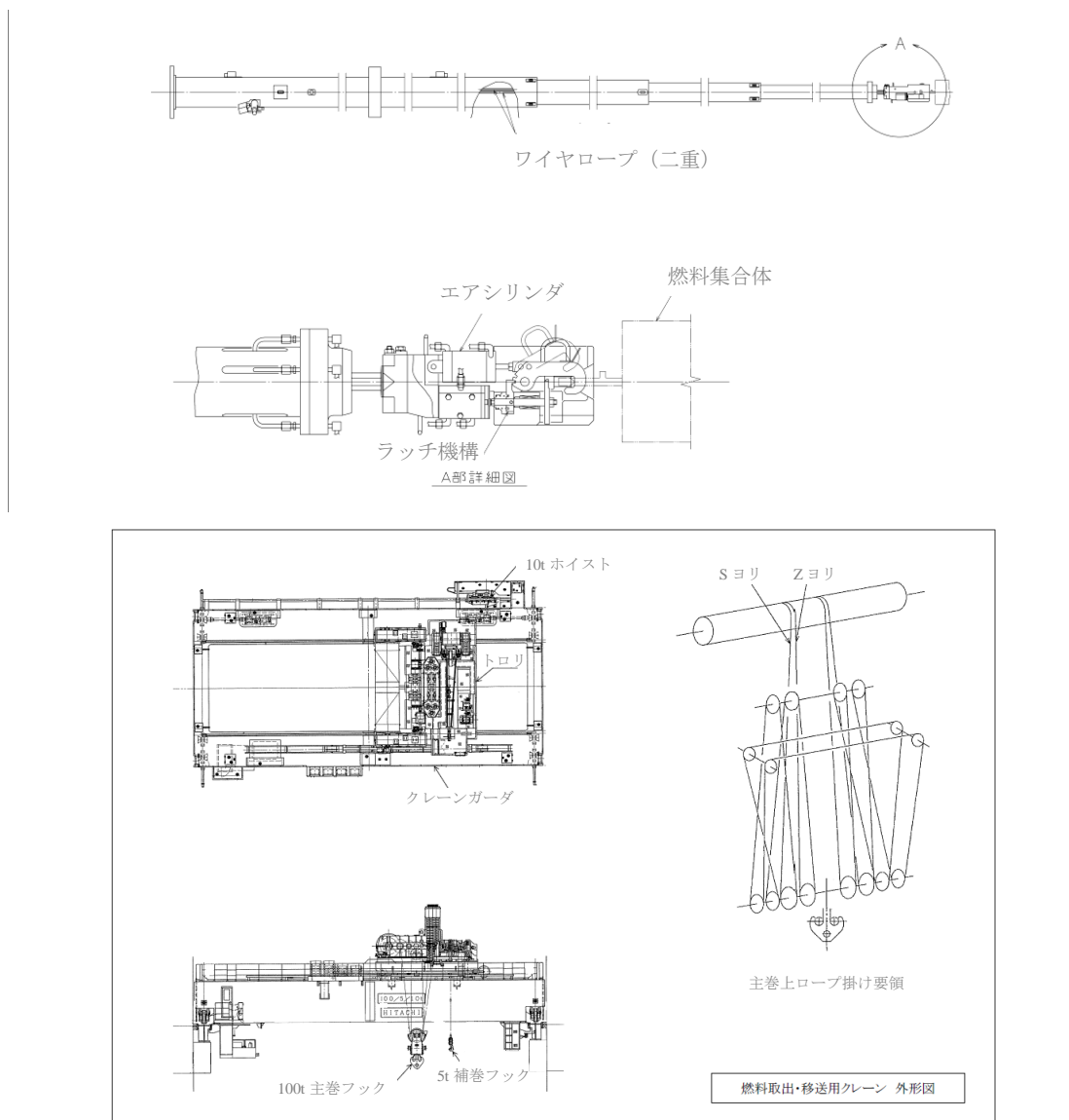


機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造</li> <li>(2) 燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造</li> <li>(3) 燃料把握機の機械的インターロック</li> <li>(4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック</li> <li>(5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造</li> </ul>
クレーン	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造</li> <li>(2) 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造</li> <li>(3) 主巻フックは外れ止め装置を有する構造</li> </ul>

燃料把握機のワイヤロープに必要以上の張力が加わらないように、必要以上の荷重を検出した場合に、燃料把握機を上昇することができないインターロックを備えている。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は電源断時に電動油圧押し上げ機ブレーキで保持する構造 (2) 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 主巻フックは外れ止め装置を有する構造

燃料把握機及びクレーンの主巻フックは、ワイヤロープを二重化し、万一ワイヤロープが1本切断したとしても落下を防止できる設計としている。



機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は電源断時に電動油圧押し上げ機ブレーキで保持する構造 (2) 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 主巻フックは外れ止め装置を有する構造

主巻フックは、両釣形フックとし、外れ止めを有する。



## 2 3号機燃料取り扱いに関する概要

### 2.1 概要

燃料取扱設備は、燃料取扱機及びクレーンで構成し、新燃料及び使用済燃料を使用済燃料貯蔵プールから取り出し、燃料取り出し用カバーから搬出するまでの取り扱いを行うものである。

なお、燃料の搬出には構内用輸送容器を使用する。

また、燃料取扱機は燃料集合体を1体ずつ取り扱う構造とすることにより、燃料の臨界を防止できる設計とし、燃料集合体の構内用輸送容器への収容操作が燃料の遮蔽に必要な水深を確保した状態で、水中で行うことができる設計とする。

さらに、燃料取扱設備は地震荷重等の適切な組み合わせを考慮しても強度上耐え得る設計とするとともに、燃料取扱機は二重のワイヤロープや種々のインターロック等を設け、クレーンの主要要素は種々の二重化を行うこと等により、移送操作中の燃料集合体の落下を防止する設計とする。

また、燃料取扱設備はその機能の健全性を確認するため、定期的に試験及び検査を行う。燃料取り扱いに使用する燃料取扱機及びクレーンの概要を以下に示す。

#### (1) 3号機 燃料取扱機

燃料取扱機は、使用済燃料プール、キャスクピット上を走行し、ブリッジ、トロリ、燃料把握機、西側補助ホイスト、東側補助ホイスト、テンシルトラスで構成されている。

燃料把握機トロリには1体の燃料集合体をつかむ燃料把握機があり、燃料集合体を使用済燃料プール内の適切な位置に移動することができる。

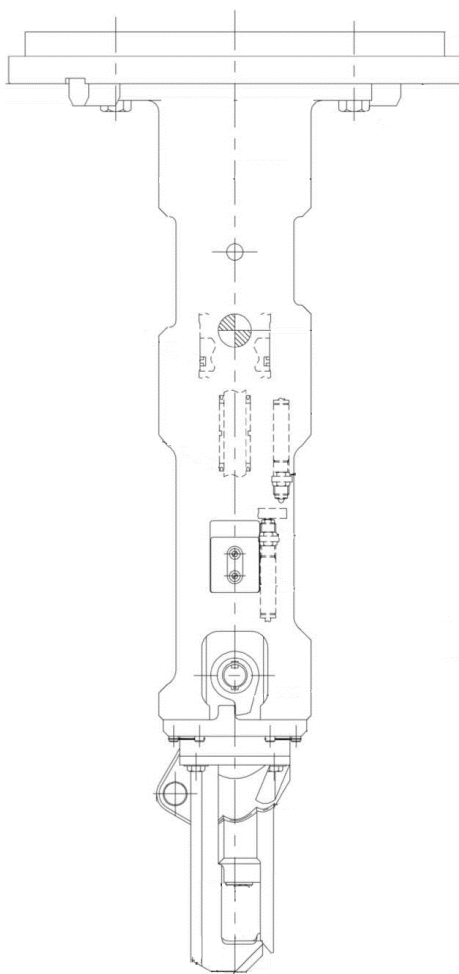
燃料把握機のフックは水圧作動式であり、燃料集合体をつかんだ状態で水圧源が喪失しても、フックが開とならないようにする機械的機構を有しているため、燃料集合体を確実に保持できる。また、燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造である。さらに燃料取扱中に過荷重となった場合に上昇を阻止するため、燃料把握機にインターロックを設ける。

がれき落下によるハンドル部の変形が認められる燃料集合体の一部は、通常の燃料把握機のフック（掴み具）では取り扱えないため、ハンドル部の変形状況に応じて専用の大変形用掴み具を用いる。

燃料取扱機は、運転員の誤操作を防止するため、走行、横行、昇降のそれぞれの操作について2段階の動作が必要なスイッチを設けるとともに、走行、横行、昇降を安全かつ確実にを行うため各装置にインターロックを設ける。さらに、荷重計（ロードセル）を設け遠隔操作を行う運転員が荷重を確認できる設計とし、仮に過荷重となった場合にはインターロックにより上昇を阻止する設計とする。

また、燃料集合体の移送作業中における地震時においても転倒・落下することがない構造であり、走行部はレールを抱え込む構造である。

なお，燃料取扱機は崩壊熱により燃料が溶融しないよう，燃料を使用済燃料貯蔵プール水中で取り扱う設計とする。



大変形用掴み具 構造図

## (2) 3号機 クレーン

クレーンは、燃料取り出し用カバー内で構内用輸送容器の移送を行うものである。

本クレーンは、構内用輸送容器の移送作業中における地震時においても転倒・落下することがない構造であり、構内用輸送容器の移送中において駆動源が喪失しても確実に保持できる。

また、重量物を移送する主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造である。

主巻フックは玉掛け用ワイヤロープ等が当該フックから外れることを防止するための装置を設ける。

さらに、重量物を吊った状態で使用済燃料貯蔵ラック上を通過できないようインターロックを設ける。

クレーンは、運転員の誤操作を防止するため、走行、横行、昇降のそれぞれの操作について2段階の動作が必要なスイッチを設ける。さらに、荷重計（ロードセル）を設け遠隔操作を行う運転員が荷重を確認できる設計とし、仮に過荷重となった場合にはインターロックにより上昇を阻止する設計とする。

## 2.2 3号機 燃料落下防止対策

燃料取り扱いに使用する燃料取扱機及びクレーンは、以下に示す落下防止対策により燃料集合体を安全かつ確実に取り扱うことができる設計とする。

燃料集合体の落下防止対策を表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 燃料集合体の落下防止対策

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は電源断時に電動油圧押し上げ機ブレーキで保持する構造 (2) 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 主巻フックは外れ止め装置を有する構造

上記の落下防止対策の概要を次紙以降に示す

### 2.3 3号機 燃料取扱設備の未臨界性

燃料取扱機は、燃料集合体を1体ずつ取り扱う構造とすることにより、燃料の未臨界性を確保する。

また、クレーンは、燃料集合体の搬出にあたって、燃料の未臨界性について評価されている構内用輸送容器に燃料集合体を収納して取り扱う。



機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) <u>ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造</u> (2) 燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) <u>巻上装置は電源断時に電動油圧押し上げ機ブレーキで保持する構造</u> (2) 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 主巻フックは外れ止め装置を有する構造

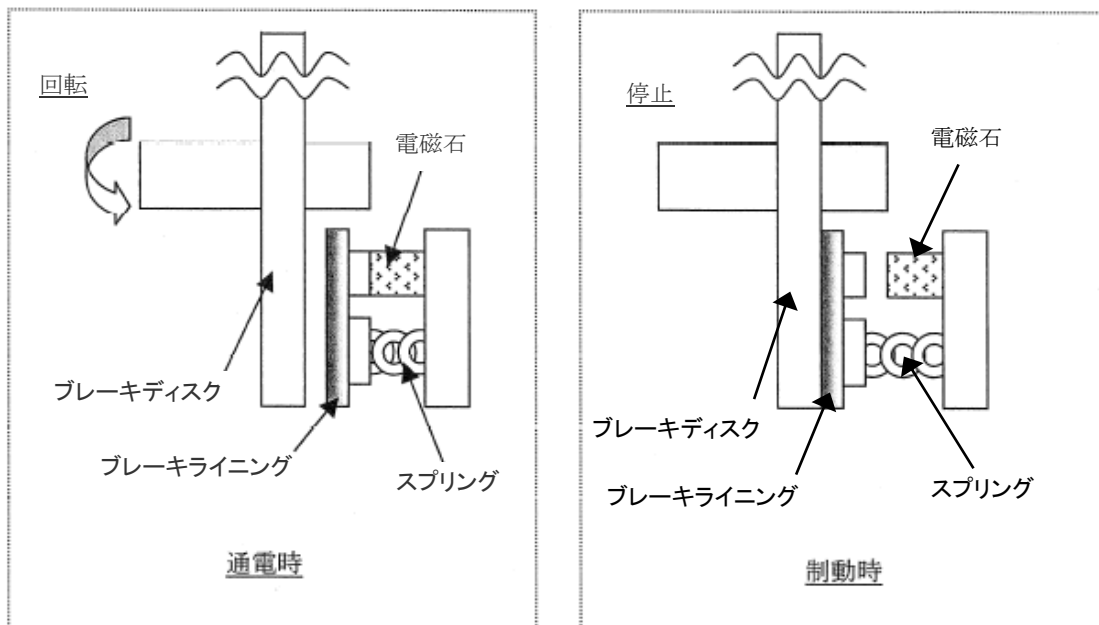
燃料取扱機の電磁ブレーキは、電源断時にバネによりブレーキがかかり保持できる機構を有している。

#### ○電磁ブレーキ（電磁ディスクブレーキ）の動作原理

電磁ディスクブレーキは、スプリング力によってブレーキライニングをブレーキディスクに押しつけて電動機の回転を制動している。電動機に通電すると、電磁コイルに電流が流れ、電磁石がスプリングの力に逆らってブレーキを解放する。

電動機を停止させると、再びスプリング力によってブレーキライニングがブレーキディスクを押しつけて制動する。電磁ディスクブレーキは、ホイストの巻上装置等に使われている。

以下に通電（回転）時と、制動時の模式図を示す。



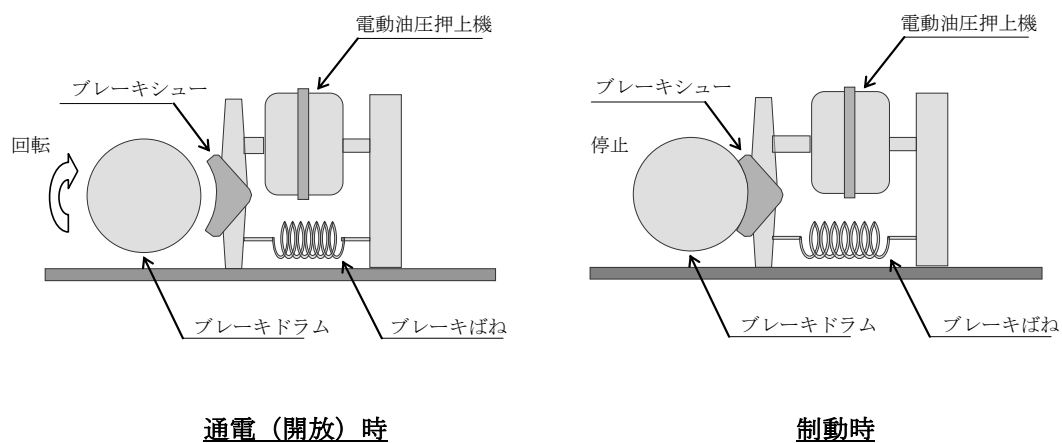
クレーンの電動油圧押し上げ機ブレーキは、電源断時にブレーキばねによりブレーキがかかり保持できる機構を有している。

#### ○電動油圧押し上げ機ブレーキ（電動油圧押し上げ機ドラムブレーキ）の動作原理

電動油圧押し上げ機ブレーキは、ブレーキばねの力によってブレーキシューをブレーキドラムに押しつけて電動機の回転を制動している。巻上モータに通電すると、同時に電動油圧押し上げ機にも通電され、内蔵モータにより油圧が発生し、シリンダーロッドを押し上げ、ブレーキばねを縮めることによりブレーキを開放する。

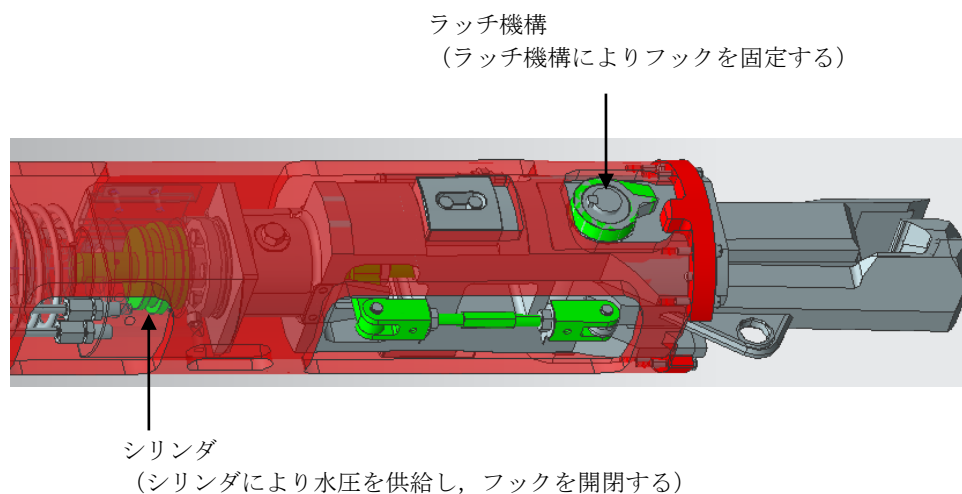
巻上モータを停止させると、電動油圧押し上げ機も停止するため、再びブレーキばねの力によってブレーキシューがブレーキドラムを押しつけて制動する。

以下に通電（開放）時と、制動時の模式図を示す。



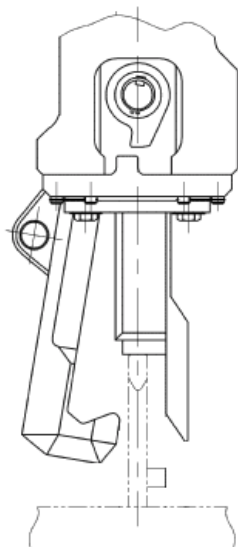
機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造
	(2) 燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造
	(3) 燃料把握機の機械的インターロック
	(4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック
	(5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は電源断時に電動油圧押し上げ機ブレーキで保持する構造
	(2) 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造
	(3) 主巻フックは外れ止め装置を有する構造

燃料把握機は、フックの駆動に用いる水圧源が喪失しても、ラッチ機構によりフックが開かないような設計としている。

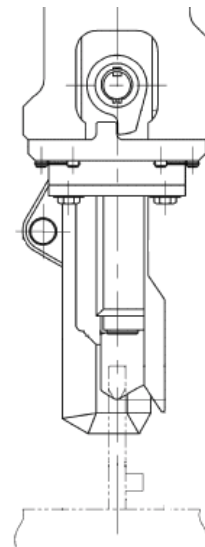


機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造
	(2) 燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造
	(3) 燃料把握機の機械的インターロック
	(4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック
	(5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は電源断時に電動油圧押し上げ機ブレーキで保持する構造
	(2) 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造
	(3) 主巻フックは外れ止め装置を有する構造

燃料集合体を吊った状態においては、燃料把握機はラッチ機構により固定されフックを開くことができない。また、燃料着座時には燃料集合体荷重がフックに負荷されなくなることで、フックが押し上がり、ラッチ機構が外れる機械的インターロックを備えている。



1. フック開 下降～着座  
フックが開状態にて、燃料集合体へ下降、着座。



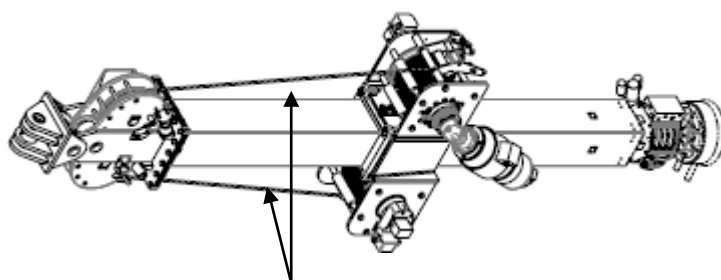
2. フック閉 着座～上昇  
水圧駆動にてフックが閉じた後、燃料集合体を吊上げ。ラッチ機構がフックを固定。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は電源断時に電動油圧押上機ブレーキで保持する構造 (2) 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 主巻フックは外れ止め装置を有する構造

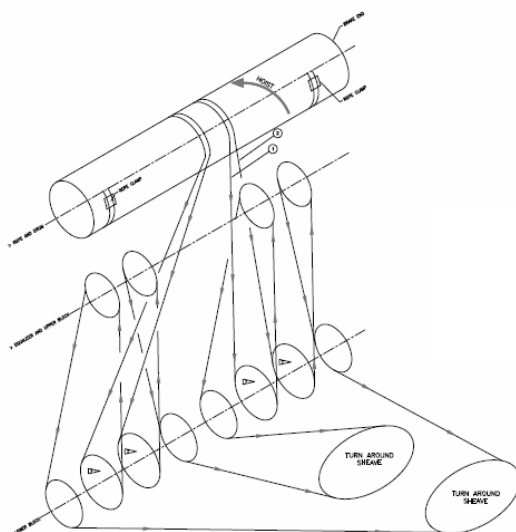
燃料把握機のワイヤロープに必要以上の張力が加わらないように、必要以上の荷重を検出した場合に、燃料把握機を上昇することができないインターロックを備えている。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は電源断時に電動油圧押し上げ機ブレーキで保持する構造 (2) 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 主巻フックは外れ止め装置を有する構造

燃料把握機及びクレーンの主巻フックは、ワイヤロープを二重化し、万一ワイヤロープが1本切断したとしても落下を防止できる設計としている。



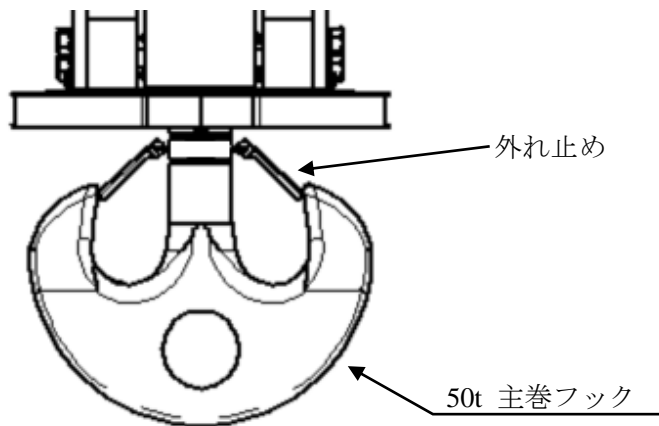
ワイヤロープ（二重）



主巻上ロープ掛け要領

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は電源断時に電動油圧押し上げ機ブレーキで保持する構造 (2) 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 主巻フックは外れ止め装置を有する構造

主巻フックは、両釣形フックとし、外れ止めを有する。



### 3 2号機燃料取り扱いに関する概要

#### 3.1 概要

燃料取扱設備は、燃料取扱機及びクレーンで構成し、新燃料及び使用済燃料を使用済燃料プールから取り出し、燃料取り出し用構台から搬出するまでの取り扱いを行うものである。

なお、燃料の搬出には構内用輸送容器を使用する。

また、燃料取扱機は燃料集合体を1体ずつ取り扱う構造とすることにより、燃料の臨界を防止できる設計とし、燃料集合体の構内用輸送容器への収容操作が燃料の遮蔽に必要な水深を確保した状態で、水中で行うことができる設計とする。

さらに、燃料取扱設備は地震荷重等の適切な組み合わせを考慮しても強度上耐え得る設計とするとともに、燃料取扱機は二重のワイヤロープや種々のインターロック等を設け、クレーンの主要要素は種々の二重化を行うこと等により、移送操作中の燃料集合体の落下を防止する設計とする。

また、燃料取扱設備はその機能の健全性を確認するため、定期的に試験及び検査を行う。燃料取り扱いに使用する燃料取扱機及びクレーンの概要を以下に示す。

##### (1) 2号機 燃料取扱機

燃料取扱機は、低床ジブクレーンとし、原子炉建屋オペレーティングフロア、燃料取り出し用構台間を水平に移動する走行台車とその上に設置する旋回体で構成する。

旋回体には1体の燃料集合体をつかむ燃料把握機があり、燃料集合体を使用済燃料プール内の適切な位置に移動することができる。

燃料把握機のフックは空気圧作動式であり、燃料集合体をつかんだ状態で空気圧源を喪失しても、フックが開とならないようにする機械的機構を有しているため、燃料集合体を確実に保持できる。また、燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造である。

燃料取扱機には、運転員の誤操作を防止するため、走行、伸縮、起伏、旋回、昇降のそれぞれ操作について2段階の動作が必要なスイッチを設けるとともに、走行、伸縮、起伏、旋回、昇降を安全かつ確実に行うため各装置にインターロックを設ける。さらに、荷重計（ロードセル）を設け遠隔操作を行う運転員が荷重を確認できる設計とし、仮に過荷重となった場合にはインターロックにより上昇を阻止する設計とする。

また、燃料集合体の移送作業中における地震時においても転倒・落下することがない構造であり、燃料取扱機操作時は走行台車をランウェイガードに固定する設計とする。



## (2) 2号機 クレーン

クレーンは、低床ジブクレーンとし、原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台内で構内用輸送容器の移送を行うものである。

本クレーンは、構内用輸送容器の移送作業中における地震時においても転倒・落下することがない構造であり、構内用輸送容器の移送中において駆動源が喪失しても当該容器を確実に保持できる。

また、重量物を移送する垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造である。

垂直吊具には構内用輸送容器トラニオン等が当該垂直吊具から外れることを防止するための装置を設ける。

さらに、重量物を吊った状態で使用済燃料貯蔵ラック上を通過できないようインターロックを設ける。

クレーンには、運転員の誤操作を防止するため、走行、伸縮、起伏、旋回、昇降のそれぞれの操作について2段階の動作が必要なスイッチを設ける。さらに、荷重計（ロードセル）を設け運転員が荷重を確認できる設計とし、仮に過荷重となった場合にはインターロックにより上昇を阻止する設計とする。

また、重量物の移送作業中における地震時においても転倒・落下することがない構造であり、クレーン操作時は走行台車をランウェイガードに固定する設計とする。

## 3.2 2号機 燃料落下防止対策

燃料取り扱いに使用する燃料取扱機及びクレーンは、以下に示す落下防止対策により燃料集合体を安全かつ確実に取り扱うことができる設計とする。

燃料集合体の落下防止対策を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 燃料集合体の落下防止対策

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) 巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は空気圧源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2) 垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 垂直吊具の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (4) 垂直吊具は外れ止め装置を有する構造

上記の落下防止対策の概要を次紙以降に示す

### 3.3 2号機 燃料取扱設備の未臨界性

燃料取扱機は、燃料集合体を1体ずつ取り扱う構造とすることにより、燃料の未臨界性を確保する。

また、クレーンは、燃料集合体の搬出にあたって、燃料の未臨界性について評価されている構内用輸送容器に燃料集合体を収納して取り扱う。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) 巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は空気圧源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2) 垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 垂直吊具の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (4) 垂直吊具は外れ止め装置を有する構造

燃料取扱機及びクレーンの巻上装置のブレーキは、駆動源喪失時にバネによりブレーキがかかり保持できるスプリングリターン機能を有している。

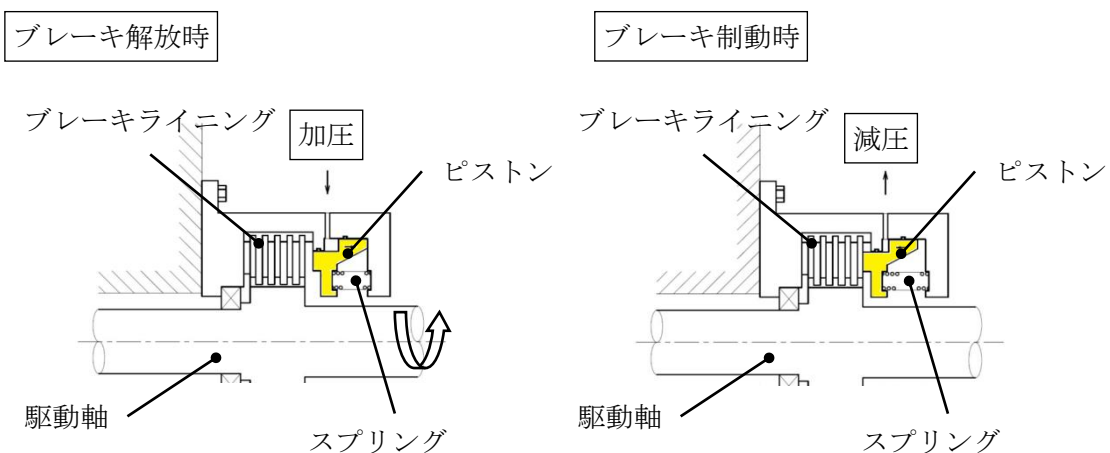
#### ○スプリングリターン式ブレーキの動作原理

スプリングリターン式ブレーキは、スプリング力によってピストンをブレーキライニングに押しつけて巻上装置の回転を制動する。油圧シリンダが加圧されると、ピストンがスプリングの力に逆らってブレーキを解放する。

巻上装置を停止させると、再び油圧シリンダが減圧され、スプリング力によってピストンをブレーキライニングに押しつけて巻上装置の回転を制動する。

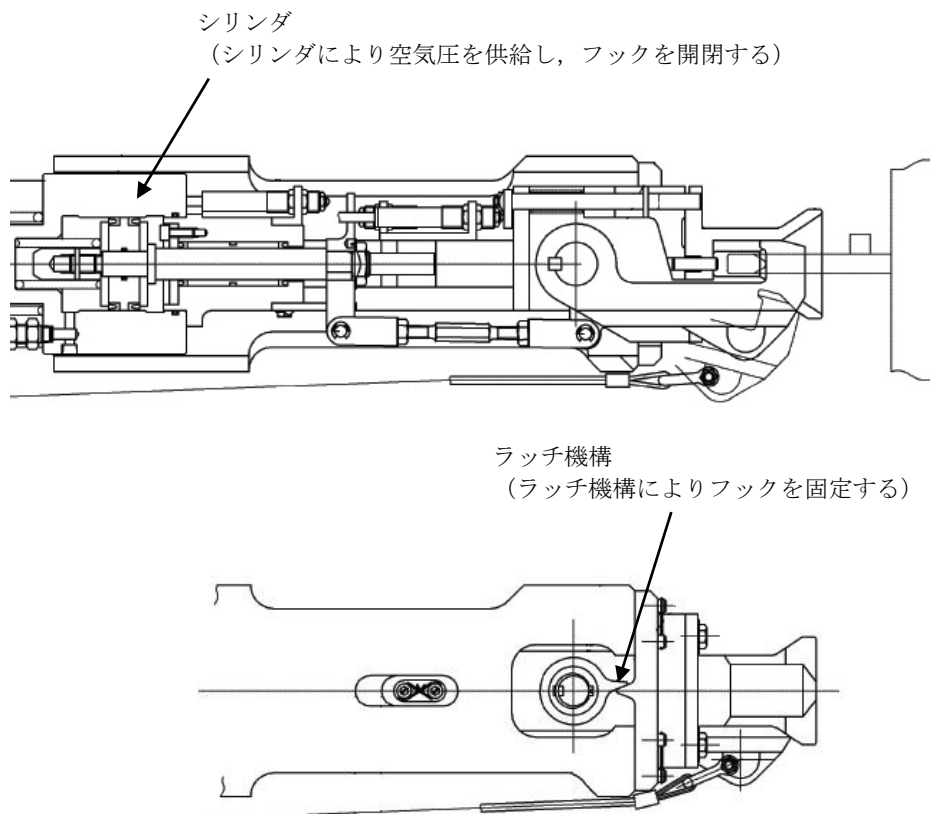
スプリングリターン式ブレーキは、燃料取扱機及びクレーンの巻上装置に使用されている。

以下にブレーキ制動時と、ブレーキ解放時の模式図を示す。



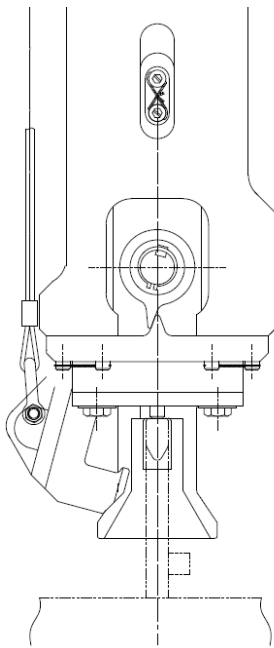
機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) 巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造
	(2) 燃料把握機は空気圧源喪失時にフックが開かない構造
	(3) 燃料把握機の機械的インターロック
	(4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック
	(5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造
	(2) 垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造
	(3) 垂直吊具の過荷重時に上昇を阻止するインターロック
	(4) 垂直吊具は外れ止め装置を有する構造

燃料把握機は、フックの駆動に用いる空気圧源が喪失しても、ラッチ機構によりフックが開かないような設計としている。

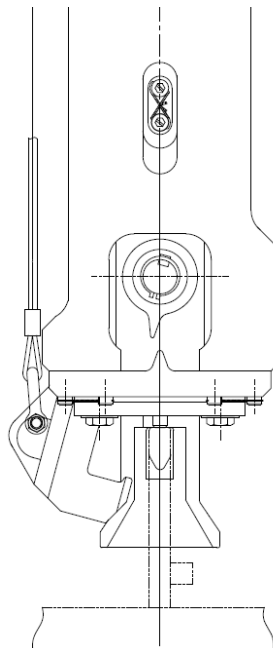


機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) 巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造
	(2) 燃料把握機は空気圧源喪失時にフックが開かない構造
	(3) 燃料把握機の機械的インターロック
	(4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック
	(5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造
	(2) 垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造
	(3) 垂直吊具の過荷重時に上昇を阻止するインターロック
	(4) 垂直吊具は外れ止め装置を有する構造

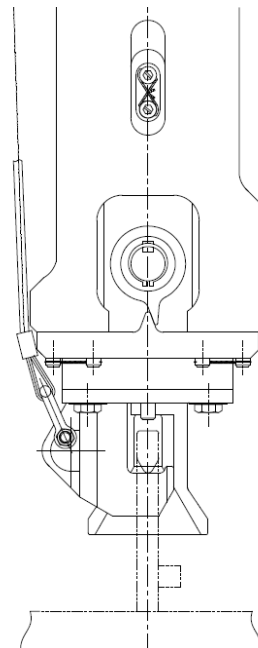
燃料集合体を吊った状態においては、燃料把握機はラッチ機構により固定されフックを開くことができない。また、燃料着座時には燃料集合体荷重がフックに負荷されなくなることでフックが押し上がり、ラッチ機構が外れる機械的インターロックを備えている。



1.フック開 下降～着座  
フックが開状態にて、燃料集合体へ下降、着座。



2. 着座～ラッチ機構解除  
燃料集合体に着座後、ラッチ機構解除。



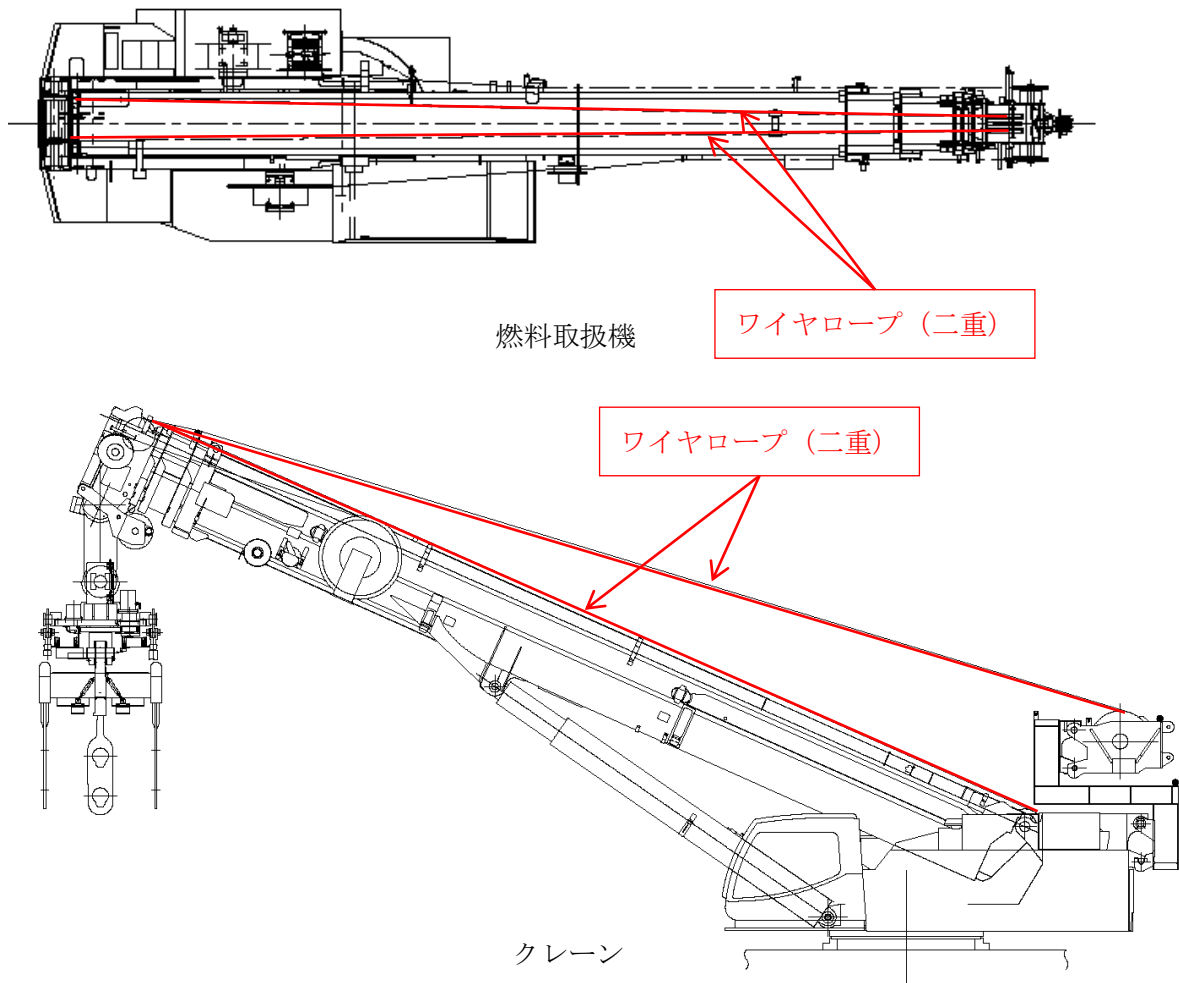
3.フック閉～上昇  
空気圧駆動にてフックが閉じた後、燃料集合体を吊上げ。ラッチ機構がフックを固定。

機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) 巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は空気圧源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2) 垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 垂直吊具の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (4) 垂直吊具は外れ止め装置を有する構造

燃料把握機および垂直吊具のワイヤロープに必要以上の張力が加わらないように、必要以上の荷重を検出した場合に、燃料把握機および垂直吊具を上昇することができないインターロックを備えている。

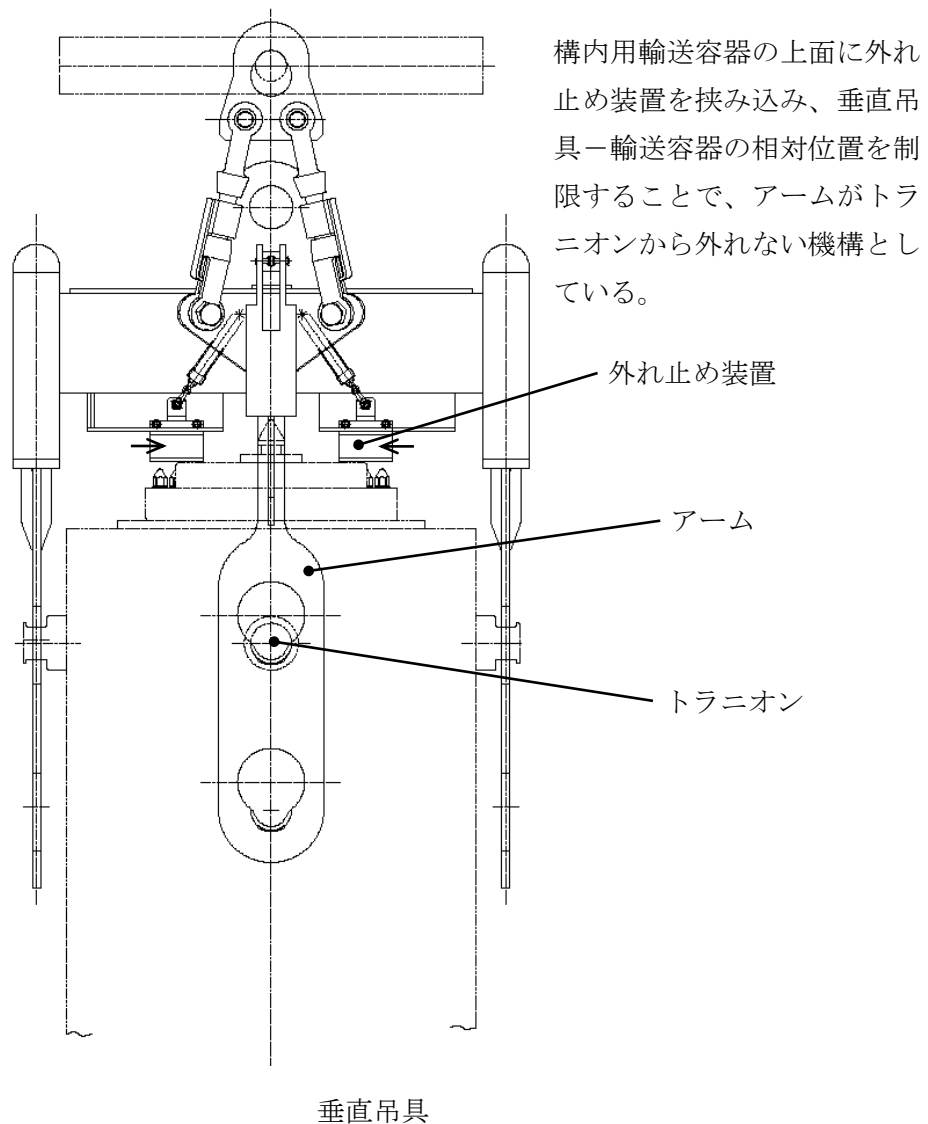
機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) 巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は空気圧源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2) 垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 垂直吊具の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (4) 垂直吊具は外れ止め装置を有する構造

燃料取扱機及びクレーンの巻上装置は、ワイヤロープを二重化し、万一ワイヤロープが1本切断したとしても落下を防止できる設計としている。



機器名称	落下防止対策
燃料取扱機	(1) 巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2) 燃料把握機は空気圧源喪失時にフックが開かない構造 (3) 燃料把握機の機械的インターロック (4) 燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (5) 燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造
クレーン	(1) 巻上装置は駆動源喪失時にブレーキで保持する構造 (2) 垂直吊具は二重のワイヤロープで保持する構造 (3) 垂直吊具の過荷重時に上昇を阻止するインターロック (4) 垂直吊具は外れ止め装置を有する構造

垂直吊具は、構内用輸送容器トラニオンから垂直吊具のアームが外れることを防止する外れ止め装置を有する。





#### 4 別添

別添－1 4号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項

別添－2 3号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項

別添－3 2号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項

４号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項

４号機燃料取扱設備の機能に係る主要な確認事項を表－１及び表－２に示す。

表－１ ４号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項（燃料取扱機）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
落下防止	機能確認		単一故障において燃料集合体を落下させないことを確認する。	動力源が喪失した場合においても燃料集合体を保持し続ける構造であること。 動力源断時に電磁ブレーキで保持する構造であること。
				空気喪失時にフックが開かない構造であること。
				ラッチ機構により固定されフックを開くことができない構造であること。
				過荷重時に上昇を阻止すること。
				二重のワイヤロープで保持する構造であること。
臨界防止	機能確認		燃料集合体取り扱い時の臨界防止機能について確認する。	燃料集合体を１体ずつ取り扱う構造であること。
遮蔽	機能確認		燃料集合体取り扱い時の遮蔽機能について確認する。	遮蔽水深を確保した状態で取り扱えること。
性能	機能確認	容量確認	容量及び所定の動作について確認する。	実施計画通りの荷重が吊り上げ可能なこと。 横行、走行、巻き上げ、巻き下げが可能なこと。

表－２ ４号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項（クレーン）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
落下防止	機能確認		単一故障において構内用輸送容器を落下させないことを確認する。	動力源が喪失した場合においても構内用輸送容器を保持し続ける構造であること。 動力源断時に電動油圧押し上げ機ブレーキで保持する構造であること。
				重量物を吊った状態で使用済燃料貯蔵ラック上を通過させない構造であること。
				二重のワイヤロープで保持する構造であること。
				フックは外れ防止装置を有する構造であること。
性能	機能確認	容量確認	容量及び所定の動作について確認する。	実施計画通りの荷重が吊り上げ可能なこと。 横行、走行、巻き上げ、巻き下げが可能なこと。

３号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項

３号機燃料取扱設備の機能に係る主要な確認事項を表－１及び表－２に示す。

表－１ ３号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項（燃料取扱機）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
落下防止	機能確認		単一故障において燃料集合体を落下させないことを確認する。	動力源が喪失した場合においても燃料集合体を保持し続ける構造であること。 動力源断時に電磁ブレーキで保持する構造であること。
				駆動水圧喪失時にフックが開かない構造であること。
				ラッチ機構により固定されフックを開くことができない構造であること。
				過荷重時に上昇を阻止すること。
				二重のワイヤロープで保持する構造であること。
臨界防止	機能確認		燃料集合体取り扱い時の臨界防止機能について確認する。	燃料集合体を１体ずつ取り扱う構造であること。
遮蔽	機能確認		燃料集合体取り扱い時の遮蔽機能について確認する。	遮蔽水深を確保した状態で取り扱えること。
性能	機能確認	容量確認	容量及び所定の動作について確認する。	実施計画通りの荷重が吊り上げ可能なこと。 横行、走行、巻き上げ、巻き下げが可能なこと。

表－２ ３号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項（クレーン）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
落下防止	機能確認		単一故障において構内用輸送容器を落下させないことを確認する。	動力源が喪失した場合においても構内用輸送容器を保持し続ける構造であること。 動力源断時に電動油圧押し上げ機ブレーキで保持する構造であること。
				重量物を吊った状態で使用済燃料貯蔵ラック上を通過させない構造であること。
				二重のワイヤロープで保持する構造であること。
				フックは外れ防止装置を有する構造であること。
性能	機能確認	容量確認	容量及び所定の動作について確認する。	実施計画通りの荷重が吊り上げ可能なこと。 横行、走行、巻き上げ、巻き下げが可能なこと。

## ２号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項

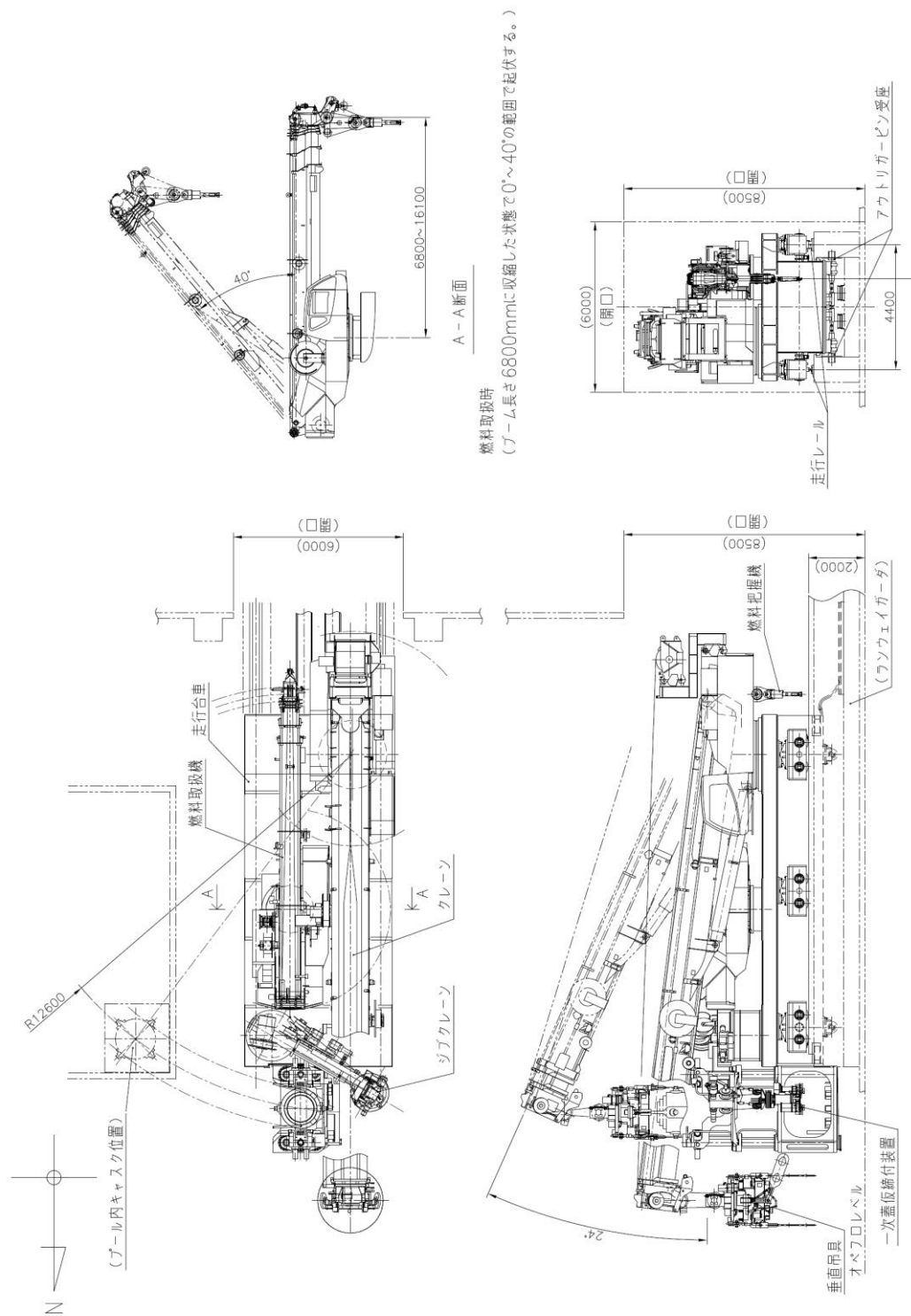
２号機燃料取扱設備の機能に係る主要な確認事項を表－１及び表－２に示す。また、燃料取扱設備，燃料把握機，垂直吊具の外形図を図－１，図－２及び図－３に示す。

表－１ ２号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項（燃料取扱機）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準	検査場所
落下防止	機能確認		単一故障において燃料集合体を落下させないことを確認する。	動力源が喪失した場合においても定格容量を保持し続ける構造であること。 動力源断時にスプリングリターン式ブレーキで保持する構造であること。	工場
				駆動空気圧喪失時にフックが開かない構造であること。	工場
				ラッチ機構により固定されフックを開くことができない構造であること。	工場
				過荷重時に上昇を阻止すること。	工場
				二重のワイヤロープで保持する構造であること。	工場
臨界防止	機能確認		燃料集合体取り扱い時の臨界防止機能について確認する。	燃料集合体を１体ずつ取り扱う構造であること。	工場
遮蔽	機能確認		燃料集合体取り扱い時の遮蔽機能について確認する。	遮蔽水深を確保した状態で取り扱えること。	現地
性能	機能確認	容量確認	容量について確認する。	実施計画通りの荷重が吊り上げ可能なこと。	工場
性能	性能確認	動作確認	所定の動作について確認する。	燃料集合体を取扱う状態で伸縮，起伏，旋回，昇降が可能なこと。	現地

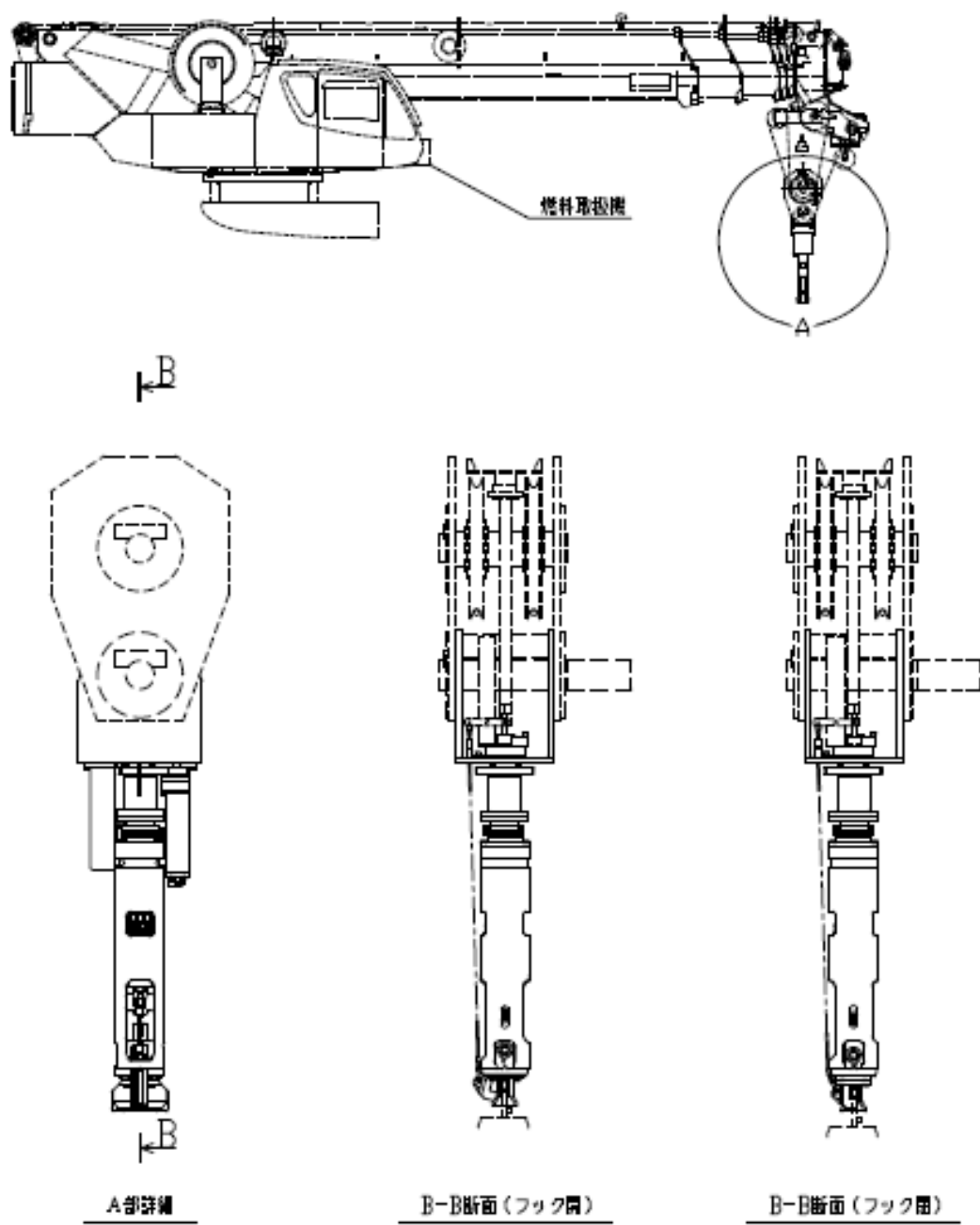
表－２ ２号機燃料取扱設備の機能に係る確認事項（クレーン）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準	検査場所
落下防止	機能確認		単一故障において構内用輸送容器を落下させないことを確認する。	動力源が喪失した場合においても定格容量を保持し続ける構造であること。 動力源断時にスプリングリターン式ブレーキで保持する構造であること。	工場
				構内用輸送容器を取扱う状態で使用済燃料貯蔵ラック上を通過させない機能を有すること。	現地
				二重のワイヤロープで保持する構造であること。	工場
				垂直吊具は外れ止め装置を有する構造であること。	工場
性能	機能確認	容量確認	容量について確認する。	実施計画通りの荷重が吊り上げ可能なこと。	工場
性能	性能確認	動作確認	所定の動作について確認する。	構内用輸送容器を取扱う状態で旋回、昇降が可能なこと。	現地

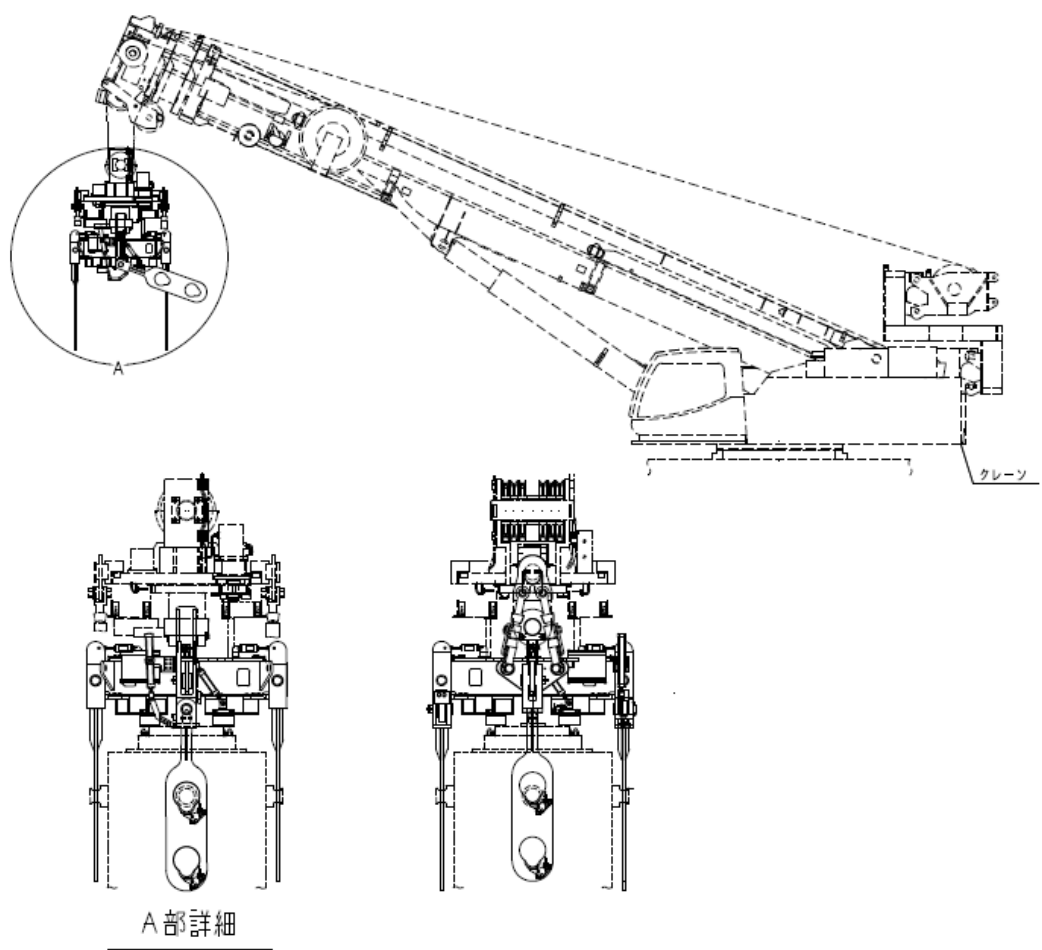


図－１ 燃料取扱設備 外形図





図－2 燃料把握機 外形図



図一 3 垂直吊具 外形図

## 燃料の健全性確認及び取り扱いに関する説明書

## 1. 概要

福島第一１～４号機 使用済燃料プール（以下、ＳＦＰ）に貯蔵されている燃料は、海水注入等による水質環境変化、原子炉建屋爆発に伴うがれきの落下を経験しており、燃料を使用済燃料共用プール（４号機ＳＦＰに貯蔵されている新燃料については、一部６号機ＳＦＰ）へ搬出する前に、取り扱いに必要な機能を有していることを確認しておく必要がある。

燃料健全性を確認するための検査としては SHIPPING 検査や外観検査といった検査が考えられるが、燃料検査装置が損傷していること、ＳＦＰ周辺は空間線量が高いことから、通常行われている検査を行うことは困難な状況にある。このため、海水注入等による水質環境変化についてはＳＦＰ水質を模擬した燃料部材の腐食試験等により、がれきの落下についてはがれきが衝突する上部タイププレート（以下、ＵＴＰ）の変形程度を確認することにより、燃料健全性への影響について確認する。

燃料健全性への影響がない燃料集合体は３号機においては３号機構内用輸送容器、４号機においては既存のＮＦＴ－２２Ｂ型構内輸送容器に収納し、燃料健全性への影響が疑われる燃料集合体は燃料被覆管の破損を考慮した容器に収納し、使用済燃料共用プール（４号機ＳＦＰに貯蔵されている新燃料については、一部６号機ＳＦＰ）へ搬出する。

## 2. 震災時のＳＦＰの状況

福島第一１～４号機は地震後の津波によりプール水の冷却機能が喪失し、使用済燃料からの崩壊熱によりプール水が蒸発したが、放水車や既設のＦＰＣ配管を用いた注水によりＳＦＰ内の燃料が冠水した状態を維持することができた。１号機、３号機、４号機は水素爆発により建屋が損傷しており、水中カメラを用いて３号機、４号機のＳＦＰ内を調査したところ、がれきが散乱していることを確認している。

水質分析の結果、塩化物イオン濃度は４号機で約 2500ppm、pH は３号機で 11.2 が確認された。以下に福島第一１～４号機の震災時のＳＦＰの水質について記載する。

## 2.1. １号機ＳＦＰの状況

震災発生時に１号機のＳＦＰには使用済燃料292体、新燃料100体が貯蔵されていた。震災に伴う全交流電源喪失により、平成23年3月11日にＳＦＰの冷却機能及び補給水機能が喪失したが、コンクリートポンプ車による放水（淡水）やＦＰＣ配管による注水（淡水）により、図２－１に示すとおり燃料が冠水した状態を維持することができた。平成23年8月10日に代替冷却系によるＳＦＰ冷却を開始した。冷却開始時の水温は約47℃（代替冷却系入口温度）だったが、平成23年8月27日頃には安定した状態になった。

なお、１号機ＳＦＰには海水注入を行っていない。

## 2.2. 2号機SFPの状況

震災発生時に2号機のSFPには使用済燃料587体、新燃料28体が貯蔵されていた。震災に伴う全交流電源喪失により、平成23年3月11日にSFPの冷却機能及び補給水機能が喪失したが、FPC配管を用いた注水（海水又は淡水）により、図2-2に示すとおり燃料が冠水した状態を維持することができた。平成23年5月31日に代替冷却系によるSFP水冷却を開始した。冷却開始時の水温は70℃（SFP温度計指示値）だったが、平成23年6月5日頃には安定した状態になった。また、平成24年1月から塩分除去作業を開始した。塩分除去開始前の塩化物イオン濃度は1600ppmであったが、平成24年7月に十分低い濃度に達したことから、塩分除去作業を完了した（保安規定制限値：100ppm）。塩分濃度の推移を図2-3に示す。

## 2.3. 3号機SFPの状況

震災発生時に3号機のSFPには使用済燃料514体、新燃料52体が貯蔵されていた。震災に伴う全交流電源喪失により、平成23年3月11日にSFPの冷却機能及び補給水機能が喪失したが、放水車、屈折放水塔車、コンクリートポンプ車による放水（海水又は淡水）や既設のFPC配管を用いた注水により図2-4に示すとおり燃料が冠水した状態を維持することができた。

SFP水を分析したところ、落下したコンクリートからカルシウム等が溶出し、SFP水がアルカリ性を示すことが確認された。このため、SFP内の設備の腐食を防止するためにホウ酸水を注水して中和した。注水前には強アルカリ性（pH11.2、平成23年5月8日測定）であったが、注水後には弱アルカリ性（pH9.0、平成23年7月7日測定）になった。

平成23年6月30日に代替冷却系によるSFP水冷却を開始した。冷却開始時の水温は約62℃（代替冷却系入口温度）だったが、平成23年7月7日頃には安定した状態になった。また、平成24年4月から塩分除去作業を開始した。塩分除去開始前の塩化物イオン濃度は1600ppmであったが、平成25年3月に十分低い濃度に達したことから塩分除去作業を完了した。塩分濃度の推移を図2-5に示す。

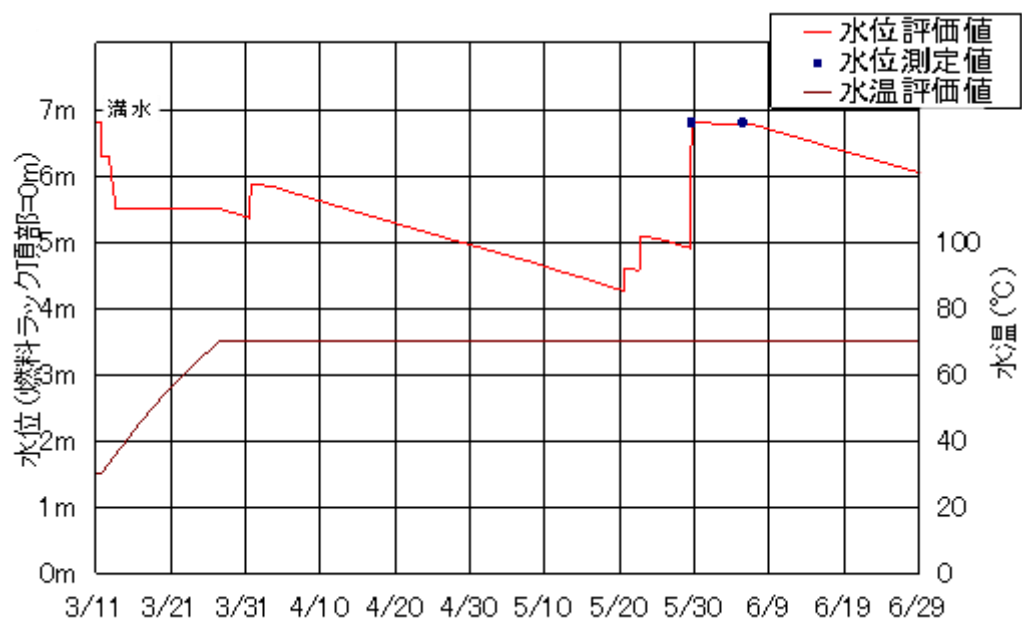
## 2.4. 4号機SFPの状況

震災発生時に4号機のSFPには使用済燃料1331体、新燃料204体が貯蔵されていた。震災に伴う全交流電源喪失により、平成23年3月11日にSFPの冷却機能及び補給水機能が喪失したが、高圧放水車、コンクリートポンプ車を用いた放水（海水又は淡水）により図2-6に示すとおり燃料が冠水した状態を維持することができた。

福島第一1～4号機SFPの中で最も発熱量が高い4号機では、平成23年3月22日より海水注水を実施しており、平成23年5月7日には約2500ppmの塩化物イオン濃度が測定された。淡水に切替えた以降は、約2000～2500ppmの塩化物イオン濃度で推移した。

平成23年7月31日に代替冷却系によるSFP水冷却を開始した。冷却開始前の水温は

90℃程度と評価されているが、冷却開始後は夏場でも40℃程度で安定的に推移した。また、平成23年8月から塩分除去作業を開始した。塩分除去開始前の塩化物イオン濃度は1944ppmであったが、平成24年10月に塩化物イオン濃度9ppm程度と十分低い濃度に達したことから塩分除去作業を完了した。塩分濃度の推移を図2-7に示す。



日付は平成 23 年の月/日を示す

図 2 - 1 1 号機 S F P の評価結果

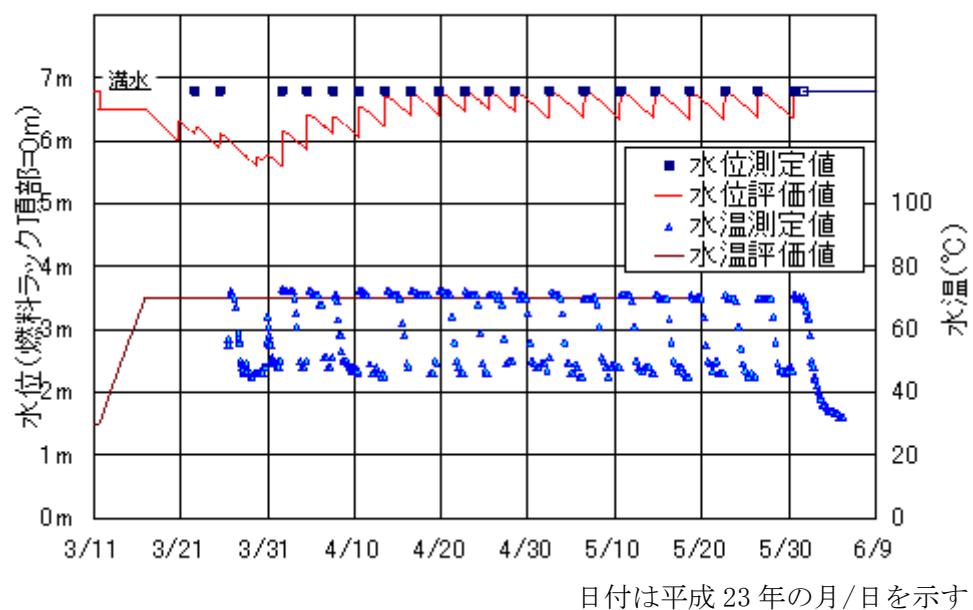


図 2-2 2号機SFPの評価結果

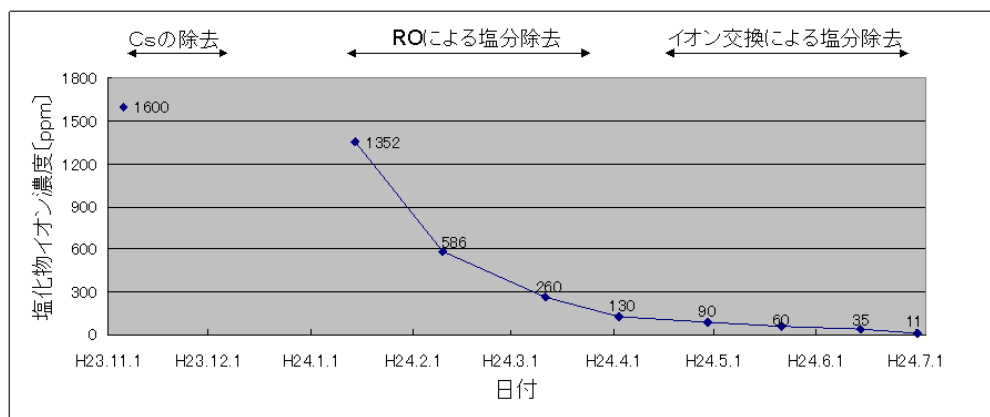
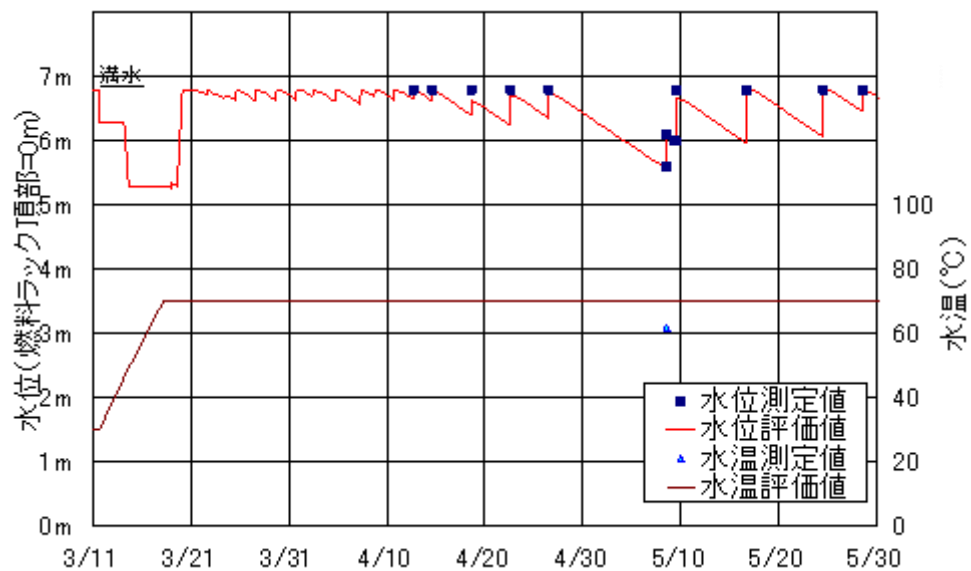


図 2-3 2号機SFP塩化物イオン濃度の評価結果



日付は平成 23 年の月/日を示す

図 2－4 3号機S F Pの評価結果

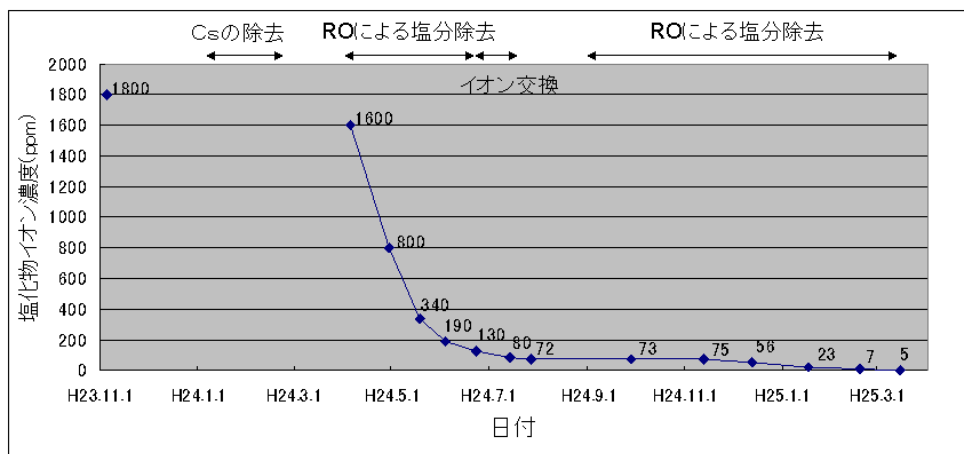
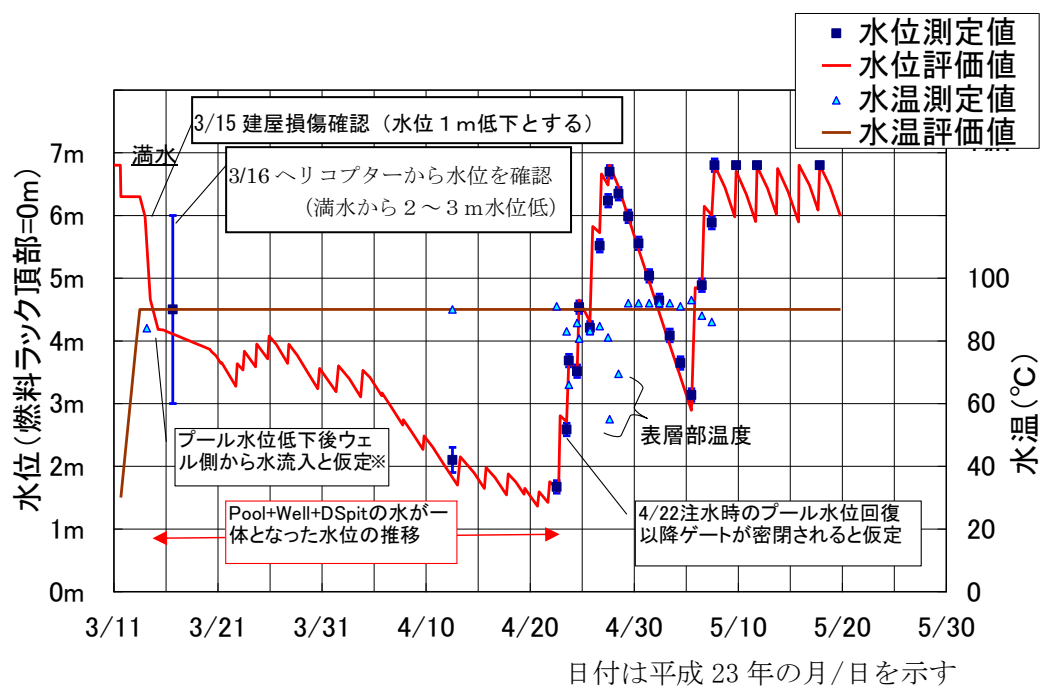


図 2－5 3号機S F P塩化物イオン濃度の評価結果





※ 地震発生時、原子炉ウェル側は満水状態であったため、水位評価値においては、ウェル・DSピット側からプール側への水の流入を考慮している。

図 2-6 4号機SFPの評価結果

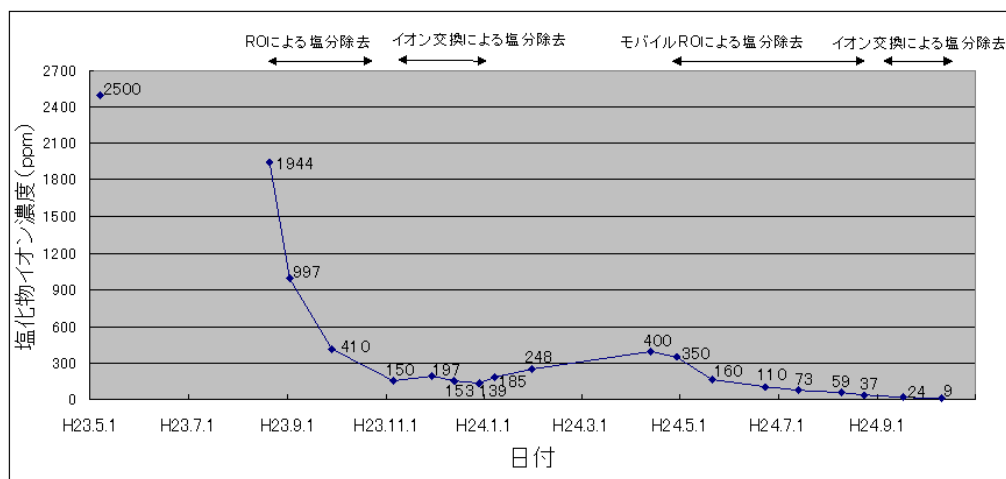


図 2-7 4号機SFP塩化物イオン濃度の評価結果

### 3. 燃料取り扱いに必要な機能

福島第一1～4号機SFPに保管されている燃料集合体は、原子炉に装荷して使用する計画はないが、使用済燃料共用プール（4号機SFPに貯蔵されている新燃料については、一部6号機SFP）へ搬出するための取り扱いに必要な機能を有している必要がある。

#### 3.1. 燃料集合体の吊上げ

燃料取扱機は、燃料集合体のUTPのハンドルを把持する。UTPは8本の結合燃料棒とナットを介して結合され、結合燃料棒の下端は下部タイプレート（以下、LTP）に結合されている。結合燃料棒以外の燃料棒は、UTPとLTPの間に挟まれているが、結合されていない。

結合燃料棒の引張強度は1本あたり500kg以上であり、UTP、結合燃料棒1本（端栓、燃料被覆管及びナット）及びLTPが健全であれば、燃料集合体（約300kg）を吊上げることができる。

#### 3.2. 構内用輸送容器の収納条件

3号機及び4号機SFPに貯蔵されている震災以前から存在する漏えい燃料等やハンドル部が変形し燃料健全性への影響が疑われる燃料の輸送で用いる構内用輸送容器を除く、構内用輸送容器は、燃料ペレットが燃料被覆管に密封されていることを前提として安全評価を行っている。このため、構内用輸送容器に収納する前に、燃料被覆管健全性を確認する必要がある。

### 4. 海水注入等による燃料構造材の腐食

燃料を構成する材料であるジルカロイ2、ステンレス鋼は腐食に強い材料であり、腐食する可能性は低い。しかしながら、念のため、SFPの水質（海水注水、pH、水温）を模擬した腐食試験と4号機SFPに保管されていた新燃料の外観点検を行った。その結果、燃料健全性に影響を与えるような腐食は確認されなかった。

このため、福島第一1～4号機SFPに貯蔵されている燃料において燃料健全性に影響する腐食はないと考える。

#### 4.1. 腐食試験

福島第一1～4号機SFPの水質環境の影響を評価するため、腐食試験を行った。海水注水の影響確認は、最も多くの海水を注水した4号機SFPの水質環境を試験条件とした。pHは最も多くのコンクリートが混入した3号機SFPの水質環境を試験条件とした。

##### 4.1.1. 試験条件

腐食試験の試験条件を表4-1に、試験片の形状を表4-2、表4-3、各部材の材質を

表 4-4 に示す。

#### 4.1.1.1. 海水注水による影響の確認

試験片は燃料の吊り上げに必要な部材である結合燃料棒及び結合燃料棒と U T P または L T P との結合部（ナットと膨張スプリングを含む）とした。

試験時間は 4 号機の温度履歴を考慮し 3500 時間とした。3500 時間は 4 号機の S F P に海水注入してから代替冷却系による冷却を開始するまでの期間を包絡している。また、時間に対する腐食程度の傾向を把握するために、2000 時間についても実施した。

水質環境は、4 号機の水質環境を模擬して 3 つのフェーズに分割した。

##### (1) フェーズ 1：平成 23 年 3 月 22 日～平成 23 年 5 月 7 日までの環境条件

平成 23 年 5 月 7 日には塩化物イオン濃度 2500ppm が測定されている。しかしながら、水位が低かった時にはこれより濃度が高かったと考えられる。よって、保守的に人工海水の約 3 倍希釈とし、塩化物イオン濃度 6000ppm で 1200 時間浸漬し、その後 2500ppm で浸漬した。水温は冷却前の水温である 90℃とした。

##### (2) フェーズ 2：平成 23 年 5 月 7 日以降の環境条件

平成 23 年 5 月 7 日には塩化物イオン濃度 2500ppm が測定され、図 2-7 に示すとおり平成 23 年 8 月 20 日には 1944ppm が測定された。この間、海水注入は行われていないことから、平成 23 年 5 月 7 日以降の環境条件を塩化物イオン濃度 2500ppm、温度 90℃とした。

##### (3) フェーズ 3：環境改善後の環境条件

図 2-7 に示すとおり試験条件を検討した時期（平成 24 年 4 月）に塩化物イオン濃度 400ppm が測定されたため、塩化物イオン濃度 400ppm、温度 40℃を環境改善後の環境条件に設定した。

現在は 100ppm 以下で管理されている。

#### 4.1.1.2. アルカリ化による影響の確認

コンクリートがれきによるアルカリ化の影響を確認するため、コンクリートから溶出するアルカリ金属（Ca 等）として、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の薬剤で pH11.2 に調整した。

塩化物イオン濃度及び水温は、測定データ及び海水注水による影響評価試験の条件を考慮して 2500ppm、また 3 号機 S F P の水温 70℃を設定した。試験時間は、海水注水による影響評価試験の条件を考慮して、2000 時間及び 3500 時間とした。

#### 4.1.1.3. 照射影響の確認

照射材と未照射材との差異を確認するため、比較試験を実施した。照射材は、福島第二原子力発電所 1 号機で 5 サイクル照射した後に取り出した 9×9 燃料 A 型少数体装荷燃料

(集合体平均燃焼度：53GWd/t) の上部端栓，下部端栓（燃料被覆管を含む）及びLTPとした。

環境条件は，海水注水による影響評価試験の条件を考慮して，温度 90℃，塩化物イオン濃度 2500ppm，中性の環境を選定した。試験時間は 2000 時間とした。

#### 4.1.2. 試験結果

図4-1～図4-5に腐食試験の代表的な結果を示す。

燃料吊り上げ時の荷重負担部位のうち，ジルカロイ製部材（端栓，被覆管）については，有意な腐食は見られなかった。図4-1ではニッケル基合金の膨張スプリングに腐食が見られるが，詳細観察の結果，膨張スプリング近傍の上部端栓，UTPの減肉は見られない。なお，膨張スプリングは吊り上げ時の荷重負担部位ではないため，吊上げ機能には影響しない。また，ジルカロイ製部材（上部端栓）とステンレス製部材（ナット）との接触部（ねじ山）に有意な腐食は見られなかった。

一方，ステンレス製の荷重負担部材（UTP，LTP及びナット）については，表面の軽微な腐食を示す着色が観察され，一部の試験片では部材内部に及ぶ孔食が観察された。図4-5にUTPに観察された孔食を示す。孔食は単発的に発生しており，偶発的で発生頻度は限定的なものと考えられるため，腐食の集中により荷重負担部材の強度が低下する可能性は小さく，吊上げ機能には影響しないと考える。また，漏えい流制御板の押さえ板と押さえねじの接触部で腐食が観察されているが，腐食はねじ部近傍に限定されており吊上げ機能には影響しない。

図4-6，図4-7に引張試験の結果について示す。図に示すとおり，浸漬後の試験片でも浸漬していない試験片でも最大荷重に有意な差はなく，強度劣化は確認されなかった。

#### 4.2. 4号機使用済燃料プール内に保管された新燃料の外観点検

平成24年7月に4号機SFPから未照射の新燃料を2体取り出し，うち1体について詳細な外観点検を実施した。UTP，結合燃料棒（端栓，被覆管及びナット）及びLTPに顕著な腐食は確認されなかった。

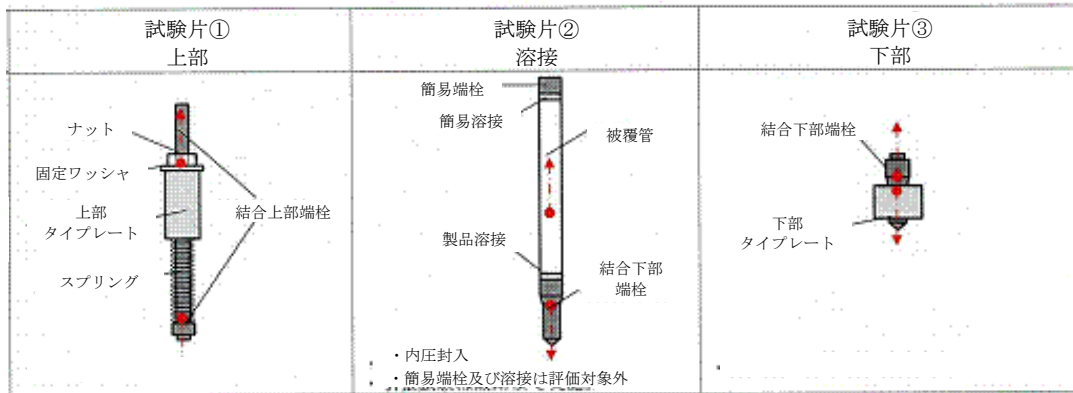
図4-8，図4-9にジルカロイ製部材（上部端栓）とステンレス製部材（ナット）の接触部を示す。ジルカロイ製部材とステンレス製部材の接触部にも腐食は確認されなかった。図4-10にLTPの観察結果を示す。LTPの一部分に僅かな錆が見られたが，全体的に有意なキズも腐食もない状況であった。尚，錆は限定的であり，腐食の集中による荷重負担部材の強度が低下する可能性は小さく，吊上げ機能には影響しないと考える。

表 4-1 腐食試験の試験条件

想定項目		試験条件, 温度, 塩化物イオン濃度	燃料 タイプ	予備 酸化膜	試験 片 ①	試験 片 ②	試験 片 ③	備考
海水注水による影響の確認	フェーズ 1	90℃, 6000 ppm で 1200h の浸漬後, 90℃, 2500ppm で浸漬	9×9 燃料 (A 型) 未照射材	無	○	△	○	
				有	○	△	○	
			9×9 燃料 (B 型) 未照射材	無	○	—	○	
				有	○	—	○	
	フェーズ 2	90℃, 2500ppm	9×9 燃料 (A 型) 未照射材	無	○	—	○	
				有	○	—	○	
			9×9 燃料 (B 型) 未照射材	無	○	—	○	
				有	○	—	○	
	フェーズ 3	40℃, 400ppm	9×9 燃料 (A 型) 未照射材	無	○	—	○	
				有	○	—	○	
			9×9 燃料 (B 型) 未照射材	無	○	—	○	
				有	○	—	○	
アルカリ化による影響の確認		70℃, 2500ppm	9×9 燃料 (A 型) 未照射材	無	○	—	○	高 pH
					○	—	○	比較材
照射影響の確認		90℃, 2500ppm (照射影響比較試験)	9×9 燃料 (A 型) 照射材	照射により有	▲	—	▲	
			9×9 燃料 (A 型) 未照射材	無	▲	—	▲	比較材

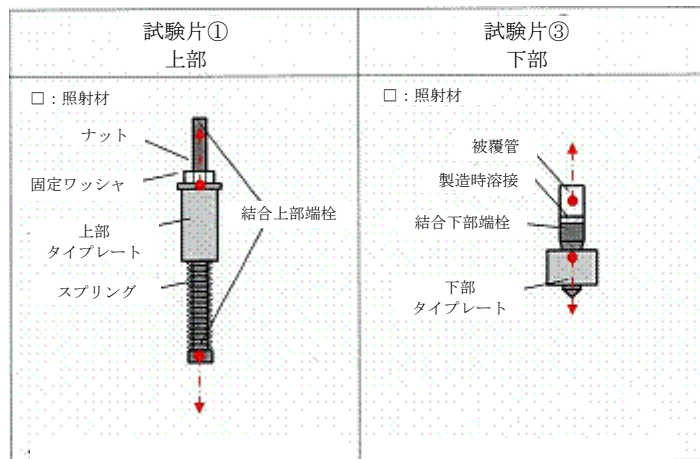
○は試験時間 2 条件 (2000 h, 3500 h), △は試験時間 1 条件 (3500 h), ▲は試験時間 1 条件 (2000 h) を示す。

表 4－2 未照射材用腐食試験片の形状



\*一点鎖線矢印 ( - - - - -> ) は、引張試験での荷重作用方向を表わす。

表 4－3 照射材用腐食試験片の形状



\*一点鎖線矢印 ( - - - - -> ) は、引張試験での荷重作用方向を表わす。

表 4－4 各部材の材質

	部材	材質
1	結合燃料棒 (上部端栓, 下部端栓)	ジルカロイ 2
2	U T P	ステンレス鋼
3	L T P	ステンレス鋼
4	ナット	ステンレス鋼
5	膨張スプリング	ニッケル基合金
6	固定ワッシャ	ステンレス鋼

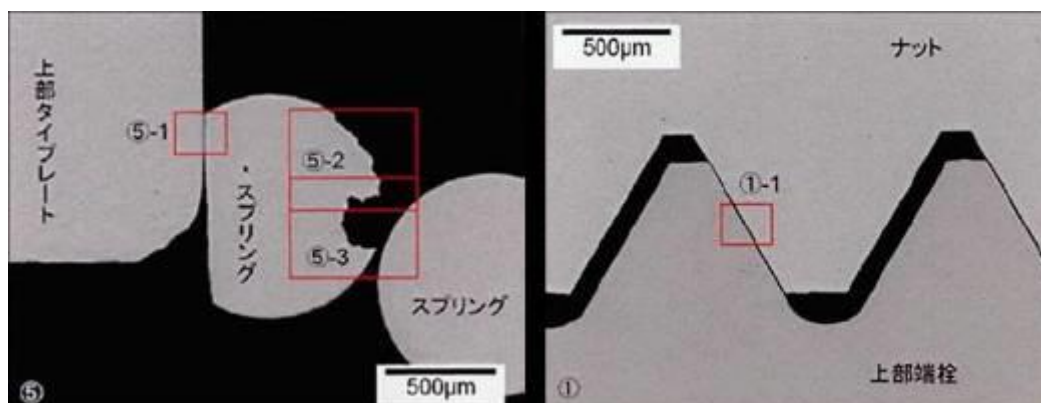
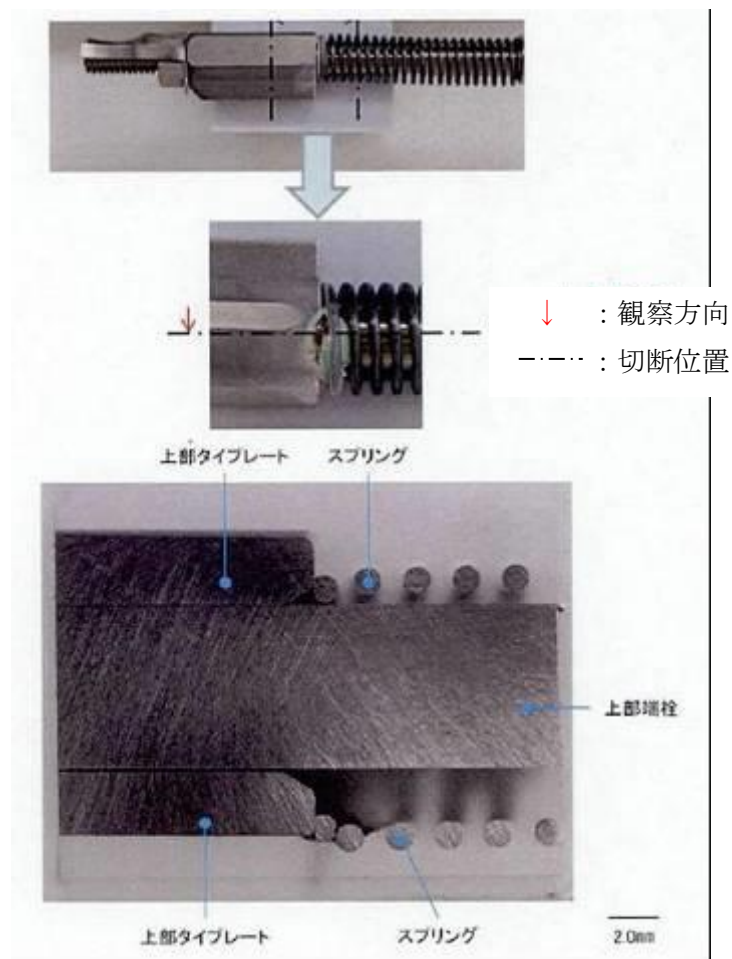


図 4-1 腐食試験結果 (試験片①, 未照射材): フェーズ 1  
(90℃ 塩化物イオン濃度: 6000ppm (1200 時間), 2500ppm, 3500 時間浸漬)  
【予備酸化無し】

浸漬試験前



(a) C65U6CZ02-全体写真

3500 時間浸漬試験後



(b) C65U6CZ02-全体写真

図 4-2 腐食試験結果（試験片②，未照射材）：フェーズ 1  
（90℃ 塩化物イオン濃度：6000ppm（1200 時間），2500ppm，3500 時間浸漬）  
【予備酸化無し】



浸漬試験前



(a) C65U7CZ11, C65U8CZ11  
－全体写真

3500 時間浸漬試験後



(c) C65U7CZ11, C65U8CZ11  
－全体写真

図 4－3 腐食試験結果（試験片③，未照射材）：フェーズ 1  
（90℃ 塩化物イオン濃度：6000ppm（1200 時間），2500ppm，3500 時間浸漬）  
【予備酸化無し】

浸漬試験前



(a) C65C7CZ01－全体写真

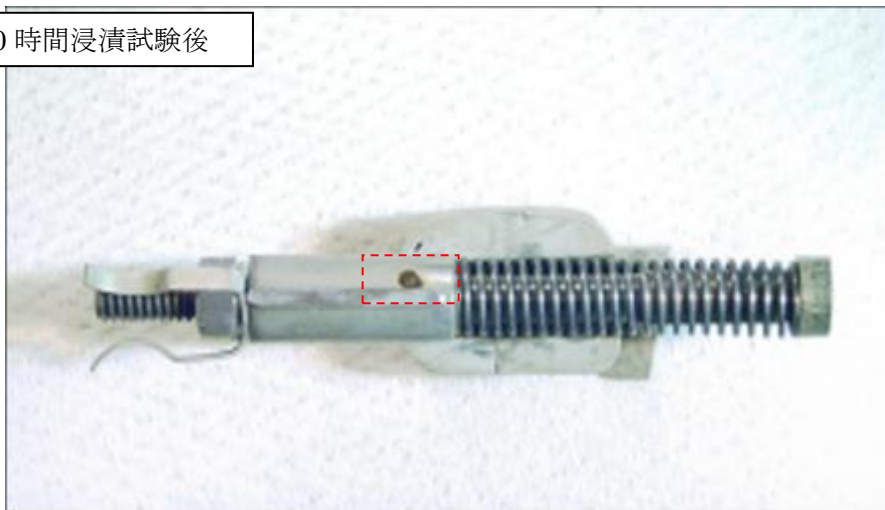
2000 時間浸漬試験後



(b) C65C7CZ01－全体写真

図 4－4 腐食試験結果（被覆管付下部端栓）：照射影響の確認  
（90℃ 塩化物イオン濃度：2500ppm, 2000 時間浸漬）  
【照射により予備酸化有り】

2000 時間浸漬試験後



2000 時間浸漬試験後（詳細）



図 4－5 腐食試験結果（試験片①，照射材）：照射影響の確認  
（90℃ 塩化物イオン濃度：2500ppm，2000 時間浸漬）  
（上部端栓は照射材，その他は未照射材）

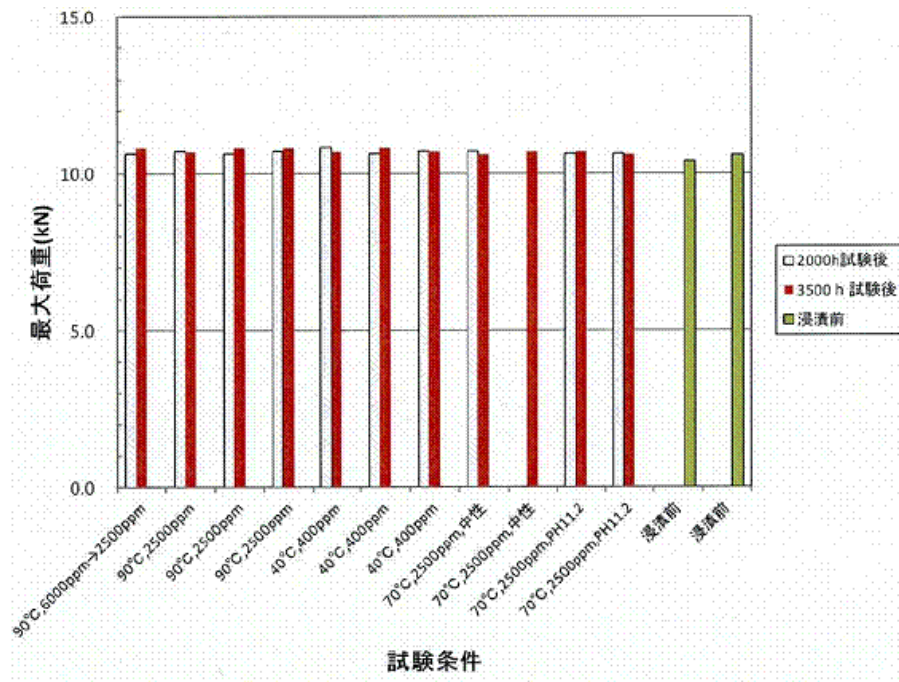


図 4－6 浸漬試験後引張試験時の最大荷重比較  
(未照射試験片① 予備酸化無し)

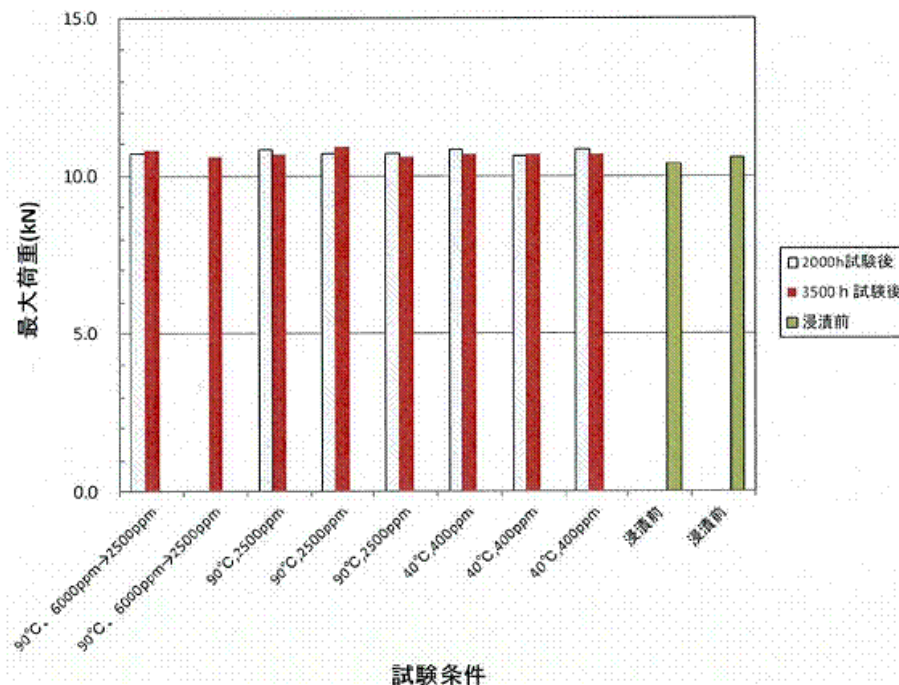


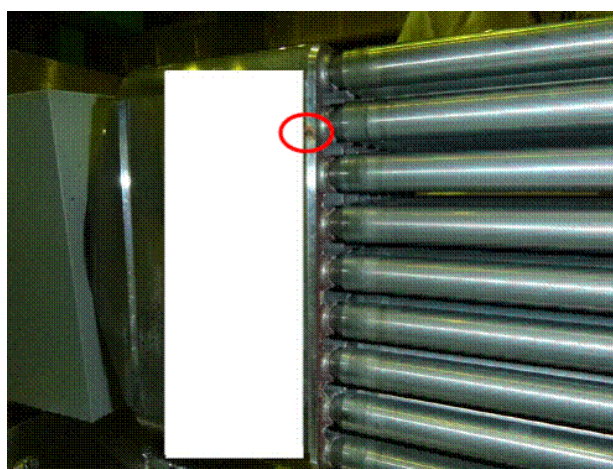
図 4－7 浸漬試験後引張試験時の最大荷重比較  
(未照射試験片① 予備酸化有り)



図 4－8 4号機新燃料点検結果（ナット）：平成 24 年 8 月



図 4－9 4号機新燃料点検結果（結合燃料棒上部端栓）：平成 24 年 8 月



白色部はメーカー機密情報が含まれるため非公開

図 4－10 4号機新燃料点検結果（下部タイプレート）：平成 24 年 8 月

## 5. 落下がれきによる影響

福島第一1, 3, 4号機は原子炉建屋爆発に伴うがれきの落下を経験している。これまでに3号機, 4号機のSFP内の調査を実施しており, 3号機SFPではハンドル部の変形が認められる燃料集合体が一部確認されている。

### 5.1. がれき落下衝撃試験

#### 5.1.1. 試験概要

3号機SFP内には数多くのがれきが確認されており燃料集合体へのがれき衝撃の影響を確認するためにがれき衝突を模擬したがれき落下衝撃試験として9×9燃料（A型）を用いたハンドル部衝撃試験を行った。

#### 5.1.2. 試験条件

がれき落下衝撃試験の試験条件を以下に示す。

試験体型式	: 9×9燃料（A型）
衝撃位置	: ハンドル部
落下高さ	: 5 m
落下体重量	: 約100 kg

#### 5.1.3. 試験結果

衝突後の燃料集合体を図5-1に示す。試験の結果, ハンドルは大きく変形し燃料棒は湾曲したものの, 吊り上げ性能, 燃料被覆管の密封性は確保されることを確認した。また, 各測定データから, 落下体がUTPに衝突し, その衝撃荷重が膨張スプリングを介して全ての燃料棒に伝達すること, 燃料被覆管が塑性変形するような大きな荷重が付加された場合にはUTPが塑性変形した後に燃料被覆管が塑性変形することを確認した。

したがって, 燃料被覆管への影響程度はUTPの変形程度から把握することが出来る。

### 5.2. 3号機及び4号機におけるがれき落下影響に関する解析評価

4号機SFPでは落下がれき等が少ない状況が確認されており, 観察した燃料集合体ではUTP ハンドルには著しい変形は観察されておらず, 大部分の燃料についてはUTP ハンドルを把持した通常の取り扱いが可能であると考えられる。このため, 4号機SFP内の大部分の燃料は, 使用済燃料共用プール（新燃料については, 一部6号機SFP）へ搬出するにあたって, 従来と同等設計の燃料取扱機での取り扱い, 既存のNFT-22B型構内輸送容器の使用ができると考えられる。なお, 構内用輸送容器で搬出する燃料については燃料被覆管が健全であることが要求される。

3号機SFPでは大型のがれきを含めて多量のがれきが落下しており, ハンドル部の変形が認められる燃料集合体が一部確認されている。一方, これまで確認できた範囲では, 水



中カメラによる映像上ハンドル部が有意に変形している燃料は一部に留まり、大多数は従来通りの取り扱いが可能であると考えられる。なお、「3.2. 構内用輸送容器の収納条件」に記載の通り、構内用輸送容器で搬出する燃料については燃料被覆管が健全であることが要求される。

燃料被覆管が塑性変形していなければ、燃料被覆管健全性は維持されと考えられることから、UTPの変形程度を観察することにより、燃料健全性を判別する方法について以下のとおり検討した。なお、ハンドル部が有意に変形している燃料等、本評価手法により設定される判定基準を超過する燃料は、燃料被覆管の破損を考慮した容器に収納する。

また、3号機SFPに存在する燃料タイプと、4号機SFPに存在する燃料タイプの一覧を表5-1に示す。9×9燃料が4号機はB型であることに對し、3号機はA型であることが4号機と3号機の差異である。

#### 5.2.1. 燃料健全性の評価方針

がれきの衝突によりUTPが下降すると、燃料被覆管は圧縮荷重によりたわむと考えられるが、燃料集合体には複数の燃料被覆管が配置されているため、照射伸長している燃料被覆管が先行してたわんだとしても、残りの複数の燃料被覆管で圧縮荷重を支えることができる。一方、5.1.3に示す試験結果からも明らかなように、燃料被覆管よりも先にUTPにおいて塑性変形が発生する。したがって、燃料被覆管に発生する応力が降伏応力に達し塑性変形する場合、UTPに発生する塑性変形量を評価し、そのUTPに残留する塑性変形量を測定することにより燃料被覆管の塑性変形の有無を評価できる。

なお、燃料被覆管が塑性変形したとしても直ちに燃料健全性に影響を与えることはないが、本燃料健全性評価においては、塑性変形に至らない降伏応力(0.2%耐力)以下であることを評価基準とした。

図5-2にUTPに残留する塑性変形量の解析フロー、図5-3に解析モデルの概要、図5-4にUTPの概要図を示す。解析モデルは、UTP、燃料被覆管(ばね要素)及びがれき(剛体)で構成される。がれき(剛体)に下向き荷重を負荷すると、UTP及び燃料被覆管(ばね要素)は上下から圧縮荷重を受ける。燃料被覆管(ばね要素)が降伏応力に達する直前のUTP下降量を算出するとともにUTPに残留する塑性変形量を定量評価する。

本解析は汎用有限要素強度解析コードANSYSを用いる。ANSYSコードでの解析の妥当性を評価するためにUTPの単体試験を実施し、図5-7のとおりの試験データと解析との比較を行い、解析結果が試験データを再現できることを確認した。また、本解析において用いた照射材の物性値を表5-2、図5-5、図5-6に示す。

##### 5.2.1.1. UTP塑性変形量の評価位置

図5-8及び図5-9に典型的なUTP塑性変形の外観図を示す。以下にそれぞれの塑性変形の考え方について示す。

(1) チャンネルボックス上端に対するハンドル上端の沈み込み量

がれきがハンドルに衝突すると、ハンドルが幅を広げながら沈み込むとともに、ハンドルポスト直下部分のネットワークが沈み込むように変形する。

チャンネルボックス（以下、CB）は、ネットワーク上のハンドルポストと異なるコーナー部に固定されている。このため、CB上端に対するハンドル上端の沈み込み量を検出することで、ハンドル変形とネットワーク変形を評価することが出来る。

(2) ハンドル幅拡大量

がれきがハンドルに衝突すると、ハンドル幅が広がるようにハンドルが変形する。このため、ハンドル幅を検出することで、ハンドル変形を評価することが出来る。

(3) CB上端に対するコーナーポスト上端の沈み込み量（9×9燃料（B型）のみ）

9×9燃料（B型）はハンドルポスト付近に機械加工されたコーナーポストがあり、ハンドル上端と比較して誤差の少ない測定が可能である。このため、CB上端に対するコーナーポスト沈み込み量を検出することで、ネットワーク変形を評価することが出来る。

5.2.1.2. 燃料被覆管を模擬したばね要素のばね定数と圧縮荷重

(1) 解析方法

UTP下面は水平に下降し一番長い燃料被覆管に最初に圧縮荷重が作用する。UTP下降初期には、長い燃料被覆管から短い燃料被覆管へ順番に圧縮荷重が作用する。燃料被覆管は長いいため圧縮荷重によりたわむ。

燃料被覆管を模擬したばね要素のばね定数と圧縮荷重の定量評価を以下のとおり実施した。

① UTP下降開始時

燃料被覆管の等価ばね定数（K）を算出し、燃料被覆管上端の軸方向変位（X）を用いて、個々の燃料被覆管が負担できる圧縮荷重（F）を $F=K \cdot X$ により算出する。

② たわみ発生直前

たわみ発生直前に燃料被覆管が負担できる圧縮荷重（Pcr）をオイラーの式 $P_{cr}=n \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I / (L_{sp8})^2$ より、またその時の燃料被覆管上端の軸方向変位（Xcr）を $X_{cr}=P_{cr}/K$ により算出する。

③ たわみ発生以降

たわみ発生以降は、個々の燃料被覆管が負担できる圧縮荷重（F）は弾性たわみの範囲において②で算出したPcrが維持される。



$$K = \frac{E \cdot A}{L}$$

$$P_{cr} = \frac{n \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{(L_{sp8})^2}$$

$$X_{cr} = \frac{P_{cr}}{K}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A}$$

ここで

K	: 燃料被覆管等価ばね定数[N/mm]
E	: ジルカロイのヤング率[N/mm <sup>2</sup> ] (91300[N/mm <sup>2</sup> ] @100℃)
A	: 燃料被覆管断面積[mm <sup>2</sup> ]
L	: 燃料被覆管全長[mm]
P <sub>cr</sub>	: たわみ発生直前に燃料被覆管が負担できる圧縮荷重[N]
n	: 固定定数（端末条件とたわみ形に応じて 1～4 の値となり，本定量評価では 1 次モードとして扱い保守的に n=1 とする。）
I	: 断面二次モーメント[mm <sup>4</sup> ]
L <sub>sp8</sub>	: UTP/最上部スペーサ間長さ[mm]（膨張スプリング縮み代を考慮）
X <sub>cr</sub>	: たわみ発生直前の燃料被覆管上端の軸方向変位[mm]
σ <sub>cr</sub>	: たわみ発生直前の発生応力[N/mm <sup>2</sup> ]

## (2) 解析結果

表 5-3 と表 5-4 に 8×8 燃料，新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料，高燃焼度 8×8 燃料，9×9 燃料（B 型）及び 9×9 燃料（A 型）の燃料被覆管について評価した結果を示す。

### 5.2.1.3. 燃料被覆管に発生する応力

#### (1) 解析方法

5.2.1.2 で示した燃料被覆管を模擬したばね要素のばね定数と圧縮荷重の定量評価に沿って，最大発生応力の定量評価を実施した。

##### ① UTP 下降開始時

5.2.1.2① で算出した圧縮荷重（F）に基づいて，燃料被覆管の発生応力（σ<sub>c</sub>）を σ<sub>c</sub>=F/A により算出する。

##### ② たわみ発生直前

5.2.1.2② で算出したたわみ発生直前に燃料被覆管が負担できる圧縮荷重（P<sub>cr</sub>）に基づいて，燃料被覆管の発生応力（σ<sub>cr</sub>）を σ<sub>cr</sub>=P<sub>cr</sub>/A により算出する。

### ③ たわみ発生以降

図 5－1 0 にたわみの幾何学的評価の模式図を示す。円弧状にたわむことを仮定して、燃料被覆管上端の軸方向変位（Xa）に対するたわみ量（B）を幾何学的に定量評価する。

$$B=R \cdot \{1-\cos(\theta/2)\}$$

$$Xa=2 \cdot R \cdot \{\pi \cdot (\theta/360^\circ) - \sin(\theta/2)\}$$

$$\text{円弧長さ} = L_{sp8} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot (\theta/360^\circ)$$

ここで

B : たわみ量[mm]

Xa : たわみによる燃料被覆管上端の軸方向変位[mm]

R : たわみ半径[mm]

$\theta$  : 円弧角度[°]

図 5－1 1 にたわみの材料力学的評価の模式図を示す。最大発生応力（ $\sigma_a$ ）は、圧縮応力であり、スパン中央高さのたわみ内側位置に生じる。

$$M=P_{cr} \cdot B$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$\sigma_a = \sigma_b + \sigma_{cr}$$

ここで

$\sigma_b$  : たわみによる曲げ応力[N/mm<sup>2</sup>]

M : 曲げモーメント[N・mm]

Z : 断面係数[mm<sup>3</sup>]

$\sigma_a$  : たわみ発生以降の最大発生応力（曲げ+圧縮）[N/mm<sup>2</sup>]

### (2) 解析結果

図 5－1 2 に燃料被覆管上端の軸方向変位（Xcr+Xa）に対する燃料被覆管発生応力（ $\sigma_a$ ）（高燃焼度 8×8 燃料）を示す。燃料被覆管の発生応力が照射材の降伏応力 710[N/mm<sup>2</sup>]に達する燃料被覆管上端の軸方向変位（Xcr+Xa）は、7.7[mm]となった。

図 5－1 3 に燃料被覆管上端の軸方向変位（Xcr+Xa）に対する燃料被覆管発生応力（ $\sigma_a$ ）（9×9 燃料（B 型））を示す。燃料被覆管の発生応力が照射材の降伏応力 710[N/mm<sup>2</sup>]に達する燃料被覆管上端の軸方向変位（Xcr+Xa）は、9.4[mm]となった。

図 5－1 4 に燃料被覆管上端の軸方向変位（Xcr+Xa）に対する燃料被覆管発生応力（ $\sigma_a$ ）（9×9 燃料（A 型））を示す。燃料被覆管の発生応力が照射材の降伏応力 710[N/mm<sup>2</sup>]に達する燃料被覆管上端の軸方向変位（Xcr+Xa）は、9.4[mm]となった。

### 5.2.2. 評価結果

図5-3に示した解析モデルに従い、5.2.1.2で評価した燃料被覆管のばね特性（たわみ発生まではばね定数に基づき算出、たわみ発生以降は一定荷重負担）を基に燃料被覆管に発生する応力を評価した。

5.2.1.3で燃料被覆管上端の軸方向変位が7.7mm（高燃焼度8×8燃料）、9.4mm（9×9燃料（B型））、9.4mm（9×9燃料（A型））となった時に燃料被覆管の発生応力が照射材の降伏応力710[N/mm<sup>2</sup>]に達すると評価された。すなわち、燃料被覆管上端の軸方向変位が上記変位に至らなければ、燃料被覆管は塑性変形に至らないことが確認された。一方、図5-15、図5-16に示すとおり燃料棒は照射により3mm<sup>[1] [2]</sup>程度の照射伸び差があるため、燃料集合体においては、UTPがそれぞれ4.7mm（高燃焼度8×8燃料）、6.4mm（9×9燃料（B型））、6.4mm（9×9燃料（A型））下降した場合に、燃料集合体中の燃料棒に塑性変形が生じるものと想定する。

上記のUTP下降量が発生する荷重が付加された場合に、UTPの各部位に残留する塑性変形量を評価した。また、UTPハンドルへのがれきの衝突位置として、①ハンドル上面全体に剛体接触、②ハンドル上面右半分に剛体接触、③ハンドル上面中央45mmに剛体接触の3ケースを解析対象とした。解析の一例として、図5-17に高燃焼度8×8燃料について「②ハンドル上面右半分に剛体接触」の評価結果を示す。

燃料被覆管の健全性判定に用いるUTPの塑性変形量（CB上端に対するハンドル上端の沈み込み量、ハンドル幅拡大量、CB上端に対するコーナーポスト上端の沈み込み量）を評価した結果を表5-5に示す。9×9燃料（A型）については、高燃焼度8×8燃料及び9×9燃料（B型）の結果を踏まえ、②ハンドル上面右半分に剛体接触のケースを解析対象とした。結果を表5-6及び図5-18に示す。燃料健全性検査は、塑性変形量が最も小さい「②ハンドル上面右半分に剛体接触」を基に検査方法を策定する。

### 5.2.3. まとめ

膨張スプリングが縮みきった後に燃料被覆管に圧縮荷重が作用する場合について、燃料体上部変形を観察して燃料被覆管を健全と判別する方法を検討した。

燃料被覆管が降伏応力を超える前にUTPに検知可能な塑性変形が生じることから、燃料被覆管の健全性を判別するためのUTP変形量を評価した。

## 5.3. 3号機におけるハンドル変形燃料の吊り上げに関する評価

3号機SFPではハンドル部の変形が認められる燃料（以下、ハンドル変形燃料）が確認されている。また、ハンドル変形燃料のうち1体は、CB及びチャンネルファスナ（以下、CF）の有意な変形が見られる（以下、CB変形燃料）。

燃料取扱機によるハンドル変形燃料の取り扱い可否を確認するため、燃料吊り上げ時の荷重負担部材である結合燃料棒及びハンドルの健全性が保たれる吊り上げ条件を、ハンド

ル変形燃料を模擬した解析や試験より評価する。

ハンドルの外観確認を行い、燃料取扱機によるハンドル把持ができる燃料は、評価より確認された吊り上げ条件で取り扱いを行う。また、通常の燃料取扱機の掴み具によるハンドル把持ができない燃料は、大変形用掴み具にて把持する。なお、ハンドル把持ができない燃料が見つかった場合は別途評価を行い、今後本実施計画に記載した上で取り扱うこととする。

### 5.3.1. がれき衝突時の結合燃料棒の健全性

#### (1) 解析方法

燃料ハンドル部へのがれき衝突を模擬した解析をLS-DYNAコードを用いて行い、ハンドル変形燃料の吊り上げに寄与する燃料棒への影響を確認する。

3号機のハンドル変形燃料は、CF側又は反CF側にハンドルが変形しており、がれきが斜めに衝突したと考えられる。そのため、斜め衝突のケース（斜め45°）で衝突解析を主として行い、保守的にハンドルが90°近くまで変形するよう重量・速度条件を調整したうえで、燃料棒の塑性歪分布の傾向を確認する。解析条件を表5-7に示す。

評価燃料は9×9燃料（A型）及び新型8×8ジルコニウムライナ燃料の2種類とし、8×8燃料及び高燃焼度8×8燃料は燃料棒、UTPの幾何形状の違いから保守的に新型8×8ジルコニウムライナ燃料で代表することとした。なお、本燃料健全性評価においては、塑性歪2.8%<sup>※1</sup>未満であることを評価基準とした。

本解析に用いた未照射材及び照射材の物性値を表5-2に示す。なお、結合燃料棒の上部端栓部の中性子照射量は他の部位に比べて少ないことから、保守的に未照射材の物性値を使用した。

#### (2) 解析結果

がれき衝突解析の結果を図5-19に示す。いずれの条件においても燃料棒の上部端栓部にのみ塑性歪が発生し、被覆管部、下部端栓部に塑性歪は見られなかった。

CF側と反CF側の結合燃料棒（上部端栓部）4本の塑性歪はいずれも2.8%<sup>※1</sup>未満であることから、実力的には吊り上げ時に荷重を負担できるものとする。この場合、中性子照射による結合燃料棒の伸びのバラツキを考慮したとしても、少なくとも3点以上でバランスを保ち吊り上げるため、結合燃料棒全体では1tは問題なく吊り上げられる<sup>※2</sup>ものとする。

また、5.1のがれき落下衝撃試験で上部端栓近傍に発生した塑性歪の測定結果を図5-20に示す。測定の結果、ハンドルポスト直下近傍の結合燃料棒4本に発生した塑性歪と比較して、残りのCF側、反CF側の結合燃料棒に発生した塑性歪は小さい値となり、がれき衝突解析と同様な傾向であった。

- ※1 これまでに実施された燃料被覆管（未照射材，照射材）の軸方向の引張試験に係る知見のうち破断に至った塑性歪の最小値。そのため，この値に達した場合でも必ずしも破断するわけではない。
- ※2 浸漬試験後引張試験の結果（図4－6，図4－7）より結合燃料棒の垂直方向の引張強度は未照射材，照射材ともに1本あたり1 t以上。

### 5.3.2. 吊り上げ時のハンドルの健全性

#### (1) 試験概要

燃料吊り上げ時の荷重負担箇所として，変形したハンドルについても同様に，実機相当の吊り上げ荷重負荷時の健全性を確認する必要がある。このため，3号機SFP内に保管されている燃料と同タイプのハンドルに，がれき衝突を模擬した変形を付与したうえで引張試験を行い，有意なき裂が発生しないことを確認した。

また，ハンドルに2本あるハンドルポストの片側を模擬した引張試験を行い，有意なき裂が発生しないことを確認した。

#### (2) 試験条件

引張試験の試験体として，9×9燃料（A型）のUTPを用意した。引張試験に先立って，図5－21に示す変形付与装置を用いて初期変形（動的荷重，静的荷重）を付与した。引張荷重は，ハンドル変形の無い燃料と同様な吊り上げ荷重として1 tで吊り上げることを想定し，試験では燃料取扱機荷重計誤差等を考慮して13 kNとした。また，荷重上限の2倍（引張試験装置の上限）として燃料取扱機荷重計誤差等を考慮して26 kNの試験を実施した。なお，引張回数は，実機で想定されるハンドル変形燃料の吊り上げ回数を考慮して10回とした。ハンドルの引張試験装置を図5－22に示す。

ハンドルポスト模擬試験体については，13kN及び26kN試験に加えて，試験片が破断するまで荷重を付与した。

#### (3) 試験結果

試験の一例として，図5－23に9×9燃料（A型）のハンドルの引張試験前後の外観写真，また，図5－24に浸透探傷試験結果を示す。これらの結果から，引張試験前後で有意なき裂が発生していないことを確認した。また，図5－25に引張試験中の引張荷重－引張変位図を示す。本図から，引張荷重を繰り返し負荷した場合であっても，引張変位の異常な増加は無いことから，引張試験中に有意なき裂の発生及びその進展は無かったものと考えられる。

ハンドルポスト模擬についても，引張荷重を繰り返し負荷した場合であっても，引張変位の異常な増加は無いことから，引張試験中に有意なき裂の発生及びその進展は無かったものと考えられる。また，破断試験結果を表5－8に示す。破断に至るまでの最大荷重は約8.5

t ～ 9.3 t の範囲となり、実機で想定している吊り上げ荷重（1 t）に対して十分な余裕があることを確認した。

#### 5.3.3. CB変形燃料について

CB変形燃料はハンドルだけでなく、CF及びCFポストがハンドル側に傾倒するように変形しており、CFポスト近傍の標準燃料棒、結合燃料棒は、上部タイプレートを介して曲げ応力が発生している可能性がある。そのため、CB変形燃料について水中カメラによる確認によりがれき衝突に伴う影響を確認した。

CFポスト近傍の結合燃料棒の上部端栓部は破損している可能性があるため、水中カメラ映像によりCB変形燃料の結合燃料棒の状態を確認した。CB変形燃料の結合燃料棒の状態を図5-26に示す。

CB変形燃料は、水中カメラ映像から少なくとも4本の結合燃料棒は有意な変形のない状況であり、吊り上げ時に荷重を負担できるものとする。

この場合、中性子照射による結合燃料棒の伸びのバラツキを考慮したとしても少なくとも3点以上でバランスを保ち吊り上げるため、結合燃料棒全体では1 tは問題なく吊り上げられるものとする。

なお、水中カメラ映像に基づき、CFの変形状態を踏まえた解析モデルを作成しCFポスト近傍の燃料棒に発生する塑性歪の有無をANSYSコードを用いて評価した。また、解析条件を表5-9に示す。

解析の結果、CFポスト近傍の標準燃料棒、結合燃料棒は、いずれも上部端栓部において細径部で歪が大きくなり、曲げ角度30°では塑性歪2.8%を超過した。一方、被覆管部において歪は発生しなかった。したがって、いずれも上部端栓部は破損している可能性はあるものの、被覆管部に破損はないため、燃料棒からのFPガスのリークやペレット脱落リスクは無いと考える。

#### 5.3.4. 評価結果

ハンドル変形燃料については、がれき衝突解析結果から、少なくとも4本の結合燃料棒が吊り上げに寄与できる。また、CB変形燃料については、CFポスト近傍の結合燃料棒の上部端栓部は破損している可能性はあるが、水中カメラ映像による確認結果から少なくとも4本の結合燃料棒が吊り上げに寄与できる。したがって、少なくとも3点以上で吊り上げるため、結合燃料棒全体では1 tは問題なく吊り上げられるものとする。

ハンドル部については、引張試験結果から吊り上げ荷重の2倍（2 t）であっても機械的な強度に有意な影響が無い。

以上より、ハンドル変形燃料及びCB変形燃料はハンドル変形の無い燃料と同様の吊り上げ荷重1 tで吊り上げ可能と評価する。

表 5－1 3号機SFPと4号機SFPの貯蔵燃料の差異

	7×7 燃料	8×8 燃料	新型8×8 ジルコニウム ライナ燃料	高燃焼度 8×8燃料	9×9燃料 (B型)	9×9燃料 (A型)
3号機	—	○	○	○	—	○
4号機	○※1	○	○	○	○	—


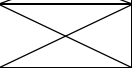
※1 4号機SFPの7×7燃料は過去の取り扱い中に変形を生じた燃料であるため、解析評価の対象外

表 5－2 ジルコニウム合金の物性値<sup>[3][4]</sup>

項目	単位	物性値			
未照射／照射	—	未照射材	照射材		
照射量	n/m <sup>2</sup>	0	2×10 <sup>25</sup> — 14×10 <sup>25</sup>		
温度	℃	室温	室温	100	300
0.2%耐力	N/mm <sup>2</sup>	380	760	710 <sup>*1</sup>	600
引張り強さ	N/mm <sup>2</sup>	546	860	800 <sup>*1</sup>	650

\*1：20℃及び300℃のデータからの内挿値

表 5－3 燃料被覆管の等価ばね定数

項目	単位	記号	式	8×8 燃料	新型8×8 ジルコニウムライ 燃料	高燃焼度 8×8燃料	9×9燃料 (B型)	9×9燃料 (A型)
ヤング率	N/mm <sup>2</sup>	E		91300	91300	91300	91300	91300
酸化減肉 *1 (EOL)	mm	oxd		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
等価ばね 定数	N/mm	K	E*A/L	698	686	687	500	516

\*1：酸化膜厚さ約15μm<sup>[3]</sup>の酸化減肉に相当

表 5－4 たわみ発生直前に燃料被覆管が負担できる圧縮荷重

項目	単位	記号	式	8×8 燃料	新型8×8 ジルコニウムライ 燃料	高燃焼度 8×8燃料	9×9燃料 (B型)	9×9燃料 (A型)
圧縮荷重	kN	P <sub>cr</sub>	$\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(L_{sp8})^2}$	1.7	1.7	1.7	0.9	1.0
UTP 下降 量	mm	X <sub>cr</sub>	P <sub>cr</sub> /K	2.5	2.5	2.4	1.9	1.9
発生応力	N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>cr</sub>	P <sub>cr</sub> /A	55	55	55	42	42

表 5 - 5 UTP に残留する塑性変形量

[単位 : mm]

がれき衝突位置	塑性変形評価位置	9 × 9 燃料 (B 型)	高燃焼度 8 × 8 燃料	新型 8 × 8 <sup>*1</sup> ジルコニウムライ付燃料
①ハンドル上面 全体に剛体接触	CB 上端に対するハンドル上 端の沈み込み量	4.5	7.1	8.4
	ハンドル幅拡大量 (両側)	2.1	4.8	8.1
	CB 上端に対するコーナーポ スト上端の沈み込み量	4.5		
②ハンドル上面 右半分に剛体接 触	CB 上端に対するハンドル上 端の沈み込み量	3.5	5.5	
	ハンドル幅拡大量 (両側)	1.8	4.2	
	CB 上端に対するコーナーポ スト上端の沈み込み量	3.8		
③ハンドル上面 中央 45mm に剛 体接触	CB 上端に対するハンドル上 端の沈み込み量	8.4	10.1	
	ハンドル幅拡大量 (両側)	5.4	8.5	
	CB 上端に対するコーナーポ スト上端の沈み込み量	4.7		

\*1 : 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料以前の燃料は、高燃焼度 8 × 8 燃料と比較してハンドルバーが薄くハンドルポストがコーナーポストと連結していないため塑性変形量が大きい。このため、①を除く一連の解析は高燃焼度 8 × 8 燃料の結果を代表としている。

表 5 - 6 UTP に残留する塑性変形量 (9 × 9 燃料 (A 型))

[単位 : mm]

がれき衝突位置	塑性変形評価位置	9 × 9 燃料 (A 型)
②ハンドル上面 右半分に剛体接 触	CB 上端に対するハンドル上 端の沈み込み量	5.5
	ハンドル幅拡大量 (両側)	4.0



表 5－7 がれき衝突時の結合燃料棒の健全性評価における解析条件

	がれき重量 (t)	がれき衝突 速度 (m/s)	がれき衝突 角度	燃料型式
条件①	1	21	斜め 45°	9 × 9 燃料 (A 型)
条件②	1	21	垂直	9 × 9 燃料 (A 型)
条件③	4.5	12	垂直	9 × 9 燃料 (A 型)
条件④	1	21	垂直	新型 8 × 8 ジルコニウムライナ 燃料

表 5－8 ハンドルポスト引張試験結果 (破断試験)

初期変形時の 荷重付与方法	燃料型式	破断に至るまでの 最大荷重
動的荷重	高燃焼度 8 × 8 燃料, 9 × 9 燃料 (A 型)	91.5 kN (9.33t)
	新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料	89.7 kN (9.15t)
静的荷重	高燃焼度 8 × 8 燃料, 9 × 9 燃料 (A 型)	91.1 kN (9.29t)
	新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料	83.4 kN (8.50t)

表 5－9 C B 変形燃料における解析条件

項目	条件	備考
評価温度	70℃	プール水の設計温度の包絡条件として設定
C F 部の傾き	30°	C B 変形燃料の水中カメラ映像では, C F 部の傾き 角は 27 度となることから, 包絡条件として設定
物性値	未照射材	照射により耐力及び引張強さが高くなる傾向がある ことから, 保守側の試験結果が得られる

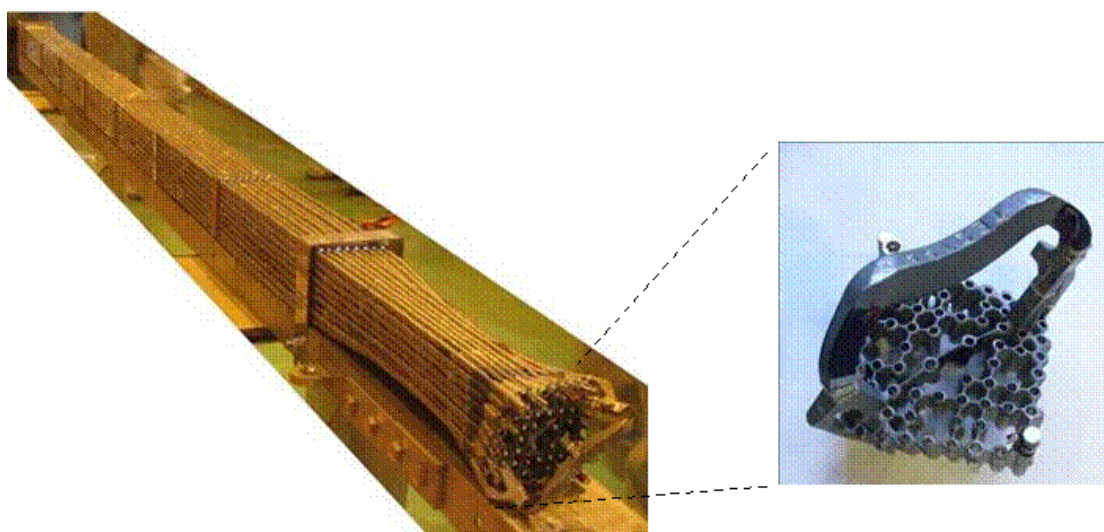


図 5 - 1 がれき落下衝撃試験の結果

＜解析の基本方針＞

- ・ UTPに大きな荷重が付加された場合にはUTPが下降（UTP下方向への移動量+UTP変形量（塑性+弾性））する。
- ・ UTP下降による燃料被覆管の発生応力が降伏応力に達する場合には，燃料被覆管が塑性変形する。（その場合，UTPが塑性変形した後に燃料被覆管が塑性変形する。）
- ・ 燃料被覆管への影響程度はUTPの塑性変形の程度から把握できる。

【STEP 1】燃料被覆管が降伏応力に達する直前の条件を評価する。

【STEP 2】その場合のUTP塑性変形量を算出する。

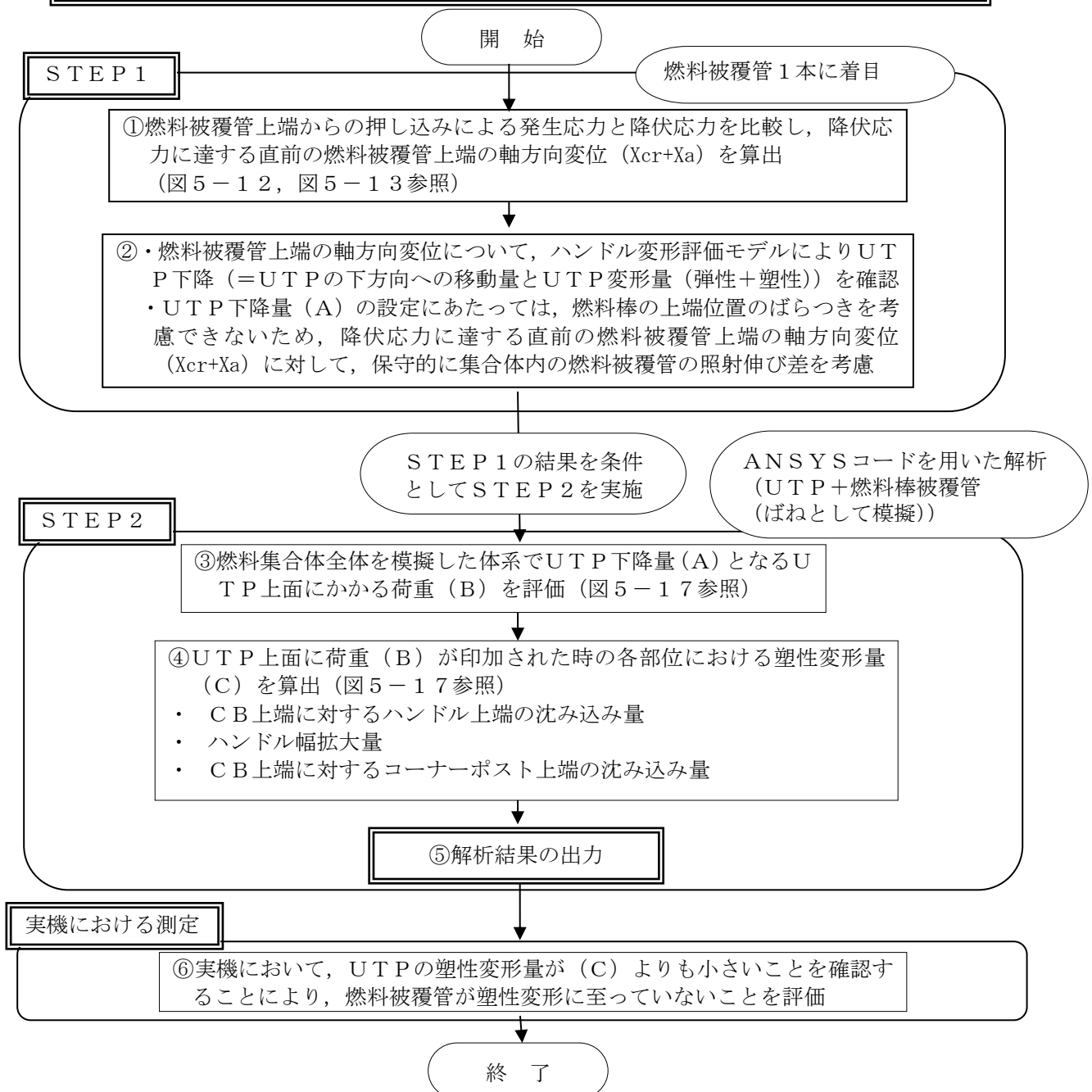
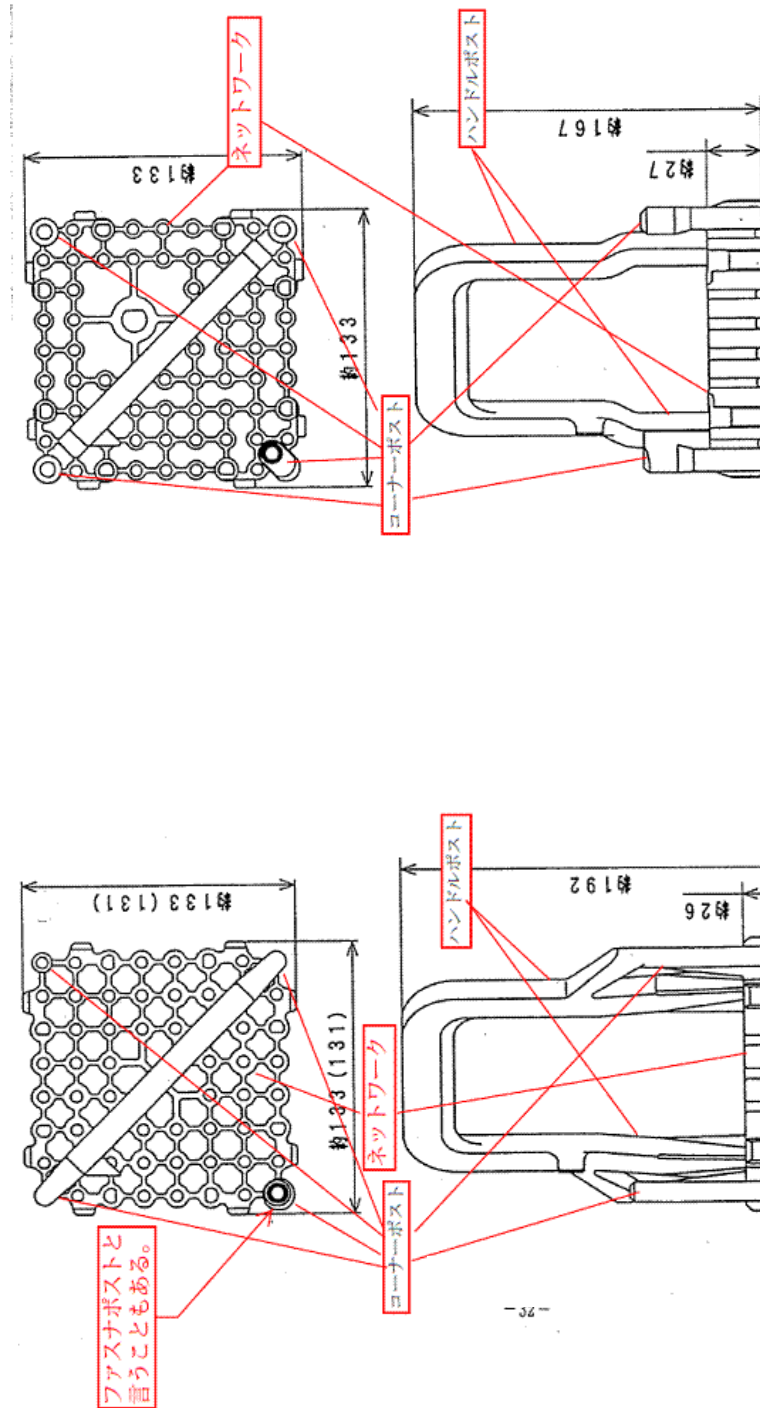


図5-2 UTPに残留する塑性変形量の解析フロー図





高燃焼度 8 × 8 燃料

9 × 9 燃料 (B型) (D 格子)

( ) はS格子  
(単位 : mm)

図 5-4 UTP の概要図

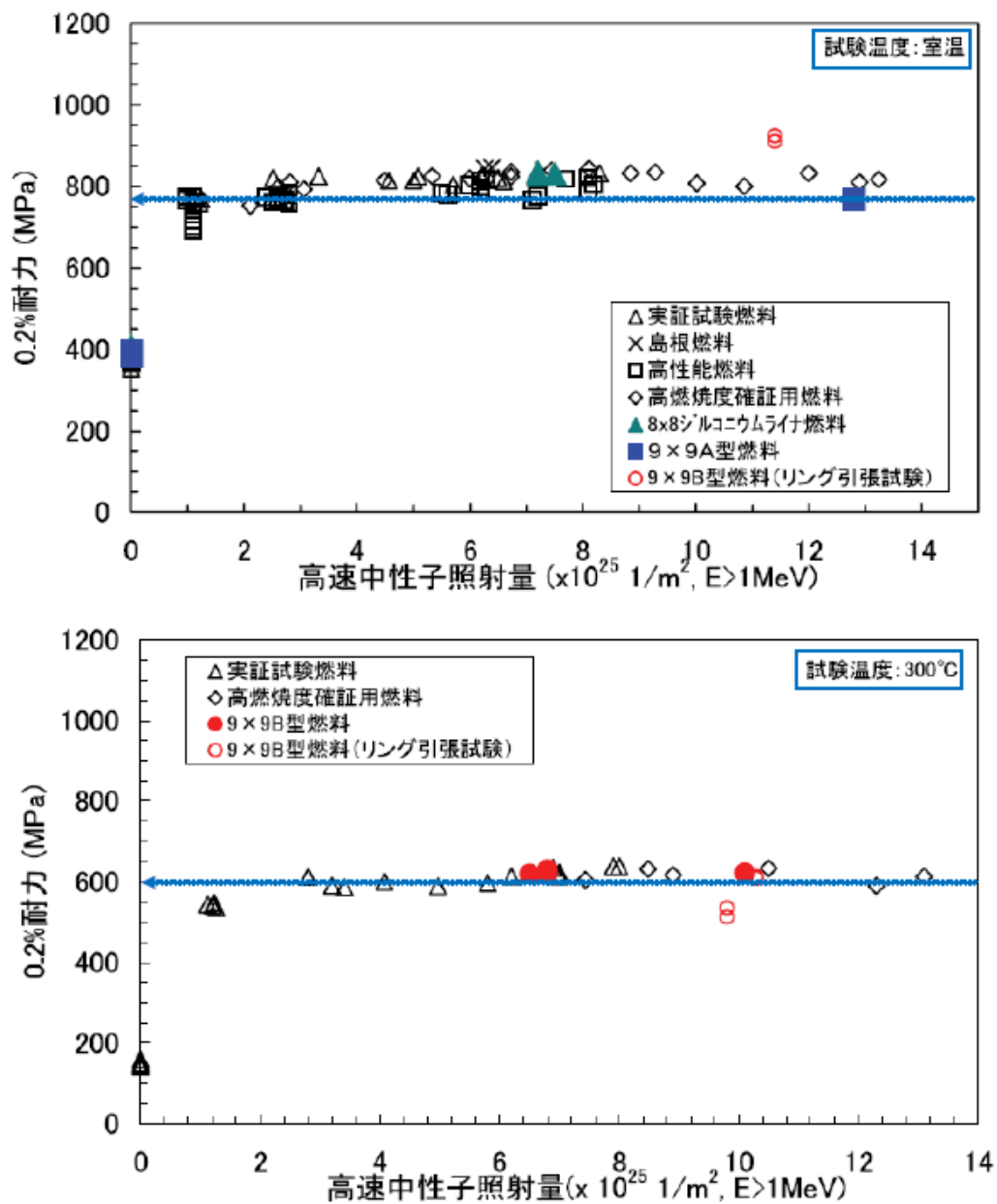


図 5-5 ジルコニウム合金の降伏応力 (0.2%耐力) 評価<sup>[3]</sup>

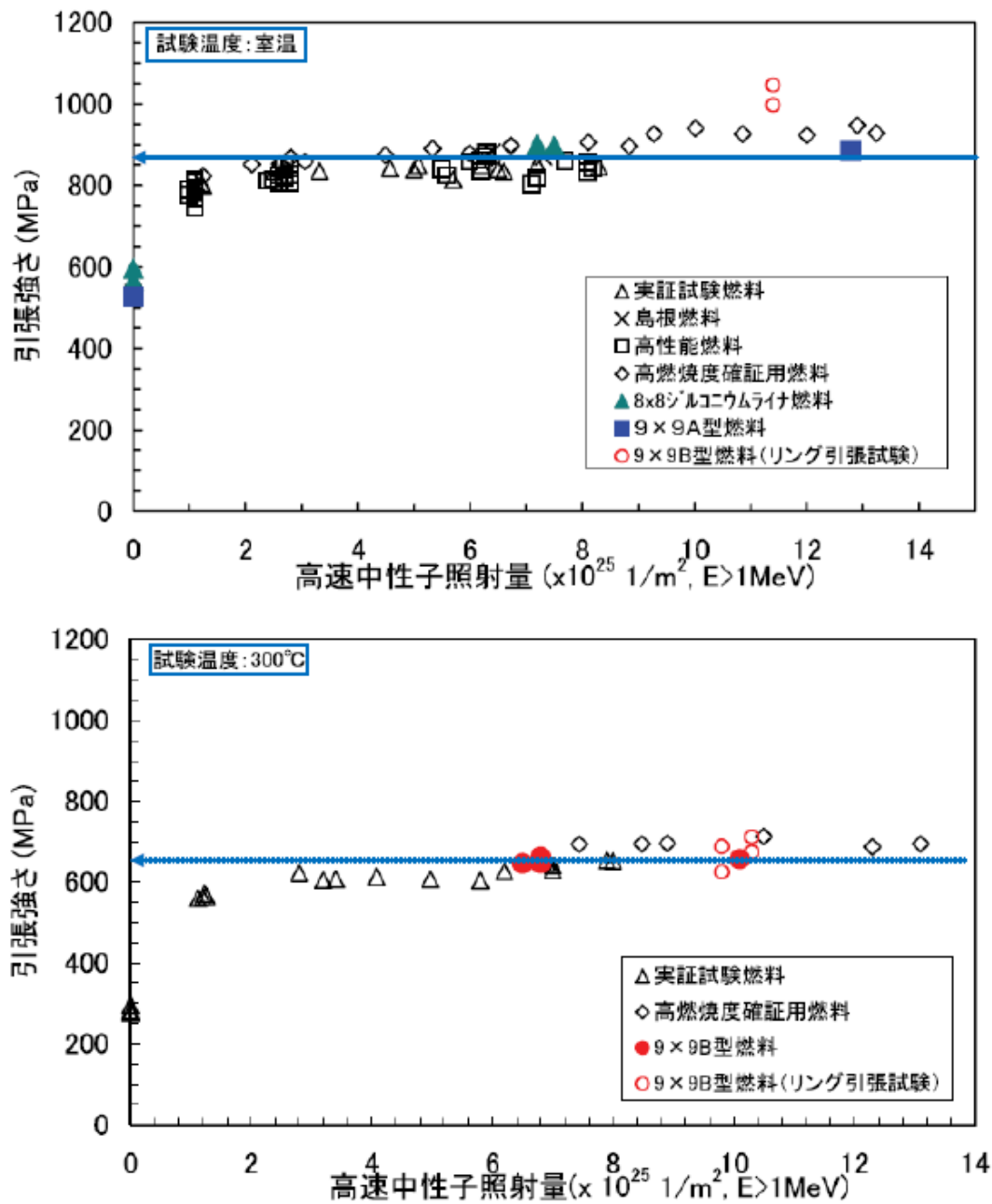
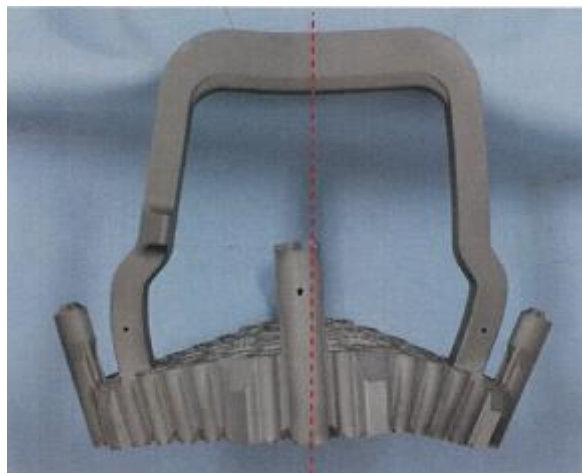


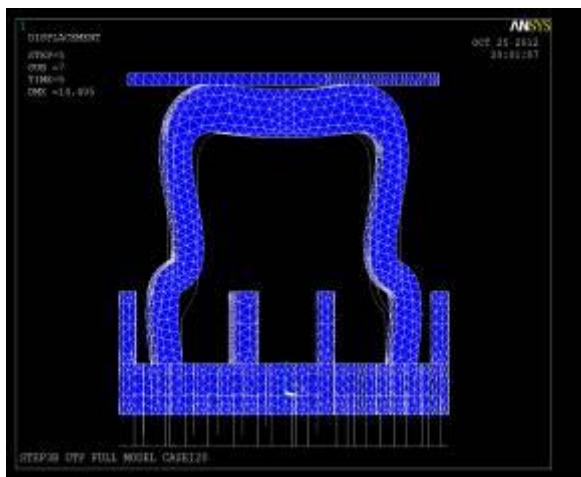
図 5-6 ジルコニウム合金の引張り強さ評価<sup>[3]</sup>



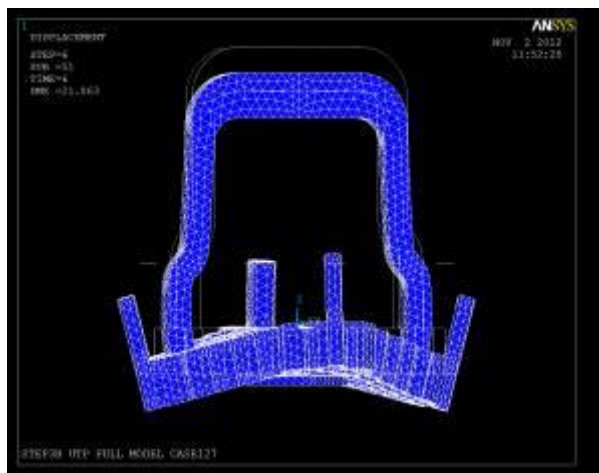
ハンドルを変形させる試験



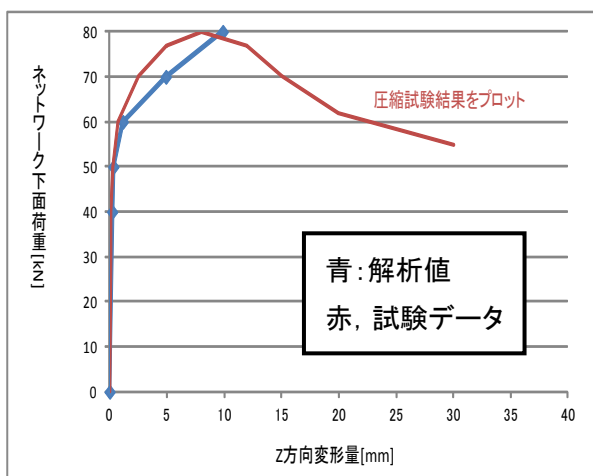
ネットワークを変形させる試験



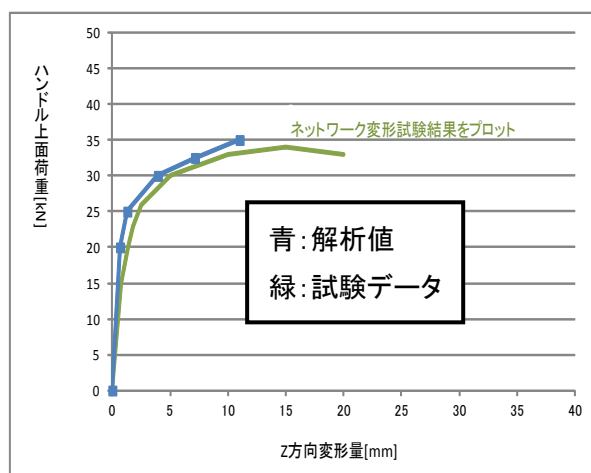
ハンドルを変形させる解析



ネットワークを変形させる解析



単体試験と解析の比較



単体試験と解析の比較

図 5-7 単体試験とANSYSコード解析との比較



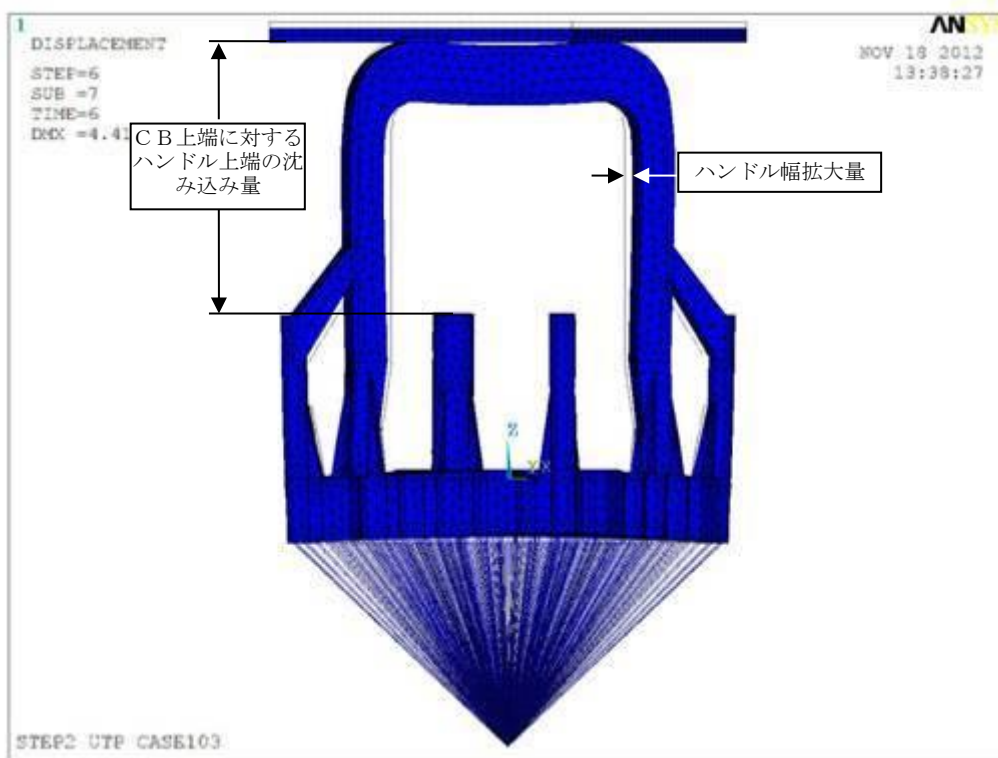


図 5－8 典型的なUTP塑性変形の外観図（高燃焼度 $8 \times 8$ 燃料）

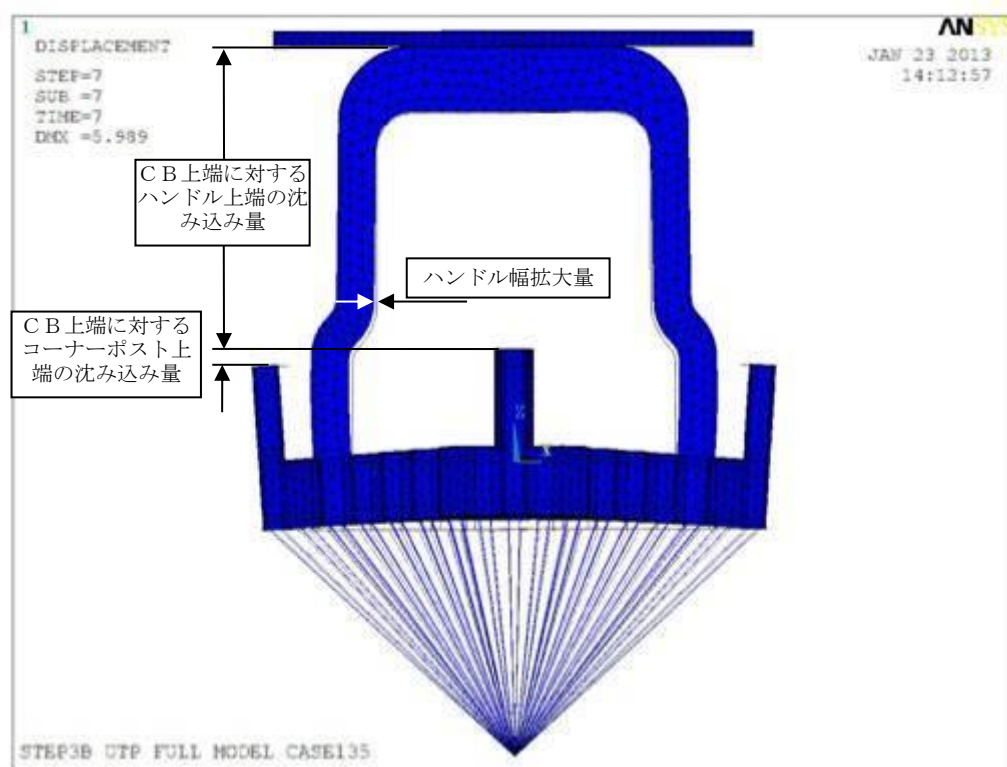


図 5－9 典型的なUTP塑性変形の外観図（ $9 \times 9$ 燃料（B型））

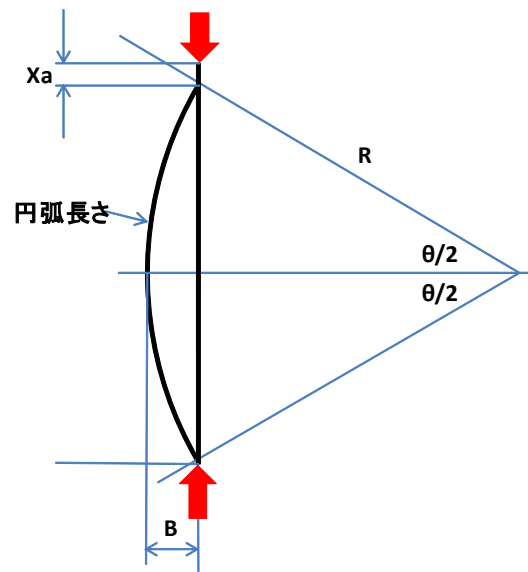


図 5 - 1 0 たわみの幾何学的評価の模式図

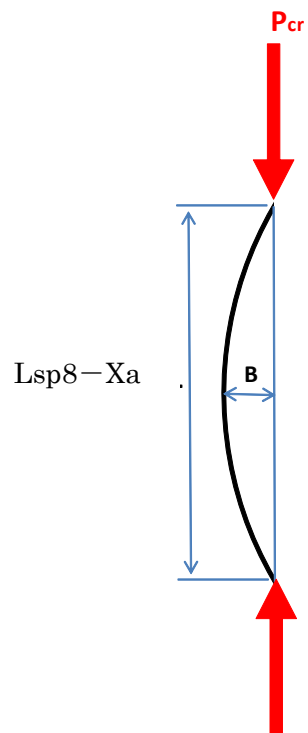


図 5 - 1 1 たわみの材料力学的評価の模式図

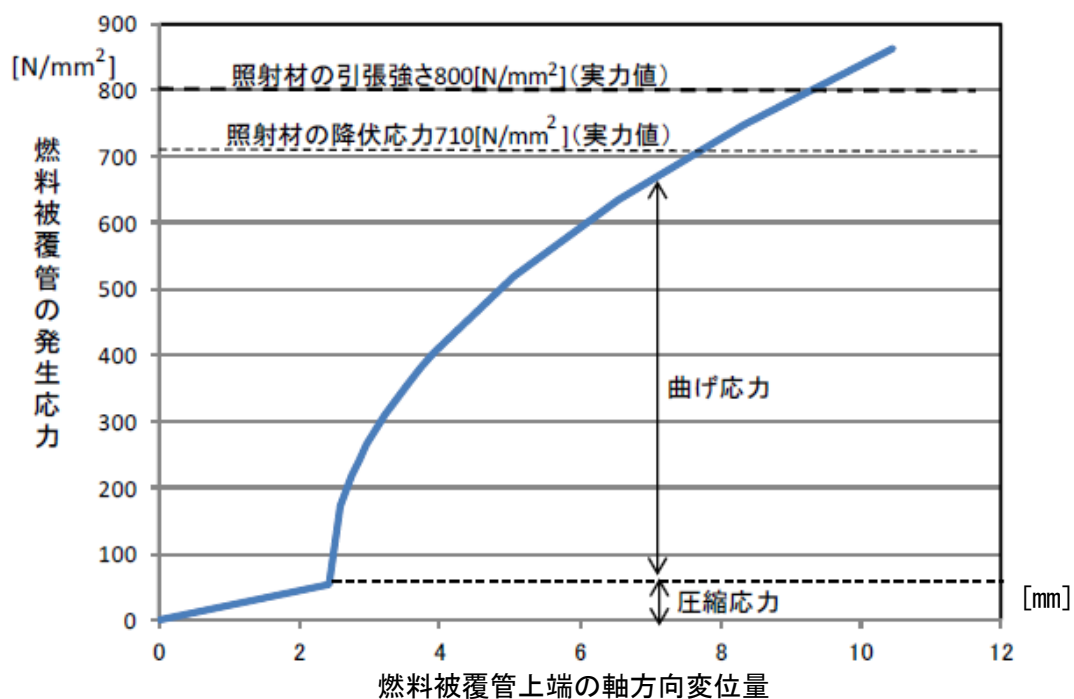


図 5 - 1 2 燃料被覆管上端の軸方向変位 ( $X_{cr}+X_a$ ) による燃料被覆管発生応力 ( $\sigma_a$ )  
(高燃焼度  $8 \times 8$  燃料)

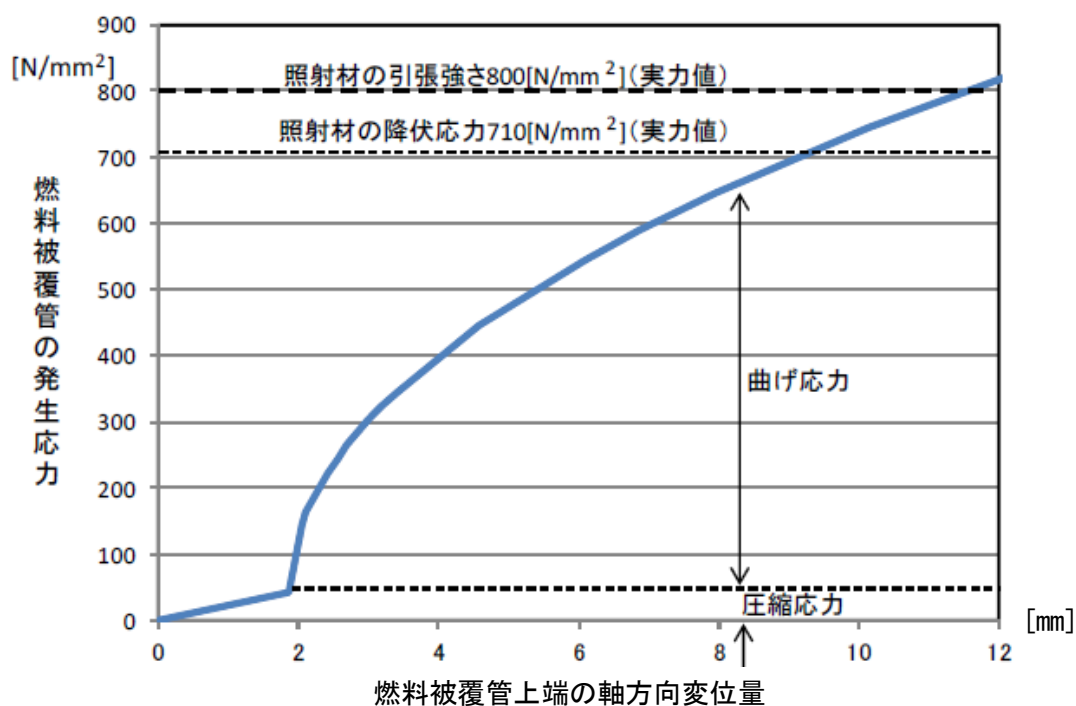


図 5 - 1 3 燃料被覆管上端の軸方向変位 ( $X_{cr}+X_a$ ) による燃料被覆管発生応力 ( $\sigma_a$ )  
( $9 \times 9$  燃料 (B 型) )

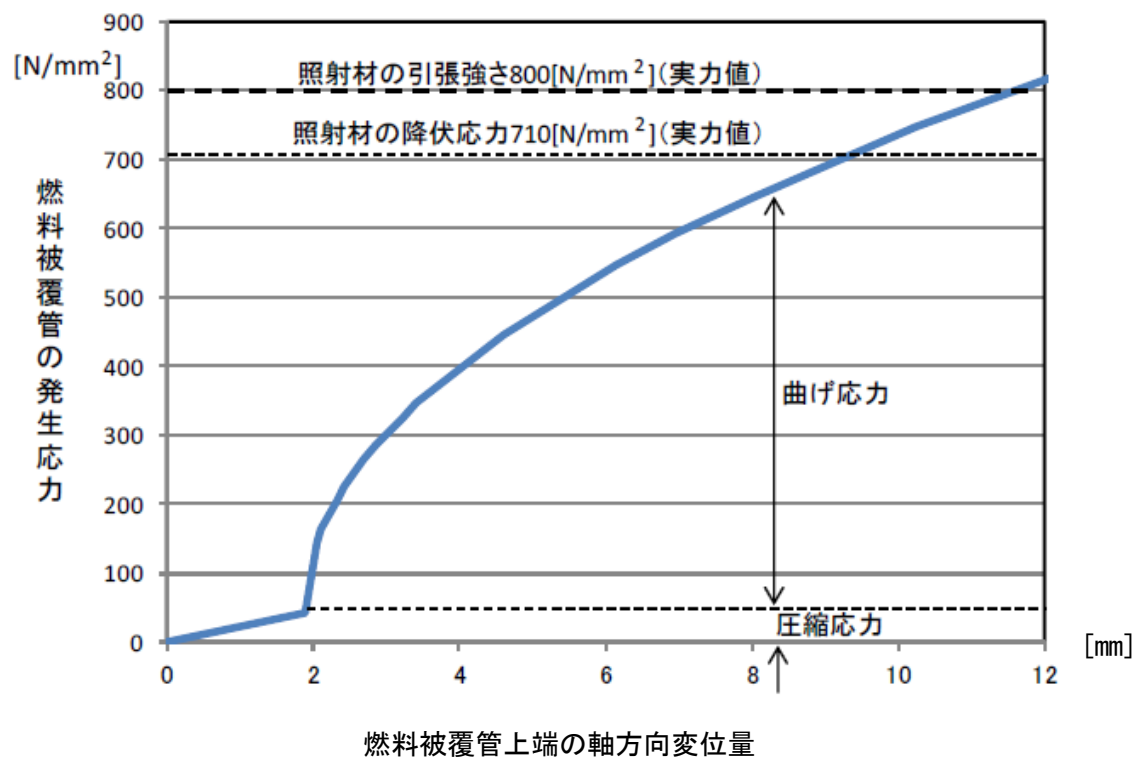
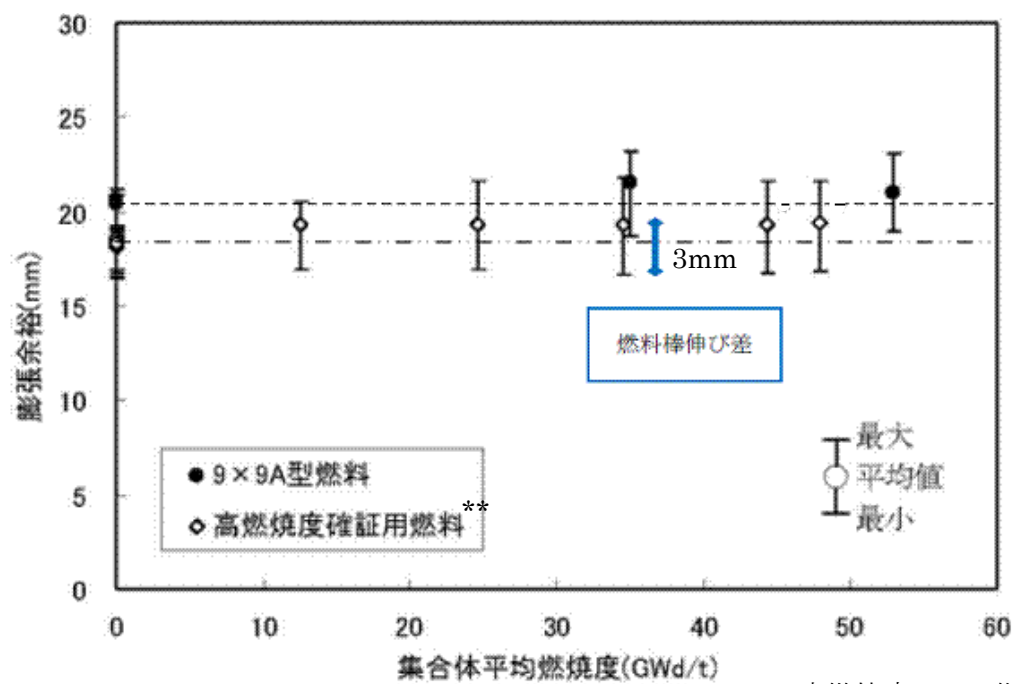


図 5 - 1 4 燃料被覆管上端の軸方向変位 ( $X_{cr}+X_a$ ) による燃料被覆管発生応力 ( $\sigma_a$ )  
(9 × 9 燃料 (A 型) )



\*\*高燃焼度8×8燃料のデータ

図5-15 燃料棒伸び差の燃焼変化（膨張スプリングのデータから評価）  
（9×9燃料（A型）及び高燃焼度8×8燃料）<sup>[1]</sup>

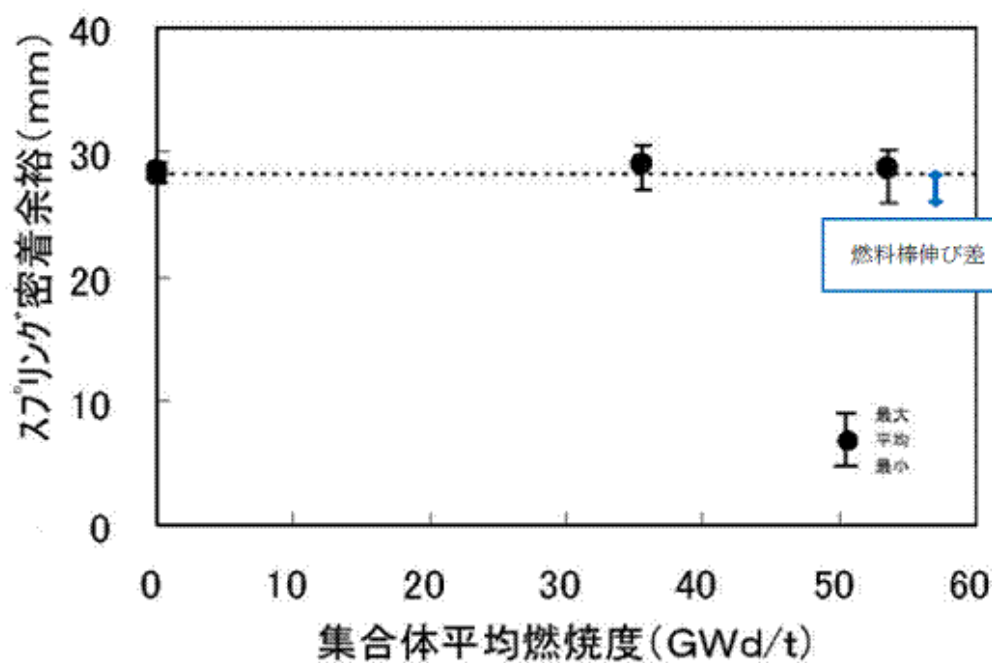
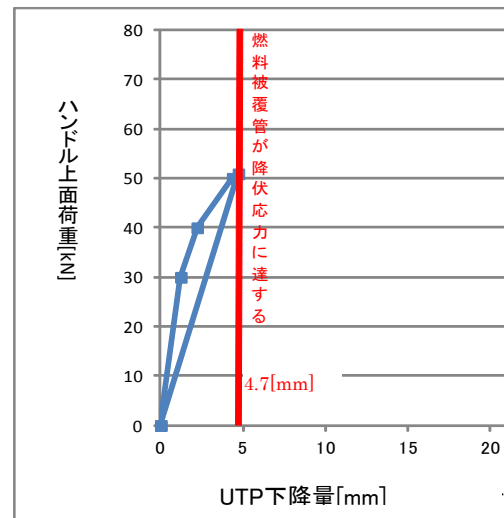
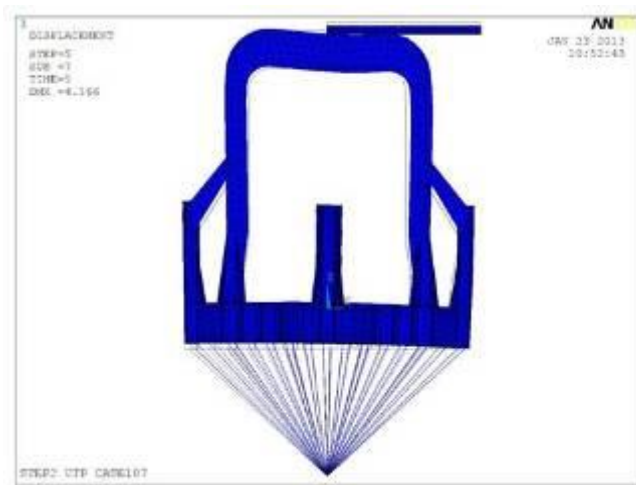
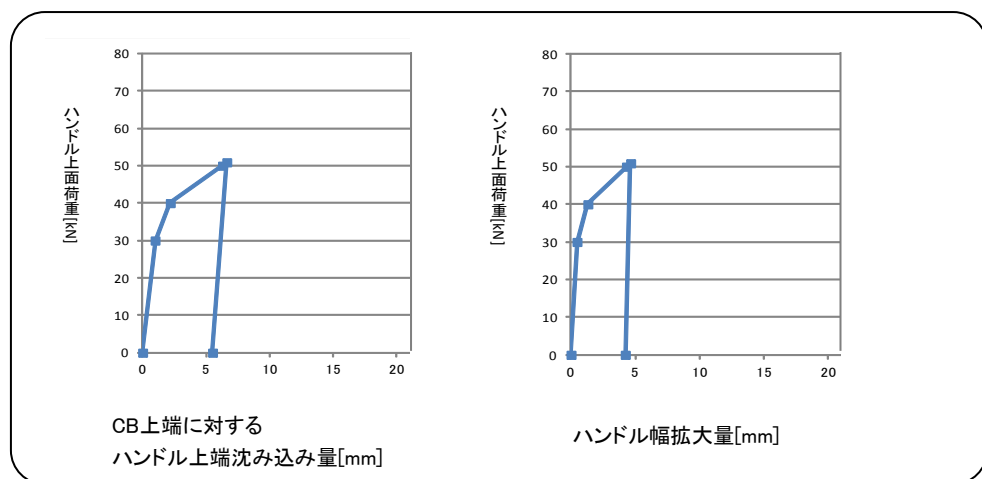
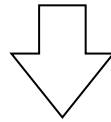


図5-16 燃料棒伸び差の燃焼変化（膨張スプリングのデータから評価）  
（9×9燃料（B型））<sup>[2]</sup>

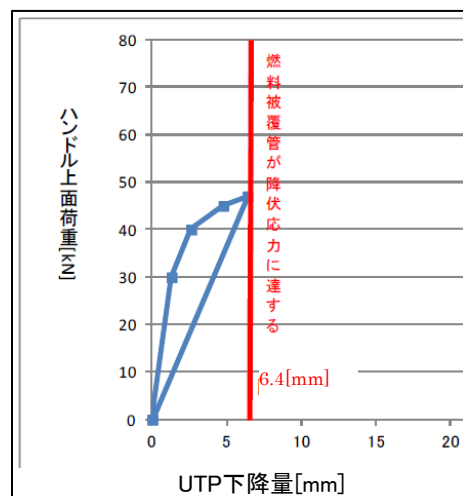
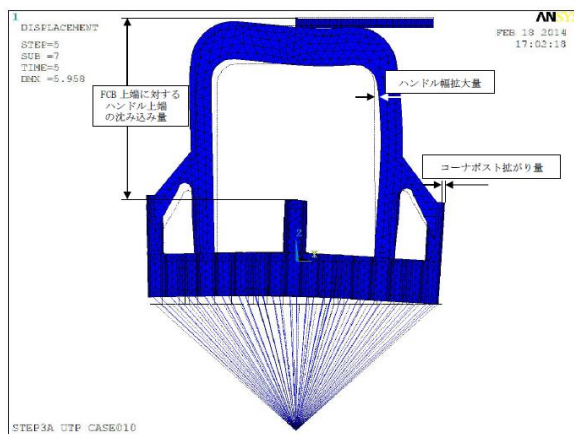


燃料被覆管が降伏応力を与えるUTP下降量に達する際にハンドル上面に付加される荷重を評価

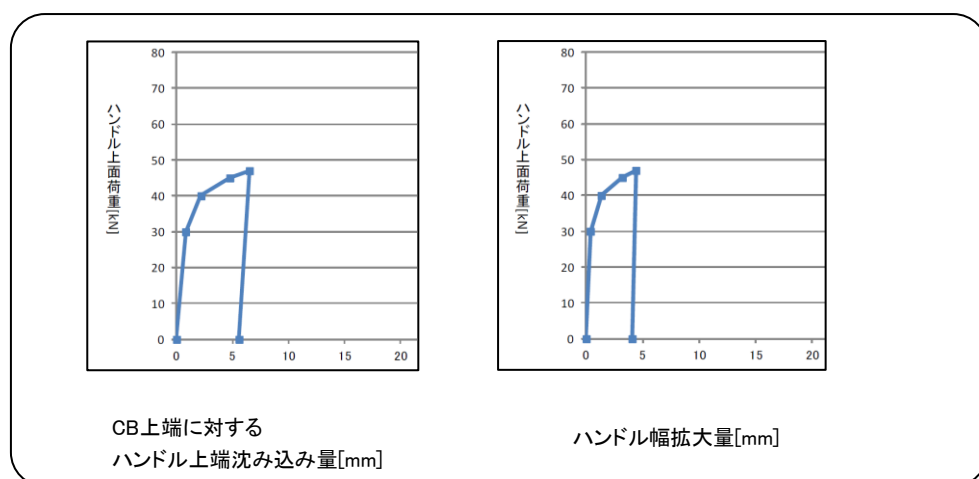
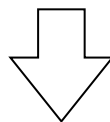


上記荷重が付加された場合のUTP各部の塑性変形を評価

図5-17 UTPに残留する塑性変形量の評価例  
(高燃焼度8×8燃料 ②ハンドル上面右半分に剛体接触)



燃料被覆管が降伏応力を与える U T P 下降量に達する際にハンドル上面に付加される荷重を評価



上記荷重が付加された場合の U T P 各部の塑性変形を評価

図 5-18 UTPに残留する塑性変形量の評価例  
(9×9燃料 (A型) ②ハンドル上面右半分に剛体接触)

CF側

位置	A	B	C	D	E	F	G	H	J
1	1.9	1.2	1.7	1.5	1.6	1.4	1.6	1.7	1.9
2	1.4		1.3	1.2		1.5	1.7		1.9
3	2.0	1.6	1.3	1.1	1.2	1.3	1.7	1.7	1.4
4	3.2	1.9	1.4	0.9		WR 1.1	1.7	1.8	1.8
5	3.2		1.8				1.5		1.3
6	4.2	4.2	2.3	WR 1.9		1.5	1.4	1.0	0.8
7	4.5	4.7	4.6	3.6	2.2	1.6	1.3	0.7	0.3
8	5.3		4.6	4.4		1.7	1.0		0.4
9	5.5	4.9	3.9	4.4	3.4	1.5	0.5	0.5	0.3

反CF側

上部端栓の塑性歪分布（条件①）

(1t, 21m/s, 斜め 45°, 9×9燃料 (A型))

■：結合燃料棒

CF側

位置	A	B	C	D	E	F	G	H	J
1	1.5	1.8	2.6	3.5	4.0	4.7	5.0	5.6	5.7
2	1.8		1.8	2.1		4.5	5.5		5.1
3	2.5	1.8	1.8	1.8	2.4	2.6	4.7	4.8	13.9
4	3.4	2.1	1.8	1.3		WR 2.9	3.9	4.4	4.9
5	4.0		2.4				2.5		3.7
6	4.3	4.5	2.5	WR 2.9		1.9	1.7	1.6	1.4
7	4.9	5.3	4.7	3.9	2.5	1.7	1.4	0.9	0.3
8	5.6		4.8	4.4		1.6	0.9		0.3
9	5.6	5.2	14.2	4.8	3.7	1.4	0.3	0.3	0.1

反CF側

上部端栓の塑性歪分布（条件②）

(1t, 21m/s, 垂直, 9×9燃料 (A型))

■：結合燃料棒

CF側

位置	A	B	C	D	E	F	G	H	J
1	1.7	1.3	2.1	2.8	3.6	4.1	4.0	4.7	5.2
2	1.3		1.3	1.4		4.3	4.5		4.4
3	2.1	1.3	1.3	1.1	1.6	1.8	4.4	4.0	13.5
4	2.8	1.4	1.2	0.8		WR 1.9	3.2	3.9	4.0
5	3.5		1.5				1.6		2.8
6	3.9	4.1	1.8	WR 1.9		1.1	1.0	0.9	0.8
7	3.8	4.3	4.2	3.1	1.6	1.0	0.8	0.5	0.2
8	4.7		4.0	3.7		0.9	0.5		0.3
9	5.2	4.3	14.5	3.9	2.7	0.8	0.3	0.3	0.2

反CF側

上部端栓の塑性歪分布（条件③）

(4.5t, 12m/s, 垂直, 9×9燃料 (A型))

■：結合燃料棒

CF側

位置	A	B	C	D	E	F	G	H
1	0.1	0.2	0.1	0.7	1.3	3.4	4.4	6.9
2	0.2	1.2	0.3	0.7	1.0	1.9	1.7	2.1
3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	2.1	0.5	2.5
4	0.7	0.9	0.4	0.1	2.8	0.2	3.7	0.1
5	1.7	1.5	0.6	3.3	0.0	0.1	0.2	1.6
6	4.1	2.6	2.1	0.1	0.1	0.2	0.2	1.0
7	5.5	2.2	1.3	3.8	1.7	0.2	0.3	0.2
8	9.9	4.0	4.4	1.5	2.9	0.3	0.2	0.2

反CF側

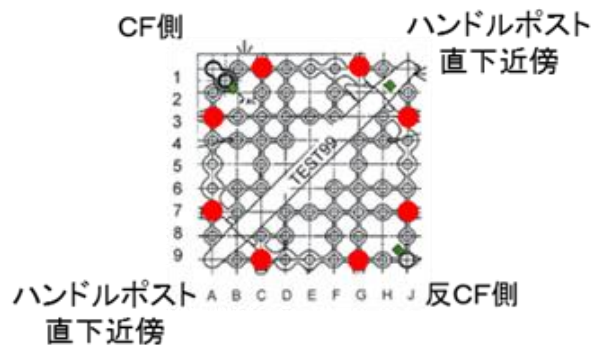
上部端栓の塑性歪分布（条件④）

(1t, 21m/s, 垂直,  
新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料)

■：結合燃料棒

図 5-19 がれき衝突解析における上部端栓の塑性歪分布





位置	A	B	C	D	E	F	G	H	J
1	0.1		0.0				0.3		1.0
2		X			X			X	
3	0.1								0.5
4					X				
5		X		X	X	X		X	
6					X				
7	0.2								0.0
8		X			X			X	
9	0.6		0.4				0.0		0.0

図5-20 がれき落下衝撃試験で得られた上部端栓近傍における  
歪ゲージによる測定結果（単位：％ ●：結合燃料棒）

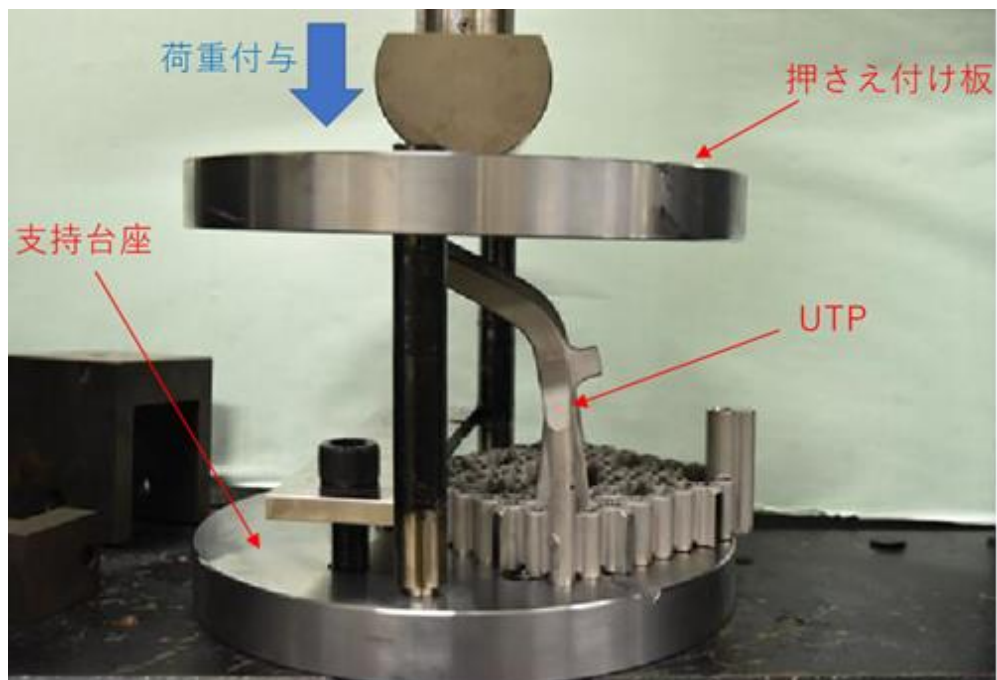


図 5 - 2 1 ハンドルへの変形付与装置

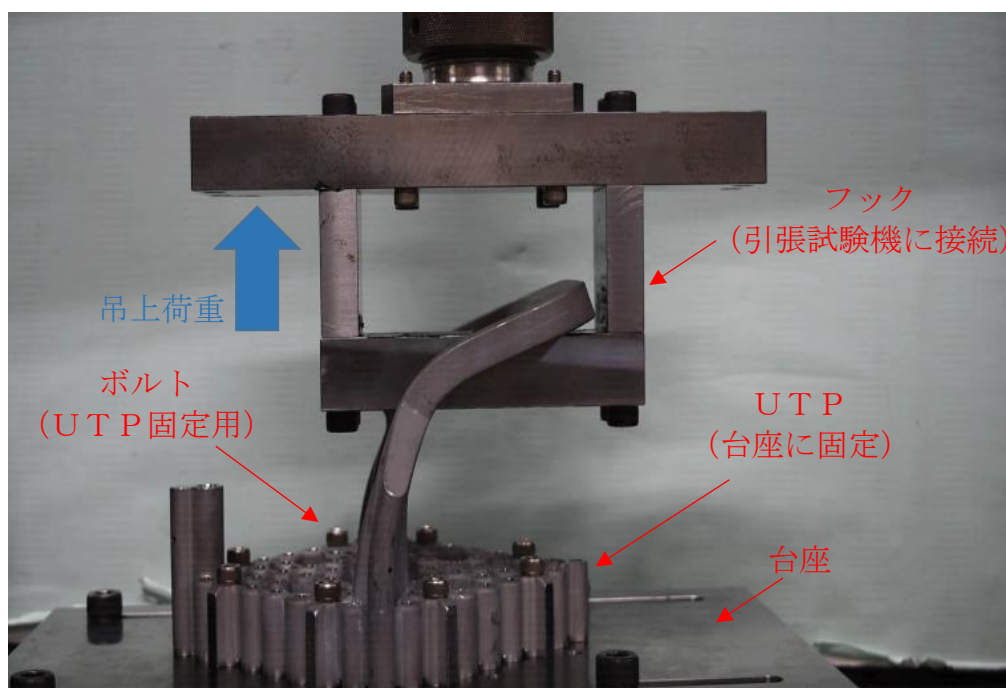


図 5 - 2 2 ハンドルの引張試験装置

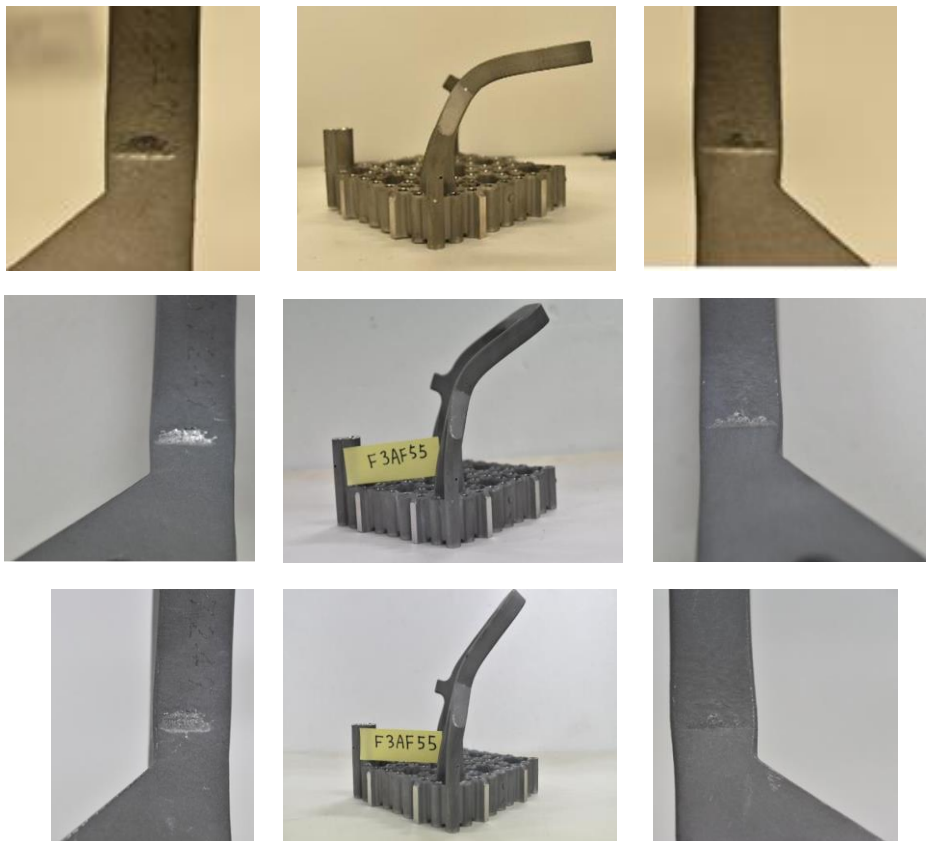
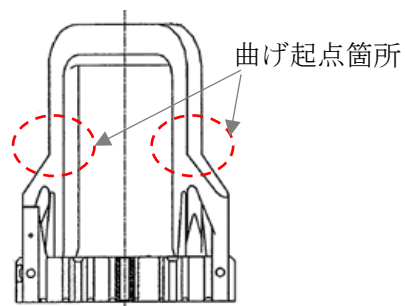


図 5 - 2 3 9 × 9 燃料 (A 型) ハンドルの引張試験前後の比較  
(上段：引張試験前 中段：13kN 引張試験後 下段：26kN 引張試験後)

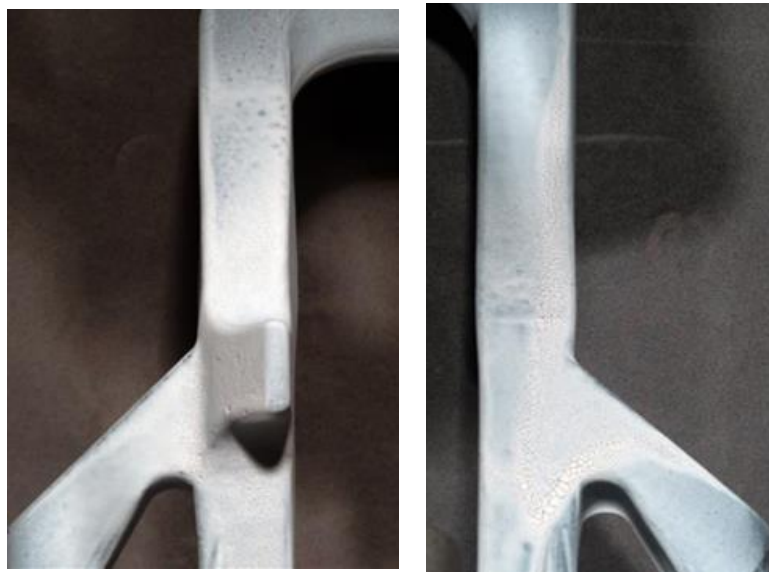


図 5 - 2 4 ( 1 ) ハンドル引張試験後の浸透探傷試験結果  
( 9 × 9 燃料 ( A 型 ) 引張荷重 13kN )

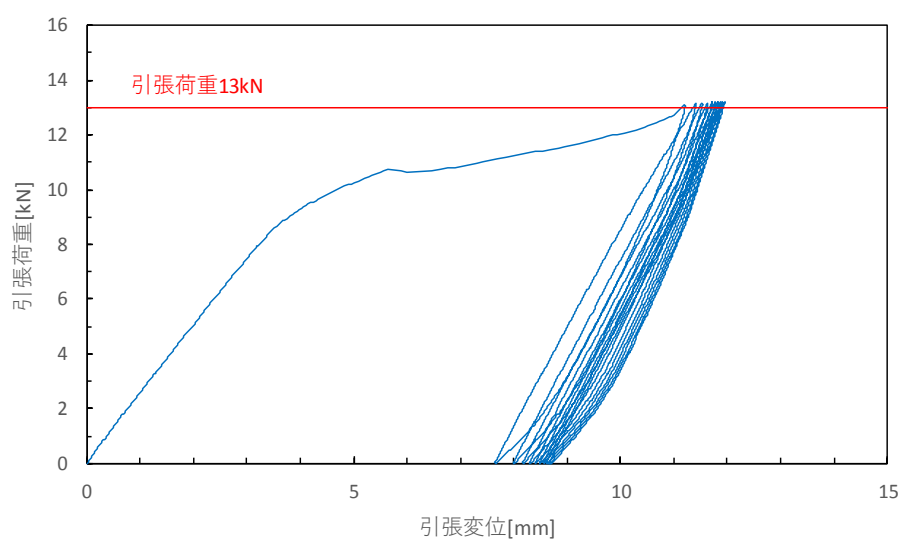


図 5 - 2 5 ( 1 ) ハンドル引張試験中の引張荷重—引張変位  
( 9 × 9 燃料 ( A 型 ) 引張荷重 13kN )

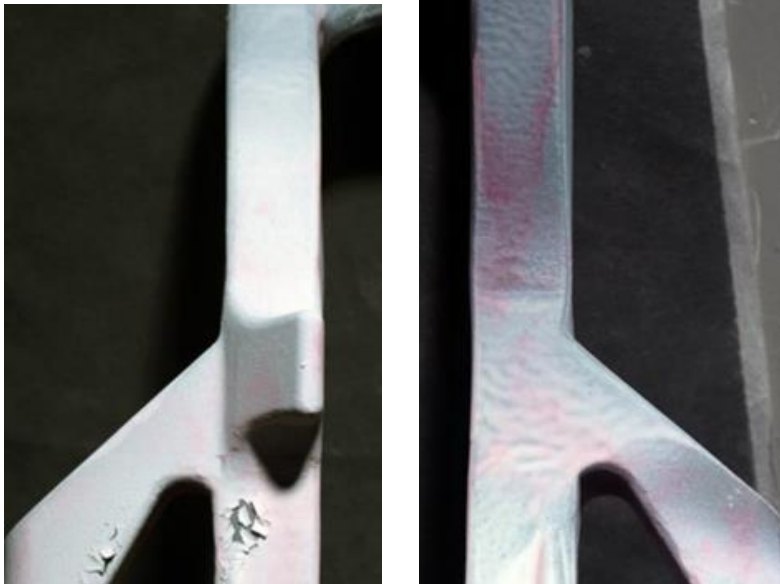


図 5 - 2 4 ( 2 ) ハンドル引張試験後の浸透探傷試験結果  
( 9 × 9 燃料 ( A 型 ) 引張荷重 26kN )

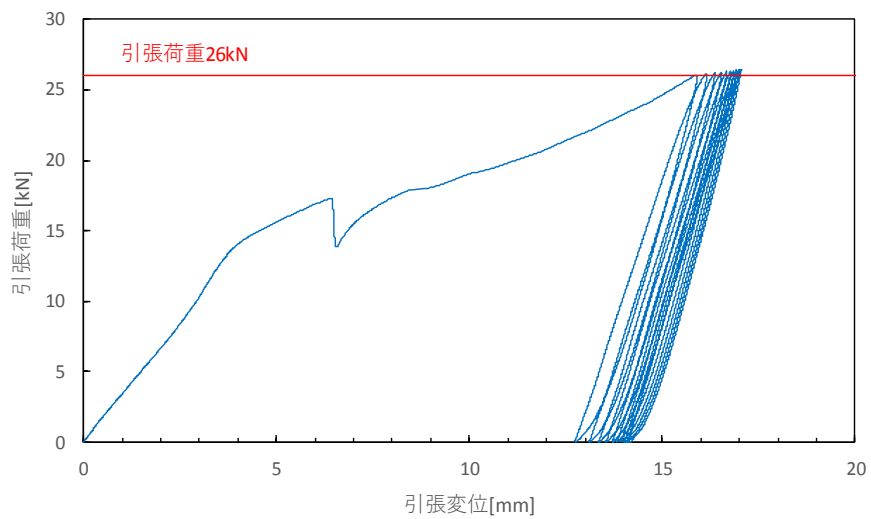


図 5 - 2 5 ( 2 ) ハンドル引張試験中の引張荷重—引張変位  
( 9 × 9 燃料 ( A 型 ) 引張荷重 26kN )

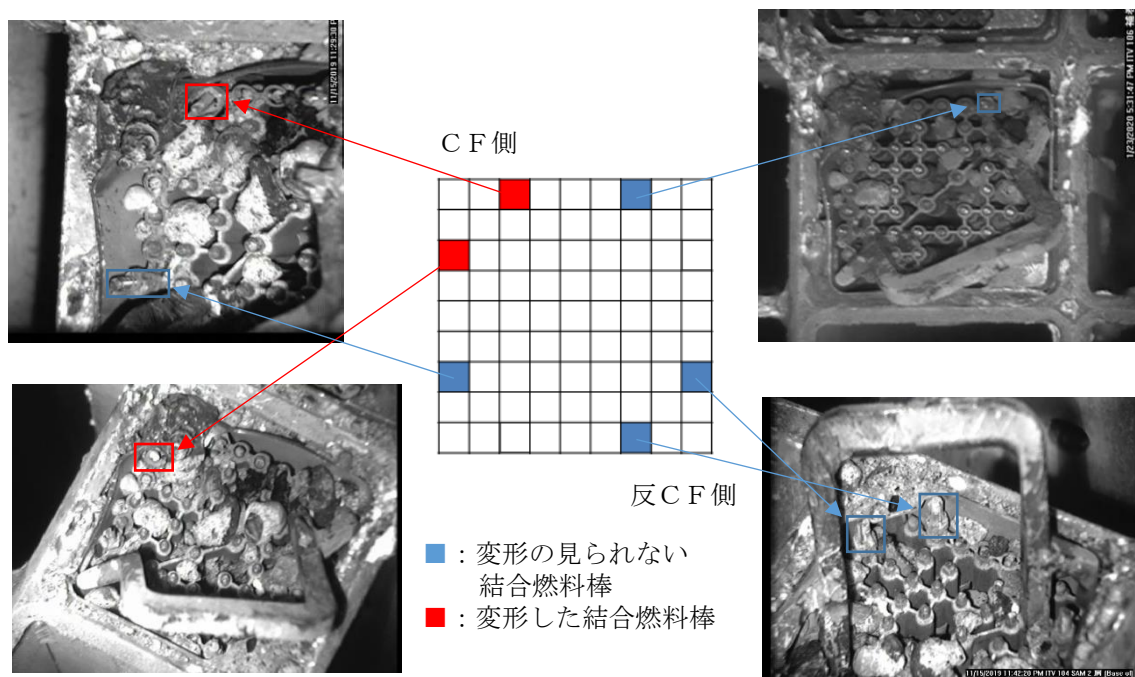


図 5 - 2 6 C B 変形燃料の結合燃料棒状況

## 6. 燃料の取り扱い

### 6.1. 4号機における燃料の取り扱い

#### 6.1.1. 燃料取り出し手順の概要

燃料取り扱いに支障となるがれきを撤去した後、がれき落下による燃料健全性への影響を確認し、燃料取扱機又はクレーンを用いて燃料の取り出しを行う。燃料の取り出しにあたってはがれきによる固着の発生防止に努めるとともに固着発生時には必要な対応を行う。がれきによる燃料健全性への影響がない燃料集合体は既存のNF T-22B型構内輸送容器に収納し、燃料健全性への影響が疑われる燃料集合体は燃料被覆管の破損を考慮した容器に収納し、使用済燃料共用プール（新燃料については、一部6号機SFP）へ搬出する。なお、燃料取扱機又はクレーンを用いて燃料の取り出しを行うにあたっては、実施体制を確立し、事前にトレーニングを行った上で対応する。

#### 6.1.2. 燃料健全性確認

##### 6.1.2.1. 燃料健全性確認手順

図6-1、図6-2に水中カメラで撮影した4号機のプール内のがれき散乱状況を示す。これまでの調査からSFP水中には様々ながれきが落下しているものの、がれきで確認できない一部の燃料集合体を除いては、UTPハンドルの変形は確認されていない。

図6-5に4号機SFP内のがれきマップ及び表6-1には4号機SFP内で確認されたがれきのリストを示す。燃料取り出し作業に先立って、がれきを撤去した後、水中カメラにてUTPハンドルの変形状況をあらためて確認し、燃料健全性確認治具を用いての確認は、SFP内で最も燃料健全性への影響があると考えられるがれき周辺の燃料に対して行う。

燃料取り出し作業は水中カメラにより作業状況を確認しつつ実施することとし、作業中に燃料集合体やCBに傷、変形、腐食等の顕著な異常が確認された場合には、取り出し作業を中止し、水中カメラにて傷の大きさ等について観察し健全性への影響について評価する。また、4号機SFP内から使用済燃料共用プール（新燃料については、一部6号機SFP）に移送した後、燃料集合体はNF T-22B型構内輸送容器から燃料を取り出す際に、CBに傷、変形、腐食等の顕著な異常がないことを確認する。

##### 6.1.2.2. 燃料健全性確認用治具

燃料健全性確認用治具の概念図を図6-3、図6-4に示す。

燃料健全性確認用治具は、5.2.2 評価結果の中で、燃料被覆管が塑性変形し、かつ、UTP塑性変形量が最も小さいがれき衝突条件「②ハンドル上面右半分に剛体接触」を基準に製作する。また、健全性確認治具による検出性を考慮し、高燃焼度8×8燃料以前の燃料に対しては「CB上端に対するハンドル上端の沈み込み量」、9×9燃料（B型）に対しては、「CB上端に対するコーナーポスト上端の沈み込み量」を検出ポイントとする。



#### 6.1.3. 取り出し後の確認

使用済燃料共用プール（新燃料については、一部6号機SFP）における長期的な健全性の確認や輸送・保管方法の検討のため、今後、別途点検を計画する。

#### 6.1.4. がれきによるCBの固着

##### 6.1.4.1. 固着の発生防止

燃料集合体を使用済燃料ラックから引き抜く際に、使用済燃料ラック内に落下したのがれきとCBが干渉して、CBが固着する可能性がある。

このため、燃料取り出しに先立ち、燃料上部にあるがれきを除去する。また、燃料ラックとCBの隙間にあるがれきも可能な範囲で除去する。

燃料取り出しにあたっては、燃料取扱機に設置されている荷重計を確認しながら最大450kgまでの荷重でゆっくり吊り上げるにより、固着の発生防止を図る。

##### 6.1.4.2. 固着発生時の対応

図6-6に固着発生時の対応フローを示す。クレーンを用いた燃料の再吊上げにおいても固着が解消しない場合等に一時的に落下防止治具を取り付け燃料の落下を防止するとともに、必要に応じて固着状況の調査及び固着原因となるがれきの除去等を実施する。固着した燃料に落下防止治具を取り付けた状態で他の燃料の取り出し作業を実施する場合は、未臨界を確保するとともに固着した燃料が作業の支障とならないよう、燃料取り出し順序を見直す。

なお、CBの固着した状態が長期間に亘ると判断される場合には、当該燃料集合体をワイヤ等によりオペレーティングフロア上の固定した箇所と接続することにより、安定した状態で保持する。その上で、固着状況について詳細確認を行い、燃料集合体を安全に着座させる対応について検討する。（対応例 上部タイプレートの手柄部を吊った状態で、チャンネルファスナをはずし、CBと燃料集合体を分離して燃料集合体のみをラックに吊り降ろす。）

##### 6.1.4.3. 固着解消時に使用済燃料が落下した場合の被覆管の健全性評価

万一固着が自然解消し使用済燃料が使用済燃料貯蔵ラック内で落下した場合を想定し、燃料被覆管の健全性評価を実施した。燃料集合体が落下した場合、LTPの燃料棒との嵌合部が変形し、燃料棒が曲がることで燃料棒に応力が発生する。ここでは保守的に落下による位置エネルギーは全て燃料棒及びLTPの歪みエネルギーに使用されるとして評価を行った。なお、被覆管の肉厚が薄い9×9燃料（B型）を代表として評価を実施した。

評価結果を図6-7及び図6-8に示す。燃料棒の変形が弾性範囲内で収まるLTPと燃料棒嵌合部の傾き角度は約14度、その際の落下高さは約34cmと評価された。

落下高さ約34cm以内であれば、燃料被覆管は弾性範囲内であり破損しないと考えられる



ため、落下防止治具は約 34cm よりも十分低い位置（約 15mm）でも取り付けできるようにすることで、燃料集合体落下時の安全を担保する。

#### 6.1.4.4. 落下防止治具の特徴

図 6－9 に燃料集合体の落下防止治具の概念図を示す。落下防止治具は、治具トップから突出した治具アームで燃料自重を受ける構造となっており、燃料自重を受けた状態で転倒を防止する構造となっている。治具トップ及び高さ調整管は接続用ボルトによりベース 2 と結合される。ベース 2 はベース 1 の固定ピンでベース 1 と、ベース 1 は燃料貯蔵ラックのリフティングラグで燃料貯蔵ラックと嵌合されており、また嵌合部は極力クリアランスを排除した設計となっている。

#### 6.1.5. クレーン又は天井クレーンを用いた燃料集合体の取り扱い

4 号機 S F P 及び使用済燃料共用プールにおいて燃料取扱機又は燃料取扱装置での取扱いが困難な燃料集合体は、クレーン主巻フックに支持されたチェンブロックを用いて吊上げる。装置の概要を図 6－10 に示す。

クレーン又は天井クレーンで燃料集合体を取り扱う場合においては、表 6－2 に示す安全対策を行う。尚、燃料集合体 U T P に作用する吊り上げ荷重は燃料を損傷させることのないように 1 t までとする。燃料吊り上げ時の荷重は結合燃料棒等に印加されるが、結合燃料棒の耐荷重は 9 t 程度あるので、1 t は余裕をみた値となっている。

燃料貯蔵ラックと C B の間のがれきによって固着が発生した場合については、C B の断面で吊り上げ荷重を受けることになるが、C B の材質（ジルコニウム合金）の機械的強度から、側面長さ（一面）の 1／10 程度の断面で 1 t の荷重を受けた場合であっても、C B を損傷させることはなく、燃料に対して影響はない。また、通常の燃料取扱機の吊り上げ荷重を上回る荷重を燃料集合体に付加する場合には、ファイバースコープ等により固着の状況を確認し、燃料集合体や C B の側面に局所的に過大な荷重がかかる状況でないことを確認する。また、燃料貯蔵ラックの材質はステンレス材であり十分な強度と重量を有していることから、吊り上げ荷重 1 t が燃料貯蔵ラックに付加されたとしても影響はない。仮にがれきによって燃料貯蔵ラックに変形が生じた場合であっても、燃料集合体は C B によって囲まれていることから、燃料健全性には影響が生じないものと考えられる。

#### 6.1.6. 4 号機における燃料集合体取り扱い時に放射線モニタに異常が確認された場合

仮に 4 号機オペレーティングフロア上での作業中に、線量率が予想より高くなった場合には、エリア放射線モニタで検知できる。異常を検知した場合は退避し、線量率が十分下がった後に作業を再開する運用により放射線業務従事者の放射線被ばくを低く抑えることが可能である。

## 6.2. 3号機における燃料の取り扱い

### 6.2.1. 燃料取り出し手順の概要

燃料取り扱いに支障となるがれきを撤去した後、がれき落下による燃料健全性への影響を確認し、燃料取扱機を用いて燃料の取り出しを行う。燃料の取り出しにあたってはがれきによる固着の発生防止に努めるとともに固着発生時には必要な対応を行う。がれきによる燃料健全性への影響がない燃料集合体は構内用輸送容器に収納し、燃料健全性への影響が疑われる燃料集合体は燃料被覆管の破損を考慮した容器に収納し、使用済燃料共用プールへ搬出する。なお、燃料取扱機を用いて燃料の取り出しを行うにあたっては、実施体制を確立し、事前にトレーニングを行った上で対応する。

3号機における燃料取扱機の操作は、原則として遠隔操作室から遠隔操作にて行う。

### 6.2.2. 燃料健全性確認

#### 6.2.2.1. 燃料健全性確認手順

図6-11に水中カメラで撮影した大型のがれき撤去後の3号機のプール内のがれき散乱状況を示す。これまでの調査からSFP水中には様々ながれきが落下しており、また図6-12に示すとおりハンドル変形燃料が一部確認されている。

燃料取り出し作業に先立って、がれきを撤去した後、水中カメラにてUTPハンドルの変形状況をあらためて確認する。また、燃料健全性確認用治具を用いての確認を、原則として全燃料に対して行う。ただし、明らかにUTPハンドルに大きな変形がある燃料は除く。

燃料健全性確認用治具により、判定基準を超過することが確認された燃料、または、水中カメラで明らかにUTPハンドルに大きな変形が確認された燃料は、いずれもハンドル変形燃料として扱う。

燃料取り出し作業は水中カメラにより作業状況を確認しつつ実施することとし、作業中に燃料集合体やCBに傷、変形、腐食等の異常が確認された場合には、必要に応じて取り出し作業を中止し、水中カメラにて傷の大きさ等について観察し健全性への影響について評価する。また、3号機SFP内から使用済燃料共用プールに移送した後、燃料集合体は構内用輸送容器から燃料を取り出す際に、CBに傷、変形、腐食等の顕著な異常がないことを確認する。

#### 6.2.2.2. 燃料健全性確認用治具

燃料健全性確認用治具を図6-13に示す。

燃料健全性確認用治具は、5.2.2 評価結果の中で、燃料被覆管が塑性変形し、かつ、UTP塑性変形量が最も小さいがれき衝突条件「②ハンドル上面右半分に剛体接触」を基準に製作する。また、全ての燃料タイプに対して、「CB上端に対するハンドル上端の沈み込み量」を検出ポイントとする。

### 6.2.3. 取り出し後の確認

使用済燃料共用プールにおける長期的な健全性の確認や輸送・保管方法の検討のため、今後、別途点検を計画する。

### 6.2.4. がれきによるC Bの固着

#### 6.2.4.1. 固着発生の防止

燃料集合体を使用済燃料ラックから引き抜く際に、使用済燃料ラック内に落下したのがれきとC Bが干渉して、C Bが固着する可能性がある。このため、燃料取り出しに先立ち、燃料上部にあるがれきを除去する。また、燃料ラックとC Bの隙間にあるがれきも可能な範囲で除去する。燃料取り出しにあたっては、燃料取扱機に設置されている荷重計を確認しながら、最大450kgまでの荷重でゆっくり吊り上げることで、固着の発生防止を図る。

#### 6.2.4.2. 固着発生時の対応

図6-14に3号機における固着発生時の対応フローを示す。燃料ラックからの吊り上げ時にがれきとの干渉により最大450kgの荷重で吊り上げができない場合、当該燃料は着座させ、他の燃料の取り出しを実施する。その後、必要に応じて固着状況の調査及びがれきとの干渉を解除する措置を行った上で、3号機燃料取扱機の定格荷重である最大1tの荷重までゆっくり吊り上げを行う。なお、最大1tの荷重で吊り上げる高さはチャンネルファスナが燃料ラックから抜ける範囲までとする。最大1tの荷重で吊り上げができない場合、がれきとの干渉を解除する措置を行う。なお、燃料集合体UTPに作用する吊り上げ荷重は燃料を損傷させることのないように1tまでとする。燃料吊り上げ時の荷重は結合燃料棒等に印加されるが、結合燃料棒の耐荷重は9t程度あるので、1tは余裕をみた値となっている。燃料ラックとC Bの間のがれきによって固着が発生した場合については、C Bの断面で吊り上げ荷重を受けることになるが、C Bの材質（ジルコニウム合金）の機械的強度から、側面長さ（一面）の1/10程度の断面で1tの荷重を受けた場合であっても、C Bを損傷させることはなく、燃料に対して影響はない。

### 6.2.5. 震災以前から存在する漏えい燃料等について

3号機SFPには、表6-3に示すとおり、運転中に漏えいした燃料や、過去の取り扱い中に部材の一部に変形等を生じた燃料が存在する。これらの燃料は、他の燃料と同様に震災以前は燃料取り扱い機を用いて取り扱いを行っており、他の燃料と比べて取り扱い上の相違は無い。

一方、運転中に漏えいした燃料は、被覆管の密封性が失われているため、燃料被覆管の破損を考慮した構内用輸送容器に収納する。

スペーサが一部損傷した燃料のうち1体は、C Bが装着されていないため、燃料ラックから燃料を引き抜く際に燃料ラック内に混入したのがれきと燃料被覆管が接触することが懸念

される。このため、運転中に漏えいした燃料と同様、C Bが装着されていない燃料は燃料被覆管の破損を考慮した構内用輸送容器に収納する。

#### 6.2.6. ハンドル変形燃料の取り扱い

ハンドル変形燃料は、健全燃料と同様に燃料取扱機を用いて取り出しを行う。ただし、ハンドルの著しい変形等により燃料取扱機にて取り扱いができない燃料が確認された場合は、今後本実施計画に記載した上で取り扱うこととする。

燃料取扱機を用いて取り出したハンドル変形燃料は、ハンドル変形の外観確認結果に応じて、構内用輸送容器内に予め装荷された使用済燃料収納缶（小）または使用済燃料収納缶（大）に収納し、使用済燃料共用プールへ搬出する。なお、使用済燃料収納缶（大）に収納する燃料は、使用済燃料収納缶（小）に入らない燃料を対象とする。

#### 6.2.7. ハンドル変形燃料の吊り上げ

ハンドル変形燃料については、事前に吊り上げ試験を実施し、吊り上げ試験の結果に応じて燃料と燃料ラックまたはがれきとの干渉を解除した状態にした後に取り出す。ハンドル変形燃料の吊り上げ荷重は、5.3.4 評価結果より、ハンドル変形の無い燃料と同様に最大1 t とする。

### 6.3. 2号機における燃料の取り扱い

#### 6.3.1. 燃料取り出し手順の概要

燃料取り扱いに支障となる干渉物を撤去した後、燃料取扱機を用いて燃料の取り出しを行う。燃料集合体は構内用輸送容器に収納し、使用済燃料共用プールへ搬出する。なお、燃料取扱機を用いて燃料の取り出しを行うにあたっては、実施体制を確立し、事前にトレーニングを行った上で対応する。

2号機における燃料取扱機の操作は、原則として遠隔操作室から遠隔操作にて行う。

#### 6.3.2. 震災以前から存在する漏えい燃料等について

2号機SFPには、表6-4に示すとおり、運転中に漏えいした燃料や、過去の取り扱い中に部材の一部に変形等を生じた燃料が存在する。これらの燃料は、他の燃料と同様に震災以前は燃料取り扱い機を用いて取り扱いを行っており、他の燃料と比べて取り扱い上の相違は無い。

一方、運転中に漏えいした燃料は、被覆管の密封性が失われているため、燃料被覆管の破損を考慮した構内用輸送容器に収納する。

ワイヤ修復燃料は、外観点検等により被覆管の密封性には影響ないことが確認されているが、吊り上げ時の荷重を負担するステンレス製ワイヤが海水注水の影響を受けている可能性があるため、取り扱いについては、今後本実施計画に記載した上で取り扱うこととする。

#### 6.4. 破損燃料を使用済燃料共用プールへ受け入れた場合の放射線被ばく影響

ここでは、被覆管が損傷した燃料が使用済燃料共用プールへ搬入された場合の放射線被ばくについて記載する。

##### 6.4.1. 液相

使用済燃料共用プールへ搬入された燃料の被覆管に損傷があった場合には、水溶性の核分裂生成物がSFP内に溶出する。また、構内輸送容器の搬入によりSFP内の放射性物質が使用済燃料共用プールへ持ち込まれる。しかしながら、水溶性の核分裂生成物及び放射性物質は使用済燃料共用プール冷却浄化系により除去されるため、構内輸送容器の蓋開放後に使用済燃料共用プール水面上で線量率が一時的に上昇する場合でも、時間の経過とともに線量率は低下する。なお、使用済燃料共用プール冷却浄化系の浄化性能を図6-15に示す。放射能濃度を1/10にするために有する時間は、約24時間程度（2系統運転時）と評価している。

仮に使用済燃料共用プール水面上での線量率が予想より高くなったとしても、エリア放射線モニタで検知でき、検知した場合は退避し、線量率が十分下がった後に作業を再開する運用により放射線業務従事者の放射線被ばくを低く抑えることが可能である。

##### 6.4.2. 気相

SFPに保管されている燃料の被覆管に損傷があった場合、気体の核分裂生成物は既にSFP内で十分放出されているものと考えられる。このため、使用済燃料共用プールで放出される可能性は低く、気相に起因する被ばく影響はないものと考えられる。

表 6－1 4号機S F P内で確認されたがれき

名称	数量	備考
作業台車用階段	1 個	約 2000mm×600mm×1000mm, 約 200kg
デッキプレート	2 枚	約 10000mm×600mm×50mm, 約 200kg 約 300mm×600mm×50mm, 約 6kg
手摺りプレート	6 枚	約 2500mm×800mm×2mm (最大), 約 20kg (最大)
足場板	1 枚	約 1500mm×50mm×200mm, 約 10kg
コンクリートがれき	－	約 0～400mm 程度 (最大), 約 10kg (最大)
その他	－	燃料取り出しに影響のある照明等の単品落下物

表 6－2 クレーン又は天井クレーンでの燃料取り扱いに関する安全対策

安全対策	構造概要
動力源喪失時の保持機能	巻上装置は手動チェーンブロックとする。 クレーン主巻フックは電源断時においても保持する構造となっている
吊り具の二重化	二重のワイヤロープで燃料集合体を保持する構造とする (クレーンの主巻フックを使用)
外れ防止	フックは外れ止め装置を有する把持具構造とする
過荷重防止	荷重計により荷重の監視を行う 燃料集合体U T Pに作用する吊上げ荷重は 1t までとする 巻上装置は手動とし, 荷重を監視しながら巻上げる
臨界防止	燃料集合体を 1 体ずつ取り扱う把持具構造とする
遮へい	吊り上げ設備には, 吊り上げ上限以上への吊り上げを阻止するロック機構を有する構造とする

表 6－3 3号機SFPに震災以前から存在する漏えい燃料等

状態	数量	概要
漏えい燃料	1 体	SHIPPING 検査により漏えいを確認
スペーサ一部損傷	2 体	第 4, 5 スペーサがコーナー部で切損、第 3 スペーサは同じコーナー部で下方に傾いた状態
		第 1 スペーサコーナー部の溶接個所がはずれて少し変形 CB が装着されていない
スペーサずれ	1 体	第 2 スペーサが第 1 スペーサ位置までずれた状態

表 6－4 2号機SFPに震災以前から存在する漏えい燃料等

状態	数量	概要
漏えい燃料	1 体	SHIPPING 検査により漏えいを確認
下部タイプレート変形燃料	1 体	下部タイプレート側面の部材（フィンガースプリング）が変形した状態
ワイヤ修復燃料	1 体	結合燃料棒（8 本）の下部端栓の折損により吊り上げ不可となったため、ワイヤで燃料を一体化して修復している状態



図 6 - 1 4 号機 S F P 内の状況 (その 1)



図 6 - 2 4 号機 S F P 内の状況 (その 2)



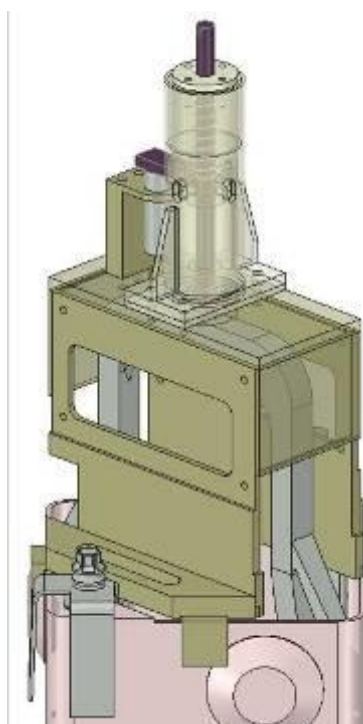


図 6 - 3 燃料健全性確認用治具（概念図）：高燃焼度  $8 \times 8$  燃料用

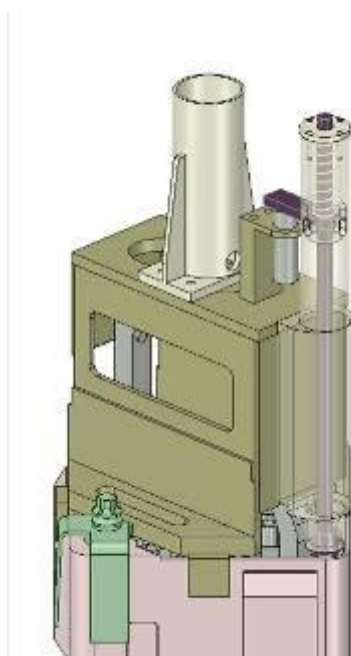


図 6 - 4 燃料健全性確認用治具（概念図）： $9 \times 9$  燃料（B型）用

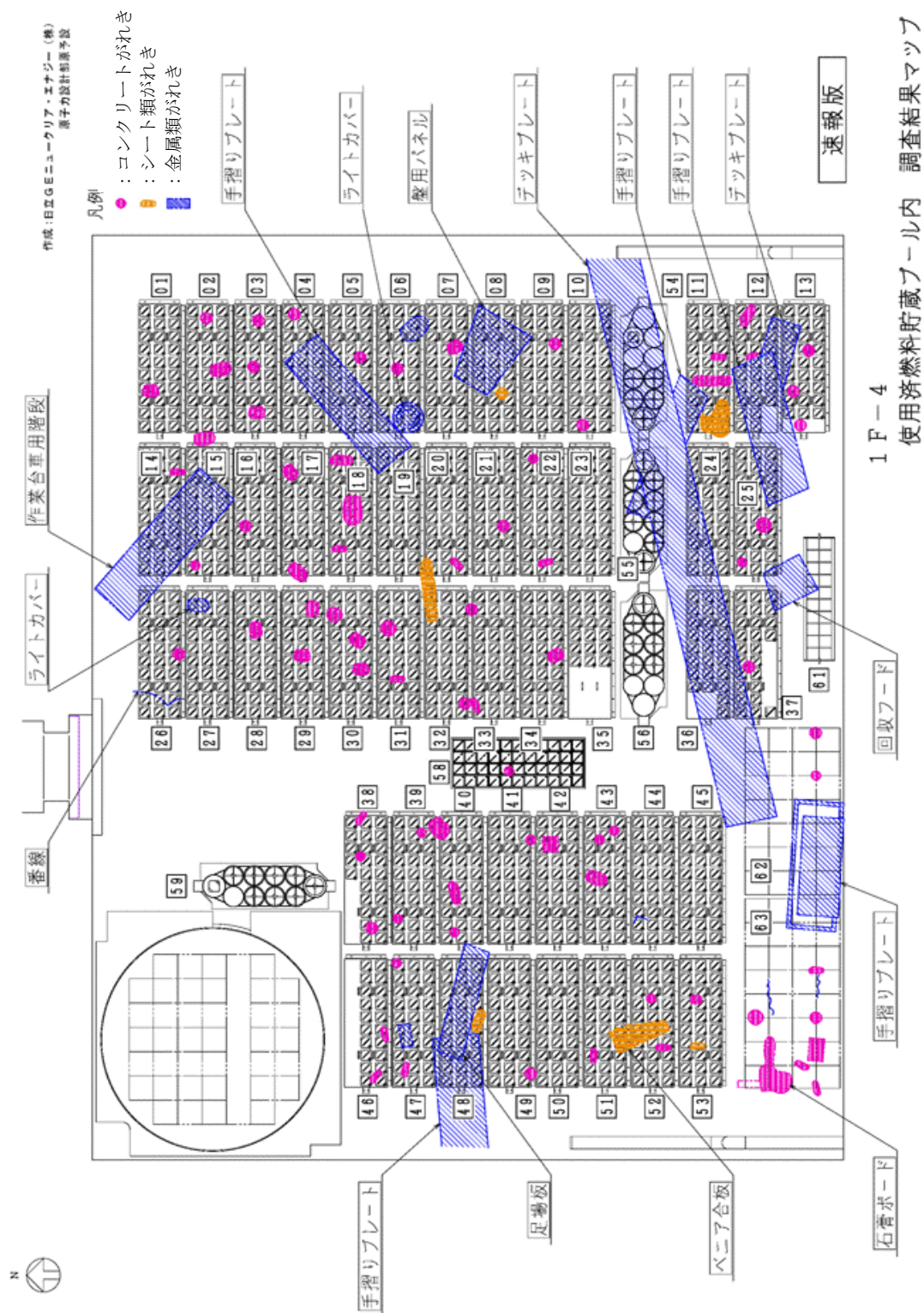
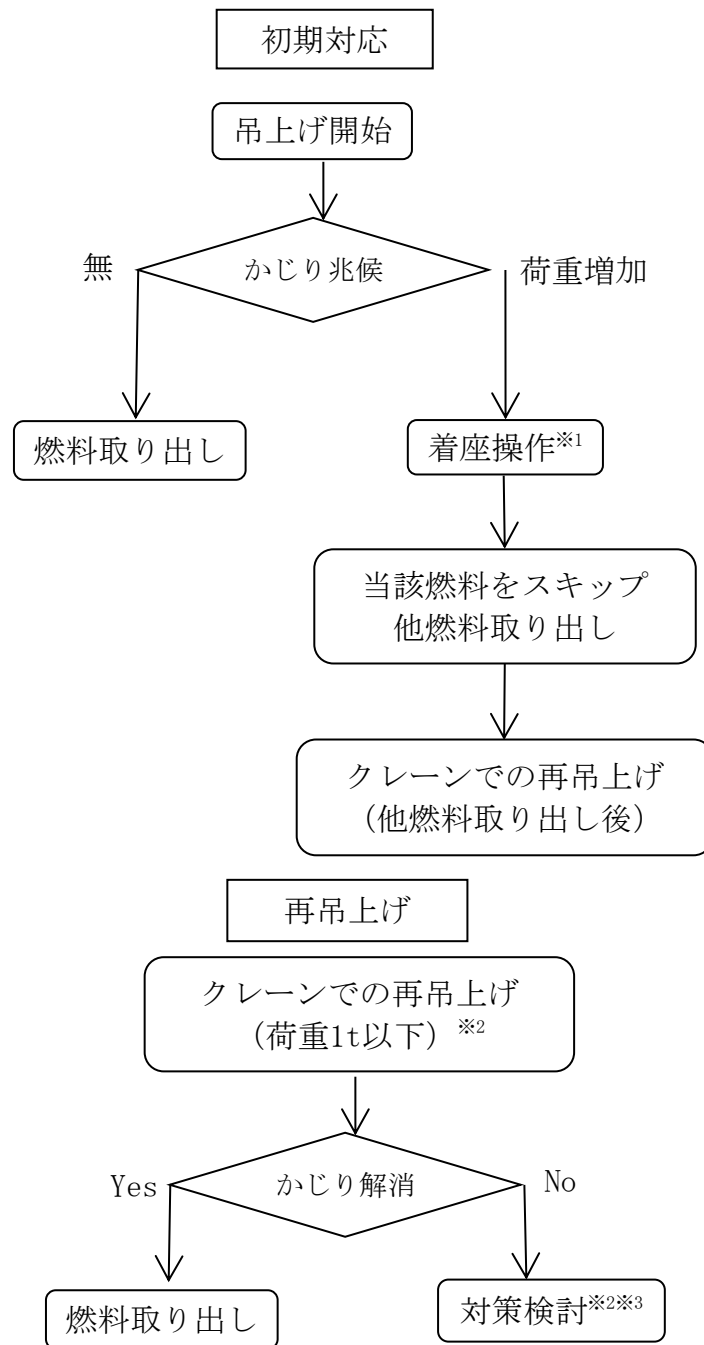


図6-5 4号機SFP内がれきマップ



※1 燃料取扱機での燃料取り出し中に固着により吊上げ/着座操作ができなくなった場合，その位置でクレーンに吊替える。

※2 必要に応じてファイバースコープ等による固着状況の調査・がれきの除去等を実施。

※3 燃料の落下防止のため必要に応じて落下防止治具を設置。固着した状態が長期間に亘ると判断される場合には，燃料集合体を安定した状態で保持。

図 6－6 固着発生時の対応フロー

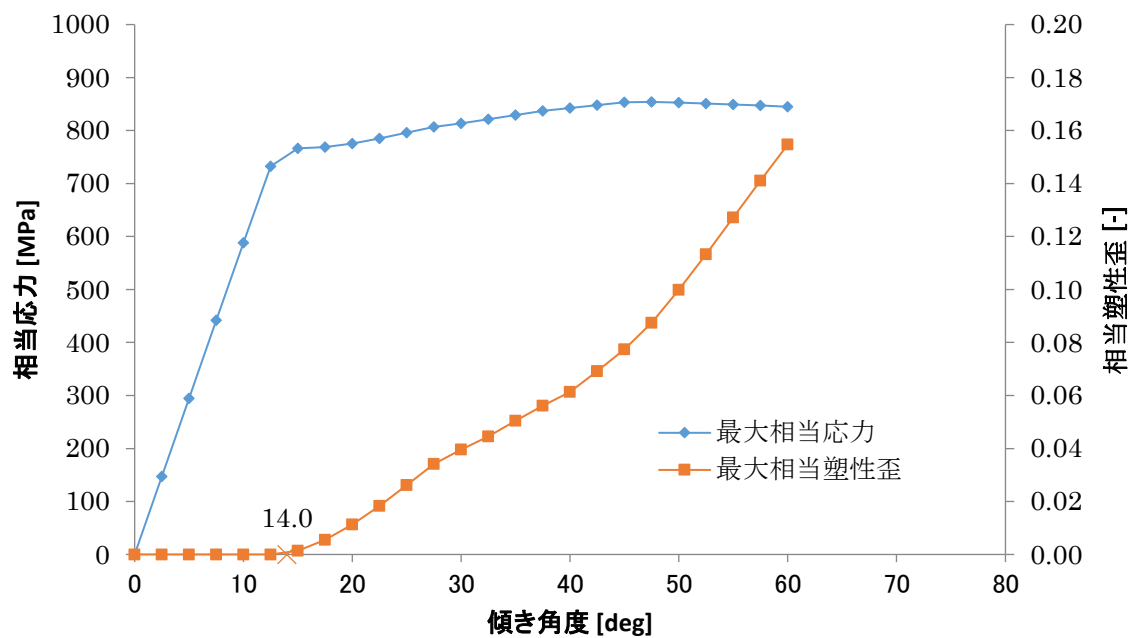


図 6－7 L T P と燃料棒との嵌合部傾き角度－発生応力及び塑性歪

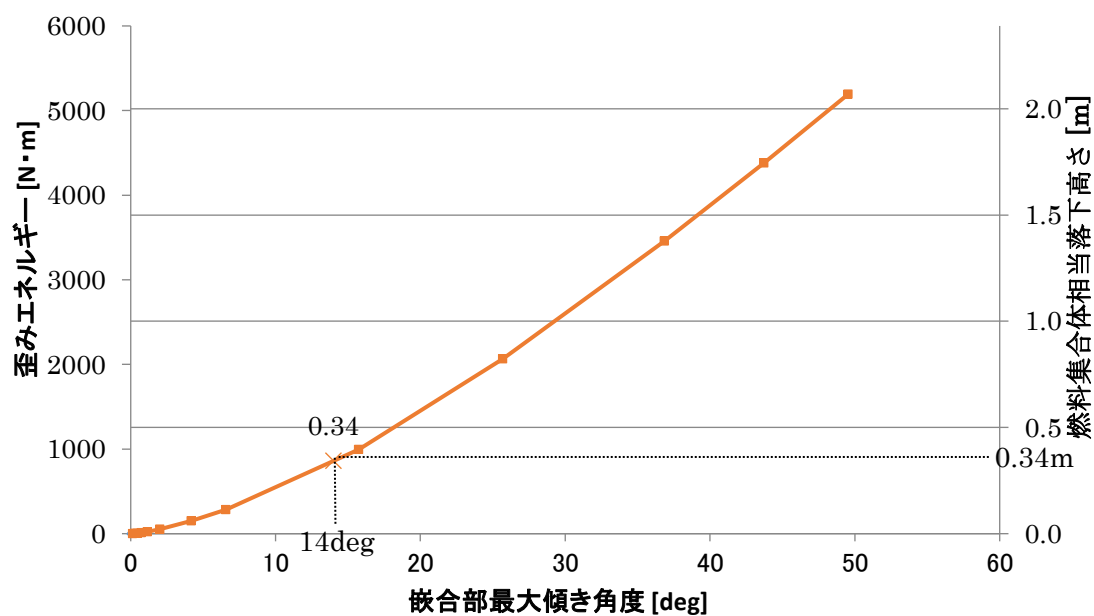


図 6－8 L T P と燃料棒との嵌合部最大傾き角度－歪みエネルギー及び落下高さ

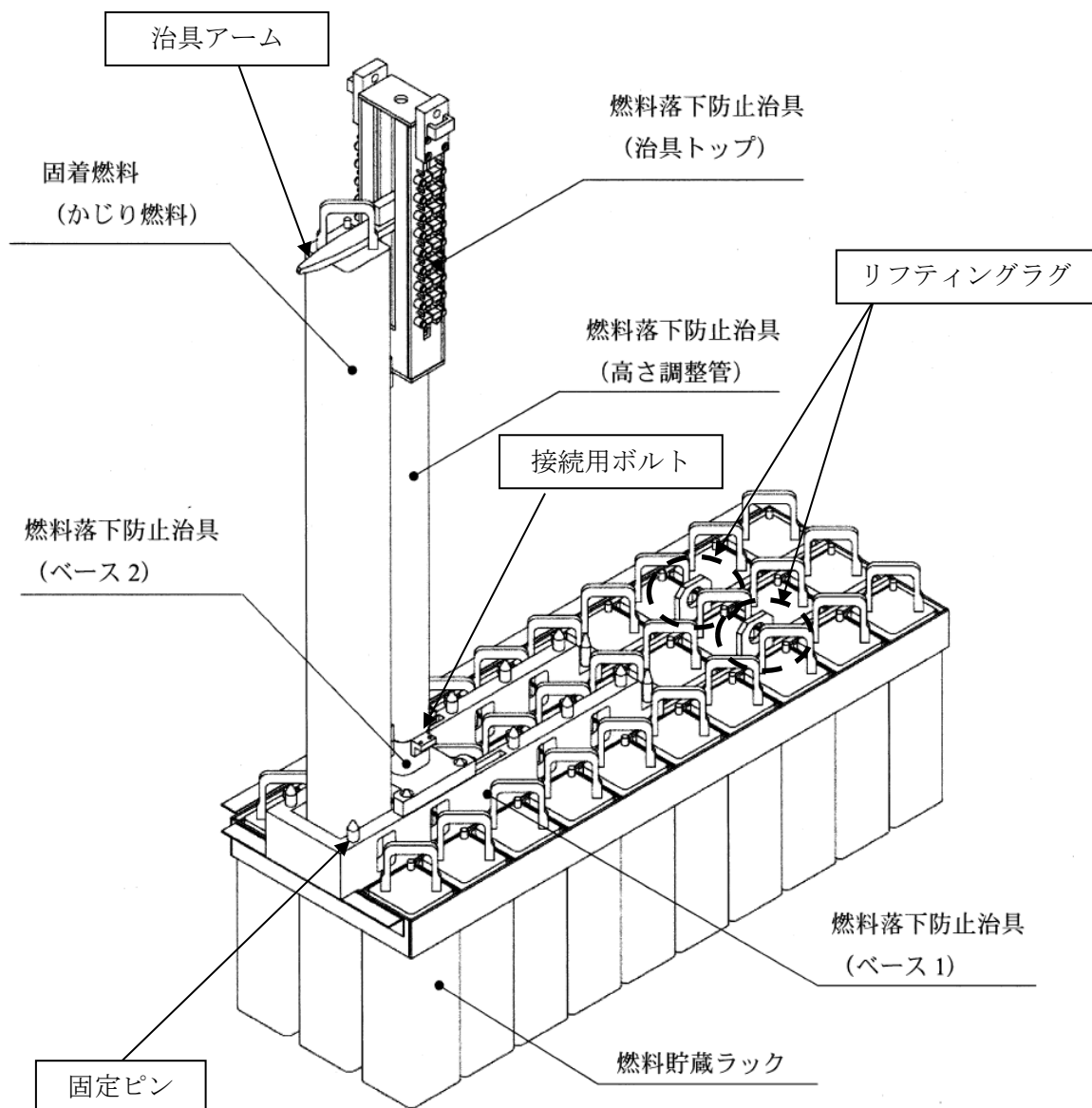


図 6 - 9 落下防止治具概念図

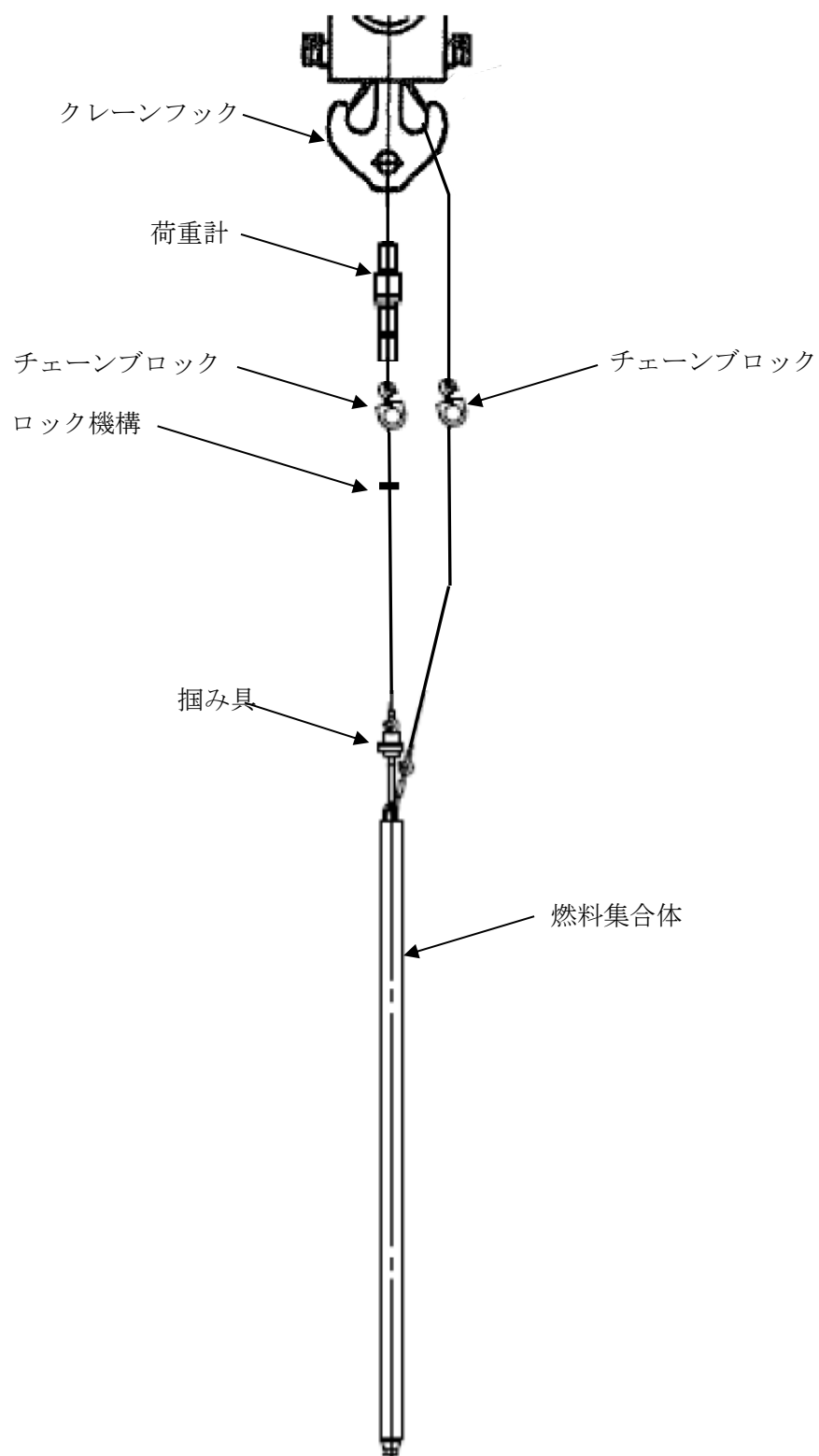


図 6 - 1 0 クレーンを用いた燃料集合体の取り扱い（概念図）



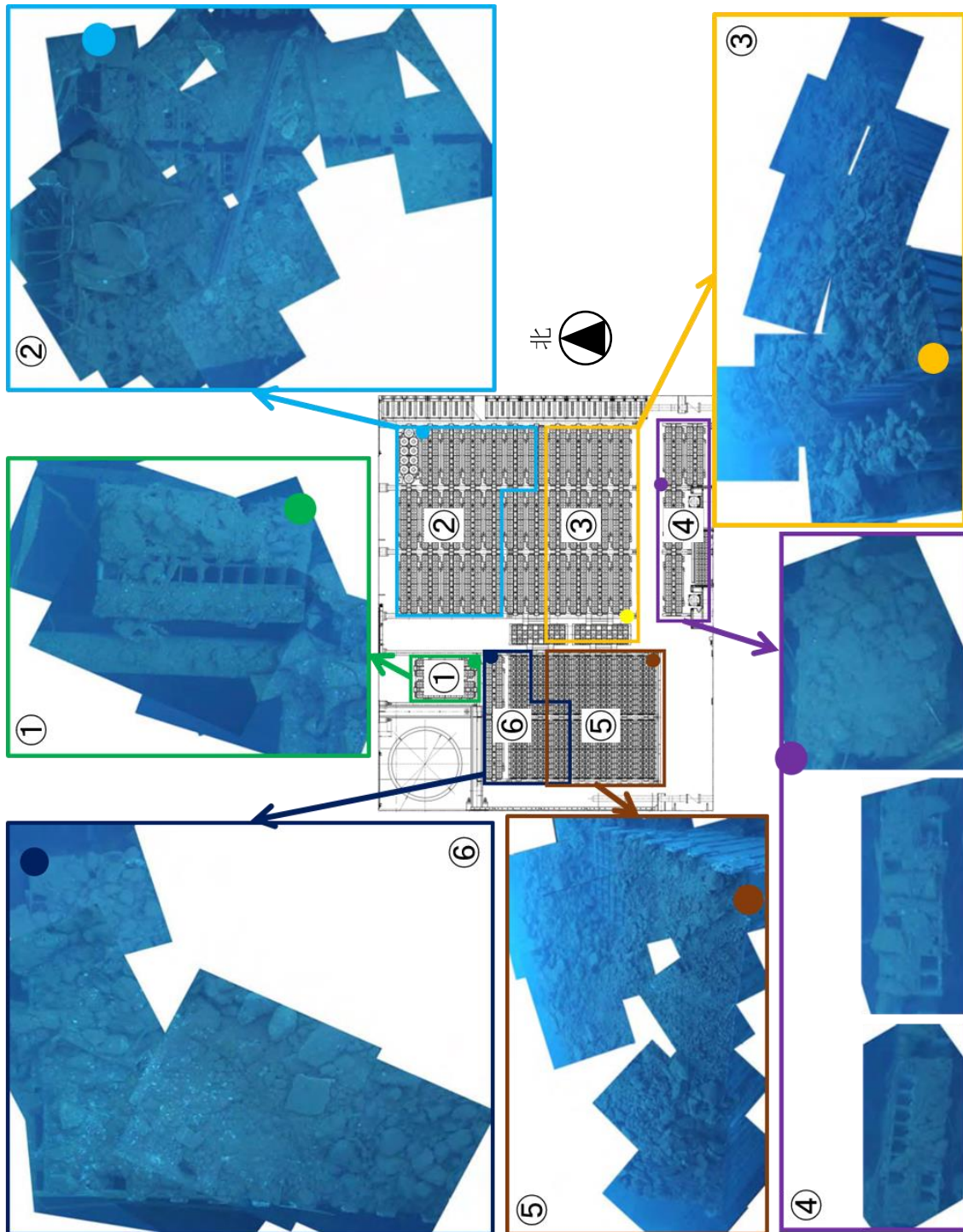
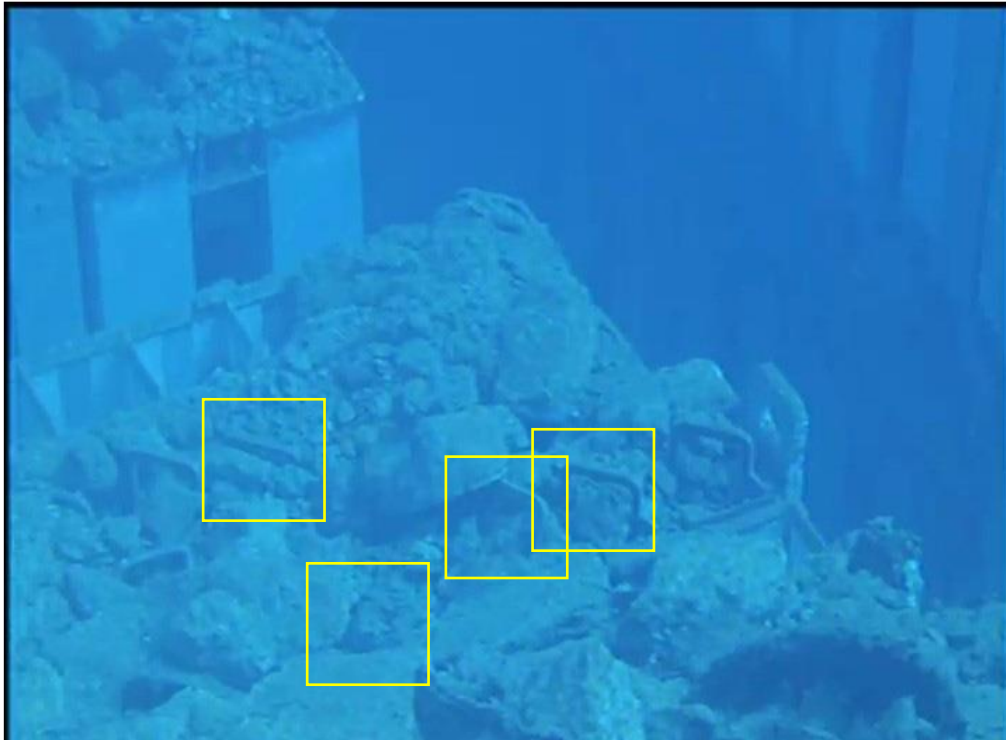


図 6 - 1 1 3 号機 S F P 内の状況（大型のがれき撤去後）



FHM 落下箇所



CUW ハッチ落下箇所

図 6 - 1 2 ハンドル部の変形が認められる燃料（3号機）



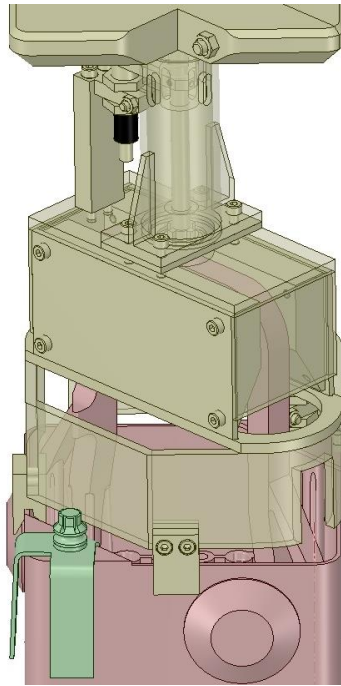
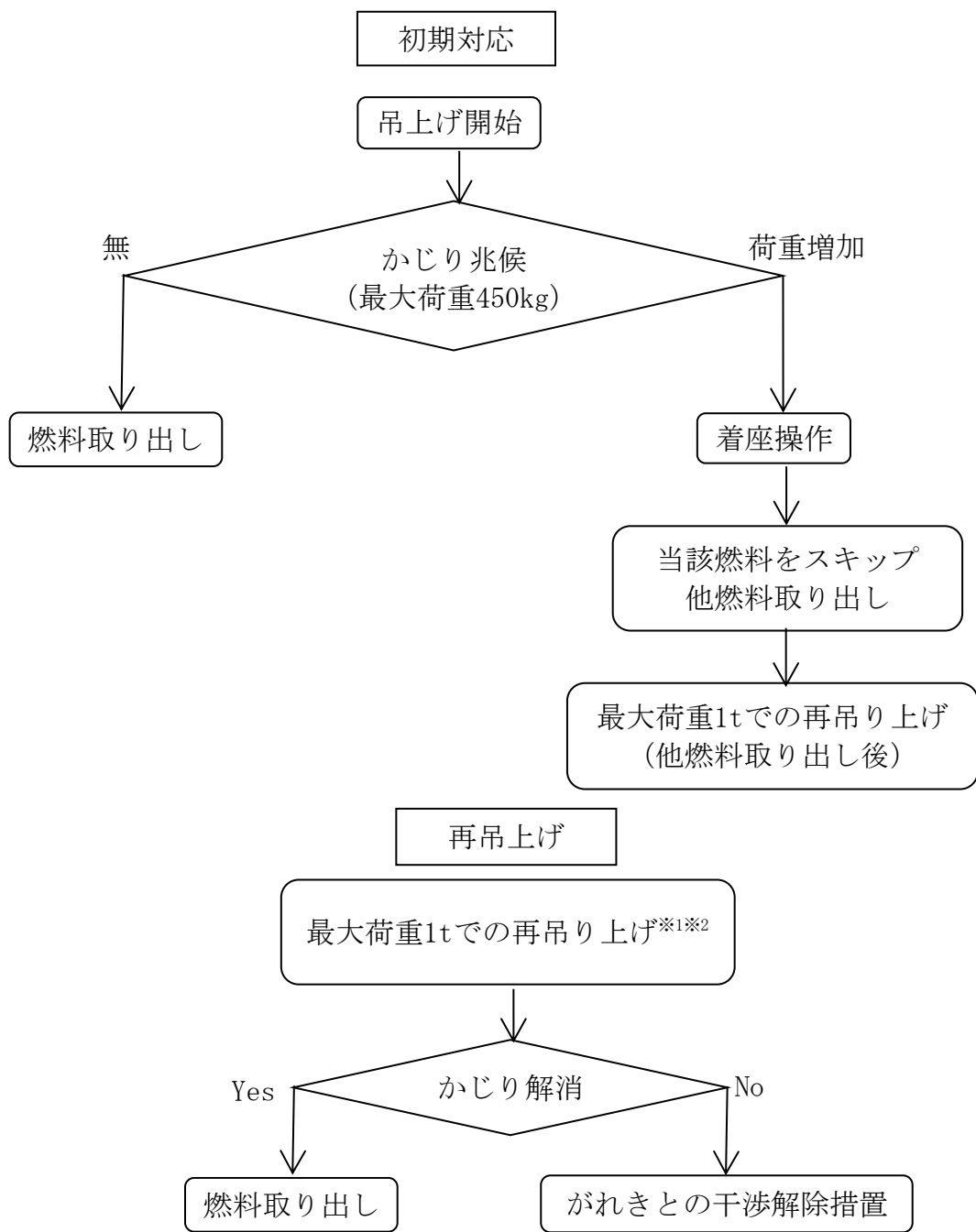


図 6 - 1 3 燃料健全性確認用治具（概念図）



※1 必要に応じて固着状況の調査及びがれきとの干渉解除措置を行う。

※2 チャンネルファスナが燃料ラックから抜ける範囲まで。

図 6－1 4 固着発生時の対応フロー（3号機）

放射能濃度変化＊ ＊初期濃度を 100 とした場合の相対値

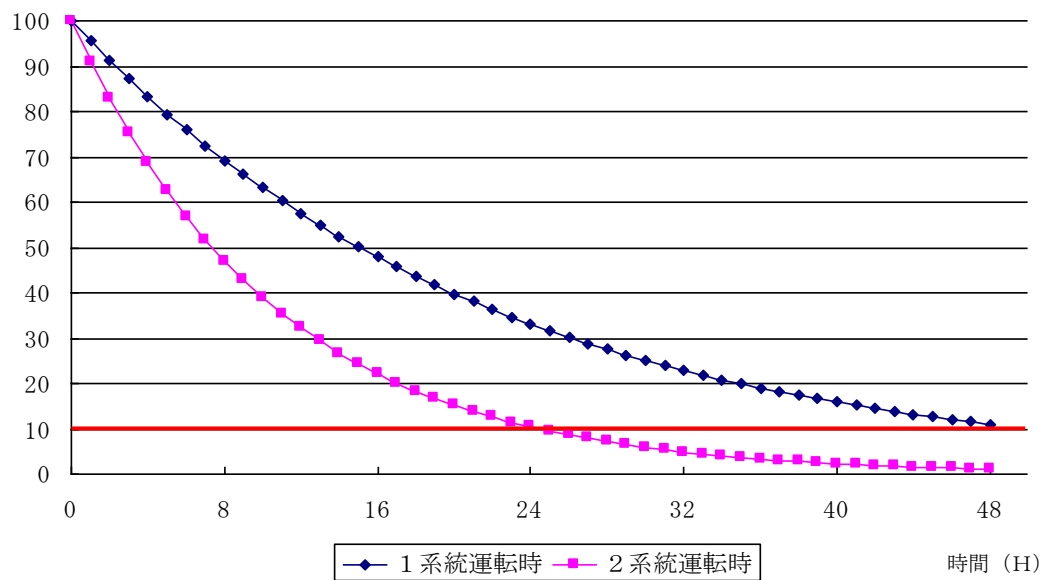


図 6－15 使用済燃料共用プール冷却浄化系ろ過脱塩装置での放射能除去評価

## 7. 参考資料

- (1) 汎用有限要素解析コード (ANSYS) について
- (2) がれき衝突解析に用いるコード (LS-DYNA) について

## 8. 参考文献

- [1] 「平成18年度 高燃焼度9×9型燃料信頼性実証成果報告書 付録1 (9×9 A型燃料照射後試験結果)」, 独立行政法人 原子力安全基盤機構, 平成19年12月
- [2] 「平成18年度 高燃焼度9×9型燃料信頼性実証成果報告書 付録2 (9×9 B型燃料照射後試験結果)」, 独立行政法人 原子力安全基盤機構, 平成19年12月
- [3] 「平成18年度 高燃焼度9×9型燃料信頼性実証成果報告書 (総合評価編)」, 独立行政法人 原子力安全基盤機構, 平成19年12月
- [4] T.Yasuda et al. Deformation and Fracture Properties of Neutron-Irradiated Recrystallized Zircaloy-2 Cladding under Uniaxial Tension, Zirconium in the Nuclear Industry ASTM STP 939, 734 (1987)

以上

## 汎用有限要素解析コード（ANSYS）について

### （１） 概要

ANSYSコードは、米国 Swanson Analysis Systems, Inc.（現在の ANSYS, Inc.）で開発された有限要素法に基づく伝熱・構造解析等の汎用解析コードであり、自動車業界や航空宇宙業界、建築・土木業界等、幅広い分野において設計開発に用いられている。

### （２） 機能

ANSYSコードは、構造解析に際して以下の機能を有している。

- ① 材料の非線形性（弾塑性）を扱うことが可能である。
- ② 材料特性として時間依存、ひずみの履歴依存並びに等方性・異方性等を考慮することが可能である。
- ③ モデルの形状は１次元～３次元について取扱うことが可能である。
- ④ 伝熱解析結果をそのまま境界条件として引き継いで熱応力の評価を行う等、伝熱・構造の連成解析も可能である。
- ⑤ 荷重条件として集中荷重、分布荷重、モーメント等の力学的荷重の他に温度分布等の熱荷重も取扱うことが可能である。

### （３） 解析フロー

ANSYSコードの解析フローを図１に示す。

### （４） 使用実績及び検証

ANSYSコードは、原子力分野では、原子炉設置（変更）許可申請書添付資料八における燃料被覆管端栓部の応力解析等、これまで多くの伝熱・構造解析に対し使用実績がある。

また、ANSYSコードの検証は、開発元のリリースノートの例題集において、多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較が実施されている。

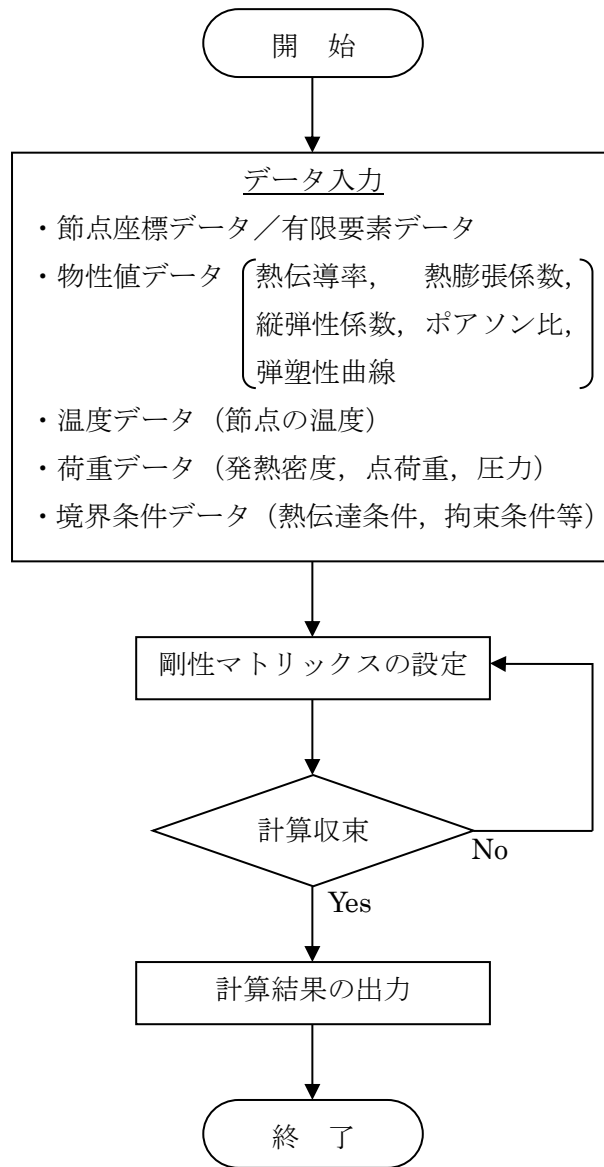


図1 ANSYSコードの解析フロー図

## がれき衝突解析に用いるコード（L S－D Y N A）について

### （１） 概要

L S－D Y N Aコードは米国 Livermore Software Technology Corporation (LSTC 社) からリリースされた汎用陽解法有限要素解析に基づく 3 次元非線形衝撃応答解析コードであり、輸送キャスクの衝撃解析等に広く利用されている。

### （２） 機能

L S－D Y N Aコードは、衝撃解析に際して以下の機能を有している。

- ① 材料の非線形性を取り扱いできるため、衝撃吸収材が衝撃時に降伏応力を超え、塑性変形することによって衝撃エネルギーを吸収することを考慮できる。
- ② 20 を超える接触オプションが有効であり、接触面には固着、剥離、接触、滑り、摩擦などの条件が設定できる。
- ③ 面と面の接触状態だけでなく、辺と辺、節点と面の接触も可能である。
- ④ 要素の消滅などの特殊な条件も扱うことができる。
- ⑤ 多数の金属、非金属材料モデルを有している。

### （３） 解析フロー

L S－D Y N Aコードの解析フローを図 1 に示す。

### （４） 使用実績

L S－D Y N Aコードは、これまで自動車分野をはじめ、多くの分野の衝撃解析に対して使用実績がある。

原子力分野では、返還ガラス固化体輸送用キャスクの核燃料輸送物設計承認書において、構造解析の解析コードとして使用されている実績がある。

### （５） 検証方法

実験との比較による検証が実施されていることを確認している。

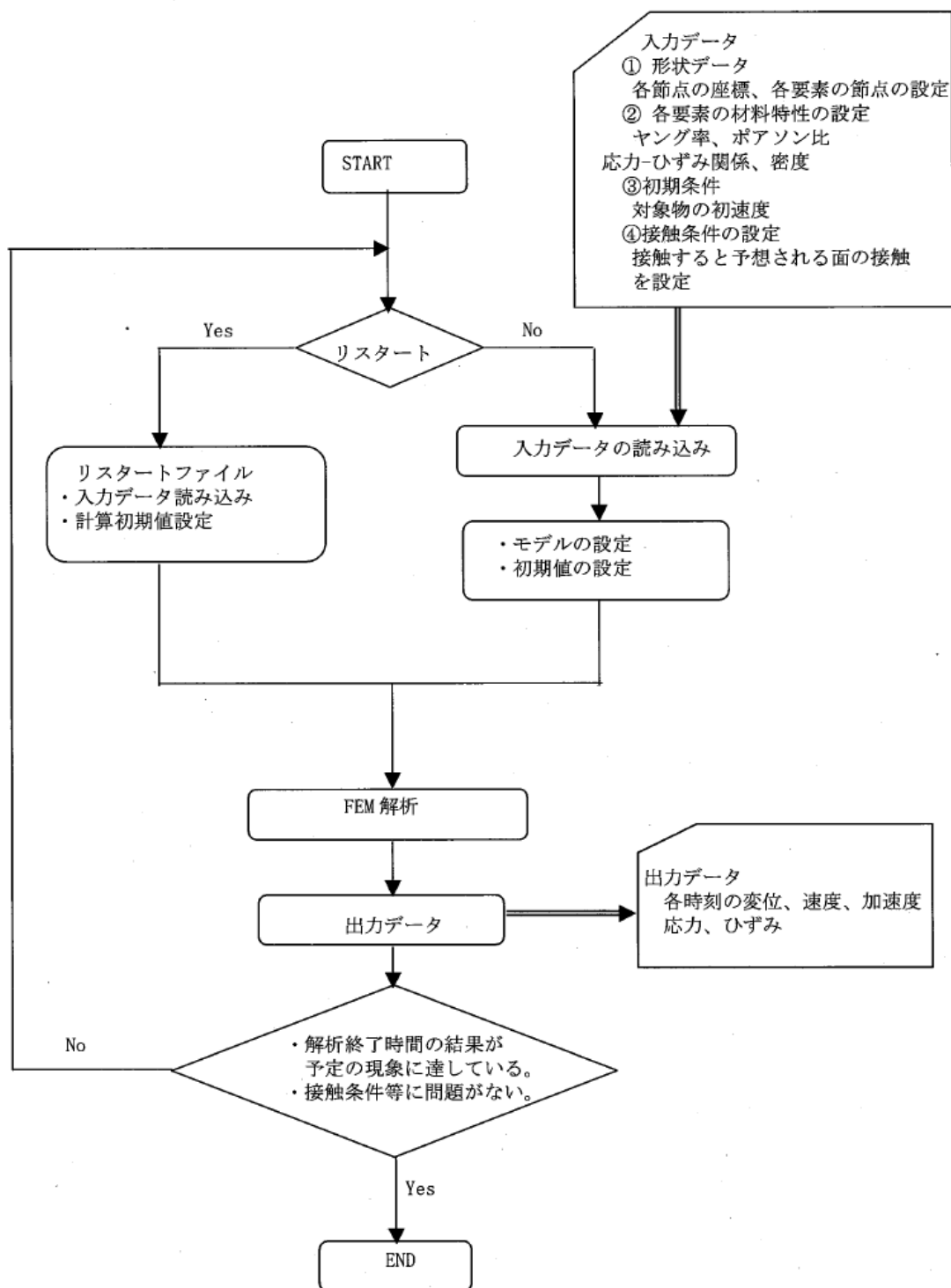


図1 LS-DYNAコードの解析フロー図



## 移送操作中の燃料集合体の落下

### 1. 原因

福島第一 2 ～ 4 号機使用済燃料プール内における燃料の移送操作中に、何らかの原因で燃料集合体が落下して破損し、放射性物質が環境に放出される。

### 2. 事故防止対策

燃料集合体の落下を防止するため、次のような設計及び運転管理上の対策を講じる。

- (1) 燃料取扱機は、燃料集合体の総重量を十分上回る重量に耐えることのできる強度に設計する。
- (2) 燃料把握機のワイヤを二重化する。
- (3) 燃料把握機は、圧縮空気等の駆動源が喪失した場合、燃料集合体が外れないフェイル・セーフ設計とする。
- (4) 燃料把握機が燃料集合体を確実につかんでいない場合には、吊上げができないようなインターロックを設ける。
- (5) 運転要領を十分整備し、よく訓練された監督者の直接指揮下で燃料取扱作業を行う運転管理体制をとる。
- (6) 使用済燃料プールに貯蔵されている燃料集合体について、移送前に燃料集合体の機械的健全性を確認する。
- (7) 燃料集合体の機械的健全性確認において、破損が確認された燃料集合体を移送する場合には、破損形態に応じた適切な取扱手法及び収納方法により、放射性物質の飛散・拡散を防止する。

### 3. 第 4 号機核分裂生成物の放出量及び線量の評価

#### 3.1. 核分裂生成物の放出量

##### (1) 破損燃料棒の評価

本事故時に破損する燃料棒の本数は、次の仮定に基づいて評価する。

- a. 燃料取り出し作業に際し、使用済燃料貯蔵ラックの上部で取扱中の燃料集合体 1 体が使用済燃料貯蔵ラックに落下するものと仮定する。
- b. 落下による燃料集合体の破損体数は、炉心での落下を想定した設置許可申請書の評価と同様の 2.3 体とする。

なお、炉心での落下高さ 10m に対し、使用済燃料プールでの落下高さは使用済燃料貯蔵ラックへの落下及び構内用輸送容器への落下共に 1m 以下であり、装荷・貯蔵されている燃料集合体の配置密度も炉心と比較して使用済燃料プール及び構内用輸

送容器の方が低いため、使用済燃料プールでの落下を想定した場合の破損体数が、炉心での落下を想定した場合の破損体数を上回ることはない。

## (2) 評価条件

事故時の核分裂生成物の移行と放出量の評価は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 燃料ギャップ内の核分裂生成物の量は、原子炉が定格出力の約 105%（熱出力 2,483MW）で十分長時間（2,000 日）運転された取替炉心のサイクル末期の最大出力燃料集合体について行う。
- b. 燃料取り出し作業は、原子炉停止後 365 日冷却された後に行われるものとし、原子炉停止後の放射能の減衰は考えるものとする。

なお、第 4 号機の発電停止は 2010 年 11 月 30 日であり、使用済燃料プールからの燃料取り出しはステップ 2 終了から 2 年以内の 2013 年 11 月頃の開始を目標としている。この場合の冷却日数は約 1100 日となる。

- c. 破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の全量が水中に放出されるものとする。破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の存在量については、半減期の長い核種の放出が支配的であることを考えて、破損した燃料棒内の全蓄積量に対して希ガス及びよう素それぞれ 30%とする。
- d. 放出された希ガスは、全量が水中から燃料取り出し用カバーの空气中へ移行するものとする。
- e. 燃料取り出し作業開始時には、燃料及び冷却材温度は低下しているので、放出されたよう素のうち 1%は有機状とし、すべて燃料取り出し用カバー内に移行するものとする。
- f. 水中へ放出された無機よう素の水中での除染係数は 500 とする。

## (3) 評価結果

上記の評価条件に基づいて計算した核分裂生成物の大気中への放出量は表 3.1 の通りである。

表 3.1 核分裂生成物の大気中への放出量

核分裂生成物	放出量
希ガス(γ線実効エネルギー 0.5MeV 換算値) 大気放出量	約 $5.0 \times 10^{11}$ Bq
よう素(I-131 等価量(小児実効))大気放出量	約 $3.3 \times 10^6$ Bq
よう素(I-131 等価量(成人実効))大気放出量	約 $1.3 \times 10^7$ Bq

## 3.2. 線量当量の評価

### (1) 評価の前提

大気中へ放出される核分裂生成物は、地上放出されるものとし、これによる実効線量の計算は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 敷地境界外の地表空气中濃度は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対濃度に核分裂生成物の全放出量に乗じて求める。

なお、相対濃度 ( $\chi/Q$ ) は設置許可申請書記載の主蒸気管破断 (地上放出) の値  $3.4 \times 10^{-5} \text{ s/m}^3$  を適用する。

- b. 敷地境界外の希ガスによる  $\gamma$  線空気吸収線量は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対線量に希ガスの全放出量に乗じて求める。

なお、相対線量 ( $D/Q$ ) は設置許可申請書記載の主蒸気管破断 (地上放出) の値  $3.4 \times 10^{-19} \text{ Gy/Bq}$  を適用する。

## (2) 評価方法

敷地境界外における実効線量は、次に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばく ( $\gamma$  線及び  $\beta$  線) による実効線量の和として計算する。

よう素の内部被ばくによる実効線量  $H_I$  (Sv) は、(3.2-1)式で計算する。

$$H_I = R \cdot H_\infty \cdot \chi / Q \cdot Q_I \cdots \cdots \cdots (3.2-1)$$

ここで、

$R$  : 呼吸率 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」の活動中の呼吸率 (小児:  $0.31 \text{ m}^3/\text{h}$ , 成人:  $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$ ) を秒当りに換算して用いる。

$H_\infty$  : よう素 (I-131) を 1Bq 吸入した場合の実効線量  
(I-131, 小児:  $1.6 \times 10^{-7} \text{ Sv/Bq}$ , 成人:  $2.0 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ )

$\chi / Q$  : 相対濃度 ( $\text{s/m}^3$ )

$Q_I$  : 事故期間中のよう素の大気放出量 (Bq) (I-131 等価量)

希ガスの  $\gamma$  線外部被ばくによる実効線量  $H_\gamma$  (Sv) は、(3.2-2)式で計算する。

$$H_\gamma = K \cdot D / Q \cdot Q_\gamma \cdots \cdots \cdots (3.2-2)$$

ここで、

$K$  : 空気吸収線量から実効線量への換算係数 ( $K = 1 \text{ Sv/Gy}$ )

$D / Q$  : 相対線量 ( $\text{Gy/Bq}$ )

$Q_\gamma$  : 事故期間中の希ガスの大気放出量 (Bq)  
( $\gamma$  線実効エネルギー 0.5MeV 換算値)

希ガスの  $\beta$  線外部被ばくによる実効線量  $H_\beta$  (Sv) は、(3.2-3)式で計算する。

$$H_\beta = 6.2 \times 10^{-14} \cdot \chi / Q \cdot Q_\beta \cdot E_\beta \cdot W_{TS} \cdots \cdots \cdots (3.2-3)$$

ここで、

$\chi / Q$  : 相対濃度 ( $\text{s/m}^3$ )

$Q_\beta$  : 事故期間中の希ガスの大気放出量 (Bq)

$E_{\beta}$  :  $\beta$  線のエネルギー (MeV) (0.251MeV Kr-85 実効エネルギー)  
 $W_{TS}$  : 皮膚の組織荷重係数は ICRP Publication. 60 の値を用いる。  
 (0.01)

### (3) 評価結果

上記の評価前提及び方法に基づき敷地境界外の実効線量を評価した結果は表 3.2 の通りである。

表 3.2 燃料集合体の落下時の実効線量

実効線量 (小児)	実効線量 (成人)
約 $7.8 \times 10^{-4}$ mSv	約 $7.8 \times 10^{-4}$ mSv

上記の値から判断して、本事象による周辺の公衆に与える放射線被ばくのリスクは十分に小さいものと考えられる。

今回評価した実効線量は設置許可申請書での評価 ( $6.8 \times 10^{-2}$  mSv) と比較して 2 桁以上減少しているが、その原因は、設置許可申請書の評価で排気筒放出であったものが、今回地上放出として評価することによる実効線量の上昇要因があるものの、冷却が進んだことによる希ガス及びヨウ素の減少効果がそれ以上に大きいことである。

### 3.3. 判断基準への適合性の検討

3.1, 3.2 に示した通り、周辺公衆に対し、著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。

#### 4. 第3号機核分裂生成物の放出量及び線量の評価

##### 4.1. 核分裂生成物の放出量

###### (1) 破損燃料棒の評価

本事故時に破損する燃料棒の本数は、次の仮定に基づいて評価する。

- a. 燃料取り出し作業に際し、使用済燃料貯蔵ラックの上部で取扱中の燃料集合体1体が使用済燃料貯蔵ラックに落下するものと仮定する。
- b. 落下による燃料集合体の破損体数は、炉心での落下を想定した設置許可申請書の評価と同様の2.3体とする。

なお、炉心での落下高さ10mに対し、使用済燃料プールでの落下高さは使用済燃料貯蔵ラックへの落下及び構内用輸送容器への落下共に1m以下であり、装荷・貯蔵されている燃料集合体の配置密度も炉心と比較して使用済燃料プール及び構内用輸送容器の方が低いため、使用済燃料プールでの落下を想定した場合の破損体数が、炉心での落下を想定した場合の破損体数を上回ることはない。

###### (2) 評価条件

事故時の核分裂生成物の移行と放出量の評価は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 燃料ギャップ内の核分裂生成物の量は、原子炉が定格出力の約105%（熱出力2,483MW）で十分長時間（2,000日）運転された取替炉心のサイクル末期の最大出力燃料集合体について行う。
- b. 燃料取り出し作業は、原子炉停止後365日冷却された後に行われるものとし、原子炉停止後の放射能の減衰は考えるものとする。

なお、第3号機の使用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料は2010年6月18日に発電停止したものであり、使用済燃料プールからの燃料取り出しはステップ2終了から3年程度後の2014年末の開始を目標としている。この間の冷却日数は約1600日となる。

- c. 破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の全量が水中に放出されるものとする。破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の存在量については、半減期の長い核種の放出が支配的であることを考えて、破損した燃料棒内の全蓄積量に対して希ガス及びよう素それぞれ30%とする。
- d. 放出された希ガスは、全量が水中から燃料取り出し用カバーの空气中へ移行するものとする。
- e. 燃料取り出し作業開始時には、燃料及び冷却材温度は低下しているので、放出されたよう素のうち1%は有機状とし、すべて燃料取り出し用カバー内に移行するものとする。
- f. 水中へ放出された無機よう素の水中での除染係数は500とする。

###### (3) 評価結果

上記の評価条件に基づいて計算した核分裂生成物の大気中への放出量は表4.1の通

りである。

表 4.1 核分裂生成物の大気中への放出量

核分裂生成物	放出量
希ガス(γ線実効エネルギー 0.5MeV 換算値) 大気放出量	約 $5.0 \times 10^{11}$ Bq
よう素(I-131 等価量(小児実効))大気放出量	約 $3.3 \times 10^6$ Bq
よう素(I-131 等価量(成人実効))大気放出量	約 $1.3 \times 10^7$ Bq

#### 4.2. 線量当量の評価

##### (1) 評価の前提

大気中へ放出される核分裂生成物は、地上放出されるものとし、これによる実効線量の計算は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 敷地境界外の地表空気中濃度は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対濃度に核分裂生成物の全放出量を乗じて求める。

なお、相対濃度 ( $\chi/Q$ ) は設置許可申請書記載の主蒸気管破断(地上放出)の値  $2.6 \times 10^{-5}$  s/m<sup>3</sup> を適用する。

- b. 敷地境界外の希ガスによるγ線空気吸収線量は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対線量に希ガスの全放出量を乗じて求める。

なお、相対線量 ( $D/Q$ ) は設置許可申請書記載の主蒸気管破断(地上放出)の値  $3.0 \times 10^{-19}$  Gy/Bq を適用する。

##### (2) 評価方法

敷地境界外における実効線量は、次に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばく(γ線及びβ線)による実効線量の和として計算する。

よう素の内部被ばくによる実効線量  $H_I$  (Sv) は、(4.2-1)式で計算する。

$$H_I = R \cdot H_\infty \cdot \chi/Q \cdot Q_I \cdots \cdots (4.2-1)$$

ここで、

R : 呼吸率 (m<sup>3</sup>/s)

「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」の活動中の呼吸率(小児: 0.31m<sup>3</sup>/h, 成人: 1.2m<sup>3</sup>/h)を秒当りに換算して用いる。

$H_\infty$  : よう素(I-131)を1Bq吸入した場合の小児の実効線量  
(I-131, 小児:  $1.6 \times 10^{-7}$  Sv/Bq, 成人:  $2.0 \times 10^{-8}$  Sv/Bq)

$\chi/Q$  : 相対濃度 (s/m<sup>3</sup>)

$Q_I$  : 事故期間中のよう素の大気放出量 (Bq) (I-131 等価量)

希ガスの $\gamma$ 線外部被ばくによる実効線量 $H_\gamma$  (Sv) は, (4.2-2)式で計算する。

$$H_\gamma = K \cdot D / Q \cdot Q_\gamma \cdots \cdots \cdots (4.2-2)$$

ここで,

- K : 空気吸収線量から実効線量への換算係数 ( $K=1\text{Sv/Gy}$ )
- $D/Q$  : 相対線量 ( $\text{Gy/Bq}$ )
- $Q_\gamma$  : 事故期間中の希ガスの大気放出量 (Bq)  
( $\gamma$ 線実効エネルギー 0.5MeV 換算値)

希ガスの $\beta$ 線外部被ばくによる実効線量 $H_\beta$  (Sv) は, (4.2-3)式で計算する。

$$H_\beta = 6.2 \times 10^{-14} \cdot \chi / Q \cdot Q_\beta \cdot E_\beta \cdot W_{TS} \cdots \cdots \cdots (4.2-3)$$

ここで,

- $\chi / Q$  : 相対濃度 ( $\text{s/m}^3$ )
- $Q_\beta$  : 事故期間中の希ガスの大気放出量 (Bq)
- $E_\beta$  :  $\beta$ 線のエネルギー (MeV) (0.251MeV Kr-85 実効エネルギー)
- $W_{TS}$  : 皮膚の組織荷重係数は ICRP Publication. 60 の値を用いる。  
(0.01)

### (3) 評価結果

上記の評価前提及び方法に基づき敷地境界外の実効線量を評価した結果は表 4.2 の通りである。

表 4.2 燃料集合体の落下時の実効線量

実効線量 (小児)	実効線量 (成人)
約 $6.2 \times 10^{-4}\text{mSv}$	約 $6.2 \times 10^{-4}\text{mSv}$

上記の値から判断して、本事象による周辺の公衆に与える放射線被ばくのリスクは十分に小さいものと考えられる。

今回評価した実効線量は設置許可申請書での評価 ( $6.8 \times 10^{-2}\text{mSv}$ ) と比較して 2 桁以上減少しているが、その原因は、設置許可申請書の評価で排気筒放出であったものが、今回地上放出として評価することによる実効線量の上昇要因があるものの、冷却が進んだことによる希ガス及びよう素の減少効果がそれ以上に大きいことである。

### 4.3. 判断基準への適合性の検討

4.1, 4.2 に示した通り、周辺公衆に対し、著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。

## 5. 第2号機核分裂生成物の放出量及び線量の評価

### 5.1. 核分裂生成物の放出量

#### (1) 破損燃料棒の評価

本事故時に破損する燃料棒の本数は、次の仮定に基づいて評価する。

- a. 燃料取り出し作業に際し、使用済燃料貯蔵ラックの上部で取扱中の燃料集合体1体が使用済燃料貯蔵ラックに落下するものと仮定する。
- b. 落下による燃料集合体の破損体数は、炉心での落下を想定した設置許可申請書の評価と同様の2.3体とする。

なお、炉心での落下高さ10mに対し、使用済燃料プールでの落下高さは使用済燃料貯蔵ラックへの落下及び構内用輸送容器への落下共に2m以下であり、装荷・貯蔵されている燃料集合体の配置密度も炉心と比較して使用済燃料プール及び構内用輸送容器の方が低いため、使用済燃料プールでの落下を想定した場合の破損体数が、炉心での落下を想定した場合の破損体数を上回ることはない。

#### (2) 評価条件

事故時の核分裂生成物の移行と放出量の評価は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 燃料ギャップ内の核分裂生成物の量は、原子炉熱出力2483MW(定格出力の約105%)で2000日運転を行った9×9燃料集合体について行う。
- b. 燃料集合体の冷却期間は365日とする。
- c. 破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の全量が水中に放出されるものとする。破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の存在量については、半減期の長い核種の放出が支配的であることを考えて、破損した燃料棒内の全蓄積量に対して希ガス(Kr-85)及びよう素(I-129)それぞれ30%とする。
- d. 放出された希ガスは、全量が水中から原子炉建屋および燃料取り出し用構台の大気中へ移行するものとする。
- e. 燃料取り出し作業開始時には、燃料及び冷却材温度は低下しているので、放出されたよう素のうち1%は有機状とし、すべて原子炉建屋および燃料取り出し用構台内に移行するものとする。
- f. 水中へ放出された無機よう素の水中での除染係数は500とする。

#### (3) 評価結果

上記の評価条件に基づいて計算した核分裂生成物の大気中への放出量は表5.1の通りである。

表 5.1 核分裂生成物の大気中への放出量

核分裂生成物	放出量
希ガス(γ線実効エネルギー0.5MeV換算値)大気放出量	約 $5.0 \times 10^{11}$ Bq
よう素(I-131等価量(小児実効))大気放出量	約 $3.4 \times 10^6$ Bq
よう素(I-131等価量(成人実効))大気放出量	約 $1.3 \times 10^7$ Bq



## 5.2. 線量当量の評価

### (1) 評価の前提

大気中へ放出される核分裂生成物は、地上放出されるものとし、これによる実効線量の計算は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 敷地境界外の地表空气中濃度は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対濃度に核分裂生成物の全放出量を乗じて求める。なお、相対濃度 ( $\chi/Q$ ) は保守的な評価となる設置許可申請書記載の2号機の主蒸気管破断(地上放出)の値  $2.0 \times 10^{-5} \text{s/m}^3$  を適用する。
- b. 敷地境界外の希ガスによる  $\gamma$  線空気吸収線量は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対線量に希ガスの全放出量を乗じて求める。なお、相対線量 ( $D/Q$ ) は保守的な評価となる設置許可申請書記載の2号機の主蒸気管破断(地上放出)の値  $2.4 \times 10^{-19} \text{Gy/Bq}$  を適用する。

### (2) 評価方法

設置許可申請書添付書類十の「3.4.3 燃料集合体の落下」ならびに「4.1.1 原子炉冷却材喪失」と同様の方法で評価する。

敷地境界外における実効線量は、次に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばくによる実効線量の和として計算する。

よう素の内部被ばくによる実効線量  $H_I$  (Sv) は、(5.2-1)式で計算する。

$$H_I = R \cdot H_\infty \cdot \chi/Q \cdot Q_I \cdots \cdots \cdots (5.2-1)$$

ここで、

$R$  : 呼吸率 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」の活動中の呼吸率を秒当たりに換算して用いる。

(小児:  $0.31 \text{m}^3/\text{h}$ , 成人:  $1.2 \text{m}^3/\text{h}$ )

$H_\infty$  : よう素 (I-131) を 1Bq 吸入した場合の実効線量

(小児:  $1.6 \times 10^{-7} \text{Sv/Bq}$ , 成人:  $2.0 \times 10^{-8} \text{Sv/Bq}$ )

$\chi/Q$  : 相対濃度 ( $\text{s/m}^3$ )

$Q_I$  : よう素の大気放出量 (Bq) (I-131 等価量)

希ガスの  $\gamma$  線外部被ばくによる実効線量  $H_\gamma$  (Sv) は、(5.2-2)式で計算する。

$$H_\gamma = K \cdot D/Q \cdot Q_\gamma \cdots \cdots \cdots (5.2-2)$$

ここで、

$K$  : 空気吸収線量から実効線量への換算係数 ( $1 \text{Sv/Gy}$ )

$D/Q$  : 相対線量 ( $\text{Gy/Bq}$ )

$Q_\gamma$  : 希ガスの大気放出量 (Bq) ( $\gamma$  線実効エネルギー  $0.5 \text{MeV}$  換算値)

また、希ガスの  $\beta$  線外部被ばくによる実効線量  $H_\beta$  (Sv) は、(5.2-3)式で計算する。

$$H_\beta = 6.2 \times 10^{-14} \cdot \chi/Q \cdot Q_\beta \cdot E_\beta \cdot W_{TS} \cdots \cdots \cdots (5.2-3)$$

ここで,

- $\chi/Q$  : 相対濃度 ( $\text{s}/\text{m}^3$ )  
 $Q_\beta$  : 希ガスの大気放出量 (Bq)  
 $E_\beta$  :  $\beta$ 線実効エネルギー「被ばく計算に用いる放射線エネルギー等について」を用いる。(0.251MeV Kr-85 実効エネルギー)  
 $W_{TS}$  : 皮膚の組織荷重係数は ICRP Publ. 60 の値を用いる。(0.01)

### (3) 評価結果

上記の評価前提及び方法に基づき敷地境界外の実効線量を評価した結果は表 5.2 の通りである。

表 5.2 燃料集合体の落下時の実効線量

実効線量 (小児)	実効線量 (成人)
約 $4.8 \times 10^{-4} \text{mSv}$	約 $4.8 \times 10^{-4} \text{mSv}$

上記の値から判断して、本事象による周辺の公衆に与える放射線被ばくのリスクは十分に小さいものと考えられる。

今回評価した実効線量は設置許可申請書での評価 ( $6.4 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ) と比較して 2 桁以上減少しているが、その原因は、設置許可申請書の評価で排気筒放出であったものが、今回地上放出として評価することによる実効線量の上昇要因があるものの、冷却が進んだことによる希ガス及びよう素の減少効果がそれ以上に大きいことである。

### 5.3. 判断基準への適合性の検討

5.1, 5.2 に示した通り、周辺公衆に対し、著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。

## 燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明書

### 1 本説明書の記載範囲

本説明書は、２号機、３号機及び４号機燃料取扱設備の構造強度及び耐震性について記載するものである。

### 2 ４号機燃料取扱設備の構造強度及び耐震性について

#### 2.1 概要

##### 2.1.1 一般事項

４号機燃料取扱設備は、燃料取扱機とクレーンを有し、それぞれについて構造強度及び耐震性について検討を行う。燃料取扱設備は使用済燃料プールを覆う燃料取り出し用カバーに設置される。

燃料取扱機の構造強度及び耐震性は、検討に用いる地震動として基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析を実施し、燃料取扱機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。ここで、波及的影響の確認は燃料取扱機が落下に至らないことを確認する。

クレーンの構造強度及び耐震性は、検討に用いる地震動として弾性設計用地震動  $S_d$  に対する地震応答解析を実施し、クレーン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。ここで、波及的影響の確認は、クレーンが落下に至らないことを確認する。

弾性設計用地震動  $S_d$  は、基準地震動  $S_s$  の  $1/2$  として評価する。

なお、キャスクの縦揺れについては、キャスクの荷重に対して、クレーンのワイヤが切断しない(キャスクが落下しない)ことを確認している。また、キャスクの横揺れについては、クレーンの水平方向固有周期と比較し、ワイヤロープで吊り下げられたキャスクの固有周期は十分に長いことから、クレーン自体の振動には影響されないことを確認している。

燃料取扱設備の検討は、下記に準拠して行う。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG 4601・補-1984)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG 4601-1987)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC 4601-2008)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005)
- (5) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2007 年追補版) (JSME S NC1-2007)

### 2.1.2 燃料取扱機

燃料取扱機は、燃料取扱機支持用架構（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」参照）に設置されるもので、東西方向を長手方向として２本のガーダが配置され、南北方向に走行する。このガーダ上にトロリが設置され、東西方向に走行する。燃料取扱機フレームは、ガーダ、サドル、トロリで構成される。燃料取扱機の概要を図 2.1.2-1 に示す。

ブリッジ及びトロリは、各々走行レール及び横行レール上に乗っているので地震時、走行方向に対しては、最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合すべりを生じる。

ブリッジ及びトロリの車輪は各々４個であり、そのうち各々２個は摩擦を受ける駆動輪であり、他の２個は従動輪である。ゆえに、最大静止摩擦係数を $\mu=0.3$ とすれば、水平力は鉛直方向荷重 $\times \mu \times 2/4 =$ 鉛直方向荷重 $\times 0.15$ である。

ブリッジ及びトロリは、走行方向に直角な方向に対しては、脱線防止ラグによって荷重を支持する。

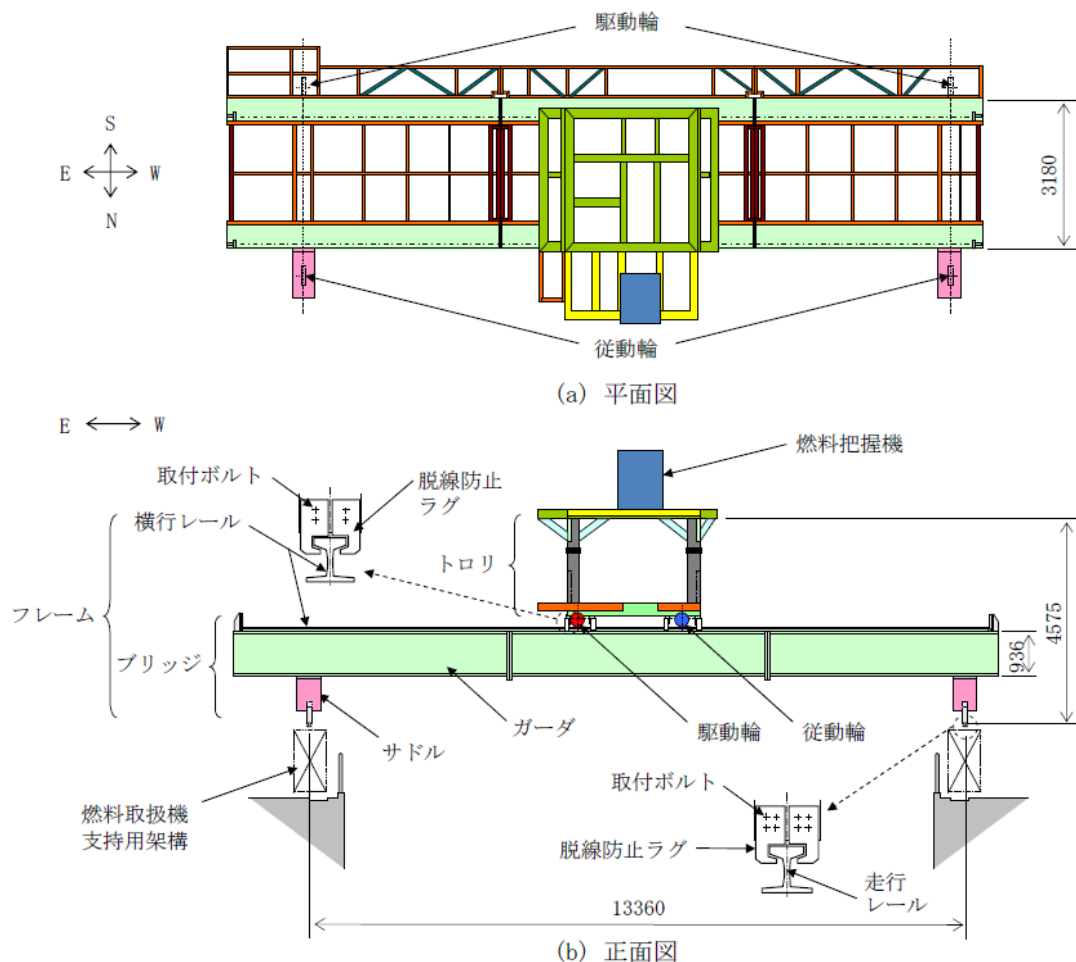


図 2.1.2-1 燃料取扱機の概要

### 2.1.3 クレーン

クレーンは、クレーン支持用架構（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」参照）に設置されるもので、南北方向に２本のガーダが配置され、南北方向に走行する。このガーダ上にトロリが設置され、東西方向に走行する。クレーンは、ガーダ、サドル、トロリで構成される。クレーンの概要を図 2.1.3-1 に示す。

クレーンは、各々走行レール及び横行レール上に乗っているので地震時、走行方向及び横行方向に対しては、最大静止摩擦係数以上の水平力が加わった場合すべりを生じる。

ガーダの車輪は 8 個であり、そのうち 2 個は摩擦を受ける駆動輪であり、他の 6 個は従動輪である。ゆえに、最大静止摩擦係数を  $\mu = 0.3$  とすれば、水平力は鉛直方向荷重  $\times \mu \times 2/8 =$  鉛直方向荷重  $\times 0.075$  である。

トロリの車輪は 4 個であり、そのうち 2 個は摩擦を受ける駆動輪であり、他の 2 個は従動輪である。ゆえに、最大静止摩擦係数を  $\mu = 0.3$  とすれば、水平力は鉛直方向荷重  $\times \mu \times 2/4 =$  鉛直方向荷重  $\times 0.15$  である。

ガーダ及びトロリは、走行方向に直角な方向に対しては、脱線防止ラグ、トロリストッパによって荷重を支持する。

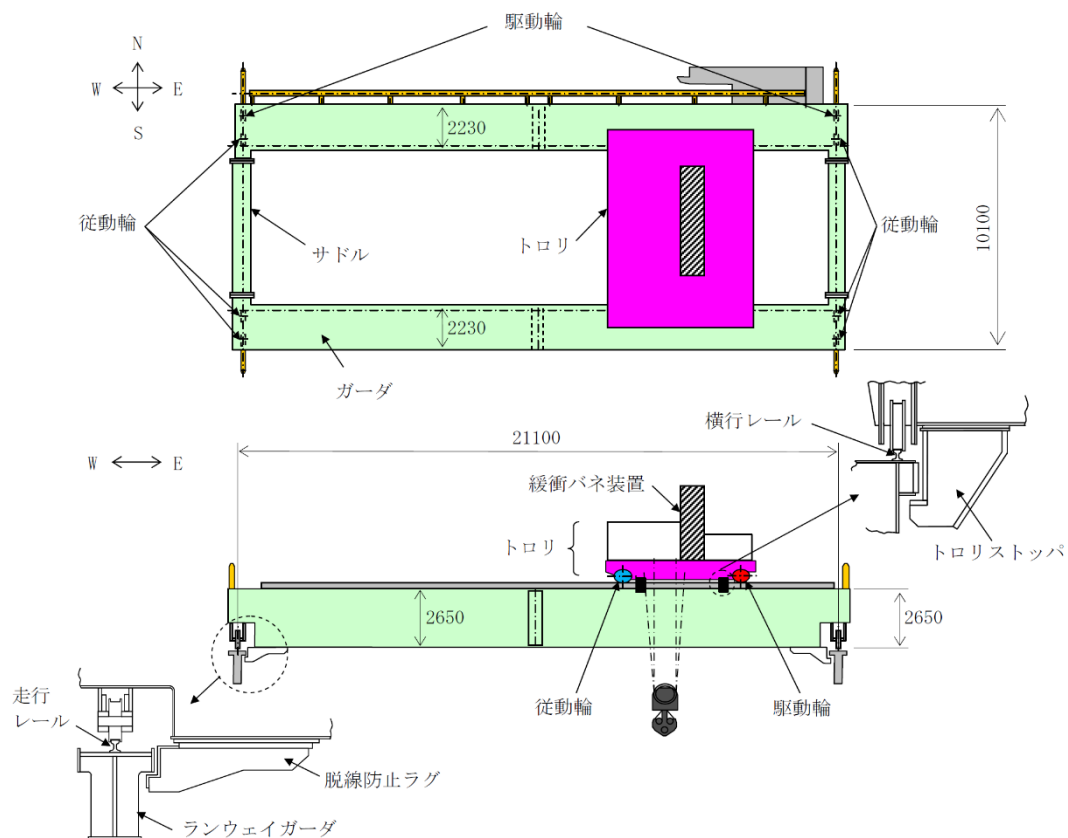


図 2.1.3-1 クレーンの概要

## 2.2 燃料取扱機の構造強度及び耐震性について

### (1) 検討方針

燃料取扱機について、地震応答解析を実施し、応力評価を行う。

#### 1) 使用材料及び許容応力

燃料取扱機の物性値及び許容応力を表 2.2-1 に示す。温度は運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。落下防止の観点から、曲げと組合せは設計引張強さ  $S_u$  を許容応力とする。せん断応力は、JEAG 4601・補-1984 に従い引張応力から換算して、設計引張強さ  $S_u$  を  $1/\sqrt{3}$  倍して用いる。

表 2.2-1 物性値及び許容応力

材料定数

部位	使用材料	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	温度 (℃)
燃料取扱機構造物 フレーム	SS400 STKR400	201,000	0.3	50

許容応力

部位		使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
燃料取扱機構造物 フレーム		SS400 STKR400	曲げ	394
			せん断	227
			組合せ	394
ブリッジ	脱線防止ラグ	SS400	曲げ	394
			せん断	227
			組合せ	394
	取付ボルト	SCM435	せん断	523
トロリ	脱線防止ラグ	SS400	曲げ	394
			せん断	227
			組合せ	394
	取付ボルト	SCM435	せん断	523
走行レール		レール鋼 (CR 73K-DHH)	曲げ	1080
			せん断	623
			組合せ	1080
横行レール		レール鋼 (1 類 AR 30A)	曲げ	690
			せん断	398
			組合せ	690

## 2) 荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重は死荷重及び地震荷重である。

死荷重は吊り荷を含む燃料取扱機自身の質量による荷重である。

地震荷重は基準地震動  $S_s$  による荷重であり，水平 2 方向それぞれの地震荷重に鉛直方向地震荷重を加算する。具体的には次の通りである。

- ・死荷重＋水平地震（NS 方向）＋鉛直地震
- ・死荷重＋水平地震（EW 方向）＋鉛直地震

ブリッジ質量	42,000 (kg)
トロリ質量※	17,000 (kg)

※吊り荷質量（450 (kg) 含む）

## (2) 燃料取扱機の地震応答解析

解析は、地震応答解析モデルにより計算機コード「SAP-IV」を用いたモーダル解析による応答スペクトル法により行う。

### 1) 解析に用いる入力地震動

燃料取扱機への入力地震動は、基準地震動  $S_s$  を入力したときの燃料取扱機支持用架構位置 G. L. +30.77m（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」参照）の床応答スペクトルを用いる。床応答スペクトルを図 2.2-1 に示す。

この床応答スペクトルは、燃料取扱機の走行範囲で想定される床応答スペクトルを包絡したものである。

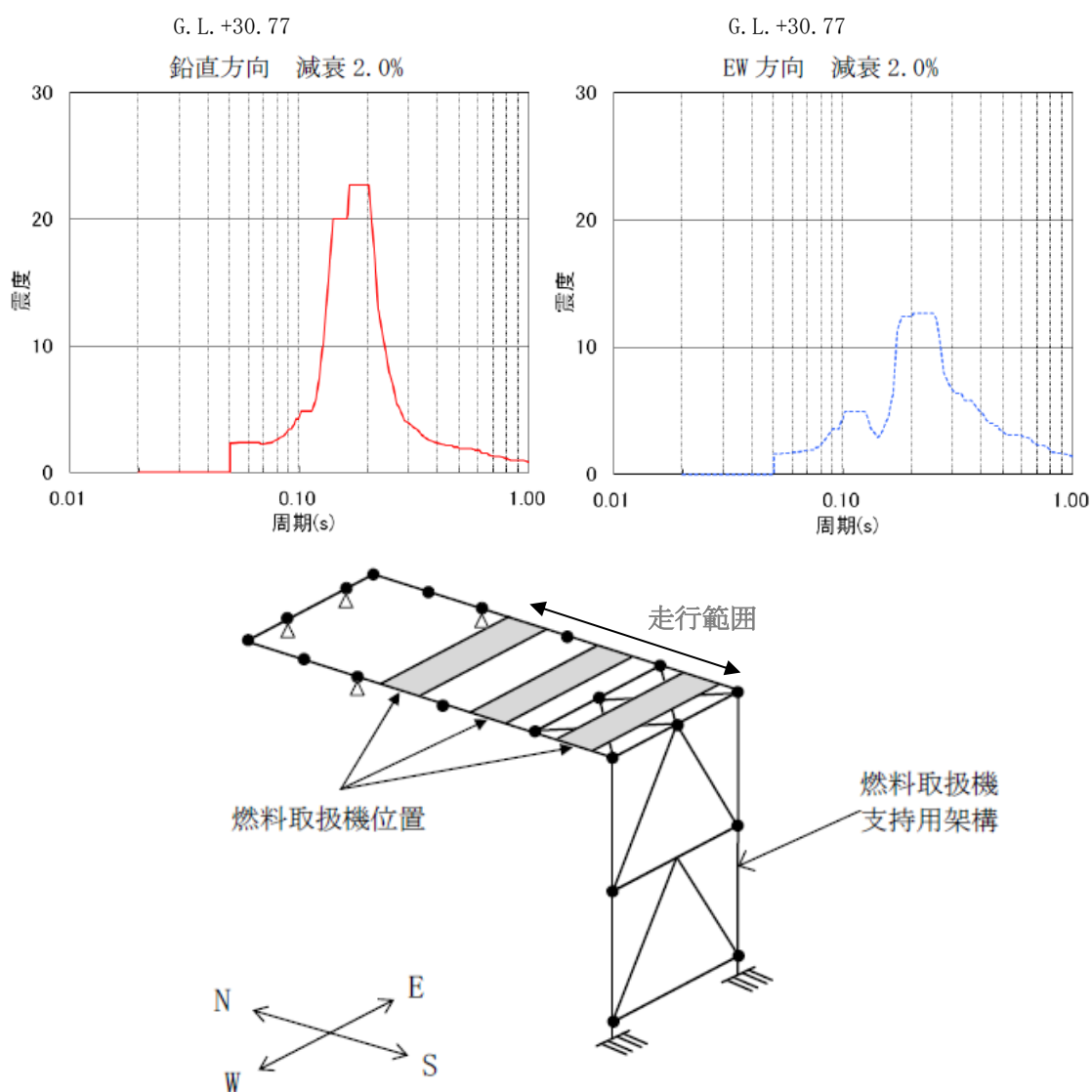


図 2.2-1 床応答スペクトル



## 2) 地震応答解析モデル

燃料取扱機の地震応答解析モデルを図 2.2-2 に示す。

解析モデルはビームでモデル化しており，ブリッジ脱線防止ラグ下端が架構側との取り付け点であり，脱線防止ラグにより浮上りを押さえる構造としているため，そこを拘束点とする。

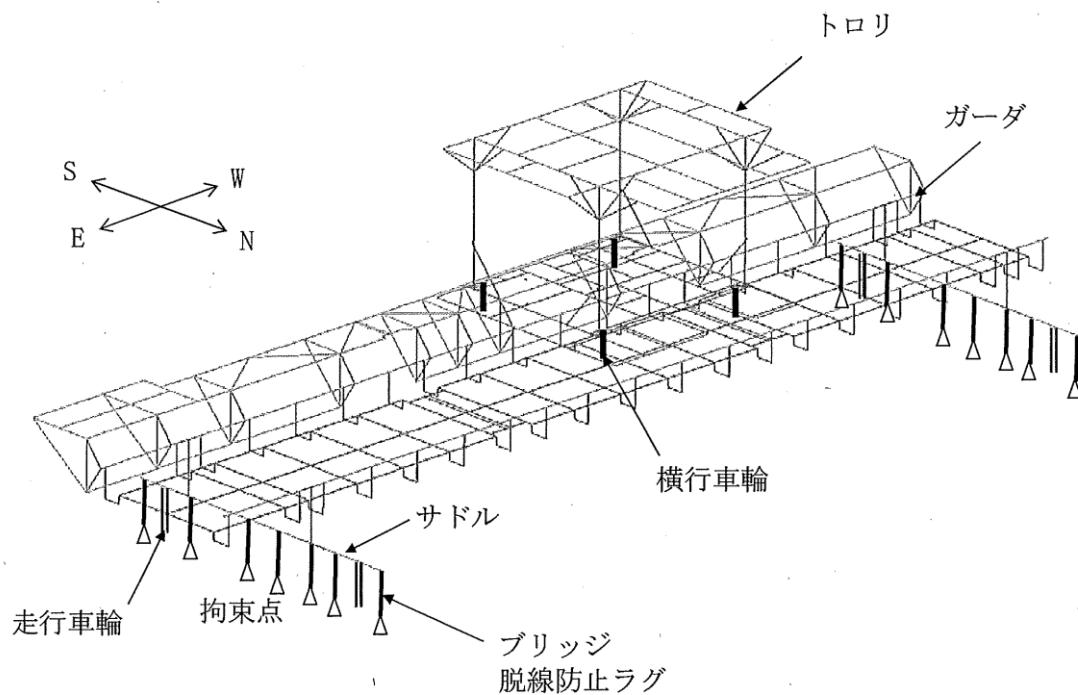


図 2.2-2 地震応答解析モデル

3) 設計震度

- 死荷重は鉛直下向きに 1G とする。
- 地震荷重は，図 2.2-1 に示す床応答スペクトルを入力する。ただし，レールと車輪の走行方向のすべりを考慮し，ブリッジの NS 方向及びトロリの NS, EW 方向については，2.1.2 項で述べた最大静止摩擦係数より求めた値を水平方向設計震度とする。

			固有周期 (s)	設計震度
水平方向	ブリッジ	NS 方向	－	0.15※
		EW 方向	0.034	1.76
	トロリ	NS 方向	－	0.15※
		EW 方向	－	0.15※
鉛直方向			0.065	2.34

注記※：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

#### 4) 地震応答解析結果

燃料取扱機の地震応答解析結果を図 2.2-3 に示す。

これは死荷重, 水平地震及び鉛直地震の荷重を加算して, 各部材毎に応力を求めて表示したものである。

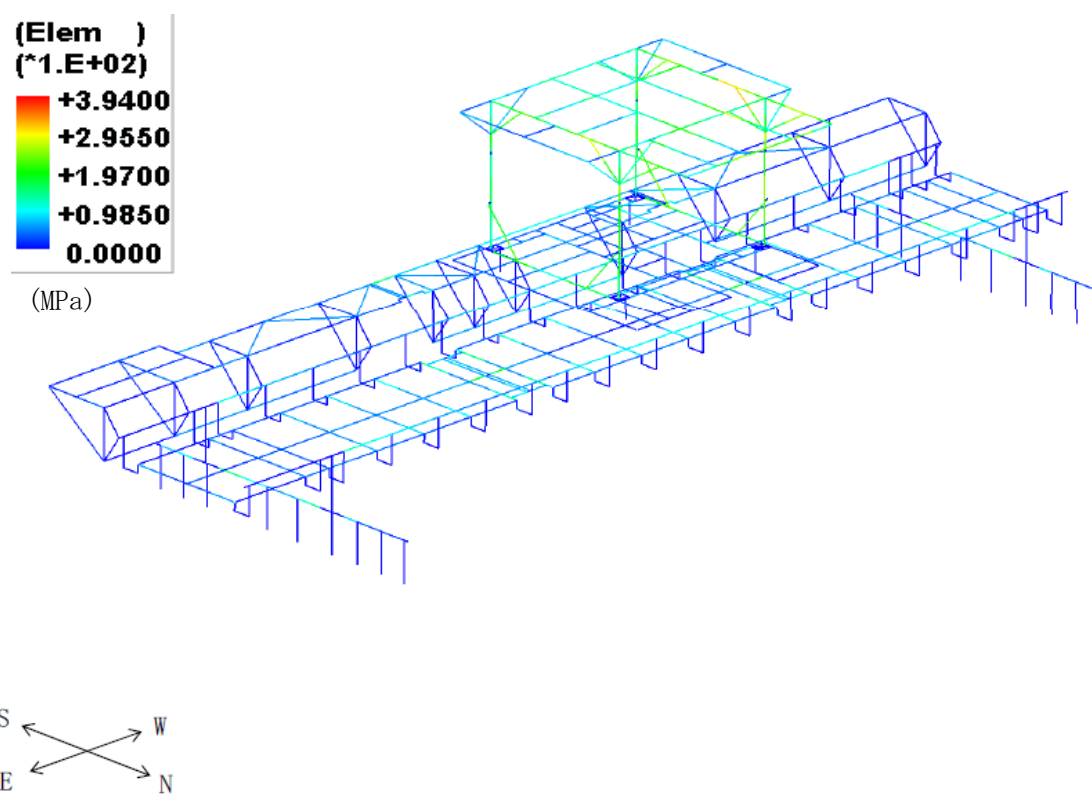


図 2.2-3 地震応答解析結果

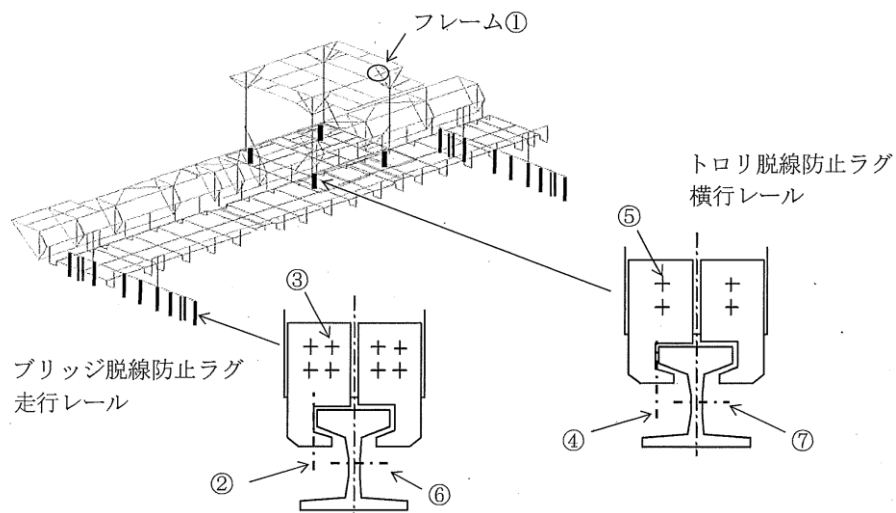
(3) 燃料取扱機の構造強度評価結果

燃料取扱機の応力評価結果を表 2.2-2 に示す。算出応力は許容応力以下であるので、燃料取扱機は基準地震動  $S_s$  に対して落下に至らないことを確認した。

表 2.2-2 応力評価結果纏め

(単位：MPa)

部位		使用材料	応力の種類	算出応力	許容応力
燃料取扱機構造物 フレーム①		SS400 STKR400	曲げ	316	394
			せん断	13	227
			組合せ	316	394
ブリッジ	脱線防止 ラグ②	SS400	曲げ	125	394
			せん断	38	227
			組合せ	140	394
	取付ボルト③	SCM435	せん断	66	523
トロリ	脱線防止 ラグ④	SS400	曲げ	90	394
			せん断	35	227
			組合せ	107	394
	取付ボルト⑤	SCM435	せん断	139	523
走行レール⑥		レール鋼 (CR 73K-DHH)	曲げ	531	1080
			せん断	42	623
			組合せ	535	1080
横行レール⑦		レール鋼 (1 類 AR 30A)	曲げ	568	690
			せん断	24	398
			組合せ	569	690



## 2.3 クレーンの構造強度及び耐震性について

### (1) 検討方針

クレーンについて，地震応答解析を実施し，応力評価を行う。

#### 1) 使用材料及び許容応力

クレーンの物性値及び許容応力を表 2.3-1 に示す。温度は運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。落下防止の観点から，曲げと組合せは設計引張強さ  $S_u$  を許容応力とする。せん断応力は JEAG4601・補-1984 に従い引張応力から換算して，設計引張強さ  $S_u$  を  $1/\sqrt{3}$  倍して用いる。

表 2.3-1 物性値及び許容応力

材料定数

部位	使用材料	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	温度 (℃)
クレーン本体 ガーダ	SM490A	201,000	0.3	50

許容応力

部位		使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
クレーン本体 ガーダ	中央	SM490A	曲げ	480
	端部	SM490A	せん断	277
脱線防止ラグ		SS400	曲げ	394
			せん断	227
			組合せ	394
トロリストッパ		SS400	曲げ	394
			せん断	227
			組合せ	394

2) 荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重は死荷重及び地震荷重である。

死荷重は吊り荷を含むクレーン自身の質量による荷重である。

地震荷重は弾性設計用地震動  $S_d$  による荷重であり，水平 2 方向の地震荷重に鉛直方向地震荷重を加算する。具体的には次の通りである。

・死荷重＋水平地震（NS，EW 方向）＋鉛直地震

クレーン本体ガーダ質量	170,000 (kg)
トロリ質量	103,000 (kg)
吊り荷質量	100,000 (kg)

## (2) クレーンの地震応答解析

解析は、地震応答解析モデルにより計算機コード「ABAQUS」を用いた直接積分法による時刻歴解析により行う

### 1) 解析に用いる入力地震動

クレーンの入力地震動は、弾性設計用地震動 Sd を入力した時のクレーン支持用架構の地震応答計算から得られる G.L.+40.22m (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」参照) の時刻歴加速度波を用いる。時刻歴加速度波形を図 2.3-1 に示す。なお、死荷重は鉛直下向きに 1G とする。

この時刻歴加速度波はクレーンの走行範囲で想定される時刻歴加速度波のうち、クレーンに対し最も影響を与えるものである。

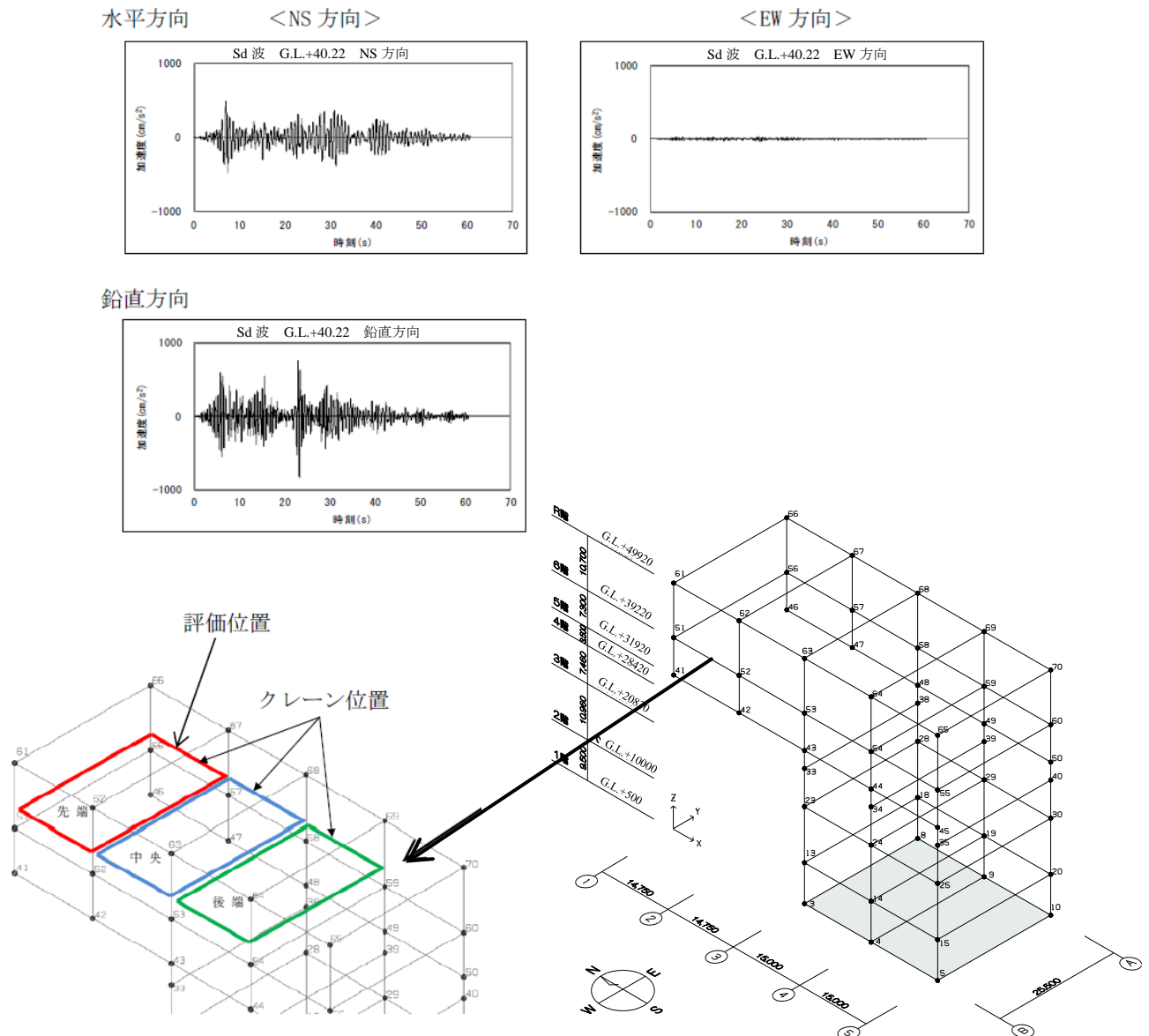


図 2.3-1 時刻歴加速度波形

## 2) 地震応答解析モデル

クレーンの地震応答解析モデルを図 2.3-2 に示す。

解析モデルは、ビーム及び非線形要素でモデル化しており、走行車輪部下端がクレーン支持用架構側との取り付け点であるため、それを拘束点とする。

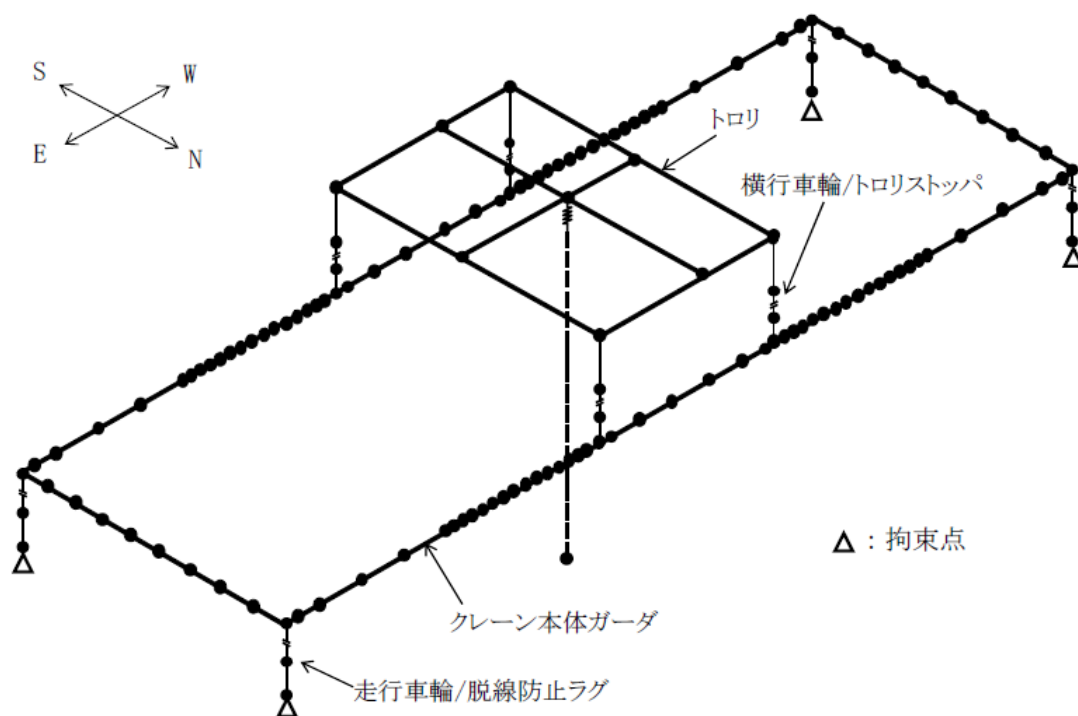


図 2.3-2 地震応答解析モデル



3) 設計地震

脱線防止ラグ及びトロリストッパの評価において、設計震度は以下とする。

	固有周期 (s)	設計震度
走行方向 (NS 方向)	—	0.075※
横行方向 (EW 方向)	0.020	0.89

注記※：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

#### 4) 地震動の入力方法の考え方

クレーンに入力される時刻歴波は、クレーン周囲のクレーン支持用架構の節部分からランウェイガーダ／走行レールを経由してクレーン車輪部に入力されることとなるが、クレーンの位置により時刻歴波が異なることから、クレーン重心位置に応じて平均化した時刻歴波を入力地震動とする。

5) 地震応答解析結果

クレーンの地震応答解析結果を表 2.3-2 に示す。

地震応答解析結果は時刻歴応答結果の最大値を用いる。

表 2.3-2 クレーンの地震応答解析結果

部位		荷重の種類	荷重の方向	荷重値
クレーン本体 ガーダ	中央	曲げモーメント (N・mm)	鉛直	1.707×10 <sup>10</sup>
			水平	8.429×10 <sup>8</sup>
	端部	せん断力(N)	鉛直	2.372×10 <sup>6</sup>
脱線防止ラグ		圧縮力(N)	鉛直	2.779×10 <sup>5</sup>
トロリストッパ			鉛直	1.877×10 <sup>5</sup>

注：絶対値にて表示している。

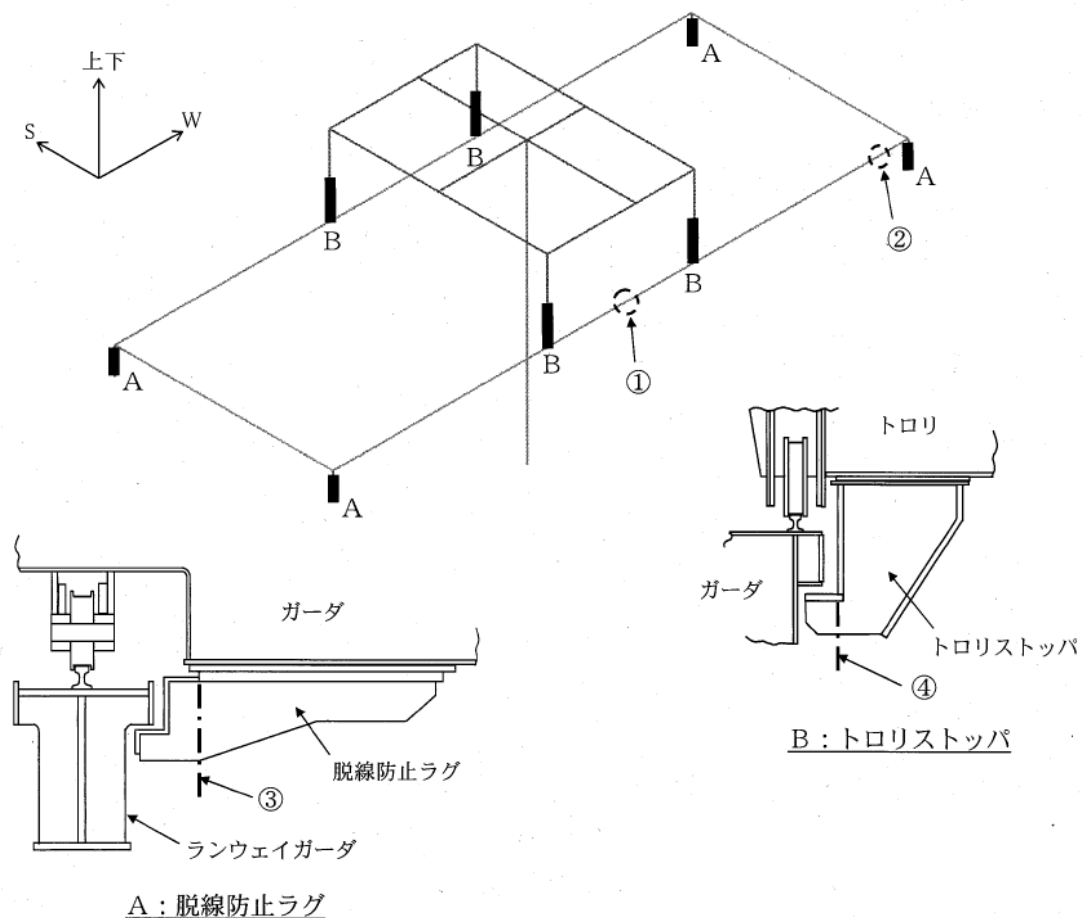
### (3) クレーンの構造強度評価結果

クレーンの構造強度評価結果を表 2.3-3 に示す。算出応力は許容応力以下であるので、クレーンは弾性設計用地震動 Sd に対して落下に至らないことを確認した。

表 2.3-3 応力評価結果纏め

(単位：MPa)

部位		使用材料	応力の種類	算出応力	許容応力
クレーン本体 ガーダ	中央①	SM490A	曲げ	140	480
	端部②	SM490A	せん断	60	277
脱線防止ラグ③		SS400	曲げ	87	394
			せん断	12	227
			組合せ	89	394
トロリストッパ④		SS400	曲げ	30	394
			せん断	9	227
			組合せ	34	394



### 3 3号機燃料取扱設備の構造強度及び耐震性について

#### 3.1 概要

##### 3.1.1 一般事項

3号機燃料取扱設備は、燃料取扱機とクレーンを有し、それぞれについて構造強度及び耐震性について検討を行う。燃料取扱設備は使用済燃料プールを覆う燃料取り出し用カバーに設置される。燃料取扱機とクレーンの耐震設計上の重要度分類は、Bクラス相当とする。

燃料取扱機の構造強度及び耐震性は、検討に用いる地震動として基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析を実施し、燃料取扱機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。ここで、波及的影響の確認は燃料取扱機が転倒・落下に至らないことを確認する。

クレーンの構造強度及び耐震性は、検討に用いる地震動として弾性設計用地震動  $S_d$  に対する地震応答解析を実施し、クレーン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。ここで、波及的影響の確認は、クレーンが転倒・落下に至らないことを確認する。

弾性設計用地震動  $S_d$  は、基準地震動  $S_s$  の  $1/2$  として評価する。

なお、キャスクの縦揺れについては、キャスクの荷重に対して、クレーンのワイヤが切断しない(キャスクが落下しない)ことを確認している。また、キャスクの横揺れについては、クレーンの水平方向固有周期と比較し、ワイヤロープで吊り下げられたキャスクの固有周期は十分に長いことから、クレーン自体の振動には影響されないことを確認している。

燃料取扱設備の検討は、下記に準拠して行う。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG 4601・補-1984)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC 4601-2008)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2007 年追補版) (JSME S NC1-2007)

### 3.1.2 燃料取扱機

燃料取扱機は、門型架構（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」参照）に設置されるもので、南北方向を長手方向としてブリッジが配置され、東西方向に走行する。このブリッジ上にトロリが設置され、南北方向に走行する。燃料取扱機フレームは、ブリッジ、テンシルトラストロリで構成される。燃料取扱機の概要を図 3.1.2-1 に示す。

ブリッジは、走行レール上に乗っているので地震時、走行方向に対しては、最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合すべりを生じる。

テンシルトラストロリは、横行レール上に乗っているので地震時、横行方向に対しては、最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合すべりを生じる。

ブリッジ及びトロリの車輪は各々４個であり、そのうち摩擦を受ける駆動輪は、ブリッジは２個、トロリは４個であり、駆動輪で水平力を受ける。

ゆえに、最大静止摩擦係数を $\mu=0.3$  とすれば、ブリッジ水平力は鉛直方向荷重 $\times \mu \times 2/4 =$ 鉛直方向荷重 $\times 0.15$  であるが、保守的に鉛直方向荷重 $\times 0.3$  とする。

ブリッジは、走行方向に水平直角な方向に対して、ガイドフレームによって荷重を支持され、鉛直上向き方向に対して、脱線防止ラグによって支持される。

トロリは、走行方向に水平直角及び鉛直上向きな方向に対しては、脱線防止ラグによって荷重を支持する。

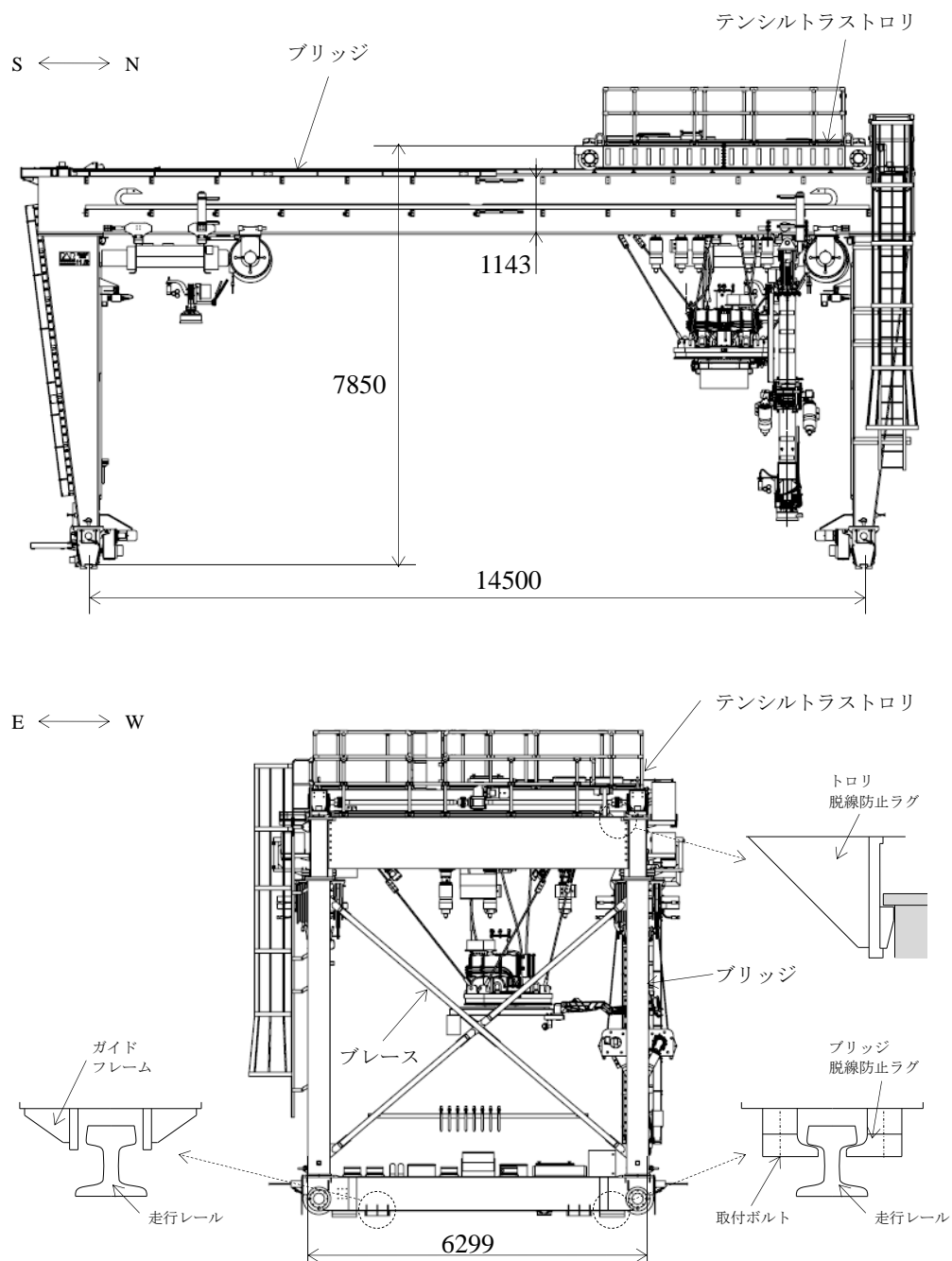


図 3. 1. 2-1 燃料取扱機の概要

### 3.1.3 クレーン

クレーンは、門型架構（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」参照）に設置されるもので、南北方向を長手方向としてブリッジが配置され、東西方向に走行する。このブリッジ上にトロリが設置され、南北方向に走行する。クレーンは、ブリッジ、トロリで構成される。クレーンの概要を図 3.1.3-1 に示す。

ブリッジは、走行レール上に乗っているので地震時、走行方向に対しては、最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合すべりを生じる。

トロリは、横行レール上に乗っているので地震時、横行方向に対しては、最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合すべりを生じる。

ブリッジ及びトロリの車輪は各々４個であり、そのうち摩擦を受ける駆動輪は、ブリッジ、トロリ共に各々２個であり、駆動輪で水平力を受ける。

ゆえに、最大静止摩擦係数を $\mu=0.3$  とすれば、水平力は鉛直方向荷重 $\times \mu \times 2/4 =$ 鉛直方向荷重 $\times 0.15$  であるが、保守的に鉛直方向荷重 $\times 0.3$  とする。

ブリッジは、走行方向に水平直角な方向に対して、ガイドフレームによって荷重を支持され、鉛直上向き方向に対して、脱線防止ラグによって支持される。

トロリは、走行方向に水平直角及び鉛直上向きな方向に対しては、脱線防止ラグによって荷重を支持する。



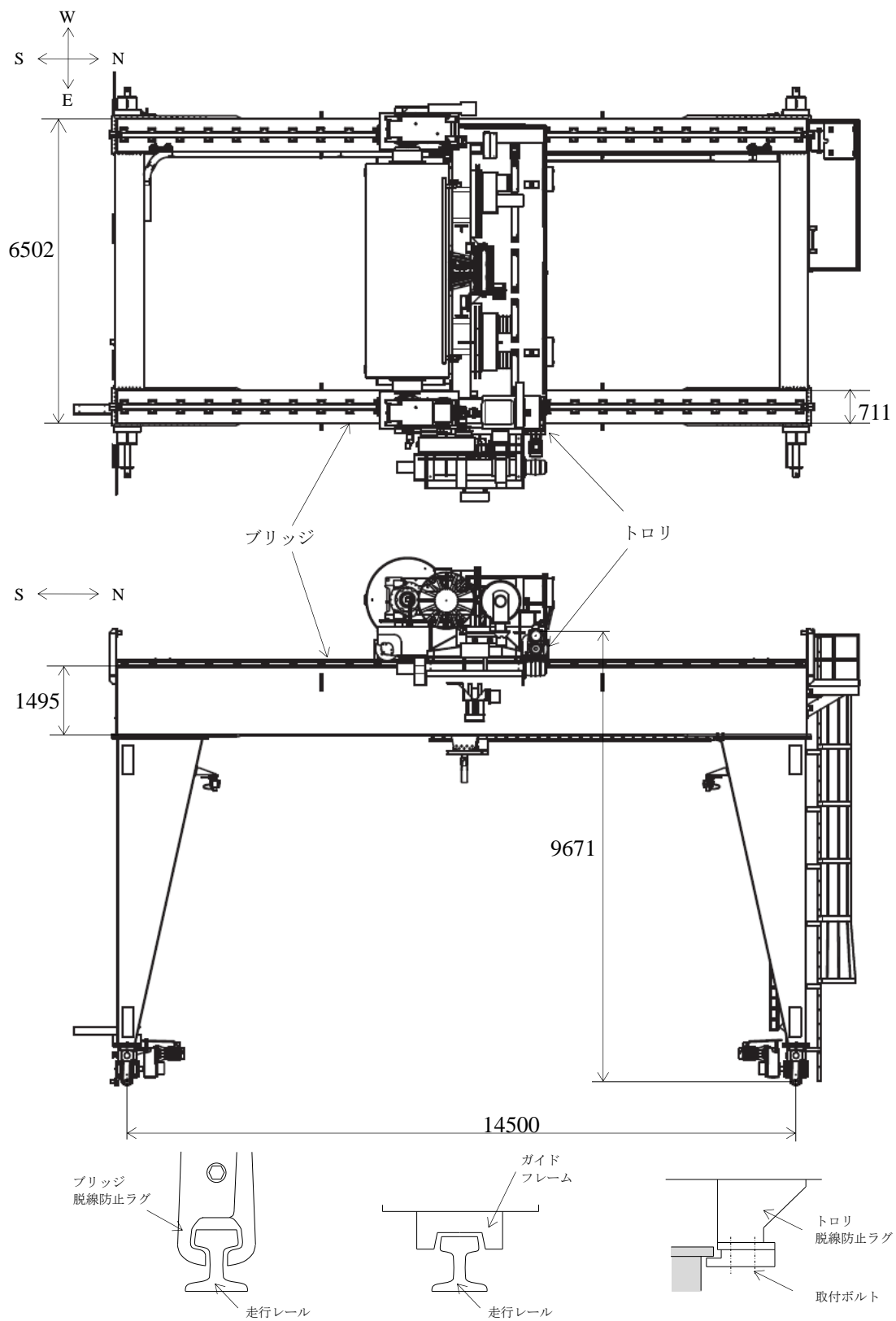


図 3.1.3-1 クレーンの概要

### 3.2 燃料取扱機の構造強度及び耐震性について

#### (1) 検討方針

燃料取扱機について、地震応答解析を実施し、応力評価を行う。

##### 1) 使用材料及び許容応力

燃料取扱機の物性値及び許容応力を表 3.2-1 に示す。温度は運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。曲げ、組合せ、せん断の許容応力は、JEAC 4601-2008 に従い用いる。

表 3.2-1 物性値及び許容応力

## 材料定数

部位	使用材料	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	温度 (℃)
燃料取扱機構造物 フレーム	ASTM A572 GR50	201,000	0.3	50
	ASTM A500 GR B	201,000	0.3	50

## 許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
燃料取扱機構造物 フレーム	ASTM A572 GR50	曲げ	315
		せん断	181
		組合せ	315
	ASTM A500 GR B	曲げ	280
		せん断	161
		組合せ	280
ブリッジ 脱線防止ラグ	ASTM A514 GR H	曲げ	483
		せん断	278
		組合せ	483
ブリッジ脱線防止ラグ 取付ボルト	ISO898-1 8.8	引張	420
ガイドフレーム	ASTM A572 GR50	曲げ	315
		せん断	181
		組合せ	315
トロリ 脱線防止ラグ	ASTM A572 GR50	曲げ	315
		せん断	181
		引張	315
		組合せ	315
走行レール	レール鋼 (ASTM A759)	曲げ	537
		せん断	310
		組合せ	537

## 2) 荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重は死荷重及び地震荷重である。

死荷重は吊り荷を含む燃料取扱機自身の質量による荷重である。

地震荷重は基準地震動  $S_s$  による荷重であり，水平 2 方向それぞれの地震荷重に鉛直方向地震荷重を二乗和平方根（SRSS）法で組み合わせる。具体的には次の通りである。

$$\bullet \quad ((\text{水平地震(NS 方向)})^2 + (\text{水平地震(EW 方向)})^2 + (\text{鉛直地震})^2)^{1/2}$$

ブリッジ質量	43,000 (kg)
テンシルトラストロリ質量※1	26,300 (kg)
マストトロリ質量	3,500 (kg)
西側補助ホイストトロリ質量※2	6,650 (kg)
東側補助ホイストトロリ質量※2	6,650 (kg)

※1：吊り荷質量（1,500 (kg)）含む

※2：吊り荷質量（4,900 (kg)）含む。但し，評価は 5,000kg で行った。

## (2) 燃料取扱機の地震応答解析

解析は、地震応答解析モデルにより計算機コード「NX Nastran」を用いた直接積分法による時刻歴解析により行う。

### 1) 解析に用いる入力地震動

燃料取扱機の入力地震動は、基準地震動  $S_s$  を入力した時の門型架構地震応答計算から得られる G.L.+36m（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」参照）の時刻歴加速度波を用いる。時刻歴加速度波は燃料取扱機、クレーンの門型架構上の位置（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」図 3.2-1 参照）によって異なるため、時刻歴加速度波の各床応答スペクトルの内、燃料取扱機の固有周期で最も大きな値をとる床応答スペクトルの時刻歴加速度波を用いる。

門型架構上での燃料取扱機の位置を表 3.2-2, 時刻歴加速度波形を図 3.2-1, 図 3.2-2 に示す。なお、死荷重は鉛直下向きに 1G とする。

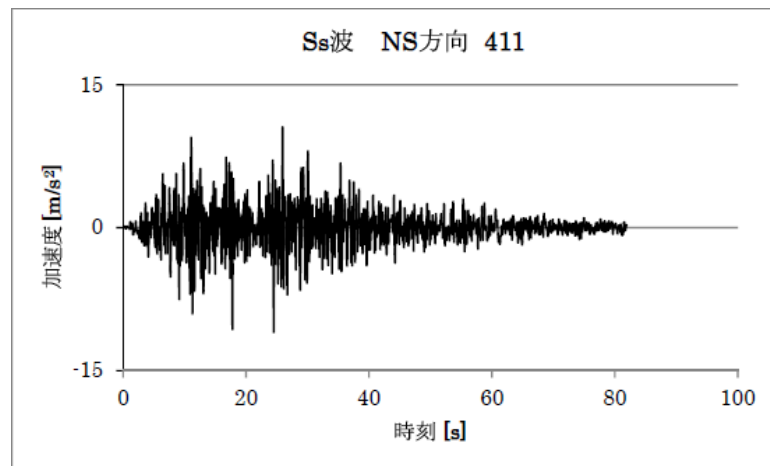
この時刻歴加速度波は燃料取扱機の走行範囲で想定される時刻歴加速度波のうち、燃料取扱機に対し最も影響を与えるものである。

表 3.2-2 門型架構上での燃料取扱機の位置  
トロリがブリッジの中央にある場合の解析ケース

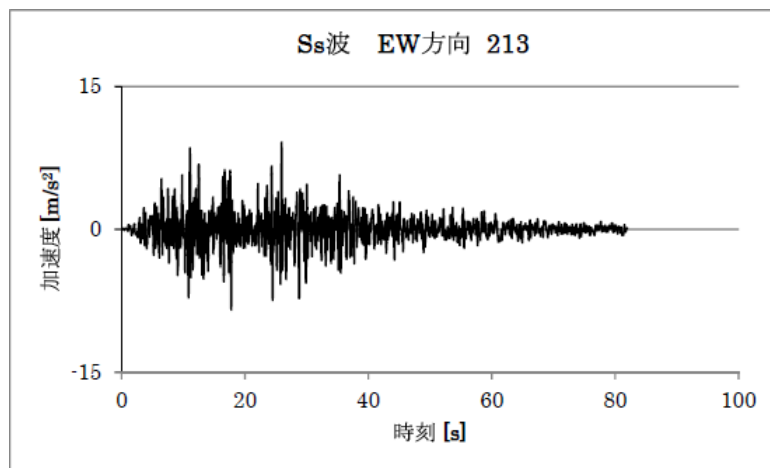
時刻歴加速度波	門型架構上での 燃料取扱機の位置
N S 方向	中央
E W 方向	東端
U D 方向	東端

トロリがブリッジの端部にある場合の解析ケース

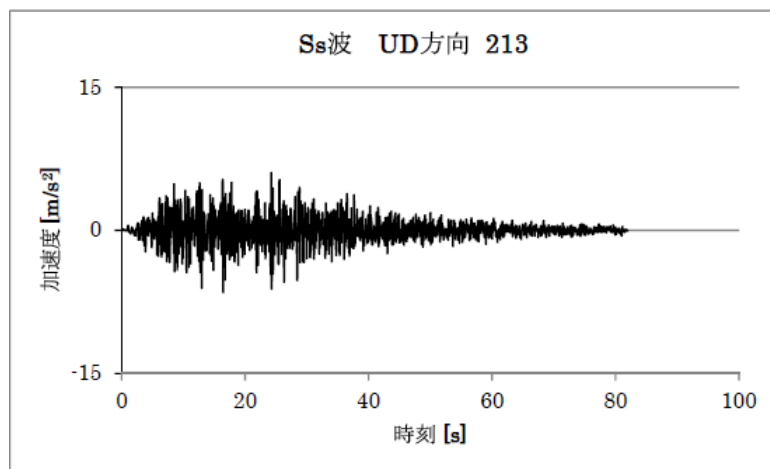
時刻歴加速度波	門型架構上での 燃料取扱機の位置
N S 方向	中央
E W 方向	中央
U D 方向	中央



水平方向<NS 方向>

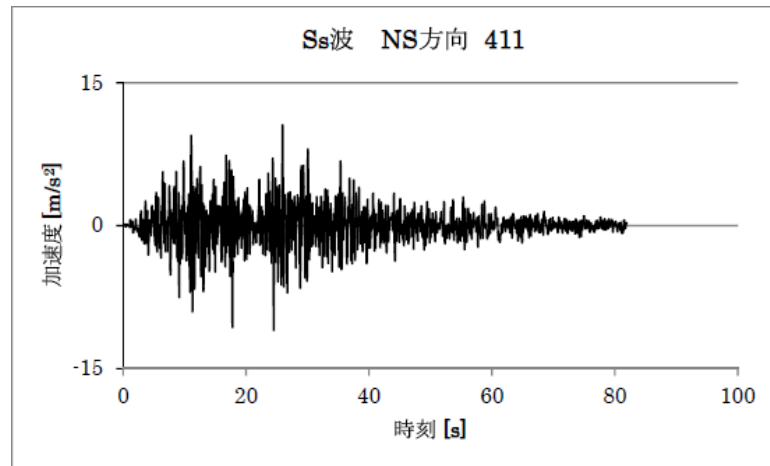


水平方向<EW 方向>

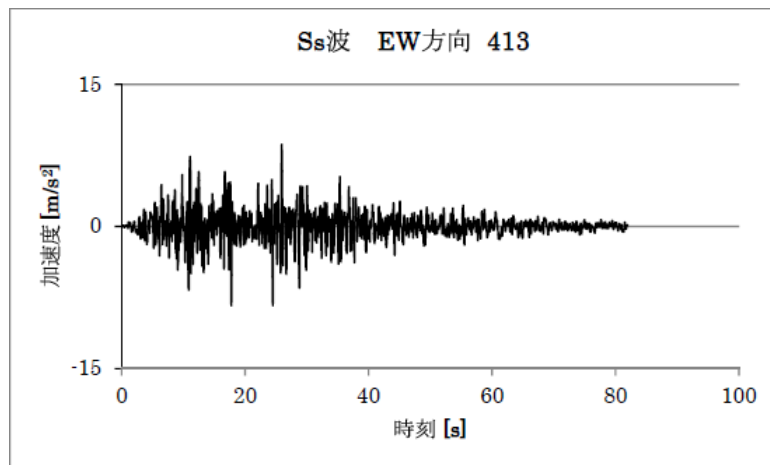


鉛直方向

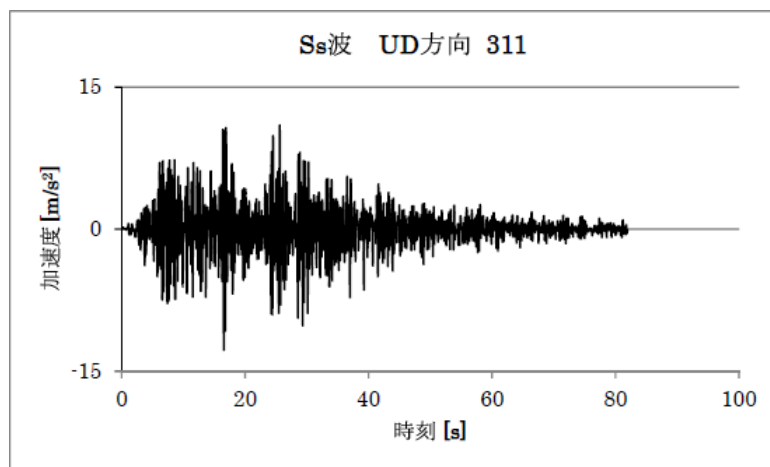
図 3.2-1 トロリがブリッジの中央にある場合の時刻歴加速度波形



水平方向<NS 方向>



水平方向<EW 方向>



鉛直方向

図 3.2-2 トロリがブリッジの端部にある場合の時刻歴加速度波形

## 2) 地震応答解析モデル

燃料取扱機の地震応答解析モデルを図 3.2-3 に示す。

解析モデルは、ビーム、非線形要素及びシェルでモデル化しており、走行車輪部下端が門型架構側との取り付け点であるため、それを拘束点とする。

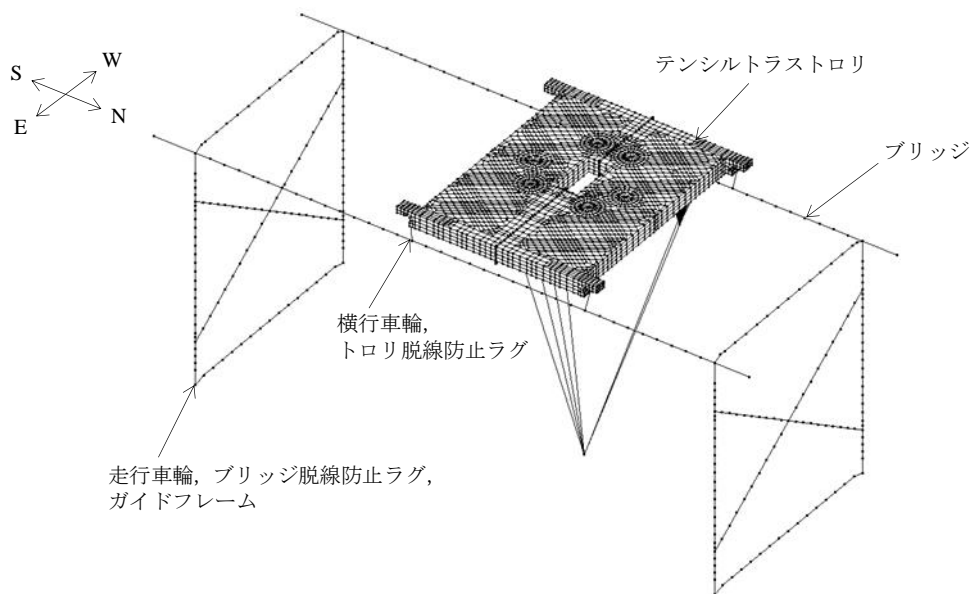


図 3.2-3 地震応答解析モデル



3) 地震応答解析結果

燃料取扱機の地震応答解析結果を表 3. 2-3 に示す。

地震応答解析結果は時刻歴応答結果の最大値を用いる。

表 3. 2-3 燃料取扱機の地震応答解析結果

部位		荷重の種類	荷重の方向	荷重値
燃料取扱機 構造物	脚部	曲げモーメント(N・mm)	水平	2.064×10 <sup>9</sup>
	ブリッジ ガーダ	せん断力(N)	水平	7.301×10 <sup>4</sup>
			鉛直	5.478×10 <sup>5</sup>
ブリッジ脱線防止ラグ		圧縮力(N)	鉛直	1.669×10 <sup>5</sup>
ガイドフレーム		圧縮力(N)	水平	3.394×10 <sup>5</sup>
トロリ脱線防止ラグ		圧縮力(N)	水平	1.110×10 <sup>5</sup>
		圧縮力(N)	鉛直	1.317×10 <sup>5</sup>
走行レール		圧縮力(N)	水平	3.394×10 <sup>5</sup>

注：絶対値にて表示している。

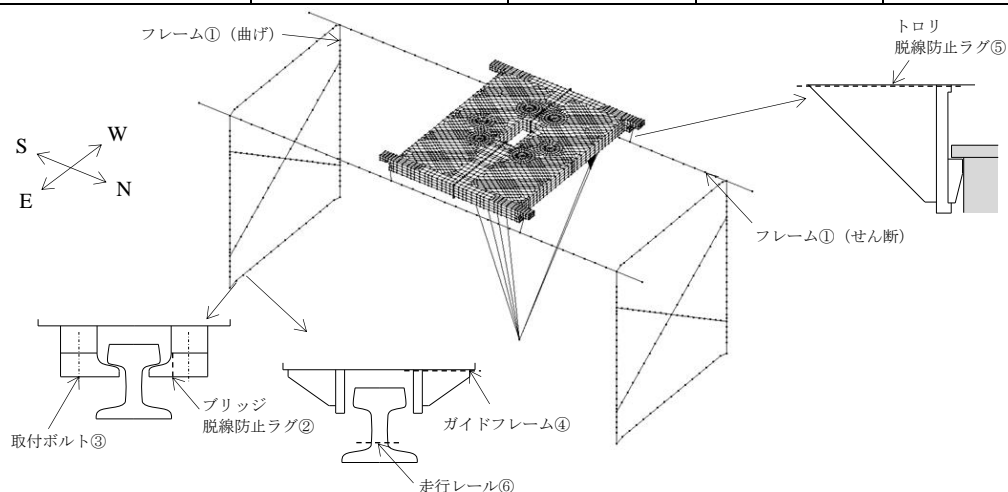
(3) 燃料取扱機の構造強度評価結果

燃料取扱機の応力評価結果を表 3. 2-4 に示す。算出応力は許容応力以下であるので、燃料取扱機は基準地震動  $S_s$  に対して転倒・落下に至らないことを確認した。

表 3. 2-4 応力評価結果纏め

(単位：MPa)

部位	使用材料	応力の種類	算出応力	許容応力
燃料取扱機構造物 フレーム①	ASTM A572 GR50	曲げ	140	315
		せん断	41	181
		組合せ	153	315
ブリッジ 脱線防止ラグ②	ASTM A514 GR H	曲げ	41	483
		せん断	8	278
		組合せ	44	483
ブリッジ脱線防止ラグ 取付ボルト③	ISO898-1 8. 8	引張	222	420
ガイドフレーム④	ASTM A572 GR50	曲げ	170	315
		せん断	27	181
		組合せ	177	315
引張トロリ 脱線防止ラグ⑤	ASTM A572 GR50	曲げ	16	315
		せん断	5	181
		引張	6	315
		組合せ	24	315
走行レール⑥	レール鋼 (ASTM A759)	曲げ	305	537
		せん断	14	310
		組合せ	306	537



### 3.3 クレーンの構造強度及び耐震性について

#### (1) 検討方針

クレーンについて，地震応答解析を実施し，応力評価を行う。

#### 1) 使用材料及び許容応力

クレーンの物性値及び許容応力を表 3.3-1 に示す。温度は運転エリアの最高温度（40℃）に余裕を見込んだ 50℃とする。曲げ，組合せ，せん断の許容応力は，JEAC 4601-2008 に従い用いる。

表 3.3-1 物性値及び許容応力

材料定数

部位	使用材料	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比	温度 (℃)
クレーン構造物 フレーム	ASTM A572 GR50	201,000	0.3	50
	ASTM A500 GR C	201,000	0.3	50

許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
クレーン構造物 フレーム	ASTM A572 GR50	曲げ	315
		せん断	181
		組合せ	315
	ASTM A500 GR C	曲げ	297
		せん断	171
		組合せ	297
ガイドフレーム	ASTM A572 GR50	曲げ	315
		せん断	181
		組合せ	315
トロリ 脱線防止ラグ	ASTM A572 GR50	曲げ	315
		せん断	181
		引張	315
		組合せ	315
トロリ脱線防止ラグ 取付ボルト	ASTM A325	引張	433
走行レール	レール鋼 (ASTM A759)	曲げ	537
		せん断	310
		組合せ	537

2) 荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重は死荷重及び地震荷重である。

死荷重は吊り荷を含むクレーン自身の質量による荷重である。

地震荷重は弾性設計用地震動  $S_d$  による荷重であり，水平 2 方向それぞれの地震荷重に鉛直方向地震荷重を二乗和平方根（SRSS）法で組み合わせる。具体的には次の通りである。

$$\bullet \quad ((\text{水平地震 (NS 方向)})^2 + (\text{水平地震 (EW 方向)})^2 + (\text{鉛直地震})^2)^{1/2}$$

ブリッジ質量	54,600 (kg)
トロリ質量※	85,400 (kg)

※吊り荷質量（50,000 (kg)）含む

## (2) クレーンの地震応答解析

解析は、地震応答解析モデルにより計算機コード「NX Nastran」を用いた直接積分法による時刻歴解析により行う。

### 1) 解析に用いる入力地震動

クレーンの入力地震動は、弾性設計用地震動  $S_d$  を入力した時の門型架構地震応答計算から得られる G.L. +36m（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」参照）の時刻歴加速度波を用いる。時刻歴加速度波は燃料取扱機、クレーンの門型架構上の位置（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」図 3. 2-1 参照）によって異なるため、時刻歴加速度波の各床応答スペクトルの内、クレーンの固有周期で最も大きな値をとる床応答スペクトルの時刻歴加速度波を用いる。

門型架構上でのクレーンの位置を表 3. 3-2、時刻歴加速度波形を図 3. 3-1、図 3. 3-2 に示す。なお、死荷重は鉛直下向きに 1G とする。

この時刻歴加速度波はクレーンの走行範囲で想定される時刻歴加速度波のうち、クレーンに対し最も影響を与えるものである。

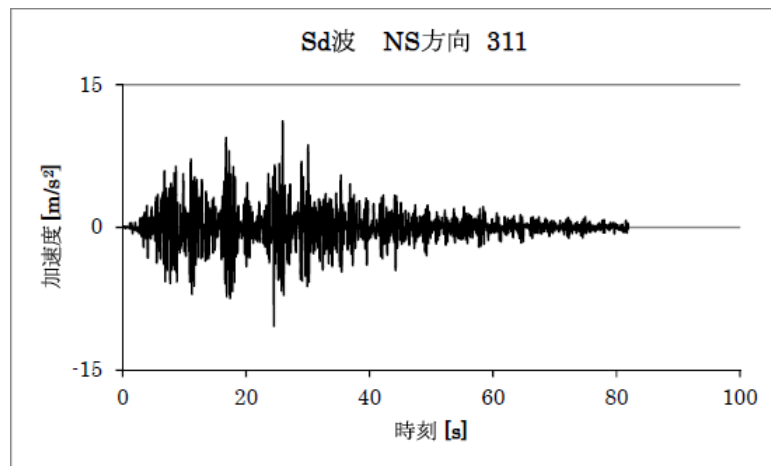
表 3. 3-2 門型架構上でのクレーンの位置  
トロリがブリッジの中央にある場合の解析ケース

時刻歴加速度波	門型架構上での クレーンの位置
N S 方向	西端
E W 方向	西端
U D 方向	西端

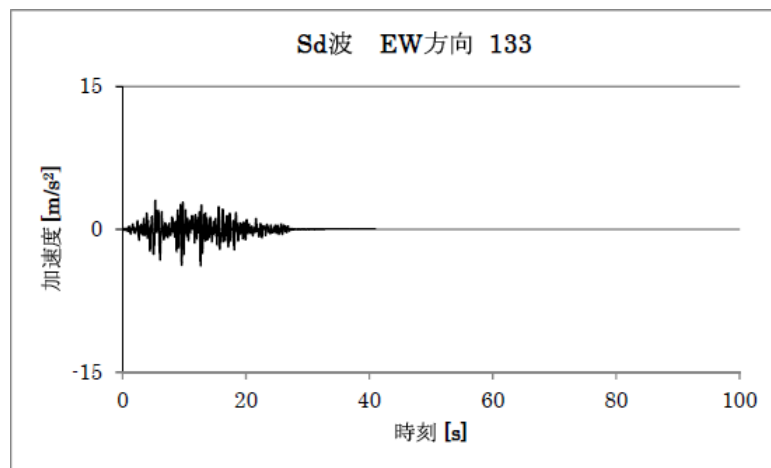
トロリがブリッジの端部※にある場合の解析ケース

時刻歴加速度波	門型架構上での クレーンの位置
N S 方向	西端
E W 方向	西端
U D 方向	西端

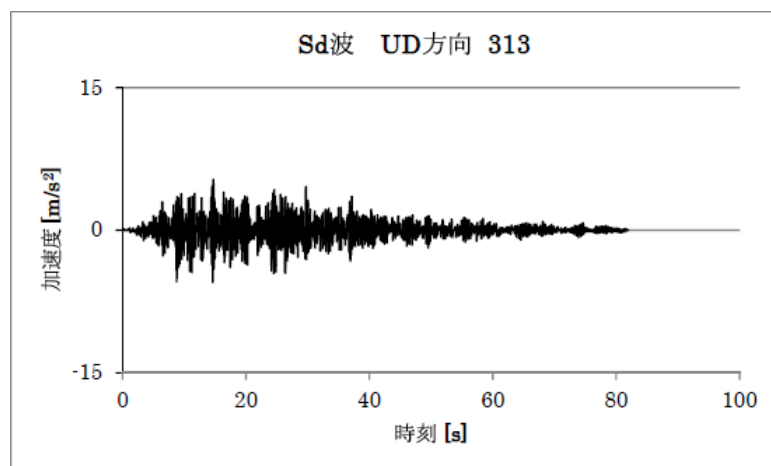
※：構内用輸送容器取扱モードの中でトロリが最も北側に位置する状態



水平方向<NS 方向>

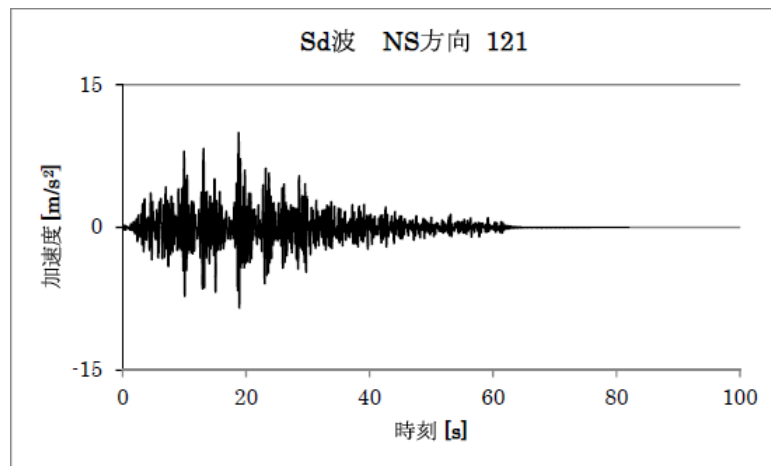


水平方向<EW 方向>

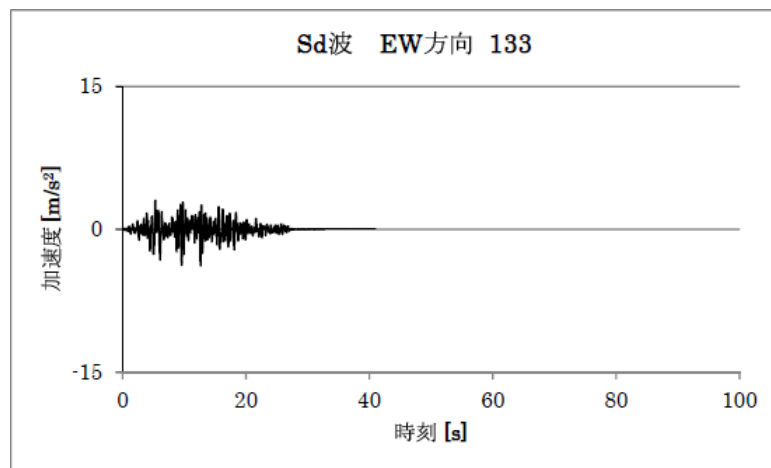


鉛直方向

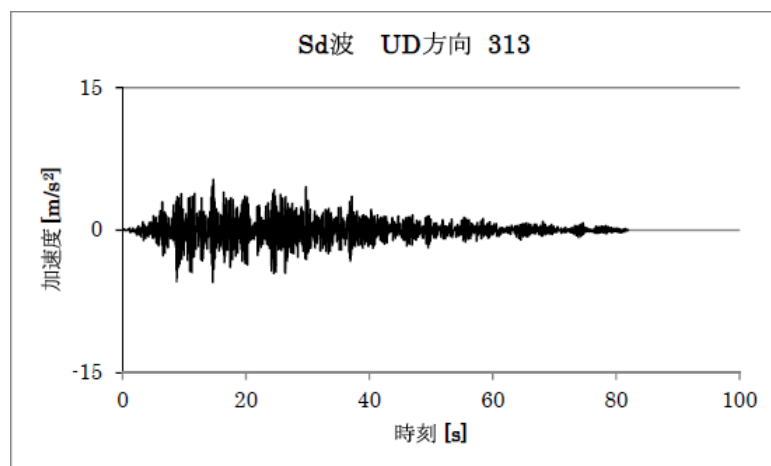
図 3.3-1 トロリが中央にある場合の時刻歴加速度波形



水平方向<NS 方向>



水平方向<EW 方向>



鉛直方向

図 3.3-2 トロリが中間位置にある場合の時刻歴加速度波形

## 2) 地震応答解析モデル

クレーンの地震応答解析モデルを図 3.3-3 に示す。

解析モデルは、ビーム及び非線形要素でモデル化しており、走行車輪部下端が門型架構側との取り付け点であるため、それを拘束点とする。

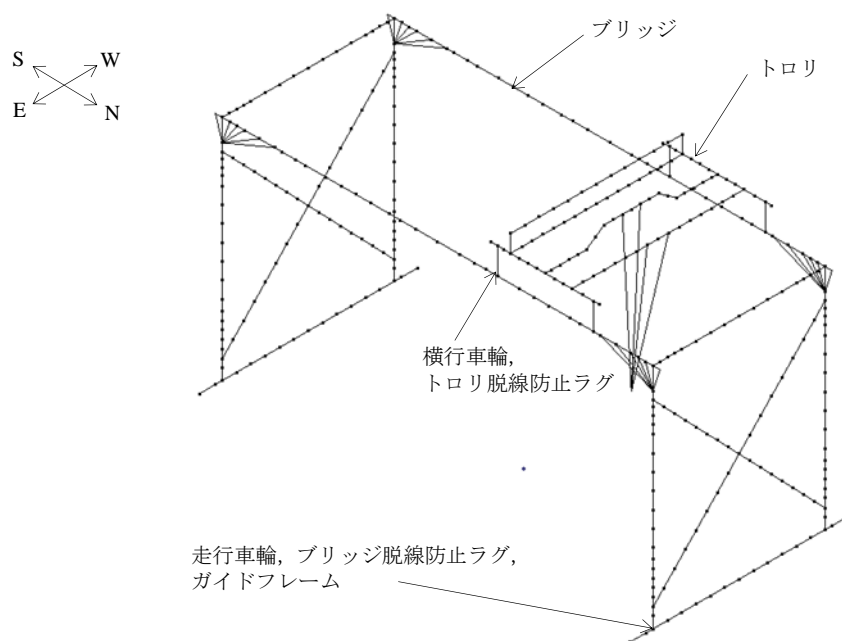


図 3.3-3 地震応答解析モデル



3) 地震応答解析結果

クレーンの地震応答解析結果を表 3. 3-3 に示す。

地震応答解析結果は時刻歴応答結果の最大値を用いる。

表 3. 3-3 クレーンの地震応答解析結果

部位		荷重の種類	荷重の方向	荷重値
クレーン 構造物	トロリ	曲げモーメント (N・mm)	水平	$2.775 \times 10^7$
			鉛直	$1.157 \times 10^9$
		せん断力 (N)	水平	$2.585 \times 10^4$
			鉛直	$8.182 \times 10^5$
ガイドフレーム		圧縮力 (N)	水平	$5.357 \times 10^5$
トロリ脱線防止ラグ		圧縮力 (N)	水平	$1.977 \times 10^5$
		圧縮力 (N)	鉛直	$2.145 \times 10^5$
走行レール		圧縮力 (N)	水平	$5.357 \times 10^5$

注：絶対値にて表示している。

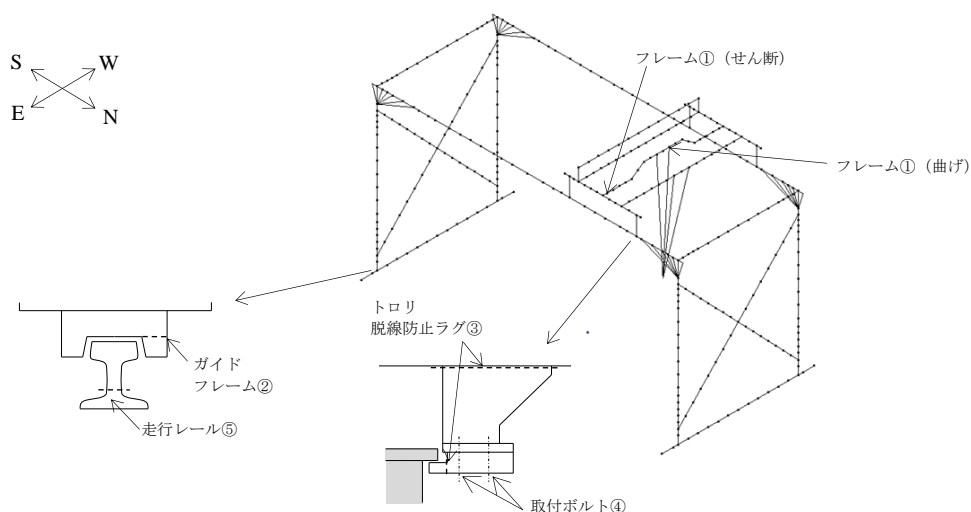
(3) クレーンの構造強度評価結果

クレーンの応力評価結果を表 3.3-4 に示す。算出応力は許容応力以下であるので、クレーンは弾性設計用地震動 Sd に対して転倒・落下に至らないことを確認した。

表 3.3-4 応力評価結果纏め

(単位：MPa)

部位	使用材料	応力の種類	算出応力	許容応力
クレーン構造物 フレーム①	ASTM A572 GR50	曲げ	127	315
		せん断	113	181
		組合せ	234	315
ガイドフレーム②	ASTM A572 GR50	曲げ	93	315
		せん断	11	181
		組合せ	95	315
トロリ 脱線防止ラグ③	ASTM A572 GR50	曲げ	39	315
		せん断	14	181
		引張	10	315
		組合せ	52	315
トロリ脱線防止ラグ 取付ボルト④	ASTM A325	引張	131	433
ブリッジ 脱線防止ラグ	ASTM A572 GR50	—	—	—
走行レール⑤	レール鋼 (ASTM A759)	曲げ	273	537
		せん断	12	310
		組合せ	274	537



#### 4 2号機燃料取扱設備の構造強度及び耐震性について

##### 4.1 概要

###### 4.1.1 一般事項

2号機燃料取扱設備は、燃料取扱機とクレーンを有し、それぞれについて構造強度及び耐震性について検討を行う。燃料取扱設備は原子炉建屋オペレーティングフロアと燃料取り出し用構台にわたり設置するランウェイガーダ上に設置される。

燃料取扱機及びクレーンの構造強度及び耐震性は、2021年9月8日及び2022年11月16日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で、核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とし、具体的にはB+クラスの地震力に対する耐震評価を行う。なお、耐震クラス分類に係わる被ばく評価については、「別冊28 2号機 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備に係る補足説明」（以下、別冊28と記載）P113～P130参照。

地震動として検討用地震動（最大加速度 900gal）の1/2の最大加速度 450galの地震動（以下、1/2Ss450と記載）に対する地震応答解析を実施し、燃料取扱設備が使用済燃料プール及び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する。ここで、波及的影響の確認は燃料取扱機及びクレーンが落下に至らないことを確認する。検討用地震動（最大加速度 900gal）は「東京電力福島第一原子力発電所の外部事象に対する防護の検討について」（東京電力株式会社 平成26年10月3日 特定原子力施設監視・評価検討会（第27回））にて提示した地震動とする。

なお、キャスクの縦揺れについては、キャスクの荷重に対して、クレーンのワイヤロープが切断しない（キャスクが落下しない）ことを確認している。また、キャスクの横揺れについては、クレーンの水平方向固有周期と比較し、ワイヤロープで吊り下げられたキャスクの固有周期は十分に長いことから、クレーン自体の振動には影響されないことを確認している。

燃料取扱設備の検討は、下記に準拠して行う。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601・補-1984）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 追補版（JEAG4601-1991）
- (4) 原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2015）
- (5) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME S NC1-2012）

#### 4.1.2 燃料取扱機

燃料取扱機は、ランウェイガーダ上に設置される。燃料取扱機は低床ジブクレーンとし、南北方向に走行する走行台車とその上に設置する旋回体で構成される。燃料取扱機の概要を図 4.1.2-1 に示す。

燃料取扱機のブームは起伏角度  $0^{\circ}$  の状態で旋回輪中心からみて 6800mm から 16100mm の範囲で伸縮し、ブーム長さ 6800mm に収縮した状態で  $0^{\circ}$  から  $40^{\circ}$  の範囲で起伏する。ブームは旋回体内のブーム根元支持ピンにて支持される。旋回体と走行台車は旋回輪軸受取付ボルトによって支持される。また、燃料取り扱い作業時、ランウェイガーダにアウトリガーピンを挿入し、走行方向、鉛直方向の荷重を支持する。

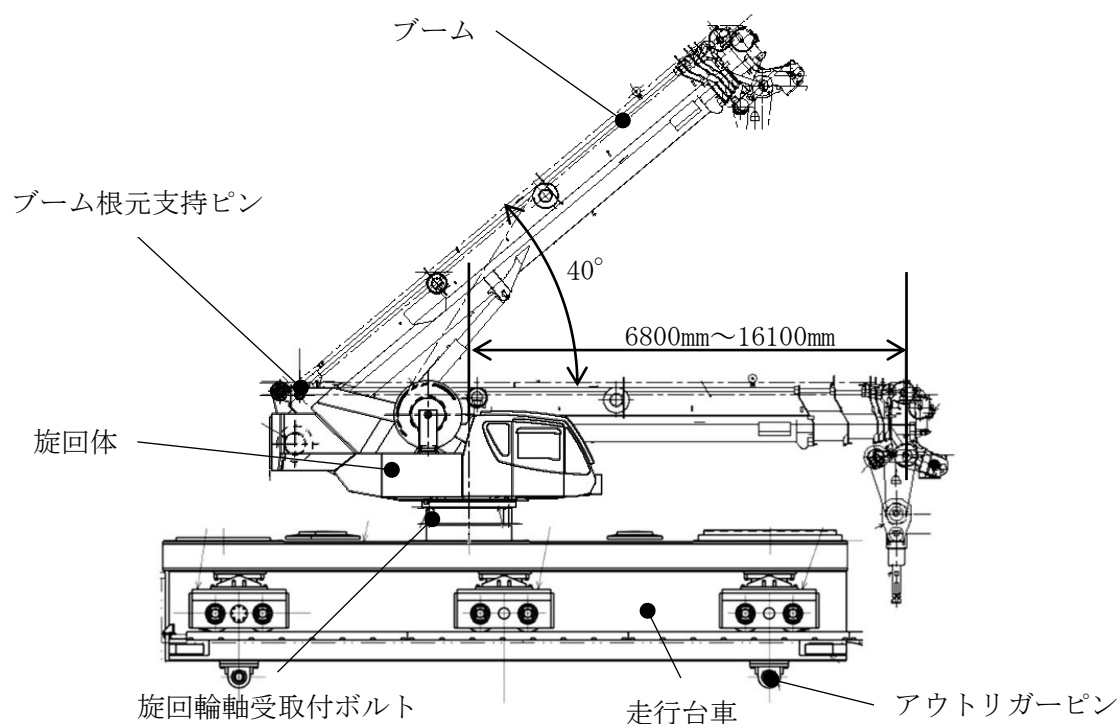


図 4.1.2-1 燃料取扱機の概要

#### 4.1.3 クレーン

クレーンは、ランウェイガーダ上に設置される。クレーンは低床ジブクレーンとし、南北方向に走行する走行台車とその上に設置する旋回体で構成される。クレーンの概要を図4.1.3-1に示す。

クレーンは原子炉建屋内ではブーム起伏角度  $24^{\circ}$ 、作業半径 12600mm の状態にて揚重作業を行う。ブームは旋回体内のブーム根元支持ピンにて支持される。旋回体と走行台車は旋回輪軸受取付ボルトによって支持される。また、キャスク取り扱い作業時、ランウェイガーダにアウトリガーピンを挿入し、走行方向、鉛直方向の荷重を支持する。

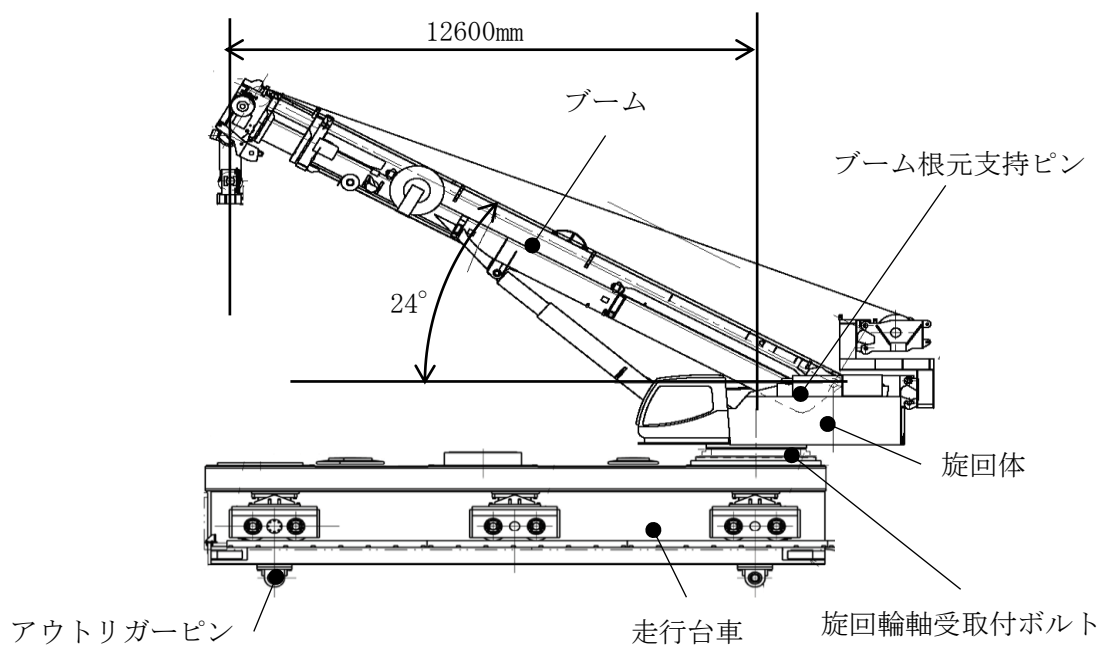


図 4.1.3-1 クレーンの概要

#### 4.2 燃料取扱機の構造強度及び耐震性について

##### (1) 検討方針

燃料取扱機について、地震応答解析を実施し、応力評価を行う。

##### 1) 使用材料及び許容応力

燃料取扱機の許容応力を表 4.2-1 に示す。温度は運転エリアの環境温度 40℃とする。許容応力は、JEAC 4601-2015 に従う。

表 4.2-1 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/ WEL-TEN980E	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	917
		せん断	529
旋回輪軸受取付ボルト (外側)		引張	917
		せん断	529
走行台車	SM490B	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

2) 荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重は死荷重及び地震荷重である。

死荷重は吊り荷を含む燃料取扱設備自身の質量による荷重である。

地震荷重は 1/2Ss450 による荷重であり，水平 2 方向及び鉛直方向地震荷重が同時に作用する場合を考慮する。

燃料取扱機質量※	258,000 (kg)
吊り荷質量	1,000 (kg)

※クレーンを含む

## (2) 燃料取扱機の地震応答解析

燃料取扱機のうち、旋回体については地震応答解析モデルにより計算機コード「ANSYS」を用いたモーダル解析による応答スペクトル解析により行う。走行台車については、解析から得られた旋回体からの反力を考慮し、応力評価式を用いて評価する。

### 1) 設計震度

旋回体への入力地震動は、1/2Ss450 を入力したときのランウェイガーダの原子炉建屋側走行台車停止位置の床応答スペクトルを用いる。床応答スペクトルを図 4.2-1 に示す。この床応答スペクトルは、走行台車各車輪位置で想定される床応答スペクトルを包絡したものである。

走行台車は剛性が高いため、ランウェイガーダ上の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を用いて設計震度を設定する。

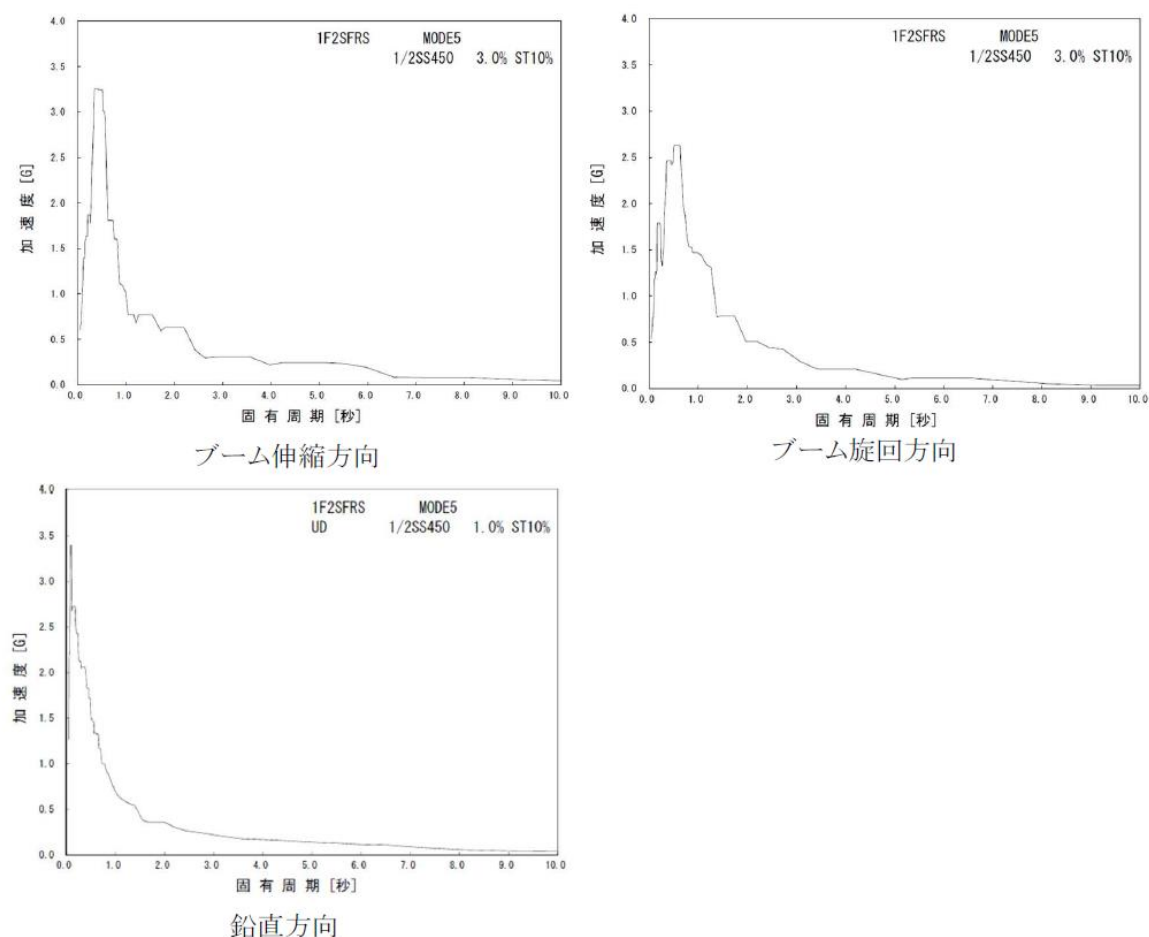


図 4.2-1 床応答スペクトル



## 2) 地震応答解析モデル

解析モデルは、旋回輪軸受取付ボルトを取り合い点として、旋回体と走行台車に分割して評価する。旋回体の地震応答解析モデルを図 4.2-2 に示す。旋回体はビームとシェルでモデル化し、旋回輪軸受取付ボルトを拘束点とする。走行台車はH型又は箱型断面を有するフレームにて構成し、旋回体からの反力を考慮するものとする。

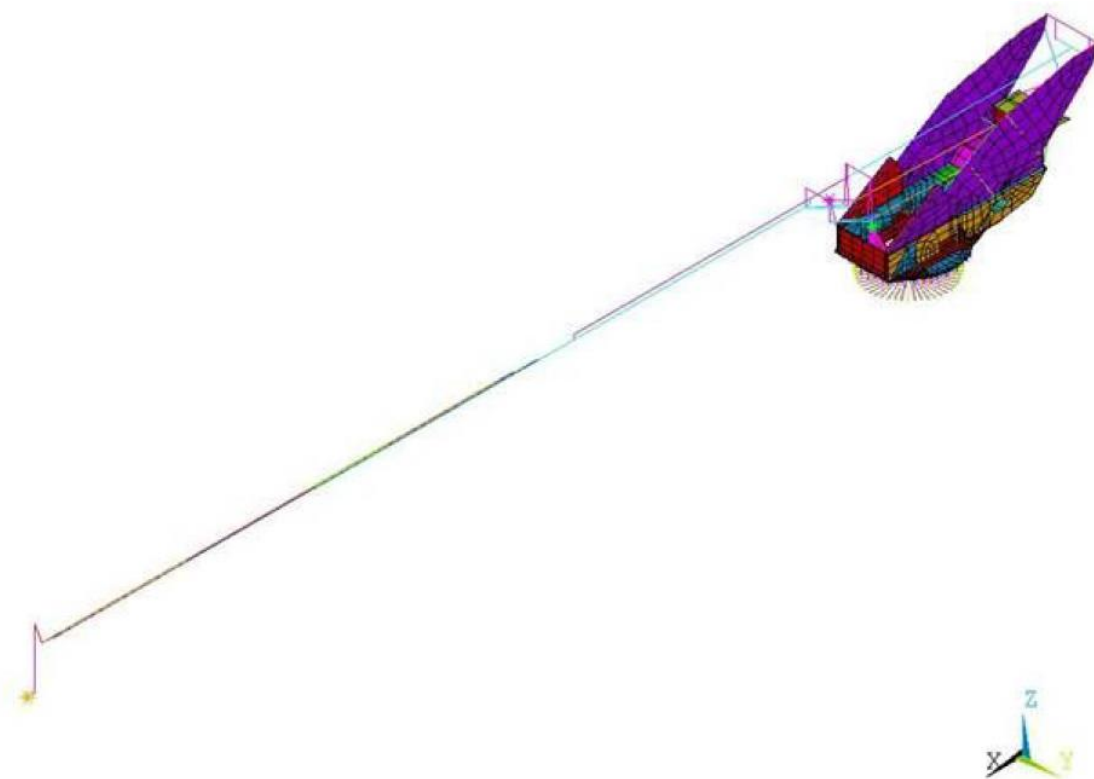


図 4.2-2 地震応答解析モデル

(3) 燃料取扱機の構造強度評価結果

燃料取扱機の応力評価結果を表 4. 2-2 に示す。算出応力は許容応力以下であるので、燃料取扱機は 1/2Ss450 に対して落下に至らないことを確認した。

表 4. 2-2 応力評価結果纏め

(単位：MPa)

部位		使用材料	応力の種類	算出応力	許容応力
ブーム		WEL-TEN980RE/ WEL-TEN980E	引張	115	686
			せん断	15	396
			曲げ	355	686
			組合せ	471	686
ブーム根元支持ピン		SNB23-1	せん断	153	460
			曲げ	112	1088
			組合せ	288	798
旋回輪軸受取付ボルト	内側	SUS630	引張	187	917
	外側		せん断	53	529
			引張	237	917
			せん断	66	529
走行台車		SM490B	引張	1	343
			せん断	10	198
			曲げ	38	343
			組合せ	43	343
アウトリガーピン		SNB23-1	せん断	169	460
			曲げ	150	1088
			組合せ	329	798

#### 4.3 クレーンの構造強度及び耐震性について

##### (1) 検討方針

クレーンについて，地震応答解析を実施し，応力評価を行う。

##### 1) 使用材料及び許容応力

クレーンの許容応力を表 4.3-1 に示す。温度は運転エリアの環境温度 40℃とする。  
許容応力は，JEAG 4601・補-1984 に従う。

表 4.3-1 許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
ブーム	WELDOX1100E (STRENGTH1100E)	引張	875
		せん断	505
		曲げ	875
		組合せ	875
ブーム根元支点ピン	42CrMoS4	せん断	303
		曲げ	525
		組合せ	525
旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	917
走行台車	SM490B	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

2) 荷重及び荷重組合せ

設計で考慮する荷重は死荷重及び地震荷重である。

死荷重は吊り荷を含む燃料取扱設備自身の質量による荷重である。

- ・ 地震荷重は 1/2Ss450 による荷重であり，水平 2 方向及び鉛直方向地震荷重が同時に作用する場合を考慮する。

クレーン質量※	258,000 (kg)
吊り荷質量	47,000 (kg)

※燃料取扱機を含む

## (2) クレーンの地震応答解析

クレーンのうち、旋回体については地震応答解析モデルにより計算機コード「ANSYS」を用いたモーダル解析による応答スペクトル解析により行う。走行台車については、解析から得られた旋回体からの反力を考慮し、応力評価式を用いて評価する。

### 1) 設計震度

旋回体への入力地震動は、1/2Ss450 を入力したときのランウェイガーダの原子炉建屋側走行台車停止位置の床応答スペクトルを用いる。床応答スペクトルを図 4.3-1 に示す。この床応答スペクトルは、走行台車各車輪位置で想定される床応答スペクトルを包絡したものである。

走行台車は剛性が高いため、ランウェイガーダ上の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を用いて設計震度を設定する。

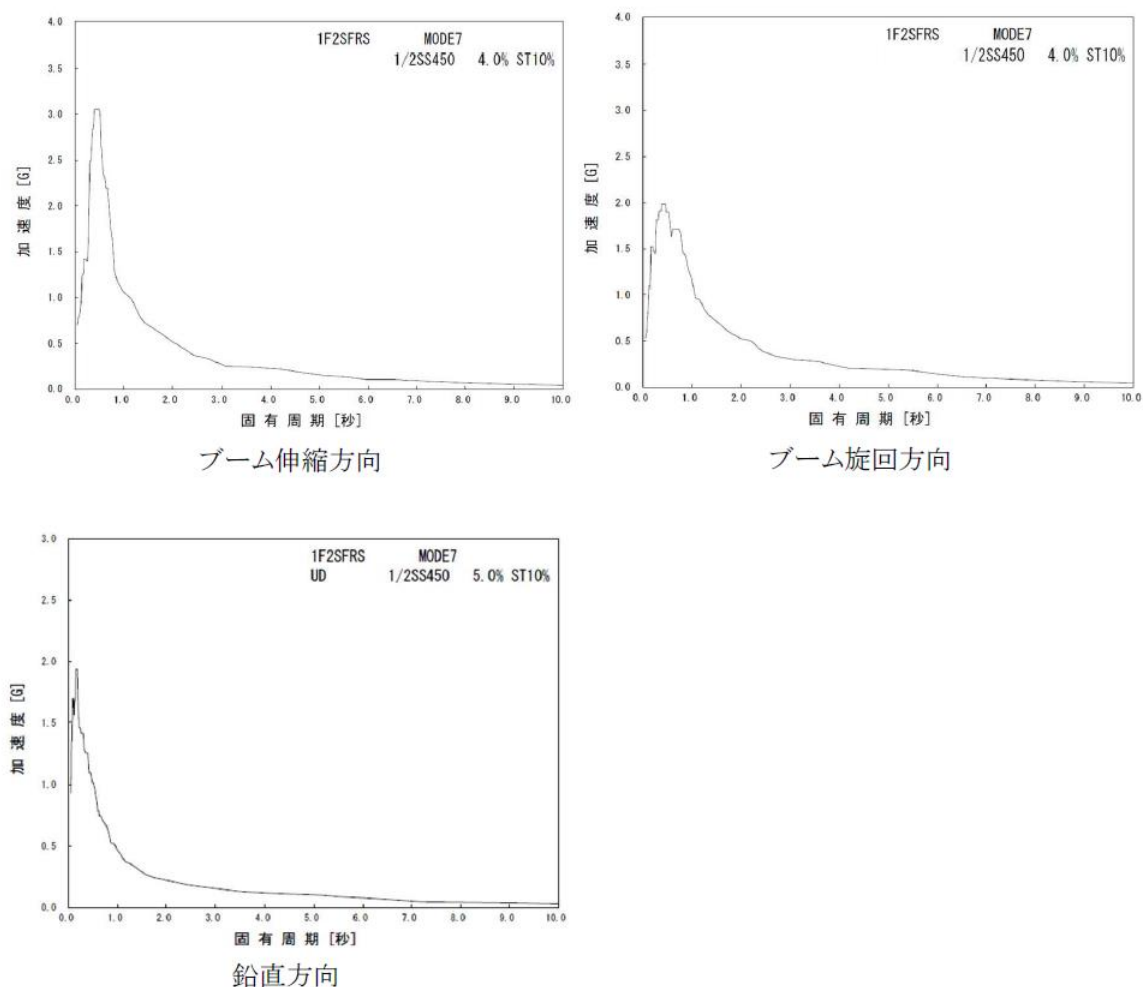


図 4.3-1 床応答スペクトル

## 2) 地震応答解析モデル

解析モデルは、旋回輪軸受取付ボルトを取り合い点として、旋回体と走行台車に分割して評価する。旋回体の地震応答解析モデルを図 4.3-2 に示す。旋回体はビームとシェルでモデル化し、旋回輪軸受取付ボルトを拘束点とする。走行台車は H 型又は箱型断面を有するフレームにて構成し、旋回体からの反力を考慮するものとする。

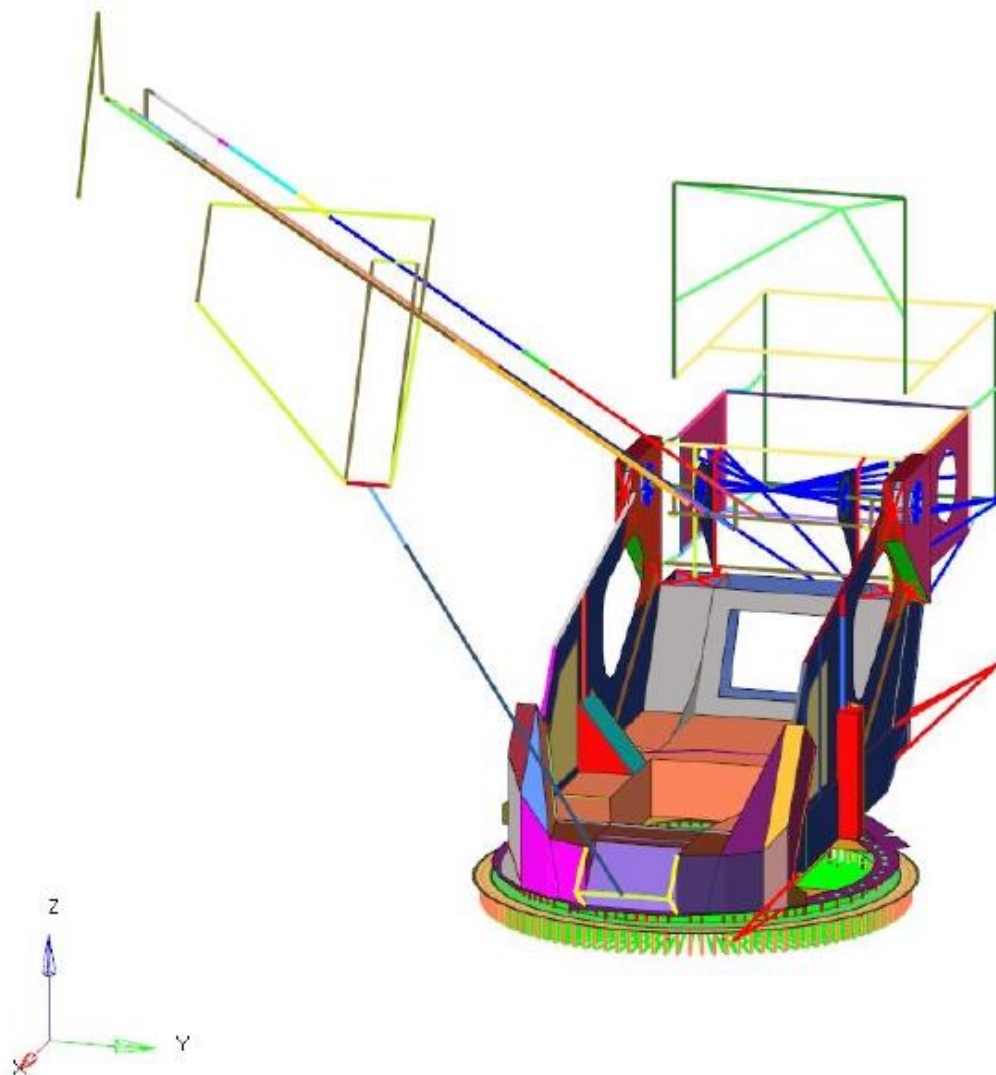


図 4.3-2 地震応答解析モデル

(3) クレーンの構造強度評価結果

クレーンの応力評価結果を表 4.3-2 に示す。算出応力は許容応力以下であるので、クレーンは 1/2Ss450 に対して落下に至らないことを確認した。

表 4.3-2 応力評価結果纏め

(単位：MPa)

部位	使用材料	応力の種類	算出応力	許容応力
ブーム	WELDOX1100E (STRENX1100E)	引張	108	875
		せん断	18	505
		曲げ	297	875
		組合せ	407	875
ブーム根元支持ピン	42CrMoS4	せん断	153	303
		曲げ	58	525
		組合せ	272	525
旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	815	917
走行台車	SM490B	引張	2	343
		せん断	40	198
		曲げ	229	343
		組合せ	242	343
アウトリガーピン	SNB23-1	せん断	169	460
		曲げ	151	1088
		組合せ	330	798

5 別添

別添－1 4号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

別添－2 3号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

別添－3 2号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項



## ４号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

４号機燃料取扱設備の耐震性に係る主要な確認事項を表－１及び表－２に示す。

表－１ ４号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項（燃料取扱機）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主要部材の材質を確認する。	実施計画通りの材料を使用していること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		外観確認	組み立てた状態における外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	組み立てた状態における据付状態を確認する。	実施計画の通りに施工・据付がなされていること。

表－２ ４号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項（クレーン）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主要部材の材質を確認する。	実施計画通りの材料を使用していること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		外観確認	組み立てた状態における外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	組み立てた状態における据付状態を確認する。	実施計画の通りに施工・据付がなされていること。

## ３号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

３号機燃料取扱設備の耐震性に係る主要な確認事項を表－１及び表－２に示す。

表－１ ３号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項（燃料取扱機）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主要部材の材質を確認する。	実施計画通りの材料を使用していること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		外観確認	組み立てた状態における外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	組み立てた状態における据付状態を確認する。	実施計画の通りに施工・据付がなされていること。

表－２ ３号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項（クレーン）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主要部材の材質を確認する。	実施計画通りの材料を使用していること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		外観確認	組み立てた状態における外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	組み立てた状態における据付状態を確認する。	実施計画の通りに施工・据付がなされていること。

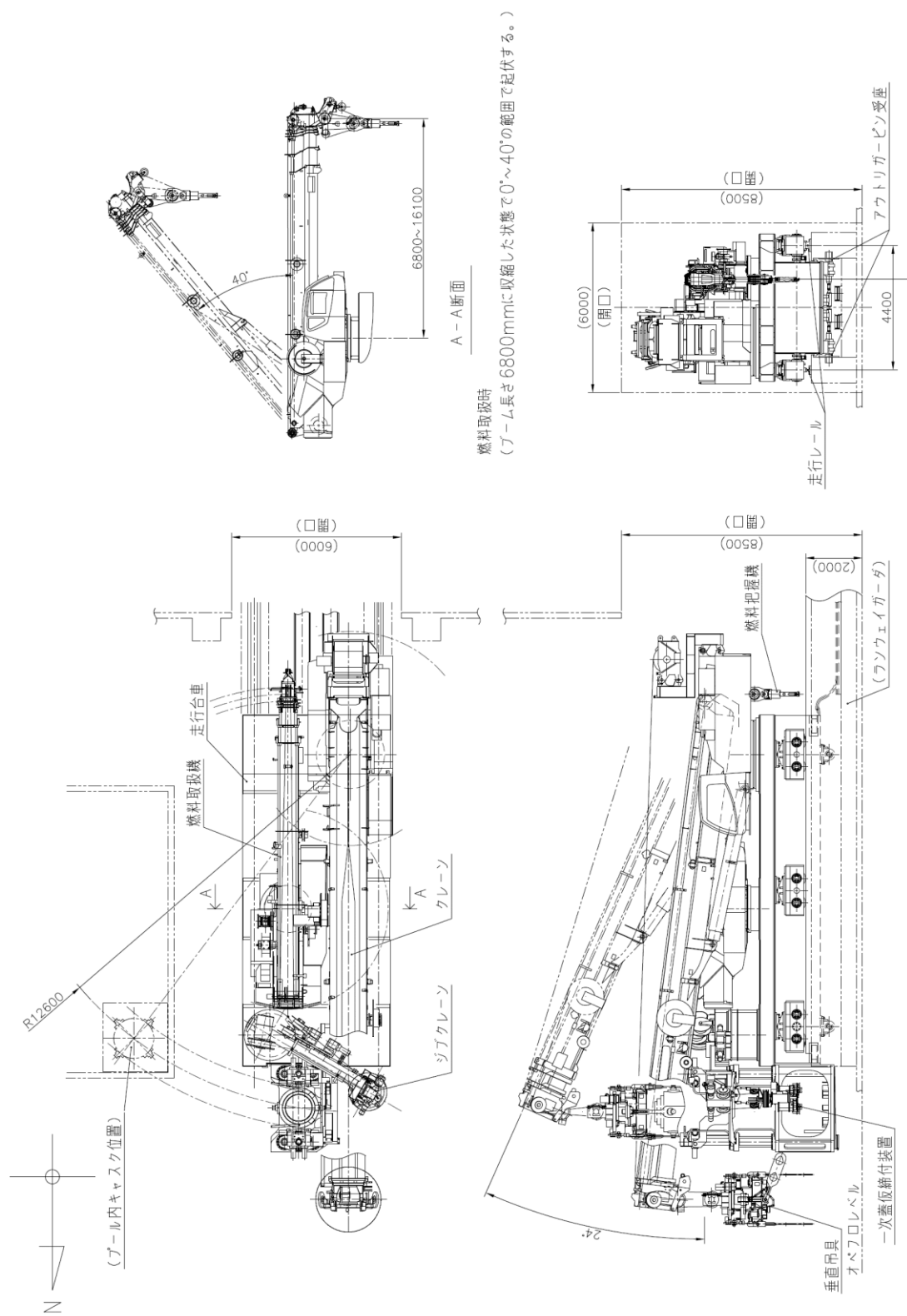
## ２号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

２号機燃料取扱設備の耐震性に係る主要な確認事項を表－１に示す。また，燃料取扱設備の外形図を図－１に，燃料取扱設備主要部材一覧を表－２に示す。

表－１ ２号機燃料取扱設備の耐震性に係る確認事項

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準	検査場所
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主要部材の材質を確認する。	表－２に記載の材料を使用していること。	工場
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	図－１に記載の寸法が許容範囲内であること。	工場 現地*)
		外観確認	組み立てた状態における外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。	工場
		据付確認	組み立てた状態における据付状態を確認する。	図－１の通りに施工・据付がなされていること。	工場

\*) レール間寸法のみ現地で確認する。



図－１ 燃料取扱設備 外形図

表一 2 燃料取扱設備 主要部材一覧

部位		使用材料
燃料取扱機（旋回体）	ブーム	WEL-TEN980RE/WEL-TEN980E
燃料取扱機（旋回体）	ブーム根元支持ピン	SNB23-1
燃料取扱機（旋回体）	旋回輪軸受取付ボルト（内側）	SUS630
燃料取扱機（旋回体）	旋回輪軸受取付ボルト（外側）	SUS630
クレーン（旋回体）	ブーム	WELDOX1100E (STRENX1100E)
クレーン（旋回体）	ブーム根元支持ピン	42CrMoS4
クレーン（旋回体）	旋回輪軸受取付ボルト	SUS630
燃料取扱機／クレーン（走行台車部）	構造物フレーム	SM490B
燃料取扱機／クレーン（走行台車部）	アウトリガーピン	SNB23-1

## 耐震解析に用いるコード（SAP－Ⅳ）について

項目 \ コード名	SAP－Ⅳ
開発機関	米国カリフォルニア大学
使用したバージョン	導入時バージョンのまま
開発時期	1973 年
計算機コードの概要	<p>本計算機コードは、有限要素法による静的・動的解析汎用プログラムである。</p> <p>1970 年に SAP の初版が発表された後、SOLID SAP (SAP－Ⅱ)、SAP－Ⅲを経て、全面的改訂を加えられ 1973 年に SAP－Ⅳとして公開された。</p> <p>以下に示す構造に対し、4 種類の解析を行うことができる。</p> <p>&lt;構造&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. トラス構造問題</li> <li>2. ラーメン構造問題</li> <li>3. 平面応力／平面ひずみ問題，軸対象固体問題</li> <li>4. 固体問題</li> <li>5. 厚肉殻</li> <li>6. 板曲げ及び薄肉殻問題</li> <li>7. 配管系問題</li> </ol> <p>&lt;解析&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 静的解析</li> <li>2. 固有値解析</li> <li>3. 動的応答解析</li> <li>4. スペクトル解析</li> </ol>
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 別計算機コード「構造解析用計算機コード（NASTRAN 2005.0.0）」による検証が実施されていることを確認した。</li> <li>・ 理論解による検証が実施されていることを確認した。（詳細は添付 1 参照）</li> </ul>

添付 1 解析及び計算機コードの検証

1. 解析の検証

1.1 解析フローチャート

本資料において使用した計算機コード「SAP-IV」を用いて得られた計算結果の妥当性を確認し、本計算機コードの検証を行うものである。また、本計算機コードを用いた計算のフローを図 1-1 に示す。

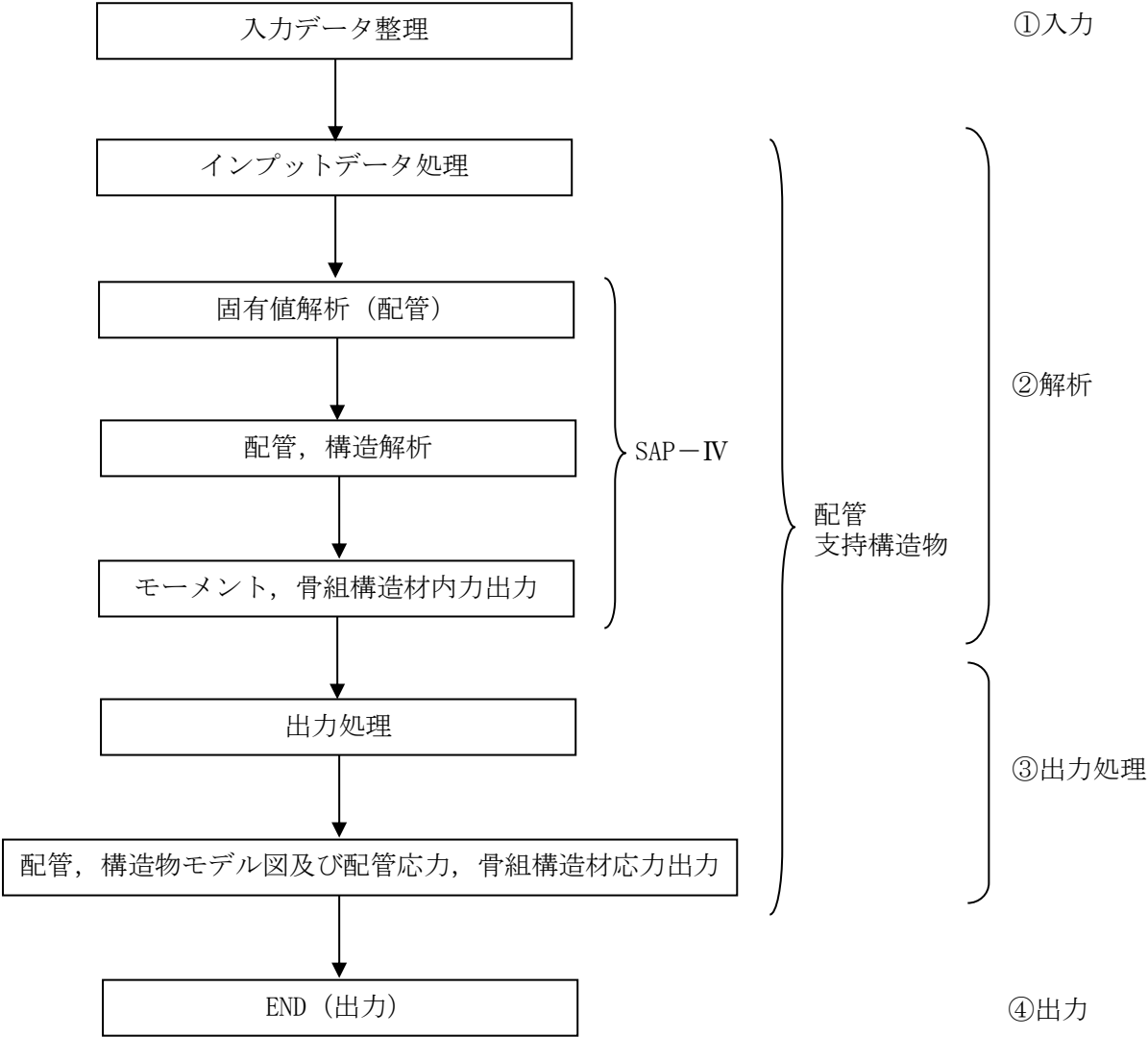


図 1-1 計算フロー

## 1.2 解析の検証

図 1-1 に示した各フローにおける検証方法を以下に示す。

- ・「①入力」

材料、弁質量及び骨組材断面性能等の解析条件の入力に対し、正しく条件が入力されていることの確認を行った。

- ・「②解析」

配管については、別の構造解析用計算機コードを用いて、代表的な配管検証用モデルに対する計算を行い、比較を行うことによって、計算結果の妥当性の確認を行った（2.1 配管参照）。

支持構造物については、材料力学に基づく手計算手法を用いて、代表的な簡易骨組モデルに対する計算を行い、比較を行うことによって計算結果の妥当性の確認を行った（2.2 支持構造物参照）。

- ・「①入力」＋「②解析」＋「③出力処理」＋「④出力」

「SAP-IV」により出力されたモーメントは応力に変換され、正しく出力されていることを確認した。これらの処理は、手計算によりその妥当性について確認を行った。

## 1.3 結論

以上より、解析結果の検証を行い、手順①～④の妥当性を確認した。



## 2. 計算機コードの検証

### 2.1 配管

#### (1) 検証の概要

計算機コード「SAP-IV」による計算結果の検証用に用いた構造解析用計算機コード「NASTRAN」はNASAで開発されたプログラムであり、1965年開発後、これまで約40年の使用実績があり、世界的に使用実績及びクライアント数の多いプログラムの一つである。「SAP-IV」と「NASTRAN」を用いて代表的な配管検証用モデルを対象に解析を行い、得られた結果を比較することにより、検証を行った。

#### (2) 検証解析

代表的な配管検証用モデルについて、「SAP-IV」及び「NASTRAN」を用いて解析し、両者の解析結果を比較評価する。以下に解析内容及び検証項目を示す。

解析内容	検証項目
静的解析（自重・熱膨張）	拘束点反力



弁部の質量

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
278.4kg/m	11～12	59.9kg	22～23
59.9kg	23～24	185.4kg/m	26～27
59.7kg	28～29	127.4kg	29～30
185.4kg/m	46～47	127.9kg	48～49
59.9	49～50	119.9kg	2301
119.4kg	2901	119.9kg	4901

・設計条件

以下に示す荷重条件のもとで、配管系の静的な解析を行った。

- a. 自重
- b. 熱膨張

解析 範囲									
管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	運転温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	縦弾性係数* (MPa)	熱膨張係数* ( $\times 10^{-6}$ mm/mm℃)
1	1N～11, 12～22 24～26, 27～28 19～43, 44～46 47～48	1.04	93	40	165.2	7.1	STPT410	201667	10.3
2	30～40A	0.43	93	40	165.2	7.1	STPT410	201667	10.3
3	43～44	1.04	93	40	165.2	7.1	STPT410	201667	10.3
4	50～56A	1.04	93	40	165.2	7.1	SUS304TP	193667	15.4

注記\*：運転温度における縦弾性係数及び熱膨張係数を示す。

#### (4) 解析結果の比較

表 2-1 拘束点反力（「SAP-IV」と「NASTRAN」の比較）

自重

(単位：N)

節点	SAP-IV			NASTRAN		
	Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz
1N	10	442	-99	20	452	-99
8	0	1001	0	0	981	0
13	0	1991	0	0	2021	0
25	599	7365	344	618	7385	344
40A	-89	1226	-89	-89	1226	-99
45	275	4649	0	246	4629	0
56A	-795	1373	-148	-785	1354	-148

熱膨張

(単位：N)

節点	SAP-IV			NASTRAN		
	Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz
1N	99	-138	-148	99	-138	-148
8	0	50	0	0	50	0
13	0	383	0	0	383	0
25	-89	1030	-246	-89	1030	-246
40A	-89	-148	246	-89	-148	246
45	363	-991	0	363	-991	0
56A	-295	-187	148	-295	-197	148

#### (5) 検証結果

表 2-1 における自重及び熱膨張による拘束点反力の比較結果のとおり，両者でよく一致している。

以上の結果から，代表的な配管検証用モデルを用いた両者の解析結果はほぼ同等であり，「SAP-IV」の妥当性が確認された。

2.2 支持構造物

(1) 検証の概要

材料力学に基づく手計算手法を用いて、代表的な簡易骨組構造モデルに対する計算を行い、得られた結果を比較することにより検証を行った。

(2) 検証解析

代表的な支持構造物検証用モデル「H形鋼材」及び「L形鋼材」について、「SAP-IV」及び「手計算手法」を用いて、両者の比較評価をする。

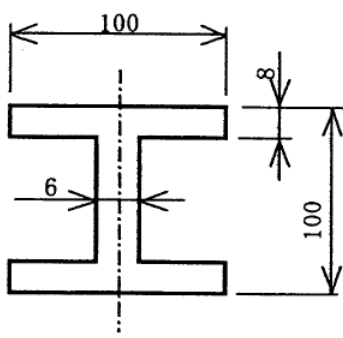
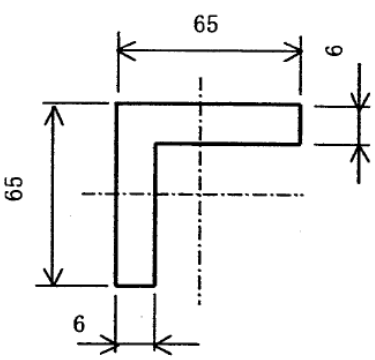
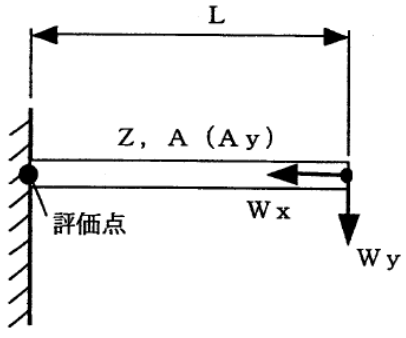
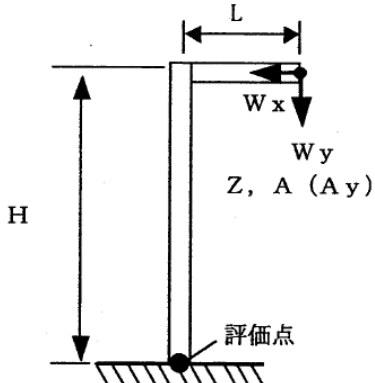
以下に、計算内容及び検証項目を示す。

計算内容	検証項目
圧縮応力，曲げ応力，せん断応力	発生応力

(3) 解析条件

・解析モデル

(単位：mm)

評価1 H形鋼材片持ち梁構造	評価2 L形鋼材L型構造
 <p>H鋼断面</p>	 <p>L鋼断面</p>
 <p>・発生応力</p> <p>圧縮応力：<math>W_x \cdot g / A</math>          曲げ応力：<math>W_y \cdot g \cdot L / Z</math>          せん断応力：<math>W_y \cdot g / A_y</math></p>	 <p>・発生応力</p> <p>圧縮応力：<math>W_y \cdot g / A</math>          曲げ応力：<math>(W_y \cdot g \cdot L - W_x \cdot g \cdot H) / Z</math>          せん断応力：<math>W_x \cdot g / A_y</math></p>

・設計条件

			評価1	評価2
付加質量	$W_x$	kg	0	0
	$W_y$	kg	61	36
梁長さ	L	mm	300	67.5
柱高さ	H	mm	—	292.5
重力加速度	g	m/s <sup>2</sup>	9.80665	9.80665
断面係数	Z	mm <sup>3</sup>	67800	6270
断面積	A	mm <sup>2</sup>	2190	752.7
有効断面積 (せん断面積)	$A_y$	mm <sup>2</sup>	504	354

(4) 評価結果の比較

表 2-2 発生応力（「SAP-IV」と「手計算手法」の比較）

H 形鋼材

	SAP-IV			手計算手法		
	圧縮応力	曲げ応力	せん断応力	圧縮応力	曲げ応力	せん断応力
発生応力 (MPa)	0	3	2	0	2.7	1.2

L 形鋼材

	SAP-IV			手計算手法		
	圧縮応力	曲げ応力	せん断応力	圧縮応力	曲げ応力	せん断応力
発生応力 (MPa)	1	4	0	0.5	3.9	0

(5) 検証結果

表 2-2 における H 形鋼材及び L 形鋼材による発生応力の比較結果のとおり，両者でよく一致している。

以上の結果から，代表的な簡易骨組構造モデルを用いた両者の計算結果はほぼ同等であり，「SAP-IV」の妥当性が確認された。

## 耐震解析に用いるコード（ABAQUS）について

項目 \ コード名	ABAQUS
開発機関	ABAQUS 社
使用したバージョン	Version 6.5.4
開発時期	2005 年（初版開発時期 1978 年）
計算機コードの概要	<p>本計算機コードは、有限要素法による線形／非線形の静的・動的解析汎用プログラムである。以下に示す解析機能及び要素を有している。</p> <p>&lt;解析機能&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 線形・非線形静的応力／変位解析</li> <li>2. 動的／変位解析</li> <li>3. 非定常の動的／変位解析</li> <li>4. 定常・非定常の伝熱解析</li> <li>5. 弾塑性解析</li> <li>6. 大変形解析</li> </ol> <p>&lt;要素&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 軸対象</li> <li>2. 平面ひずみ／平面応力</li> <li>3. 三次元ソリッド</li> <li>4. 三次元シェル</li> <li>5. トラス</li> <li>6. はり</li> </ol>
検証方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 振動試験結果とコードによる地震応答計算結果を比較して検証*が実施されていることを確認した。</li> </ul>

注記：以下の文献を確認し、検証されたコードであることを確認した。

- \*：平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査  
 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書  
 （平成 21 年 1 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）



## 耐震解析に用いるコード（NX Nastran）について

### 1. 概要

Nastran は、40 年以上にわたって利用されている、動的・静的解析用の業界標準の汎用有限要素法ソルバーである。米国 NASA により、宇宙開発プロジェクト・サターン V 型ロケットの設計のために開発され、1972 年に最初のコマーシャルバージョンがリリース（MSC.Nastran）された。その後、2003 年に Siemens PLM Software 社の NX Nastran に分かれて、開発・販売を継続している汎用ソフトウェアである。

### 2. 機能

NX Nastran は、構造解析に関して主に以下の機能を有する。

- ① 三次元の梁モデル、シェルモデル及びソリッドモデルによる構造解析を行うことができる
- ② 固有値解析を行うことができ、固有振動数及び各固有振動モードに対する刺激係数や有効質量を算出できる
- ③ 静的解析、固有値解析、スペクトル応答解析、動的応答解析を行うことができる

### 3. 検証方法

理論値との比較による検証が実施されていることを確認した。

### 4. 使用したバージョン

NX Nastran Version 8.1

## 5. 解析及び計算機コードの検証

### 5.1. 解析の検証

#### 5.1.1. 解析フローチャート

本計算機コードを用いた計算のフローを図 5.1-1 に示す。

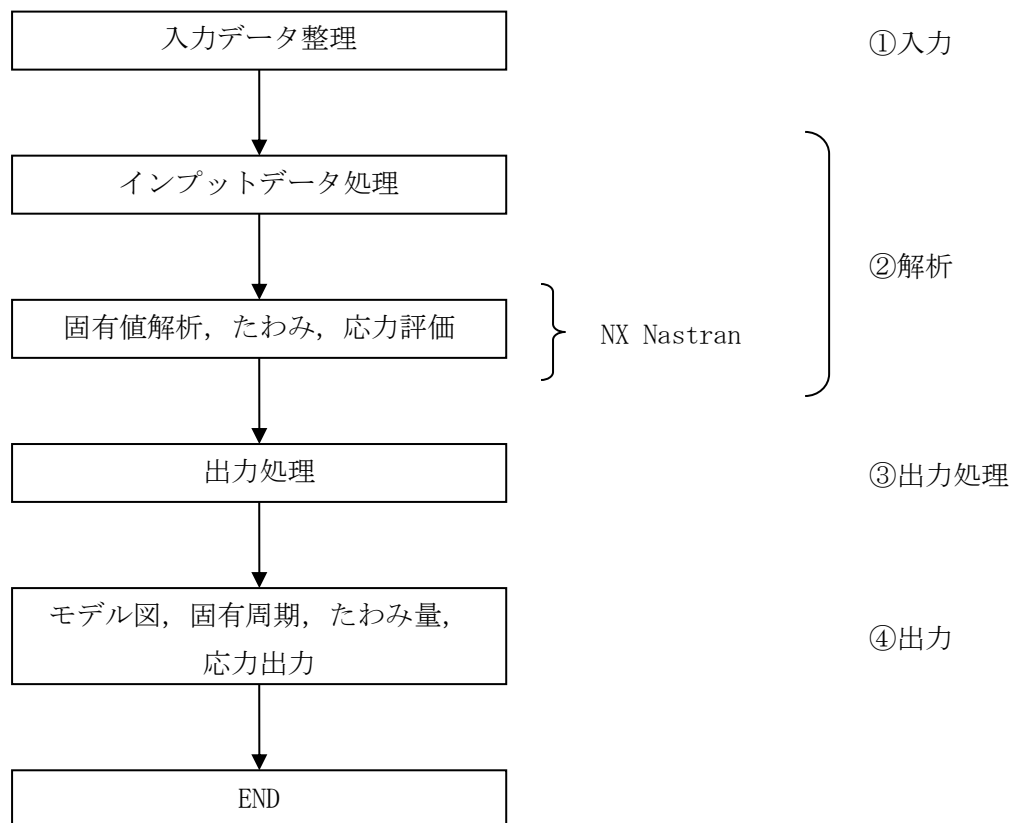


図 5.1-1 計算フロー

### 5.1.2. 解析の検証

図 5.1-1 に示した各フローにおける検証方法を以下に示す。

- ・「①入力」

寸法、物性値等の解析条件の入力に対して、正しく条件が入力されていることを確認した。

- ・「②解析」

両端固定梁、片持ち平板の固有振動数について、材料力学に基づく手計算手法を用いて計算を行い、「NX Nastran」の固有値解析の結果と比較を行うことによって解析結果の妥当性の確認を行った。

片持ち梁のたわみ量、応力について、材料力学に基づく手計算手法を用いて計算を行い、「NX Nastran」の結果と比較を行うことによって解析結果の妥当性の確認を行った（「5.2. 計算機コードの検証」参照）。

- ・「①入力」＋「②解析」＋「③出力処理」＋「④出力」

「NX Nastran」による解析結果が正しく出力されていることを確認した。

### 5.1.3. 結論

以上より、解析結果の検証を行い、手順①～④の妥当性を確認した。

## 5.2. 計算機コードの検証

### 5.2.1. 検証の概要

「NX Nastran」を用いて、基本的な構造の解析を行い、得られた結果と理論解との比較を行うことにより、検証を行った。

### 5.2.2. 検証解析

以下に示す構造を「NX Nastran」で解析を行い、理論解との結果を比較評価する。

解析内容	検証項目
両端固定梁	固有振動数
片持ち平板	固有振動数
片持ち梁	たわみ, 応力

両端固定梁の解析モデルを図 5.2.2-1 に、片持ち平板の解析モデルを図 5.2.2-2 に、片持ち梁の解析モデルを図 5.2.2-3 に示す。

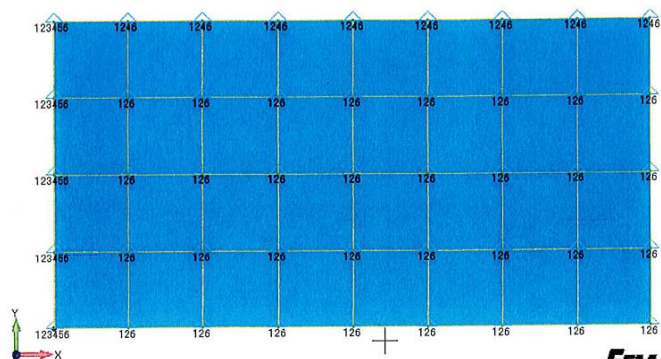
trial license - For Evaluation Use Only  
V1  
D1



**FEMAP®**

図 5.2.2-1 両端固定梁の解析モデル

trial license - For Evaluation Use Only  
V1  
D1



**FEMAP®**

図 5.2.2-2 片持ち平板の解析モデル

trial license - For Evaluation Use Only  
V1  
D1



**FEMAP®**

図 5.2.2-3 片持ち梁の解析モデル

### 5.2.3. 理論解

#### (1) 両端固定梁の固有振動数

固定梁の軸に対して直角方向に梁が振動する場合の固有振動数は

$$f_n = \frac{\lambda_n^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$$

で表される。

ここで,

$$\lambda_1 = 4.730$$

$$L = 10 \text{ [m]} \quad (\text{梁の長さ})$$

$$E = 200000 \text{ [MPa]} \quad (\text{ヤング率})$$

$$I = \frac{2 \times 2^3}{12} \quad (\text{断面二次モーメント})$$

$$= 1.333 \text{ [m}^4\text{]}$$

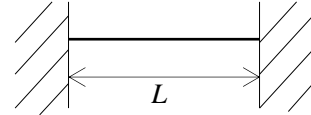
$$\rho = 8000 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (\text{単位体積当たりの質量})$$

$$A = 2 \times 2 = 4 \text{ [m}^2\text{]} \quad (\text{梁の面積})$$

とすると、固定梁の固有振動数は

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{\lambda_1^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \\ &= \frac{4.730^2}{2 \cdot \pi \cdot 10^2} \sqrt{\frac{200000 \cdot 10^6 \times 1.333}{8000 \times 4}} \\ &= 102.7774 \text{ [Hz]} \end{aligned}$$

となる。



(2) 片持ち平板の固有振動数

片持ち平板が振動する場合の固有振動数は

$$f_n = \frac{\lambda_n}{2\pi a^2} \sqrt{\frac{D}{\rho h}}$$

で表される。

ここで、

$$\lambda_1 = 3.494$$

$$a = 10 \text{ [m]} \quad (\text{板の各辺の寸法})$$

$$h = 0.05 \text{ [m]} \quad (\text{平板の厚さ})$$

$$E = 200000 \text{ [MPa]} \quad (\text{ヤング率})$$

$$\nu = 0.3 \quad (\text{ポアソン比})$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (\text{曲げ剛性})$$

$$= \frac{200000 \times 10^6 \times 0.05^3}{12(1-0.3^2)}$$

$$= 2.289 \times 10^6 \text{ [N}\cdot\text{m]}$$

$$\rho = 8000 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (\text{単位体積当たりの質量})$$

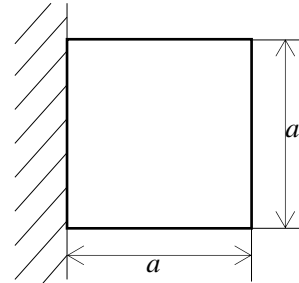
とすると、固定梁の固有振動数は

$$f_1 = \frac{\lambda_1}{2\pi a^2} \sqrt{\frac{D}{\rho h}}$$

$$= \frac{3.494}{2 \cdot \pi \cdot 10^2} \sqrt{\frac{2.289 \times 10^6}{8000 \times 0.05}}$$

$$= 0.420665 \text{ [Hz]}$$

となる。



(3) 片持ち梁のたわみ, 応力

片持ち梁のたわみは

$$v = \frac{Wl^3}{3EI}$$

で表される。

ここで,

$$W = 50000 \text{ [N]} \quad (\text{荷重})$$

$$l = 480 \text{ [m]} \quad (\text{梁の長さ})$$

$$E = 30000000 \text{ [Pa]} \quad (\text{ヤング率})$$

$$b = 30 \text{ [m]}$$

$$h = 30 \text{ [m]}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (\text{断面二次モーメント})$$

$$= \frac{30 \cdot 30^3}{12}$$

$$= 67500 \text{ [m}^4\text{]}$$

とすると, 片持ち梁のたわみは

$$v = \frac{Wl^3}{3EI}$$

$$= \frac{50000 \cdot 480^3}{3 \cdot 30000000 \cdot 67500}$$

$$= 0.91 \text{ [m]}$$

となる。

片持ち梁に発生する応力は

$$Z = \frac{bh^2}{6} \quad (\text{断面係数})$$

$$= \frac{30 \cdot 30^2}{6}$$

$$= 4500 \text{ [m}^3\text{]}$$

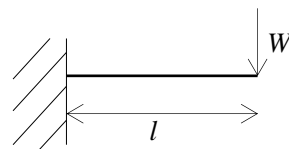
とすると,

$$\sigma = \frac{W \cdot l}{Z}$$

$$= \frac{50000 \cdot 480}{4500}$$

$$= 5334 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

となる。





#### 5.2.4. 検証結果

「NX Nastran」による解析結果を図 5.2.4-1～3 に示す。「NX Nastran」による解析結果と理論解の比較を表 5.2.4-1 に示す。

「NX Nastran」による解析結果と手計算の結果がよく一致していることを確認した。

表 5.2.4-1 「NX Nastran」による解析結果と理論解の比較

解析内容	項目	「NX Nastran」 による解析結果	理論解
両端固定梁	固有振動数[Hz]	102.8482	102.7774
片持ち平板	固有振動数[Hz]	0.415096	0.420665
片持ち梁	たわみ[m]	0.91	0.91
	応力[N/m <sup>2</sup> ]	5333	5334

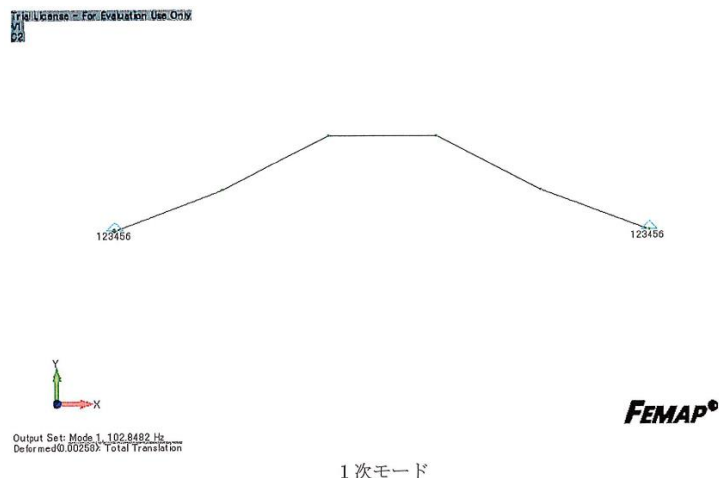


図 5. 2. 4-1 両端固定梁の解析結果（固有振動数）

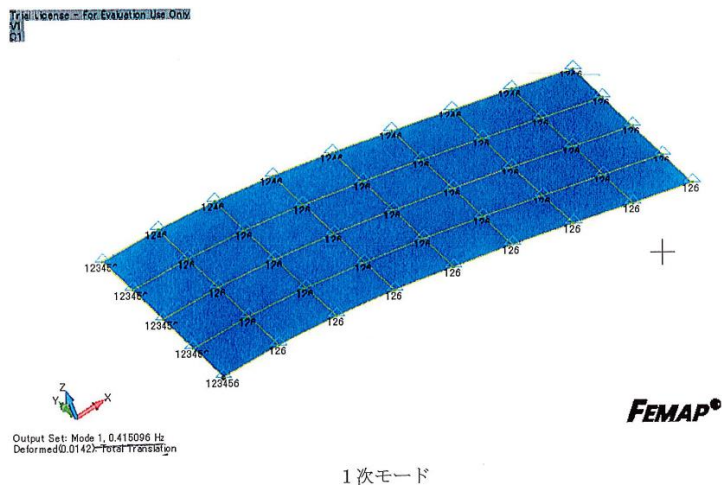


図 5. 2. 4-2 片持ち平板の解析結果（固有振動数）

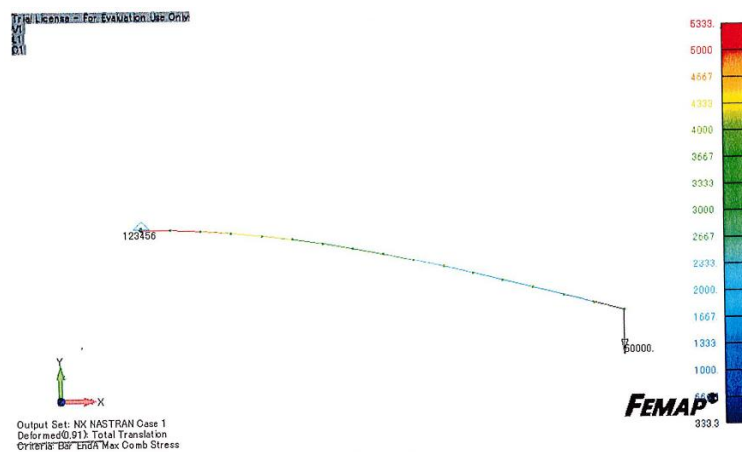


図 5. 2. 4-3 片持ち梁の解析結果（たわみ・応力）

## 耐震解析に用いるコード（ANSYS について）

コード名 項目	ANSYS
開発機関	Swanson Analysis Systems 社（現 ANSYS 社）
使用したバージョン	14.5
開発時期	2012 年（初版開発時期 1970 年）
解析コードの概要	<p>ANSYS（以下、「本解析コード」という。）は Swanson Analysis Systems 社（現 ANSYS 社）により開発された有限要素解析法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは、広範囲に亘る多目的有限要素解析法による計算機プログラムであり、静的及び動的構造力学問題のシミュレーションならびに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは、ISO9001 及び ASME NQA-1 を取得し、アメリカ合衆国規制委員会による 10CFR Part 50 ならびに 10CFR21 の要求を満たしており、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>
検証及び妥当性確認	<p><b>【検証】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は次の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本解析コードの検証は、開発元のリリースノートの例題集において、解析例に対する理論解と解析結果との比較が実施されている。</li> <li>・ 本解析コードが適正であることは、コード配布時に同梱された Verification Testing Package により確認している。</li> <li>・ 本解析コードの運用環境について、開発元から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は次の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。</li> <li>・ 本解析コードは、原子力分野では、原子炉設置（変更）許可申請書における応力解析等、これまで多くの構造解析に対し使用実績があることを確認している。</li> </ul>

## 2. 16. 2 増設多核種除去設備

### 2. 16. 2. 1 基本設計

#### 2. 16. 2. 1. 1 設置の目的

増設多核種除去設備は、『2. 5 汚染水処理設備等』で処理した液体状の放射性物質の処理を早期に完了させる目的から設置するものとし、汚染水処理設備の処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を『東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度（以下、「告示濃度限度」という。）を下回る濃度まで低減する。

なお、増設多核種除去設備の性能を確認する試験（以下、「確認試験」という。）において、増設多核種除去設備が上記性能を有する設備であることについて確認した。

#### 2. 16. 2. 1. 2 要求される機能

『2. 16. 1 多核種除去設備 2. 16. 1. 1. 2 「要求される機能」』に同じ。

#### 2. 16. 2. 1. 3 設計方針

『2. 16. 1 多核種除去設備 2. 16. 1. 1. 3 「設計方針」』に同じ。

#### 2. 16. 2. 1. 4 供用期間中に確認する項目

増設多核種除去設備処理済水に含まれる除去対象の放射性核種濃度（トリチウムを除く）が告示濃度限度未満であること。

#### 2. 16. 2. 1. 5 主要な機器

増設多核種除去設備は、3系列から構成し、各系列は前処理設備と多核種除去装置で構成する。さらに共通設備として、前処理設備及び多核種除去装置へ薬品を供給する薬品供給設備、処理済水のサンプリング、多核種処理水タンクへ移送する多核種移送設備、放射性物質を吸着した吸着材等を収容して貯蔵する高性能容器、増設多核種除去設備の運転監視を行う監視・制御装置、電源を供給する電源設備等で構成する。また、装置の処理能力を確認するための試料採取が可能な構成とする。

増設多核種除去設備の除去対象とする核種は、『2. 16. 1 多核種除去設備 添付資料－6』と同じとする。

増設多核種除去設備の主要な機器は、免震重要棟集中監視室またはシールド中央制御室の監視・制御装置により遠隔操作及び運転状況の監視を行う。更に、特に重要な運転操作についてはダブルアクションを要する等の設計とする。また、増設多核種除去設備の設置エリアには、エリア放射線モニタを設置し、放射線レベルを監視する。

増設多核種除去設備で処理された水は、処理済水貯留用のタンクで貯留する。

#### (1) 前処理設備

前処理設備は、多核種除去装置での吸着材によるストロンチウムの除去を阻害するマグネシウム、カルシウム等の２価の金属を炭酸塩沈殿処理により除去することを目的とし、炭酸ソーダと苛性ソーダを添加する。

炭酸塩沈殿処理による生成物は、クロスフローフィルタまたは沈殿槽により濃縮し、高性能容器に排出する。

#### (2) 多核種除去装置

多核種除去装置は、１系列あたり１８塔の吸着塔で構成する。

多核種除去装置は、除去対象核種に応じて吸着塔に収容する吸着材の種類が異なり、処理対象水に含まれるコロイド状及びイオン状の放射性物質を分離・吸着処理する機能を有する。吸着塔に収容する吸着材の構成は、処理対象水の性状に応じて変更する。また、吸着材は、所定の容量を通水した後、高性能容器へ排出する。

なお、吸着塔は２塔分の増設が可能である。

#### (3) 高性能容器（HIC ; High Integrity Container）

高性能容器は、使用済みの吸着材、沈殿処理生成物を収容するもので、『2.16.1 多核種除去設備』で使用する高性能容器と同じである。高性能容器の仕様及び健全性評価等を『2.16.1 多核種除去設備 添付資料－５』に示す。

使用済みの吸着材は、収容効率を高めるために脱水装置（SEDS ; Self-Engaging Dewatering System）により脱水処理される。脱水した水は増設多核種除去設備の系統内に移送する。

沈殿処理生成物の高性能容器への移送は自動制御で行い、使用済みの吸着材の移送は現場で状況を確認しながら手動操作によって行う。高性能容器への収容量は、水位センサにて監視する。

沈殿処理生成物及び使用済みの吸着材を収容した高性能容器は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設で貯蔵する。

また、高性能容器は、取扱い時の落下による漏えいを防止するため、補強体等を取り付ける。

#### (4) 薬品供給設備

薬品供給設備は、各添加薬液に対してそれぞれタンクを有し、沈殿処理やpH調整のため、ポンプにより薬品を前処理設備や多核種除去装置へ供給する。添加する薬品は、苛性ソーダ、炭酸ソーダ、塩酸とするが、何れも不燃性であり、装置内での反応熱、反応ガスも有意には発生しない。なお、炭酸ソーダについては、増設多核種除去設備の処理済み水に粉体を溶解させ生成することも可能な設計とする。

#### (5) 多核種移送設備

多核種移送設備は、増設多核種除去設備で処理された水を採取し、分析後の水を処理済水貯留用のタンクに移送するための設備で、サンプルタンク、増設多核種除去設備用移送ポンプおよび移送配管等で構成する。なお、増設多核種除去設備で処理された水は、サンプルタンクをバイパスして処理済水貯留用のタンクに移送することも可能な構成となっている。

また、サンプルタンクは、『2.16.1 多核種除去設備』で処理された水を受け入れることも可能な構成とする。

#### (6) 電源設備

電源は、異なる2系統の所内高圧母線から受電できる構成とする。なお、電源が喪失した場合でも、設備からの外部への漏えいは発生することはない。

#### (7) 橋形クレーン

高性能容器を取り扱うための橋形クレーンを設ける。

#### (8) 増設多核種除去設備基礎

増設多核種除去設備基礎は、平面が約6.1m（南北方向）×約8.1m（東西方向）、厚さ約0.3mの鉄筋コンクリート造で、段丘堆積層に直接支持されている。

なお、上屋は、地上高さが約1.6mの鉄骨造で、構造上、基礎から独立した構造となっている。

### 2.16.2.1.6 自然災害対策等

#### (1) 津波

増設多核種除去設備は、アウトターライズ津波が到達しないと考えられるT.P.約28m以上の場所に設置する。

#### (2) 台風

台風による設備の損傷を防止するため、建屋は建築基準法施行令に基づく風荷重に対して設計する。

#### (3) 積雪

積雪による設備の損傷を防止するため、建屋は建築基準法施行令および福島県建築基準法施行規則細則に基づく積雪荷重に対して設計する。

#### (4) 落雷

接地網を設け、落雷による損傷を防止する。

#### (5) 竜巻

竜巻の発生の可能性が予見される場合は、設備の停止・隔離弁の閉止操作等を行い、汚染水の漏えい防止及び漏えい水の拡大防止を図る。

#### (6) 火災

火災発生を防止するため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。また、火災検知性を向上させるため、消防法基準に準拠した火災検出設備を設置するとともに、初期消火のために近傍に消火器を設置する。さらに、避難時における誘導用のために誘導灯を設置する。

### 2.16.2.1.7 構造強度及び耐震性

#### (1) 構造強度

増設多核種除去設備を構成する主要な機器は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則(平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号)」において、廃棄物処理設備に相当すると位置付けられる。これに対する適用規格は、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(以下、「設計・建設規格」という。)で規定され、機器区分クラス3の規定を適用することを基本とする。設計・建設規格の適用が困難な機器については、設計・建設規格適用品と同等の構造強度を有することを基本とする。溶接部については、「JSME S NB-1 発電用原子力設備規格 溶接規格」(以下、「溶接規格」という。)の規定を適用することを基本とし、一部の国内製作機器については、JIS や高圧ガス保安協会基準等に準拠する。また、一部の海外製作機器については、「欧州統一規格(European Norm)」(以下、「EN 規格」という。), CODAP(仏国圧力容器規格)等に準拠する。また、JSME 規格で規定される材料の日本産業規格(JIS)年度指定は、技術的妥当性の範囲において材料調達性の観点から考慮しない場合もある。

なお、クラス3機器に該当しないその他の機器は、JIS 等規格適合品を用いることとし、ポリエチレン管は、JWWA または ISO 規格に準拠する。

また、原子力発電所での使用実績がない材料を使用する場合は、他産業での使用実績等を活用しつつ、必要に応じて試験等を行うことで、経年劣化等の影響についての評価を行う。

#### (2) 耐震性

増設多核種除去設備を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは、2021年9月8日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、その安全機能の重要度、地

震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で、核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

ただし、2021 年 9 月 8 日以前に認可された機器については、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を参考にして耐震クラスを分類している。

耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠する。要求される地震力に対して耐震性を確保できない場合は、その影響について評価を行う。

#### 2.16.2.1.8 機器の故障への対応

##### (1) 機器の単一故障

増設多核種除去設備は、3つの処理系列を有し、電源についても多重化している。そのため、動的機器、電源系統の単一故障が発生した場合においても、その他の処理系列の運転による処理が可能である。

##### (2) 高性能容器の落下

万一の高性能容器からの漏えい時の対応として、回収作業に必要な吸引車等を配備し、吸引車を操作するために必要な要員を確保する。また、漏えい回収訓練及び吸引車の点検を定期的に行う。



## 2.16.2.2 基本仕様

### 2.16.2.2.1 系統仕様

#### (1) 増設多核種除去設備

処理方式 沈殿方式＋吸着材方式

処理容量・処理系列 250m<sup>3</sup>/日 /系列×3 系列 ※

※ 構内に貯留している RO 濃縮塩水を早期に処理するため、運用上可能な範囲（最大で 1.1 倍程度）において処理量を増加して運転する。

### 2.16.2.2.2 機器仕様

#### (1) 容器

##### a. 処理水受入タンク

名 称			処理水受入タンク
種 類	—		たて置円筒形
容 量	m <sup>3</sup> /個		25
最 高 使 用 圧 力	MPa		静水頭
最 高 使 用 温 度	℃		60
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	3100
	胴 板 厚 さ	mm	9
	下 部 鏡 板 厚 さ	mm	9
	高 さ	mm	4740
材 料	胴 板	—	SS400・内面ゴムライニング
	下 部 鏡 板	—	SS400・内面ゴムライニング
個 数	個		2

##### b. 共沈タンク

名 称			共沈タンク
種 類	—		たて置円筒形
容 量	m <sup>3</sup> /個		5
最 高 使 用 圧 力	MPa		静水頭
最 高 使 用 温 度	℃		60
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	1750
	胴 板 厚 さ	mm	6
	下 部 鏡 板 厚 さ	mm	6
	高 さ	mm	4257
材 料	胴 板	—	SS400・内面ゴムライニング
	下 部 鏡 板	—	SS400・内面ゴムライニング
個 数	個		1（1 系列あたり）

c. 供給タンク

名 称		供給タンク	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	5	
最 高 使 用 圧 力	MPa	静水頭	
最 高 使 用 温 度	℃	60	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	1750
	胴 板 厚 さ	mm	6
	下 部 鏡 板 厚 さ	mm	6
	高 さ	mm	3837
材 料	胴 板	—	SS400・内面ゴムライニング
	下 部 鏡 板	—	SS400・内面ゴムライニング
個 数		個	1 (1 系列あたり)

d. 吸着塔入口バッファタンク

名 称		吸着塔入口バッファタンク	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	6	
最 高 使 用 圧 力	MPa	静水頭	
最 高 使 用 温 度	℃	60	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	2000
	胴 板 厚 さ	mm	6
	底 板 厚 さ	mm	20
	高 さ	mm	2826
材 料	胴 板	—	SUS316L
	底 板	—	SUS316L
個 数		個	1 (1 系列あたり)

e. 多核種吸着塔 1～18

名 称		多核種吸着塔 1～5	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	1	
最 高 使 用 圧 力	MPa	1.37	
最 高 使 用 温 度	℃	60	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	1054
	胴 板 厚 さ	mm	18
	上部・下部鏡板厚さ	mm	20
	高 さ	mm	2550
材 料	胴 板	—	SUS316L
	鏡 板	—	SUS316L
個 数	個	5（1系列あたり）	

名 称		多核種吸着塔 6～14	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	1	
最 高 使 用 圧 力	MPa	1.37	
最 高 使 用 温 度	℃	60	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	1050
	胴 板 厚 さ	mm	16
	さら形ふた板厚さ	mm	16
	下 部 鏡 板 厚 さ	mm	16
	高 さ	mm	2553
材 料	胴 板	—	SM490A・内面ゴムライニング
	さ ら 形 ふ た 板	—	SM490A・内面ゴムライニング
	下 部 鏡 板	—	SM490A・内面ゴムライニング
個 数	個	9（1系列あたり）	

名 称		多核種吸着塔 15～18	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	2.4	
最 高 使 用 圧 力	MPa	1.37	
最 高 使 用 温 度	℃	60	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	1350
	胴 板 厚 さ	mm	16
	さら形ふた板厚さ	mm	19
	下 部 鏡 板 厚 さ	mm	19
	高 さ	mm	3011
材 料	胴 板	—	SM490A・内面ゴムライニング
	さ ら 形 ふ た 板	—	SM490A・内面ゴムライニング
	下 部 鏡 板	—	SM490A・内面ゴムライニング
個 数		個	4（1系列あたり）

f. 移送タンク

名 称		移送タンク	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	27	
最 高 使 用 圧 力	MPa	静水頭	
最 高 使 用 温 度	℃	60	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	3100
	胴 板 厚 さ	mm	9
	底 板 厚 さ	mm	22
	高 さ	mm	4131
材 料	胴 板	—	SS400・内面ゴムライニング
	底 板	—	SS400・内面ゴムライニング
個 数		個	2

g. サンプルタンク（増設多核種除去設備用処理済水一時貯留タンク）

名 称		サンプルタンク	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	1235	
最 高 使 用 圧 力	MPa	静水頭	
最 高 使 用 温 度	℃	40	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	11000
	胴 板 厚 さ	mm	12
	底 板 厚 さ	mm	12
	高 さ	mm	13000
材 料	胴 板	—	SM400C
	底 板	—	SM400C
個 数		個	3

h. 炭酸ソーダ溶解槽

名 称		炭酸ソーダ溶解槽	
種 類	—	角形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	1.3	
最 高 使 用 圧 力	MPa	静水頭	
最 高 使 用 温 度	℃	60	
主 要 寸 法	内 寸	mm	1188 × 1188
	側 板 厚 さ	mm	6
	底 板 厚 さ	mm	6
	高 さ	mm	1200
材 料	側 板	—	SS400・内面ゴムライニング
	底 板	—	SS400・内面ゴムライニング
個 数		個	3

i. 炭酸ソーダ貯槽

名 称			炭酸ソーダ貯槽
種 類	—		たて置円筒形
容 量	m <sup>3</sup> /個		33
最 高 使 用 圧 力	MPa		静水頭
最 高 使 用 温 度	℃		60
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	3100
	胴 板 厚 さ	mm	9
	底 板 厚 さ	mm	22
	高 さ	mm	5022
材 料	胴 板	—	SUS316L
	底 板	—	SUS316L
個 数		個	2

j. 反応／凝集槽

名 称			反応／凝集槽
種 類	—		たて置円筒形
容 量	m <sup>3</sup> /個		11
最 高 使 用 圧 力	MPa		静水頭
最 高 使 用 温 度	℃		60
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	2300
	胴 板 厚 さ	mm	6
	鏡 板 厚 さ	mm	6
	高 さ	mm	4400
材 料	胴 板	—	SS400・内面ゴムライニング
	鏡 板	—	SS400・内面ゴムライニング
個 数		個	1 個／系列（2 系列に設置）

k. 沈殿槽

名 称			沈殿槽
種 類	—		たて置円筒形
容 量	m <sup>3</sup> /個		12
最 高 使 用 圧 力	MPa		静水頭
最 高 使 用 温 度	℃		60
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	2300
	胴 板 厚 さ	mm	6
	鏡 板 厚 さ	mm	6
	高 さ	mm	4400
材 料	胴 板	—	SUS316L
	鏡 板	—	SUS316L
個 数	個		1 個／系列（2 系列に設置）

1. 上澄み水タンク

名 称			上澄み水タンク
種 類	—		たて置円筒形
容 量	m <sup>3</sup> /個		2
最 高 使 用 圧 力	MPa		静水頭
最 高 使 用 温 度	℃		60
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	1200
	胴 板 厚 さ	mm	6
	鏡 板 厚 さ	mm	6
	高 さ	mm	3800
材 料	胴 板	—	SUS316L
	鏡 板	—	SUS316L
個 数	個		1 個／系列（2 系列に設置）

(2) ポンプ

a. 供給ポンプ 1 (完成品)

台 数	1 台 (1 系列あたり)
容 量	10.5 m <sup>3</sup> /h

b. 供給ポンプ 2 (完成品)

台 数	1 台 (1 系列あたり)
容 量	11.0 m <sup>3</sup> /h

c. 循環ポンプ (完成品)

台 数	1 台 (1 系列あたり)
容 量	313 m <sup>3</sup> /h

d. ブースタポンプ 1 (完成品)

台 数	1 台 (1 系列あたり)
容 量	11.0 m <sup>3</sup> /h

e. ブースタポンプ 2 (完成品)

台 数	1 台 (1 系列あたり)
容 量	11.5 m <sup>3</sup> /h

f. 移送ポンプ (完成品)

台 数	2 台
容 量	35 m <sup>3</sup> /h

g. 増設多核種除去設備用移送ポンプ (完成品)

台 数	2 台
容 量	50 m <sup>3</sup> /h

h. 炭酸ソーダ溶解槽移送ポンプ (完成品)

台 数	3 台
容 量	1.8 m <sup>3</sup> /h

i. 炭酸ソーダ貯槽 1 供給ポンプ (完成品)

台 数	3 台
容 量	0.2 m <sup>3</sup> /h



j. 炭酸ソーダ貯槽 2 移送ポンプ（完成品）

台 数	2 台
容 量	20 m <sup>3</sup> /h

k. スラリー循環ポンプ

台 数	1 台／系列（2 系列に設置）
容 量	13 m <sup>3</sup> /h

l. 上澄み水ポンプ

台 数	1 台／系列（2 系列に設置）
容 量	12 m <sup>3</sup> /h

(3) その他機器

a. クロスフローフィルタ

台 数	6 台（1 系列あたり）
-----	--------------

b. 出口フィルタ

台 数	1 台（1 系列あたり）
-----	--------------

(4) 配管

主要配管仕様 (1 / 8)

名 称	仕 様	
RO後濃縮塩水系受タンク移送流路分岐部から処理水受入タンク入口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 0.98MPa 60℃ 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 EPDM 0.98MPa 60℃
処理水受入タンク出口から 共沈タンク入口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 50A/Sch. 40 32A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 0.98MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 EPDM 静水頭 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 0.98MPa 60℃
共沈タンク出口から 供給タンク入口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A 相当 EPDM 静水頭 60℃

主要配管仕様（２／８）

名 称	仕 様	
供給タンク出口から クロスフローフィルタ循環ラインまで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 32A/Sch. 40 SUS316L 0.98MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力  最高使用温度	50A 相当 EPDM 静水頭 0.98MPa 60℃
クロスフローフィルタ循環ライン (鋼管)	呼び径／厚さ    材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A/Sch. 40 150A/Sch. 40 200A/Sch. 40 250A/Sch. 40 300A/Sch. 40 300A 相当/3mm SUS316L 0.98MPa 60℃
クロスフローフィルタ出口から 吸着塔入口バッファタンク入口まで (鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 50A/Sch. 80 SUS316L 0.98MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 0.98MPa 60℃
吸着塔入口バッファタンク出口から 多核種吸着塔 5 下流 塩酸供給点まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	32A/Sch. 40 50A/Sch. 40 SUS316L 1.37MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力  最高使用温度	50A 相当 EPDM 静水頭 1.37MPa 60℃

主要配管仕様（3／8）

名 称	仕 様	
多核種吸着塔 5 下流 塩酸供給点から 移送タンクまで (鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	32A/Sch. 40 50A/Sch. 40 50A/Sch. 80 80A/Sch. 40 STPG370 + ライニング <sup>※</sup> 1. 37MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 1. 37MPa 60℃
移送タンク出口から サンプルタンク入口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch. 40 STPG370 + ライニング <sup>※</sup> 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A/Sch. 40 65A/Sch. 40 80A/Sch. 40 100A/Sch. 40 STPG370 + ライニング <sup>※</sup> 0. 98MPa 60℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 SUS316L 0. 98MPa 60℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0. 98MPa 40℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 EPDM 静水頭 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A 相当 EPDM 0. 98MPa 60℃

主要配管仕様（４／８）

名 称	仕 様	
サンプルタンク出口から 多核種処理水貯槽，RO 濃縮水貯槽または Sr 処理水貯槽まで※ <sup>2</sup> (鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 80A/Sch. 40 50A/Sch. 40 SUS316L 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 SUS316L 0.98MPa 60℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPG370 + ラインゲ <sup>※</sup> 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 20S SUS316LTP 0.98MPa 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径  材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A 相当 100A 相当 ポリエチレン 静水頭 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 合成ゴム 0.98MPa 40℃
増設多核種除去設備用移送ポンプスキッドから 増設多核種除去設備入口弁スキッドまで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

主要配管仕様（５／８）

名 称	仕 様	
移送ポンプ出口分岐部から 炭酸ソーダ溶解槽まで (鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch. 40 40A/Sch. 40 20A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 0. 98MPa 60℃
(鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	20A/Sch. 40 15A/Sch. 40 SUS316L 0. 98MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A 相当 EPDM 0. 98MPa 60℃
炭酸ソーダ溶解槽から 炭酸ソーダ貯槽まで (鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 40A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A/Sch. 40 40A/Sch. 80 15A/Sch. 40 SUS316L 0. 5MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力  最高使用温度	40A 相当 PTFE 静水頭 0. 5MPa 60℃

主要配管仕様（6／8）

名 称	仕 様	
炭酸ソーダ貯槽から 共沈タンクまで (鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A/Sch. 40 65A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch. 40 40A/Sch. 40 25A/Sch. 40 SUS316L 0.5MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A 相当 PTFE 静水頭 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A 相当 PTFE 0.5MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A 相当 EPDM 0.5MPa 60℃

主要配管仕様（7／8）

名 称	仕 様	
炭酸ソーダ貯槽から 多核種除去設備建屋入口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch. 40 65A/Sch. 40 50A/Sch. 40 SUS316L 0. 5MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A 相当 PTFE 静水頭 60℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	75A 相当 ポリエチレン 0. 5MPa 60℃
処理水受入タンク移送流路分岐部から 反応／凝集槽入口まで※ <sup>3</sup> (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 STPG370 + ラインゲ <sup>®</sup> 0. 98MPa 60℃
反応／凝集槽出口から沈殿槽入口 まで※ <sup>3</sup> (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A 相当 EPDM 静水頭 60℃
沈殿槽出口から 上澄み水タンク入口まで※ <sup>3</sup> (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A 相当 EPDM 静水頭 60℃



主要配管仕様（８／８）

名 称	仕 様	
上澄み水タンク出口から供給タンク移送流路合流部まで※ <sup>3</sup> (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 32A/Sch. 40 SUS316L 0.98MPa 60℃
沈殿槽出口から反応／凝集槽まで※ <sup>3</sup> (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 40A/Sch. 40 32A/Sch. 40 25A/Sch. 40 SUS316L 0.98MPa 60℃
クロスフローフィルタ循環ライン分岐部から反応／凝集槽まで※ <sup>3</sup> (鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A/Sch. 40 25A/Sch. 40 15A/Sch. 40 SUS316L 0.98MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径  材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A 相当 40A 相当 EPDM 0.98MPa 60℃
炭酸ソーダ貯槽移送流路分岐部から反応／凝集槽入口まで※ <sup>3</sup> (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 40 SUS316L 0.5MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A 相当 EPDM 0.5MPa 60℃

※1：現場施工状況により，配管仕様（呼び径，厚さ，材質）の一部を使用しない場合がある。

※2：K4 エリアタンクへの配管の一部は，「Ⅱ 2.50 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設」と兼用する。

※3：2 系列に設置

(5) 放射線監視装置

放射線監視装置仕様

項目	仕様
名称	エリア放射線モニタ
基数	2 基
種類	半導体検出器
取付箇所	増設多核種除去設備設置エリア
計測範囲	$10^{-3}$ mSv/h ～ $10^1$ mSv/h

2. 16. 2. 3 添付資料

添付資料－ 1 ： 全体概要図及び系統構成図

添付資料－ 2 ： 増設多核種除去設備基礎の構造強度に関する検討結果

添付資料－ 3 ： 増設多核種除去設備の耐震性に関する説明書

添付資料－ 4 ： 増設多核種除去設備の強度に関する説明書

添付資料－ 5 ： 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止に関する計算書

添付資料－ 6 ： 工事工程表

添付資料－ 7 ： 増設多核種除去設備の具体的な安全確保策

添付資料－ 8 ： 増設多核種除去設備の確認試験結果について

添付資料－ 9 ： 増設多核種除去設備に係る確認事項

# 福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画

## 別冊集

本資料は、「福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画」の内容を補足するものです。

本資料は、東京電力ホールディングス株式会社またはその他の企業の秘密情報が含まれている可能性があります。当社の許可なく本資料の内容を本来の目的以外に使用すること、ならびに第三者に開示、公開する行為を禁止します。

東京電力ホールディングス株式会社

## 目次

### 別冊 1 原子炉圧力容器・格納容器注水設備に係る補足説明

#### I 原子炉圧力容器・格納容器注水設備の構造強度及び耐震性について

### 別冊 2 原子炉格納容器内窒素封入設備に係る補足説明

#### I 原子炉格納容器内窒素封入設備の構造強度及び耐震性について

### 別冊 3 使用済燃料プール設備に係る補足説明

#### I 使用済燃料プール設備の構造強度及び耐震性について

### 別冊 4 原子炉圧力容器・格納容器ホウ酸水注入設備に係る補足説明

#### I 原子炉圧力容器・格納容器ホウ酸水注入設備の構造強度及び耐震性について

### 別冊 5 汚染水処理設備等に係る補足説明

#### I 汚染水処理設備等の構造強度及び耐震性について

#### II 2.5 汚染水処理設備等の寸法許容範囲について

### 別冊 6 原子炉格納容器ガス管理設備に係る補足説明

#### I 原子炉格納容器ガス管理設備の構造強度及び耐震性について

### 別冊 7 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備に係る補足説明

#### I 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ついて

#### II 燃料の健全性確認及び取り扱いに関する補足書

#### III 3号機 構内用輸送容器に関する要目表

#### IV 構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書（4号機）（添付資料－2－1－3）に関する補足書

#### V 構内用輸送容器（NFT－12B 型）の確認項目に係わる寸法及び材料

#### VI 破損燃料用輸送容器（7 体）に係る安全機能及び構造強度に関する説明書（3号機）（添付資料－2－2－1）に関する補足書

#### VII 破損燃料用輸送容器（2 体）に係る安全機能及び構造強度に関する説明書（3号機）（添付資料－2－2－2）に関する補足書

### 別冊 8 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に係る補足説明

#### I 乾式キャスク仮保管設備の構造強度及び耐震性について

#### II 乾式キャスク仮保管設備に関する要目表

別冊 9 放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設に係る補足説明

- I 放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設の構造強度及び耐震性について

別冊 1 2 サブドレン他水処理施設に係る補足説明

- I サブドレン他水処理施設の耐震性に係る補足説明
- II サブドレン集水設備の強度に係る補足説明
- III サブドレン他浄化設備の強度に係る補足説明
- IV サブドレン他移送設備の強度に係る補足説明
- V 地下水ドレン集水設備の強度に係る補足説明

別冊 1 3 放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設（雑固体廃棄物焼却設備）に係る補足説明

- I 雑固体廃棄物焼却設備の耐震性に係る補足説明
- II 雑固体廃棄物焼却設備の強度に係る補足説明
- III 雑固体廃棄物焼却設備の公称値の許容範囲について

別冊 1 4 雨水処理設備等に係わる補足説明

- I 雨水処理設備等の構造強度・耐震性に係る補足説明
- II 雨水処理設備等の寸法許容範囲について
- III 雨水処理設備等の耐圧検査条件について

別冊 1 5 使用済燃料共用プール設備に係る補足説明

- I 使用済燃料貯蔵ラックおよび使用済燃料収納缶に係る要目表
- II 使用済燃料貯蔵ラック（49 体）の耐震性について
- III 使用済燃料貯蔵ラック（25 体）の核燃料物質が臨界に達しないことを説明する書類に係る補足説明
- IV 使用済燃料貯蔵ラック（25 体）の耐震性について

別冊 1 6 建屋内 R0 循環設備および追設する関連機器に係る補足説明

- I 建屋内 R0 循環設備の構造強度評価に係る補足説明
- II 建屋内 R0 循環設備の耐震性評価に係る補足説明
- III 追設する関連機器の構造強度・耐震性評価に係る補足説明

別冊 1 7 5・6 号機 燃料取扱系及び燃料貯蔵設備に係る補足説明

- I 燃料の取扱い・耐震性について

別冊 18 R0 濃縮水処理設備に係る補足説明

- I R0 濃縮水処理設備の構造強度及び耐震性について

別冊 19 大型機器除染設備に係る補足説明

- I 大型機器除染設備の強度に係る補足説明
- II 大型機器除染設備の公称値の許容範囲について

別冊 20 電気系統設備に係る補足説明

- I 所内共通 M/C5A/B の耐震性評価結果
- II 所内共通 M/C6A/B の耐震性評価結果
- III 所内共通 M/C7A/B の耐震性評価結果

別冊 21 放射性物質分析・研究施設 第1棟に係る補足説明

- I 放射性物質分析・研究施設 第1棟の構造強度について
- II 放射性物質分析・研究施設 第1棟の耐震性について
- III 第1棟の設備の公称値の許容範囲について

別冊 22 油処理装置に係る補足説明

- I 油処理装置の耐震性に関する補足説明
- II 油処理装置の強度に係る補足説明
- III 油処理装置の公称値の許容範囲について

別冊 23 増設雑固体廃棄物焼却設備に係る補足説明

- I 増設雑固体廃棄物焼却設備の耐震性に係る補足説明
- II 増設雑固体廃棄物焼却設備の強度に係る補足説明
- III 増設雑固体廃棄物焼却設備の公称値の許容範囲について

別冊 24 5・6号機 放射性液体廃棄物処理系に係る補足説明

- I 5・6号機 放射性液体廃棄物処理系のうち、仮設設備（滞留水貯留設備）の構造強度及び耐震性について

別冊 26 3号機原子炉格納容器内取水設備に係る補足説明

- I 3号機原子炉格納容器内取水設備の構造強度及び耐震性について

別冊 2 7 ALPS 処理水希釈放出設備に係る補足説明

- I ALPS 処理水希釈放出設備の構造強度について
- II ALPS 処理水希釈放出設備の公称値の許容範囲について

別冊 2 8 2 号機 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備に係る補足説明

- I 燃料取り出し用構台 補足説明資料
- II 換気設備 換気風量について
- III 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耐震性についての計算書
- IV 2 号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台に対する 1/2Ss450 評価について
- V 2 号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書
- VI 燃料取扱設備の耐震性についての計算書

## 別冊 2 8

2 号機 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備に係る補足説明



本資料は、2号機使用済燃料プールからの燃料取り出しを目的とした設備に係る実施計画面談資料のうち、実施計画本文や添付資料の補足として必要な部分、及び評価の根拠を示すための計算書を取り纏めたものである。

## I 燃料取り出し用構台 補足説明資料

## 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

### 燃料取り出し用構台 補足説明資料

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

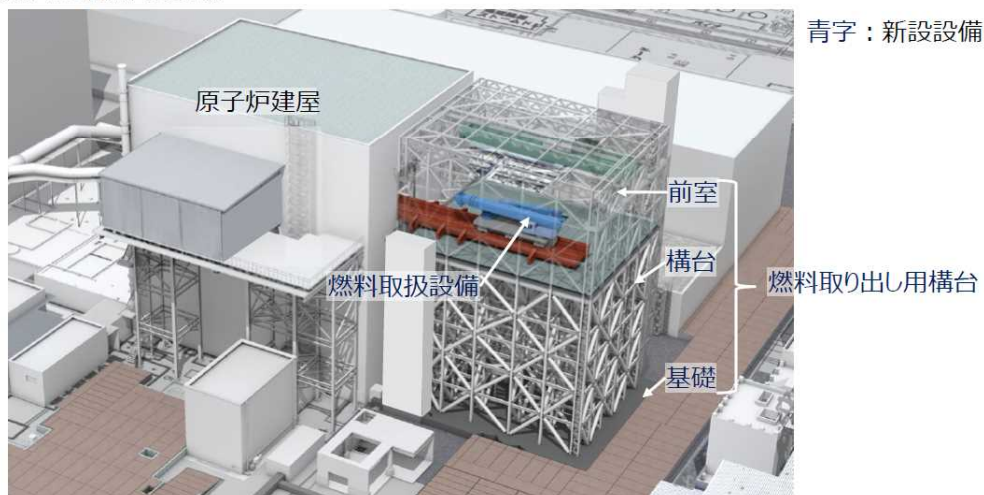
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

### 概要（燃料取り出し用構台）

TEPCO

- 原子炉建屋上部を全面解体せず，建屋南側に燃料取り出し用構台を設置した上で，南側外壁の小開口から燃料と輸送容器を取り扱う。
- ブーム型クレーン式の燃料取扱設備を採用することで，南側外壁の開口部は小さくなり，原子炉建屋の構造部材のうち柱と梁の解体を回避できる。
- 燃料取扱設備は，燃料取り出し用構台上での組立・保守作業が可能となることから，作業員被ばくを低減できる。



燃料取り出し用構台概念図（鳥瞰図）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.1.1 一般事項（燃料取り出し用構台）

TEPCO

- 2号機燃料取り出し用構台は、原子炉建屋の南側に設置される基礎・構台・前室と、原子炉建屋に延伸して設置されるランウェイガーダ、弾性支承、オイルダンパから構成され、改良地盤上に設置する。また、ランウェイガーダ上を燃料取扱設備が走行する。ここでは、本燃料取り出し用構台の構造強度と耐震性について検討を行う。なお、2021年9月8日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で、核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行う\*とともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とし、具体的にはB+クラスに分類される燃料取出設備の間接支持構造物として、B+クラス相当の地震力に対する耐震評価を行う。

\*：耐震設計における耐震クラス分類は、「令和3年2月13日の福島県沖の地震を踏まえた東京電力福島第一原子力発電所の耐震設計における地震動とその適用の考え方（2回目）」（原子力規制庁、令和3年9月8日）に基づき、地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響を行い、BクラスもしくはB+クラスと判断されるが、通常のBクラスよりも高い耐震性が求められるB+クラスの対象設備の要件として挙げられる使用済燃料を移動させるために必要な燃料取出設備の間接支持構造物としてB+クラス相当とする。なお、耐震クラス分類に係わる被ばく評価については、「別冊28 2号機使用済燃料プールからの燃料取り出し設備に係る補足説明」（以下、別冊28と記載）[P113～P100](#)（[V 2号燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書](#)）参照。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.1.1 一般事項（燃料取り出し用構台）

TEPCO

- 燃料取り出し用構台の構造強度は一次設計に対応した許容応力度設計を実施し、耐震性は検討用地震動（最大加速度900gal）の1/2の最大加速度450galの地震動（以下、1/2Ss450と記載）に対する地震応答解析を実施し、燃料取り出し用構台の損傷が原子炉建屋、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。ここで、波及的影響の確認は、燃料取り出し用構台が崩壊機構に至らないことを確認する。検討用地震動（最大加速度900gal）は「東京電力福島第一原子力発電所の外部事象に対する防護の検討について」（東京電力株式会社、平成26年10月3日、特定原子力施設監視・評価検討会（第27回））にて提示した地震動とする。
- なお、2号機燃料取り出し用構台については、実施計画変更認可申請の審査期間中に、適用地震動見直しが行われたことから、一部の評価については、「福島第一原子力発電所『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果中間報告書」（東京電力株式会社、平成20年3月31日）（以下、バックチェックと記載）にて作成した解放基盤表面で定義される新規制基準によらない従来のSs（最大加速度600gal）（以下、Ss600と記載）に対する地震応答解析結果との比較から耐震性を確認する。
- 上記1/2Ss450を用いた評価については、「IV 2号燃料取り出し関連設備に対する1/2Ss450評価について」に記載するため、本資料（I 燃料取り出し用構台 補足説明資料）への記載は省略し、Ss600（本資料では基準地震動Ssと記載）に対する評価を記載する。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



#### 4.1.2 構造概要（燃料取り出し用構台）

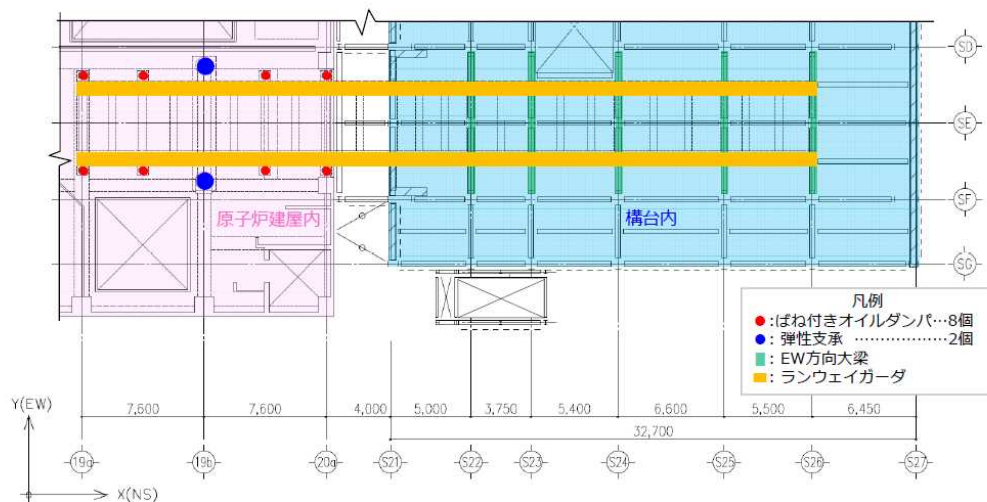
TEPCO

- 燃料取り出し用構台は、東西方向27.0m、南北方向32.7m、高さ44.75mの矩形架構で構造種別は鉄骨造である。
- 1. 原子炉建屋と燃料取り出し用構台の間にオイルダンパ（水平棟間）を設置する。
- 2. 構台は5層の柱・梁・ブレース及びオイルダンパ（鉛直）から成る架構とし、オイルダンパ（鉛直）はブレース状に配置する。
- 3. 前室は、柱・梁・ブレース及び屋根トラスから成る架構とする。
- 4. ランウェイガーダは、原子炉建屋南側外壁に開口を設け、構台と原子炉建屋に跨がる形で設置する。構台内ではEW方向の大梁に接続し、水平方向、鉛直方向ともに支持する。原子炉建屋内では水平方向の支持は行わないため、構台からの片持形式であり、鉛直方向は弾性支承で支持する。なお、弾性支承と原子炉建屋床面の固定は行わない。また、ランウェイガーダと原子炉建屋床面との間にばね付きオイルダンパを設置する。ばね付きオイルダンパの下面にはすべり材を取付け、原子炉建屋床面上に設置したすべり板との間で接触させ、水平方向に滑動可能な構造とする。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.1.2 構造概要（燃料取り出し用構台）

TEPCO



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## オイルダンパ、弾性支承の設置目的・役割

TEPCO

### ■ オイルダンパ（水平棟間）

原子炉建屋は剛構造（＝短周期）であり，長周期の燃料取り出し用構台と地震時の揺れ方が異なるため，2棟の相対変位を制御するとともに，構台上部の変形を抑制するためにオイルダンパを棟間に計4台設置する。

### ■ オイルダンパ（鉛直）

地震時のランウェイガーダの水平方向加速度応答スペクトルの低減を目的として，構台にオイルダンパをブレース状に計98台配置し構台の減衰の付与を図る。

### ■ ばね付きオイルダンパ

ランウェイガーダ～オペフロ床間にばね付きオイルダンパを計8台設置し，ランウェイガーダの鉛直方向加速度応答スペクトルの低減を図る。原子炉建屋床面との固定を行わないことにより，鉛直方向（原子炉建屋に対して下向き挙動時）のみ減衰力が作用し，水平方向には減衰力は作用しない。

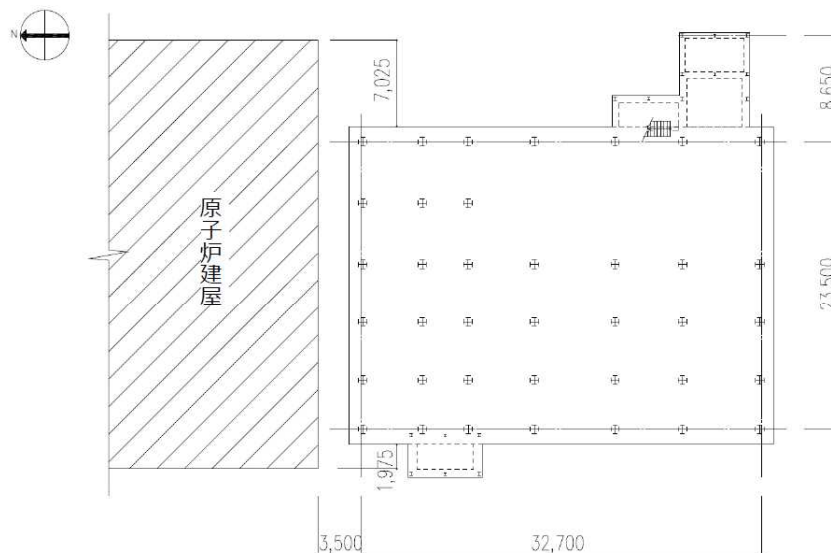
### ■ 弾性支承

ランウェイガーダ及び燃料取扱設備の重量を原子炉建屋内で支持する支点とするため，計2台設置する。免震で用いる弾性支承を用い，原子炉建屋床面との固定を行わないことにより，鉛直方向力（圧縮）を支持し，水平方向力を負担しない機構としている。また，軸剛性が剛でなく積層ゴムの剛性であることにより，燃料取扱設備の地震時鉛直方向の加速度応答低減の役割も有する。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.1.2 構造概要（燃料取り出し用構台）

TEPCO



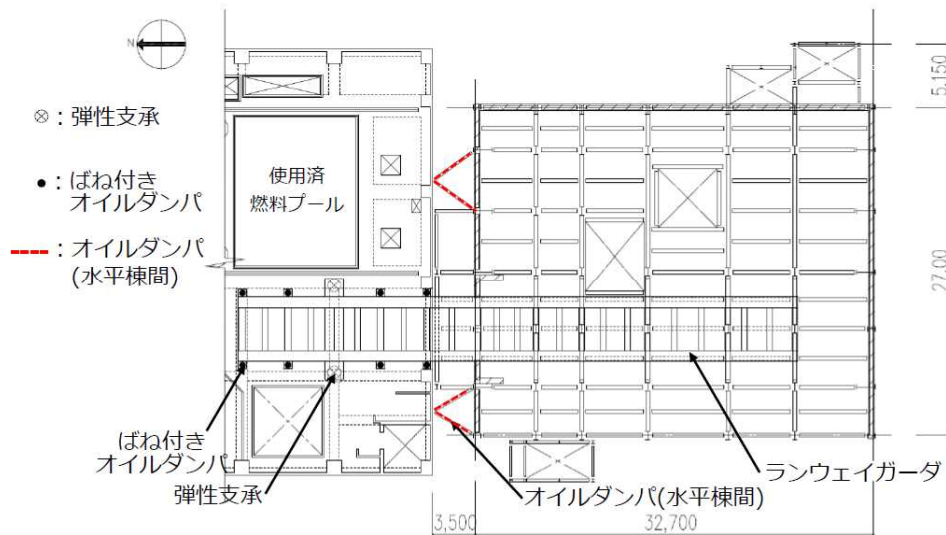
(a) 1F伏図 (G.L.2,060)

図 4.1.2-1 燃料取り出し用構台の概要（単位：mm）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.1.2 構造概要（燃料取り出し用構台）

TEPCO



(b) 6F伏図 (G.L.29,420)

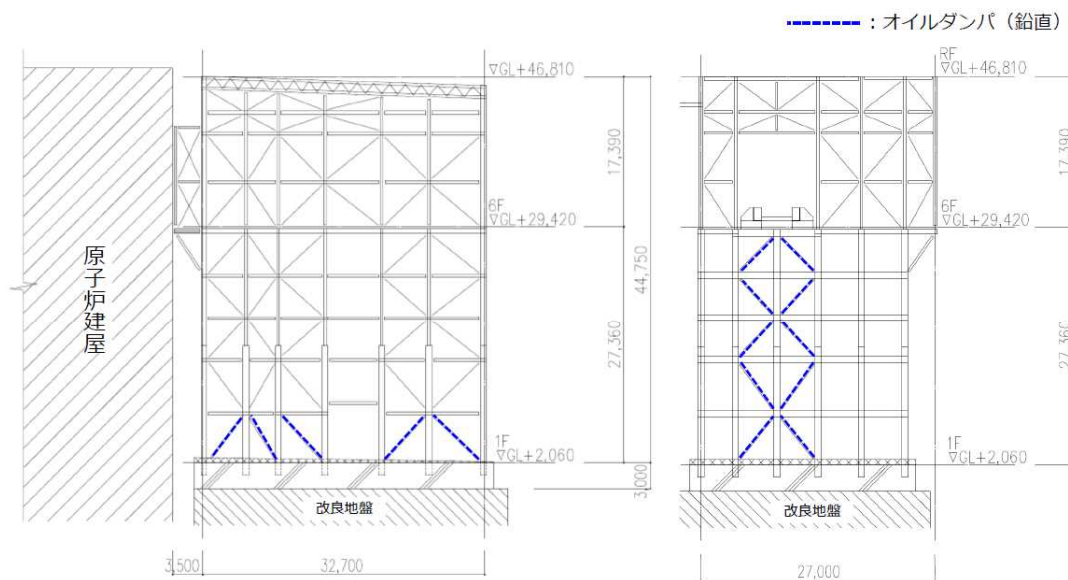
図 4.1.2-2 燃料取り出し用構台の概要 (単位: mm)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.1.2 構造概要（燃料取り出し用構台）

TEPCO



(a) 構台最西側軸組図

(b) 構台最北側軸組図

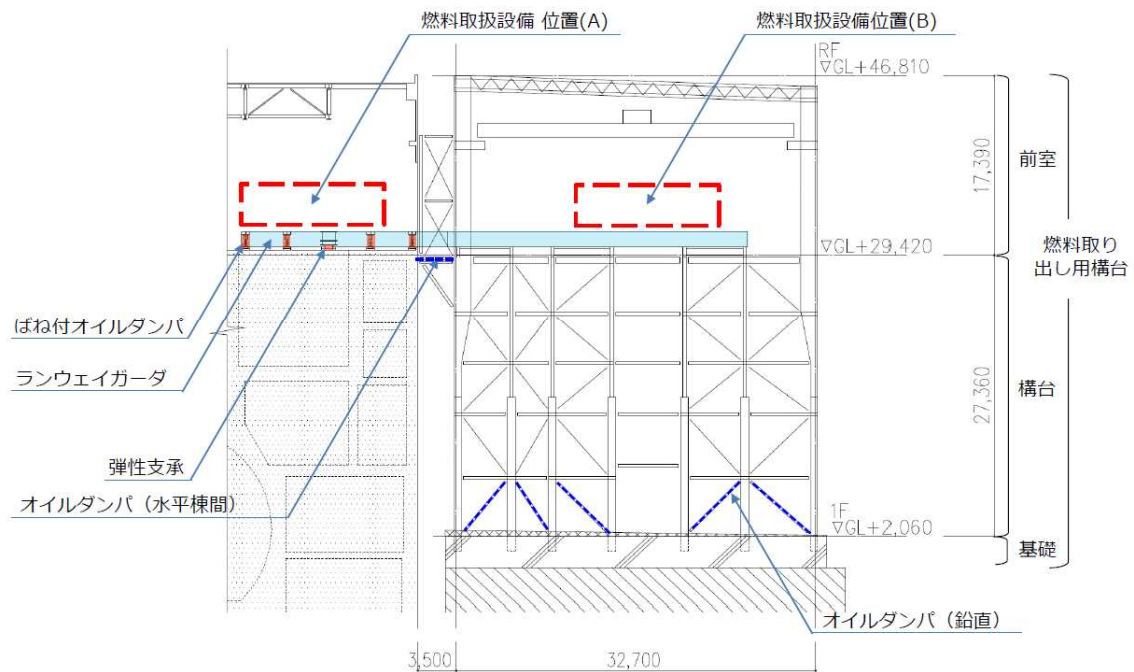
図 4.1.2-3 燃料取り出し用構台の概要 (単位: mm)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## オイルダンパ，弾性支承の配置

TEPCO

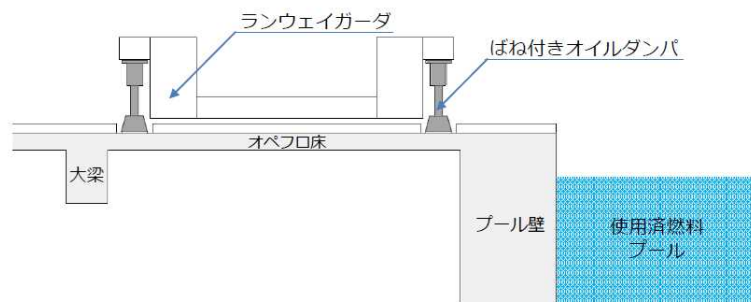


ランウェイガード部断面図

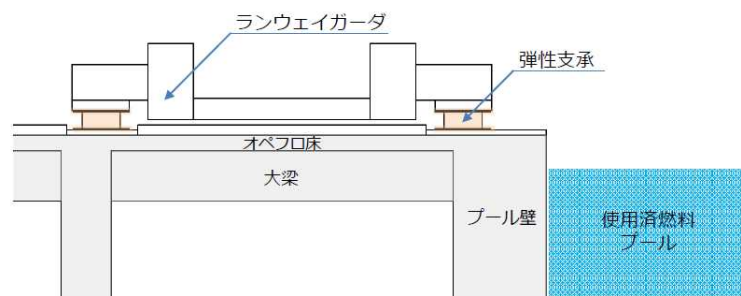
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## オイルダンパ，弾性支承の配置

TEPCO



ばね付きオイルダンパ部



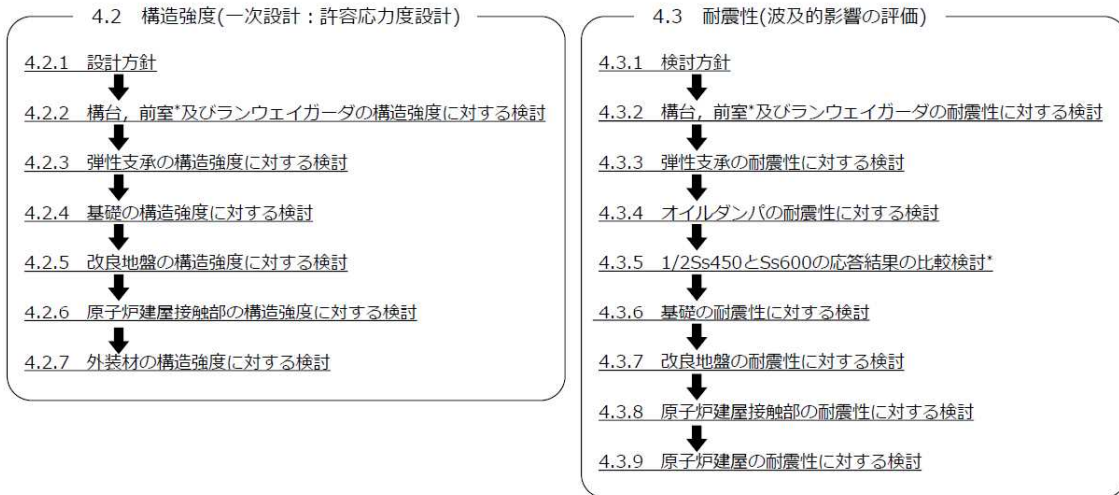
弾性支承部

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



### 4.1.3 検討フロー

TEPCO



\*：「IV 2号燃料取り出し関連設備に対する1/2Ss450評価について」に記載する

図 4.1.3-1 燃料取り出し用構台の検討フロー

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

### 4.2.1 設計方針（構造強度）

TEPCO

構造強度の検討は、構台及びランウェイガーダ、弾性支承、基礎及び改良地盤について許容応力度設計を実施する。

表 4.2.1-1(1) 燃料取り出し用構台の物性値及び許容応力度

材料定数				
部位	材料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )
架 構	鉄骨	2.05×10 <sup>5</sup>	0.3	77.0
床・基礎スラブ	コンクリート	2.27×10 <sup>4</sup>	0.2	23.0

コンクリートの許容応力度				(単位：N/mm <sup>2</sup> )		
設計基準強度	長期			短期		
24	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
	8.0	－	0.73	16.0	－	1.095

[引用文献]

- 鋼構造設計規準 —許容応力度設計法— (日本建築学会2005年 9月)
- 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会2018年12月)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.2.1 設計方針

TEPCO

表 4.2.1-1(2) 燃料取り出し用構台の物性値及び許容応力度

鉄筋の許容応力度		(単位：N/mm <sup>2</sup> )			
記号	鉄筋径	長期		短期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD295	—	195	195	295	295
SD345	D29未満	215	195	345	345
	D29以上	195			

構造用鋼材の許容応力度		(単位：N/mm <sup>2</sup> )	
板厚	材料	基準強度F	許容応力度
T≤40mm	SGLCC	205	JIS G 3321に従い、左記Fの値（降伏点又は耐力）より求める
	SS400	235 *	「建設省告示第2464号」に従い、左記Fの値より求める
	SM490A, STK490	325 *	
	SN490B, SN490C	325 *	
T>40mm	SN490B	295 *	*：終局強度は基準強度F値の1.1倍とする
	TMCP325	325	

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.2.1 設計方針

TEPCO

表 4.2.1-2 弾性支承の物性値

弾性支承の物性値					
種別	ゴム			鋼 材	
積層ゴム	ゴム径 (mm)	鉛直剛性 (×10 <sup>3</sup> kN/m)	水平剛性 (×10 <sup>3</sup> kN/m)	フランジ プレート	内部鋼板
	750	2140	0*	SS400	SS400

\*：ローラー支承と仮定。

ブリヂストン「建築免震用積層ゴム製品仕様一覧 2019 VoL.1」による。

表 4.2.1-3 改良地盤・支持地盤の許容応力度

改良地盤の許容応力度				(単位：kN/m <sup>2</sup> )		
設計基準強度=3000* <sup>1</sup>	長期			短期		
	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
改良地盤	1000	－	200	2000	－	400
断面欠損を考慮* <sup>2</sup>	980	－	150	1960	－	300

\*<sup>1</sup>：設計圧縮強度 = 5000kN/m<sup>2</sup>

\*<sup>2</sup>：「JEAC4616-2009」に準拠し、断面欠損を鉛直方向に2%、せん断方向に25%考慮した。

支持地盤の許容支持力		(単位：kN/m <sup>2</sup> )	
種別	長期* <sup>3</sup>	短期* <sup>3</sup>	
泥岩（岩盤）	1960	3920	

\*<sup>3</sup>：「福島第一原子力発電所第4号機工事計画認可申請書」による。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.2.1 設計方針

### ■ 荷重

#### • 鉛直荷重 (VL)

燃料取り出し用構台に作用する鉛直方向の荷重で、固定荷重、機器荷重、配管荷重及び積載荷重とする。

#### • 燃料取扱設備荷重 (CL)

構内用輸送容器揚重時を想定し、構内用輸送容器を含んだ重量とする。

表 4.2.1-4 燃料取扱設備荷重

位置	合計重量(t)
原子炉建屋内(A)	310
前室内(B)	310

## 4.2.1 設計方針

#### • 積雪荷重 (SL)

積雪荷重は建築基準法施行令第86条及び福島県建築基準法施行規則細則に準拠し以下の条件とする。

なお、国土交通省告示594号による多雪区域以外の区域における積雪後の降雨を見込んだ割増係数を乗じた積雪荷重を考慮する。

積雪量：30cm，単位荷重：20N/m<sup>2</sup>/cm

#### • 風圧力 (WL)

風圧力は建築基準法施行令第87条および建設省告示第1454号に基づき、基準風速を30m/s、地表面粗度区分Ⅱとして算定する。

表 4.2.1-5 速度圧の算定結果

建物高さ* H(m)	平均風速の 鉛直分布係数 Er	ガスト 影響係数 Gf	建物高さと粗度 区分による係数 E	基準風速 Vo(m/s)	速度圧 q(N/m <sup>2</sup> )
46.81	1.26	2.00	3.16	30	1707

\*：建物高さは、安全側に水上鉄骨天端とする。

#### 4.2.1 設計方針

TEPCO

• 地震荷重 (K)

燃料取り出し用構台に作用させる地震荷重は、G.L.+2.06m（構台基礎上端レベル）を基準面とした構台の水平地震力の算定結果より設定する。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_o$$

ここで、

$Q_i$  : 層せん断力 (kN)

$n$  : 施設の重要度に応じた係数

建築基準法で定める地震力の1.5倍を考慮する。

$C_i$  : 地震層せん断力係数  $W_i$  : 当該部分が支える重量 (kN)

$Z$  : 地震地域係数 ( $Z=1.0$ )  $R_t$  : 振動特性係数 ( $R_t=0.8$ )

$A_i$  : 地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数で、燃料取り出し用構台の固有値を用いたモーダル解析法（二乗和平方根法）により求める。

$C_o$  : 標準せん断力係数 ( $C_o=0.2$ )

$i$ 層の水平震度 $k_i$ は、下式によって算定する。

$$P_i = Q_i - Q_{i-1}$$

$$k_i = P_i / w_i$$

ここで、

$P_i$  : 当該階とその直下階の水平地震力の差 (kN)

$w_i$  : 各階重量 (kN)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.2.1 設計方針

TEPCO

表 4.2.1-6 燃料取り出し用構台の水平震度の算定結果

標高 G.L.(m)	各階重量 $w_i$ (kN)	NS方向		EW方向	
		水平地震力 $P_i$ (kN)	水平震度 $k_i$	水平地震力 $P_i$ (kN)	水平震度 $k_i$
46.81	3523.2	1068	0.304	1147	0.326
46.81~40.42	2275.1	655	0.288	719	0.317
40.42~34.82	1316.1	354	0.269	376	0.286
34.82~29.42	22168.4	5631	0.254	6033	0.273
29.42~24.30	2805.8	638	0.228	609	0.217
24.30~19.38	2426.8	487	0.201	394	0.163
19.38~14.46	2957.4	524	0.178	339	0.115
14.46~8.26	3530.4	484	0.138	224	0.064
8.26~2.06	—	—	—	—	—

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

- 燃料取り出し用構台設置時に必要な足場（歩廊）を設置後に転用し、耐震安全上重要であるオイルダンパの点検を行うための歩廊として活用
- 必要に応じ歩廊の追加設置を行う予定
- 歩廊は2次部材であるため剛性は考慮せず、重量のみ解析モデルに反映

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 今後の申請のうち構台の評価に取り込む条件について

- 燃料取り出し用構台設置に係る実施計画変更認可申請以降の申請内容（燃料取扱設備設置、南側開口設置）および遮蔽体重量について、以下の通り解析条件に取り込んでいる
- 後段の申請にあたり、取り込んだ条件に変更が生じた場合、速やかに燃料取り出し用構台への影響を確認のうえ、影響が生じる場合は燃料取り出し用構台の変更認可申請を実施する

### 【燃料取扱設備】

構内用輸送容器揚重時を想定し、構内用輸送容器を含んだ下記重量を、燃料取扱設備の動作姿勢（R/B内：キャスクピットへのキャスク揚重、構台内：機器ハッチへのキャスク揚重）を考慮したうえで構台の解析モデル（ランウェイガード上）に分配

機器名	重量 (t)
キャスク	50
クレーン	54
燃料取扱機	23
ジブクレーン	13
走行台車	170
全体	310

※現設計における概算重量は設計裕度に収まる

### 【南側開口】

6.75m（幅）× 8.3m（高さ）を考慮し、原子炉建屋のEW方向解析モデルのせん断断面積および断面二次モーメント、UD方向の軸断面積および軸ばね剛性を低減

### 【遮蔽体】

原子炉建屋オペフロ上および燃料取り出し用構台前室に設置する遮蔽体の重量を、下記の通り想定したうえで、それを上回る重量を原子炉建屋および構台の解析モデルに配置

名称	重量 (t)
オペフロ遮蔽体 (R/B)	1560
前室遮蔽体 (構台)	230

※現設計における概算重量は設計裕度に収まる

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



## 4.2.1 設計方針

TEPCO

### ■ 荷重組合せ

表 4.2.1-7 荷重組合せ

想定する状態	荷重ケース	荷重組合せ内容	許容応力度
常時	C	VL	長期
積雪時	S	VL+SL	短期
暴風時	W	VL+WL	
地震時	E1	VL+K(+NS)	
	E2	VL+K(-NS)	
	E3	VL+K(+EW)	短期
	E4	VL+K(-EW)	

注：各荷重ケースにおいて、燃料取扱設備の位置は原子炉建屋内位置(A)と前室内位置(B)の2ケース考慮する。



図 4.2.1-1 燃料取扱設備の位置

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.2.1 設計方針

TEPCO

### ■ 層せん断力

地震時と暴風時の燃料取り出し用構台の層せん断力について、風荷重の受圧面積が大きい EW 方向で比較した結果を図 4.2.1-2 に示す。図 4.2.1-2 より、地震時の層せん断力は暴風時の層せん断力を包絡しており、支配的な荷重である。

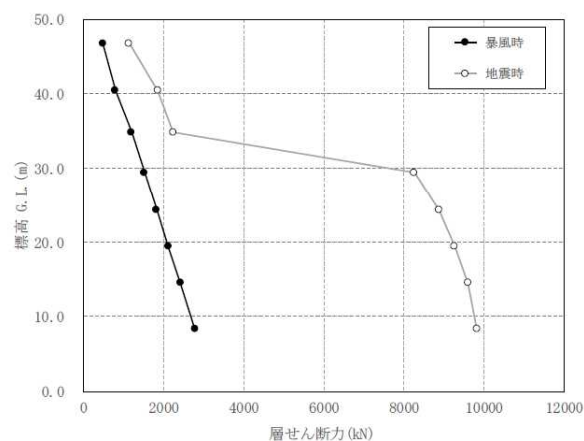


図4.2.1-2 地震時と暴風時の層せん断力の比較 (EW方向)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.2.2 構台、前室及びランウェイガーダの構造強度に対する検討 **TEPCO**

##### ■ 解析モデル

架構の解析モデルは、構台及び前室とランウェイガーダを構成する主要な鉄骨部材からなる立体架構モデルとする。構造強度に対する検討は静的検討であるため、動的荷重（応答速度）に対し減衰力を発揮するオイルダンパはモデル化しない。

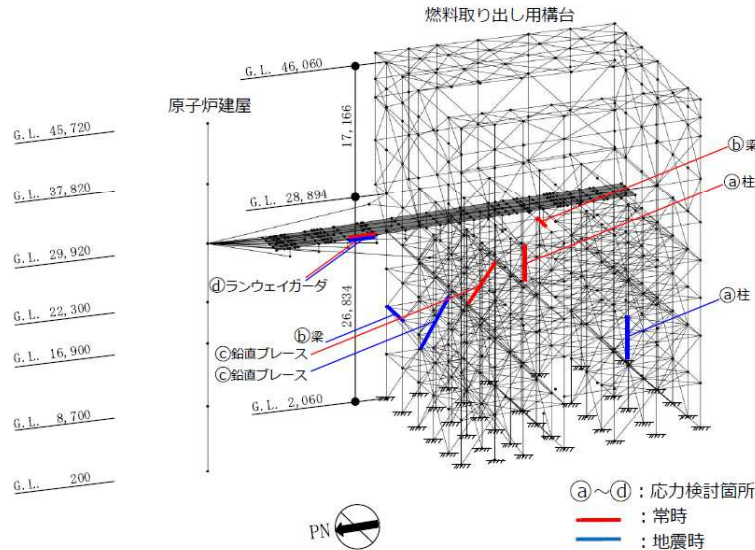


図 4.2.2-1 解析モデル

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.2.2 構台、前室及びランウェイガーダの構造強度に対する検討 **TEPCO**

##### ■ 柱及び梁部材の検討

部材の応力度比は、「鋼構造設計規準（2005年9月）」に従い、2方向の曲げ、軸力及びせん断力の各最大応力と各許容応力度との比を組み合わせた値で表される。

$$\begin{aligned} \text{・ 軸圧縮の場合} \quad & \sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_{by}}{f_{by}} + \frac{\sigma_{bz}}{f_{bz}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{f_s}\right)^2} \leq 1 \quad \text{・ 軸引張の場合} \quad \sqrt{\left(\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_{by}}{f_{by}} + \frac{\sigma_{bz}}{f_{bz}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{f_s}\right)^2} \leq 1 \end{aligned}$$

ここで、

- $\sigma_c, \sigma_t$  : 圧縮応力度 (N/A) 及び引張応力度 (T/A) (N/mm<sup>2</sup>)
- N : 圧縮力(N), T : 引張力(N), A : 断面積(mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{by}, \sigma_{bz}$  : 強軸まわりの曲げ応力度 ( $M_y/Z_y$ ) 及び弱軸まわりの曲げ応力度 ( $M_z/Z_z$ ) (N/mm<sup>2</sup>)
- $M_y, Z_y$  : 強軸まわりの曲げモーメント(Nm)及び断面係数(mm<sup>3</sup>)
- $M_z, Z_z$  : 弱軸まわりの曲げモーメント(Nm)及び断面係数(mm<sup>3</sup>)
- $\tau$  : せん断応力度 ( $Q/A_s$ ) (N/mm<sup>2</sup>)
- Q : せん断力(N),  $A_s$  : せん断断面積(mm<sup>2</sup>)
- $f_c$  : 許容圧縮応力度(N/mm<sup>2</sup>)
- $f_t$  : 許容引張応力度(N/mm<sup>2</sup>)
- $f_{by}$  : 強軸まわりの許容曲げ応力度(N/mm<sup>2</sup>)
- $f_{bz}$  : 弱軸まわりの許容曲げ応力度(N/mm<sup>2</sup>)
- $f_s$  : 許容せん断応力度(N/mm<sup>2</sup>)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.2.2 構台、前室及びランウェイガーダの構造強度に対する検討 **TEPCO**

##### ■ トラス梁の斜材、ブレースの検討

応力度比の検討は、「鋼構造設計規準（2005年9月）」に従い、軸力に対し下式にて検討を行う。

・軸圧縮の場合  $\frac{\sigma_c}{f_c} \leq 1$

・軸引張の場合  $\frac{\sigma_t}{f_t} \leq 1$

ここで、 $\sigma_c, \sigma_t$ ：圧縮応力度（N/A）及び引張応力度（T/A）（N/mm<sup>2</sup>）  
N：圧縮力（N），T：引張力（N），A：断面積（mm<sup>2</sup>）  
 $f_c$ ：許容圧縮応力度（N/mm<sup>2</sup>）  
 $f_t$ ：許容引張応力度（N/mm<sup>2</sup>）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.2.2 構台、前室及びランウェイガーダの構造強度に対する検討 **TEPCO**

表 4.2.2-1 断面検討結果（常時）

部位*1			部材形状(mm) <使用材料>	荷重ケース (位置)*2	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		応力度比	判定
鉄骨 部材	①	柱	(Y)H-700×300 ×16×32 <SM490A>	C (B)	$\sigma_c$	48.7	$f_c$	144	0.48	O.K.
					$\sigma_{by}$	20.5	$f_{by}$	161		
					$\sigma_{bz}$	2.1	$f_{bz}$	216		
					T	3.8	$f_s$	125		
	②	梁	H-800×350 ×19×36 <SM490A>	C (B)	$\sigma_c$	0.0	$f_c$	200	0.44	O.K.
					$\sigma_{by}$	59.0	$f_{by}$	207		
					$\sigma_{bz}$	0.0	$f_{bz}$	216		
					T	41.4	$f_s$	125		
	③	鉛直 ブレース	Φ-355.6×9.5 <STK490>	C (B)	$\sigma_c$	21.4	$f_c$	142	0.16	O.K.
	④	ランウェイ ガーダ	□-1500×900× (80+40)×80 <SN490B>	C (B)	$\sigma_c$	0.0	$f_c$	196	0.25	O.K.
					$\sigma_b$	45.7	$f_b$	196		
					T	9.2	$f_s$	113		

\*1：①～④の符号は図 4.2.2-1の応力検討箇所を示す。

\*2：( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。（表4.2.1-4参照）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



#### 4.2.2 構台、前室及びランウェイガーダの構造強度に対する検討 **TEPCO**

表 4.2.2-2 断面検討結果（地震時）

部位*1			部材形状(mm) <使用材料>	荷重ケース (位置)*2	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		応力度比	判定
鉄骨 部材	㊦	柱	(X)H-700×300 ×40×40 (Y)H-700×350 ×40×40 <SM490A>	E1 (A)	σ <sub>c</sub>	42.5	f <sub>c</sub>	285	0.67	O.K.
					σ <sub>by</sub>	11.2	f <sub>by</sub>	312		
					σ <sub>bz</sub>	154.4	f <sub>bz</sub>	324		
					τ	7.3	f <sub>s</sub>	187		
	㊧	梁	H-700×350 ×19×36 <SM490A>	E3 (A)	σ <sub>c</sub>	1.0	f <sub>c</sub>	241	0.57	O.K.
					σ <sub>by</sub>	134.0	f <sub>by</sub>	261		
					σ <sub>bz</sub>	2.1	f <sub>bz</sub>	324		
					τ	38.1	f <sub>s</sub>	187		
	㊨	鉛直 ブレース	Φ-406.4×9.5 <STK490>	E2 (B)	σ <sub>t</sub>	83.8	f <sub>t</sub>	231	0.37	O.K.
	㊩	ランウェイ イガーダ	□-1500×900× (80+40)×80 <SN490B>	E3 (B)	σ <sub>c</sub>	14.3	f <sub>c</sub>	294	0.22	O.K.
					σ <sub>b</sub>	45.7	f <sub>b</sub>	294		
					τ	9.2	f <sub>s</sub>	169		

\*1: ㉑～㉔の符号は図 4.2.2-1の応力検討箇所を示す。

\*2: ( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。(表4.2.1-4参照)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.2.3 弾性支承の構造強度に対する検討

**TEPCO**

弾性支承に作用する圧縮力による面圧が、弾性支承の圧縮限界強度以下となることを確認する。圧縮限界強度はゴム材料の弾性係数に応じて製品が規定する数値である。

表 4.2.3-1 弾性支承の構造強度に対する検討結果

設置位置	最大面圧発生ケース (位置)*	圧縮限界強度 $\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	最大圧縮面圧 $\sigma_D$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_D/\sigma_v$	判定
西側	E2(A)	43.00	6.37	0.15	O.K.
東側	E2(A)	43.00	6.36	0.15	O.K.

\*: ( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。(表4.2.1-4参照)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

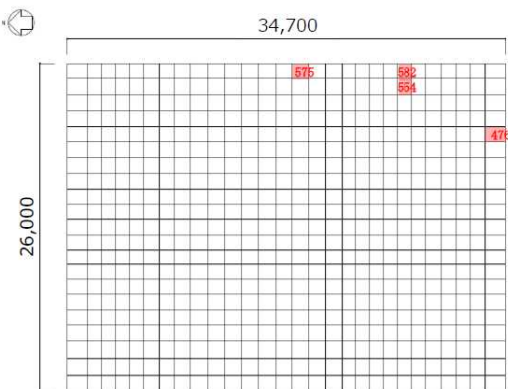
無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.2.4 基礎の構造強度に対する検討



### ■ 解析モデル

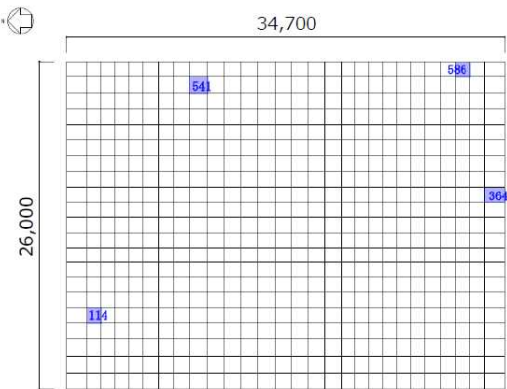
基礎の応力解析は、弾性地盤上に支持された版として有限要素法を用いて行い、解析モデルは下図に示すように四辺形の均質等方な板要素により構成し、支持地盤は等価な弾性ばねとしてモデル化する。但し、浮き上がった場合は、ばねの剛性が0となる。



凡例 ■■■: 断面算定要素(常時:C) (数字は要素番号)

(常時:C)

図 4.2.4-1 解析モデル図 (単位: mm)



凡例 ■■■: 断面算定要素(地震時:E1~E4) (数字は要素番号)

(地震時:E1~E4)

図 4.2.4-2 解析モデル図 (単位: mm)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.2.4 基礎の構造強度に対する検討



### ■ 断面検討

組合せた応力より、各要素の必要鉄筋比を「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2013年8月)」より求め、設計配筋が必要鉄筋比を上回ること及び面外せん断力が許容せん断力以下であることを確認する。

表 4.2.4-1 断面検討結果 (常時:C)

要素番号	方向	荷重ケース (位置) <sup>*1</sup>	設計応力		N/(b・D) <sup>*2</sup> (×10 <sup>-2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	M/(b・D <sup>2</sup> ) (×10 <sup>-2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	Pt (%)	設計配筋 上段: 上端筋 (pt:%) 下段: 下端筋 (pt:%)	設計面外 せん断力 Q(kN/m)	許容せん断力 fs・b・j (kN/m)	判定
			N <sup>*2</sup> (kN/m)	M (kN・m/m)							
575	NS	C(B)	-0.5	408.2	0.000	0.045	0.026	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	75.5	1775	O.K.
476	EW	C(B)	-0.8	798.1	0.000	0.089	0.051	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	101.1	1775	O.K.
582	NS	C(B)	1.6	75.3	0.001	0.008	0.005	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	466.3	1775	O.K.
554	EW	C(B)	-0.7	22.0	0.000	0.002	0.001	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	488.7	1775	O.K.

表 4.2.4-2 断面検討結果 (地震時:E1~E4)

要素番号	方向	荷重ケース (位置) <sup>*1</sup>	設計応力		N/(b・D) <sup>*2</sup> (×10 <sup>-2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	M/(b・D <sup>2</sup> ) (×10 <sup>-2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	Pt (%)	設計配筋 上段: 上端筋 (pt:%) 下段: 下端筋 (pt:%)	設計面外 せん断力 Q(kN/m)	許容せん断力 fs・b・j (kN/m)	判定
			N <sup>*2</sup> (kN/m)	M (kN・m/m)							
541	NS	E2(B)	-119.5	969.9	0.040	0.108	0.061	2-D38@200 (0.38) 3-D38@200 (0.57)	50.8	2616	O.K.
114	EW	E4(A)	-104.7	1140.3	0.035	0.127	0.046	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	14.4	2663	O.K.
586	NS	E3(A)	29.4	316.8	0.010	0.035	0.010	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	748.8	2663	O.K.
364	EW	E1(B)	26.5	109.7	0.009	0.012	0.003	2-D38@200 (0.38) 2-D38@200 (0.38)	677.2	2663	O.K.

\*1: 燃料取扱設備の位置を示す。 \*2: 圧縮を正とする。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.2.4 基礎の構造強度に対する検討

TEPCO

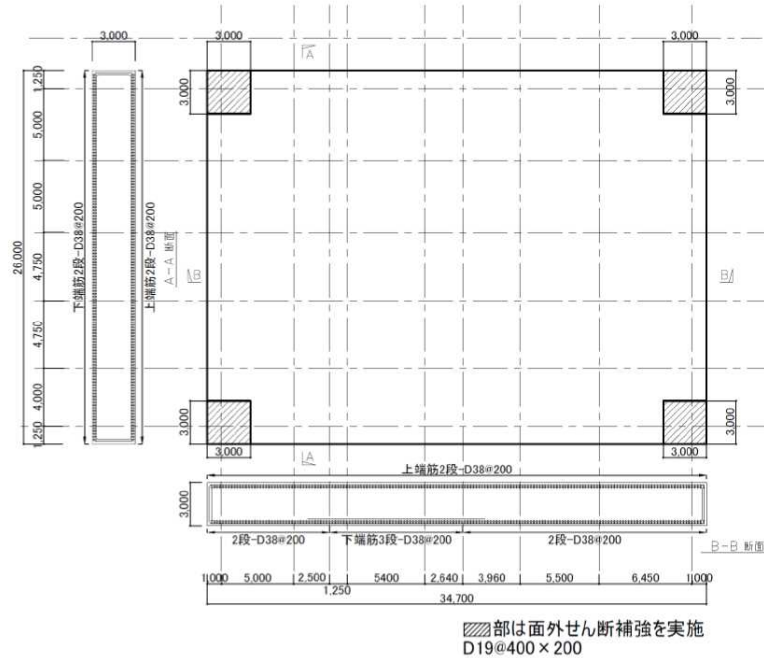


図 4.2.4-3 基礎の配筋図 (単位: mm)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.2.5 改良地盤の構造強度に対する検討

TEPCO

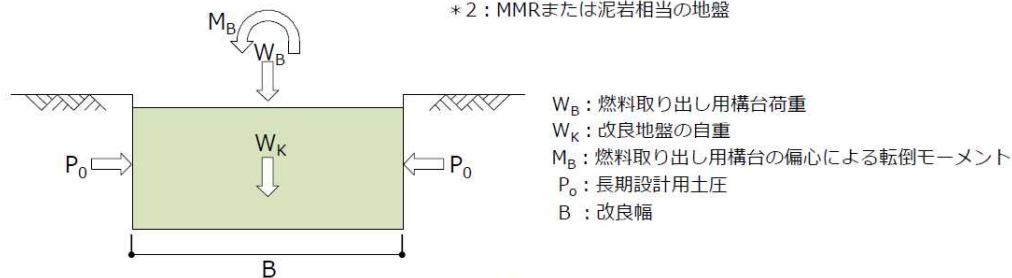
##### ■ 常時に対する検討

燃料取り出し用構台を支持する改良地盤は、基礎直下の地盤を南北方向に 34.7m、東西方向に 26.0m、改良厚さ 7.16m程度\*1とし、G.L.-8.1mの支持地盤\*2に支持する。検討は「JEAC4616-2009」に準拠し、常時及び地震時の改良地盤に生じる最大応力が許容応力度以下であることを確認する。

さらに、改良地盤直下の支持地盤の支持力に対して、改良地盤に生じる最大接地圧が許容支持力度以下であることを確認する。

\*1: MMR等の既存地下構造物のため、位置により異なる

\*2: MMRまたは泥岩相当の地盤



##### ◆ 改良地盤の検討

最大接地圧  $q_r = 279 \text{ kN/m}^2 \leq \text{長期許容圧縮応力度 } {}_L f_{sc} = 980 \text{ kN/m}^2$

##### ◆ 支持力の検討

最大接地圧  $q_r = 279 \text{ kN/m}^2 \leq \text{長期許容支持力度 } {}_L q_a = 1960 \text{ kN/m}^2$

##### ◆ 沈下の検討

支持地盤は泥岩 (岩盤) であるため、沈下の検討は不要

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.2.5 改良地盤の構造強度に対する検討

TEPCO

##### ■ 地震時に対する検討

地震時において、改良地盤底面の最大接地圧及びせん断応力が、改良地盤の短期許容応力度以下であることを確認する。

さらに、改良地盤直下の支持地盤の支持力に対して、改良地盤に生じる最大接地圧が許容支持力度以下であることを確認する

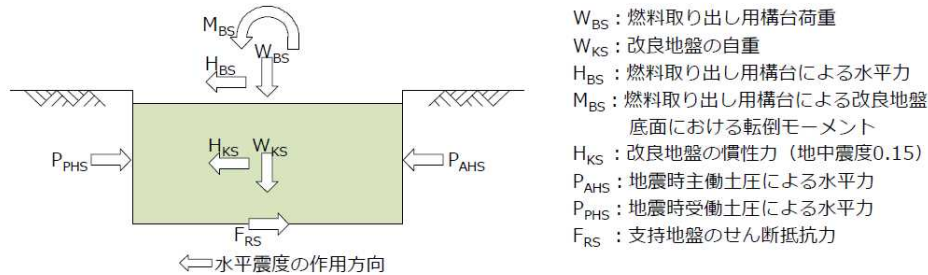


図 4.2.5-2 作用荷重 (地震時:E1～E4)

##### ◆ 改良地盤の検討

最大接地圧  $q_{1S} = 440 \text{ kN/m}^2 \leq \text{短期許容応力度 } s f_{SC} = 1960 \text{ kN/m}^2$

最大せん断応力  $T_{max} = 50 \text{ kN/m}^2 \leq \text{短期許容応力度 } s f_{SS} = 300 \text{ kN/m}^2$

##### ◆ 支持力の検討

最大接地圧  $q_{1S} = 440 \text{ kN/m}^2 \leq \text{短期許容支持力度 } s q_a = 3920 \text{ kN/m}^2$

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.2.6 原子炉建屋接触部の構造強度に対する検討

TEPCO

##### ■ 弾性支承反力に対する検討

弾性支承からの反力によって原子炉建屋RC梁に生じるせん断力が、梁の長期許容せん断耐力以下となることを確認する。弾性支承の反力は基本的に、プール壁及び下階柱に直接かかるように配置するが、一部梁端に作用するため、それを考慮する。

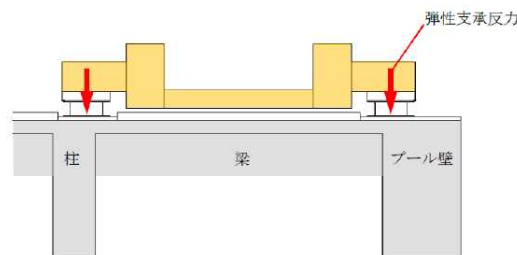


図 4.2.6-1 弾性支承からの反力

表 4.2.6-1 弾性支承反力に対する検討結果

部位	荷重ケース (位置)*	梁端せん断力 $Q(\text{kN})$	長期許容せん断力 $Qa(\text{kN})$	耐力比 $Q/Qa$	判定
弾性支承受梁	C (A)	760	1486	0.52	O.K.

\*: ( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。(表4.2.1-4参照)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



#### 4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

TEPCO

##### ■ 設置目的

燃料取り出し用構台前室周囲には、燃料取り出し作業環境の整備並びに放射性物質の飛散・拡散防止のため、外装材を設置する。

##### ■ 評価方針

架構の屋根材、壁材には金属製外装材を用いる。断面検討は、屋根材、壁材それぞれに風圧力によって生じる応力度が短期許容応力度以下であることを確認する。

##### ■ 検討箇所

短期事象においては、暴風時の影響が支配的であることから、積雪時及び地震時の検討は省略する。検討箇所を図4.2.7-1に示す。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

TEPCO

##### ■ 検討箇所

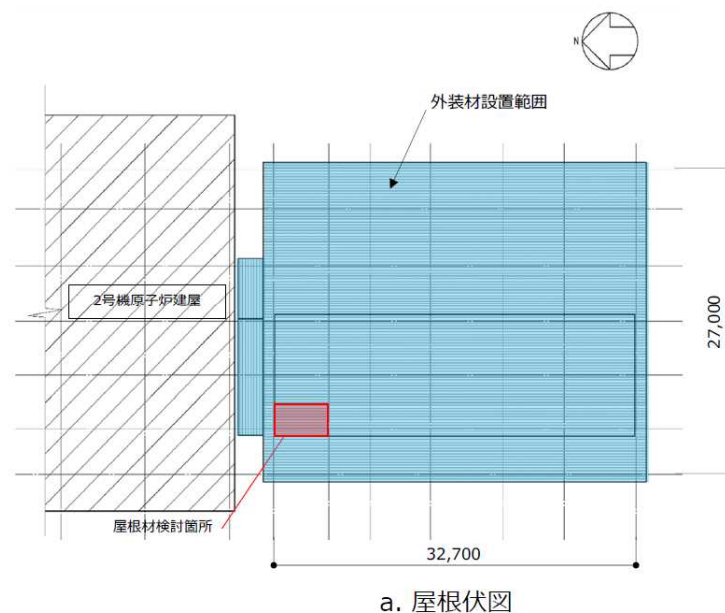


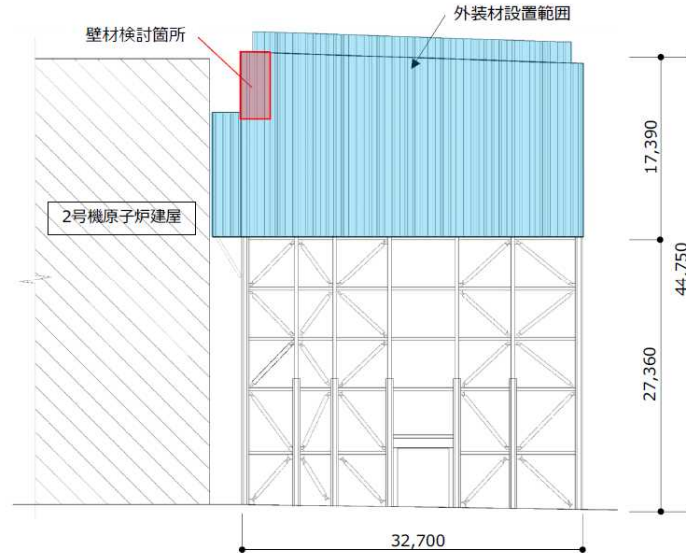
図 4.2.7-1(1) 外装材検討箇所 (単位: mm)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

TEPCO

##### ■ 検討箇所



b. 西側立面

図 4.2.7-1(2) 外装材検討箇所（単位：mm）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

TEPCO

##### ■ 設計用荷重の算定

設計用風圧力は、建築基準法施行令第82条の4及び建設省告示第1458号に基づき、基準風速30m/s、地表面粗度区分Ⅱとして算定する。

表 4.2.7-1 速度圧の算定結果

建物高さ* H (m)	平均風速の高さ方向の 分布を表す係数 $E_r$	基準風速 $V_0$ (m/s)	平均速度圧 $q$ (N/m <sup>2</sup> )
47	1.258	30	855

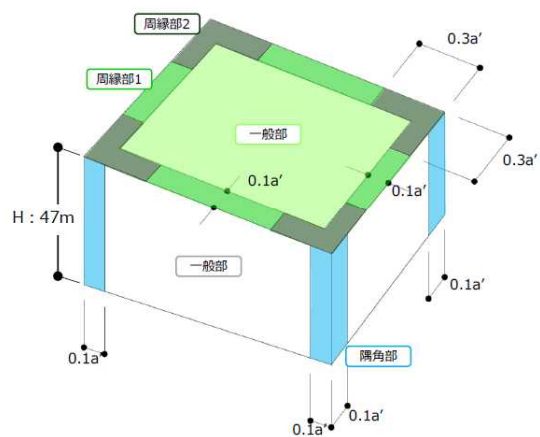
表 4.2.7-2 ピーク風力係数（屋根）

建物高さ* H (m)	正圧	負圧		
		一般部	周縁部1	周縁部2
47	0.50	-2.50	-3.20	-4.30

表 4.2.7-3 ピーク風力係数（壁）

建物高さ* H (m)	正圧	負圧	
		一般部	隅角部
47	2.60	-1.88	-2.31

\*：建物高さは、安全側に建築物の高さと軒の高さ（水上側鉄骨天端）との平均値以上とした



a'は平面の短辺の長さaとHの2倍の数値のうちいずれか小さな数値（30を超えときは、30とする）（単位：m）

図 4.2.7-2 風力係数の算定箇所

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

TEPCO

### ■ 外装材の強度検討

- 検討は、応力が厳しくなる部位について行う。ここでは、外装材の自重は考慮しないものとする。外装材の支持間隔は、保守的な評価となるように最長スパンを用いて評価するものとし、屋根材の間隔は、3.3mで連続支持、壁材が0.75mで連続支持されているものと仮定する。
- 屋根材及び壁材の材料諸元を表4.2.7-4、4.2.7-5に示す。また、検討結果を表4.2.7-6に示す。
- 断面検討の結果、全ての外装材に対する応力度比が1以下になることを確認した。

#### ① 屋根材

$$\begin{aligned} w &= 855 \times (-4.30) = -3678 \Rightarrow -3680 (\text{N/m}^2) \\ M &= w \times L^2 / 8 = (-3680) \times 3.3^2 \times 10^{-3} / 8 = -5.0 (\text{kNm/m}) \\ \sigma_b &= M / Z_x = 5.0 \times 10^6 / (40.6 \times 10^3) = 123.2 \Rightarrow 124 (\text{N/mm}^2) \\ \sigma_b / f_b &= 124 / 205 = 0.61 \leq 1.0 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

#### ② 壁材

$$\begin{aligned} w &= 855 \times (2.60) = 2223 \Rightarrow 2230 (\text{N/m}^2) \\ M &= w \times L^2 / 8 = (2230) \times 0.75^2 \times 10^{-3} / 8 = 0.16 (\text{kNm/m}) \\ \sigma_b &= M / Z_x = 0.16 \times 10^6 / (1.67 \times 10^3) = 95.8 \Rightarrow 96 (\text{N/mm}^2) \\ \sigma_b / f_b &= 96 / 205 = 0.47 \leq 1.0 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

ただし  $w$ : 風圧力(N/m<sup>2</sup>)  
 $M$ : 単位幅当りの外装材に生ずる最大曲げモーメント(kNm/m)  
 $L$ : スパン(m)  
 $\sigma_b$ : 曲げモーメントによる応力度(N/mm<sup>2</sup>)  
 $Z_x$ : 単位幅当りの断面係数(mm<sup>3</sup>/m)  
 $f_b$ : 許容曲げ応力度(N/mm<sup>2</sup>)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.2.7 外装材の構造強度に対する検討

TEPCO

### ■ 外装材の強度検討

表 4.2.7-4 屋根材の材料諸元

板厚	自重	正曲げ方向		負曲げ方向	
		断面2次 モーメント	断面係数	断面2次 モーメント	断面係数
t (mm)	G (N/m <sup>2</sup> )	$I_x$ (cm <sup>4</sup> /m)	$Z_x$ (cm <sup>3</sup> /m)	$I_x$ (cm <sup>4</sup> /m)	$Z_x$ (cm <sup>3</sup> /m)
0.8	118	360	43.6	347	40.6

表 4.2.7-5 壁材の材料諸元

板厚	自重	正曲げ方向		負曲げ方向	
		断面2次 モーメント	断面係数	断面2次 モーメント	断面係数
t (mm)	G (N/m <sup>2</sup> )	$I_x$ (cm <sup>4</sup> /m)	$Z_x$ (cm <sup>3</sup> /m)	$I_x$ (cm <sup>4</sup> /m)	$Z_x$ (cm <sup>3</sup> /m)
0.6	59	2.31	1.67	2.31	1.67

表 4.2.7-6 応力度に対する検討結果

部位	材料	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比	判定
屋根材	SGLCC*1	124	205*2	0.61	O.K.
壁材	SGLCC*1	96	205*2	0.47	O.K.

\*1: 溶融55%アルミニウム-亜鉛合金めっき鋼板  
 \*2: 「JIS G 3321」の「降伏点又は耐力」とする

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.1 検討方針（耐震性）

TEPCO

- 耐震性の検討は、構台及びランウェイガーダ、弾性支承、オイルダンパ、基礎、改良地盤、原子炉建屋接触部及び原子炉建屋の健全性について行い、基準地震動 $S_s$ に対して、これらの応答性状を適切に表現できる地震応答解析を用いて評価する。
- 地震応答解析は水平1方向及び鉛直方向を同時に入力する。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

TEPCO

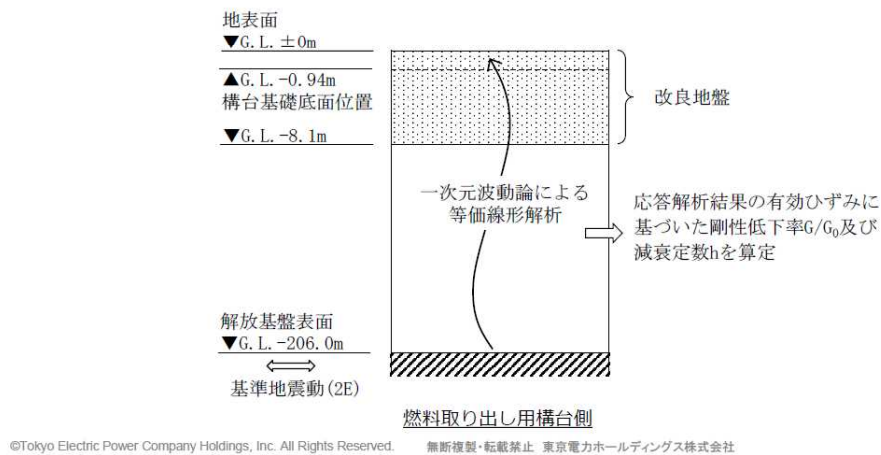
- 解析に用いる入力地震動  
入力地震動は、バックチェックにて作成した解放基盤表面で定義される基準地震動 $S_s$ を用いる。  
  
モデルに入力する地震動は一次元波動論に基づき、解放基盤表面で定義される基準地震動 $S_s$ に対する地盤の応答として評価する。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



## ■ 地震応答解析モデルへの入力地震動策定

水平地震動は、基準地震動SsをG.L.-206.0mの解放基盤位置に入力し、初期地盤物性に対して一次元波動論に基づいた等価線形解析を行い、各層で生じる地盤のひずみ依存特性を考慮した等価な剛性低下率 $G/G_0$ 及び減衰定数 $h$ を定め、定めた地盤物性値をもとに、線形解析を行っている。  
 なお、鉛直地震動は、等価線形解析を実施せず、水平方向の等価地盤物性から $V_p$ を算定し、線形解析により設定する。



## 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

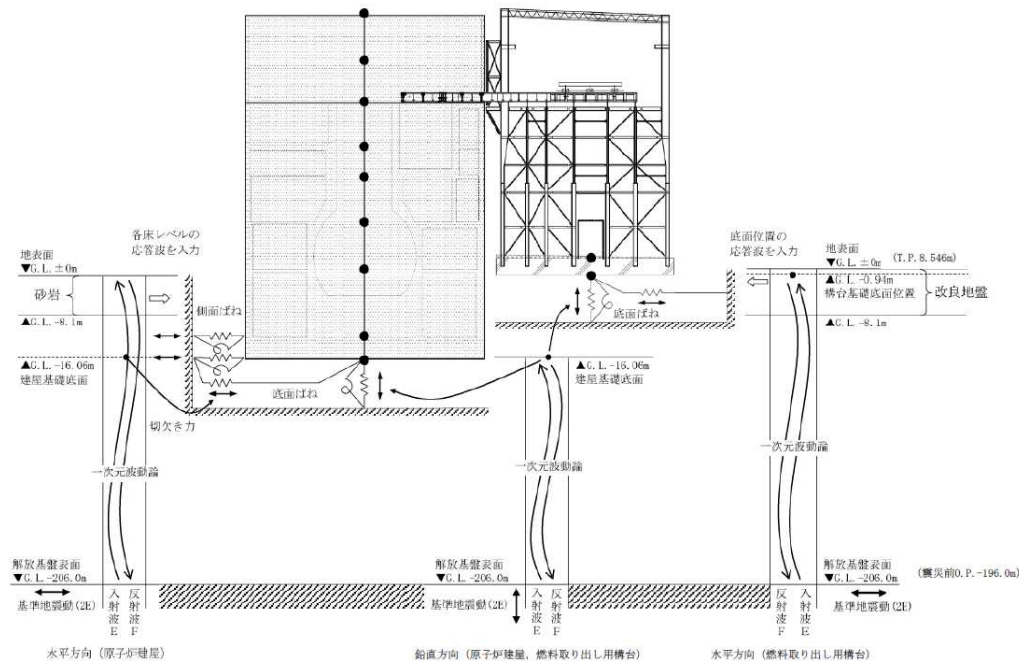


図 4.3.2-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

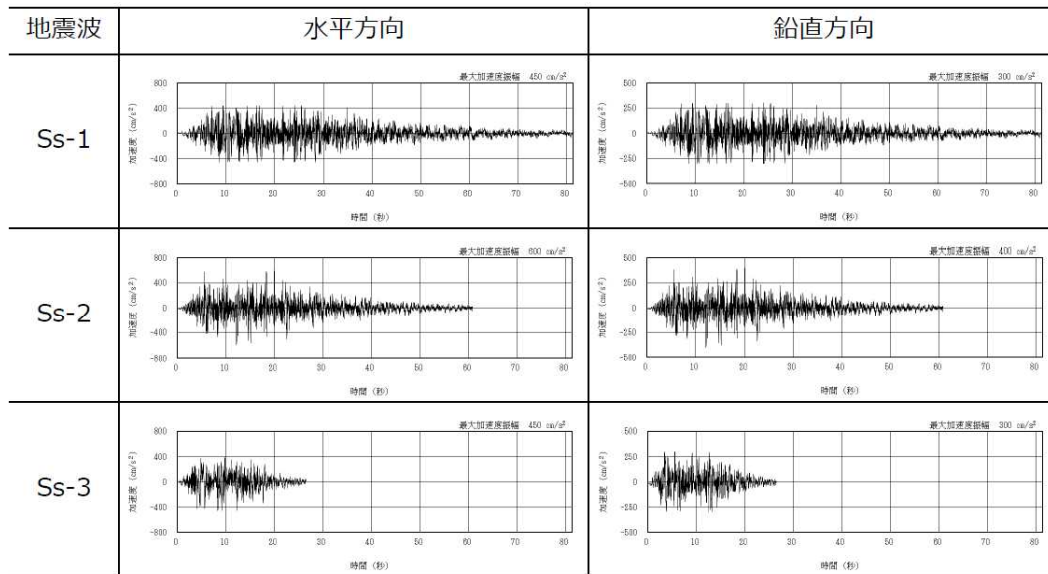


図 4.3.2-2 解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

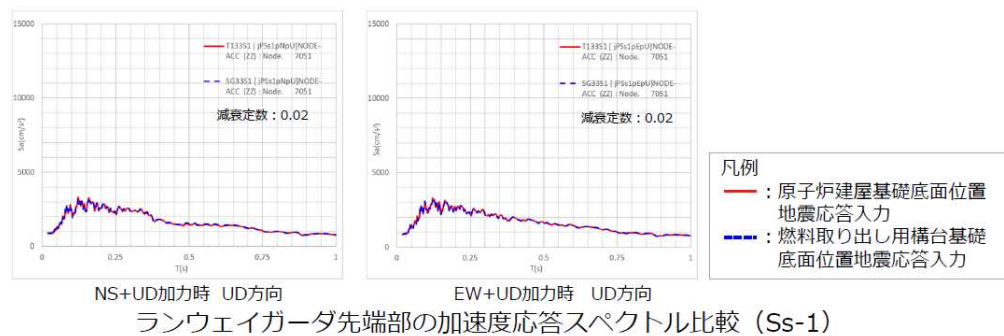
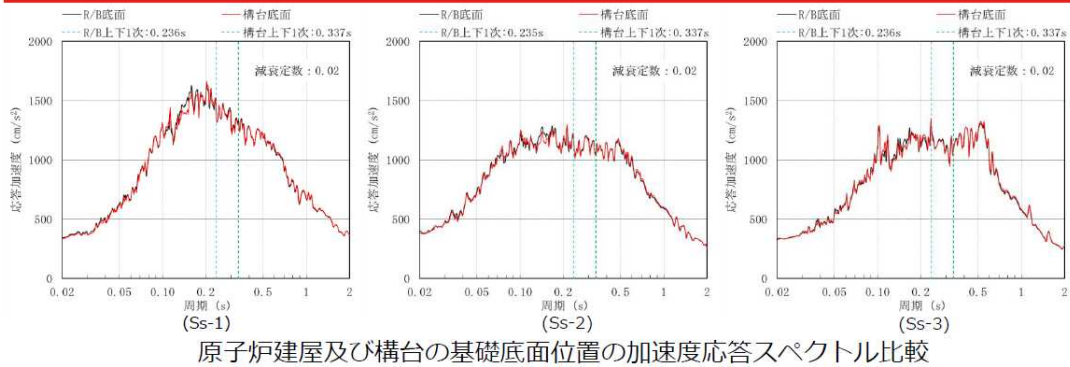
#### 解析モデルへの入力方法の考え方と妥当性(上下動) **TEPCO**

- 使用する解析コードの制約から上下動の入力波は1つに限られるため、燃料取り出し用構台についても原子炉建屋底面位置での上下動を、入力波として使用している。
- 原子炉建屋及び構台の基礎底面位置の上下方向の地盤応答加速度応答スペクトルの比較を次頁に示す。これによると、原子炉建屋及び構台の上下方向の1次固有周期で双方にほとんど差がみられず、その他の周期帯でも、0.1～0.2秒の周期帯を除き、はほとんど差が見られない
- また、原子炉建屋底面及び構台基礎底面位置の上下動を入力波とした場合のランウェイガーダ先端部の加速度応答スペクトルの比較を次頁に示す。これによると、双方に全ての周波数帯でほとんど差がみられない。
- さらに、原子炉建屋、燃料取り出し用構台それぞれの基礎底面位置での変位時刻歴波形と、相対変位時刻歴波形を次々頁に示す。相対変位がほとんど生じないことを確認した。
- 上記から、原子炉建屋基礎底面位置の地盤応答を構台に入力することによる構台の応答結果には影響が無く、妥当だと判断した

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 解析モデルへの入力方法の考え方と妥当性(上下動)

TEPCO

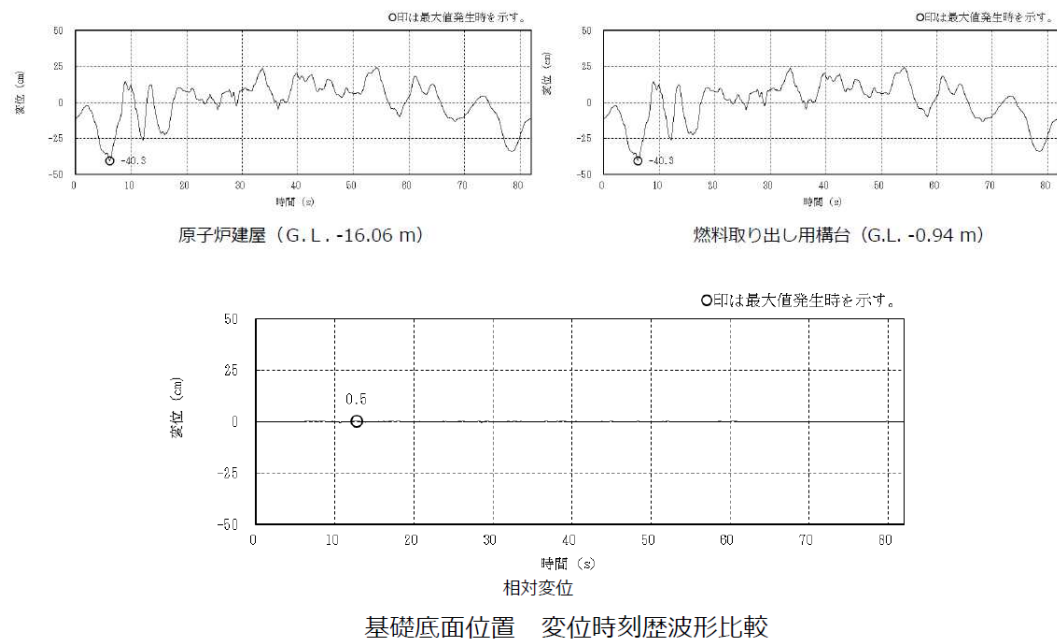


©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 解析モデルへの入力方法の考え方と妥当性(上下動)

TEPCO



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

- 地震応答解析モデルは、曲げ、せん断剛性及び軸剛性を考慮した原子炉建屋の質点系モデルの質点に、三次元立体骨組でモデル化した燃料取り出し用構台を接続し、地盤との相互作用を考慮した建屋－地盤連成系モデルとする。
- 原子炉建屋のモデルは「Ⅱ章2.11 添付資料－9 別添－1 第2号機原子炉建屋西側外壁開口設置後の原子炉建屋の耐震安全性」で用いた解析モデルを基本に、南側外壁開口や遮蔽コンクリート等の設置を考慮して、重量や剛性を増減させたモデルとする。なお、原子炉建屋の質点は炉心位置にモデル化する。
- 燃料取り出し用構台の部材接合部の節点は機器荷重・仕上げ材等を考慮した重量とし、原子炉建屋の質点は表 4.3.2-3 に示す重量とする。燃料取り出し用構台の柱、梁は弾性部材の梁要素、鉛直ブレースは弾性部材のトラス要素とする。
- 構台と原子炉建屋南側壁間、構台鉛直面、およびランウェイガーダと原子炉建屋床間に設置するオイルダンパは、減衰要素とばね要素を直列に結合したモデルとする。
- ランウェイガーダと原子炉建屋床間に設置する弾性支承の鉛直方向は軸ばねとし、水平方向はローラーとする。なお、床上のオイルダンパ・弾性支承とも、圧縮専用ばねを原子炉建屋質点との間に設けることにより浮き上りを許容したモデルとする。
- 原子炉建屋の質点系モデルは、軸方向は弾性とし、曲げとせん断に非線形特性を考慮する。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

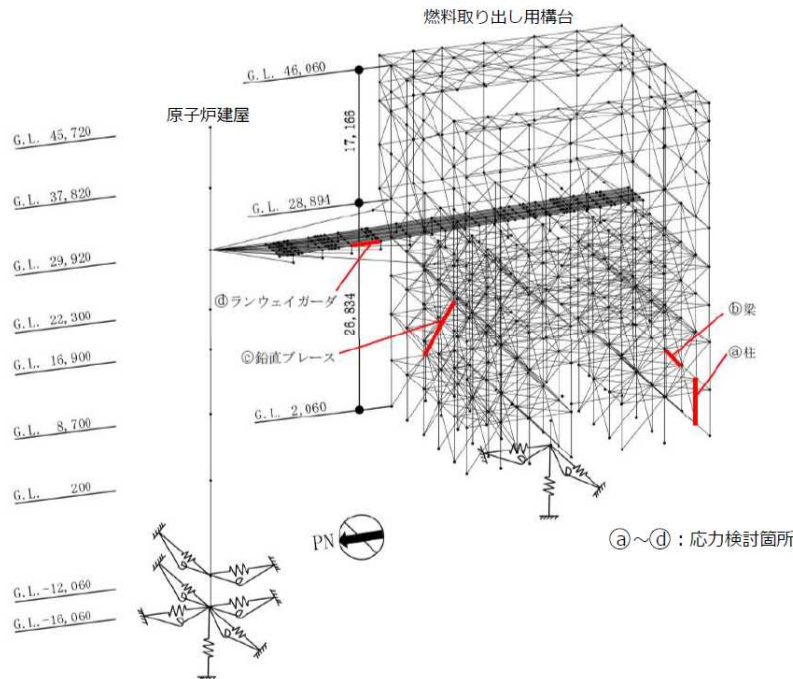


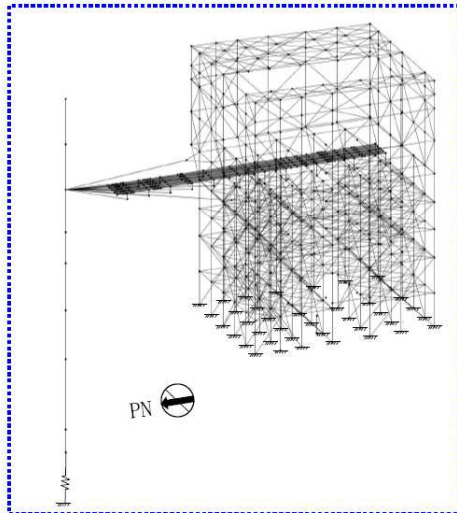
図 4.3.2-3 地震応答解析モデル (単位: mm)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

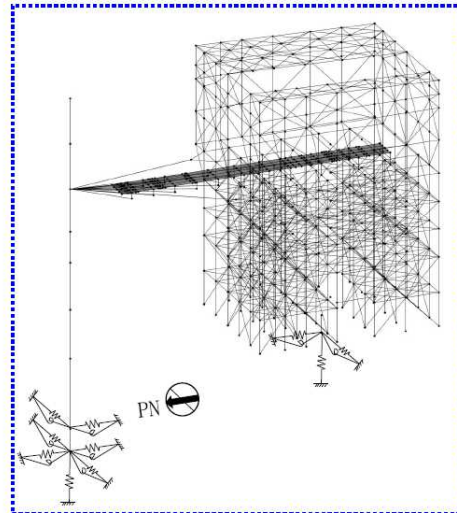
## 解析モデルの比較

TEPCO

- 耐震性の検討（動的解析）に使用する解析モデルは、構造強度の検討（静的解析）と比較し、脚部境界条件およびオイルダンパのモデル化の点が異なる



■ 構造強度(1.5Ci 静的解析)  
脚部境界条件：鉄骨柱脚部を固定  
その他：ダンパ考慮しない



■ 耐震性(Ss-1~Ss-3 動的解析)  
脚部境界条件：地盤をSRばねとして考慮  
その他：ダンパ考慮

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 解析モデル詳細（原子炉建屋～構台間の接続条件）

TEPCO

- 次頁に記載の通り、解析モデル上、原子炉建屋～構台間の接続にはMPC\*を用いる
- 原子炉建屋オペレーティングフロア床面上に配置する弾性支承およびばね付きオイルダンパは、鉛直方向の軸力のみ作用するモデルとするため、上下方向のみの自由度を有し、原子炉建屋のオペレーティングフロアレベルの質点と、弾性支承およびばね付きオイルダンパ各々のばね直下質点とをMPC要素で拘束する
- 水平棟間オイルダンパは水平面内の軸力のみ作用するモデルとするため、水平面内のみ自由度を有し、原子炉建屋のオペレーティングフロアレベルの質点とMPC要素で拘束する

\*：Multi Point Constraint（多点拘束）

節点自由度を他の1つ、または複数の節点自由度により定義するもの。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## TEPCO

Figure 1 consists of four diagrams illustrating the model and its details:

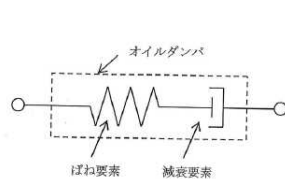
- Top Left:** A 3D perspective view of the reactor building and fuel extraction platform. Labels include:
  - 原子炉建屋オベフロレベル質点 (Reactor building overflow level node)
  - MPC (Master Point Control)
  - 水平棟間オイルダンパ (Horizontal inter-story oil damper)
  - ばね付きオイルダンパ (Spring-mounted oil damper)
  - 弾性支承 (Elastic support)
  - 原子炉建屋オベフロレベル領域 (Reactor building overflow level area)
  - 燃料取り出し用構台 (Fuel extraction platform)
  - A coordinate system with axes XX, YY, ZZ and TX, TY, TZ.
- Top Right:** A wireframe model of the entire structure, labeled **全体モデル図** (Overall model diagram). A red box highlights a specific area labeled **拡大部分** (Expanded part).
- Bottom Left:** A detailed view of the MPC/R/B node and its connection to the platform. Labels include:
  - ばね付きオイルダンパ (Spring-mounted oil damper)
  - 弾性支承 (Elastic support)
  - ランウェイガーダ (Runway girder)
  - MPC/R/B 質点とばね直下節点の変形、変形角が同じ (MPC/R/B node and the node directly below the spring have the same deformation and deformation angle)
- Bottom Right:** A detailed view of the MPC/R/B node and its connection to the platform. Labels include:
  - 水平棟間オイルダンパ (Horizontal inter-story oil damper)
  - 構台北面 (Platform north face)
  - (XX, YY方向) ((XX, YY direction))
  - MPC/R/B 質点とダンパ接続節点の変形、変形角が同じ (MPC/R/B node and the damper connection node have the same deformation and deformation angle)

## 表 4.3.2-1 地震応答解析に用いる物性値

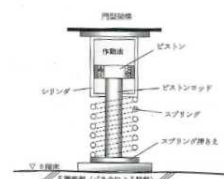
部位	材料	ヤング係数 E(N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ(kN/m <sup>3</sup> )	減衰定数 h(%)	備考
燃料取り 出し用構台	鉄骨	2.05×10 <sup>5</sup>	0.3	77.0	2	SS400, SM490A, STK490, SN490B, SN490C, TMCP325

表4.3.2-2 オイルダンパの物性値及び許容値

ダンパ種類	最大減衰力 (kN)	リリース荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	第一減衰係数 (kN・s/m)	第二減衰係数 (kN・s/m)	ストローク (mm)
オイルダンパ (水平棟間)	1970	1700	0.70	12000	490	±100
オイルダンパ (鉛直)	2060	1600	0.50	40000	1000	±60
ばね付き オイルダンパ	1500	1200	1.00	5000	395	±100



## オイルダンパのモデル化



ばね付きオイルダンパ概念図

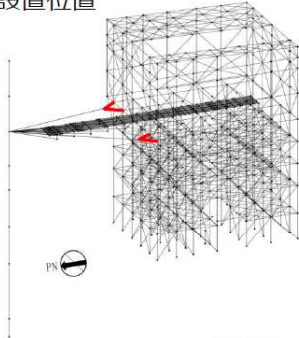


## オイルダンパ（水平棟間）の物性について

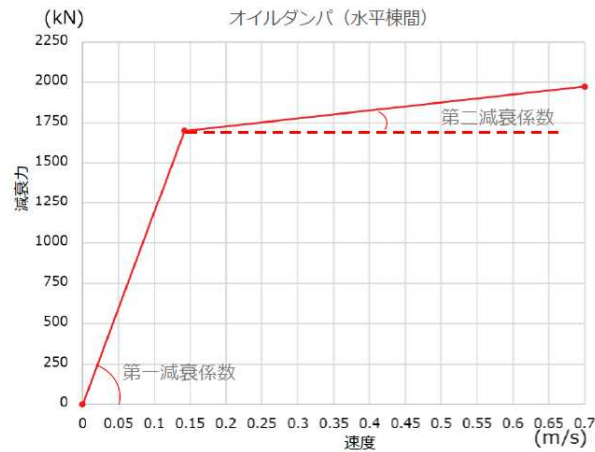
TEPCO

オイルダンパは特注品となるため、仕様(物性値及び許容値)に従ったオイルダンパを製作し、全数製品試験を行い性能を満たしていることを確認する。

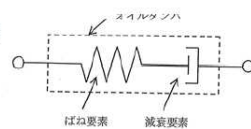
### ■ 設置位置



### ■ 設計特性



### ■ モデル化



### ■ 物性値及び許容値

最大減衰力 (kN)	リリース荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	第一減衰係数 (kN・s/m)	第二減衰係数 (kN・s/m)	ストローク (mm)
1970	1700	0.70	12000	490	±100

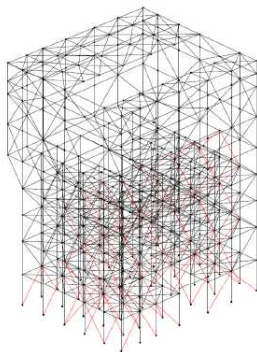
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

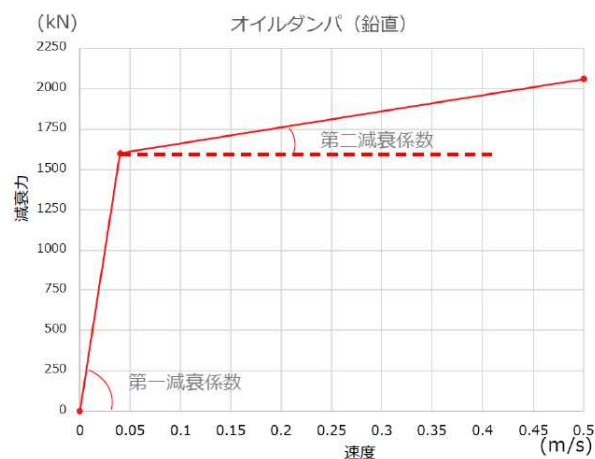
## オイルダンパ（鉛直）の物性について

TEPCO

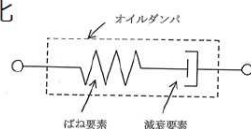
### ■ 設置位置



### ■ 設計特性



### ■ モデル化



### ■ 物性値及び許容値

最大減衰力 (kN)	リリース荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	第一減衰係数 (kN・s/m)	第二減衰係数 (kN・s/m)	ストローク (mm)
2060	1600	0.50	40000	1000	±60

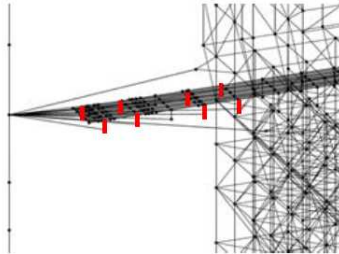
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

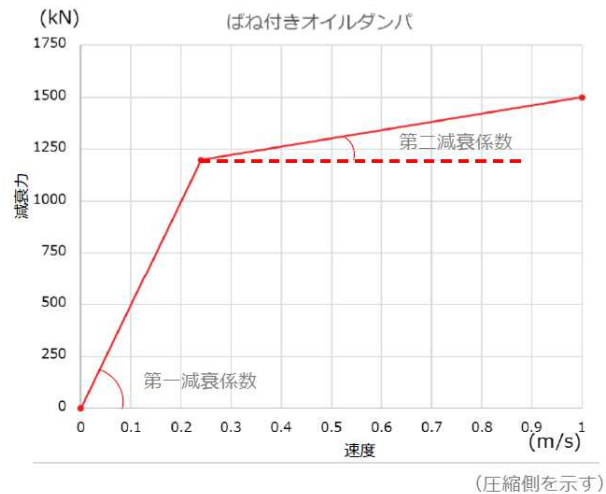
## ばね付きオイルダンパの物性について

TEPCO

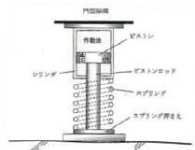
### ■ 設置位置



### ■ 設計特性



### ■ 概念図



### ■ 物性値及許容値

最大減衰力 (kN)	リリース荷重 (kN)	最大速度 (m/s)	第一減衰係数 (kN・s/m)	第二減衰係数 (kN・s/m)	ストローク (mm)
1500	1200	1.00	5000	395	±100

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

TEPCO

表 4.3.2-3(1) 地震応答解析モデルのうち原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元  
(a) 水平 (NS) 方向

標高 G. L. (m)	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_0 (\times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2)$	せん断断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面二次モーメント $I (\text{m}^4)$
45.72	12880	23.28	18.6	10154
37.82	10220	18.53		10626
29.92	74470	134.76	184.3	22551
22.3	79440	143.78	166.8	24629
16.9	107720	194.96	249.3	44401
8.7	116670	211.14	157.1	40661
0.2	201190	364.11	456.8	110444
-12.06	341290	617.55	2656.2	480675
-16.06	125030	226.24		
合計	1068910			

ヤング係数  $E_c$   $2.57 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$   
 せん断弾性係数  $G$   $1.07 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$   
 ポアソン比  $\nu$  0.20  
 減衰  $h$  5%

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガードの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表 4.3.2-3(2) 地震応答解析モデルのうち原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元  
(b) 水平 (EW) 方向

標高 G. L. (m)	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I <sub>G</sub> (×10 <sup>5</sup> kN・m <sup>2</sup> )	せん断断面積 A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )
45.72	12880	13.18	13.6	5926
37.82	10220	10.40		
29.92	74470	76.06	12.6	6255
22.3	79440	81.06	108.2	11927
16.9	107720	194.96	117.3	14199
8.7	116670	211.14	185.7	33796
0.2	201190	544.79	173.1	41960
-12.06	341290	923.98	418.1	132121
-16.06	125030	338.53	2656.2	719166
合計	1068910	ヤング係数 E <sub>c</sub> 2.57×10 <sup>7</sup> (kN/m <sup>2</sup> ) せん断弾性係数 G 1.07×10 <sup>7</sup> (kN/m <sup>2</sup> ) ポアソン比 ν 0.20 減衰 h 5%		

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガードの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表 4.3.2-3(3) 地震応答解析モデルのうち原子炉建屋の地震応答解析モデルの諸元  
(c) 鉛直方向

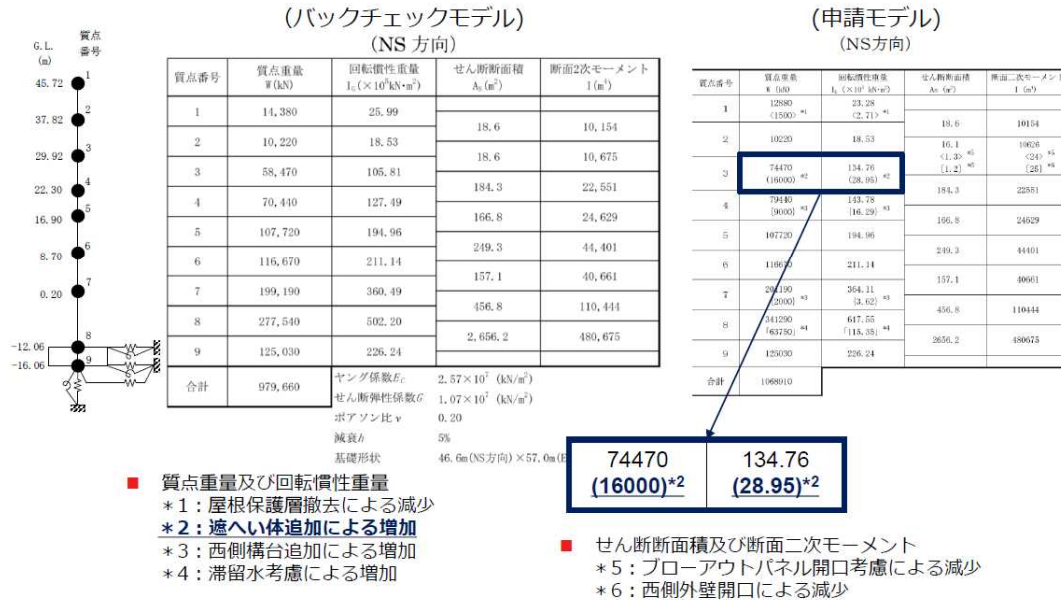
標高 G. L. (m)	質点重量 W (kN)	軸断面積 A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	軸ばね剛性 K <sub>A</sub> (×10 <sup>8</sup> kN/m)
45.72	12880	43.0	1.40
37.82	10220		
29.92	74470	42.5	1.38
22.3	79440	291.9	9.84
16.9	107720	295.1	14.04
8.7	116670	437.5	13.71
0.2	201190	359.4	10.87
-12.06	341290	627.4	13.15
-16.06	125030	2656.2	170.66
合計	1068910	ヤング係数 E <sub>c</sub> 2.57×10 <sup>7</sup> (kN/m <sup>2</sup> ) せん断弾性係数 G 1.07×10 <sup>7</sup> (kN/m <sup>2</sup> ) ポアソン比 ν 0.20 減衰 h 5%	

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## バックチェック時の解析モデルとの変更点と理由

TEPCO

- バックチェック時と今回実施計画変更認可申請時の原子炉建屋解析モデル諸元の比較を行い、変更点とその理由を以下に記載する

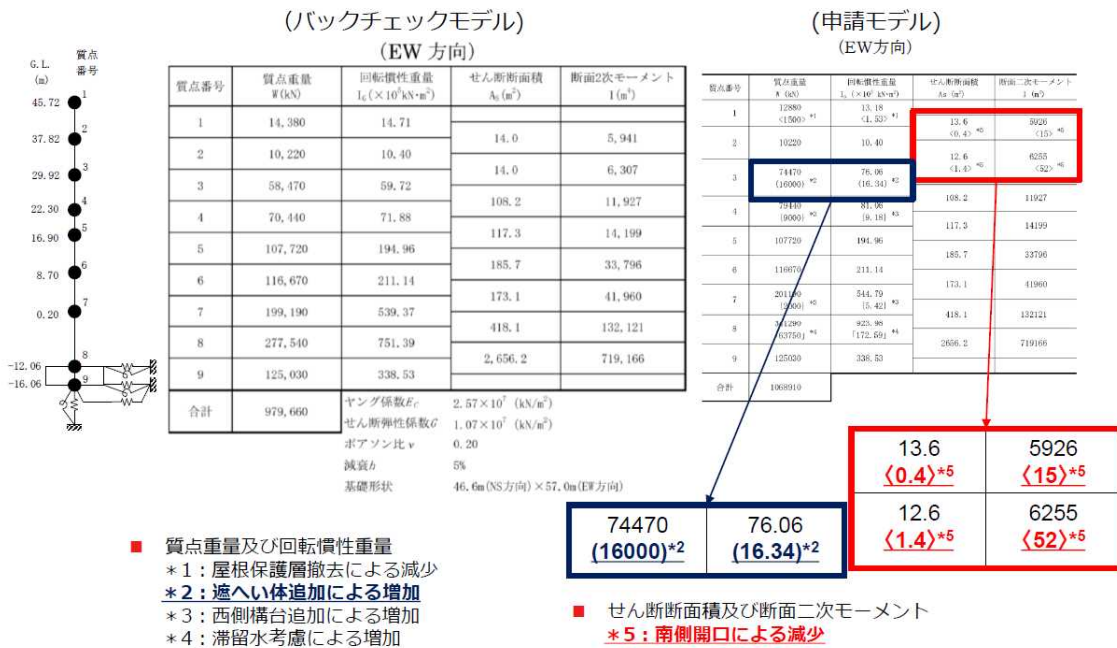


原子炉建屋解析モデル諸元比較 (NS方向)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## バックチェック時の解析モデルとの変更点と理由

TEPCO

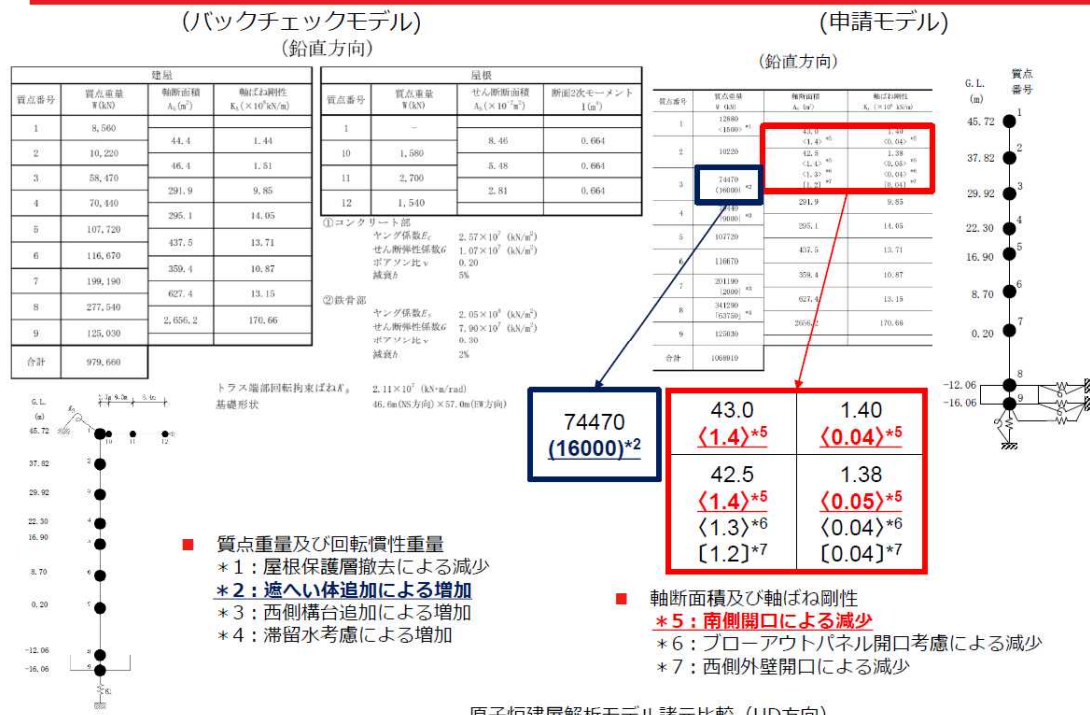


原子炉建屋解析モデル諸元比較 (EW方向)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## バックチェック時の解析モデルとの変更点と理由

TEPCO



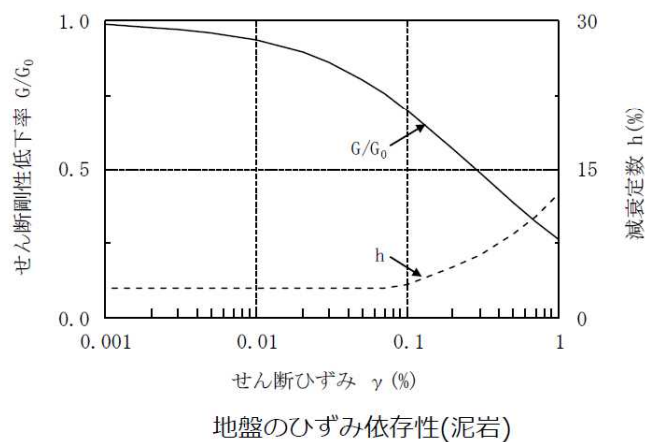
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

TEPCO

- 燃料取り出し用構台の地盤定数は、バックチェック時の地盤定数を参考に、水平成層地盤と仮定し地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた
- 原子炉建屋の地盤定数は、バックチェック時に作成したモデルと同様としている



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガードの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表 4.3.2-4 改良地盤の諸元

せん断波速度* $V_s(\text{m/s})$	単位体積重量 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	ポアソン比* $\nu$	初期せん断弾性係数 $G_0(\times 10^5 \text{kN/m}^2)$
800	17.7	0.31	11.52

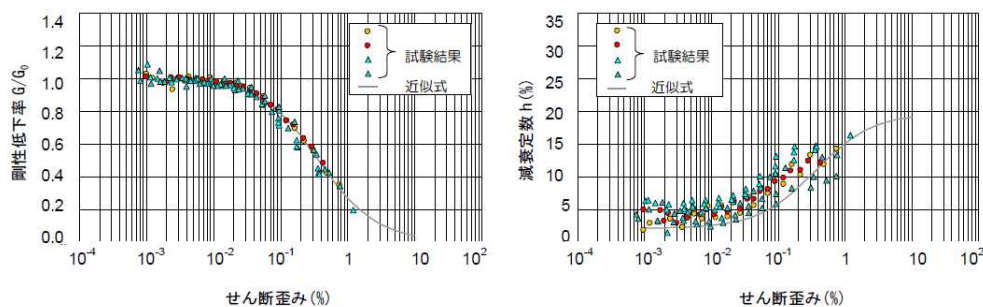
\*：『柏崎刈羽原子力発電所1号機 建物・構築物の耐震安全性評価について（指摘事項に関する回答）』（平成22年2月19日 東京電力株式会社），総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会構造WG（第46回）会合資料

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 改良地盤物性の設定について **TEPCO**

■ 類似条件下での改良地盤の試験結果を以下に示す。

出典：『柏崎刈羽原子力発電所1号機 建物・構築物の耐震安全性評価について（指摘事項に関する回答）』（平成22年2月19日 東京電力株式会社），総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会構造WG（第46回）会合資料



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガードの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表4.3.2-5(1) 地盤定数の設定結果（燃料取り出し用構台）

(a) Ss-1

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m³)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10⁵kN/m²)	初期せん断 弾性係数 G₀ (×10⁵kN/m²)	剛性 低下率 G/G₀	ヤング 係数 E (×10⁵kN/m²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0	改良地盤	800	17.7	0.310	11.40	11.52	0.99	29.87	2	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0	泥岩	500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-206.0		700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-
	(解放基盤)									

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガードの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表4.3.2-5(2) 地盤定数の設定結果（燃料取り出し用構台）

(b) Ss-2

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m³)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10⁵kN/m²)	初期せん断 弾性係数 G₀ (×10⁵kN/m²)	剛性 低下率 G/G₀	ヤング 係数 E (×10⁵kN/m²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0	改良地盤	800	17.7	0.310	11.40	11.52	0.99	29.87	2	8.1
-8.1		450	16.5	0.464	2.73	3.41	0.80	7.99	3	11.9
-20.0	泥岩	500	17.1	0.455	3.49	4.36	0.80	10.16	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	4.50	5.63	0.80	13.01	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.22	6.53	0.80	15.05	3	88.0
-206.0		700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-
	(解放基盤)									

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガードの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表4.3.2-5(3) 地盤定数の設定結果（燃料取り出し用構台）  
(c) Ss-3

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m³)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10⁵kN/m²)	初期せん断 弾性係数 G₀ (×10⁵kN/m²)	剛性 低下率 G/G₀	ヤング 係数 E (×10⁵kN/m²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0	改良地盤	800	17.7	0.310	11.40	11.52	0.99	29.87	2	8.1
-8.1	泥岩	450	16.5	0.464	2.63	3.41	0.77	7.70	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.36	4.36	0.77	9.78	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	4.34	5.63	0.77	12.55	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.03	6.53	0.77	14.51	3	88.0
-206.0		(解放基盤)	700	18.5	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガードの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表 4.3.2-6(1) 地盤定数の設定結果（原子炉建屋）  
(a) Ss-1

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m³)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10⁵kN/m²)	初期せん断 弾性係数 G₀ (×10⁵kN/m²)	剛性 低下率 G/G₀	ヤング 係数 E (×10⁵kN/m²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-206.0		(解放基盤)	700	18.5	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガードの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表 4.3.2-6(2) 地盤定数の設定結果（原子炉建屋）  
(b) Ss-2

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m³)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10⁵kN/m²)	初期せん断 弾性係数 G₀ (×10⁵kN/m²)	剛性 低下率 G/G₀	ヤング 係数 E (×10⁵kN/m²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1	泥岩	450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.53	4.36	0.81	10.27	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	4.56	5.63	0.81	13.19	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.29	6.53	0.81	15.26	3	88.0
-206.0		(解放基盤) 700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガードの耐震性に対する検討 **TEPCO**

表 4.3.2-6(3) 地盤定数の設定結果（原子炉建屋）  
(c) Ss-3

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m³)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10⁵kN/m²)	初期せん断 弾性係数 G₀ (×10⁵kN/m²)	剛性 低下率 G/G₀	ヤング 係数 E (×10⁵kN/m²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	8.1
-8.1	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-206.0		(解放基盤) 700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 改良地盤物性の設定について

TEPCO

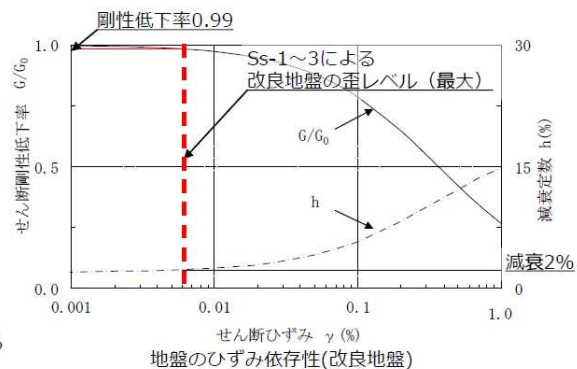
- 燃料取り出し用構台基礎直下は支持層（泥岩）に到達していないため、高圧噴射攪拌工法により地盤改良を行う。
- 物性値のうち圧縮強度とせん断波速度は、2号機燃料取り出し用構台と同一条件の4号機燃料取り出し用力バーでの実績値に基づき設定している。
- ひずみ依存特性は、本件と同様に、原地盤が砂質埋め戻し土及び砂岩であり、改良方法が高圧噴射攪拌工法を用いた類似条件下での物性を参照する。
- ひずみ依存性は、福島サイトでの実績値はないが、上記理由のほか、今回の入力地震動では剛性低下をほぼ起こさない応答レベルであり、減衰についても下限値の2%としている。
- 施工例が少なく、同工法、同設計値（剛性、強度）でのひずみ依存特性の実績値は上記を除き確認できなかったため、パラメトリックスタディを実施し、改良地盤のひずみ依存特性が応答に与える影響を確認した。（次頁以降記載）

	2号燃料取り出し用構台	(参考) 4号機燃料取り出し用力バー	
	設計仕様	設計仕様	実施工後の試験結果
せん断波速度 Vs(m/s)	800	800	836
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	5	5	4.498*
設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	3	3	2.300*

\*：設計バックフィットを実施し、設計成立性を確認している

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

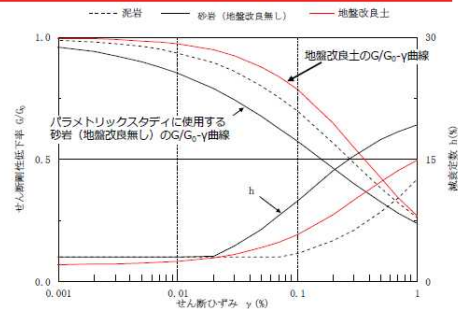
無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



## 改良地盤物性の設定について

TEPCO

- 地盤改良を実施すると、改良前地盤よりせん断剛性低下率のひずみ依存性が改善される
- ここでは仮に、地盤改良を実施しない砂岩のせん断剛性低下率のひずみ依存性を用いて基礎下入力動に及ぼす影響を確認する
- 一方、初期せん断剛性や減衰定数は、地盤改良土の物性をそのまま用いる
- 上記条件の場合、剛性低下しやすくなり、応答が大きくなる傾向となる
- 入力波基準地震動Ss-1とする



- 地盤改良土の物性をそのまま使用
- ひずみ依存特性を変更したことにより変更

標高 G.L. (m)	地質	初期せん断波速度 $V_{s0}$ (m/s)	単位体積重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	初期せん断弾性係数 $G_0$ ( $\times 10^6$ kN/m <sup>2</sup> )	剛性低下率 $G/G_0$	せん断弾性係数 $G$ ( $\times 10^6$ kN/m <sup>2</sup> )	剛性低下後せん断波速度 $V_s$ (m/s)	剛性低下後せん断弾性係数 $V_p$ (m/s)	減衰定数 $h$ (%)	層厚 $h$ (m)
0.0	(地盤改良土)	800	17.7	0.310	11.52	0.93	10.71	770	1470	2	8.1
-8.1	泥岩	450	16.5	0.464	3.41	0.78	2.66	398	1530	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	4.36	0.78	3.40	442	1540	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	5.63	0.78	4.39	495	1580	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	6.53	0.78	5.09	530	1640	3	88.0
-206.0	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	-	9.24	700	1890	-	-

【参考】  
砂岩の物性値

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

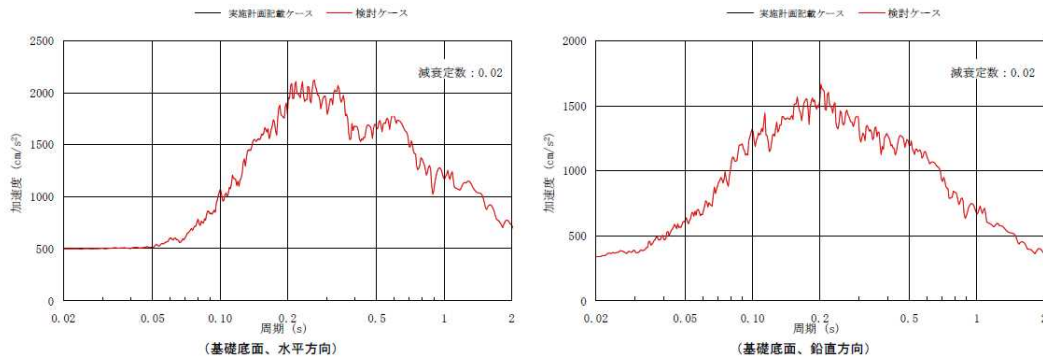
無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



## 改良地盤物性の設定について

TEPCO

- 基礎下入力動の比較を以下に示す
- 地盤改良を実施しない砂岩のひずみ依存特性を適用した場合においても、基礎下入力動は地盤改良を実施した類似条件下のひずみ依存性を用いた場合とほぼ同等であり、改良地盤のひずみ依存特性が応答に与える影響は十分小さいことを確認した



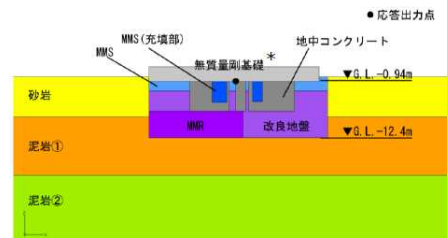
基礎下入力動の加速度応答スペクトルの比較（基準地震動Ss-1）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 改良地盤部の地中構築物影響について

TEPCO

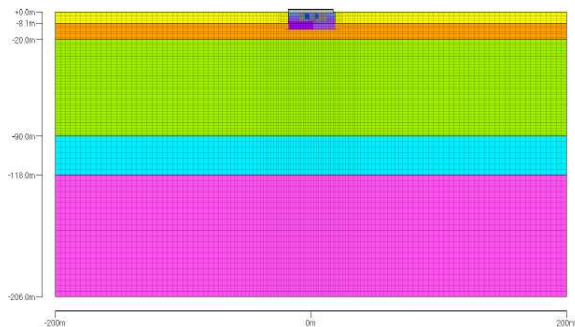
- 改良地盤部には、地中構築物（コンクリート）やMMRが残置されており、これらの影響について2D-FEMモデルを用いて確認する
- 地中コンクリート及びMMRは、建設時の工事記録の設計基準強度を参照し、剛性を設定する
- 2D-FEMモデル下端は解放基盤（G.L.-206.0m）までとし、下端には粘性境界を、側方はエネルギー伝達境界を設定する
- 検討用地震動は、3波のうち最も応答が大きくなる傾向がある基準地震動Ss-1とする
- 入力方法は、水平と鉛直の同時入力とする



\*：一次元波動論により算出した応答との比較を行うため、一次元波動論での算出時にモデル化していない基礎は、無質量剛基礎とした

改良地盤部の地盤物性値			
	改良地盤・MMS (設計仕様)	地中コンクリート	MMR
せん断波速度 Vs(m/s)	800	—	—
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	5	—	—
設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	3	22.1*	13.7*

\*：剛性の算定は日本建築学会RC規準に基づく



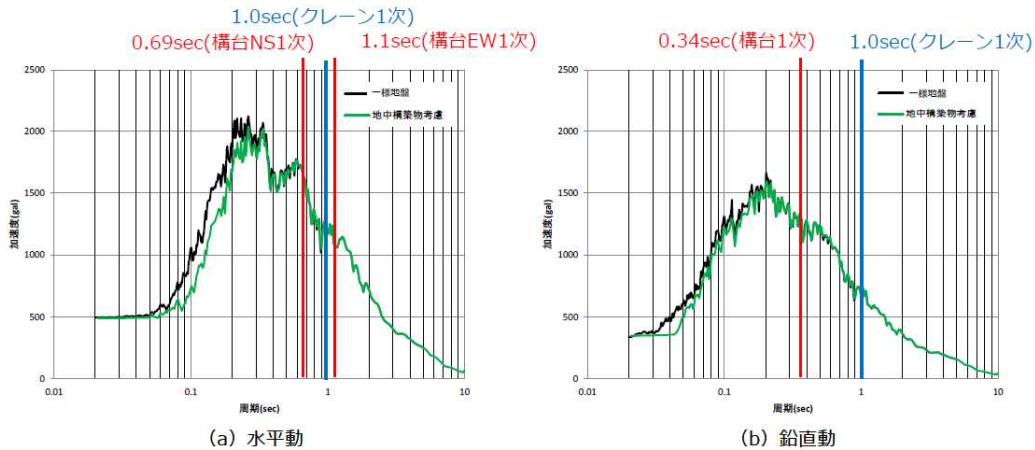
地盤FEMモデル

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 改良地盤部の地中構築物影響について

TEPCO

- 基礎下入力動の比較を以下に示す
- 水平動および鉛直動ともに、地中構築物を考慮した解析結果は、実施計画変更認可申請に記載した結果（地中構築物を考慮せず、一様な改良地盤と仮定し一次元波動論により算出（以下「一様地盤」と呼ぶ））と比較して、ほぼ同等で一部周期帯では下回る結果となった
- 以上より、架構、燃料取扱設備とも地中構築物を考慮せず、一様な改良地盤として評価する方が保守的な評価になっており、妥当であることを確認した



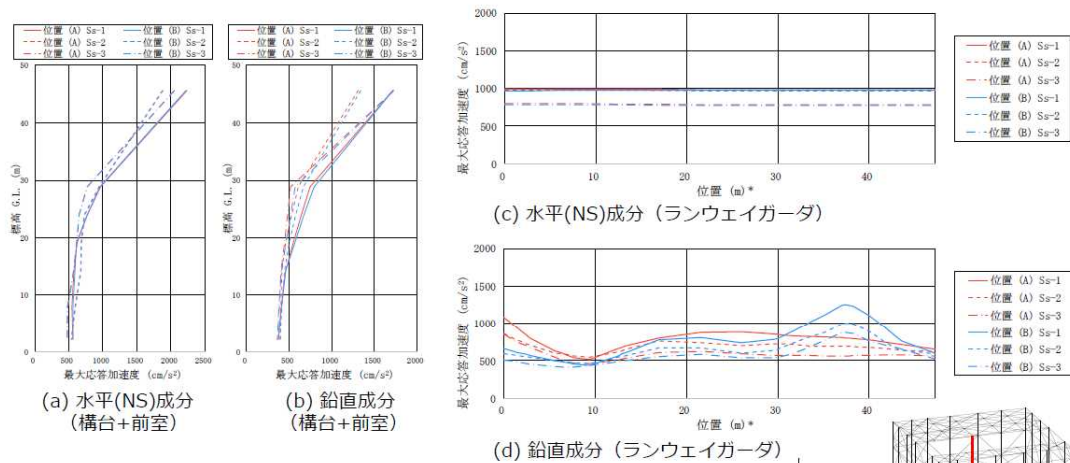
基礎下入力動の加速度応答スペクトルの比較（基準地震動Ss-1,  $h=2\%$ ）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討

TEPCO



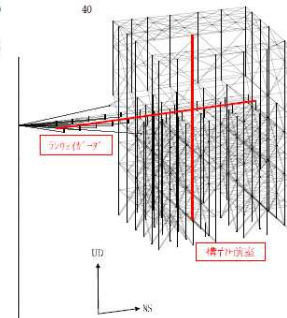
注：凡例位置の条件は表4.2.1-4に示す。

\*：位置は原子炉建屋側の先端からの距離を示す。

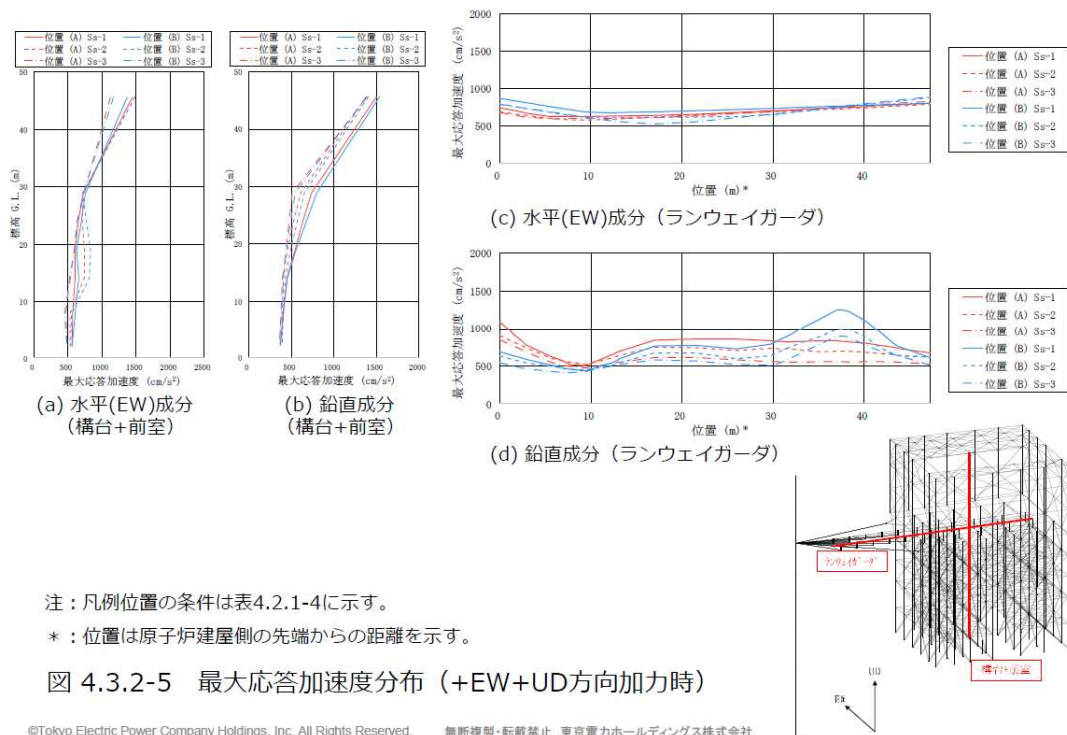
図 4.3.2-4 最大応答加速度分布（+NS+UD方向加力時）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**



#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

##### ■ 波及的影響の評価

地震応答解析結果が、JSCA 性能メニュー（社団法人日本建築構造技術者協会2018年3月）を参考に定めたクライテリア（「層間変形角は1/75 以下、層の塑性率は4 以下、部材の塑性率は5 以下」\*及びせん断力はせん断耐力以下）を満足することを確認する。

\*：北村春幸，宮内洋二，浦本弥樹「性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究」，日本建築学会構造系論文集，第604 号，2006 年6 月

表 4.3.2-7 最大応答層間変形角の検討結果

検討箇所	地震波	入力方向 (位置)*	最大応答値	クライテリア	判定
構台 (1F-6F間) G.L.28.894(m) ～G.L.2.060(m)	Ss-1	NS (B)	1/443	1/75	O.K.
		EW (B)	1/320	1/75	O.K.
	Ss-2	NS (B)	1/461	1/75	O.K.
		EW (B)	1/280	1/75	O.K.
	Ss-3	NS (A)	1/591	1/75	O.K.
		EW (B)	1/262	1/75	O.K.

\*：( )内は，燃料取扱設備の位置を示す。（表4.2.1-4参照）



#### 4.3.2 構台、前室およびランウェイガーダの耐震性に対する検討 **TEPCO**

部材の応力度比は、2方向の曲げ、軸力及びせん断力の各最大応力と各許容応力度との比を組み合わせた値で表される。なお、材料強度は「建設省告示第2464号」に定められた基準強度F 値の1.1 倍を用いる。

表 4.3.2-8 断面検討結果

部位*1			部材形状(mm) <使用材料>	荷重ケース (位置)*2	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		応力度比	判定
鉄骨 部材	③	柱	(X)H-700×300 ×36×36 (Y)H-700×350 ×36×40 <SM490A>	Ss-3 +EW-UD (B)	$\sigma_c$	43.4	$f_c$	343	0.91	O.K.
					$\sigma_{by}$	246.2	$f_{by}$	337		
					$\sigma_{bz}$	17.1	$f_{bz}$	357		
					T	18.8	$f_s$	205		
	④	梁	H-750×350 ×40×40 <SM490A>	Ss-3 +EW-UD (B)	$\sigma_c$	24.1	$f_c$	350	0.87	O.K.
					$\sigma_{by}$	265.9	$f_{by}$	352		
					$\sigma_{bz}$	5.0	$f_{bz}$	357		
					T	41.5	$f_s$	205		
	⑤	鉛直 ブレース	Φ-406.4×9.5 <STK490>	Ss-1 +NS-UD (B)	$\sigma_c$	214.2	$f_c$	294	0.73	O.K.
	⑥	ランウェイ イガーダ	□-1500×900× (80+40)×80 <SN490B>	Ss-1 +NS-UDと +EW-UDと の包絡 (A)	$\sigma_c$	24.2	$f_c$	323	0.35	O.K.
					$\sigma_b$	85.4	$f_b$	323		
					T	14.9	$f_s$	186		

\*1: ③～⑥の符号は図 4.3.2-4の応力検討箇所を示す。

\*2: ( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。(表4.2.1-4参照)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### JSCA性能メニューと損傷レベル

**TEPCO**

##### ■ JSCA性能メニューに定められた各クライテリアの損傷レベルについて

対象	性能評価項目	損傷限界	安全限界余裕度 I <性能限界余裕度 I>	安全限界余裕度 II <性能限界余裕度 II>	安全限界 <性能限界>
建物挙動	R (rad)	1/200	1/150	1/100	1/75
構造 体	構造骨組 (層)	Q	Q <sub>u</sub>		
		μ	1.0	μ <sub>u</sub> / 2.0	μ <sub>u</sub> / 1.33 < μ <sub>u</sub> / 1.50 >
		η	JASS6 型	η <sub>u</sub> / 4.0	η <sub>u</sub> = 10.7(δ <sub>v</sub> /δ <sub>eq</sub> )
			ノックダウン	η <sub>u</sub> / 4.0	η <sub>u</sub> = 18.2(δ <sub>v</sub> /δ <sub>eq</sub> )
			梁端混用	η <sub>u</sub> / 4.0	η <sub>u</sub> = 6.7(δ <sub>v</sub> /δ <sub>eq</sub> )
	構造部材	γ (%)	0	30	60
		μ <sub>m</sub>	1.0	μ <sub>mu</sub> / 2.0	μ <sub>mu</sub> / 1.33
		η <sub>m</sub>	JASS6 型	η <sub>mu</sub> / 4.0	η <sub>mu</sub> = 21.5
			ノックダウン	η <sub>mu</sub> / 4.0	η <sub>mu</sub> = 36.5
			梁端混用	η <sub>mu</sub> / 4.0	η <sub>mu</sub> = 13.5
制振 免震部材	η <sub>d</sub>	—	η <sub>du</sub> / 4.0	η <sub>du</sub> / 1.77	η <sub>du</sub>
	W <sub>d</sub>	—	W <sub>du</sub> / 4.0	W <sub>du</sub> / 1.77	W <sub>du</sub>
	δ <sub>I</sub>	—	δ <sub>Iu</sub> / 2.0	δ <sub>Iu</sub> / 1.33	δ <sub>Iu</sub>
建物の状態		無被害 機能維持 修復不要	軽微な被害 主要機能確保 軽微な修復	小破 指定機能確保 小規模修復	中破 限定機能確保 中規模修復

※<内は 2017 年版 JSCA 性能設計説明書において変更した項目

出典: JSCA性能設計説明書2017年版【耐震性能編】(社団法人日本建築構造技術者協会)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

■ 地震によるS造建物の状態

被害の程度	軽微な被害	小 破	中 破	大 破
構造部材	無被害	ほぼ無被害	ブレースなどの一部に座屈などの損傷が生じる	建物を支持する部材に座屈・破断が生じる
外 壁	ほぼ無被害	継目のシール材に剥離、すれなどの損傷が生じる	外装材の一部に損傷が生じるが、脱落はしない	外装材が破損し、脱落が生じる
内 壁	下地材の継目で仕上げ材(クロス)に亀裂などの損傷が生じる	下地材の一部に損傷が生じる	下地材に損傷が生じ、一部で脱落する	下地材が破損し、脱落が生じる
天 井	ほぼ無被害	天井材の一部に損傷が生じる	天井材に損傷が生じ、一部で脱落する	天井材が破損し、脱落が生じる

■ 中破の被災イメージ



出典：JSCA性能設計説明書2017年版【耐震性能編】（社団法人日本建築構造技術者協会）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

No.25 国交省で定められたF値の1.1倍適用の考え方

■燃料取り出し用構台に用いる鋼材は以下告示に定めるJIS規格品を用いるため適用可能。

告示 平12建告第2464号 第1・第3

鋼材等及び溶接部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件

建築基準法施行令（昭和25年政令第338号）第90条、第92条、第96条及び第98条の規定に基づき、鋼材等及び溶接部の許容応力度並びに鋼材等及び溶接部の材料強度の基準強度を次のように定める。

第1 表 鋼材等の許容応力度の基準強度（抜粋）

鋼材等の種類及び品質					基準強度(単位1平方ミリメートルにつきニュートン)
炭素鋼	構造用鋼材	SS400	JIS G3101	鋼材の厚さが40ミリメートル以下のもの	235
		SM490A	JIS G3106	鋼材の厚さが40ミリメートルを超え100以下のもの	215
		SN490B	JIS G3136	鋼材の厚さが40ミリメートル以下のもの	235
		SN490C	JIS G3136		
		STK490	JIS G3444	鋼材の厚さが40ミリメートルを超え100以下のもの	295
異形鉄筋		SD295	JIS G3112,	-	295
		SD345	JIS G3117	-	345

第3 鋼材等の材料強度の基準強度

一 鋼材等の材料強度の基準強度は、次号に定めるもののほか、第1の表の数値とする。ただし、炭素鋼の構造用鋼材、丸鋼及び異形鉄筋のうち、同表に掲げるJISに定めるものについては、同表の数値のそれぞれ1.1倍以下の数値とすることができる。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

### 4.3.3 弾性支承の耐震性に対する検討

TEPCO

- 弾性支承に作用する圧縮力による面圧が、圧縮限界強度以下となることを確認する。圧縮限界強度はゴム材料の弾性係数に応じて製品が規定する数値である。

表 4.3.3-1 弾性支承の耐震性に対する検討結果

設置位置	最大面圧発生ケース (位置)*	圧縮限界強度 $\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	最大圧縮面圧 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_b/\sigma_v$	判定
西側	Ss-1+NS-UD(A)	43.00	10.83	0.26	O.K.
東側	Ss-1+NS-UD(A)	43.00	10.83	0.26	O.K.

\* : ( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。(表4.2.1-4参照)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

### 弾性支承の耐震性に対する検討

TEPCO

- 下記製品相当品を使用予定

出典:ブリヂストン建築免震用積層ゴム製品仕様一覧2019 Vol.1

**天然ゴム系積層ゴム (NRB)**

国土交通省免震材料認定番号 MVBR-0295 (N3, G3, G5) 取得: 2006年1月  
MVBR-0509/MVBR-0518 (G4) 取得: 2014年12月

**●製品形状**

項 目	解 説
ゴム外径 : $D_o$ (mm)	
ゴム内径 : $D_i$ (mm)	
ゴム内径数 : $n_i$	
有効断面面積 : $A$ ( $\times 10^3$ mm <sup>2</sup> )	
ゴム一層厚 : $t_o$ (mm)	
ゴム層数 : $n$	
ゴム総厚 : $H = n \cdot t_o$ (mm)	
1次形状係数 $S_1 = (D_o^2 - n_i \cdot D_i^2) / (4 \cdot t_o \cdot (D_o + n_i \cdot D_i))$	
2次形状係数 $S_2 = D_o / (n \cdot t_o)$	
フランジ外径 : $D_f$ (mm)	
フランジ厚さ・縦筋 / 中央部 : $t_f / t_n$ (mm)	
取付ボルト穴 PCD : PCD (mm)	
取付ボルト穴径×数 : $d_s$ (mm) × 数	
想定ボルトサイズ : M ( $d_s - 9$ )	
内部鋼板厚さ : $t_s$ (mm)	
製品総高さ : $H_t$ (mm)	
製品総重量 1 (kN) = 1/9.80665 (tonf)	

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



出典:ブリヂストン建築免震用積層ゴム製品仕様一覧2019 Vol.1(つづき)

●鉛直性能

■ 鉛直剛性  $K_v$

●鉛直剛性  $K_v$  は以下の式より算出します。

$$K_v = E_c \cdot \frac{A}{H} \quad E_c = \frac{E(1+2\kappa S_1^2)}{1+E(1+2\kappa S_1^2)/E_m}$$

■ 壓縮限界強度 (右図参照)

●せん断ひずみ 0 時の座屈面圧  $\sigma_{cr}$  は次式で決定しています。

$$\sigma_{cr} = \pi / 4 \cdot \alpha_c \cdot (G_{eq} \cdot E_b)^{0.5} \cdot S_2$$

ただし、 $E_b = E (1 + 2/3 \cdot \kappa \cdot S_i^2) / \{1 + E (1 + 2/3 \cdot \kappa \cdot S_i^2) / E_\infty\}$

$\alpha_c$ : 弊社試験データより定めた  $S_2$  による補正係数

$$S_2 \geq 5 \text{ の場合: } \alpha_c = 1.0 \quad S_2 < 5 \text{ の場合: } \alpha_c = 0.10 \cdot (S_2 - 5) + 1$$

●任意のせん断ひずみ $\gamma$ における圧縮限界強度 $\sigma_{cr}(\gamma)$ は、 $\sigma_{cr}$ を用いて次式で決定しています。

$$\sigma_{cr}'(\gamma) = \sigma_{cr} \cdot (1 - \beta_c \cdot \gamma / S_2)$$

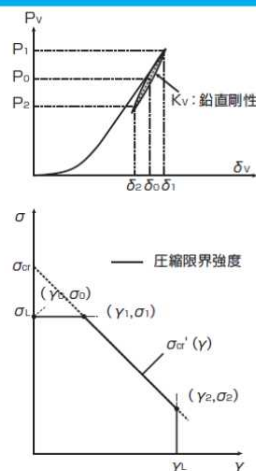
$\beta_c$ : 弊社試験データより定めた  $S_2$  による補正係数

$$S_2 \geq 5 \text{ の場合: } \beta_c = 0.76 \quad S_2 < 5 \text{ の場合: } \beta_c = 0.76 / \{0.15 \cdot (S_2 - 5) + 1\}$$

●圧縮限界強度はゴム材料の弾性係数に応じて以下の上限値 $\sigma_L$ を超えない領域までとし、ひずみ領域としては0面圧時の限界ひずみ $\gamma_L$ を超えない範囲までで規定しています。

ゴム材料（呼称）G0.30、G0.35 の場合： $\sigma_1 \equiv 40$  (N/mm<sup>2</sup>)

ゴム材料(呼称) G0.40、G0.45 の場合:  $\sigma_1 = 60$  (N/mm<sup>2</sup>)

 $Y_L = 400\%$  または  $S_2 \times 100\%$  のうち小さい値

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

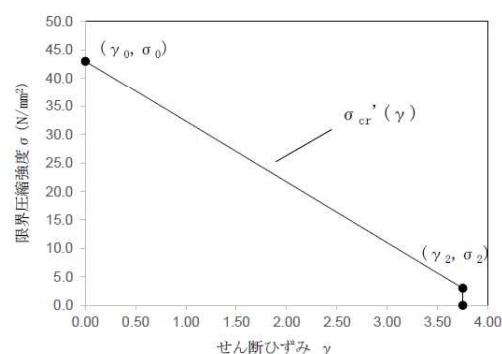
## 弾性支承の耐震性に対する検討

出典:ブリヂストン建築免震用積層ゴム製品仕様一覧2019 Vol.1(つづき)

[illegible]

### 装置性能

せん断ひずみ		限界圧縮強度	
$\gamma_0$	0.00	$\sigma_0$	43.0
$\gamma_2$	3.75	$\sigma_2$	3.0



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 弾性支承の設置条件

TEPCO

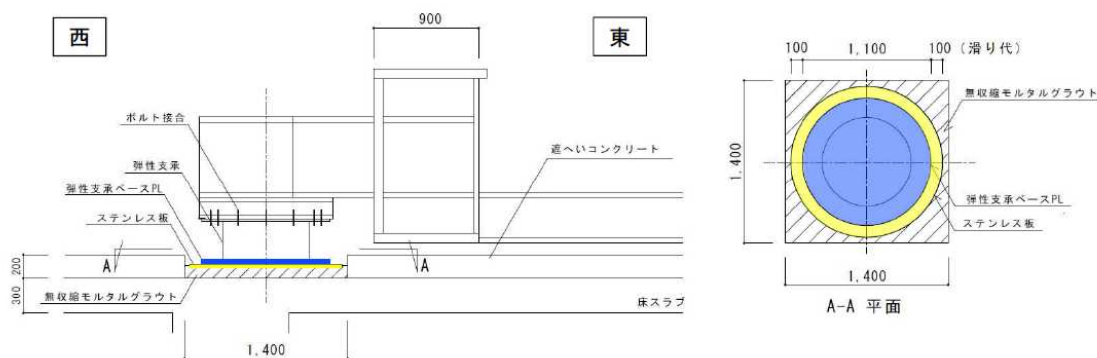
- 次頁に示すように、弾性支承は原子炉建屋床面上にステンレス板を設置し、その上に直接設置する計画としているが、被ばく量の低減のためテフロン板、防塵カバーの設置や床面への固定は行わない
- Ss時の水平方向の最大応答相対変位は、NS方向で45mm、EW方向で71mmであり、滑り代100mm以下であるため、弾性支承がステンレス板上を滑動しても問題無い
- Ss時の水平方向の最大応答相対変位は、弾性支承のせん断変形に対する許容値400 mm（せん断歪み $\gamma = 200\%$ に相当）と比較し十分小さいことから、ベースプレートとステンレス板の摩擦により弾性支承が滑動しなかったとしても、地震により発生するせん断歪みで損傷することは無い
- 水平方向の摩擦力は地震時にランウェイガードの応答を抑制する側に作用するため、地震応答解析では摩擦力を考慮せず、フリーの条件とすることは、ランウェイガードの応答を保守的に評価することとなる
- 以上から、現状の摩擦力を考慮しない境界条件は、妥当だと判断している

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 弾性支承の設置条件

TEPCO



弾性支承設置概要図（単位：mm）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



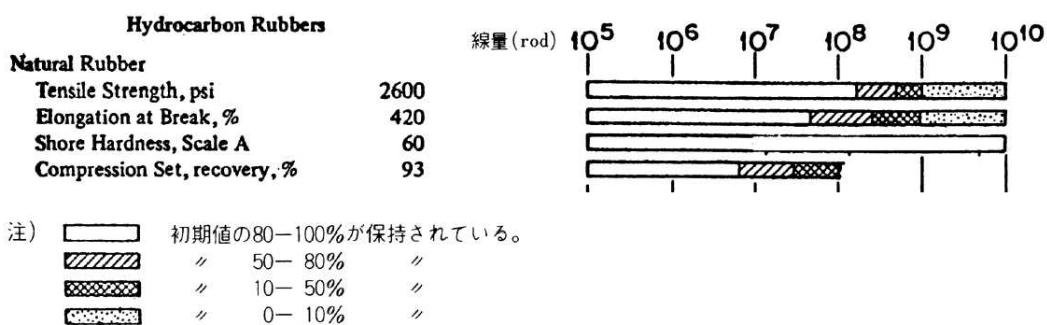
## 弾性支承の設置条件

TEPCO

【弾性支承（天然ゴム系積層ゴム）の耐放射線性】

- 弾性支承の放射線に対する耐久性は以下の文献を参照し、 $10^6 \text{ rad}$  ( $=1.0 \times 10^4 \text{ Gy}$ ) 程度であれば大きな劣化は起こらず問題無いと判断している
- 設置環境を仮定し、どの程度の照射量となるか試算した  
 $2 \text{ 年} \times 365 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間} \times 19 \text{ mSv/h}^* = 332.9 \text{ Sv} \rightarrow 332.9 \text{ Gy} < 1.0 \times 10^4 \text{ Gy}$   
 使用限界線量に対し十分小さいことを確認した

\*：2021年2月～3月（除染及び遮蔽未実施）の実測値であり今後低減させる見込み



出典：日本ゴム協会誌 第52巻 第2号(1979) ゴムの耐放射線性 町 末男

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.3.4 オイルダンパの耐震性に対する検討

TEPCO

各部位で用いられるオイルダンパの耐震性に対する検討は、地震応答解析における最大応答値が許容値以下であることを確認する。

表 4.3.4-1 オイルダンパ（水平棟間）の検討結果

検討	地震波	入力方向(位置)*	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ変位 (mm)	Ss-1	NS (B)	50	±100	O.K.
オイルダンパ速度 (m/s)	Ss-2	NS (B)	0.54	0.70	O.K.

表 4.3.4-2 オイルダンパ（鉛直）の検討結果

検討	地震波	入力方向(位置)*	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ変位 (mm)	Ss-3	EW (B)	18	±60	O.K.
オイルダンパ速度 (m/s)	Ss-1	NS (B)	0.16	0.50	O.K.

表 4.3.4-3 はね付きオイルダンパの検討結果

検討	地震波	入力方向(位置)*	最大応答値	許容値	判定
オイルダンパ変位 (mm)	Ss-1	NS (A)	18	±100	O.K.
オイルダンパ速度 (m/s)	Ss-1	NS (A)	0.14	1.00	O.K.

\*：( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。(表4.2.1-4参照)

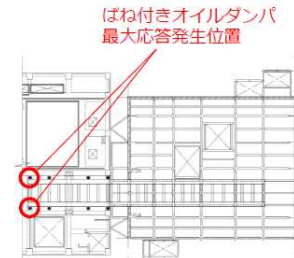
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## ばね付きオイルダンパの設置条件

TEPCO

- 次頁に示すように、ばね付きオイルダンパの下面にはすべり材（テフロン板）を取付け、原子炉建屋床面上に設置したすべり板（ステンレス板）との間で接触させ、水平方向に滑動できる計画としており、剛すべり支承\*1の機構を参考に水平力を負担しない条件とした
  - Ss時の水平方向の最大応答相対変位は、NS方向で45mm、EW方向で76mmであり、滑り代100mm以下となっている
  - Ss時の最大面圧は13.4N/mm<sup>2</sup>であり、基準面圧\*2（20N/mm<sup>2</sup>）を下回ることから、面圧によるテフロンの損傷は起こらない
  - ステンレス板（テフロンコーティング）とテフロン板との基準摩擦係数は0.013であり、非常に小さい
  - 摩擦係数はばらつきや次頁の通り速度依存性や面圧依存性があるため、設置条件を考慮し、保守的に摩擦係数を0.040と仮定すると、Ss時の応答解析結果から得られる最大発生軸力に、上記摩擦係数を掛けて得た最大摩擦力は、28kN（0.04×680kN（最大軸力））となり、ばね付きオイルダンパのせん断許容値である40kNを下回る
  - 一般的にオイルダンパは両端固定し設置し、伸方向/縮方向両方向で減衰力を発揮
  - 一方剛すべり支承は長期荷重を負担し、地震時に荷重を逃がす形で設置
  - 今回の設置方法は、オイルダンパ下部にすべり材（テフロン板）を備えており、縮方向のみ減衰力を発揮することや、長期荷重を負担しない部分にすべり材を設置することが一般的な設置条件と異なる
  - なお、3号機燃料取り出し用カバーで2号燃料取り出し用構台と同様の設置方法を用いており、実績がある
- \*1 すべり材（テフロン板）を備え、すべり板（ステンレス板）上を滑らせる構造とした、「剛すべり支承」は、一般建物の渡り廊下や免震建物の付属施設（エレベータ、階段、周辺低層部）の下部に用いられている
- \*2 長期許容面圧に相当



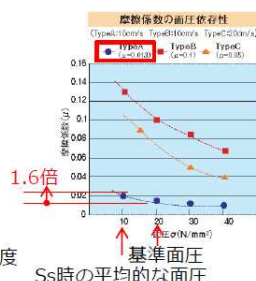
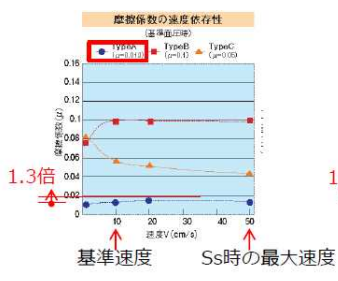
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## ばね付きオイルダンパの設置条件

TEPCO

	TypeA $\mu=0.013$	TypeB $\mu=0.1$	TypeC $\mu=0.05$
長期鉛直荷重	100kN～10000kN		
短期鉛直荷重	200kN～20000kN（長期鉛直荷重x2.0）		
摩擦係数※1	0.013	0.1	0.05
基準面圧	20N/mm <sup>2</sup>		
変位量※2	±500mm		

※1. TypeA, TypeBは正減速最大速度10cm/sの時、TypeCは20cm/sの時を示しております。  
※2. 変位量は設計を考慮して応用することができます。



- ・ 摩擦係数のばらつき\*：±30%
  - ・ 速度依存性：+30%
  - ・ 面圧依存性：+60%
- 変動要因をすべて考慮した摩擦係数  
 $0.013 \times 1.3 \times 1.3 \times 1.6 = 0.035 \rightarrow 0.04$ と仮定

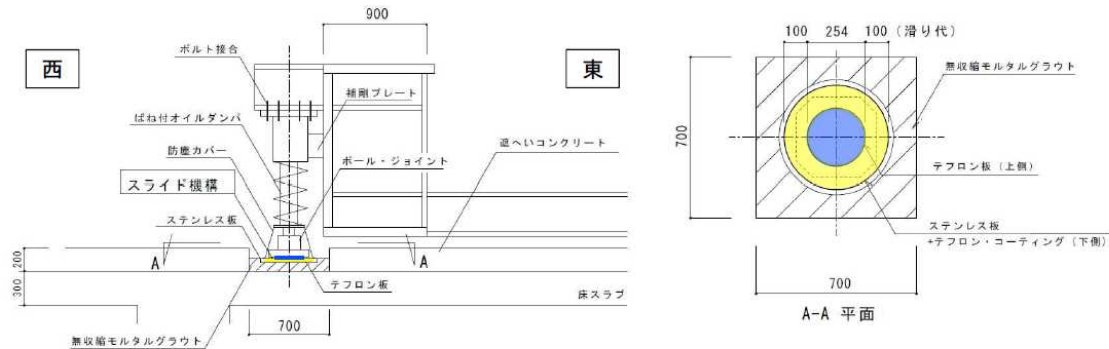
\*：設計で参照したカタログ（MVBR-0293）には記載がないものの、最新の大匠認定（MVBR-0606）のカタログを参照し設定

基準摩擦係数および摩擦係数の速度および面圧依存特性（出典：日本ピラー工業（株）カタログ）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## ばね付きオイルダンパの設置条件

TEPCO



ばね付きオイルダンパ設置概要図 (単位: mm)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## ばね付きオイルダンパの設置条件

TEPCO

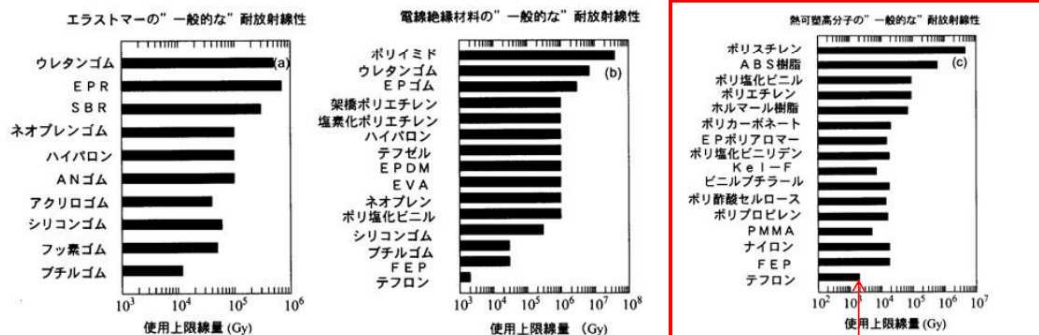
### 【テフロンの耐放射線性】

- テフロンの放射線に対する耐久性は以下によると、約 $2 \times 10^3$  Gyと評価されている
- 設置環境を仮定し、どの程度の照射量となるか試算した

$$2\text{年} \times 365\text{日} \times 24\text{時間} \times 19\text{mSv/h}^* = 332.9\text{Sv} \rightarrow 332.9\text{Gy} < 2000\text{Gy}$$

使用限界線量に対し十分小さいことを確認した

\* : 2021年2月～3月 (除染及び遮蔽未実施) の実測値であり今後低減させる見込み



出典: 日本原子力研究所 高分子系材料の耐放射線特性とデータ集 (2003年9月)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



## 燃料取扱設備位置選定の妥当性について

TEPCO

- 実施計画変更認可申請書において、燃料取扱設備が原子炉建屋側にある場合（位置 A）と構台内にある場合（位置 B）を、構造強度および耐震性の検討条件としていることの妥当性を確認するため、中間位置にある場合（以降 位置 C）における走行台車位置応答、および燃料取り出し用構台を構成する各部材の応答結果の比較を行った

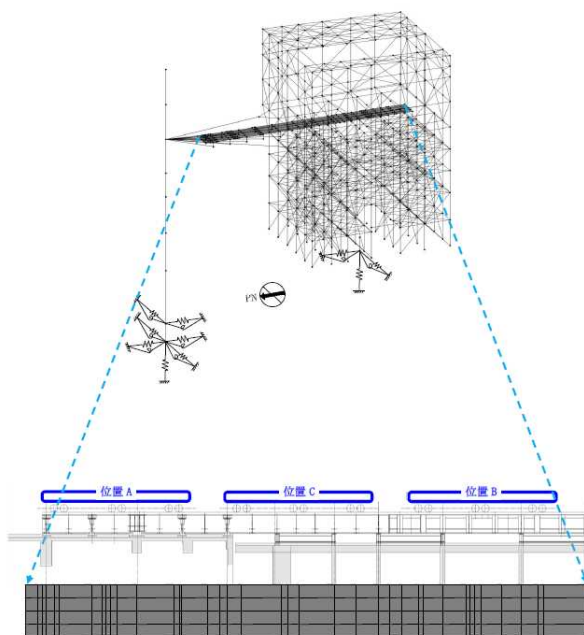
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

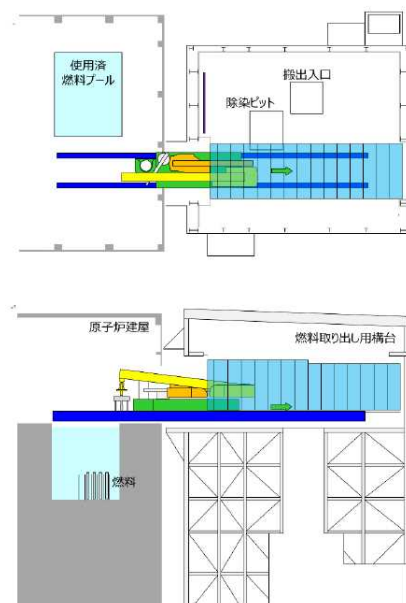
## 燃料取扱設備の位置の選定の妥当性について

TEPCO

- 燃料取扱設備の位置、および位置 C における作業姿勢は下図のとおり



燃料取扱設備位置図



燃料取扱設備台車上の機器の姿勢

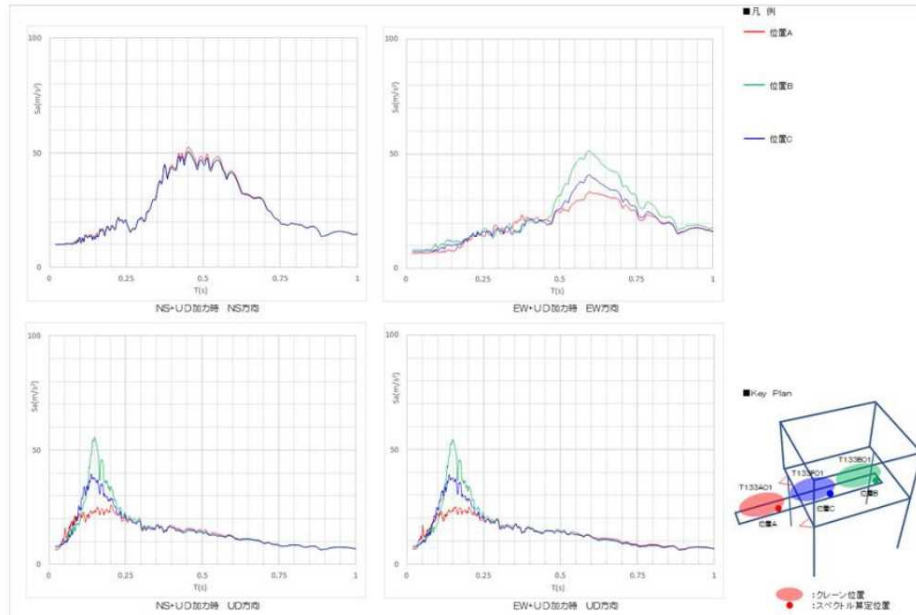
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 燃料取扱設備の位置の選定の妥当性について

TEPCO

- 位置Cにおける燃料取扱設備作業台車車輪位置での加速度応答スペクトルは、位置Aおよび位置Bにおける加速度応答スペクトルにほぼ包絡される形となり、中間位置での応答が燃料取扱設備に与える影響は十分に小さいことを確認した



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 燃料取扱設備の位置の選定の妥当性について

TEPCO

- 燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果の比較は以下のとおり
- 位置の違いによる最大応力度比発生位置に違いは無く、位置Cの応答結果が位置A,Bの包絡値を下回ることを確認した

部位			部材形状(mm) <使用材料>	許容応力度 (N/mm²)		位置A,B包絡値		位置C応答結果	
						作用応力度 (N/mm²)	応力度比	作用応力度 (N/mm²)	応力度比
鉄骨 部材	a	柱	(X)H-700×300 ×36×36 (Y)H-700×350 ×36×40 <SM490A>	$f_c$	343	43.4	0.91	44.6	0.81
				$f_{by}$	337	246.2		215.6	
				$f_{bz}$	357	17.1		11.6	
				$f_s$	205	18.8		16.5	
	b	梁	H-750×350 ×40×40 <SM490A>	$f_c$	350	24.1	0.87	21.1	0.76
				$f_{by}$	352	265.9		231.4	
				$f_{bz}$	357	5.0		4.3	
				$f_s$	205	41.5		36.2	
	c	鉛直 ブレース	Φ-406.4×9.5 <STK490>	$f_c$	294	214.2	0.73	213.3	0.73
	d	ランウェイ イガータ	□-1500×900× (80+40)×80 <SN490B>	$f_c$	323	24.2	0.35	10.3	0.27
				$f_b$	323	85.4		73.3	
				$f_s$	186	14.9		12.7	

燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果比較

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 燃料取扱設備の位置の選定の妥当性について

TEPCO

- 弾性支承およびオイルダンパの応答結果の比較は以下のとおり
- 位置Cでの応答結果が位置A,Bの包絡値を下回ることを確認した
- 前頁に記載した、燃料取扱設備台車車輪位置での加速度応答スペクトル、燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果と併せ、位置Aおよび位置Bを構造強度および耐震性の検討条件として選定することの妥当性を確認した

		許容値	位置A,B 包絡値	位置C 応答結果			位置A,B 包絡値	位置C 応答結果
			最大応答値	最大応答値			最大圧縮 面圧 $\sigma_D$ (N/mm <sup>2</sup> )	最大圧縮 面圧 $\sigma_D$ (N/mm <sup>2</sup> )
オイルダンパ (水平棟間)	変位 (mm)	±100	50	47	設置 位置	圧縮限界 強度 $\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	最大圧縮 面圧 $\sigma_D$ (N/mm <sup>2</sup> )	最大圧縮 面圧 $\sigma_D$ (N/mm <sup>2</sup> )
	速度 (m/s)	0.70	0.54	0.52				
オイルダンパ (鉛直)	変位 (mm)	±60	18	16				
	速度 (m/s)	0.50	0.16	0.15				
ばね付き オイルダンパ	変位 (mm)	±100	18	8	西側	43.00	10.83	5.87
	速度 (m/s)	1.00	0.14	0.12	東側	43.00	10.83	5.92

弾性支承の応答結果比較

オイルダンパの応答結果比較

\*：【4.3.5 1/2Ss450とSs600の応答結果の比較検討】については、「IV 2号燃料取り出し関連設備に対する1/2Ss450評価について」に記載するため、本資料では省略する

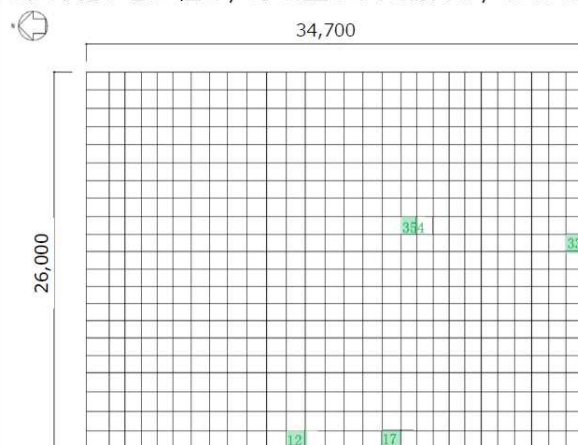
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.3.6 基礎の耐震性に対する検討

TEPCO

### ■ 解析モデル

基礎の応力解析は、弾性地盤上に支持された版として有限要素法を用いて行う。解析モデルは下図に示すように四辺形の均質等方な板要素により構成し、支持地盤は等価な弾性ばねとしてモデル化する。但し、浮き上がった場合は、ばねの剛性が0となる。



凡例 ■■■ : Ss 地震時断面算定要素 (数字は要素番号)

図 4.3.6-1 基礎モデル(Ss 地震時)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



## 4.3.6 基礎の耐震性に対する検討

TEPCO

### ■ 断面検討

組合せた応力より、各要素の必要鉄筋比を「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（2013年8月）」より求め、設計配筋が必要鉄筋比を上回ること及び面外せん断力が許容せん断力以下であることを確認する。なお、各許容応力度及び引張耐力算定時の材料強度は「建設省告示第2464号」に定められた基準強度F 値の1.1 倍を用いる。

表 4.3.6-1 断面検討結果

要素番号	方向	荷重ケース (位置) <sup>*1</sup>	設計応力		N/(b・D) <sup>2</sup> ( $\times 10^{-2}$ N/mm <sup>2</sup> )	M/(b・D <sup>2</sup> ) ( $\times 10^{-2}$ N/mm <sup>2</sup> )	Pt (%)	設計配筋 上段：上端筋 (pt:%) 下段：下端筋 (pt:%)	設計面外 せん断力 Q(kN/m)	許容せん断力 fs・b・j (kN/m)	判定
			N <sup>2</sup> (kN/m)	M (kN・m/m)							
12	NS	Ss-1 +NS-UD (A)	382.3	11137.8	0.127	1.238	0.378	2-D38@200 3-D38@200 (0.38) (0.57)	542.8	2616	O.K.
336	EW	Ss-3 +EW-UD (B)	702.3	8453.6	0.234	0.939	0.261	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	513.9	2663	O.K.
17	NS	Ss-1 +NS-UD (A)	485.8	3585.9	0.162	0.398	0.099	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	2048.4	2663	O.K.
354	EW	Ss-2 -EW+UD (B)	700.2	4994.3	0.233	0.555	0.139	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	1806.0	2663	O.K.

\*1：燃料取扱設備の位置を示す。\*2：圧縮を正とする。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 基礎版FEMの荷重条件と応力コンター

TEPCO

- 基礎版の断面検定において最大検定比となる荷重ケースを下表に示す。検定比最大ケースの応力コンター図を次ページ以降に示す。

表：検定比最大ケース一覧

要素番号	方向	荷重ケース (位置) <sup>*1</sup>	設計応力		N/(b・D) <sup>2</sup> ( $\times 10^{-2}$ N/mm <sup>2</sup> )	M/(b・D <sup>2</sup> ) ( $\times 10^{-2}$ N/mm <sup>2</sup> )	Pt (%)	設計配筋 上段：上端筋 (pt:%) 下段：下端筋 (pt:%)	せん断補強筋 (Pw:%)	設計面外 せん断力 Q(kN/m)	許容せん断力 fs・b・j (kN/m)	判定
			N <sup>2</sup> (kN/m)	M (kN・m/m)								
12	NS	Ss-1+NS -UD(A)	382.3	11137.8	0.127	1.238	0.378	2-D38@200 3-D38@200 (0.38) (0.57)	—	542.8	2616	O.K.
336	EW	Ss-3+EW -UD(B)	702.3	8453.6	0.234	0.939	0.261	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	—	513.9	2663	O.K.
17	NS	Ss-1+NS -UD(A)	485.8	3585.9	0.162	0.398	0.099	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	—	2048.4	2663	O.K.
354	EW	Ss-2-EW +UD(B)	700.2	4994.3	0.233	0.555	0.139	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	—	1806.0	2663	O.K.

\*1：燃料設備の位置を示す。\*2：圧縮を正とする。

- 最大検定比が生じる要素が応力最大要素ではない。①配筋が異なること、②断面検定が応力の組み合わせを考慮しているためである。せん断力については最大検定比と最大応力の発生要素の領域が大きく異なるため、せん断力最大時の荷重ケースとコンター図も示す。

表：せん断応力最大ケース一覧

要素番号	方向	荷重ケース (位置) <sup>*1</sup>	設計応力		N/(b・D) ( $\times 10^{-2}$ N/mm <sup>2</sup> )	M/(b・D <sup>2</sup> ) ( $\times 10^{-2}$ N/mm <sup>2</sup> )	Pt (%)	設計配筋 上段：上端筋 (pt:%) 下段：下端筋 (pt:%)	せん断補強筋 (Pw:%)	設計面外 せん断力 Q(kN/m)	許容せん断力 α・fs・b・j Qa(kN/m)	判定
			N <sup>2</sup> (kN/m)	M (kN・m/m)								
587	NS	Ss-1+NS+UD (A)	~152.6	431.5	0.051	0.048	0.021	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	D19@400×200 (0.36)	2201.9	5992	O.K.
560	EW	Ss-1+NS+UD (A)	7.4	13.4	0.002	0.001	0	2-D38@200 2-D38@200 (0.38) (0.38)	D19@400×200 (0.36)	2014.1	5992	O.K.

\*1：燃料設備の位置を示す。\*2：圧縮を正とする。

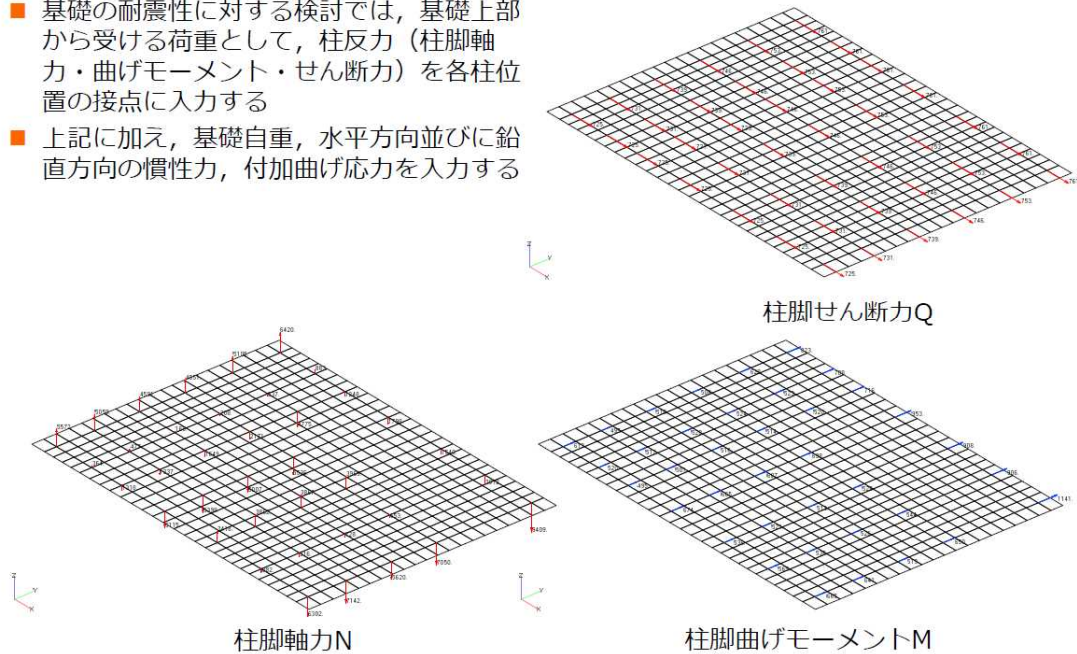
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 基礎版FEMの荷重条件と応力コンター

TEPCO

- 基礎の耐震性に対する検討では、基礎上部から受ける荷重として、柱反力（柱脚軸力・曲げモーメント・せん断力）を各柱位置の接点に入力する
- 上記に加え、基礎自重、水平方向並びに鉛直方向の慣性力、付加曲げ応力を入力する

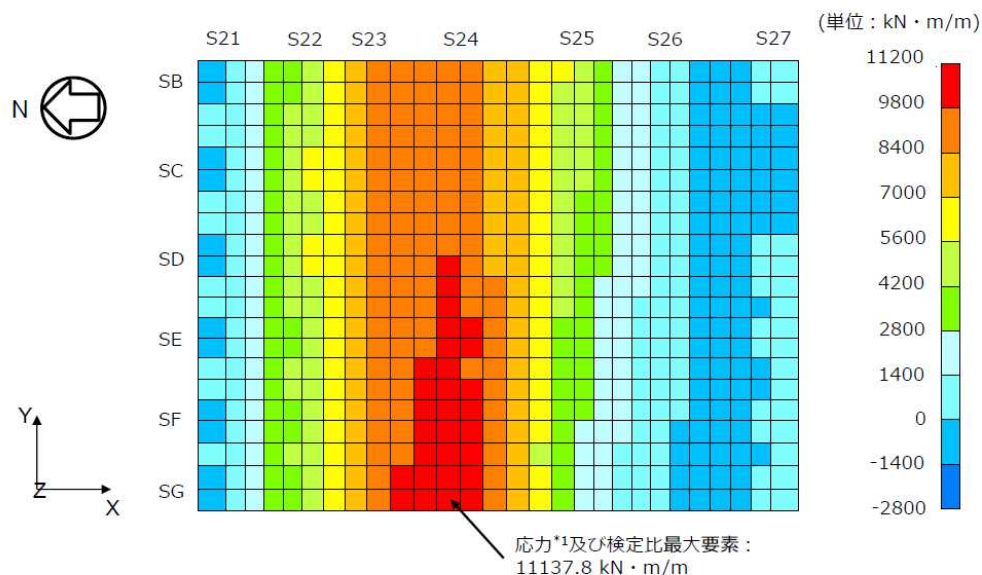


荷重条件例：Ss-1+NS-UD(A)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 基礎版FEMの荷重条件と応力コンター

TEPCO

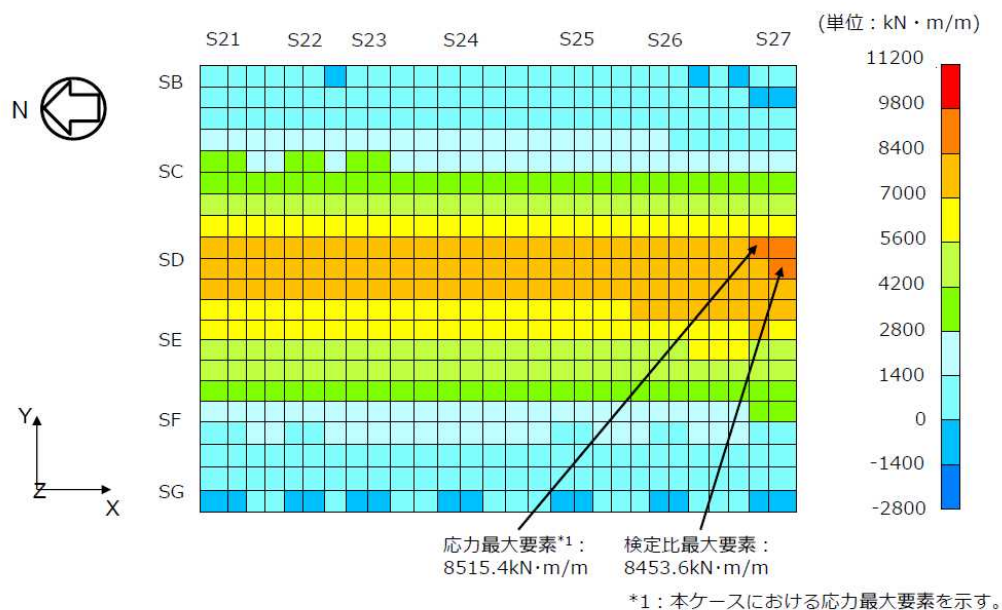


\*1：本ケースにおける応力最大要素を示す。

応力コンター（Y軸まわり曲げモーメント）  
応力及び検定比最大値発生荷重ケース：Ss-1+NS-UD(A)

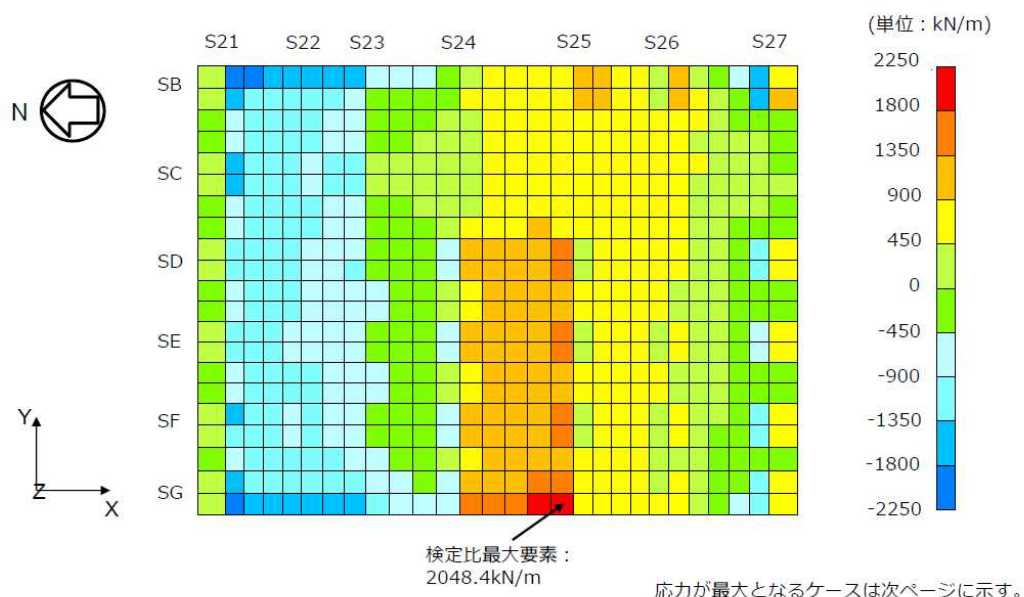
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社





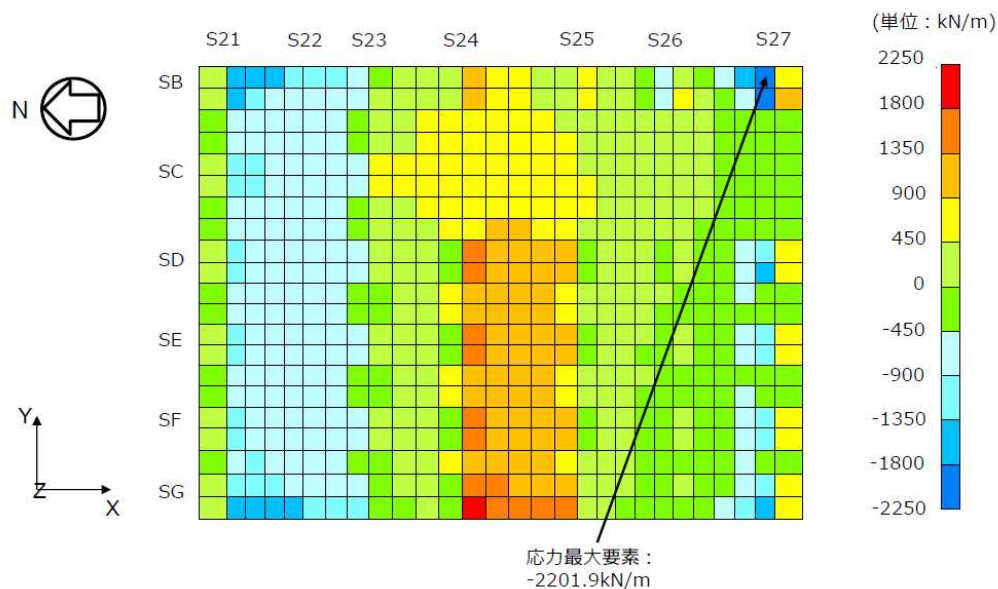
応力コンター (X軸まわり曲げモーメント)  
 応力及び検定比最大値発生荷重ケース: Ss-3+EW-UD(B)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



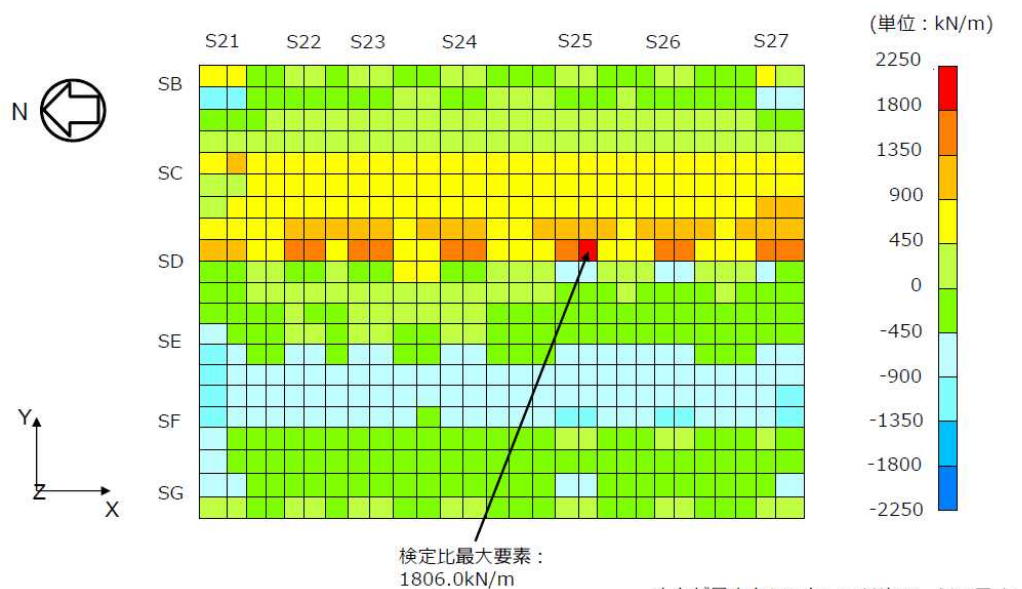
応力コンター (NS方向せん断力)  
 検定比最大値発生荷重ケース: Ss-1+NS-UD(A)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



応力コンター (NS方向せん断力)  
応力最大値発生荷重ケース: Ss-1+NS+UD(A)

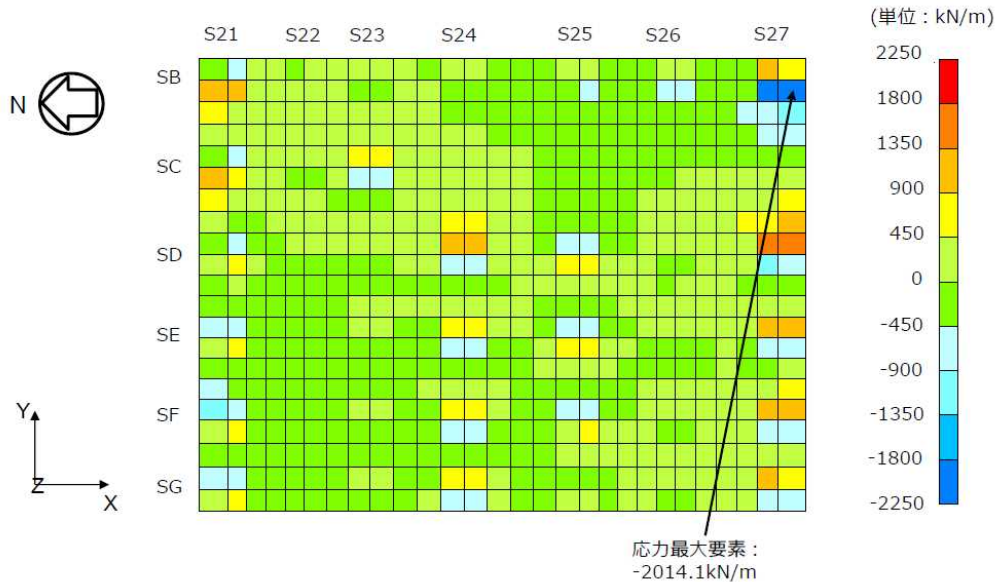
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



応力コンター (EW方向せん断力)  
検定比最大値発生荷重ケース: Ss-2-EW+UD(B)

応力が最大となるケースは次ページに示す。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



応力コンター (EW方向せん断力)  
応力最大値発生荷重ケース: Ss-1+NS+UD(A)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.7 改良地盤の耐震性に対する検討

##### ■ 基準地震動Ss時に対する検討

検討は「JEAC 4616-2009」に準拠し、基準地震動Ssにより発生する荷重に対して許容限界を満足することを確認する。地震時において、改良地盤底面の最大接地圧及びせん断応力が、改良地盤の短期許容応力以下であることを確認する。

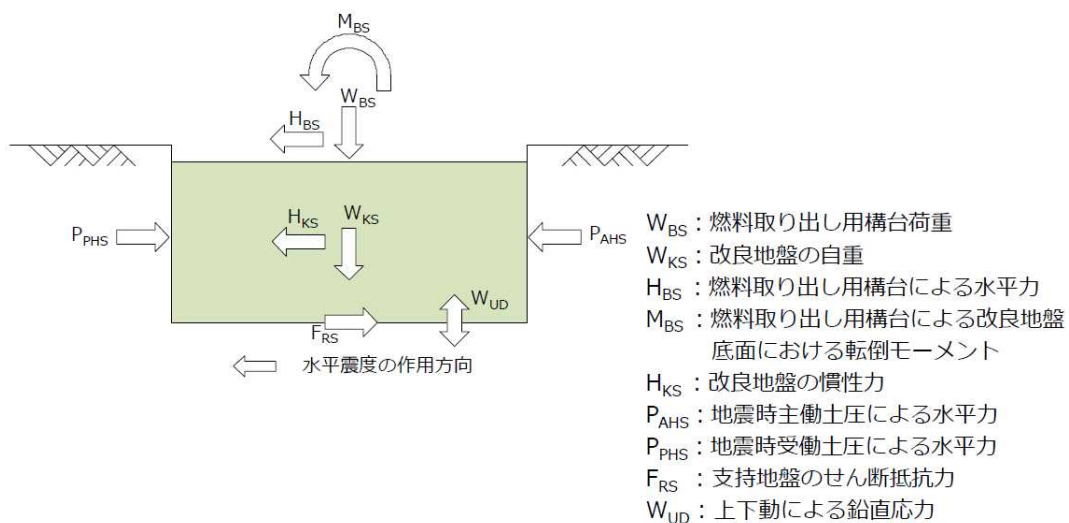


図4.3.7-1 作用荷重 (基準地震動Ss時)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



#### 4.3.7 改良地盤の耐震性に対する検討

##### ■ 改良地盤に生じる鉛直応力に対する検討

改良地盤に作用する鉛直応力に対し改良地盤の圧縮強度の安全率が1.5以上であることを確認する。

$$\frac{ssf_{sc}}{\sigma_{y\max}} \geq 1.5$$

ここで、 $ssf_{sc}$ ：改良地盤の圧縮強度

$\sigma_{y\max}$ ：有限要素解析による各要素の鉛直応力の最大値

改良地盤の圧縮強度 ( $ssf_{sc}$ ) は、「JEAC 4616-2009」により改良地盤の圧縮強度の平均値である設計圧縮強度5000 kN/m<sup>2</sup>とし、断面欠損を考慮した場合 4900 kN/m<sup>2</sup>とする。

表4.3.7-1 改良地盤の鉛直応力に対する検討結果

方向	最大鉛直応力 発生地震波	最大鉛直応力 $\sigma_{y\max}$ (kN/m <sup>2</sup> )	圧縮強度 $ssf_{sc}$ (kN/m <sup>2</sup> )	安全率	クイテリ	判定
NS	Ss-1	761	4900	6.43	1.50	OK
EW	Ss-2	793	4900	6.17	1.50	OK

#### 4.3.7 改良地盤の耐震性に対する検討

##### ■ 改良地盤に作用するせん断力に対する検討

検討は、改良地盤の基礎直下及び改良地盤下端のせん断力について行う。改良地盤上端及び下端にせん断面を想定し、せん断に対する安全率 $F_s$ が1.5以上であることを確認する。

$$F_s = \frac{F_R}{F_H} \geq 1.5$$

ここで、 $F_s$ ：せん断に対する安全率

$F_R$ ：せん断面上の地盤の水平抵抗力 (kN)

$F_H$ ：せん断面上の地盤のせん断力 (kN)

表 4.3.7-2 改良地盤のせん断力に対する検討結果（基礎直下）

方向	最大せん断力 発生地震波	最大せん断力 $F_H$ (kN)	水平抵抗力 $F_R$ (kN)	安全率 $F_s$	クイテリ	判定
NS	Ss-2	56816	676650	11.90	1.50	OK
EW	Ss-1	55076	676650	12.28	1.50	OK

表 4.3.7-3 改良地盤のせん断力に対する検討結果（改良地盤下端）

方向	最大せん断力 発生地震波	最大せん断力 $F_H$ (kN)	水平抵抗力 $F_R$ (kN)	安全率 $F_s$	クイテリ	判定
NS	Ss-2	105335	676650	6.42	1.50	OK
EW	Ss-1	106956	676650	6.32	1.50	OK

#### 4.3.7 改良地盤の耐震性に対する検討

TEPCO

##### ■ 支持力の検討

支持力の評価は、改良地盤下端における最大鉛直応力が支持地盤の極限支持力度に対し1.5以上の安全率を有していることを確認する。

$$\frac{R_u}{V} \geq 1.5$$

ここで、 $R_u$ ：極限鉛直支持力度

$V$ ：地震応答解析から得られる最大鉛直応力

表 4.3.7-4 支持地盤の鉛直応力に対する検討結果

方向	最大鉛直応力 発生地震波	最大鉛直応力 $V$ (kN/m <sup>2</sup> )	支持地盤の極限支持 力度 $R_u$ (kN/m <sup>2</sup> )*	安全率 $F_s$	クイテリヤ	判定
NS	Ss-1	761	6860	9.01	1.50	OK
EW	Ss-2	793	6860	8.65	1.50	OK

\*：「福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書（4号炉増設）」による。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.8 原子炉建屋接触部の耐震性に対する検討

TEPCO

##### ■ 弾性支承反力に対する検討

地震応答解析で得られる弾性支承に生ずる最大圧縮軸力の反力として原子炉建屋のRC梁に生じるせん断力が、梁の許容せん断耐力以下となることを確認する。

表 4.3.8-1 弾性支承反力に対する検討結果

部位	地震波	入力方向	梁端せん断力Q(kN)	許容せん断耐力Qa(kN)	耐力比	判定
弾性支承受梁	Ss-1	NS(A)*	1203	2313	0.52	O.K.

\*：( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。（表4.2.1-4参照）

##### ■ ばね付きオイルダンパの反力に対する検討

ばね付きオイルダンパの反力を受ける原子炉建屋床架構を有限要素法を用いてモデル化し弾性解析を行う。床スラブは板要素で、大梁は線材でモデル化する。

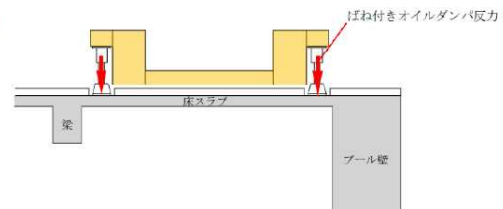


図 4.3.8-1 ばね付きオイルダンパ反力概要図

表 4.3.8-2 ばね付きオイルダンパの反力に対する検討結果

部位	地震波	入力方向	応力	発生応力	許容耐力	耐力比	判定
ばね付き オイルダンパ 受け床スラブ	Ss-1	NS(A)*	曲げM (kNm/m)	79	216	0.37	O.K.
			せん断Q(kN/m)	321	420	0.77	O.K.

\*：( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。（表4.2.1-4参照）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.8 原子炉建屋接触部の耐震性に対する検討

TEPCO

##### ■ オイルダンパ（水平棟間）反力に対する検討

オイルダンパ（水平棟間）の反力を受ける原子炉建屋南側外壁（壁・大梁及び柱）を有限要素法を用いてモデル化し、弾性解析を行う。壁付梁は板要素で、柱は線材でモデル化する。オイルダンパ（水平棟間）の反力を受ける箇所は2箇所あるが、面外方向の反力値が大きく、躯体断面の小さい西側での検定比が支配的となるため西側での検討を代表として行う。

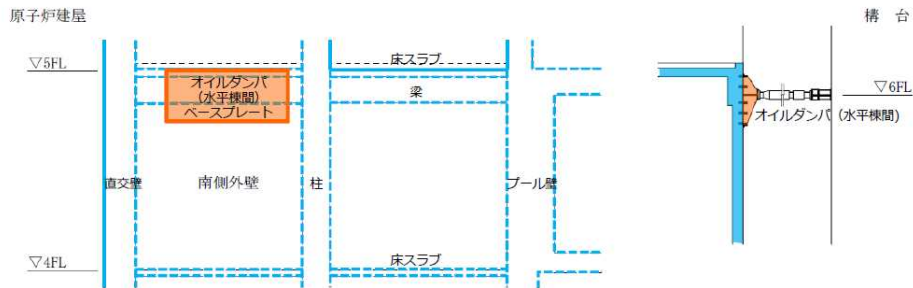


図 4.3.8-2 オイルダンパ（水平棟間）ベースプレート概要図

表 4.3.8-3 オイルダンパ（水平棟間）反力に対する検討結果

部位	地震波	入力方向	応力	発生応力	許容耐力	耐力比	判定
オイルダンパ（水平棟間）受け外壁	Ss-2	NS(B)*	曲げM (kNm/m)	206	422	0.49	O.K.
			せん断Q(kN/m)	273	589	0.47	O.K.

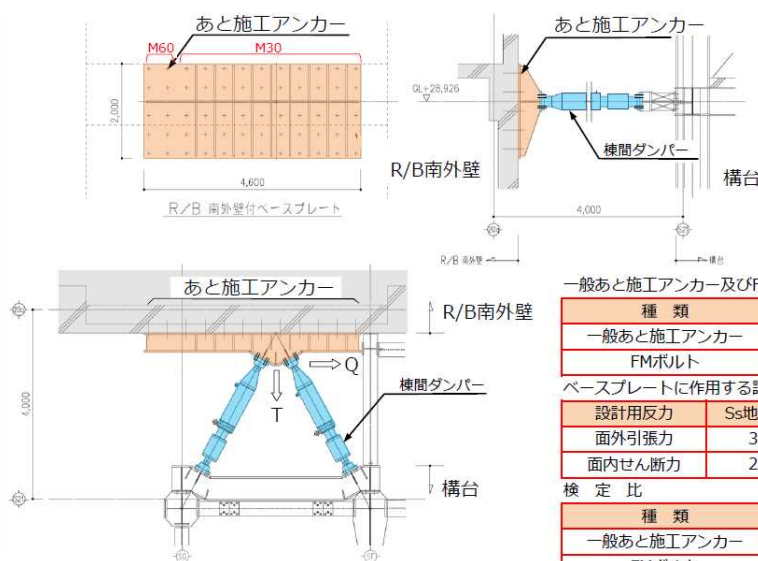
\* : ( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。（表4.2.1-4参照）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 棟間ダンパー R/B南外壁接続について

TEPCO

- 棟間ダンパーは、R/B南側外壁のオペフロより下がった位置で、あと施工アンカー（M30及びM60の2種類）を用いて壁面に固定されたベースプレートと接続している。
- あと施工アンカーは、地震応答解析で得られた棟間ダンパーのR/B側節点反力（引張及びせん断方向）の最大値に対して短期許容強度を用いて必要本数を算出して配置している。



一般あと施工アンカー及びFMボルトの短期許容強度

種類	径	有効埋込長	短期許容強度
一般あと施工アンカー	M30	300 mm	107 kN/本 引張
FMボルト	M60	265 mm	329 kN/本 せん断

ベースプレートに作用する設計用反力

設計用反力	Ss地震時最大値
面外引張力	3203 kN
面内せん断力	2219 kN

検定比

種類	径	検定比
一般あと施工アンカー	M30	0.60 引張
FMボルト	M60	0.68 せん断

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



## あと施工アンカーの適用性と妥当性について

TEPCO

- M30アンカーボルトの設計は、「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会）」「4.5接着系アンカーボルトの設計」、及び「あと施工アンカー工法・製品評価認証書 セメフォースアンカー150、セメフォースアンカー500」（日本建築あと施工アンカー協会 認証番号：第17-0005号）による
- 以下の通り、M30のアンカーボルトの設計方法及び工法は妥当であると判断する
  - 躯体コンクリートの設計基準強度は22.1N/mm<sup>2</sup>であり、各種合成構造設計指針の適用範囲内（18～48N/mm<sup>2</sup>）である
  - アンカーボルト材料はSNR400であり、各種合成構造設計指針の適用範囲内である
  - 接着材は「あと施工アンカー工法・製品評価認証書」を取得した材料を用いる
  - セメフォースアンカーの製品評価認証書に定めてあるアンカーボルト径はD22までだが、D22を超える太径アンカー筋に対する無機系あと施工アンカーの付着強度に対する知見は土木学会論文に記載されており、D51まで各種合成構造設計指針の付着強度以上が確保されていることを確認していることから、適用には問題無い
- 本アンカーボルトは無機系材料（セメント系）を使用しており、耐久性や耐放射線性はコンクリート躯体同等である

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## あと施工アンカーの適用性と妥当性について

TEPCO

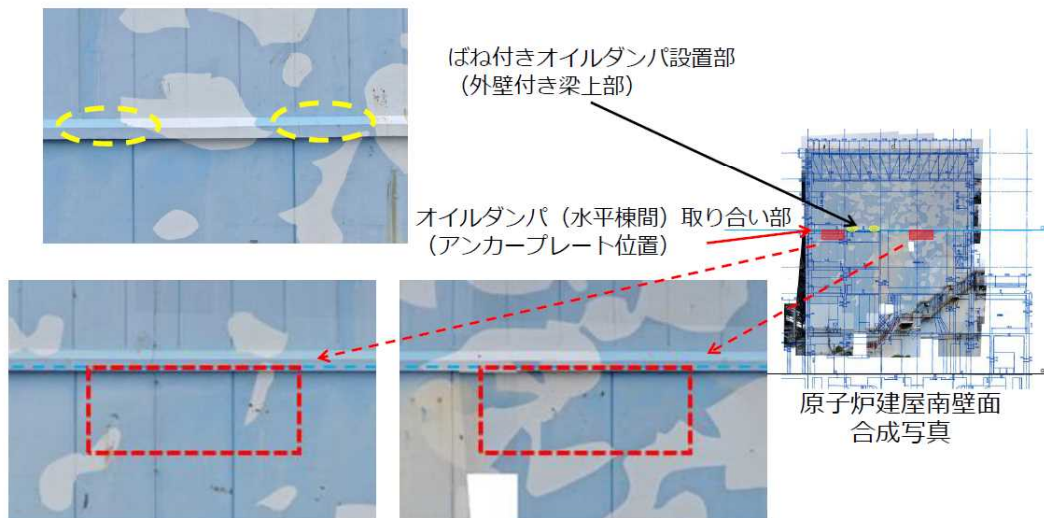
- M60のアンカーボルトの設計は、「評定書（工法等） FMボルト工法」（日本建築センター BCI評定-SS0031-01）による
- 本評定書において、構造設計方法及び工法が妥当であることが示されている
- 以下の通り、M60のアンカーボルトの設計方法及び工法は妥当であると判断する
  - 躯体コンクリートの設計基準強度は22.1N/mm<sup>2</sup>であり、評定書の適用範囲内（21～42N/mm<sup>2</sup>）である
  - アンカーボルト材料はSNR400であり、評定書の適用範囲内である
  - 接着材は評定書で指定された材料である
  - アンカーボルト径M60は評定書の適用範囲内（30～60mm）である
- 本アンカーボルトは無機系材料（セメント系）を使用しており、耐久性や耐放射線性はコンクリート躯体同等である

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 原子炉建屋接触部の状況について (1)

TEPCO

- 現在に至るまでに該当箇所に損傷や劣化が生じていないかを、遠隔カメラによる画像で確認している。
- オイルダンパ（水平棟間）取り付け部およびばね付きオイルダンパ設置部の損傷は、3号機水素爆発によると思われる塗装面の傷が若干見られる程度であり、躯体構造に及ぼす影響は生じていない。



ドローンカメラによる遠隔撮影（2020/6/29）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 原子炉建屋接触部の状況について (2)

TEPCO

- 弾性支承およびばね付きオイルダンパ設置位置となる原子炉建屋オペレーティングフロア床面上部には大きな損傷は無く、躯体構造に及ぼす影響は生じていない。



オペフロ全景



原子炉建屋天井監視カメラにより遠隔撮影した  
合成写真（2021/4/15）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



## 4.3.9 原子炉建屋の耐震性に対する検討

TEPCO

### ■ 検討方針

燃料取り出し用構台を支持する原子炉建屋の耐震性の検討は、耐震安全上重要な設備への波及的影響防止の観点から、原子炉建屋の耐震壁及び屋根トラス（以下、原子炉建屋上部架構）の健全性について行い、基準地震動Ssに対して原子炉建屋上部架構の応答性状を適切に表現できる地震応答解析を用いて評価する。

### ■ 解析に用いる入力地震動

原子炉建屋上部架構の地震応答解析に用いる入力地震動は、基準地震動Ssを入力したときの原子炉建屋G.L.29.92mの時刻歴応答加速度とし、水平方向、回転方向及び鉛直方向の同時入力とする。入力地震動の概念図を図 4.3.9-1に示す。

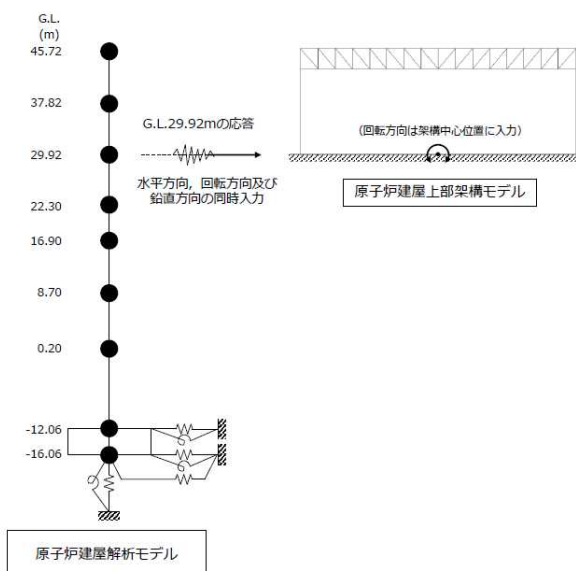


図 4.3.9-1 入力地震動の概念図

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 4.3.9 原子炉建屋の耐震性に対する検討

TEPCO

### ■ 地震応答解析モデル

原子炉建屋上部架構の地震応答解析モデルは、G.L.29.92mより上部の鉄骨造の屋根と鉄筋コンクリート造の柱、梁及び耐震壁を組み込んだ立体架構モデルとし、境界条件は柱及び耐震壁脚を固定とする。

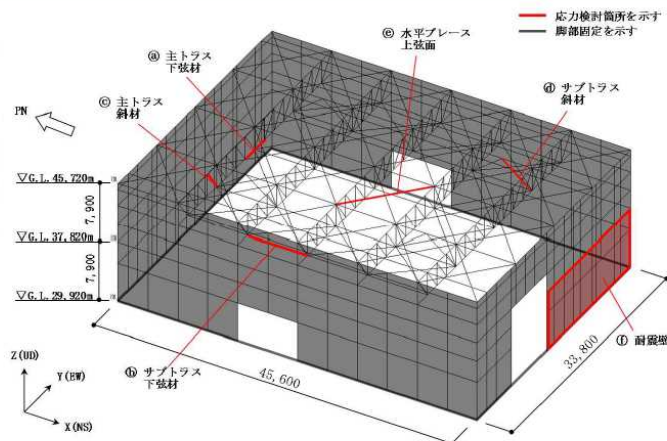


図 4.3.9-2 原子炉建屋上部架構の地震応答解析モデル

表 4.3.9-1 地震応答解析に用いる物性値

部 位	材 料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
屋根	鉄骨	2.05×10 <sup>5</sup>	7.90×10 <sup>4</sup>	2
外周部	コンクリート*	2.57×10 <sup>4</sup>	1.07×10 <sup>4</sup>	5

\*：実強度(Fc35)に基づく物性値を示す。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.9 原子炉建屋の耐震性に対する検討

TEPCO

##### ■ 波及的影響の評価

原子炉建屋上部架構の変形は、JSCA性能メニュー（社団法人日本建築構造技術者協会、2018年3月）を参考に定めたクライテリアとして、鉄骨造部材は、塑性率が5以下を満足することを確認する。耐震壁のせん断ひずみは、鉄筋コンクリート造耐震壁の終局限界に対応した評価基準値（ $4.0 \times 10^{-3}$ ）以下になることを確認する。

##### ■ 応力度比及び塑性率の検討

部材の応力度比は、2方向の曲げ、軸力及びせん断力の各最大応力と各許容応力度との比を組み合わせた値で表され、部材の塑性率は、引張及び圧縮に対して最大軸力時のひずみを引張耐力または座屈耐力時のひずみで除した値で表される。なお、各許容応力度、引張耐力及び座屈耐力算定時の材料強度は「建設省告示第2464号」に定められた基準強度F値の1.1倍を用いる。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.9 原子炉建屋の耐震性に対する検討

TEPCO

表 4.3.9-2 応力度比の検討結果

部 位 *1			部材形状(mm) <使用材料>	地震波入力方向 (位置) *2	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比	判定
主 ト ラ ス	㉑	下弦材	H-400×400×13×21 <SS400>	Ss-1+NS+UD (A)	$\sigma_t$	108.4	258	0.72	O.K.
					$\sigma_{by}$	49.7	190		
					$\sigma_{bz}$	7.4	258		
					$\tau$	5.0	148		
サ ブ ト ラ ス	㉒	下弦材	H-248×249×8×13 <SS400>	Ss-1+EW-UD (A)	$\sigma_c$	53.1	142	0.38	O.K.
					$\sigma_{by}$	0.0	157		
					$\sigma_{bz}$	0.0	258		
					$\tau$	0.0	148		

\* 1 : ㉑, ㉒の符号は図 4.3.9-2 の応力検討箇所を示す。

\* 2 : ( )内は、燃料取扱設備の位置を示す。(表 4.2.1-4参照)

$\sigma_t$  : 引張応力度の最大値

$\sigma_c$  : 圧縮応力度の最大値

$\sigma_{by}$  : 強軸まわりの曲げ応力度の最大値

$\sigma_{bz}$  : 弱軸まわりの曲げ応力度の最大値

$\tau$  : せん断応力度の最大値

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.9 原子炉建屋の耐震性に対する検討

TEPCO

表4.3.9-3 塑性率の検討結果

部 位*1			部材形状(mm) <使用材料>	地震波入力方向 (位置) *2	塑性率		判定
主トラス	㉔	斜材	2Ls-100×100×13 <SS400>	Ss-1+NS+UD (A)	T/Tu	0.82	O.K.
サブトラス	㉕	斜材	2Ls-100×100×7 <SS400>	Ss-1+NS+UD (A)	C/Cu	0.58	O.K.
水平ブレース	㉖	上弦面	CT-125×250×9×14 <SS400>	Ss-2+EW-UD (A)	C/Cu	1.68	O.K.

\*1 : ㉔, ㉕, ㉖ の符号は図 4.3.9-2 の応力検討箇所を示す。  
\*2 : ( )内は, 燃料取扱設備の位置を示す。(表 4.2.1-4参照)

C : 部材軸方向の圧縮力の最大値  
Cu : 座屈耐力  
T : 部材軸方向の引張力の最大値  
Tu : 引張耐力

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

#### 4.3.9 原子炉建屋の耐震性に対する検討

TEPCO

##### ■ 耐震壁のせん断ひずみの検討

耐震壁の最大せん断ひずみは $4.0 \times 10^{-3}$ 以下となり, クライテリアを満足することを確認した。

表 4.3.9-4 耐震壁の最大せん断ひずみの検討結果

部 位*1			部材形状(mm) <使用材料>	地震波入力方向 (位置) *2	せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	判定
耐震壁	㉗	建屋南側 5F	t=200 <Fc22.1>	Ss-1+EW+UD (A)	0.24	O.K.

\*1 : ㉗ の符号は図 4.3.9-2 の応力検討箇所を示す。  
\*2 : ( )内は, 燃料取扱設備の位置を示す。(表 4.2.1-4参照)

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

### 4.3.9 原子炉建屋の耐震性に対する検討

「4.3.2 架構の耐震性に対する検討」で実施した地震応答解析による原子炉建屋の最大せん断ひずみを、「JEAG 4601-1991」に基づき設定した耐震壁のせん断スケルトン曲線上にプロットした結果を示す。

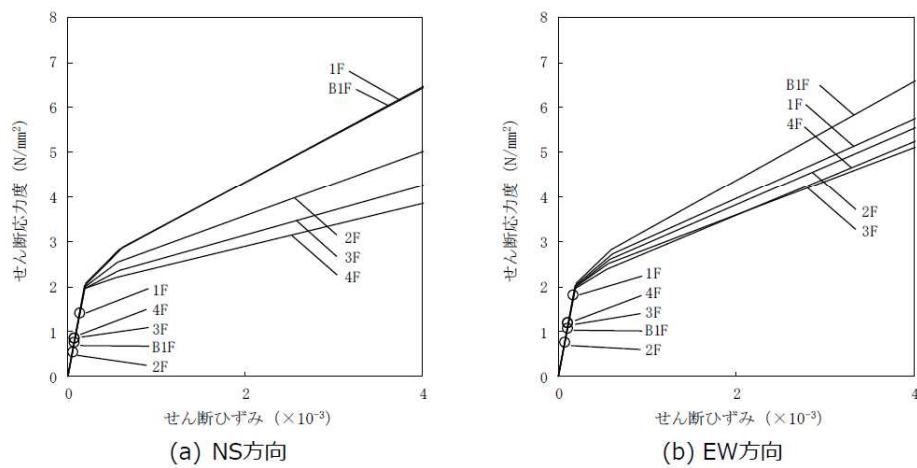


図4.3.9-3 せん断スケルトン曲線上の最大応答値

## Ⅱ 換気設備 換気風量について

## 1. 必要換気風量の設定

燃料取扱設備等の電気品保護のため、原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台前室内の環境を 40℃以下(設計値)となるよう換気設備の換気風量を設定する。また、各エリアの放射性物質濃度が上がらないよう換気回数 0.5 回/h 以上を確保することを目安とする。これらの要求を満足する換気風量として、原子炉建屋オペレーティングフロアの換気風量を 20000(m³/h)、燃料取り出し用構台の換気風量を 10000(m³/h)に設定した。具体的な算定結果を以下に示す。

### 1.1 原子炉建屋オペレーティングフロアの環境維持に必要な換気風量

#### (1) 設計用熱負荷の除熱に必要な換気風量

$$Q_1 = q_1 / (C_p \cdot \rho \cdot (t_{1a} - t_2) \cdot 1/3600) = 15580 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$Q_1$  :設計用熱負荷の除熱に必要な換気風量(m³/h)

$q_1$  :設計用熱負荷, 約 60 (kW)(機器発熱(照明), 使用済燃料プールからの熱)

$C_p$  :定圧比熱, 1.004652(kJ/kg・℃)

$\rho$  :密度, 1.2(kg/m³)

$t_{1a}$  :原子炉建屋オペレーティングフロア温度, 40(℃)

$t_2$  :設計用外気温度, 28.5(℃)

#### (2) 換気回数の確保に必要な換気風量

$$Q'_1 = \text{Vol}_1 \cdot 0.5 = 13000 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$Q'_1$  :換気回数 0.5 回/h に必要な換気風量(m³/h)

$\text{Vol}_1$  :原子炉建屋オペレーティングフロア内容積, 約 26000(m³)

### 1.2 燃料取り出し用構台の環境維持に必要な換気風量

#### (1) 設計用熱負荷の除熱に必要な換気風量(m³/h)

$$Q_2 = q_2 / (C_p \cdot \rho \cdot (t_{1b} - t_2) \cdot 1/3600) = 5193 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$Q_2$  :設計用熱負荷の除熱に必要な換気風量(m³/h)

$q_2$  :設計用熱負荷, 約 20 (kW)(機器発熱(照明))

$C_p$  :定圧比熱, 1.004652(kJ/kg・℃)

$\rho$  :密度, 1.2(kg/m³)

$t_{1b}$  :燃料取り出し用構台前室内温度, 40(℃)

$t_2$  :設計用外気温度, 28.5(℃)

#### (2) 換気回数の確保に必要な換気風量

$$Q'_2 = \text{Vol}_2 \cdot 0.5 = 8000 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$Q'_2$  :換気回数 0.5 回/h に必要な換気風量(m³/h)

$\text{Vol}_2$  :燃料取り出し用構台前室内内容積, 約 16000(m³)

## 2. 原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台における気流の流れ

1 章に基づき, 原子炉建屋オペレーティングフロアの換気風量を  $20000(\text{m}^3/\text{h})$ , 燃料取り出し用構台の換気風量を  $10000(\text{m}^3/\text{h})$  に設定した場合の気流の流れを評価する。

### 2.1 評価モデル

評価モデルを図 1 に, 評価で考慮する隙間を表 1 に示す。

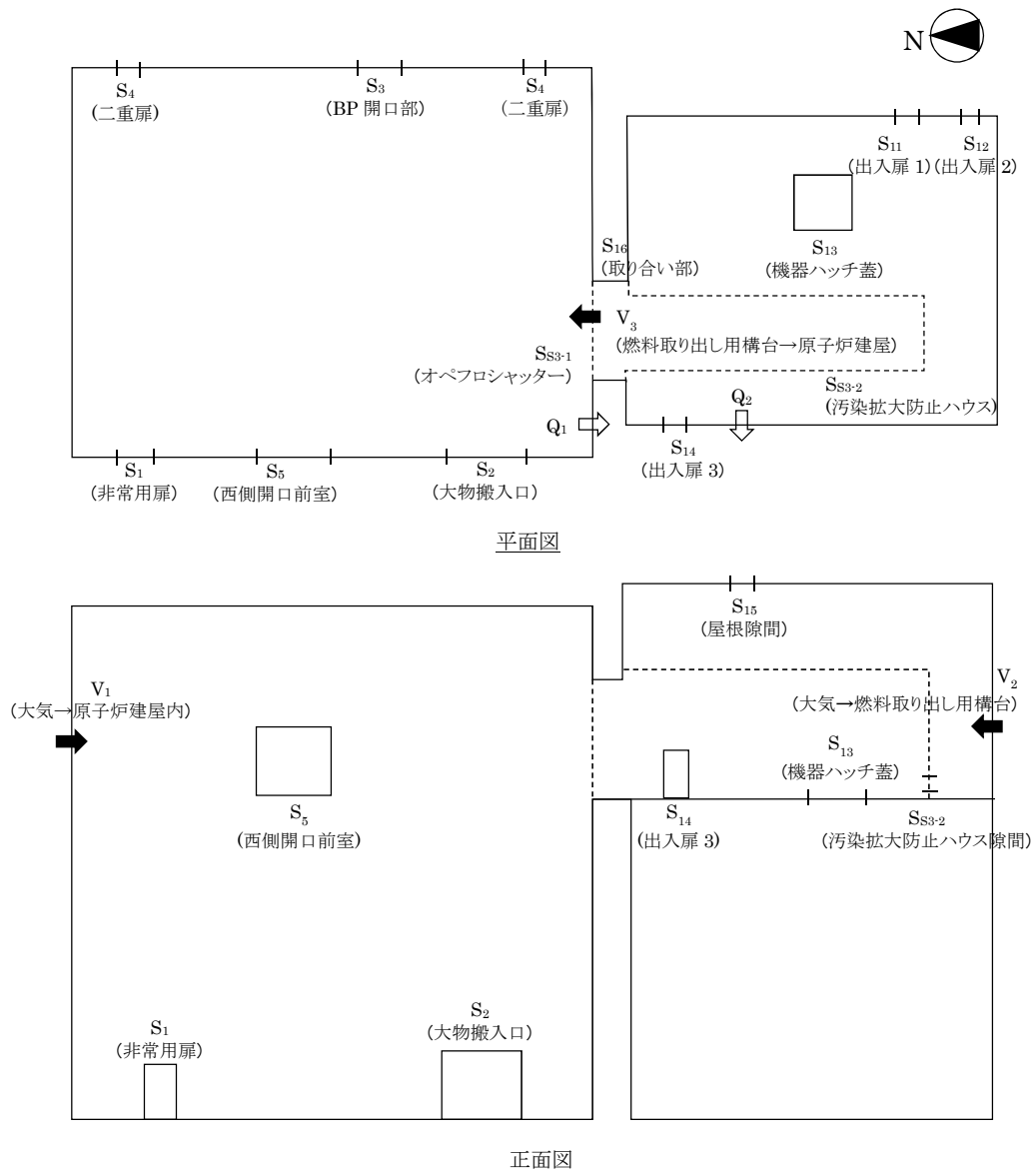


図 1 評価モデル

表 1 評価で考慮する隙間面積

記号	名称	単位	数値(*)	備考
S <sub>S1</sub>	原子炉建屋隙間 合計面積	m <sup>2</sup>	—	
S <sub>1</sub>	非常用扉 開口面積(*)	m <sup>2</sup>	0	津波対策のため閉止済
S <sub>2</sub>	大物搬入口 開口面積(*)	m <sup>2</sup>	0	津波対策のため閉止済
S <sub>3</sub>	ブローアウトパネル(BP)開口部 隙間面積(*)	m <sup>2</sup>	0.34	
S <sub>4</sub>	原子炉建屋二重扉(南北)開口面積(*)	m <sup>2</sup>	0	津波対策のため閉止済
S <sub>5</sub>	西側開口前室 開口面積(*)	m <sup>2</sup>	0.467	西側開口前室隙間合計
S <sub>S2</sub>	燃料取り出し用構台隙間合計面積	m <sup>2</sup>	—	
S <sub>11</sub>	出入扉 1 隙間	m <sup>2</sup>	0.06	
S <sub>12</sub>	出入扉 2 隙間	m <sup>2</sup>	0.08	
S <sub>13</sub>	機器ハッチ蓋隙間	m <sup>2</sup>	0.2	
S <sub>14</sub>	出入扉 3 隙間	m <sup>2</sup>	0.06	
S <sub>15</sub>	燃料取り出し用構台屋根隙間	m <sup>2</sup>	0.98	
S <sub>16</sub>	燃料取り出し用構台取り合い部隙間	m <sup>2</sup>	0.42	オペフロシャッター開時は S <sub>S1</sub> に加算 オペフロシャッター閉時は S <sub>S2</sub> に加算
S <sub>S3-1</sub>	オペフロシャッター隙間	m <sup>2</sup>	2.33	オペフロシャッター閉時に 適用
S <sub>S3-2</sub>	汚染拡大防止ハウス隙間	m <sup>2</sup>	2.34	オペフロシャッター開時に 適用

(\*)原子炉建屋からの放出量評価適用値。



## 2.2 評価ケース

燃料取り出し作業時に、大気から原子炉建屋へ、大気から燃料取り出し用構台へ、燃料取り出し用構台から原子炉建屋へ流入する気流が生じることを確認する。  
評価ケースは以下の 2 ケースとする。

### (1) オペフロシャッター閉時

オペフロシャッター閉、汚染拡大防止ハウスは収納状態とした場合の評価モデルを図 2 に示す。

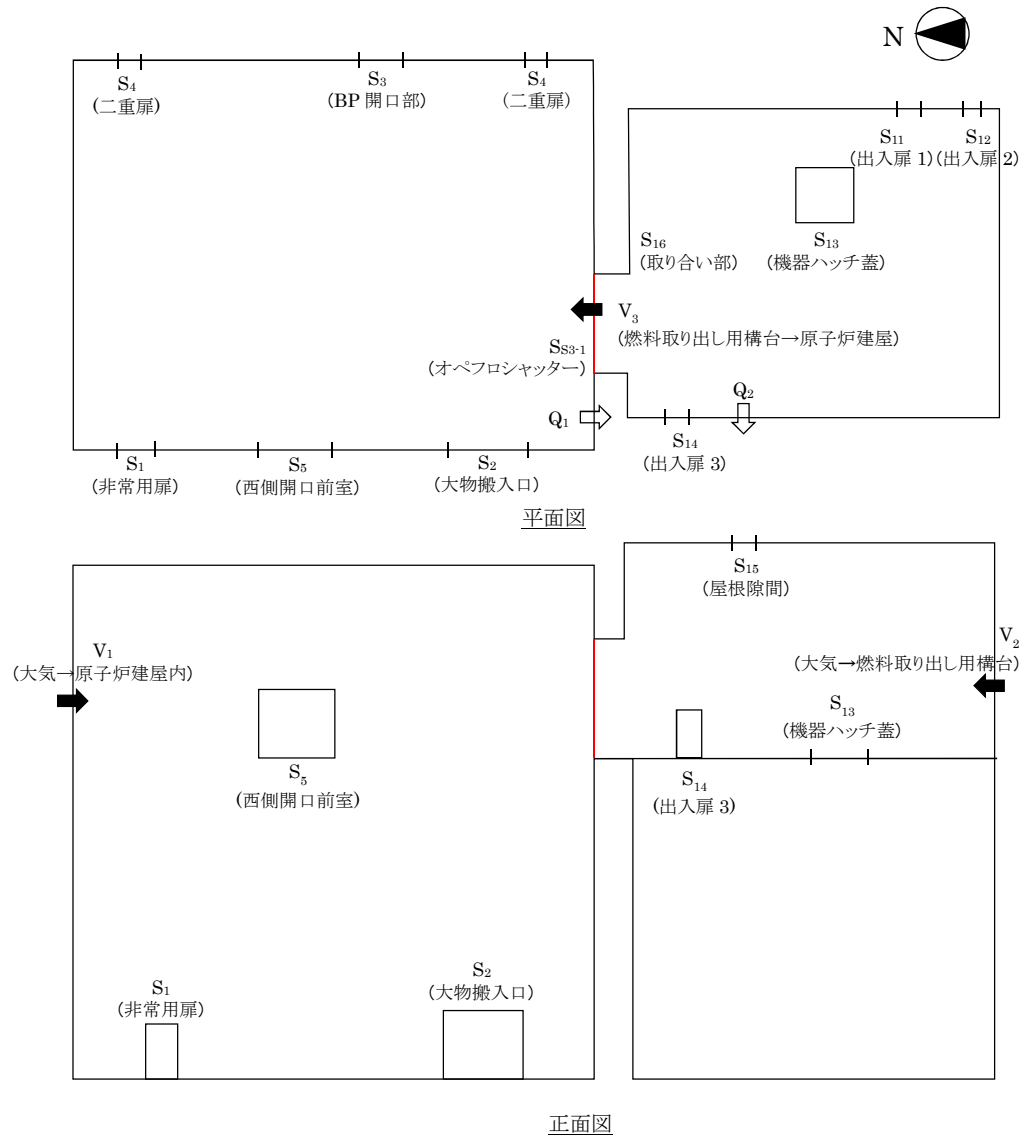


図 2 オペフロシャッター閉時 評価モデル

## (2) オペフロシャッター開時

オペフロシャッター開, 汚染拡大防止ハウスは展開状態とした場合の評価モデルを図 3 に示す。

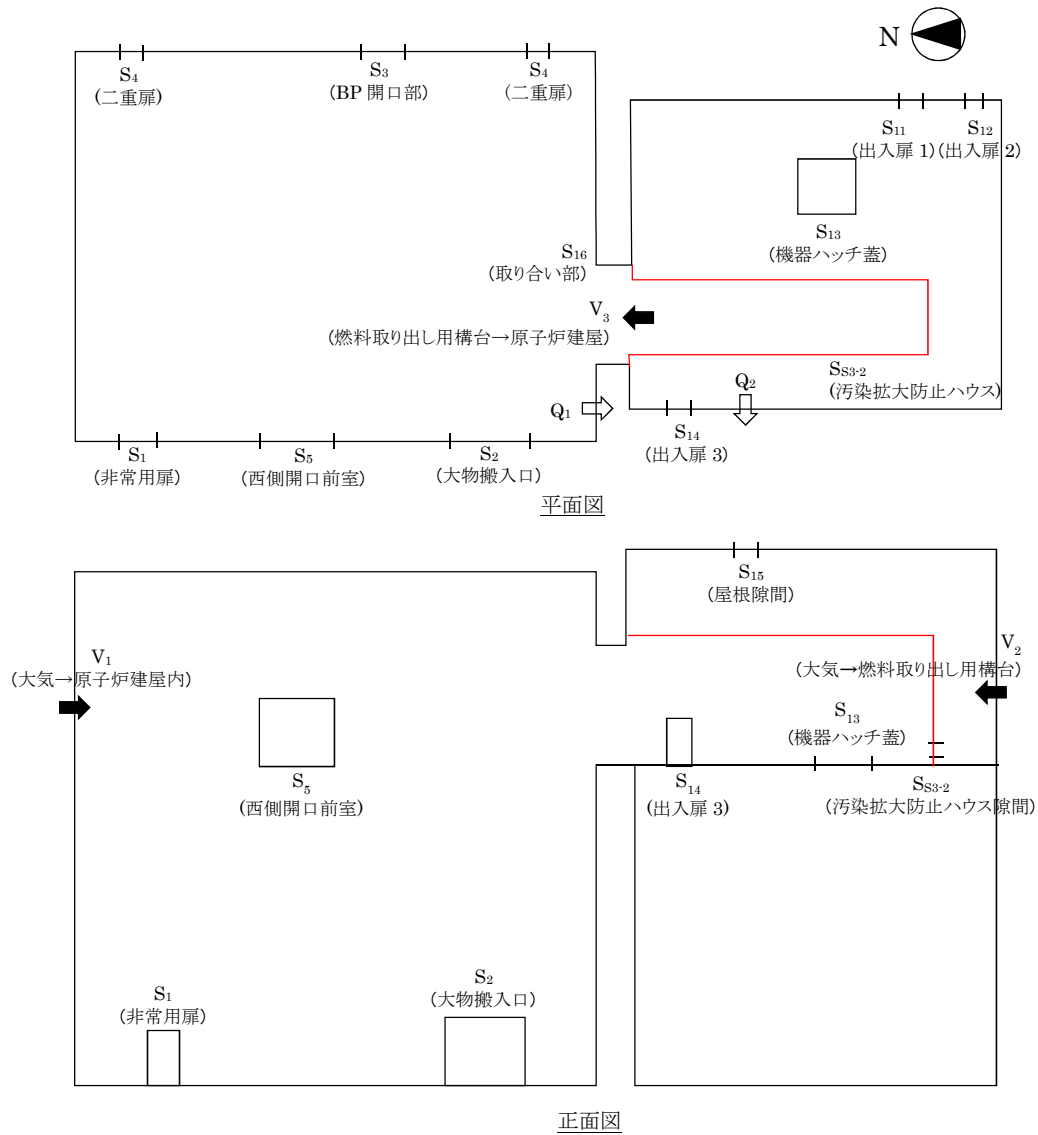


図 3 オペフロシャッター開時 評価モデル

### 2.3 評価方法

燃料取り出し用構台から原子炉建屋オペレーティングフロアへ気流の流れが生じている状態では原子炉建屋、燃料取り出し用構台でのマスバランスは以下の通りとなる。

$$Q_1 = (V_1 \times S_{S1} + V_3 \times S_{S3}) \times 3600 \quad (1)$$

$$Q_2 = (V_2 \times S_{S2} - V_3 \times S_{S3}) \times 3600 \quad (2)$$

$Q_1$  : 原子炉建屋換気風量 20000(m<sup>3</sup>/h)

$Q_2$  : 燃料取り出し用構台換気風量 10000(m<sup>3</sup>/h)

$S_{S1}$  : 原子炉建屋隙間合計面積 表 1 参照

$S_{S2}$  : 燃料取り出し用構台隙間合計面積 表 1 参照

$S_{S3}$  : 原子炉建屋／燃料取り出し用構台間隙間 表 1 参照

$V_1$  : 大気から原子炉建屋への流入風速(m/s)

$V_2$  : 大気から燃料取り出し用構台への流入風速(m/s)

$V_3$  : 燃料取り出し用構台から原子炉建屋への流入風速(m/s)

各流入風速は以下の式より求める。

$$P_0 - P_1 = \zeta \times \rho \times V_1^2 / 2g \quad (3)$$

$$P_0 - P_2 = \zeta \times \rho \times V_2^2 / 2g \quad (4)$$

$$P_2 - P_1 = \zeta \times \rho \times V_3^2 / 2g \quad (5)$$

$P_0$  : 大気圧 0(Pa)

$P_1$  : 原子炉建屋内圧(Pa)

$P_2$  : 燃料取り出し用構台内圧(Pa)

$\zeta$  : 形状抵抗係数 2.00(-)

$\rho$  : 空気密度 1.2(kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度 9.81(m/s<sup>2</sup>)

大気圧を 0(Pa)とし, (3)～(5)式を変形する。

$$V_1 = \sqrt{-P_1 \times 2g / (\zeta \times \rho)} \quad (6)$$

$$V_2 = \sqrt{-P_2 \times 2g / (\zeta \times \rho)} \quad (7)$$

$$V_3 = \sqrt{(P_2 - P_1) \times 2g / (\zeta \times \rho)} \quad (8)$$

(6)～(8)式を(1), (2)式に代入し, マスバランスを満たす  $P_1$ ,  $P_2$  を求める。

## 2.4 算定結果

2.3 項に記載の方法に従い、原子炉建屋内圧、燃料取り出し用構台内圧を算定し、各流入風速を算定した。

記号	名称	単位	オペフロ シャッター開時	オペフロ シャッター閉時
P <sub>1</sub>	原子炉建屋内圧	Pa	-1.28	-1.38
P <sub>2</sub>	燃料取り出し用構台内圧	Pa	-1.22	-1.20
V <sub>1</sub>	大気から原子炉建屋への 流入風速	m/s	3.2	3.4
V <sub>2</sub>	大気から燃料取り出し用構台へ の流入風速	m/s	3.2	3.1
V <sub>3</sub>	燃料取り出し用構台から 原子炉建屋への流入風速	m/s	0.68	1.2

## 2.5 評価

2.4 項に示す通り、オペフロシャッターの開閉状態に関わらず、大気から原子炉建屋へ、大気から燃料取り出し用構台へ、燃料取り出し用構台から原子炉建屋へ流入する気流が生じる。

以上より、ダスト飛散抑制の観点で適切に換気風量が設定されていることを確認した。

## 3. まとめ

1 章及び 2 章に示す通り、原子炉建屋オペレーティングフロアの換気風量を 20000(m<sup>3</sup>/h)、燃料取り出し用構台の換気風量を 10000(m<sup>3</sup>/h)と設定することで、原子炉建屋及び燃料取り出し構台内の温度維持、換気回数の確保、ダスト飛散抑制のための気流の確保が可能となることを確認した。

### Ⅲ 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耐震性についての計算書

1/2Ss450 を用いた評価については、「Ⅳ 2号機燃料取り出し関連設備に対する 1/2Ss450 評価について」に記載するため、本資料「Ⅲ 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耐震性についての計算書」への記載は省略する。

## I. 遮蔽体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

設備名	耐震 クラス別	確認用 地震動
遮蔽体	ノンクラス	Ss

2号機原子炉建屋内の作業環境改善のため、原子炉建屋内のオペレーティングフロア床面及び壁側に遮蔽体を設置する計画としている。

遮蔽体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)に規定される放射性物質にかかわる設備には該当しないため、ノンクラスとなる。但し、オペレーティングフロアに設置する遮蔽体のうち使用済燃料プール周りに設置するものが、地震による破損などの事象により、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。

本資料では、使用済燃料プール周りに設置する下記遮蔽体の支持部材の構造強度の結果を示す。各遮蔽体の配置を図1に示す。なお、本書に示す形状は現場の状況に合わせて変更する可能性がある。

- (1) 使用済燃料プール(SFP)北側遮蔽
- (2) 使用済燃料プール(SFP)南側遮蔽
- (3) 使用済燃料プール(SFP)東側遮蔽
- (4) 使用済燃料プール(SFP)西側遮蔽

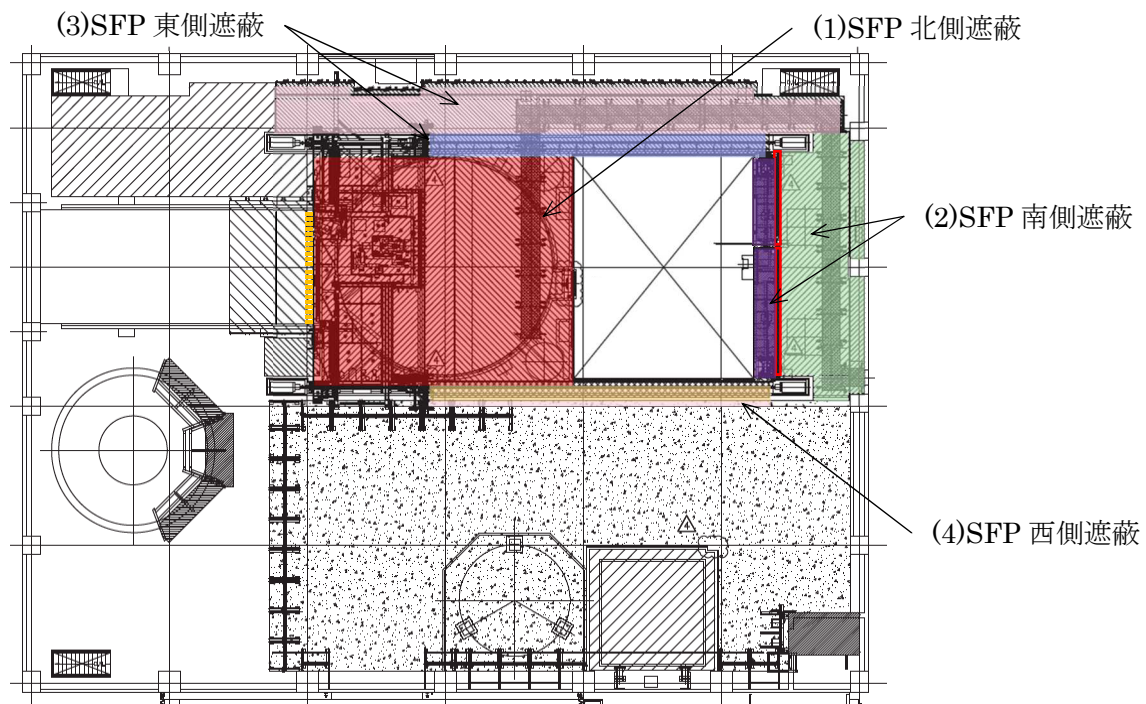


図 1 使用済燃料プール周りに設置する遮蔽体

## 2. 設計用地震力

遮蔽体の耐震評価には、原子炉建屋オペレーティングフロアの層せん断係数より 1.2 倍の裕度を考慮した静的地震力(水平震度 0.99G, 鉛直震度 0.29), 地震応答解析結果から、遮蔽体を剛構造とみなし 1.2 倍の裕度を考慮した動的地震力(水平震度 0.94G, 鉛直震度 0.54)のうち、保守的となる地震力を選定する。

遮蔽体に負荷される水平力  $F$  は以下のようにあらわされる。

$$F = mgC_H - \mu(1 - C_V)mg = (C_H - \mu(1 - C_V))mg$$

$m$  : 遮蔽体質量

$g$  : 重力加速度

$C_H$  : 水平方向地震力

$C_V$  : 鉛直方向地震力

$\mu$  : 摩擦係数(=0.25)

上式において静的地震力により遮蔽体に負荷される水平力  $F$  は、

$$F = 0.8125mg$$

動的地震力による遮蔽体に負荷される水平力  $F$  は、

$$F = 0.825mg$$

となり、動的地震力の方が大きくなる。以降の評価では、遮蔽体の設計用地震力として動的地震力を適用する。



3. 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

$1.5f_s$ : 許容せん断応力

設計・建設規格 SSB-3121.3 により規定される値

$1.5f_c$ : 許容圧縮応力

同上

$1.5f_b$ : 許容曲げ応力

同上

荷重の組合せ	許容限界		
	1 次応力		
	せん断	圧縮	曲げ
D+Ss	$1.5f_s$	$1.5f_c$	$1.5f_b$

注) 組合せ応力についても評価する。

## II. 遮蔽体の耐震性についての計算書

### 1. 概要

#### 1.1. 一般事項

本計算書は遮蔽体の耐震性についての計算書である。

### 2. 計算条件

- (1) 遮蔽体は原子炉建屋のオペレーティングフロア上に設置されるため、摩擦係数( $\mu = 0.25$ )\*を考慮し、水平方向地震力からオペレーティングフロアと遮蔽体間の摩擦力を減じた荷重が遮蔽体に負荷されるものとする。

(\*)電中研報告書「使用済燃料キャスク貯蔵技術の確立-地震時のキャスク転倒評価-」(研究報告:U92037)より、コンクリート及び鋼材表面の塗装条件を様々に変化させた試験結果のうち、最も不利な摩擦係数を適用する。

### 3. 評価方法

#### 3.1. 応力算定方法

各遮蔽体の支持部に発生する曲げ応力、せん断応力、支圧応力を工学算定式により算出し、それぞれ許容応力以下となることを確認する。また、曲げ応力とせん断応力が同時に負荷される場合には、組合せ応力が許容応力以下となることを確認する。

### 3.2. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 1 に示す。

表 1 材料及び許容応力

部位		材質	許容応力 (MPa)	
SFP 北側遮蔽	ブラケット	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
	D/S プールカバー 支持ビーム(既設)	A6061T6	支圧	252
SFP 南側遮蔽	荷重受け部材①	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
	荷重受け部材②	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
SFP 東側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	323
			せん断	161
			組合せ	280
SFP 西側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	323
			せん断	161
			組合せ	280

#### 4. 設計条件

4.1. 耐震上の重要度分類      ハンクラス(Ss)

4.2. 据付場所及び床面高さ      原子炉建屋オペレーティングフロア T.P.38484

4.3. 設計震度

水平震度 0.94G, 鉛直震度 0.54G

4.4. 荷重条件

自重＋地震荷重

#### 5. 結論

強度評価の結果を表 2 に示す。使用済燃料プール周りに設置する遮蔽体について、地震時水平荷重負荷時に支持部材に生じる応力は許容応力を下回るため、遮蔽体が使用済燃料プールへ落下することはない。

表 2 遮蔽体支持部材の構造強度評価結果

部位		材質	許容応力 (MPa)		算出応力 (MPa)
SFP 北側遮蔽	ブラケット	SS400	曲げ	280	146
			せん断	161	46
			組合せ	280	167
	D/S プールカバー 支持ビーム(既設)	A6061T6	支圧	252	73
SFP 南側遮蔽	荷重受け部材①	SS400	曲げ	280	244
			せん断	161	17
			組合せ	280	246
	荷重受け部材②	SS400	曲げ	280	270
			せん断	161	20
			組合せ	280	273
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	280	52
			せん断	161	3
			組合せ	280	53
SFP 東側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	280	23
			せん断	161	6
			組合せ	280	26
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	323	201
			せん断	161	13
			組合せ	280	203
SFP 西側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	323	57
			せん断	161	2
			組合せ	280	58

## 6. 数値計算

### 6.1. SFP 北側遮蔽

#### 6.1.1 形状・寸法

SFP 北側遮蔽は図 2 に示す通り, SFP 北側のオペレーティングフロア上に並べられた各遮蔽体支持部材間を, かぎ型のフックで接続し, SFP 北側遮蔽全体の地震時水平方向荷重を, 北側端部の遮蔽体支持部材のブラケットで支持する構造を有する。そのため, 地震時水平方向荷重がブラケットに負荷された場合の強度評価を行う。また, ブラケットと取合い地震時荷重が負荷される D/S プールカバー支持ビームの強度評価を行う。

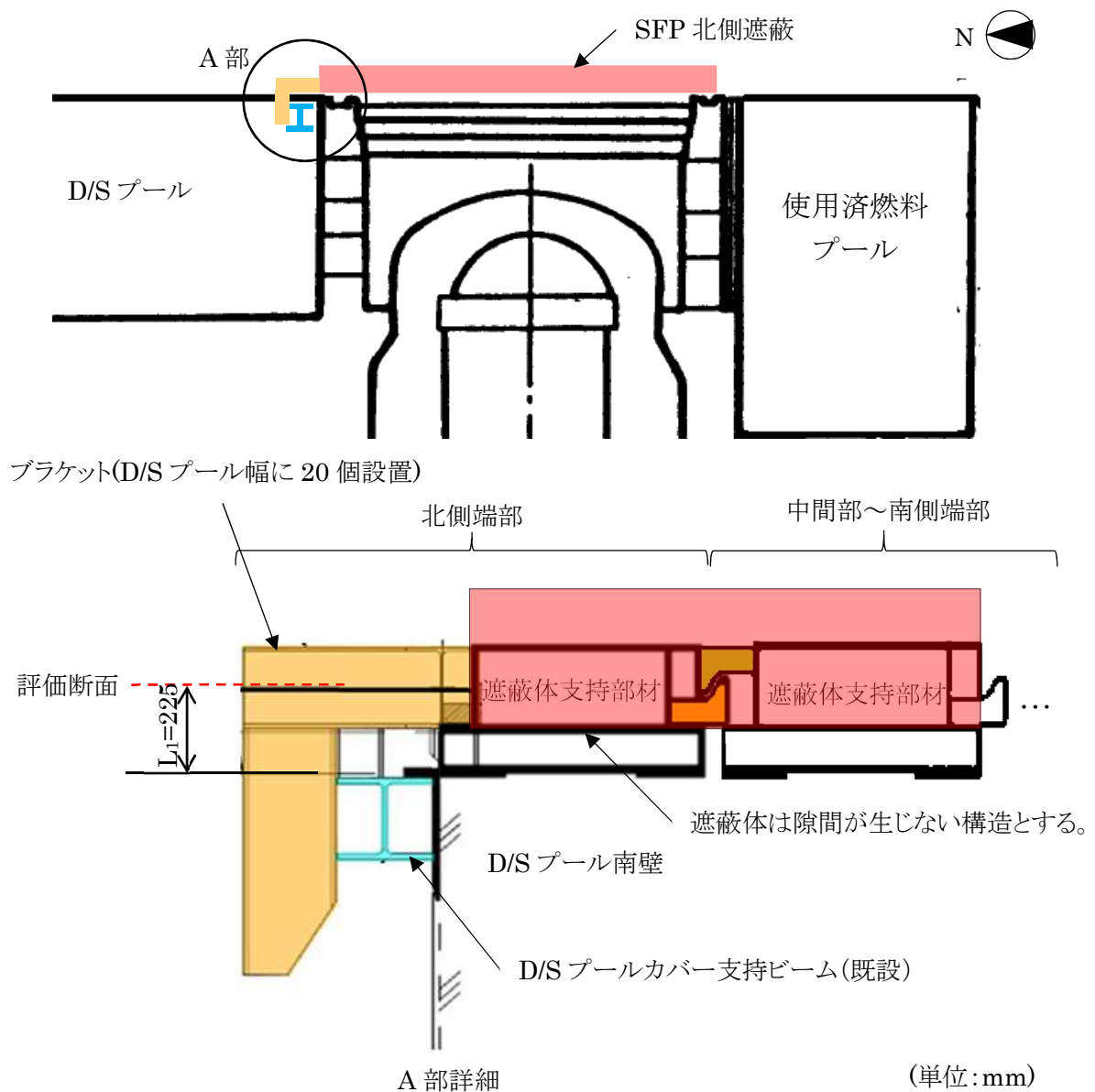


図 2 SFP 北側遮蔽 評価対象部

### 6.1.2 ブラケットの強度

#### (1) 曲げ応力

$$P_1 = W_1 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))/N_1$$

$P_1$  :地震時にブラケット 1 個あたりに生じる荷重(N)

$W_1$  :SFP 北側遮蔽質量 432000(kg)

$g$  :重力加速度 9.80665(m/s<sup>2</sup>)

$C_H$  :水平方向設計震度 0.94

$C_V$  :鉛直方向設計震度 0.54

$\mu$  :摩擦係数 0.25

$N_1$  :ブラケット数量 20

$$M_1 = P_1 \cdot L_1$$

$$\sigma_1 = M_1/Z_1 = 146(\text{MPa})$$

$\sigma_1$  :ブラケット 1 個あたりに生じる曲げ応力(MPa)

$M_1$  :ブラケット 1 個あたりに生じる曲げモーメント(N・mm)

$L_1$  :評価断面から荷重点の距離 225(mm)

$Z_1$  :ブラケットの断面係数 271000(mm<sup>3</sup>)

#### (2) せん断応力

$$\tau_1 = P_1/A_1 = 46(\text{MPa})$$

$\tau_1$  :ブラケット 1 個あたりに生じるせん断力(N)

$A_1$  :ブラケットの断面積 3811(mm<sup>2</sup>)

#### (3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa1} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} = 167(\text{MPa})$$

$\sigma_{fa1}$  :ブラケット 1 個あたりに生じる組合せ応力(MPa)

### 6.1.3 D/S プールカバー支持ビームの強度

#### (1) 支圧応力

$$\sigma_{p1} = P_1/A_2 = 73(\text{MPa})$$

$\sigma_{p1}$  :D/S プールカバー支持ビームに生じる支圧応力(MPa)

$A_2$  :D/S プールカバー支持ビームの支圧断面積 2400(mm<sup>2</sup>)

## 6.2. SFP 南側遮蔽

### 6.2.1 形状・寸法

SFP 南側遮蔽は図 3 に示す通り、SFP 南側のオペレーティングフロア上に並べられた遮蔽体の地震時水平方向荷重をジブクレーン及びチャンネル取扱いブーム間に設置する荷重受け部材で支持する構造を有する。ジブクレーン及びチャンネル取扱ブームはケミカルアンカーにて十分な強度で原子炉建屋オペレーティングフロア床面に固定されているため、地震時水平方向荷重を支持する荷重受け部材の強度評価を行う。また、SFP 南側遮蔽のうち、荷重受け部材より使用済燃料プール側に設置する遮蔽体の地震時水平荷重が、同遮蔽体の引っ掛け部材に負荷された場合の強度評価を行う。

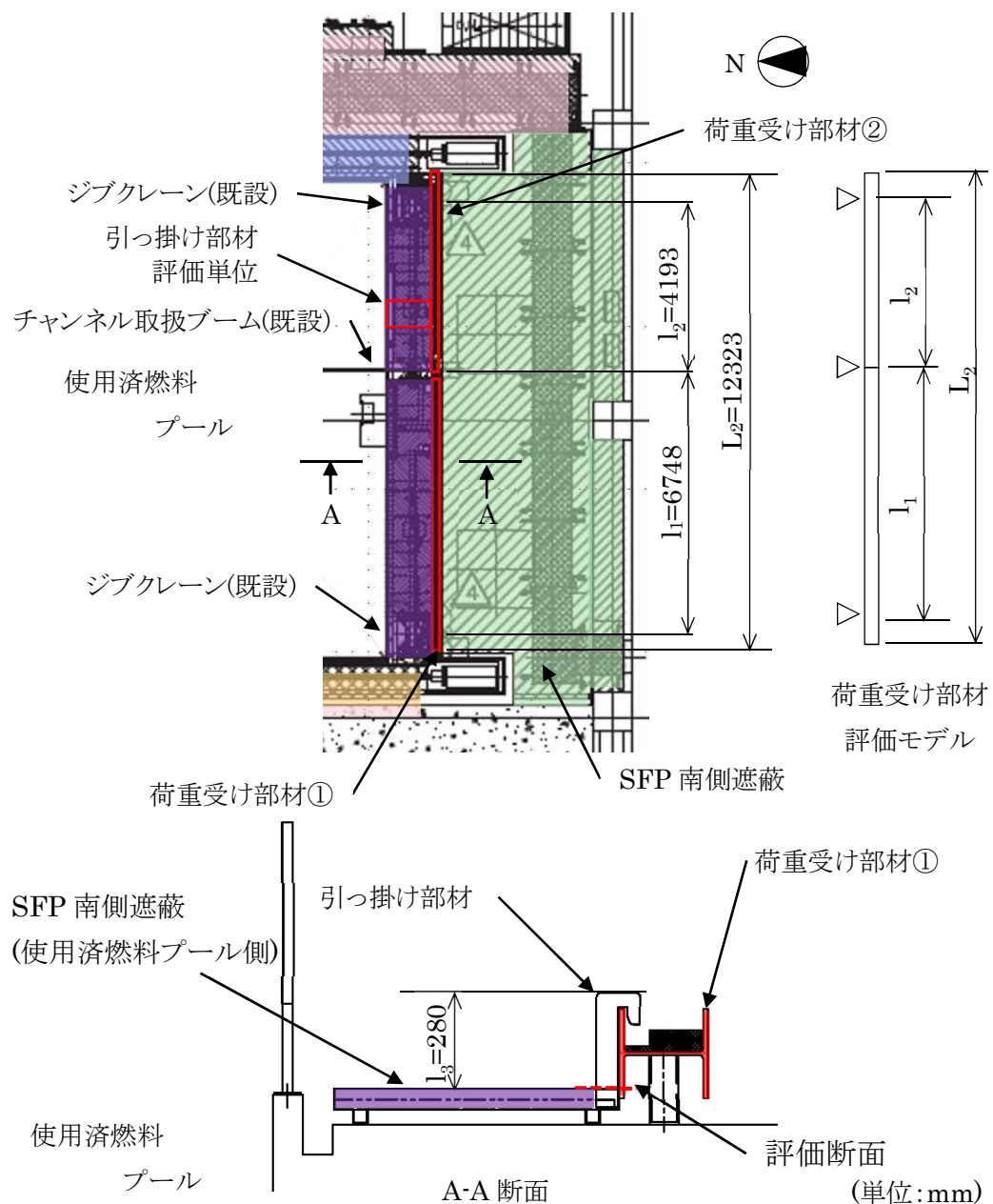


図 3 SFP 南側遮蔽体 評価対象部

### 6.2.2 荷重受け部材①の強度

#### (1) 曲げ応力

$$P_2 = W_2 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))/L_2$$

$P_2$  :地震時に荷重受け部材に生じる単位長さ当たりの荷重(N/mm)

$W_2$  :SFP 南側遮蔽質量 88000(kg)

$L_2$  :荷重受け部材が荷重を受ける長さ 12323(mm)

$$M_2 = P_2 \cdot l_1^2/8$$

$$\sigma_2 = M_2/Z_2 = 244(\text{MPa})$$

$\sigma_2$  :荷重受け部材①に生じる曲げ応力 (MPa)

$M_2$  :荷重受け部材①に生じる曲げモーメント(N・mm)

$l_1$  :荷重受け部材①の支持点間距離 6748(mm)

$Z_2$  :荷重受け部材①の断面係数 1350000(mm<sup>3</sup>)

#### (2) せん断応力

$$\tau_2 = P_2 \cdot l_1/(2 \cdot A_1) = 17(\text{MPa})$$

$\tau_2$  :荷重受け部材①に生じるせん断応力(MPa)

$A_3$  :荷重受け部材①の断面積 11850(mm<sup>2</sup>)

#### (3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa2} = \sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_2^2} = 246(\text{MPa})$$

$\sigma_{fa2}$  :荷重受け部材①に生じる組合せ応力(MPa)

### 6.2.3 荷重受け部材②の強度

#### (1) 曲げ応力

$$M_3 = P_2 \cdot l_2^2/8$$

$$\sigma_3 = M_3/Z_3 = 270(\text{MPa})$$

$\sigma_3$  :荷重受け部材②に生じる曲げ応力 (MPa)

$M_3$  :荷重受け部材②に生じる曲げモーメント(N・mm)

$l_2$  :荷重受け部材②の支持点間距離 4193 (mm)

$Z_3$  :荷重受け部材②の断面係数 472000(mm<sup>3</sup>)

#### (2) せん断応力

$$\tau_3 = P_2 \cdot l_2/(2 \cdot A_4) = 20(\text{MPa})$$

$\tau_3$  :荷重受け部材②に生じるせん断応力(MPa)

$A_4$  :荷重受け部材②の断面積 6353(mm<sup>2</sup>)



(3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa3} = \sqrt{\sigma_3^2 + 3 \cdot \tau_3^2} = 273(\text{MPa})$$

$\sigma_{fa3}$  : 荷重受け部材②に生じる組合せ応力(MPa)

6.2.4 引っ掛け部材の強度

SFP 南側遮蔽(使用済燃料プール側)は評価単位に分割されており、個々に 2 個の引っ掛け部材を有しているため、評価単位での評価とし、評価単位の質量を保守的に設定することで代表とする。引っ掛け部材の評価においては最も大きな曲げ応力が生じる脚部を評価断面とする。

(1) 曲げ応力

$$P_3 = W_3 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V)) / N_2$$

$P_3$  : 地震時に引っ掛け部材 1 個当たりに生じる荷重(N)

$W_3$  : SFP 南側遮蔽(使用済燃料プール側のみ)質量 380 (kg)

$N_2$  : 遮蔽体 1 個当たりの引っ掛け部材数 2

$$M_4 = P_3 \cdot l_3$$

$$\sigma_4 = M_4 / Z_4 = 52(\text{MPa})$$

$\sigma_4$  : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じる曲げ応力 (MPa)

$M_4$  : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じる曲げモーメント(N・mm)

$l_3$  : 引っ掛け部材高さ 280(mm)

$Z_4$  : 引っ掛け部材の断面係数 8438(mm<sup>3</sup>)

(2) せん断応力

$$\tau_4 = P_3 / A_5 = 3(\text{MPa})$$

$\tau_4$  : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じるせん断応力(MPa)

$A_5$  : 引っ掛け部材の断面積 675 (mm<sup>2</sup>)

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa4} = \sqrt{\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2} = 53(\text{MPa})$$

$\sigma_{fa4}$  : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じる組合せ応力(MPa)

### 6.3. SFP 東側遮蔽

#### 6.3.1 形状・寸法

SFP 東側遮蔽は図 4 に示す通り, SFP 東側のオペレーティングフロア上に並べられた遮蔽体の地震時水平方向荷重を燃料取替機レールで支持し, 同レールより使用済燃料プール側に設置する遮蔽体の地震時水平方向荷重は引っ掛け部材, 荷重受け部材で支持する構造を有する。燃料取替機レールはケミカルアンカーにて十分な強度で原子炉建屋オペレーティングフロア床面に固定されているため, 燃料取替機レールより使用済燃料プール側に設置する遮蔽体の地震時水平方向荷重が引っ掛け部材及び荷重受け部材に負荷された場合の強度評価を行う。

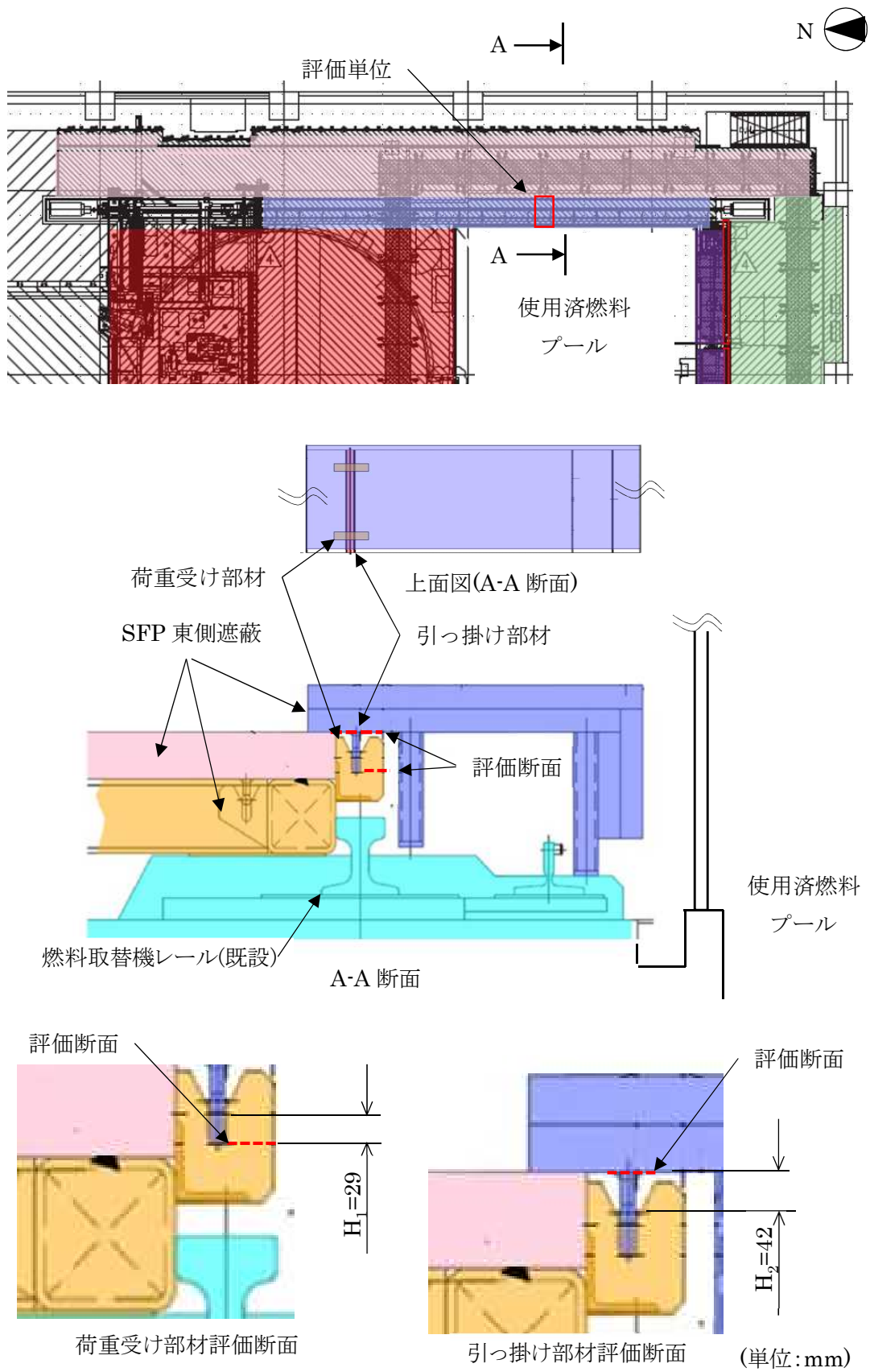


図 4 SFP 東側遮蔽体 評価対象部

### 6.3.2 荷重受け部材の強度

SFP 東側遮蔽(使用済燃料プール側)は評価単位に分割されており, 個々に 2 個の引っ掛け部材を有しているため, 評価単位での評価とし, 評価単位の質量を保守的に設定することで代表とする。荷重受け部材の評価においては, 最も大きな曲げ応力が生じる脚部を評価断面とする。

#### (1) 曲げ応力

$$P_4 = W_4 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))/N_3$$

$P_4$  :地震時に荷重受け部材 1 個当たりに生じる荷重(N/mm)

$W_4$  :SFP 東側遮蔽(使用済燃料プール側のみ)質量 570(kg)

$N_3$  : $W_4$ を支持する荷重受け部材数 2

$$M_5 = P_4 \cdot H_1$$

$$\sigma_5 = M_5/Z_5 = 23(\text{MPa})$$

$\sigma_5$  :荷重受け部材 1 個当たりに生じる曲げ応力 (MPa)

$M_5$  :荷重受け部材 1 個当たりに生じる曲げモーメント(N・mm)

$H_1$  :荷重受け部材部材高さ 29(mm)

$Z_5$  :荷重受け部材 1 個当たりの断面係数 2888(mm<sup>3</sup>)

#### (2) せん断応力

$$\tau_5 = P_4/A_6 = 6(\text{MPa})$$

$\tau_5$  :荷重受け部材 1 個当たりに生じるせん断応力(MPa)

$A_6$  :荷重受け部材の断面積 456(mm<sup>2</sup>)

#### (3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa5} = \sqrt{\sigma_5^2 + 3 \cdot \tau_5^2} = 26(\text{MPa})$$

$\sigma_{fa5}$  :荷重受け部材 1 個当たりに生じる組合せ応力(MPa)

### 6.3.3 引っ掛け部材の強度

最も大きな曲げ応力が生じる引っ掛け部材脚部を評価断面とする。

#### (1) 曲げ応力

$$P_5 = W_4 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))/N_4$$

$P_5$  :地震時に引っ掛け部材 1 個当たりに生じる荷重(N/mm)

$N_4$  : $W_4$ を支持する引っ掛け部材数 2

$$M_6 = P_5 \cdot H_2$$

$$\sigma_6 = M_6/Z_6 = 201(\text{MPa})$$

$\sigma_6$  :引っ掛け部材 1 個当たりに生じる曲げ応力 (MPa)

$M_6$  : 引っ掛け部材 1 個あたりに生じる曲げモーメント(N・mm)  
 $H_2$  : 引っ掛け部材高さ 42(mm)  
 $Z_6$  : 引っ掛け部材の断面係数 512(mm<sup>3</sup>)

(2) せん断応力

$\tau_6 = P_5/A_7 = 13(\text{MPa})$   
 $\tau_6$  : 引っ掛け部材 1 個あたりに生じるせん断応力(MPa)  
 $A_7$  : 引っ掛け部材の断面積 192 (mm<sup>2</sup>)

(3) 組合せ応力

$\sigma_{fa6} = \sqrt{\sigma_6^2 + 3 \cdot \tau_6^2} = 203(\text{MPa})$   
 $\sigma_{fa6}$  : 引っ掛け部材 1 個あたりに生じる組合せ応力(MPa)

## 6.4. SFP 西側遮蔽

### 6.4.1 形状・寸法

SFP 西側遮蔽は図 5 に示す通り, SFP 西側のオペレーティングフロア上に並べられた遮蔽体の地震時水平方向荷重を既設燃料取替機レールで支持する構造を有する。既設燃料取替機レールはケミカルアンカーにて十分な強度で原子炉建屋オペレーティングフロア床面に固定されているため, SFP 西側遮蔽体の地震時水平方向荷重が荷重受け部材に負荷された場合の強度評価を行う。

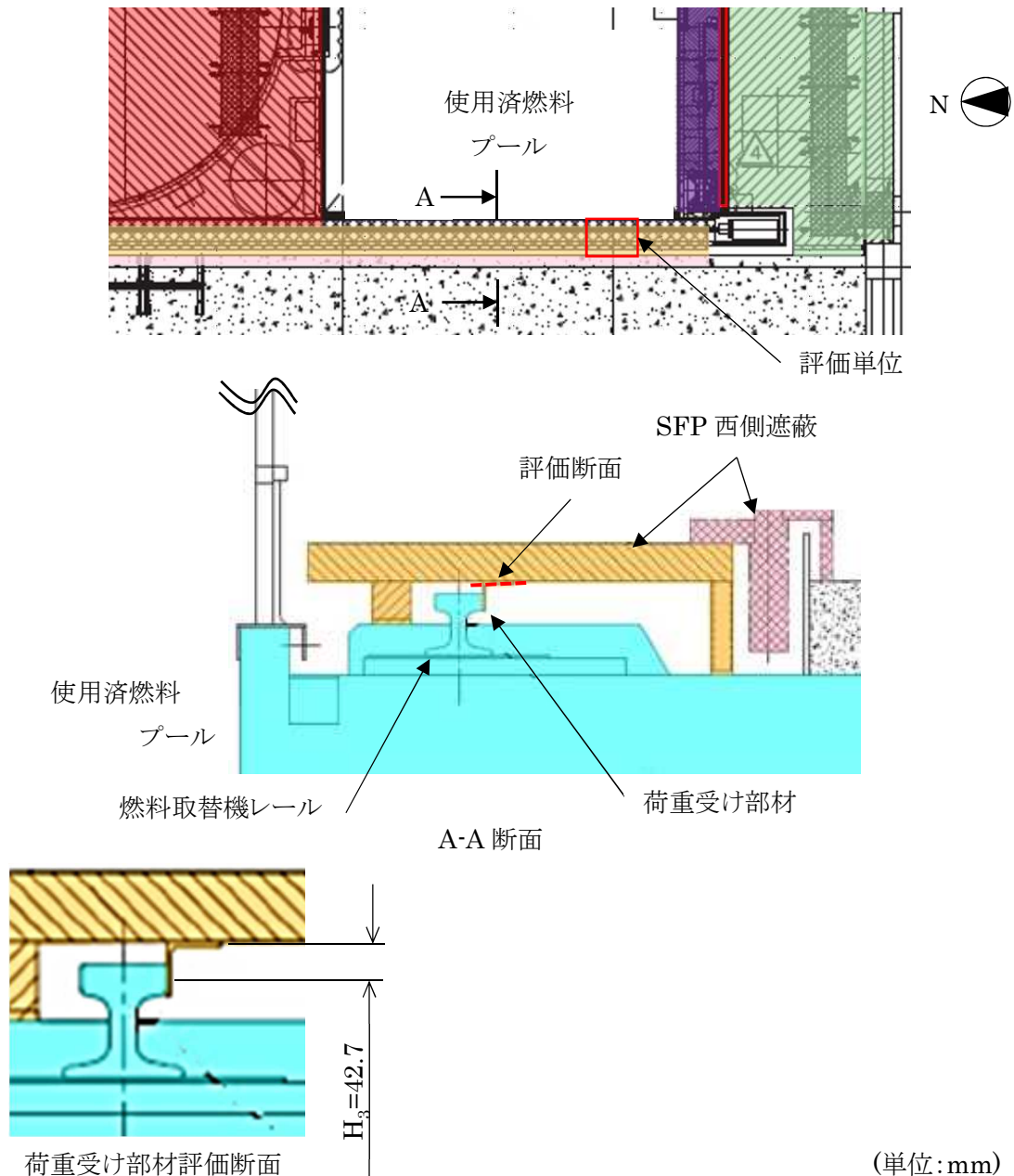


図 5 SFP 西側遮蔽 評価対象部

#### 6.4.2 荷重受け部材の強度

SFP 西側遮蔽は評価単位に分割されており、個々に荷重受け部材で支持されるため、評価単位での評価とし、評価単位の質量を保守的に設定することで代表とする。荷重受け部材の評価においては、最も大きな曲げ応力が生じる脚部を評価断面とする。

##### (1) 曲げ応力

$$P_6 = W_6 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))$$

$P_6$  : 地震時に荷重受け部材 1 個当たりに生じる荷重(N)

$W_6$  : SFP 西側遮蔽質量 960(kg)

$$M_7 = P_6 \cdot H_3$$

$$\sigma_7 = M_7 / Z_7 = 57(\text{MPa})$$

$\sigma_7$  : 荷重受け部材 1 個当たりに生じる曲げ応力 (MPa)

$M_7$  : 荷重受け部材 1 個当たりに生じる曲げモーメント(N・mm)

$H_3$  : 荷重受け部材部材高さ 42.7(mm)

$Z_7$  : 荷重受け部材断面係数 5880 (mm<sup>3</sup>)

##### (2) せん断応力

$$\tau_7 = P_6 / A_8 = 2(\text{MPa})$$

$\tau_7$  : 荷重受け部材 1 個当たりに生じるせん断応力(MPa)

$A_8$  : 引っ掛け部材の断面積 5880(mm<sup>2</sup>)

##### (3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa7} = \sqrt{\sigma_7^2 + 3 \cdot \tau_7^2} = 58(\text{MPa})$$

$\sigma_{fa7}$  : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じる組合せ応力(MPa)

#### IV 2号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台に対する 1/2Ss450 評価について



## 解析条件比較（燃料取り出し用構台）

TEPCO

- 1/2Ss450（水平2方向+鉛直方向）を適用した場合の影響評価として、実施計画変更認可初回申請書記載の解析結果（以下、Ss600評価結果）と比較する
- 1/2Ss450評価では、地震動の位相反転を考慮せずに解析ケースを絞っているため、位相反転を考慮することによる、断面検討結果の変動から評価ケースの代表性を確認する
- 解析条件

解析条件	条件相違	1/2Ss450評価	Ss600評価
解析に用いる入力地震動	有り	<b>1/2Ss450</b> 次頁以降に示す検討用地震動（最大加速度900gal）の1/2の最大加速度450galの地震動（1波）	<b>Ss600</b> バックチェックにて作成した基準地震動Ss（最大加速度600gal,450gal）（3波）
地震力の組合せ	有り	<b>水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力</b>	<b>水平1方向及び鉛直方向地震力の同時入力</b>
ケース数	<b>有り</b>	<b>1ケース*</b>	<b>8ケース</b>
地盤定数	有り (手法は同様)	<b>1/2Ss450</b> の水平動を用いて等価線形解析により算出	<b>Ss600</b> の水平動を用いて等価線形解析により算出
地盤バネ	有り (手法は同様)	上記地盤定数を用いて算出	上記地盤定数を用いて算出
原子炉建屋モデル	無し	質点系モデル	
構台モデル	無し	三次元立体モデル	
荷重条件 (燃料取扱設備荷重)	無し	構内用輸送容器揚重時を想定し、構内用輸送容器を含んだ重量を、燃料取扱設備の動作姿勢（R/B内：キャスクビットへのキャスク揚重、構台内：機器ハッチへのキャスク揚重）を考慮したうえで構台の解析モデル（ランウェイガータ上）に分配 燃料取扱設備位置は原子炉建屋内位置(A)と前室内位置(B)の2ケース考慮	

\* 位相反転を考慮することによる、断面検討結果の変動から代表性確認を実施

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

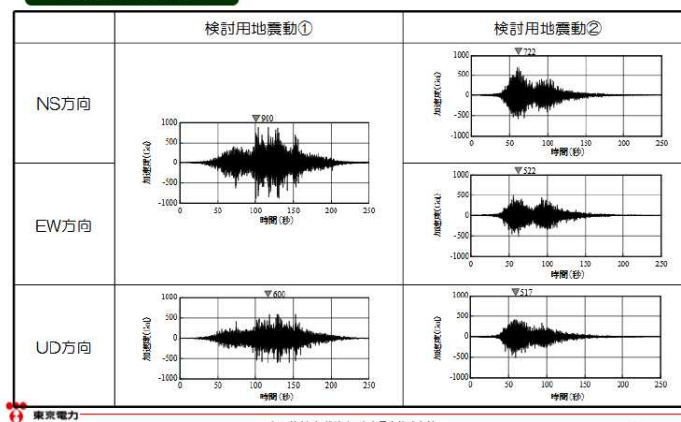
## 検討に用いる地震動の概要

TEPCO

- 本検討に用いる地震動は、第27回特定原子力施設監視・評価検討会にてご説明した、検討用地震動（以下、「Ss900Gal」という）とする。
- Ss900Galは以下の二つの地震動からなる。
- Ss600による評価結果との比較には、Ss900Galの二つの地震動のうち、振幅が大きく、燃料取り出し用構台および燃料取扱設備の応答が大きくなる傾向となる検討用地震動①を用いる。

### 4. 1 検討用地震動の評価（検討用地震動）

#### 加速度時刻歴波形



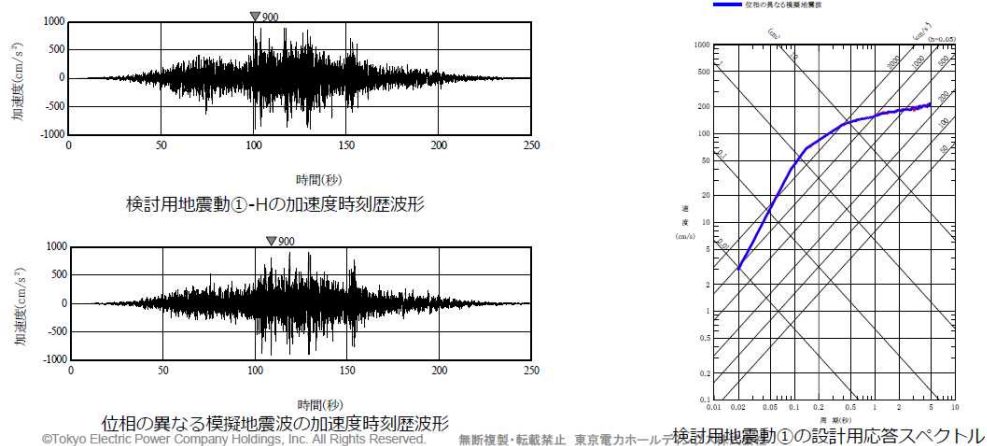
第27回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2「東京電力福島第一原子力発電所の外部事象に対する防護の検討について」より抜粋

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 検討に用いる地震動の概要（水平二方向の検討に関して）

TEPCO

- 水平二方向の影響評価を実施するに当たっては、水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力を行う。
- 影響評価に当たっては、全く同じ地震動が同時に水平2方向に入力されることは現実的に考えにくいことから、検討用地震動①を作成した方法と同一の方法で、目標とする応答スペクトルに適合する位相の異なる模擬地震波を利用する。
- なお、検討用地震動①-Hの位相が、2011年東北地方太平洋沖地震において福島第一原子力発電所敷地内の地震観測記録のNS方向の位相を基に作成していることから、模擬地震波はそれと直交するEW方向の位相を基に作成する。

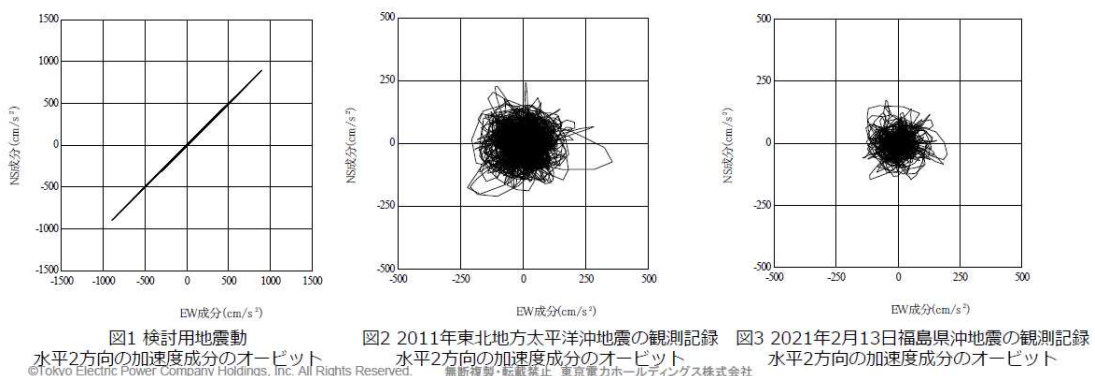


## 観測記録を用いた位相差の確認

TEPCO

- なお、念のために自由地盤系南地点（O.P.-200m）の観測記録から、当該サイトにおいて、水平2方向の地震波で位相差が生じる傾向を確認した。確認の方法として、検討用地震動①を同時に水平2方向に入力した場合のオービット（図1）と、観測記録の水平2方向のオービット（図2及び図3）との比較を行った。図1から、全く同じ地震動を同時に水平2方向に入力した場合、オービットは現実的に考えにくい45°方向に直線的な軌跡を示す。一方、図2及び図3より観測記録ではオービットは位相差によって生じるランダムな軌跡を示すことを確認した。

本資料におけるO.P.表記は震災前の「旧O.P.表記」を指す。T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)とO.P.からT.P.への誘替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算する。  
(換算式) T.P. = 旧O.P. - 1,436mm



- また、検討用地震動①と位相の異なる模擬地震波を水平2方向に入力した場合のオービット（図4）と観測記録の水平2方向のオービット（図2及び図3）との比較を行った。図4のオービットはランダムな軌跡を示し、実際の観測記録と似たような軌跡を示すことを確認した。
- このため、位相の異なる模擬地震波はサイト特性を適切に考慮しており、妥当であると考えている。

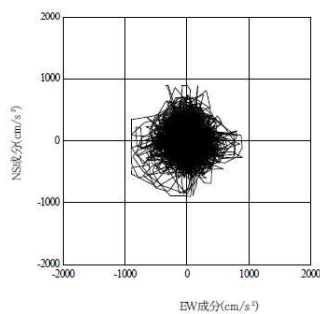


図4 検討用地震動①と位相の異なる模擬地震波の水平2方向の加速度成分のオービット

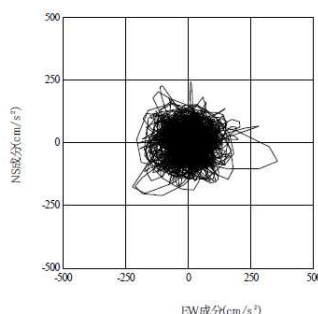


図2 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録水平2方向の加速度成分のオービット

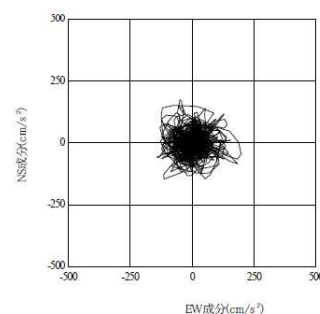
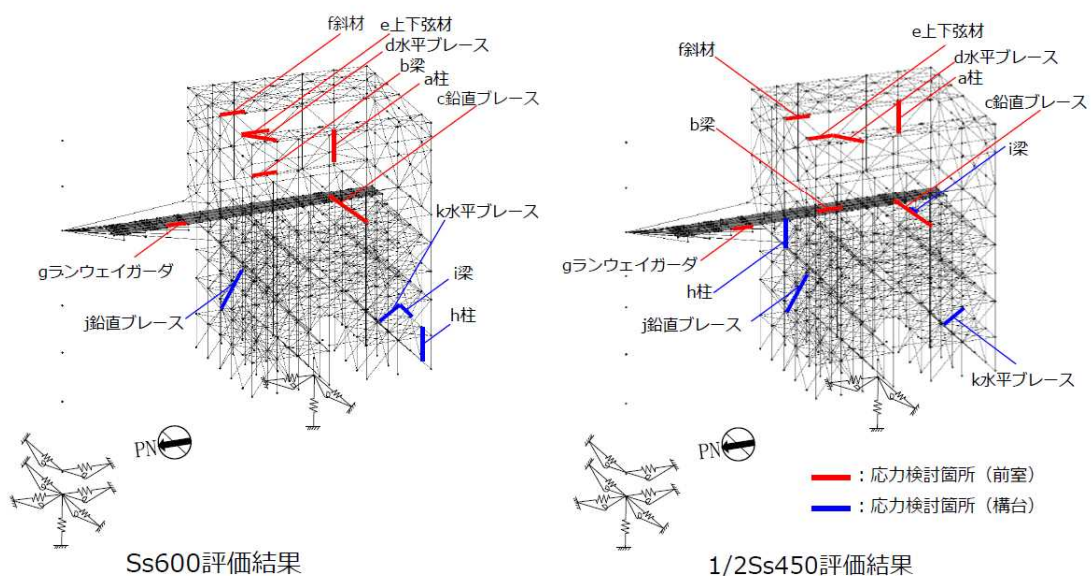


図3 2021年2月13日福島県沖地震の観測記録水平2方向の加速度成分のオービット

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 影響評価結果（燃料取り出し用構台）

- 燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果の比較を、前室と構台の層に区分し、より詳細に比較を行った
- 評価の結果、最大応力度比発生部材は下図のとおり



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



## 影響評価結果（燃料取り出し用構台）

TEPCO

- 燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果の比較は以下のとおり
- 部位により、同位置の部材が最大になる場合と、異なる場合の両方が存在するが、全ての部位において1/2Ss450評価結果がSs600評価結果を下回ることを確認した

			Ss600評価結果					1/2Ss450評価結果					比		
部位			部材形状(mm) <使用材料>	設備 位置	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比	部材形状(mm) <使用材料>	設備 位置	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比			
前室	a	柱	H-700×300 ×14×28 <SM490A>	(A)	f <sub>c</sub>	310	13.7	H-700×300 ×14×28 <SM490A>	(A)	f <sub>c</sub>	310	24.2	0.71	0.87	
					f <sub>by</sub>	298	223.5			f <sub>by</sub>	313	180.8			
					f <sub>bz</sub>	357	3.6			f <sub>bz</sub>	357	17.9			
					f <sub>s</sub>	205	27.6			f <sub>s</sub>	205	3.0			
	b	梁	H-390×300 ×10×16 <SM490A>	(B)	f <sub>t</sub>	357	6.8	H-390×300 ×10×16 <SM490A>	(B)	f <sub>t</sub>	357	3.8	0.70	0.77	
					f <sub>by</sub>	273	0.0			f <sub>by</sub>	273	0.0			
					f <sub>bz</sub>	357	314.6			f <sub>bz</sub>	357	243.8			
					f <sub>s</sub>	205	5.5			f <sub>s</sub>	205	4.2			
	c	鉛直 ブレース	φ-355.6×9.5 <STK490>	(A)	f <sub>c</sub>	279	199.6	0.72	φ-355.6×9.5 <STK490>	(B)	f <sub>c</sub>	279	128.8	0.47	0.66
	d	水平 ブレース	2[s-200×90 ×8×13.5 <SS400>	(B)	f <sub>t</sub>	258	178.7	0.70	2[s-150×75 ×9×12.5 <SS400>	(B)	f <sub>t</sub>	258	129.7	0.51	0.73

燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果比較（前室(1)）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 影響評価結果（燃料取り出し用構台）

TEPCO

			Ss600評価結果					1/2Ss450評価結果					比		
部位			部材形状(mm) <使用材料>	設備 位置	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 比	部材形状(mm) <使用材料>	設備 位置	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力 度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比			
前室	e	屋根 トラス 上下弦 材	H-300×300 ×16×16 <SM490A>	(B)	f <sub>c</sub>	316	221.0	0.80	H-300×300 ×16×16 <SM490A>	(B)	f <sub>c</sub>	316	169.2	0.66	0.83
					f <sub>bz</sub>	357	33.3				f <sub>bz</sub>	357	43.7		
					f <sub>s</sub>	205	0.5				f <sub>s</sub>	205	0.7		
	f	屋根 トラス 斜材	2[s-150×75 ×6.5×10 <SS400>	(B)	f <sub>c</sub>	239	148.7	0.63	2[s-150×75 ×6.5×10 <SS400>	(A)	f <sub>c</sub>	239	117.1	0.49	0.78
	g	ラン ウェイ ガード	□-1500×900 ×(80+40)×80 <SN490B>	(A)	f <sub>c</sub>	323	24.2	0.35	□-1500×900 ×(80+40)×80 <SN490B>	(A)	f <sub>c</sub>	323	20.4	0.29	0.83
f <sub>b</sub>					323	85.4	f <sub>b</sub>				323	69.8			
f <sub>s</sub>					186	14.9	f <sub>s</sub>				186	12.5			

燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果比較（前室(2)）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 影響評価結果（燃料取り出し用構台）

TEPCO

		Ss600評価結果						1/2Ss450評価結果						比
部位		部材形状(mm) <使用材料>	設備 位置	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比		部材形状(mm) <使用材料>	設備 位置	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比		
構台	h 柱	(X)H-700×300 ×36×36 (Y)H-700×350 ×36×40 <SM490A>	(B)	f <sub>c</sub>	343	43.4	0.91	(X)H1500×400 ×16×32 (Y)H-700×350 ×16×32 <SM490A>	(B)	f <sub>c</sub>	348	41.6	0.83	0.92
				f <sub>by</sub>	337	246.2				f <sub>by</sub>	303	120.5		
				f <sub>bz</sub>	357	17.1				f <sub>bz</sub>	357	108.5		
				f <sub>s</sub>	205	18.8				f <sub>s</sub>	205	12.8		
	i 梁	H-750×350 ×40×40 <SM490A>	(B)	f <sub>c</sub>	350	24.1	0.87	H-800×350 ×19×36 <SM490A>	(B)	f <sub>c</sub>	342	0.1	0.69	0.80
				f <sub>by</sub>	352	265.9				f <sub>by</sub>	339	152.4		
				f <sub>bz</sub>	357	5.0				f <sub>bz</sub>	357	0.7		
				f <sub>s</sub>	205	41.5				f <sub>s</sub>	205	106.1		
	j 鉛直 ブレース	φ-406.4×9.5 <STK490>	(B)	f <sub>c</sub>	294	214.2	0.73	φ-406.4×9.5 <STK490>	(B)	f <sub>c</sub>	294	137.7	0.47	0.65
	k 水平 ブレース	[-180×75×7 ×10.5 <SS400>	(B)	f <sub>t</sub>	258	63.3	0.25	[-180×75×7 ×10.5 <SS400>	(B)	f <sub>t</sub>	258	36.1	0.14	0.56

燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果比較（構台）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 影響評価結果（燃料取り出し用構台）

TEPCO

- 弾性支承およびオイルダンパの応答結果の比較は以下のとおり
- 1/2Ss450評価結果がSs600評価結果を下回ることを確認した
- 前頁に記載した、燃料取り出し用構台（鉄骨部材）の断面検討結果と併せ、1/2Ss450評価結果がSs600評価結果を下回り、影響が十分小さいことを確認した

オイルダンパの応答結果比較

			Ss600 評価結果		1/2Ss450評価 結果	
		許容値	設備 位置	最大応 答値	設備 位置	最大 応答値
オイルダンパ° (水平棟間)	変位 (mm)	±100	(B)	50	(A)	40
	速度 (m/s)	0.70	(B)	0.54	(A)	0.42
オイルダンパ° (鉛直)	変位 (mm)	±60	(B)	18	(B)	13
	速度 (m/s)	0.50	(B)	0.16	(B)	0.07
ばね付き オイルダンパ°	変位 (mm)	±100	(A)	18	(A)	14
	速度 (m/s)	1.00	(A)	0.14	(A)	0.10

弾性支承の応答結果比較

		Ss600 評価結果		1/2Ss450 評価結果	
	圧縮限 界強度 σ <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	設備 位置	最大圧縮 面圧 σ <sub>D</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	設備 位置	最大圧縮 面圧 σ <sub>D</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
西側	43.00	(A)	10.83	(A)	8.80
東側	43.00	(A)	10.83	(A)	8.86

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

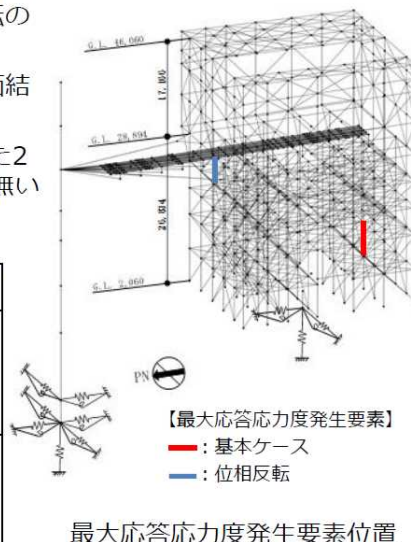
無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 影響確認に用いた評価ケースの代表性について

TEPCO

- 1/2Ss450評価結果で応力度比が最大となるケース（設備位置(B)，要素：柱）に対し，位相反転を考慮した場合（1ケース）の応力度比の変動を下表の通り確認した
- 上記最大応力度比となる部材における変動は6%程度
- 1/2Ss450評価結果とSs600評価結果の差は全頁以前に記載の通り最小でも8%と，1/2Ss450評価における位相反転の変動以上に大きく大小関係は変わらない
- 許容値への裕度は，上記1/2Ss450評価結果とSs600評価結果の差以上に大きい
- 以上から，新耐震方針への変更による影響確認は実施した2ケース（設備位置(A)および(B)，位相反転無し）で問題無いことを確認した

荷重ケース	部材形状(mm) <使用材料>	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	応力度比	基本ケース との比較
1/2Ss450 -NS+EW+UD (B) (基本ケース)	(X)H-1500×400 ×16×32 (Y)H-700×350 ×16×32 <SM490A>	$f_c$	348	0.83	1.00
		$f_{by}$	303		
		$f_{bz}$	357		
		$f_s$	205		
		$f_c$	322		
1/2Ss450 +NS-EW-UD (B) (位相反転)	(X)H-700×300 ×40×40 (Y)H-700×350 ×40×40 <SM490A>	$f_{by}$	340	0.78	0.94
		$f_{bz}$	357		
		$f_s$	205		
		$f_c$	322		
		$f_{by}$	340		

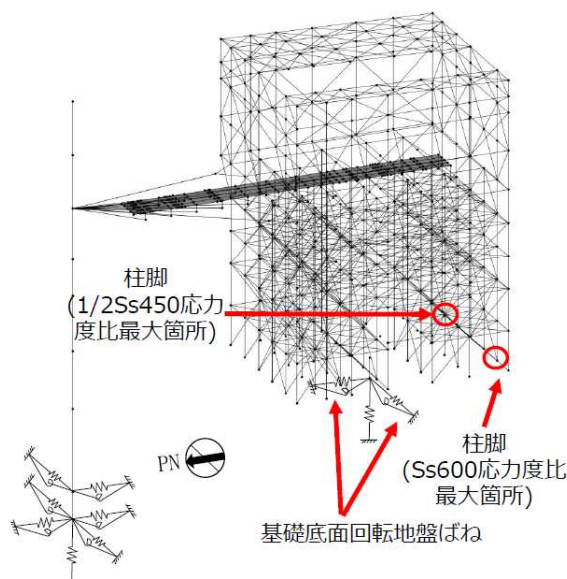


©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 基礎スラブの影響評価について

TEPCO

- 地震応答解析結果より基礎スラブに作用する検討用応力を次頁の通り比較した
- 基礎全体に掛かる転倒モーメントの比較のため，基礎底面回転地盤ばね反力の最大応答値を用いて比較
- 柱脚反力により局所的に応答が大きくなる箇所が存在すると考えられるため，全体の転倒モーメント比較に加え，柱脚の最大応力度比の比較も実施
- 1/2Ss450の検討用応力はSs600より小さくなるため，基礎の耐震性に対する検討は，1/2Ss450評価結果がSs600評価結果を下回り，影響が十分小さいことを確認した



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



## 基礎スラブの影響評価について

TEPCO

### 【全体応答】

基礎スラブの地震時検討用応力の比較（全体）

地震時検討用応力		Ss600	1/2Ss450	1/2Ss450/Ss600
最大転倒モーメント	M <sub>NS</sub> (kN・m)	1,119,000	649,000	0.58
	M <sub>EW</sub> (kN・m)	843,000	658,000	0.79
最大軸力	N(kN)	49,000	46,000	0.94

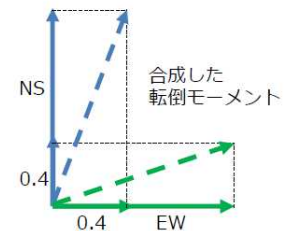
1/2Ss450では、水平2方向の影響を考慮する必要があるため、発生時刻の異なるNS方向、EW方向の最大転倒モーメントを、荷重係数法を用いて一方を係数倍(0.4)したうえで、二乗和平方根を用いて合成し、Ss600の1方向の転倒モーメントと比較する。

#### ・NS方向

合成した転倒モーメント =  $\sqrt{649,000^2 + (0.4 \times 658,000)^2} \approx 701,000 \text{ kN} \cdot \text{m}$   
 $701,000 / 1,119,000 = 0.63$

#### ・EW方向

合成した転倒モーメント =  $\sqrt{(0.4 \times 649,000)^2 + 658,000^2} \approx 708,000 \text{ kN} \cdot \text{m}$   
 $708,000 / 843,000 = 0.84$



### 【局所応答】

構台から作用する応力（柱脚柱の断面検討結果）の比較

柱脚柱の断面検討結果	Ss600	1/2Ss450	1/2Ss450/Ss600
応力度比	0.91	0.76	0.84
部材形状(mm)	(X)H-700×300×36×36 (Y)H-700×350×36×40 <SM490A>	(X)H-700×300×40×40 (Y)H-700×350×40×40 <SM490A>	

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 基礎スラブの影響評価について

TEPCO

- 前頁で記載した転倒モーメントの合成方法の妥当性を確認するため、Ss600評価の最大モーメントと、荷重係数法を用いた1/2Ss450評価の最大転倒モーメントに加え、時刻歴評価による1/2Ss450評価の最大転倒モーメントの比較を行った
- 時刻歴評価による1/2Ss450評価の最大転倒モーメントが、Ss600評価の最大モーメントと、荷重係数法を用いた1/2Ss450評価の最大転倒モーメントより小さくなっており、荷重係数法を用いた転倒モーメントの合成方法の妥当性を確認した

基礎スラブの地震時検討用応力の比較（全体）

地震時検討用応力		Ss600	1/2Ss450 (荷重係数法)	1/2Ss450 (時刻歴評価)
最大転倒モーメント	M <sub>NS</sub> (kN・m)	1,119,000	649,000	(648,000)*
	M <sub>EW</sub> (kN・m)	843,000	658,000	(155,000)*
合成した転倒モーメント	M(kN・m)	—	708,000	667,000

\* 合成した転倒モーメントが最大となる時刻のNS方向、EW方向それぞれの転倒モーメントを記載

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

- 使用済燃料プール周りに設置する遮蔽体について、新基準による地震水平荷重負荷時に支持部材に生じる応力が、許容応力を下回ることを確認した。
- また、Ss600と1/2Ss450の評価結果の比較検討を行った。その結果1/2Ss450を用いた場合より保守的であることを確認した。
- 比較検討結果
  - ✓ Ss600 :地震時に遮蔽対に負荷される水平力が大きい動的地震動を用いて評価。
  - ✓ 1/2Ss450:地震時に遮蔽体に負荷される水平力は、Ss600で算出した値を下回る結果となった。
  - ✓ これより、1/2Ss450の評価結果はSs600の評価結果に包絡される。

適用地震動	静的地震力を用いて算出した水平力	動的地震力を用いて算出した水平力
Ss600	0.8125mg	<u>0.825mg</u>
1/2Ss450	0.8125mg	0.61mg

地震時に遮蔽体に負荷される水平力:  $F = (C_H - \mu(1 - C_V))mg$

Ss600:静的地震力 ( $C_H$ :水平0.99G,  $C_V$ :鉛直0.29G), 動的地震力 ( $C_H$ :水平0.94G,  $C_V$ :鉛直0.54G)

1/2Ss450:静的地震力 ( $C_H$ :水平0.99G,  $C_V$ :鉛直0.29G), 動的地震力 ( $C_H$ :水平0.74G,  $C_V$ :鉛直0.48G)

$\mu$ :摩擦係数 (0.25)

- 実施計画変更認可申請の審査において、1/2Ss450を用いた場合よりSs600を用いることの適切性を確認した。このため、添付4-2別添8に「Ss600が1/2Ss450を用いた場合より保守的である」旨を記載する。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## 別添資料

- 補足説明資料
  - 別添 1 2号機燃料取扱設備の設備停止位置における耐震性についての計算書

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



別添 1 2 号機燃料取扱設備の設備停止位置における  
耐震性についての計算書

※本計算書は、「2 号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台の設置」に関する実施計画申請の内、燃料取扱設備の申請範囲を分割することから、先行して認可を受ける燃料取り出し用構台への影響を確認するため暫定的な評価を行うものである。

## I. 2号機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

設備名	耐震 クラス別	確認用 地震動
燃料取扱設備	B+	1/2Ss450

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ドに固定し、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、ランウェイガードに設置する走行レール上を走行し、原子炉建屋と燃料取り出し用構台間を移動する。

2号機燃料取扱設備の耐震クラス別分類は、「令和3年2月13日の福島県沖の地震を踏まえた東京電力福島第一原子力発電所の耐震設計における地震動とその適用の考え方(2回目)」(原子力規制庁、令和3年9月8日)に基づき、B+クラスに分類される。本計算書では、2号機燃料取り出し用構台の実施計画申請にあたり、別申請にて提示する燃料取扱設備の耐震応答解析の結果が構台の申請内容に影響しないことに当たりをつけるため、各設備停止位置における転倒評価を行うものである。

### 2. 設計用地震力

#### 2.1. 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、ランウェイガード上の走行台車部車輪位置(計6箇所)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(1/2Ss450)、入力方向(+NS+EW+UD)、ランウェイガードに付加する荷重(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±10%の拡張を行い設計用床応答スペクトルとする。

#### 2.2. 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、ランウェイガードに付加する荷重条件においてランウェイガード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と燃料取り出し用構台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。

### 3. 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

1/2Ss450 : 1/2Ss450 地震動により求まる地震力

1.5f<sub>t</sub> : 許容引張応力

ボルト以外の支持構造物に対しては発電用原子力設備規格 設計・建設規格(以下, 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<sub>s</sub> : 許容せん断応力

同上

1.5f<sub>c</sub> : 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<sub>b</sub> : 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+1/2Ss450	1.5f <sub>t</sub>	1.5f <sub>s</sub>	1.5f <sub>c</sub>	1.5f <sub>b</sub>	1.5f <sub>t</sub>	1.5f <sub>s</sub>

## II. 燃料取扱設備停止時の耐震性についての計算書

### 1. 概要

#### 1.1. 一般事項

本書は燃料取扱設備が原子炉建屋内及び燃料取り出し用構台内で停止時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原子炉建屋内で停止時に使用済燃料プール(以下, SFP)に波及的影響を及ぼさないこと及び通常時における駐機位置として燃料取り出し用構台内で停止時に転倒しないことを確認するため, 各停止時においてアウトリガーピンが挿入されていない状態について評価を行う。
- (2) 燃料取扱機, クレーン, ジブクレーンは格納状態, 固定治具は構内用輸送容器固定状態とする。
- (3) 走行姿勢において評価対象(走行台車部)は剛構造であるため, 停止時の耐震評価についてはランウェイガード上で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。
- (4) 走行台車積載構造物の影響を考慮するため, 地震力は構内用輸送容器を含めた設備全体の重心位置に付加する。

#### 1.3. 荷重の伝達経路

図 1-1 及び図 1-2 に荷重伝達経路を示す。(荷重①～③)

本評価においては, 転倒方向である+EW の水平力及び鉛直方向+UD による転倒モーメントを考慮する。なお, 本計算書は暫定的に走行姿勢で評価しており, 下記荷重伝達経路の内, 転倒防止ラグが転倒モーメントを支持する時間は十分に短いと考えられるため NS 方向の力は考慮しない。

以上に基づき荷重経路を選定すると, 荷重は走行台車(荷重①), 転倒防止ラグ(荷重②), 転倒防止ラグボルト(荷重③)の順に伝達する。

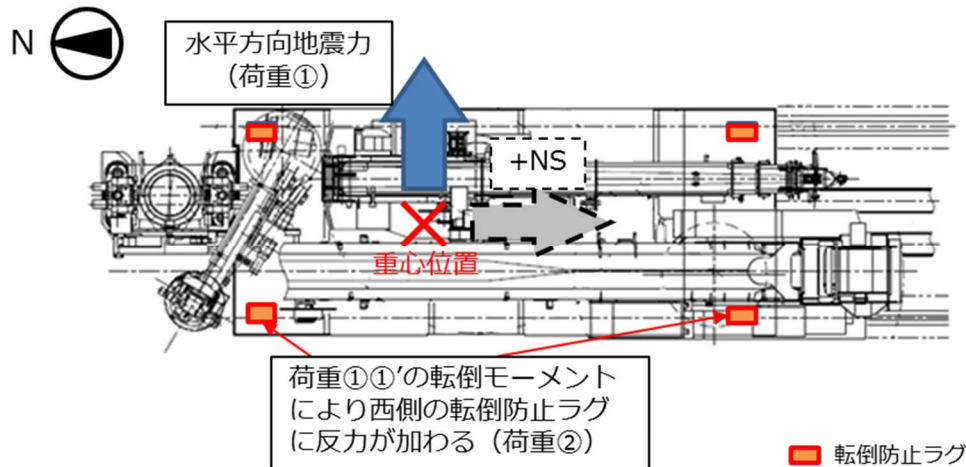


図 1-1 燃料取扱設備荷重経路の概略図(平面)

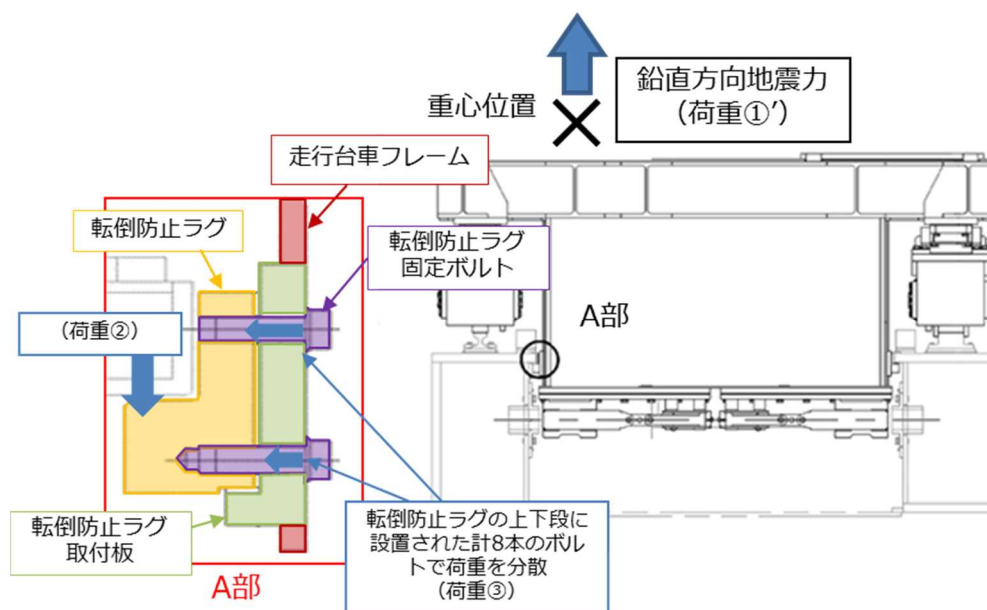


図 1-2 燃料取扱設備荷重経路の概略図(南側から見た図)

## 2. 計算方法

### 2.1. 計算モデル

1.2 及び 1.3 に基づいた計算モデルを図 1 に示す。

転倒防止ラグは転倒防止ラグ取付板を介して走行台車のフレーム部材に取り付けられるため、モーメントに対する強度は十分に有する。また、転倒防止ラグ取付板取付部は十分な溶接脚長を確保できるため、転倒防止ラグ固定ボルトが最も厳しい部位となる。

よって、荷重伝達経路のうち、最も厳しい転倒防止ラグ固定ボルトに生じる応力を評価する。なお、転倒防止ラグ固定ボルトにせん断力が生じないよう転倒防止ラグ取付板につばを設けている。

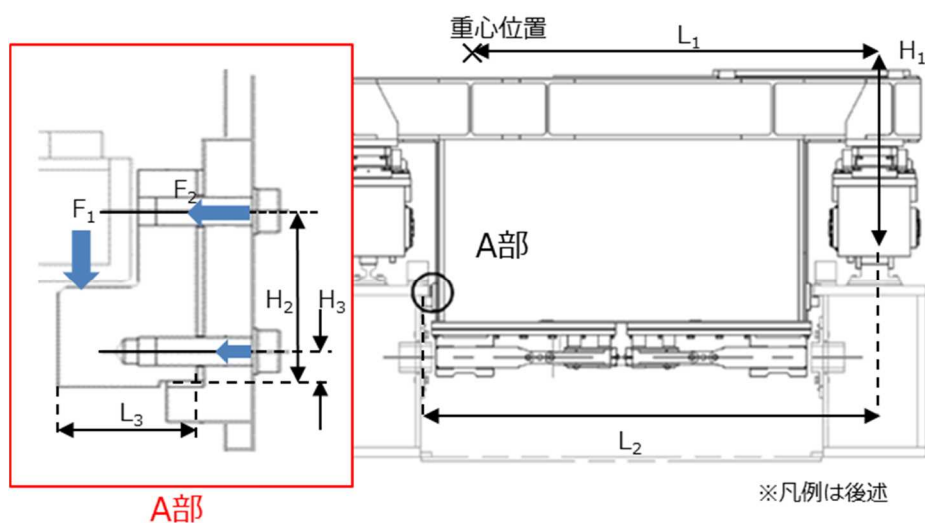


図 2 燃料取扱設備 停止時の計算モデル

## 2.2. 計算に用いる入力地震動

ランウェイガーダの原子炉建屋側及び燃料取り出し用構台位置での燃料取扱設備車輪位置(6 点)で得られる最大応答加速度包絡値の 1.2 倍の加速度を用いて設計用震度とする。適用する地震動を表1に示す。なお, 本計算書は暫定的に走行姿勢で評価しており, 転倒防止ラグが転倒モーメントを支持する時間は十分に短いと考えられるため NS 方向の力は考慮しない。

表 1 適用する地震動

	設計用震度	
停止位置	原子炉建屋	燃料取り出し用構台
確認用地震動	1/2Ss450	1/2Ss450
鉛直方向	0.77	0.81
水平方向	0.66	1.47

## 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)
転倒防止ラグ固定ボルト	SCM435H	引張	651

### 3.2. 結論

算出応力は, 表 3 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 3 算定応力の評価

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力 (MPa)	
				原子炉建屋	燃料取り出し用構台
転倒防止ラグ固定ボルト	SCM435H	引張	651	110	434

#### 4. 数値計算

##### 4.1. 燃料取扱設備停止時の転倒防止ラグ 固定ボルトの算出応力

###### 4.1.1 原子炉建屋内での評価

###### (1) 引張応力

地震時に燃料取扱設備の転倒防止ラグ 1 個あたりに生じる鉛直力  $F_1$  は、走行台車東側車輪端部を支点としたモーメントつり合い式より下式となる。走行台車片側に転倒防止ラグは 2 個設置する。

$$F_1 = \frac{W_1 \cdot g \cdot C_H \cdot H_1 + W_1 \cdot g \cdot (C_V - 1) \cdot L_1}{2L_2}$$

$F_1$  : 転倒防止ラグ 1 個あたりに生じる鉛直力(N)

$W_1$  : 燃料取扱設備質量 310000(kg)

$g$  : 重力加速度 9.80665(m/s<sup>2</sup>)

$C_H$  : 水平方向地震力 0.66

$H_1$  : 燃料取扱設備重心高さ(走行レール上面基準) 1793(mm)

$C_V$  : 鉛直方向地震力 0.77

$L_1$  : 燃料取扱設備重心東西位置(走行レール(東側)東端部基準)  
2340(mm)

$L_2$  : 走行レール(東側)東端部から転倒防止ラグ荷重点までの距離  
4034(mm)

転倒防止ラグ 1 個あたりに生じる鉛直力  $F_1$  より、転倒防止ラグ固定ボルト(上段)1 本あたりに生じる引張応力  $F_2$  は、転倒防止ラグ下端を支点としたモーメントつり合い式より下式となる。転倒防止ラグ 1 個に転倒防止ラグ固定ボルトは上段/下段に 4 本ずつ設置する。

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot L_3}{4 \cdot (H_2 + \frac{H_3}{H_2})}$$

$$\sigma_1 = \frac{F_2}{A_1} = 110(\text{MPa})$$

$F_2$  : 転倒防止ラグ固定ボルト 1 本あたりに生じる引張力(N)

$\sigma_1$  : 転倒防止ラグ固定ボルト(上段)に生じる引張応力(MPa)

$L_3$  : 転倒防止ラグ板厚 95(mm)

$H_2$  : 転倒防止ラグ下端からの転倒防止ラグ固定ボルト位置(上段)  
145(mm)

$H_3$  : 転倒防止ラグ下端からの転倒防止ラグ固定ボルト位置(下段)  
25(mm)

$A_1$  : 転倒防止ラグ固定ボルト(M24)有効断面積 353 (mm<sup>2</sup>)

#### 4.1.2 燃料取り出し用構台内での評価

##### (1) 引張応力

地震時に燃料取扱設備の転倒防止ラグ 1 個あたりに生じる鉛直力  $F_1'$  は、走行台車東側車輪端部を支点としたモーメントつり合い式より下式となる。走行台車片側に転倒防止ラグは 2 個設置する。

$$F_1' = \frac{W_1 \cdot g \cdot C_H' \cdot H_1 + W_1 \cdot g \cdot (C_V' - 1) \cdot L_1}{2L}$$

$F_1'$  : 転倒防止ラグ 1 個あたりに生じる鉛直力(N)

$W_1$  : 燃料取扱設備質量 310000(kg)

$g$  : 重力加速度 9.80665(m/s<sup>2</sup>)

$C_H'$  : 水平方向地震力 0.81

$H_1$  : 燃料取扱設備重心高さ(走行レール上面基準) 1793(mm)

$C_V'$  : 鉛直方向地震力 1.47

$L_1$  : 燃料取扱設備重心東西位置(走行レール(東側)東端部基準)  
2340(mm)

$L_2$  : 走行レール(東側)東端部から転倒防止ラグ荷重点までの距離  
4034(mm)

転倒防止ラグ 1 個あたりに生じる鉛直力  $F_1'$  より、転倒防止ラグ固定ボルト(上段)1 本あたりに生じる引張応力  $F_2'$  は、転倒防止ラグ下端を支点としたモーメントつり合い式より下式となる。転倒防止ラグ 1 個に転倒防止ラグ固定ボルトは上段/下段に 4 本ずつ設置する。

$$F_2' = \frac{F_1' \cdot L_3}{4 \cdot (H_2 + \frac{H_3^2}{H_2})}$$

$$\sigma_1' = \frac{F_2'}{A_1} = 434(\text{MPa})$$

$F_2'$  : 転倒防止ラグ固定ボルト 1 本あたりに生じる引張力(N)

$\sigma_1'$  : 転倒防止ラグ固定ボルト(上段)に生じる引張応力(MPa)

$L_3$  : 転倒防止ラグ板厚 95(mm)

$H_2$  : 転倒防止ラグ下端からの転倒防止ラグ固定ボルト位置(上段)  
145(mm)

$H_3$  : 転倒防止ラグ下端からの転倒防止ラグ固定ボルト位置(下段)  
25(mm)

$A_1$  : 転倒防止ラグ固定ボルト(M24)有効断面積 353 (mm<sup>2</sup>)



V 2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書

## 1. 2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価シナリオ

2号機燃料取扱設備の内、地震影響に対する裕度が小さいクレーン旋回輪軸受取付ボルトが破損したと想定し<sup>※1</sup>、公衆被ばくに至るシナリオとして、以下の3つが考えられる。

- ① 燃料取扱設備クレーンが使用済燃料プール内に落下し、プールのライナーが破損することで水位が低下する
- ② 燃料取扱設備クレーンが使用済燃料プール内に落下し、燃料が破損する
- ③ 燃料取り出し用構台で吊り下ろし作業中の構内用輸送容器が地上に落下し、燃料が破損する

地震によりこれらのシナリオが発生したと仮定し、敷地境界における線量を評価する。なお、シナリオ①と②については同時に起こることを考える。

## 2. 燃料取扱設備クレーンの使用済燃料プールへの落下（シナリオ①、②）

### 2.1 使用済燃料プールライナーの破損による線量の上昇（シナリオ①）

#### (1) 評価方法

本シナリオの線量率評価は、以下の前提に基づき評価する。

- a. 2号機使用済燃料プールのプール水が全喪失した場合の使用済燃料および制御棒のスカイシャイン線、直接線による敷地境界へ与える線量影響を評価した。

なお、使用済燃料の冷却期間は10年以上経過しており、短半減期核種は減衰し、長半減期核種が支配的であるため、6号機の解析結果を元に、2号機との使用済燃料の体数比、制御棒の本数、制御棒の種類に応じた線源強度比、冷却期間から比例計算する。6号機の解析条件は別添1の通りであり、その解析結果(6号機原子炉建屋から900m地点)を表1に示す。

表1 6号機解析結果

	使用済燃料[mSv/h]	制御棒[mSv/h]	合計[mSv/h]
900m 地点	$2.3 \times 10^{-5}$	$9.0 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-4}$

- b. 放出点を使用済燃料プールとし、評価点は使用済燃料プール中心からの距離が最も短い地点とする。
- c. 図1に評価モデルを示す。

<sup>※1</sup> 公衆被ばくに至るシナリオを定めるため、「福島第一原子力発電所「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果中間報告書」(東京電力株式会社, 平成20年3月31日)にて作成した解放基盤表面で定義される新規制基準によらない従来の基準地震動  $S_s$ (最大加速度 600gal) 及び弾性設計用地震動  $S_d$ (最大加速度 300gal) で評価した結果より、地震影響に対する裕度が最も小さいクレーン旋回輪軸受取付ボルトが破損したと想定した。

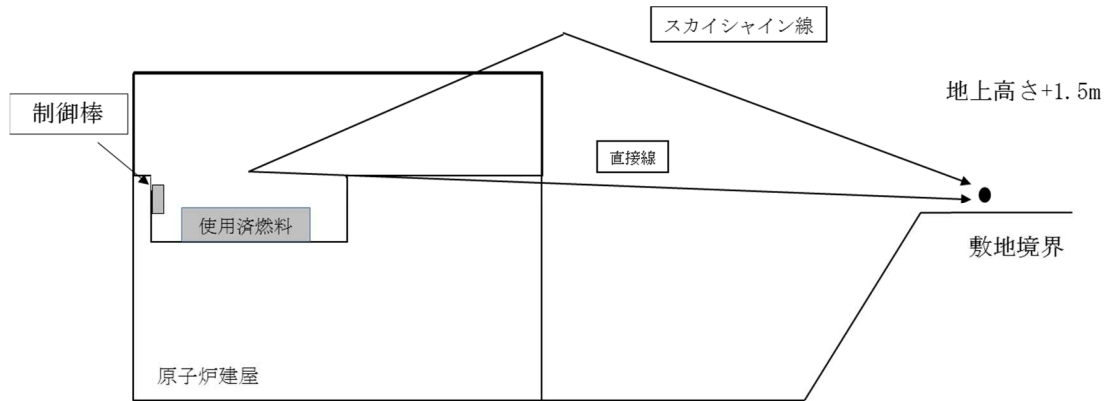


図 1 評価モデルの概要

- d. 使用済燃料および制御棒の線量影響は(1)式，(2)式の通り評価する。

$$H_{F1} = H_{F2} \times \frac{N_{F1}}{N_{F2}} \quad (1) \text{式}$$

$H_{F1}$  : 2号機の使用済燃料の線量率[mSv/h]

$H_{F2}$  : 6号機の使用済燃料の解析結果[mSv/h]

$N_{F1}$  : 2号機の使用済燃料体数[体]

$N_{F2}$  : 6号機の使用済燃料体数[体]

$$H_{C1} = H_{C2} \times \frac{N_{C1}}{N_{C2}} \times \frac{S_1}{S_2} \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{(t1-t2)}{T}} \quad (2) \text{式}$$

$H_{C1}$  : 2号機の制御棒の線量率[mSv/h]

$H_{C2}$  : 6号機の制御棒の解析結果[mSv/h]

$N_{C1}$  : 2号機の制御棒の本数[本]

$N_{C2}$  : 6号機の制御棒の本数[本]

$S_1$  : 2号機の線源強度比[-]

$S_2$  : 6号機の線源強度比[-]

$t1$  : 2号機の冷却期間[年]

$t2$  : 6号機の冷却期間[年]

$T$  : Co-60 の半減期(5.27)[年]

## (2) 評価条件

本シナリオの線量率評価条件を表2に示す。

なお，制御棒の評価対象はハンガーラックに装荷しているものとする。

表 2 評価条件

	使用済燃料			制御棒		
	体数 [体]	燃焼度 [GWd/t]	冷却期間[年]	本数[本]	線源強度比 ※ <sup>2</sup> [-]	冷却期間 [年]
2号機	587	49	9.8	28	0.64	9.7
6号機	1456	51	9.9	27	1.0	13.8

## (3) 評価結果

上記の評価条件に基づき敷地境界線量は表 3 の通りである。

表 3 2号機評価結果

	使用済燃料[mSv]	制御棒[mSv]	合計[mSv]
敷地境界線量	約 $1.2 \times 10^{-3}$	約 $1.3 \times 10^{-2}$	約 $1.4 \times 10^{-2}$

SFP 水の容積及びライナードレンからの最大漏えい量を考慮した BAF までの到達時間は十分に裕度があり、また復旧作業も数時間程度で着手可能と考えるが、保守的に燃料露出継続時間を 5 日間とする。

## 2.2 使用済燃料プール内の燃料破損による核分裂生成物の放出（シナリオ②）

## 2.2.1 核分裂生成物の放出量

## (1) 評価方法

設置許可申請書添付書類十の「3.4.3 燃料集合体の落下」と同様の方法で評価する。

破損する燃料体数の評価は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 燃料取扱設備に搭載しているクレーンが地震の影響により根元の旋回部から折損し、保守的にクレーンが使用済燃料プールの使用済燃料貯蔵ラック上に落下するものと仮定する。
- b. 使用済燃料プールの西側から 20 列目までの使用済燃料全てが破損すると仮定し、落下による燃料集合体の破損体数は 449 体とする。（図 2 参照）

※<sup>2</sup> 6号機の制御棒の照射量(Hf, 4.9snvt)に対する線源強度を 1 とした時の線源強度の比を線源強度比と定義し、2号機の制御棒(B4C, 1.4snvt)に対する線源強度比を算出する。

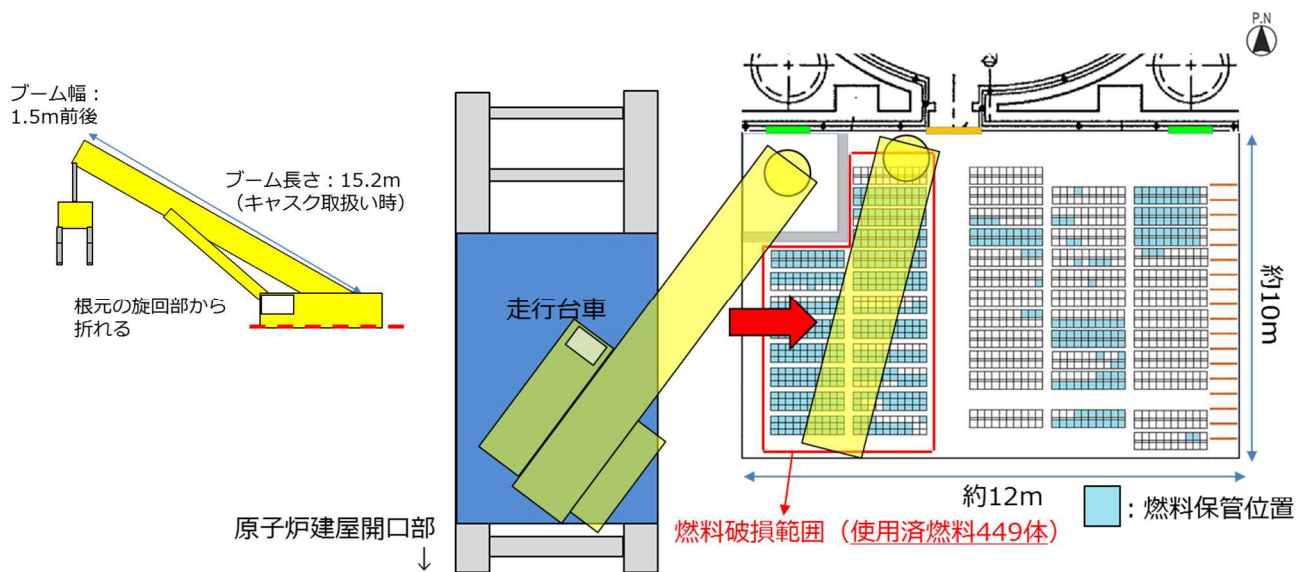


図 2 評価モデルの概要

## (2) 評価条件

核分裂生成物の移行と放出量の評価は、次の仮定に基づいて行う。

- 燃料ギャップ内の核分裂生成物の量は、原子炉熱出力 2483MW（定格出力の約 105%）で 2000 日運転を行った  $9 \times 9$  燃料集合体について行う。
- 燃料集合体の冷却期間は 365 日とする。
- 破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の全量が水中に放出されるものとする。破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の存在量については、半減期の長い核種の放出が支配的であることを考えて、破損した燃料棒内の全蓄積量に対して希ガス (Kr-85) 及びよう素 (I-129) それぞれ 30% とする。
- 放出された希ガスは、全量が水中から原子炉建屋および燃料取り出し用構台の大気中へ移行するものとする。
- 放出されたよう素は、全量が水中から原子炉建屋および燃料取り出し用構台の大気中へ移行するものとするが、同時に水位低下が起こることを想定するため保守的に水による除去は無いものとする。

## (3) 評価結果

上記の評価条件に基づいて計算した核分裂生成物の大気中への放出量は表 4 の通りである。

表 4 核分裂生成物の大気中への放出量

核分裂生成物	放出量
希ガス(γ線実効エネルギー0.5MeV換算値) 大気放出量	約 $9.8 \times 10^{13}$ Bq
よう素(I-131等価量(小児実効))大気放出量	約 $5.5 \times 10^{10}$ Bq
よう素(I-131等価量(成人実効))大気放出量	約 $2.1 \times 10^{11}$ Bq

## 2.2.2 線量当量の評価

### (1) 評価の前提

大気中へ放出される核分裂生成物は、地上放出されるものとし、これによる実効線量の計算は、次の仮定に基づいて行う。

- 敷地境界外の地表空気中濃度は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対濃度に核分裂生成物の全放出量を乗じて求める。なお、相対濃度( $\chi/Q$ )は保守的な評価となる設置許可申請書記載の2号機の主蒸気管破断(地上放出)の値  $2.0 \times 10^{-5}$  s/m<sup>3</sup>を適用する。
- 敷地境界外の希ガスによるγ線空気吸収線量は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対線量に希ガスの全放出量を乗じて求める。なお、相対線量( $D/Q$ )は保守的な評価となる設置許可申請書記載の2号機の主蒸気管破断(地上放出)の値  $2.4 \times 10^{-19}$  Gy/Bqを適用する。

### (2) 評価方法

設置許可申請書添付書類十の「3.4.3 燃料集合体の落下」ならびに「4.1.1 原子炉冷却材喪失」と同様の方法で評価する。

敷地境界外における実効線量は、次に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばくによる実効線量の和として計算する。

よう素の内部被ばくによる実効線量 $H_I$  (Sv) は、(1)式で計算する。

$$H_I = R \cdot H_{\infty} \cdot \chi / Q \cdot Q_I \cdots \cdots (1)$$

ここで、

$R$  : 呼吸率 (m<sup>3</sup>/s) 「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」の活動中の呼吸率を秒当たりに換算して用いる。

(小児 : 0.31m<sup>3</sup>/h, 成人 : 1.2m<sup>3</sup>/h)

$H_{\infty}$  : よう素 (I-131) を 1Bq 吸入した場合の実効線量

(小児 :  $1.6 \times 10^{-7}$  Sv/Bq, 成人 :  $2.0 \times 10^{-8}$  Sv/Bq)

$\chi / Q$  : 相対濃度 (s/m<sup>3</sup>)

$Q_I$  : よう素の大気放出量 (Bq) (I-131 等価量)

希ガスの $\gamma$ 線外部被ばくによる実効線量 $H_\gamma$  (Sv) は、(2)式で計算する。

$$H_\gamma = K \cdot D/Q \cdot Q_\gamma \cdots \cdots \cdots (2)$$

ここで、

$K$  : 空気吸収線量から実効線量への換算係数 (1Sv/Gy)

$D/Q$  : 相対線量 (Gy/Bq)

$Q_\gamma$  : 希ガスの大気放出量 (Bq) ( $\gamma$ 線実効エネルギー0.5MeV 換算値)

また、希ガスの $\beta$ 線外部被ばくによる実効線量 $H_\beta$  (Sv) は、(3)式で計算する。

$$H_\beta = 6.2 \times 10^{-14} \cdot \chi/Q \cdot Q_\beta \cdot E_\beta \cdot W_{TS} \cdots \cdots \cdots (3)$$

ここで、

$\chi/Q$  : 相対濃度 (s/m<sup>3</sup>)

$Q_\beta$  : 希ガスの大気放出量 (Bq)

$E_\beta$  :  $\beta$ 線実効エネルギー「被ばく計算に用いる放射線エネルギー等について」を用いる。(0.251MeV Kr-85 実効エネルギー)

$W_{TS}$  : 皮膚の組織荷重係数は ICRP Publ. 60 の値を用いる。(0.01)

### (3) 評価結果

上記の評価前提及び方法に基づき敷地境界外の実効線量を評価した結果は表5の通りである。

表5 クレーンの使用済燃料プールへの落下時の実効線量

実効線量 (小児)	実効線量 (成人)
約 $1.1 \times 10^{-1}$ mSv	約 $1.3 \times 10^{-1}$ mSv

2.3 燃料取扱設備クレーンの使用済燃料プールへの落下シナリオにおける公衆への被ばく影響については、2.1 と 2.2 に示す評価結果を合算し約  $1.4 \times 10^{-1}$  mSv となる。

### 3. 構内用輸送容器の落下による核分裂生成物の放出 (シナリオ③)

3.1 構内用輸送容器が地上に落下することで燃料が破損し、核分裂生成物が放出されたと仮定する。

### 3.1.1 核分裂生成物の放出量

#### (1) 評価方法

設置許可申請書添付書類十の「3.4.3 燃料集合体の落下」と同様の方法で評価する。

破損する燃料体数の評価は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 構内用輸送容器の取り扱い作業に際し、構内用輸送容器が落下して、構内用輸送容器に収納された燃料集合体が破損するものと仮定する。
- b. 落下による燃料集合体の破損体数は、構内用輸送容器の収納体数7体とする。

#### (2) 評価条件

核分裂生成物の移行と放出量の評価は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 燃料ギャップ内の核分裂生成物の量は、原子炉熱出力 2483MW（定格出力の約 105%）で 2000 日運転を行った 9×9 燃料集合体について行う。
- b. 燃料集合体の冷却期間は 365 日とする。
- c. 破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の全量が構内用輸送容器内に放出されるものとする。破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の存在量については、半減期の長い核種の放出が支配的であることを考えて、破損した燃料棒内の全蓄積量に対して希ガス (Kr-85) 及びよう素 (I-129) それぞれ 30%とする。
- d. 放出された希ガスは、全量が構内用輸送容器から大気中へ移行するものとする。
- e. 放出されたよう素は、全量が構内用輸送容器から大気中へ移行するものとし、構内用輸送容器に内包する水による除去は無いものとする。

#### (3) 評価結果

上記の評価条件に基づいて計算した核分裂生成物の大気中への放出量は表 6 の通りである。

表 6 核分裂生成物の大気中への放出量

核分裂生成物	放出量
希ガス(γ線実効エネルギー0.5MeV換算値) 大気放出量	約 $1.6 \times 10^{12}$ Bq
よう素(I-131等価量(小児実効))大気放出量	約 $8.6 \times 10^8$ Bq
よう素(I-131等価量(成人実効))大気放出量	約 $3.3 \times 10^9$ Bq



### 3.1.2 線量当量の評価

#### (1) 評価の前提

大気中へ放出される核分裂生成物は、地上放出されるものとし、これによる実効線量の計算は、次の仮定に基づいて行う。

- a. 敷地境界外の地表空气中濃度は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対濃度に核分裂生成物の全放出量を乗じて求める。なお、相対濃度 ( $\chi/Q$ ) は設置許可申請書記載の2号機の主蒸気管破断(地上放出)の値  $2.0 \times 10^{-5} \text{ s/m}^3$  を適用する。
- b. 敷地境界外の希ガスによる  $\gamma$  線空気吸収線量は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対線量に希ガスの全放出量を乗じて求める。なお、相対線量 ( $D/Q$ ) は設置許可申請書記載の2号機の主蒸気管破断(地上放出)の値  $2.4 \times 10^{-10} \text{ Gy/Bq}$  を適用する。

#### (2) 評価方法

設置許可申請書添付書類十の「3.4.3 燃料集合体の落下」ならびに「4.1.1 原子炉冷却材喪失」と同様の方法で評価する。

敷地境界外における実効線量は、次に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばくによる実効線量の和として計算する。

よう素の内部被ばくによる実効線量  $H_I$  (Sv) は、(1)式で計算する。

$$H_I = R \cdot H_\infty \cdot \chi / Q \cdot Q_I \cdots \cdots \cdots (1)$$

ここで、

$R$  : 呼吸率 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) 「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」の活動中の呼吸率を秒当たりに換算して用いる。  
(小児 :  $0.31 \text{ m}^3/\text{h}$ , 成人 :  $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$ )

$H_\infty$  : よう素 (I-131) を 1Bq 吸入した場合の実効線量  
(小児 :  $1.6 \times 10^{-7} \text{ Sv/Bq}$ , 成人 :  $2.0 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ )

$\chi / Q$  : 相対濃度 ( $\text{s/m}^3$ )

$Q_I$  : よう素の大気放出量 (Bq) (I-131 等価量)

希ガスの  $\gamma$  線外部被ばくによる実効線量  $H_\gamma$  (Sv) は、(2)式で計算する。

$$H_\gamma = K \cdot D / Q \cdot Q_\gamma \cdots \cdots \cdots (2)$$

ここで、

$K$  : 空気吸収線量から実効線量への換算係数 ( $1 \text{ Sv/Gy}$ )

$D / Q$  : 相対線量 ( $\text{Gy/Bq}$ )

$Q_{\gamma}$  : 希ガスの大気放出量 (Bq) ( $\gamma$  線実効エネルギー0.5MeV 換算値)

また、希ガスの  $\beta$  線外部被ばくによる実効線量  $H_{\beta}$  (Sv) は、(3)式で計算する。

$$H_{\beta} = 6.2 \times 10^{-14} \cdot \chi / Q \cdot Q_{\beta} \cdot E_{\beta} \cdot W_{TS} \cdots \cdots \cdots (3)$$

ここで、

$\chi / Q$  : 相対濃度 (s/m<sup>3</sup>)

$Q_{\beta}$  : 希ガスの大気放出量 (Bq)

$E_{\beta}$  :  $\beta$  線実効エネルギー「被ばく計算に用いる放射線エネルギー等について」を用いる。(0.251MeV Kr-85 実効エネルギー)

$W_{TS}$  : 皮膚の組織荷重係数は ICRP Publ. 60 の値を用いる。  
(0.01)

### (3) 評価結果

上記の評価前提及び方法に基づき敷地境界外の実効線量を評価した結果は表7の通りである。

表7 構内用輸送容器の落下時の実効線量

実効線量 (小児)	実効線量 (成人)
約 $1.7 \times 10^{-3}$ mSv	約 $1.9 \times 10^{-3}$ mSv

## 4. 2号機燃料取扱設備の耐震クラスについて

2. 燃料取扱設備クレーンの使用済燃料プールへの落下、ならびに3. 構内用輸送容器の落下の被ばく評価に示すとおり、地震の影響により燃料取扱設備が破損したと想定した場合の公衆への被ばく影響は5mSv未満である。

以上より、2号機燃料取扱設備の耐震クラスはBクラスと考えられるが、運転できないことによるリスク低減活動への影響を考慮し、耐震クラスはB+クラスと考える。

## 5. 補足説明資料

別添1 「2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書」における使用済燃料プールのプール水全喪失時の影響評価に対する補足説明

別添2 「2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書」における燃料破損時の被ばく評価に対する補足説明

別添1 「2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書」における  
使用済燃料プールのプール水全喪失時の影響評価に対する補足説明

## 1. 目的

V「2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書」における2.1.「使用済燃料プールライナーの破損による線量の上昇(シナリオ①)」の2号機使用済燃料プールのプール水全喪失時のスカイシャイン線, 直接線による敷地境界へ与える線量影響評価では, 6号機の解析結果を基に評価をしており, 6号機の解析条件を示す。

## 2. 解析条件

(1) 使用済燃料の解析条件は以下の通り。

- a. 使用済燃料の体数は1456体とする。
- b. 使用済燃料の燃焼度は保守的に最高燃焼度 51GWd/tとする。
- c. 使用済燃料の冷却期間は冷却期間が最も短い使用済燃料の冷却期間とし, 9.9年とする。
- d. ORIGEN2.2により使用済燃料の線源強度を計算し, この線源強度を用いて MCNP5-1.60により線量率を解析する。

(2) 制御棒の解析条件は以下の通り。

- a. 制御棒の本数は27本(ハンガーラック装荷本数)とする。
- b. 制御棒の照射量は保守的に最大照射量 4.9snvtとする。
- c. 制御棒の冷却期間は冷却期間が最も短い制御棒の冷却期間とし, 13.8年とする。
- d. ORIGEN2.2により制御棒の線源強度を計算し, この線源強度を用いて MCNP5-1.60により線量率を解析する。

## 3. 解析結果

2号機原子炉建屋から敷地境界までの距離は約900mであることから, 6号機原子炉建屋から900m地点における線量率を表1に示す。

表1 6号機解析結果

	使用済燃料[mSv/h]	制御棒[mSv/h]	合計[mSv/h]
900m 地点	約 $2.3 \times 10^{-5}$	約 $9.0 \times 10^{-5}$	約 $1.2 \times 10^{-4}$

別添 2 「2 号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書」における  
燃料破損時の被ばく評価に対する補足説明

V 「2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書」における被ばく評価は、福島第一原子力発電所2号機の「原子炉設置変更許可申請書 添付書類十 3. 事故解析 3. 4. 3 燃料集合体の落下」を基に評価している。

V 「2号機燃料取扱設備破損時の被ばく評価についての計算書」では、2.2にて燃料取扱設備クレーンが使用済燃料プールに落下し、燃料が破損するシナリオと、3.1にて構内用輸送容器が地上に落下し、燃料が破損するシナリオについて燃料破損の評価をしているが、同等の評価であることから前者について設置許可からの変更点を説明する。

Ⅴ 被ばく評価計算書	設置許可との差異・理由
<p>2.2 使用済燃料プール内の燃料破損による核分裂生成物の放出（シナリオ②）</p> <p>2.2.1 核分裂生成物の放出量</p> <p>(1) 評価方法</p> <p>破損する燃料体数の評価は、次の仮定に基づいて行う。</p> <p>a. 燃料取扱設備に搭載しているクレーンが地震の影響により根元の旋回部から折損し、保守的にクレーンが使用済燃料プールの使用済燃料貯蔵ラック上に落下するものと仮定する。</p> <p>b. 使用済燃料プールの西側から 20 列目までの使用済燃料全てが破損すると仮定し、落下による燃料集合体の破損体数は 449 体とする。（図 2 参照）</p> <p>(2) 評価条件</p> <p>核分裂生成物の移行と放出量の評価は、次の仮定に基づいて行う。</p> <p>a. 燃料ギャップ内の核分裂生成物の量は、原子炉熱出力 2483MW(定格出力の約 105%)で 2000 日運転を行った 9×9 燃料集合体について行う。</p> <p>b. 燃料集合体の冷却期間は 365 日とする。</p> <p>c. 破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の全量が水中に放出されるものとする。破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の存在量については、半減期の長い核種の放出が支配的であることを考えて、破損した燃料棒内の全蓄積量に対して希ガス(Kr-85)及びよう素(I-129)それぞれ 30%とする。</p> <p>d. 放出された希ガスは、全量が水中から原子炉建屋および燃料取り出し用構台の大気中へ移行するものとする。</p> <p>e. 放出されたよう素は、全量が水中から原子炉建屋および燃料取り出し用構台の大気中へ移行するものとするが、同時に水位低下が起こることを想定するため保守的に水による除去は無いものとする。</p>	<p>(1) 評価するシナリオの違いとそれに伴い破損する燃料体数の違い（設置許可は 2.3 体相当以下）</p> <p>(2) 設定する条件の違い</p> <p>b. 冷却期間を実際の取り出し時期とすると被ばく評価結果は低くなるが、基準 5mSv と比べて大きくないため、保守的に他の実施計画の評価と合わせた（設置許可は 1 日）</p> <p>c. 十分に冷却した燃料で短半減期核種が減衰し長半減期核種のギャップへの放出割合が大きくなることから、ギャップ放出割合を 30%※とした。（設置許可は希ガス 10%, よう素 5%）</p> <p>※（独）原子力安全基盤機構「平成 18 年度高燃焼度 9 × 9 型燃料信頼性実証成果報告書（総合評価編）」図 3.10.1, 図 3.10.1.2 にて、FP ガス放出率は最大 25%程度</p> <p>d, e. 評価シナリオで保守的に水がなくなつたと仮定しているため、よう素の水による除染係数は考慮しておらず、大気にそのまま放出されとしている（設置許可は除染係数 500, 非常用ガス処理系を考慮）</p>

Ⅴ 被ばく評価計算書	設置許可との差異・理由
<p>(3) 評価結果</p> <p>上記の評価条件に基づいて計算した核分裂生成物の大気中への放出量は表 4 の通りである。</p> <p>2.2.2 線量当量の評価</p> <p>(1) 評価の前提</p> <p>大気中へ放出される核分裂生成物は、地上放出されるものとし、これによる実効線量の計算は、次の仮定に基づいて行う。</p> <p>a. 敷地境界外の地表空气中濃度は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対濃度に核分裂生成物の全放出量を乗じて求める。なお、相対濃度 (<math>\chi/Q</math>) は保守的な評価となる設置許可申請書記載の 2 号機の主蒸気管破断 (地上放出) の値 <math>2.0 \times 10^{-5} \text{s/m}^3</math> を適用する。</p> <p>b. 敷地境界外の希ガスによる <math>\gamma</math> 線空気吸収線量は、設置許可申請書添付書類六の「5.5 安全解析に使用する気象条件」に記述される相対線量に希ガスの全放出量を乗じて求める。なお、相対線量 (<math>D/Q</math>) は保守的な評価となる設置許可申請書記載の 2 号機の主蒸気管破断 (地上放出) の値 <math>2.4 \times 10^{-19} \text{Gy/Bq}</math> を適用する。</p>	<p>(1) 設置許可と同等だが、以下を見直し。</p> <p>相対濃度 (<math>\chi/Q</math>)、相対線量 (<math>D/Q</math>):</p> <p>燃料集合体の落下ではなく保守的に主蒸気管破断の地上放出の値を適用 (設置許可は <math>\chi/Q = 5.6 \times 10^{-6} \text{s/m}^3</math>, <math>D/Q = 1.5 \times 10^{-19} \text{Gy/Bq}</math>)</p>



V 被ばく評価計算書	設置許可との差異・理由
<p>(2) 評価方法</p> <p>敷地境界外における実効線量は、次に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばくによる実効線量の和として計算する。</p> <p>よう素の内部被ばくによる実効線量<math>H_I</math> (Sv) は、(1)式で計算する。</p> $H_I = R \cdot H_\infty \cdot \chi / Q \cdot Q_I \cdots \cdots \cdots (1)$ <p>ここで、</p> <p><math>R</math> : 呼吸率 (<math>m^3/s</math>) 「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」の活動中の呼吸率を秒当たりに換算して用いる。 (小児 : <math>0.31m^3/h</math>, 成人 : <math>1.2m^3/h</math>)</p> <p><math>H_\infty</math> : よう素 (I-131) を 1Bq 吸入した場合の実効線量 (小児 : <math>1.6 \times 10^{-7} Sv/Bq</math>, 成人 : <math>2.0 \times 10^{-8} Sv/Bq</math>)</p> <p><math>\chi / Q</math> : 相対濃度 (<math>s/m^3</math>)</p> <p><math>Q_I</math> : よう素の大気放出量 (Bq) (I-131 等価量)</p> <p>希ガスの <math>\gamma</math> 線外部被ばくによる実効線量<math>H_\gamma</math> (Sv) は、(2)式で計算する。</p> $H_\gamma = K \cdot D / Q \cdot Q_\gamma \cdots \cdots \cdots (2)$ <p>ここで、</p> <p><math>K</math> : 空気吸収線量から実効線量への換算係数 (1Sv/Gy)</p> <p><math>D / Q</math> : 相対線量 (Gy/Bq)</p> <p><math>Q_\gamma</math> : 希ガスの大気放出量 (Bq) (<math>\gamma</math> 線実効エネルギー0.5MeV 換算値)</p>	<p>(2) 呼吸率 :</p> <p>原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」の値とした (設置許可は ICRP Publ. 23(1974))</p> <p>よう素 (I-131) を 1Bq 吸入した場合の実効線量 :</p> <p>ICRP Publ. 71(1995) の値とした (設置許可は ICRP Publ. 30(1978))</p>

V 被ばく評価計算書	設置許可との差異・理由
<p>また、希ガスのβ線外部被ばくによる実効線量<math>H_{\beta}</math> (Sv) は、(3)式で計算する。</p> $H_{\beta} = 6.2 \times 10^{-14} \cdot \chi / Q \cdot Q_{\beta} \cdot E_{\beta} \cdot W_{TS} \cdots \cdots \cdots (3)$ <p>ここで、</p> <p><math>\chi / Q</math> : 相対濃度 (s/m<sup>3</sup>)</p> <p><math>Q_{\beta}</math> : 希ガスの大気放出量 (Bq)</p> <p><math>E_{\beta}</math> : β線実効エネルギー「被ばく計算に用いる放射線エネルギー等について」を用いる。(0.251MeV)</p> <p><math>W_{TS}</math> : 皮膚の組織荷重係数は ICRP Publ. 60 の値を用いる。(0.01)</p> <p>(3) 評価結果</p> <p>上記の評価前提及び方法に基づき敷地境界外の実効線量を評価した結果は表5の通りである。</p>	<p>設置許可 添付書類十 4. 重大事故及び仮想事故 4. 1.</p> <p>1 原子炉冷却材喪失におけるβ線による全身に対する線量(4-3)式を用いて評価。ただし、β線による外部被ばくによる実効線量を求めるため、原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」より、皮膚に対する組織荷重係数を乗じて算出した。(設置許可は等価線量の計算式)</p>

## VI 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

設備名	耐震 クラス別
燃料取扱設備	B+

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ダに固定し、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、ランウェイガーダに設置する走行レール上を走行し、原子炉建屋と燃料取り出し用構台間を移動する。

### 2. 構造設計

#### (1) 構造概要

燃料取扱設備は、構内用輸送容器（以下、輸送容器）を取り扱うクレーン、燃料を取り扱う燃料取扱機、輸送容器一次蓋を取り扱うジブクレーン、輸送容器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。（図 1 参照）

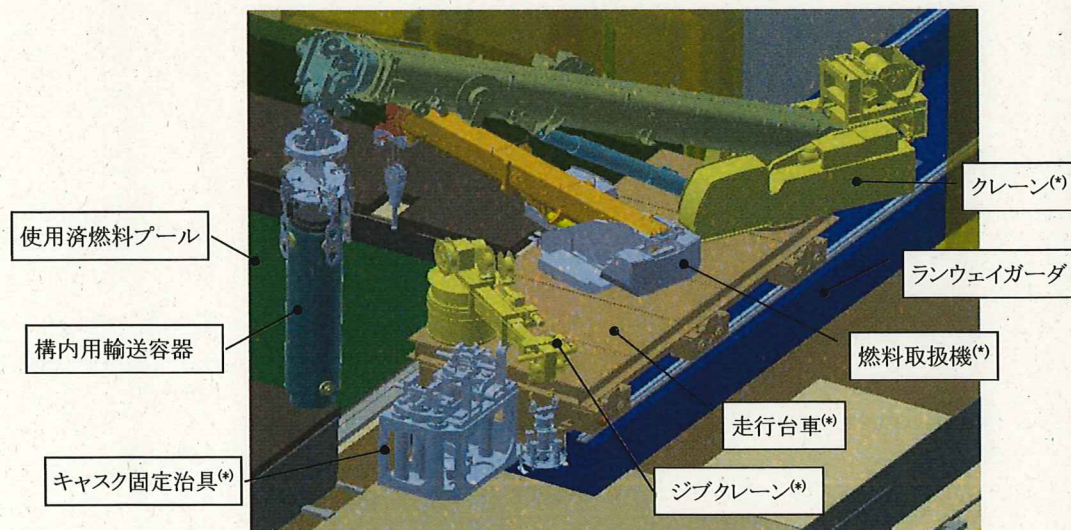


図 1 燃料取扱設備 構造概要(\*が本書の評価対象機器)

### 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がないことを確認するための地震動として、1/2Ss450 を適用する。



#### 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(図 2 参照)に対して、1/2Ss450 を用いた時刻歴応答解析を行い、ランウェイガーダ上の走行台車部車輪位置(原子炉建屋側、燃料取り出し用構台側停止位置)につき 6 箇所(図 3 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、入力方向(+NS+EW+UD)、ランウェイガーダに負荷する荷重(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部車輪位置での加速度応答時刻歴を入力として、1 自由度系の床応答スペクトルを求める。
- (3) (2)で求めた床応答スペクトル 6 点を包絡する床応答スペクトルを求める。
- (4) (3)で求めた床応答スペクトルに対し、周期方向に±10%の拡幅を行い設計用床応答スペクトルとする。
- (5) 走行台車部は剛構造を有しており(IV章参照)、応答増幅は極めて小さいと考えられることから、走行台車部に搭載される燃料取扱機(旋回体)、クレーン(旋回体)、キャスク固定治具の耐震性は上記床応答スペクトルを用いて評価する。
- (6) 各機器の耐震性の評価においては、水平 2 方向と鉛直方向の地震力が同時に負荷されるものとする。地震力の組合せについては、2乗和平方根法を用いて算出する。

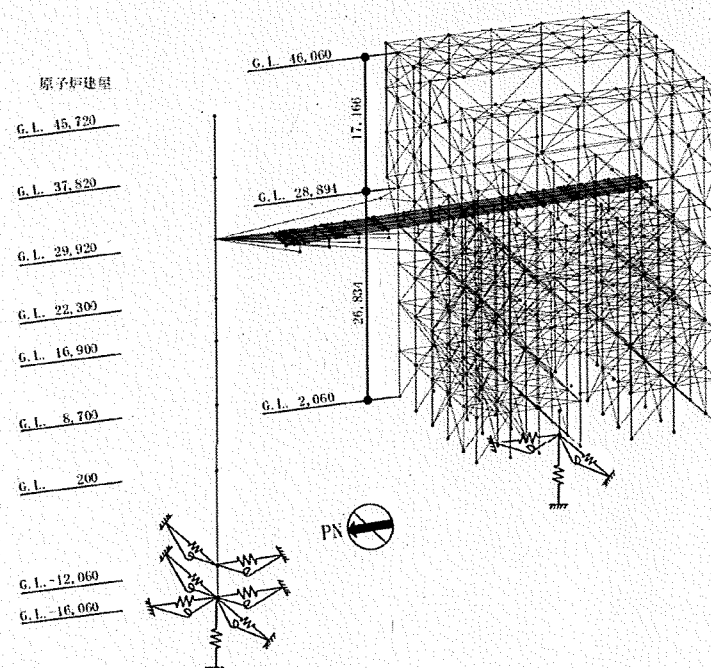


図 2 地震応答解析モデル

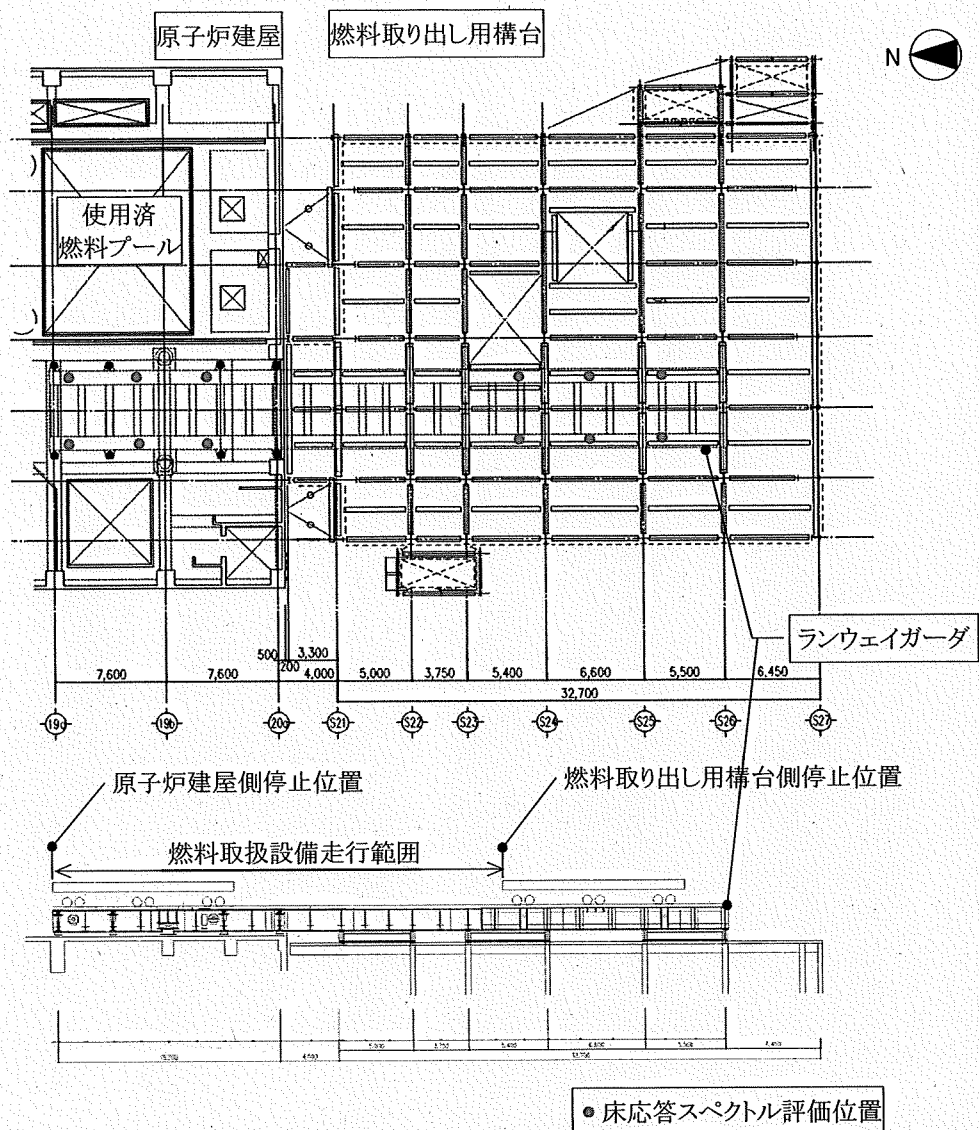


図 3 床応答スペクトル 評価位置

#### 4.2. 剛構造の機器に適用する設計地震力

走行台車部のように評価対象機器が剛構造の場合は、各地震動、入力方向、ランウェイガーダに負荷する荷重条件においてランウェイガーダの原子炉建屋側燃料取扱設備停止位置、または、燃料取り出し用構台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

1/2Ss450 :1/2Ss450 地震動により求まる地震力

1.5f<sub>t</sub> :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<sub>s</sub> :許容せん断応力

同上

1.5f<sub>p</sub> :許容支圧応力

設計・建設規格 SSB-3121.3 により規定される値

1.5f<sub>b</sub> :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	支圧	曲げ	引張	せん断
D+1/2Ss450	1.5f <sub>t</sub>	1.5f <sub>s</sub>	1.5f <sub>p</sub>	1.5f <sub>b</sub>	1.5f <sub>t</sub>	1.5f <sub>s</sub>

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、ブーム伸縮方向、ブーム旋回方向の地震力が燃料取扱機(旋回体)に同時に作用するものとする。
- (4) 地震力はランウェイガードと取り合う走行台車部の車輪位置から、走行台車の構造物フレーム(燃料取扱機支持部)に伝達し、燃料取扱機(旋回体)の旋回輪軸受取付ボルトを介して、旋回体部のブーム及びブーム根元支持ピンへ伝達される。上記の荷重伝達経路を考慮し、燃料取扱機(旋回体)として、ブーム、ブーム根元支持ピン、旋回輪軸受取付ボルトを評価対象部位とする。



## 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(旋回体)の重量として自重及び定格荷重を考慮する。燃料取扱機(旋回体)の重量を表 1 及び構造概要を図 4 に示す。
- (2) 旋回輪軸受取付ボルトは剛な走行台車部で支持する。
- (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

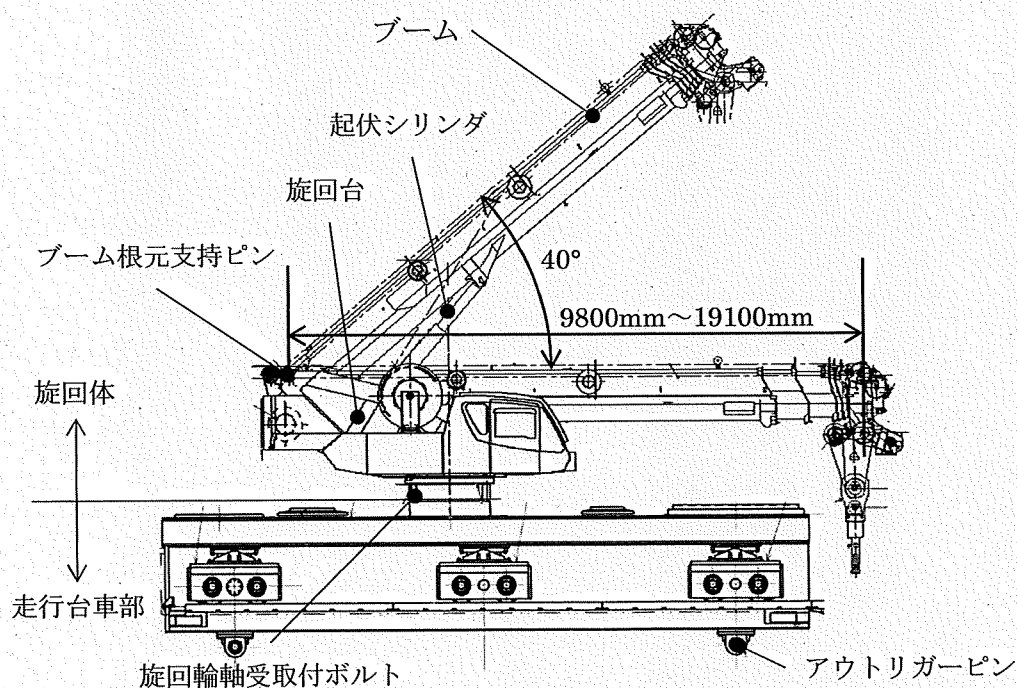


図 4 燃料取扱機 構造概要

## 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 5 に示す。

- (1) ブームごとに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)は燃料取扱時にブーム長さ、起伏角を変化させるため、起伏角度  $0^{\circ}$  でのブーム長さ(9.8m, 16.64m, 19.1m)の影響、ブーム長さ 9.8m での起伏角度( $0^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ )の影響を確認し、裕度が最も小さい姿勢となるブーム長さ 19.1m, 起伏角  $0^{\circ}$  を代表姿勢とした。

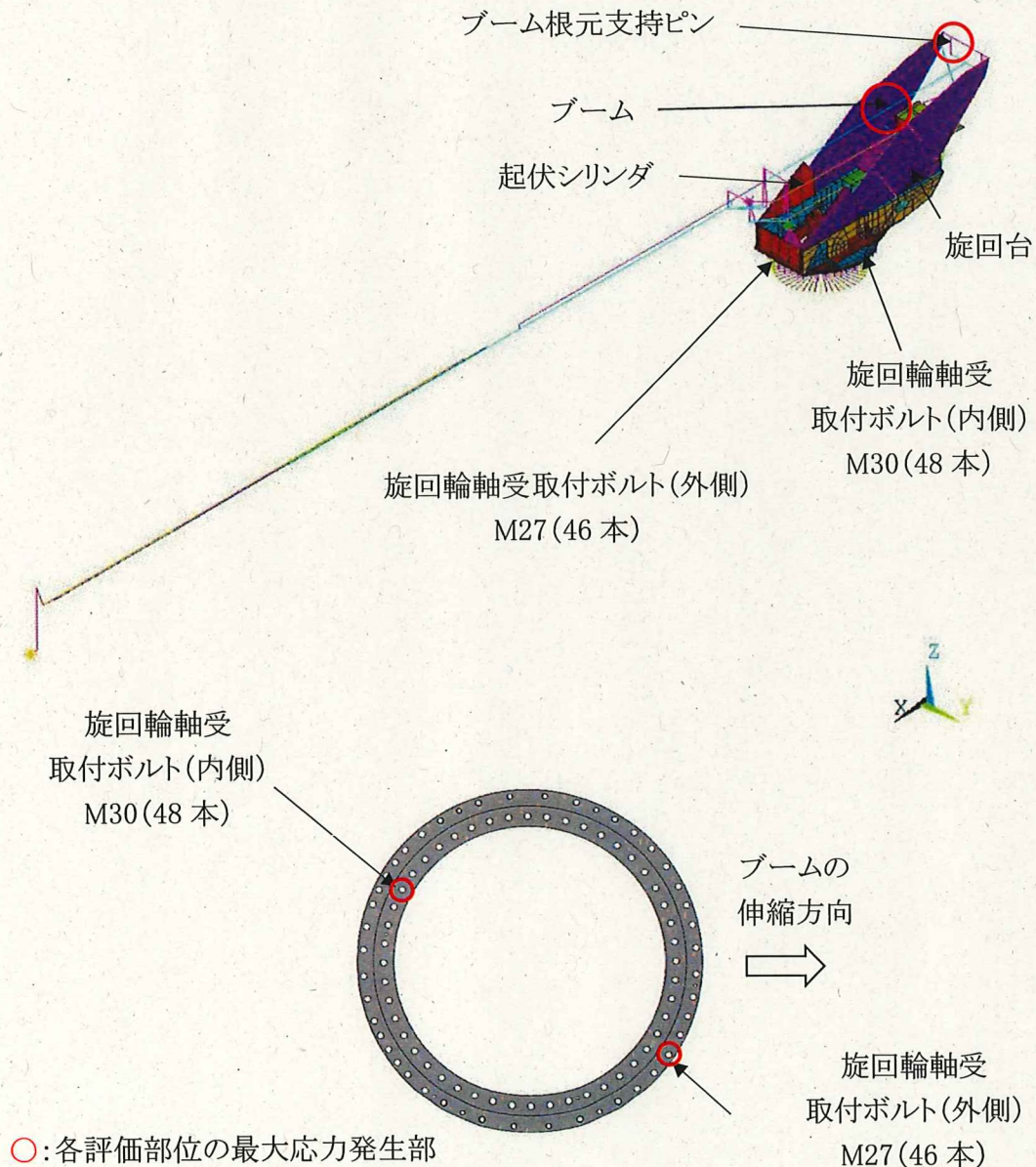


図 5 燃料取扱機(旋回体) 計算モデル

### 2.1.3 計算

燃料取扱機の固有周期は水平 1.6s, 上下 1.0s となる。

### 2.2. 計算に用いる入力地震動

本評価では, 1/2Ss450 地震動(水平 2 方向及び鉛直方向)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。ランウェイガーダへの負荷荷重は, 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。床応答スペクトルの減衰定数は, 燃料取扱機の振動特性から水平 3%, 鉛直 1%を適用した。本評価で用いる設計用床応答スペクトルを図 6 に示す。

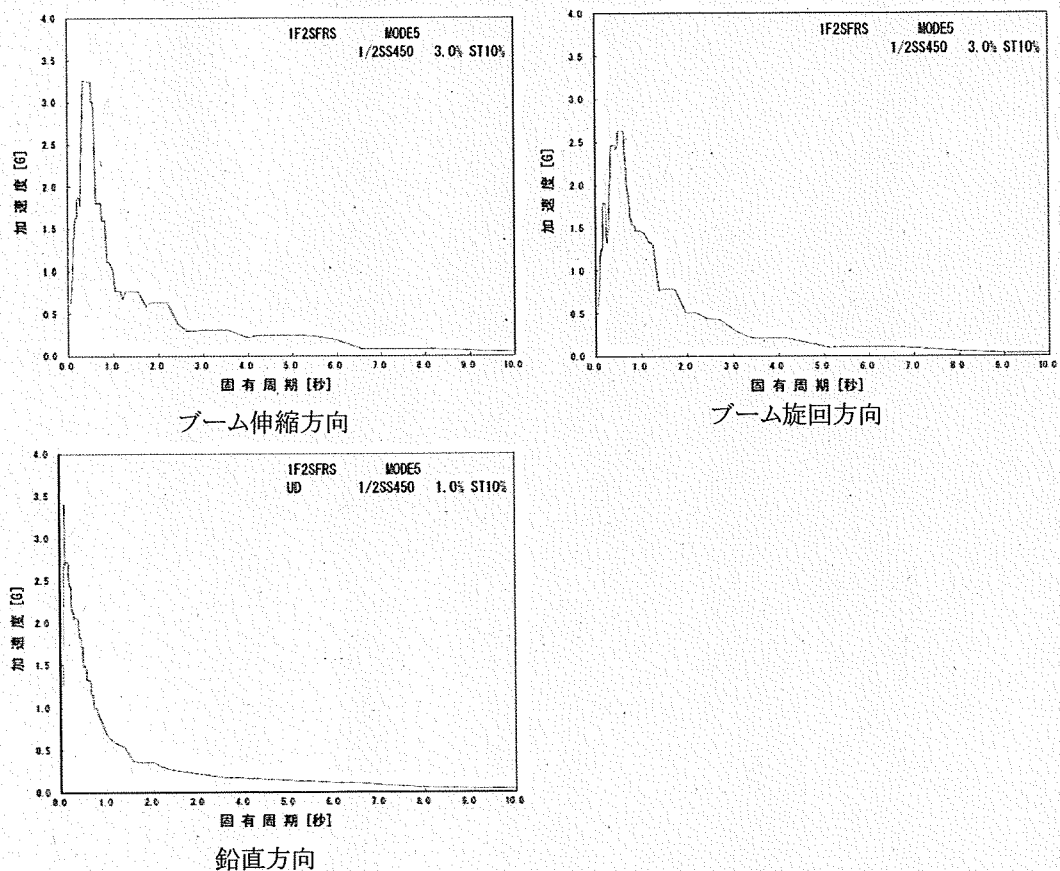


図 6 設計用床応答スペクトル(燃料取扱状態)



### 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 /WEL-TEN980E	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	917
		せん断	529
旋回輪軸受取付ボルト (外側)		引張	917
		せん断	529

#### 4. 数値計算

各要素に生じる力, モーメントを計算機(計算機コード ANSYS)にて求め, 各要素の断面性状から応力を算定する。上記手順で求めた組合せ応力が最大となった要素の応力算定過程を記載する。

##### 4.1. 燃料取扱機(旋回体)の計算過程を示す。

###### 4.1.1 ブームの強度検討

###### (1) 引張応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = 115(\text{MPa})$$

$P_{t1}$ : ブームに作用する軸方向引張力

$A_1$ : ブームの断面積

###### (2) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{ty1} + P_{tz1})/A_1 + T_1/(2 \cdot A_{i1} \cdot t_1) = 15(\text{MPa})$$

$P_{ty1}$ : ブームに作用する Y 軸方向せん断力

$P_{tz1}$ : ブームに作用する Z 軸方向せん断力

$A_1$ : ブームの当該断面の断面積

$T_1$ : ブームに作用する捩じりモーメント

$A_{i1}$ : ブームの当該断面の内側境界断面積

$t_1$ : ブームの当該断面の最小板厚

###### (3) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1} \cdot H_{z1}/I_{yy1} + M_{z1} \cdot B_{y1}/I_{zz1} = 355(\text{MPa})$$

$M_{y1}$ : ブームに作用する Y 軸周りモーメント

$M_{z1}$ : ブームに作用する Z 軸周りモーメント

$H_{z1}$ : ブームの当該断面中心から Z 方向端部までの最長長さ

$B_{y1}$ : ブームの当該断面中心から Y 方向端部までの最長長さ

$I_{yy1}$ : ブームの当該断面の Y 方向断面二次モーメント

$I_{zz1}$ : ブームの当該断面の Z 方向断面二次モーメント

###### (4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 1} = \sqrt{(\sigma_{b1} + \sigma_{t1})^2 + 3\tau_1^2} = 471(\text{MPa})$$

#### 4.1.2 ブーム根元支持ピンの強度検討

##### (1) せん断応力

$$\tau_2 = (P_{\tau x2} + P_{\tau z2})/A_2 = 153(\text{MPa})$$

$P_{\tau x2}$ :ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力

$P_{\tau z2}$ :ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力

$A_2$ :ブーム根元支持ピンの断面積

##### (2) 曲げ応力

$$\sigma_{b2} = (P_{\tau x2} + P_{\tau z2}) \cdot B_2 \cdot D_2 / (2 \cdot I_2) = 112(\text{MPa})$$

$P_{\tau x2}$ :ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力

$P_{\tau z2}$ :ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力

$B_2$ :ブーム根元支持ピンからせん断力の作用点までの距離

$D_2$ :ブーム根元支持ピンの外径

$I_2$ :ブーム根元支持ピンの断面二次モーメント

##### (3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 2} = \sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3\tau_2^2} = 288(\text{MPa})$$

#### 4.1.3 旋回輪軸受取付ボルト(内側)の強度検討

##### (1) 引張応力

$$\sigma_{t3} = P_{t3}/A_3 = 187(\text{MPa})$$

$P_{t3}$ :取付ボルトに作用する引張力

$A_3$ :取付ボルトの有効断面積

##### (2) せん断応力

$$\tau_3 = P_{\tau 3}/A_3 + \tau_{b3} = 53(\text{MPa})$$

$P_{\tau 3}$ :取付ボルトに作用するせん断力

$A_3$ :取付ボルトの有効断面積

$\tau_{b3}$ :振じりモーメントによるせん断応力

#### 4.1.4 旋回輪軸受取付ボルト(外側)の強度検討

##### (1) 引張応力

$$\sigma_{t4} = P_{t4}/A_4 = 237(\text{MPa})$$

$P_{t4}$ : 取付ボルトに作用する引張力

$A_4$ : 取付ボルトの有効断面積

■■■■■■■■■■  
■■■■■■■■■■

##### (2) せん断応力

$$\tau_4 = P_{\tau 4}/A_4 + \tau_{b4} = 66(\text{MPa})$$

$P_{\tau 4}$ : 取付ボルトに作用するせん断力

$A_4$ : 取付ボルトの有効断面積

$\tau_{b4}$ : 捩じりモーメントによるせん断応力

■■■■■■■■■■  
■■■■■■■■■■  
■■■■■■■■■■

## 5. 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 /WEL-TEN980E	引張	686	115
		せん断	396	15
		曲げ	686	355
		組合せ	686	471
ブーム根元支持ピン	SNB23-1	せん断	460	153
		曲げ	1088	112
		組合せ	798	288
旋回輪軸受取付ボルト (内側)	SUS630	引張	917	187
		せん断	529	53
旋回輪軸受取付ボルト (外側)		引張	917	237
		せん断	529	66



### 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いことから, 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状態で代表する。
- (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, ブーム伸縮方向, ブーム旋回方向の地震力がクレーン(旋回体)に対して同時に作用するものとする。
- (4) クレーン(旋回体)の評価は原子炉建屋側及び燃料取り出し用構台側での輸送容器取扱姿勢にて行う。
- (5) 地震力はランウェイガーダと取り合う走行台車部の車輪位置から, 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)に伝達し, クレーンの旋回輪軸受取付ボルトを介して, 旋回体部のブーム及びブーム根元支持ピンへ伝達される。上記の荷重伝達経路を考慮し, クレーン(旋回体)として, ブーム, ブーム根元支持ピン, 旋回輪軸受取付ボルトを評価対象部位とする。

## 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(旋回体)の重量として自重及び定格荷重を考慮する。クレーン(旋回体)の重量を表 4 に示す。
- (2) クレーン(旋回体)の原子炉建屋側での評価姿勢を図 7 に, 燃料取り出し用構台側での評価姿勢を図 8 に示す。
- (3) 旋回輪軸受取付ボルトは剛な走行台車部で支持する。

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

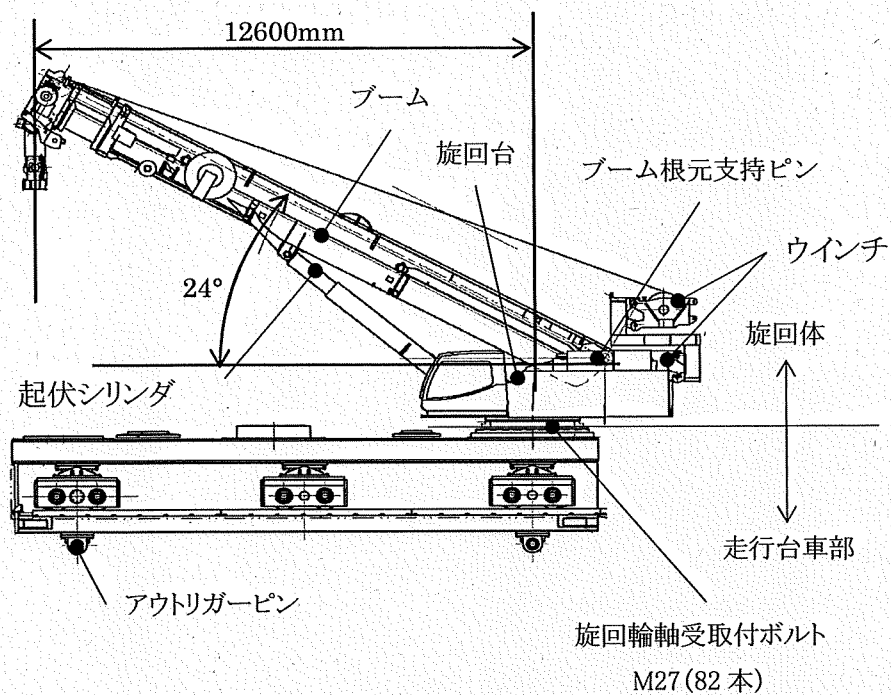


図 7 クレーン 構造概要(原子炉建屋側)

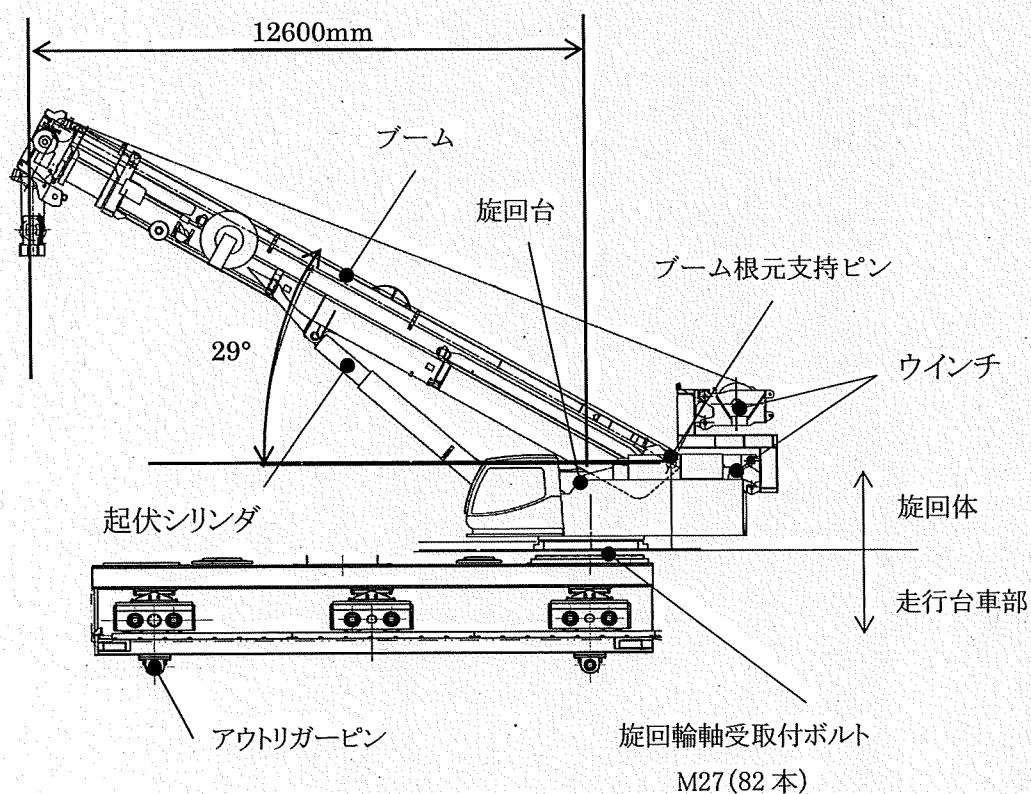


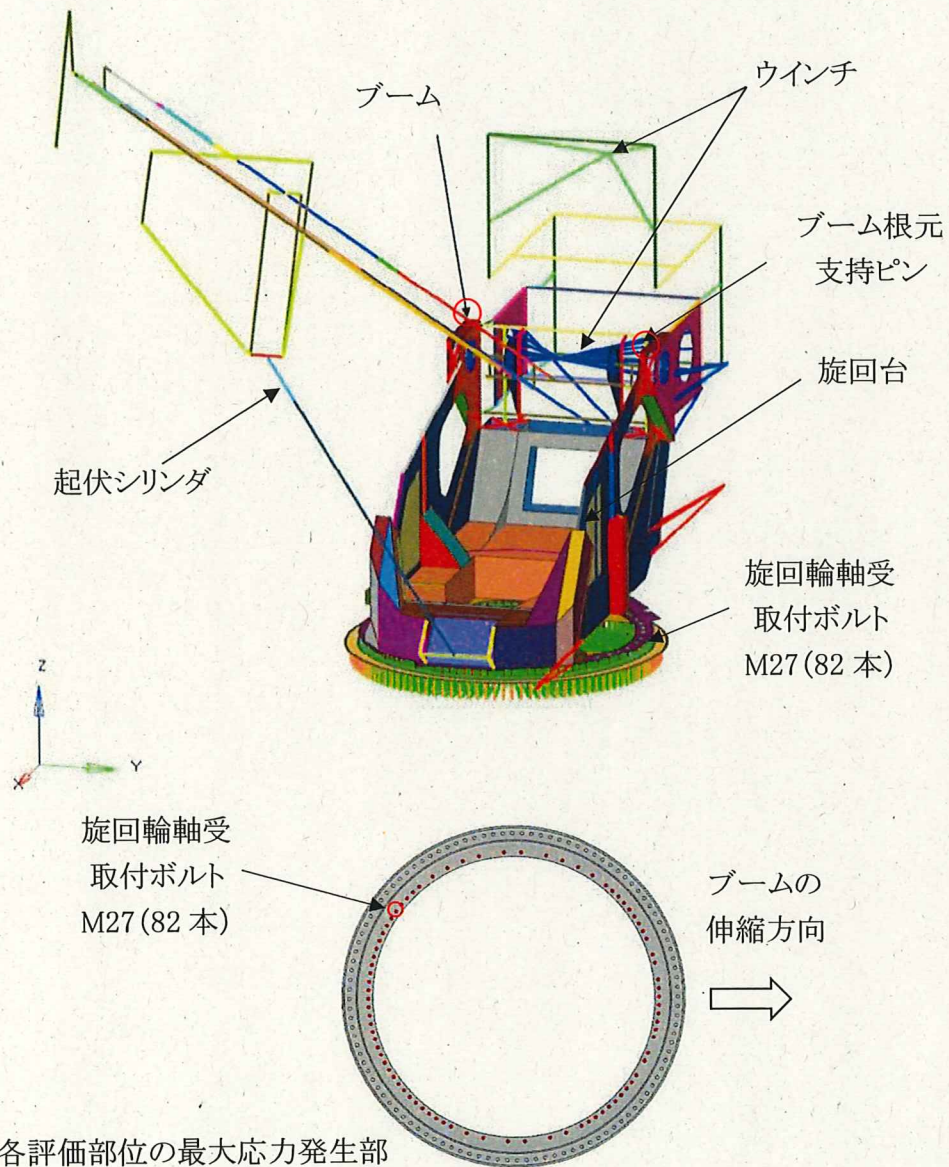
図 8 クレーン 構造概要(燃料取り出し用構台側)



## 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 9 に示す。

- (1) ブームごとに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  $24^{\circ}$  または起伏角  $29^{\circ}$  とする。
- (4) 旋回輪軸受取付ボルトは, 内側 82 本, 外側 108 本であるため, 内側を代表して評価する。



○:各評価部位の最大応力発生部

図 9 クレーン(旋回体) 計算モデル

(原子炉建屋側, 最大応力発生部は燃料取り出し構台側も同様)

### 2.1.3 計算

クレーンの固有周期は水平 1.0s, 上下 1.0s となる。

### 2.2. 計算に用いる入力地震動

本評価では、1/2Ss450 地震動(水平 2 方向及び鉛直方向)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。ランウェイガーダへの負荷荷重は、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。床応答スペクトルの減衰定数は、クレーンの振動特性から水平 4%, 鉛直 5%を適用した。本評価で用いる原子炉建屋側の設計用床応答スペクトルを図 10 に、燃料取り出し用構台側の設計用床応答スペクトルを図 11 に示す。

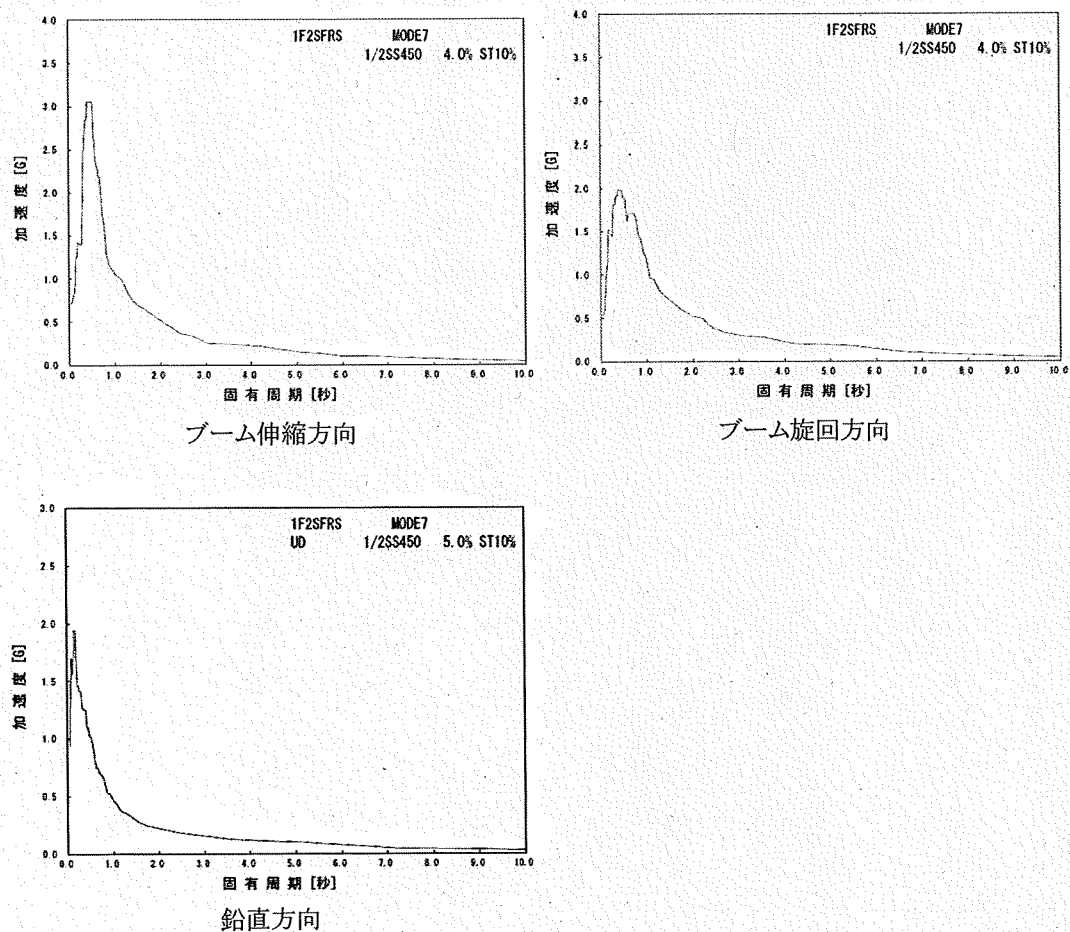


図 10 設計用床応答スペクトル(輸送容器取扱状態, 原子炉建屋側)

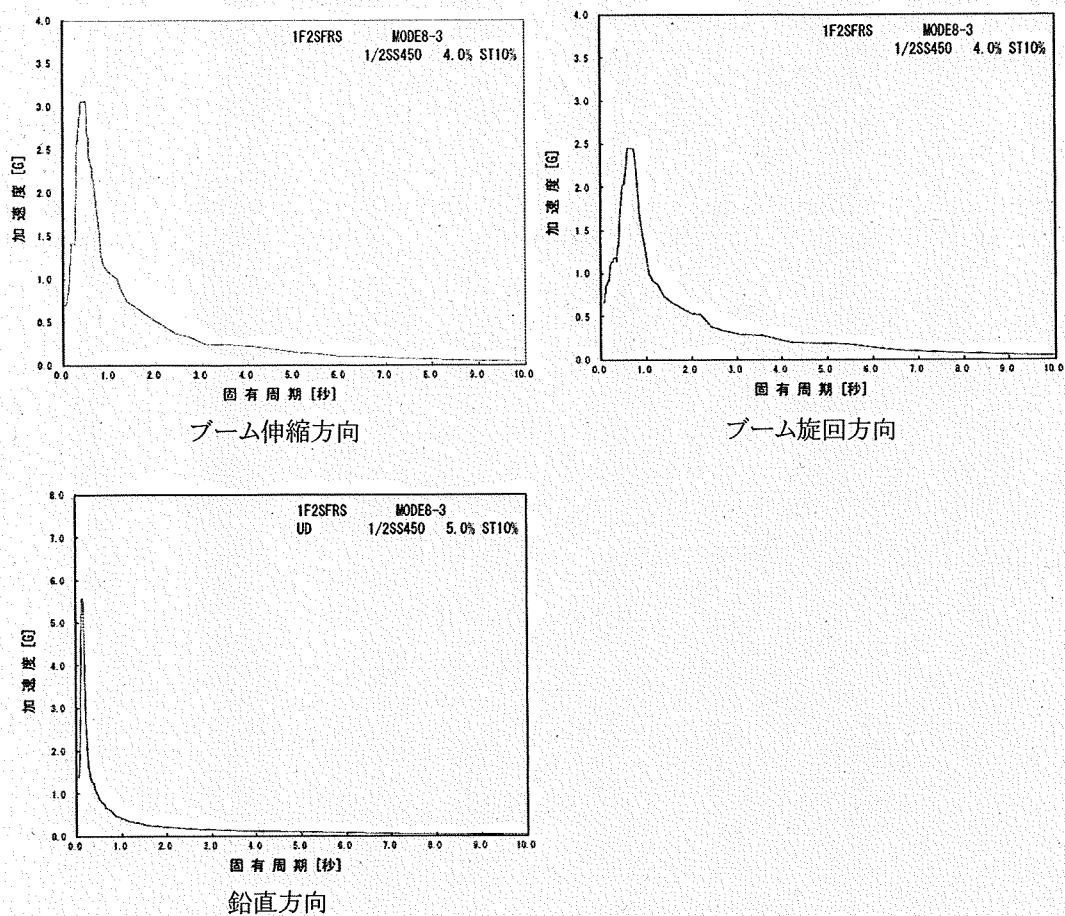


図 11 設計用床応答スペクトル(輸送容器取扱状態, 燃料取り出し用構台側)

### 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 (STRENX1100E)	引張	875
		せん断	505
		曲げ	875
		組合せ	875
ブーム根元支持ピン	42CrMoS4	せん断	303
		曲げ	525
		組合せ	525
旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	917



#### 4. 数値計算

各要素に生じる力, モーメントを計算機(計算機コード ANSYS)にて求め, 各要素の断面性状から応力を算定する。上記手順で求めた組合せ応力が最大となった要素の応力算定過程を記載する。

##### 4.1. 原子炉建屋側でのクレーン(旋回体)の計算過程を示す。

###### 4.1.1 ブームの強度検討

###### (1) 引張応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = 108(\text{MPa})$$

$P_{t1}$ : ブームに作用する軸方向引張力

$A_1$ : ブームの断面積

###### (2) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1} \cdot H_{z1}/I_{yy1} + M_{z1} \cdot B_{y1}/I_{zz1} = 297(\text{MPa})$$

$M_{y1}$ : ブームに作用する Y 軸周りモーメント

$M_{z1}$ : ブームに作用する Z 軸周りモーメント

$H_{z1}$ : ブームの当該断面中心から Z 方向端部までの最長長さ

$B_{y1}$ : ブームの当該断面中心から Y 方向端部までの最長長さ

$I_{yy1}$ : ブームの当該断面の Y 方向断面二次モーメント

$I_{zz1}$ : ブームの当該断面の Z 方向断面二次モーメント

###### (3) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{ty1} + P_{tz1})/A_1 + T_1/(2 \cdot A_{i1} \cdot t_1) = 18(\text{MPa})$$

$P_{ty1}$ : ブームに作用する Y 軸方向せん断力

$P_{tz1}$ : ブームに作用する Z 軸方向せん断力

$A_1$ : ブームの当該断面の断面積

$T_1$ : ブームに作用する捩じりモーメント

$A_{i1}$ : ブームの当該断面の内側境界断面積

$t_1$ : ブームの当該断面の最小板厚

###### (4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 1} = \sqrt{(\sigma_{b1} + \sigma_{t1})^2 + 3\tau_1^2} = 407(\text{MPa})$$

#### 4.1.2 ブーム根元支持ピンの強度検討

##### (1) 曲げ応力

$$\sigma_{b2} = \sqrt{P_{tx2}^2 + P_{tz2}^2} \cdot B_2 \cdot D_2 / (2 \cdot I_2) = 58(\text{MPa})$$

$P_{tx2}$ : ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力

$P_{tz2}$ : ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力

$B_2$ : ブーム根元支持ピンからせん断力の作用点までの距離

$D_2$ : ブーム根元支持ピンの外径

$I_2$ : ブーム根元支持ピンの断面二次モーメント

##### (2) せん断応力

$$\tau_2 = \sqrt{P_{tx2}^2 + P_{tz2}^2} / A_2 = 153(\text{MPa})$$

$P_{tx2}$ : ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力

$P_{tz2}$ : ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力

$A_2$ : ブーム根元支持ピンの断面積

##### (3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 2} = \sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3\tau_2^2} = 272(\text{MPa})$$

#### 4.1.3 旋回輪軸受取付ボルトの強度検討

##### (1) 引張応力

$$\sigma_{t3} = P_{t3} / A_3 = 815(\text{MPa})$$

$P_{t3}$ : 取付ボルトに作用する引張力

$A_3$ : 取付ボルトの有効断面積



#### 4.2. 燃料取り出し用構台側でのクレーン(旋回体)の計算過程を示す。

##### 4.2.1 ブームの強度検討

###### (1) 引張応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = 96(\text{MPa})$$

$P_{t1}$ :ブームに作用する軸方向引張力

$A_1$ :ブームの断面積

###### (2) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1} \cdot H_{z1}/I_{yy1} + M_{z1} \cdot B_{y1}/I_{zz1} = 277(\text{MPa})$$

$M_{y1}$ :ブームに作用する Y 軸周りモーメント

$M_{z1}$ :ブームに作用する Z 軸周りモーメント

$H_{z1}$ :ブームの当該断面中心から Z 方向端部までの最長長さ

$B_{y1}$ :ブームの当該断面中心から Y 方向端部までの最長長さ

$I_{yy1}$ :ブームの当該断面の Y 方向断面二次モーメント

$I_{zz1}$ :ブームの当該断面の Z 方向断面二次モーメント

###### (3) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{ty1} + P_{tz1})/A_1 + T_1/(2 \cdot A_{i1} \cdot t_1) = 17(\text{MPa})$$

$P_{ty1}$ :ブームに作用する Y 軸方向せん断力

$P_{tz1}$ :ブームに作用する Z 軸方向せん断力

$A_1$ :ブームの当該断面の断面積

$T_1$ :ブームに作用する捩じりモーメント

$A_{i1}$ :ブームの当該断面の内側境界断面積

$t_1$ :ブームの当該断面の最小板厚

###### (4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 1} = \sqrt{(\sigma_{b1} + \sigma_{t1})^2 + 3\tau_1^2} = 375(\text{MPa})$$

#### 4.2.2 ブーム根元支持ピンの強度検討

##### (1) 曲げ応力

$$\sigma_{b2} = \sqrt{P_{tx2}^2 + P_{tz2}^2} \cdot B_2 \cdot D_2 / (2 \cdot I_2) = 54(\text{MPa})$$

$P_{tx2}$ : ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力

$P_{tz2}$ : ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力

$B_2$ : ブーム根元支持ピンからせん断力の作用点までの距離

$D_2$ : ブーム根元支持ピンの外径

$I_2$ : ブーム根元支持ピンの断面二次モーメント

##### (2) せん断応力

$$\tau_2 = \sqrt{P_{tx2}^2 + P_{tz2}^2} / A_2 = 142(\text{MPa})$$

$P_{tx2}$ : ブーム根元支持ピンに作用する X 方向せん断力

$P_{tz2}$ : ブーム根元支持ピンに作用する Z 方向せん断力

$A_2$ : ブーム根元支持ピンの断面積

##### (3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 2} = \sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3\tau_2^2} = 252(\text{MPa})$$

#### 4.2.3 旋回輪軸受取付ボルトの強度検討

##### (1) 引張応力

$$\sigma_{t3} = P_{t3} / A_3 = 830(\text{MPa})$$

$P_{t3}$ : 取付ボルトに作用する引張力

$A_3$ : 取付ボルトの有効断面積

## 5. 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

評価位置	部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)	算出応力 (MPa)
原子炉 建屋側	ブーム	WELDOX1100E (STRENX1100E)	引張	875	108
			せん断	505	18
			曲げ	875	297
			組合せ	875	407
	ブーム根元支持ピン	42CrMoS4	せん断	303	153
			曲げ	525	58
			組合せ	525	272
	旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	917	815
燃料取 り出し用 構台側	ブーム	WELDOX1100E (STRENX1100E)	引張	875	96
			せん断	505	17
			曲げ	875	277
			組合せ	875	375
	ブーム根元支持ピン	42CrMoS4	せん断	303	142
			曲げ	525	54
			組合せ	525	252
	旋回輪軸受取付ボルト	SUS630	引張	917	830

#### 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貯蔵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 2 方向地震力と鉛直方向地震力が同時に作用するものとする。
- (4) 地震力はランウェイガードと取り合う走行台車部の車輪位置から、走行台車部の構造物フレーム、アウトリガーピン及び転倒防止ラグに伝達される。また、搭載機器からの反力を走行台車部の構造物フレーム、アウトリガーピン及び転倒防止ラグで支持する。上記の荷重伝達経路を考慮し、走行台車部として、構造物フレーム、アウトリガーピン及び転倒防止ラグを評価対象部位とする。

##### 2. 計算方法

##### 2.1. 固有周期の計算方法

##### 2.1.1 条件

- (1) 走行台車部の重量として自重及び搭載機器を考慮する。走行台車部の構造概要を図 12 に、走行台車部及び搭載機器の重量を表 7 に示す。
- (2) 走行台車部の自重及び搭載機器に作用する鉛直方向の地震力は、搭載機器を支持する構造物フレーム及び車輪を介してランウェイガードに支持される。地震による水平力(NS 方向)及び転倒力はアウトリガーピン、地震による水平力(EW 方向)は転倒防止ラグを介してランウェイガードに支持される。

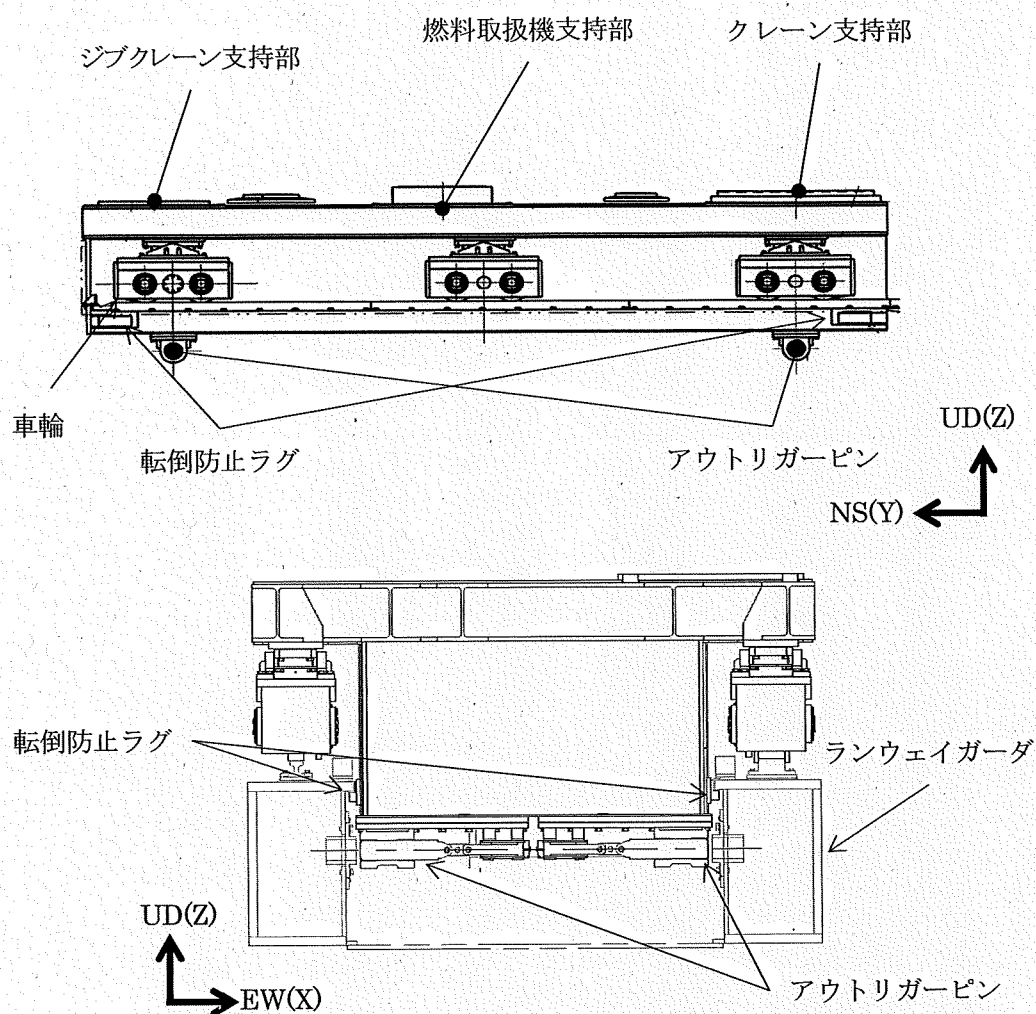


図 12 走行台車 構造概要

表 7 走行台車部及び搭載機器の重量

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	—



## 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 13 に示す。

- (1) 走行台車部の各搭載機器の支持部は、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、車輪にて支持される構造となっているため、両端支持梁として搭載機器の支持部ごとに評価を行う。走行台車部にかかる水平力 (EW 方向) は転倒防止ラグにて支持されるため、走行台車は水平方向にも十分剛である。また、アウトリガーピン支持部及び転倒防止ラグ支持部は地震力を支持する構造を有するが走行台車部の剛性には影響しない。
- (2) クレーン、燃料取扱機の自重及び耐震計算の結果反力として生じる地震力、モーメントは旋回輪軸受取付ボルト穴ピッチ円の中心位置で各支持部へ伝達させる。

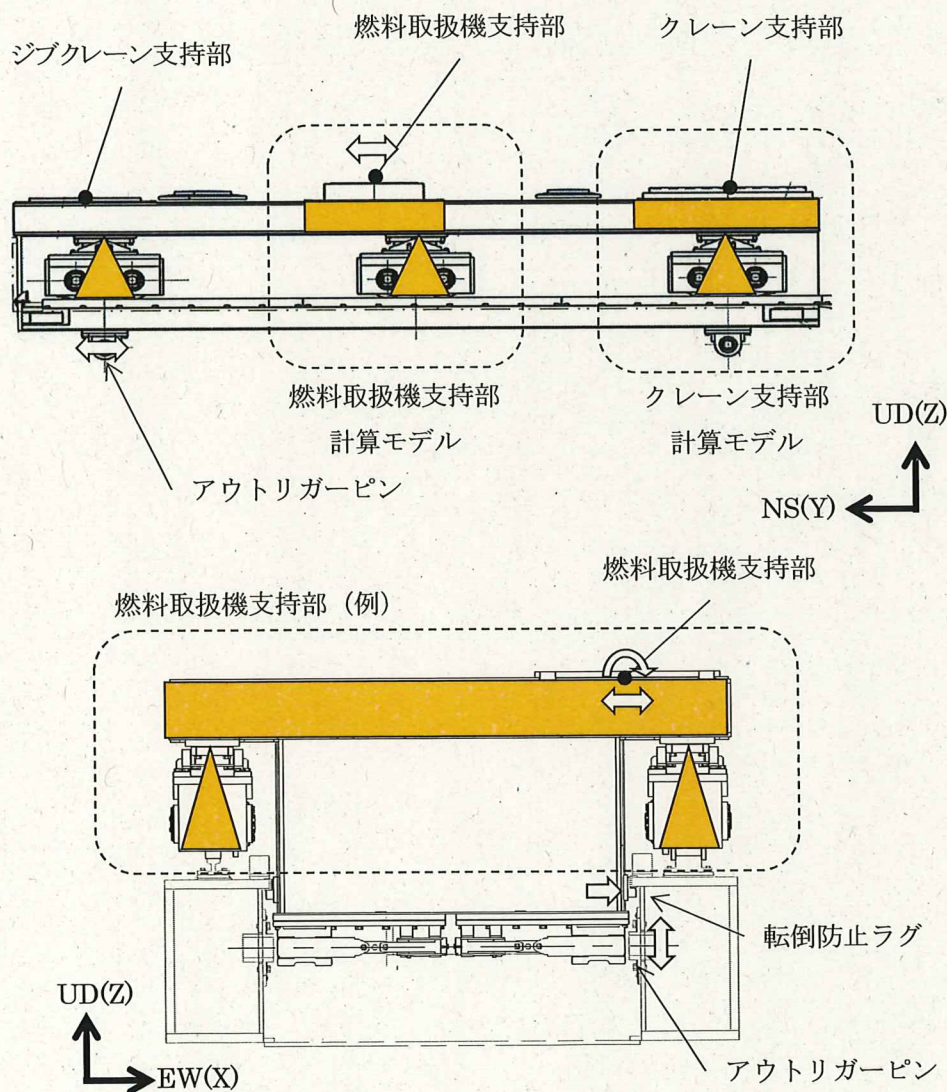


図 13 走行台車 計算モデル

### 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。固有周期算定に用いる値を表 8 に示す。

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

表 8 固有周期算定に用いる値

	項目	単位	燃料取扱機 支持部	クレーン 支持部
T	固有周期	s	0.01 以下	
L	はりの長さ	mm	4400	
w	単位長さ当りのはりの重量	kg/mm	1.361	1.568
E	はりの縦弾性係数	N/mm <sup>2</sup>	201000	
I	はりの断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>	9.279E+10	1.793E+11

## 2.2. 計算に用いる入力地震動

構造物フレームの固有周期は水平方向、鉛直方向ともに0.01s以下であり、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ダへの負荷荷重を考慮し、ランウェイガーダの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 9 適用する地震動

	燃料取扱機 支持部	クレーン支持部	
	原子炉 建屋側	原子炉 建屋側	燃料取り出し用 構台側
NS 方向	0.83	0.83	0.81
EW 方向	0.67	0.66	0.81
鉛直方向	0.74	0.77	1.47

## 3. 評価方法

### 3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 10 に示す。

表 10 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	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	SM490B	支圧	977



#### 4. 数値計算

##### 4.1. 走行台車部の燃料取扱状態における各部の強度

##### 4.1.1 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

以下の応力算定に用いる力( $P_{t1}$ ,  $P_{ty1}$ ,  $P_{tz1}$ )及びモーメント( $T_1$ ,  $M_{y1}$ ,  $M_{z1}$ )は、燃料取扱機の耐震解析の結果から求まる燃料取扱機支持部にかかる力及びモーメント、燃料取扱機支持部の自重及び燃料取扱機支持部にかかる地震力を考慮して求めた値を用いる。

###### (1) 引張応力

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

$$P_{t1} : \text{構造物フレームに作用する軸方向引張力} \quad 1.780 \times 10^5 (\text{N})$$

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

###### (2) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{ty1} + P_{tz1})/A_1 + T_1/(2A_{i1} \cdot t_1) = 10(\text{MPa})$$

$$P_{ty1} : \text{構造物フレームに作用する Y 軸方向せん断力} \quad 2.588 \times 10^5 (\text{N})$$

$$P_{tz1} : \text{構造物フレームに作用する Z 軸方向せん断力} \quad 4.441 \times 10^5 (\text{N})$$

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

$$T_1 : \text{構造物フレームに作用する捩じりモーメント} \quad 2.091 \times 10^8 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

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

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

###### (3) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1} \cdot H_{z1}/I_{yy1} + M_{z1} \cdot B_{y1}/I_{zz1} = 38(\text{MPa})$$

$$M_{y1} : \text{構造物フレームに作用する Y 軸まわりのモーメント} \quad 1.287 \times 10^9 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{z1} : \text{構造物フレームに作用する Z 軸まわりのモーメント} \quad 3.593 \times 10^8 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

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

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

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

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

###### (4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma t1} = \sqrt{(\sigma_{t1} + \sigma_{b1})^2 + 3\tau_1^2} = 43(\text{MPa})$$

#### 4.1.2 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)の強度検討

4.2.2 の評価に包絡される。

#### 4.1.3 アウトリガーピンの強度検討

アウトリガーピンの応力算定に用いるせん断力 ( $P_{t3}$ ) は, 走行台車にかかる地震力による転倒モーメントに加え, 全搭載機器の耐震解析の結果から求まる各搭載機器支持部にかかる力, モーメントが保守的に同時に作用するとして求めた値を用いる。

##### (1) せん断応力

$$\tau_3 = P_{t3} / (\pi d_3^2 / 4) = 169(\text{MPa})$$

$P_{t3}$  : ピンに作用するせん断力

$$4.293 \times 10^6(\text{N})$$

$d_3$  : ピンの外径

$$180(\text{mm})$$

##### (2) 曲げ応力

$$\sigma_{b3} = (P_{t3} \cdot L_3 / 2) / (\pi d_3^3 / 32) = 150(\text{MPa})$$

$P_{t3}$  : ピンに作用するせん断力

$$4.293 \times 10^6(\text{N})$$

$L_3$  : ピンの曲げ長さ

$$40(\text{mm})$$

$d_3$  : ピンの外径

$$180(\text{mm})$$

##### (3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 3} = \sqrt{\sigma_{b3}^2 + 3\tau_3^2} = 329(\text{MPa})$$

#### 4.1.4 転倒防止ラグの強度検討

転倒防止ラグの応力算定に用いる水平力 ( $P_{p4}$ ) は, 走行台車にかかる地震力に加え, 全搭載機器の耐震解析の結果から求まる各搭載機器支持部にかかる水平力が保守的に同時に作用するとして求めた値を用いる。

##### (1) 支圧応力

$$\sigma_{p4} = P_{p4} / A_4 = 69(\text{MPa})$$

$P_{p4}$  : 転倒防止ラグに作用する水平力

$$1.362 \times 10^6(\text{N})$$

$A_4$  : 支圧面積

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

#### 4.2. 原子炉建屋側での走行台車部の輸送容器取扱状態における各部の強度

##### 4.2.1 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

4.1.1 の評価に包含される。

##### 4.2.2 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)の強度検討

以下の応力算定に用いる力( $P_{t2}$ ,  $P_{ty2}$ ,  $P_{tz2}$ )及びモーメント( $T_2$ ,  $M_{y2}$ ,  $M_{z2}$ )は、クレーンの耐震解析の結果から求まるクレーン支持部にかかる力及びモーメント、クレーン支持部の自重及びクレーン支持部にかかる地震力を考慮して求めた値を用いる。

###### (1) 引張応力

$$\sigma_{t2} = P_{t2}/A_2 = 2(\text{MPa})$$

$P_{t2}$  : 構造物フレームに作用する軸方向引張力  $3.172 \times 10^5(\text{N})$

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

###### (2) せん断応力

$$\tau_2 = (P_{ty2} + P_{tz2})/A_2 + T_2/(2 \cdot A_{i2} \cdot t_2) = 40(\text{MPa})$$

$P_{ty2}$  : 構造物フレームに作用する Y 軸方向せん断力  $6.398 \times 10^5(\text{N})$

$P_{tz2}$  : 構造物フレームに作用する Z 軸方向せん断力  $3.219 \times 10^6(\text{N})$

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

$T_2$  : 構造物フレームに作用する捩じりモーメント  $1.151 \times 10^9(\text{N} \cdot \text{mm})$

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

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

###### (3) 曲げ応力

$$\sigma_{b2} = M_{y2} \cdot H_{z2}/I_{yy2} + M_{z2} \cdot B_{y2}/I_{zz2} = 229(\text{MPa})$$

$M_{y2}$  : 構造物フレームに作用する Y 軸まわりのモーメント

$9.849 \times 10^9(\text{N} \cdot \text{mm})$

$M_{z2}$  : 構造物フレームに作用する Z 軸まわりのモーメント

$9.114 \times 10^8(\text{N} \cdot \text{mm})$

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

$288 (\text{mm})$

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

$1150 (\text{mm})$

$I_{yy2}$  : 構造物フレームにおける Y 軸まわりの断面二次モーメント

$1.276 \times 10^{10} (\text{mm}^4)$

$I_{zz2}$  : 構造物フレームにおける Z 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

$$\sigma_{\sigma t2} = \sqrt{(\sigma_{t2} + \sigma_{b2})^2 + 3\tau_2^2} = 242(\text{MPa})$$

4.2.3 アウトリガーピンの強度検討

アウトリガーピンの応力算定に用いるせん断力( $P_{\tau4}$ )は, 走行台車にかかる地震力による転倒モーメントに加え, 全搭載機器の耐震解析の結果から求まる各搭載機器支持部にかかる力, モーメントが保守的に同時に作用するとして求めた値を用いる。

(1) せん断応力

$$\tau_4 = P_{\tau4}/(\pi d_4^2/4) = 169(\text{MPa})$$

$P_{\tau4}$  : ピンに作用するせん断力

$$4.300 \times 10^6(\text{N})$$

$d_4$  : ピンの外径

$$180(\text{mm})$$

(2) 曲げ応力

$$\sigma_{b4} = (P_{\tau4} \cdot L_3/2)/(\pi d_4^3/32) = 151(\text{MPa})$$

$P_{\tau4}$  : ピンに作用するせん断力

$$4.300 \times 10^6(\text{N})$$

$L_4$  : ピンの曲げ長さ

$$40(\text{mm})$$

$d_4$  : ピンの外径

$$180(\text{mm})$$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma4} = \sqrt{\sigma_{b4}^2 + 3\tau_4^2} = 330(\text{MPa})$$

4.2.4 転倒防止ラグの強度検討

転倒防止ラグの応力算定に用いる水平力( $P_{p5}$ )は, 走行台車にかかる地震力に加え, 全搭載機器の耐震解析の結果から求まる各搭載機器支持部にかかる水平力が保守的に同時に作用するとして求めた値を用いる。

(1) 支圧応力

$$\sigma_{p5} = P_{p5}/A_5 = 67(\text{MPa})$$

$P_{p5}$  : 転倒防止ラグに作用する水平力

$$1.341 \times 10^6(\text{N})$$

$A_5$  : 支圧面積

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

#### 4.3. 燃料取り出し用構台側での走行台車部の輸送容器取扱状態における各部の強度

##### 4.3.1 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

4.1.1 の評価に包含される。

##### 4.3.2 走行台車の構造物フレーム(クレーン支持部)の強度検討

以下の応力算定に用いる力( $P_{t2'}$ ,  $P_{ty2'}$ ,  $P_{tz2'}$ )及びモーメント( $T_{2'}$ ,  $M_{y2'}$ ,  $M_{z2'}$ )は、クレーンの耐震解析の結果から求まるクレーン支持部にかかる力及びモーメント、クレーン支持部の自重及びクレーン支持部にかかる地震力を考慮して求めた値を用いる。

###### (1) 引張応力

$$\sigma_{t2'} = P_{t2'}/A_{2'} = 3(\text{MPa})$$

$$P_{t2'} : \text{構造物フレームに作用する軸方向引張力} \quad 5.227 \times 10^5 (\text{N})$$

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

###### (2) せん断応力

$$\tau_{2'} = (P_{ty2'} + P_{tz2'})/A_{2'} + T_{2'}/(2 \cdot A_{i2'} \cdot t_{2'}) = 41(\text{MPa})$$

$$P_{ty2'} : \text{構造物フレームに作用する Y 軸方向せん断力} \quad 5.862 \times 10^5 (\text{N})$$

$$P_{tz2'} : \text{構造物フレームに作用する Z 軸方向せん断力} \quad 3.073 \times 10^6 (\text{N})$$

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

$$T_{2'} : \text{構造物フレームに作用する捩りモーメント} \quad 1.237 \times 10^9 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

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

$$t_{2'} : \text{構造物フレームの最小板厚} \quad 22 (\text{mm})$$

###### (3) 曲げ応力

$$\sigma_{b2'} = M_{y2'} \cdot H_{z2'}/I_{yy2'} + M_{z2'} \cdot B_{y2'}/I_{zz2'} = 221(\text{MPa})$$

$$M_{y2'} : \text{構造物フレームに作用する Y 軸まわりのモーメント} \quad 9.540 \times 10^9 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{z2'} : \text{構造物フレームに作用する Z 軸まわりのモーメント} \quad 8.521 \times 10^8 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

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

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

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

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

(4) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma t 2'} = \sqrt{(\sigma_{t 2'} + \sigma_{b 2'})^2 + 3\tau_{2'}^2} = 235(\text{MPa})$$

4.3.3 アウトリガーピンの強度検討

アウトリガーピンの応力算定に用いるせん断力( $P_{\tau 4'}$ )は、走行台車にかかる地震力による転倒モーメントに加え、全搭載機器の耐震解析の結果から求まる各搭載機器支持部にかかる力、モーメントが保守的に同時に作用するとして求めた値を用いる。

(1) せん断応力

$$\tau_{4'} = P_{\tau 4'} / (\pi d_{4'}^2 / 4) = 184(\text{MPa})$$

$P_{\tau 4'}$  : ピンに作用するせん断力

$$4.673 \times 10^6 (\text{N})$$

$d_{4'}$  : ピンの外径

$$180 (\text{mm})$$

(2) 曲げ応力

$$\sigma_{b 4'} = (P_{\tau 4'} \cdot L_{4'} / 2) / (\pi d_{4'}^3 / 32) = 164(\text{MPa})$$

$P_{\tau 4'}$  : ピンに作用するせん断力

$$4.673 \times 10^6 (\text{N})$$

$L_{4'}$  : ピンの曲げ長さ

$$40 (\text{mm})$$

$d_{4'}$  : ピンの外径

$$180 (\text{mm})$$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{\sigma 4'} = \sqrt{\sigma_{b 4'}^2 + 3\tau_{4'}^2} = 359(\text{MPa})$$

4.3.4 転倒防止ラグの強度検討

転倒防止ラグの応力算定に用いる水平力( $P_{p 5'}$ )は、走行台車にかかる地震力に加え、全搭載機器の耐震解析の結果から求まる各搭載機器支持部にかかる水平力が保守的に同時に作用するとして求めた値を用いる。

(1) 支圧応力

$$\sigma_{p 5'} = P_{p 5'} / A_{5'} = 73(\text{MPa})$$

$P_{p 5'}$  : 転倒防止ラグに作用する水平力

$$1.451 \times 10^6 (\text{N})$$

$A_{5'}$  : 支圧面積

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

## 5. 結論

算出応力は、表 11 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 11 算定応力の評価  
(燃料取扱状態、輸送容器取扱状態)

部位	評価位置	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
構造物フレーム (燃料取扱機支持部)	原子炉 建屋側	SM490B	引張	343	1	
			せん断	198	10	
			曲げ	343	38	
			組合せ	343	43	
構造物フレーム (クレーン支持部)	原子炉 建屋側	SM490B	引張	343		2
			せん断	198		40
			曲げ	343		229
			組合せ	343		242
	燃料取り出し用 構台側		引張	343		3
			せん断	198		41
			曲げ	343		221
			組合せ	343		235
アウトリガーピン	原子炉 建屋側	SNB23-1	せん断	460	169	169
			曲げ	1088	150	151
			組合せ	798	329	330
	燃料取り出し用 構台側		せん断	460		184
			曲げ	1088		164
			組合せ	798		359
転倒防止ラグ	原子炉 建屋側	SM490B	支圧	977	69	67
	燃料取り出し用 構台側					73



## 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貯蔵ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認するため、輸送容器積載時の評価を行う。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ダ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。
- (2) キャスク固定治具には水平 2 方向地震力と鉛直方向地震力が同時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) キャスク固定治具の重量として自重及び搭載機器(輸送容器)を考慮する。キャスク固定治具の重量を表 12 に、構造概要を図 14 に示す。
- (2) キャスク仮置台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) キャスク仮置台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 12 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)	50



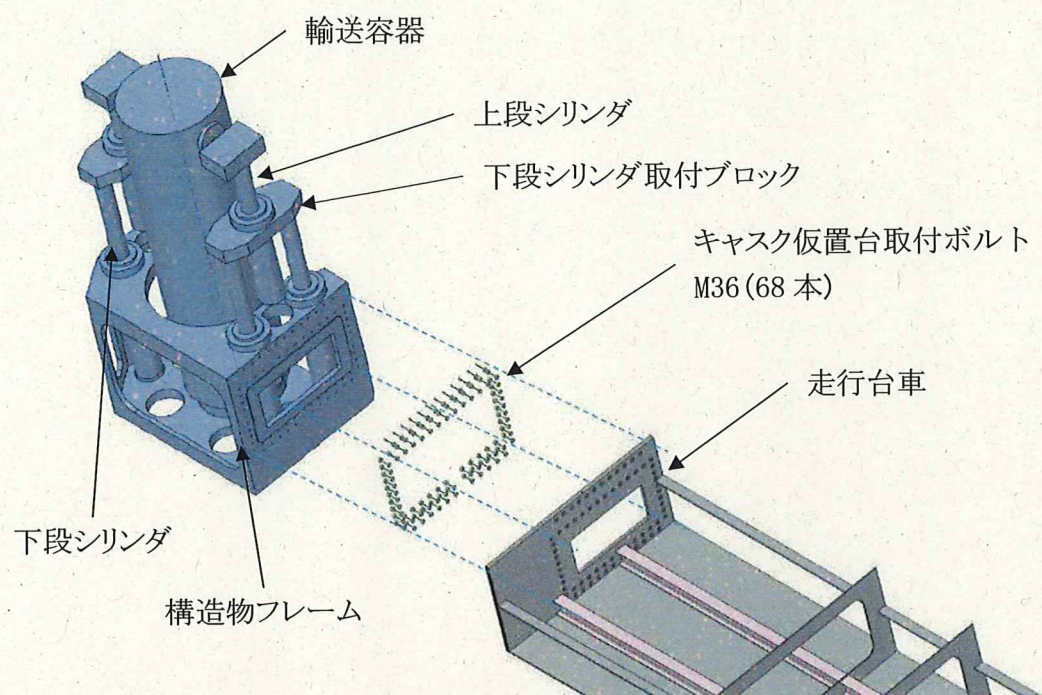


図 14 キャスク固定治具 構造概要



## 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 15 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。
- (2) キャスク固定治具は走行台車側面にキャスク仮置台取付ボルトで固定し、当該ボルトにせん断力がかからないよう Y 方向及び Z 方向の力を構造物フレームのインローで支持する構造を有する。モデル化では上記構造を反映した。

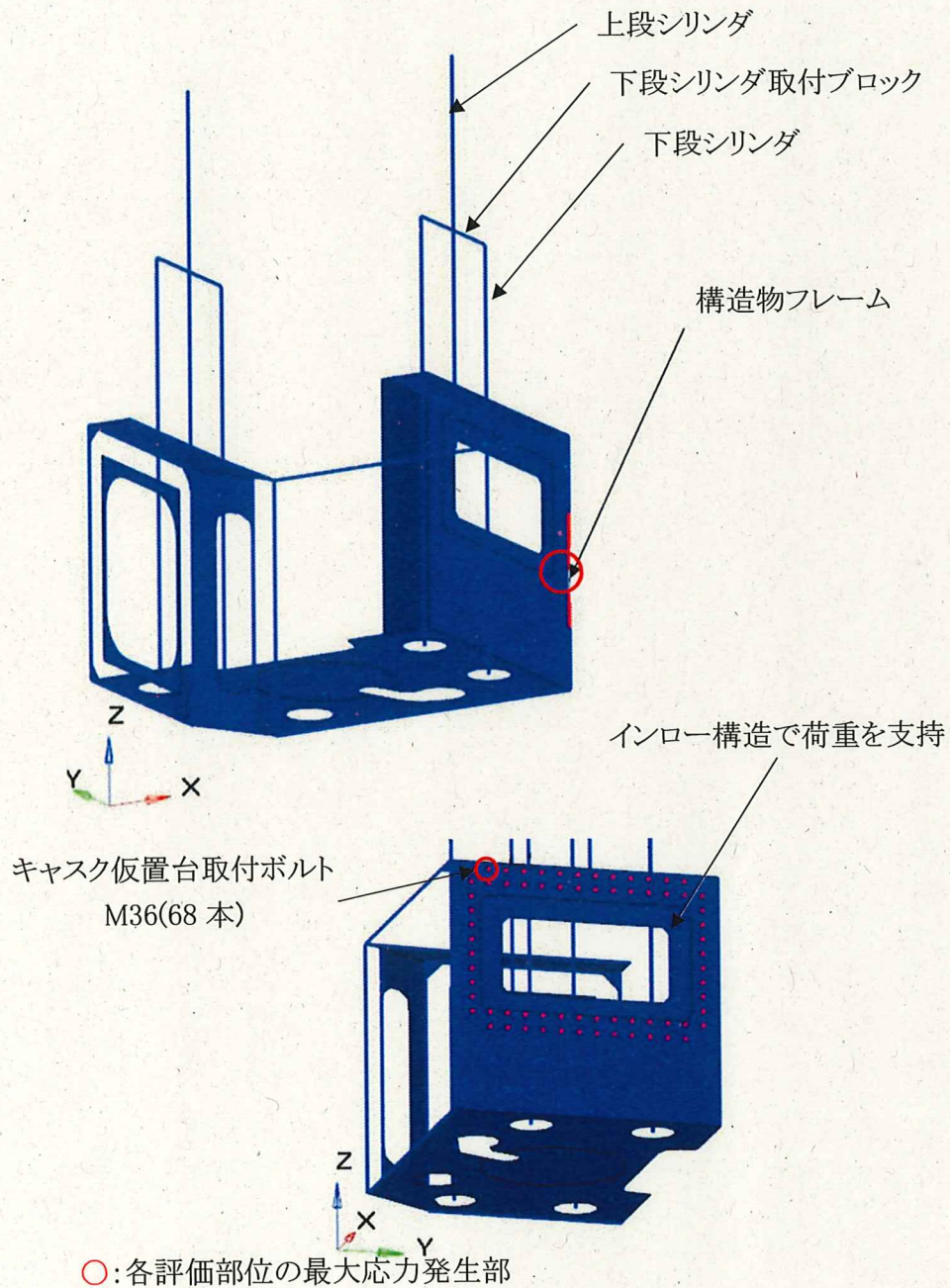


図 15 キャスク固定治具 計算モデル

### 2.1.3 計算

キャスク固定治具の固有周期は水平 0.2s, 上下 0.2s となる。

### 2.2. 計算に用いる入力地震動

本評価では, 1/2Ss450 地震動(水平 2 方向及び鉛直方向)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。ランウェイガーダへの負荷荷重は, 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。床応答スペクトルの減衰定数は, ボルト及びリベット構造物として水平 2%, 鉛直 2%を適用した。本評価で用いる設計用床応答スペクトルを図 16 に示す。

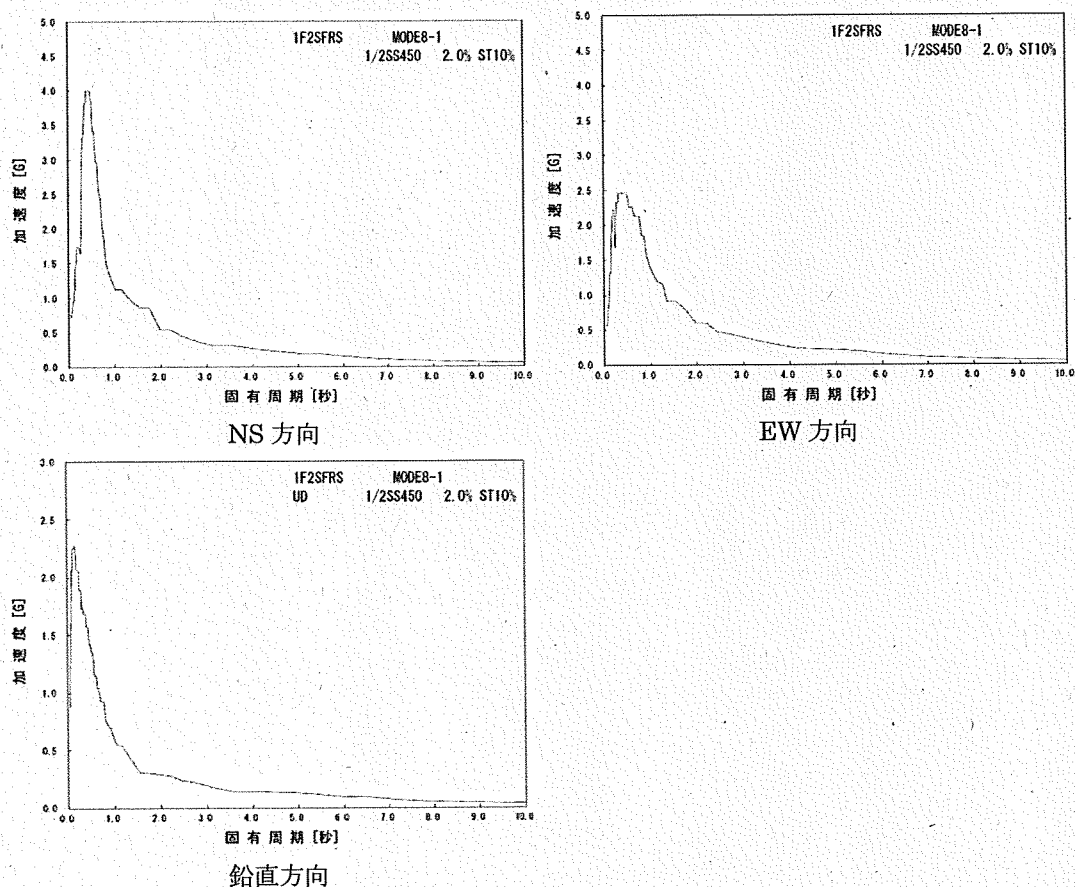


図 16 設計用床応答スペクトル(輸送容器固定状態)

### 3. 評価方法

#### 3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 13 に示す。

表 13 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	引張	343
		せん断	198
		曲げ	343
		組合せ	343
キャスク仮置台取付ボルト	SNB23-1	引張	798



#### 4. 数値計算

各要素に生じる力, モーメントを計算機(計算機コード ANSYS)にて求め, 各要素の断面性状から応力を算定する。上記手順で求めた組合せ応力が最大となった要素の応力算定過程を記載する。

##### 4.1. キャスク固定治具の輸送容器固定状態における各部の強度

###### 4.1.1 構造物フレームの強度検討

###### (1) 引張応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = 72(\text{MPa})$$

$$P_{t1} : \text{構造物フレームに作用する軸方向引張力} \quad 1.171 \times 10^6(\text{N})$$

$$A_1 : \text{構造物フレームの断面積} \quad 1.625 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

###### (2) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{ty1} + P_{tz1})/A_1 + T_1/Z_{p1} = 34(\text{MPa})$$

$$P_{ty1} : \text{構造物フレームに作用する Y 軸方向せん断力} \quad 2.319 \times 10^5(\text{N})$$

$$P_{tz1} : \text{構造物フレームに作用する Z 軸方向せん断力} \quad 2.372 \times 10^4(\text{N})$$

$$A_1 : \text{構造物フレームの断面積} \quad 1.625 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

$$T_1 : \text{構造物フレームに作用する捩じりモーメント} \quad 4.923 \times 10^6(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$Z_{p1} : \text{捩じり極断面係数} \quad 2.822 \times 10^5 (\text{mm}^2)$$

###### (3) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1}/Z_{y1} + M_{z1}/Z_{z1} = 252(\text{MPa})$$

$$M_{y1} : \text{構造物フレームに作用する Y 軸まわりのモーメント} \quad 4.997 \times 10^6(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{z1} : \text{構造物フレームに作用する Z 軸まわりのモーメント} \quad 1.514 \times 10^8(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$Z_{y1} : \text{構造物フレームの当該断面の Y 軸まわりの断面係数} \quad 1.760 \times 10^5(\text{mm}^3)$$

$$Z_{z1} : \text{構造物フレームの当該断面の Z 軸まわりの断面係数} \quad 6.771 \times 10^5(\text{mm}^3)$$

###### (4) 組合せ応力

$$\sigma_{\text{ot1}} = \sqrt{(\sigma_{t1} + \sigma_{b1})^2 + 3\tau_1^2} = 330(\text{MPa})$$

#### 4.1.2 キャスク仮置台取付ボルトの強度検討

##### (1) 引張応力

$$\sigma_{t2} = P_{t2}/A_2 = 774(\text{MPa})$$

$P_{t2}$  : 取付ボルトに作用する引張力

$$6.322 \times 10^5 (\text{N})$$

$A_2$  : 取付ボルトの有効断面積

$$817 (\text{mm}^2)$$

## 5. 結論

算出応力は、表 14 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 14 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	引張	343	72
		せん断	198	34
		曲げ	343	252
		組合せ	343	330
キャスク仮置台取付ボルト	SNB23-1	引張	798	774

## VI. ジブクレーンの耐震性についての計算書

### 1. 概要

#### 1.1. 一般事項

本計算書はジブクレーンの耐震性についての計算書である。

#### 1.2. 計算条件

- (1) ジブクレーンが転倒して使用済燃料プール及び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するため、輸送容器一次蓋取扱時の評価を行う。
- (2) ジブクレーンには水平 2 方向地震力と鉛直方向地震力が同時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) ジブクレーンの重量として自重及び搭載機器（一次蓋と一次蓋仮締付装置）を考慮する。ジブクレーンの重量を表 15 に、構造概要を図 17 に示す。
- (2) 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) 取付ボルトはコラム下面に取付けられるものとする。

表 15 ジブクレーンの重量

名称	重量(t)
ジブクレーン	9
搭載機器	4

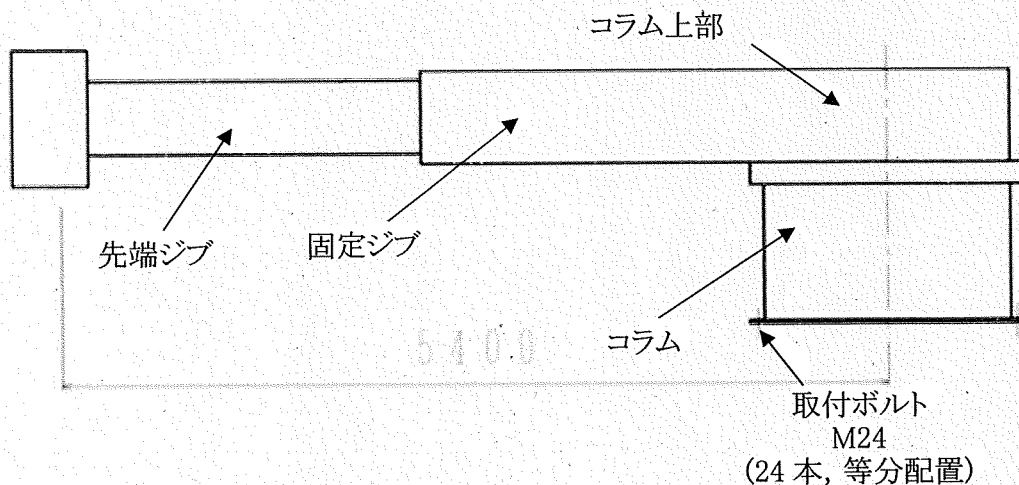


図 17 キャスク固定治具 構造概要(単位:mm)



### 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 18 に示す。

- (1) ジブクレーンの計算モデルは、はり要素でモデル化する。
- (2) ジブクレーンの姿勢は、先端ジブ最大長(作業半径 5.4m)とする。

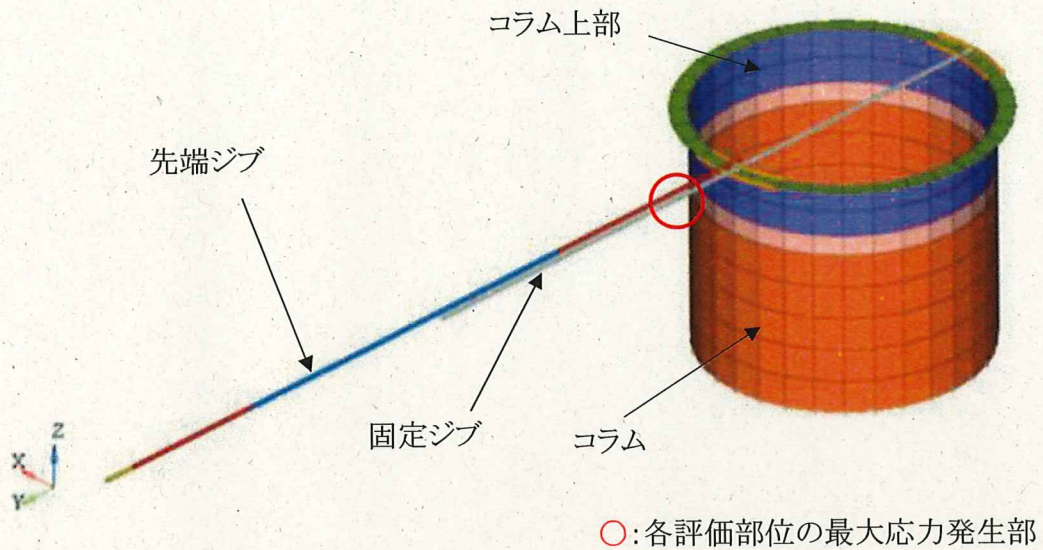


図 18 ジブクレーン 計算モデル

### 2.1.3 計算

ジブクレーンの固有周期は水平 0.2s, 上下 0.2s となる。

## 2.2. 計算に用いる入力地震動

本評価では、1/2Ss450 地震動(水平 2 方向及び鉛直方向)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。ランウェイガーダへの負荷荷重は、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。床応答スペクトルの減衰定数は、ボルト及びリベット構造物として水平 2%、鉛直 2%を適用した。本評価で用いる設計用床応答スペクトルを図 19 に示す。

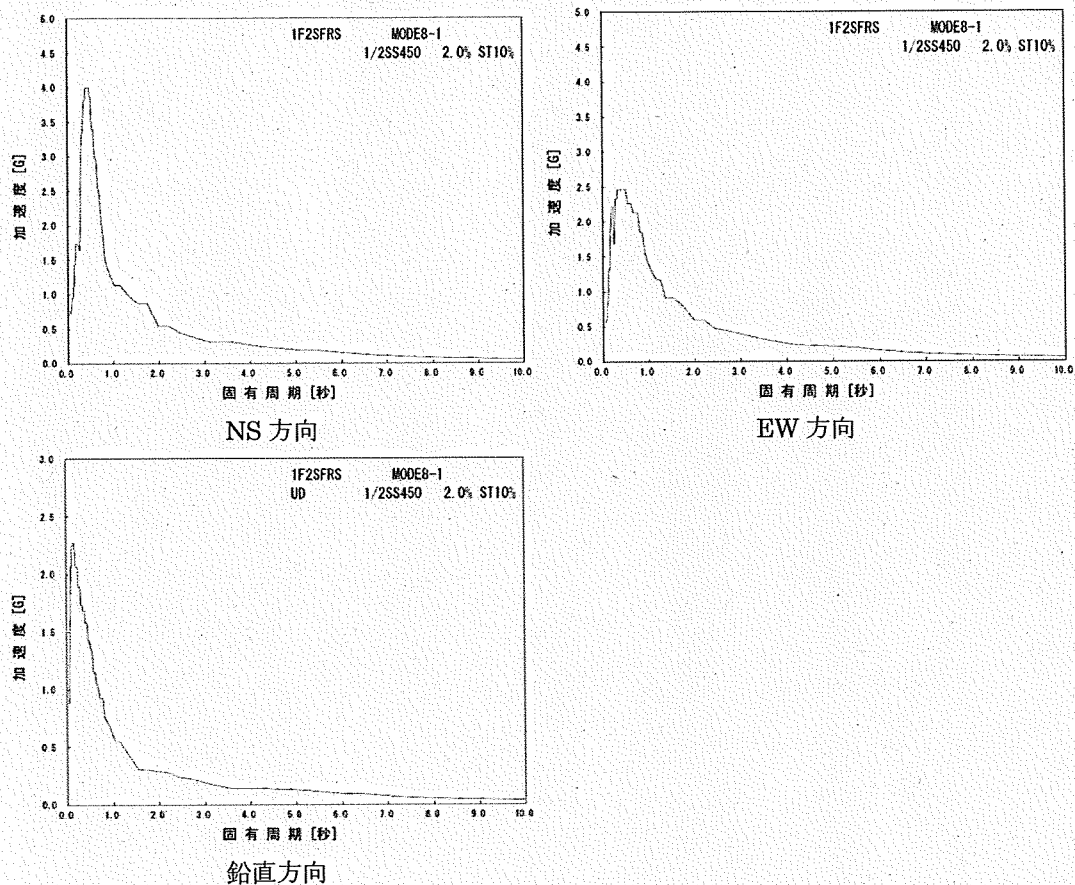


図 19 設計用床応答スペクトル(輸送容器固定状態)

### 3. 評価方法

#### 3.1. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 16 に示す。

表 16 材料及び許容応力

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
先端ジブ	SM490B	引張	343
		せん断	198
		曲げ	343
		組合せ	343
取付ボルト	S45C	引張	399
		せん断	230
		組合せ	399

#### 4. 数値計算

先端ジブについては、各要素に生じる力、モーメントを計算機(計算機コード ANSYS)にて求め、各要素の断面性状から応力を算定する。上記手順で求めた組合せ応力が最大となった要素の応力算定過程を記載する。

取付ボルトについては、円筒のコラムに等分配置されているため基礎ボルトの計算式を用いて計算する。(スカート支持たて置円筒形容器基礎ボルトの応力)

##### 4.1. ジブクレーンの輸送容器固定状態における各部の強度

###### 4.1.1 先端ジブの強度検討

###### (1) 引張応力

$$\sigma_{t1} = P_{t1}/A_1 = 0(\text{MPa})$$

$$P_{t1} : \text{先端ジブに作用する軸方向引張力} \quad 6.661 \times 10^2(\text{N})$$

$$A_1 : \text{先端ジブの断面積} \quad 2.175 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

###### (2) せん断応力

$$\tau_1 = (P_{ty1} + P_{tz1})/A_1 + T_1/(2A_{i1} \cdot t_1) = 21(\text{MPa})$$

$$P_{ty1} : \text{先端ジブに作用する Y 軸方向せん断力} \quad 4.195 \times 10^4(\text{N})$$

$$P_{tz1} : \text{先端ジブに作用する Z 軸方向せん断力} \quad 1.939 \times 10^5(\text{N})$$

$$A_1 : \text{先端ジブの断面積} \quad 2.175 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

$$T_1 : \text{先端ジブに作用する捩じりモーメント} \quad 1.517 \times 10^7(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$A_{i1} : \text{先端ジブの内側境界断面} \quad 8.431 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

$$t_1 : \text{先端ジブの最小板厚} \quad 9 (\text{mm})$$

###### (3) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_{y1} \cdot H_{z1}/I_{yy1} + M_{z1} \cdot B_{y1}/I_{zz1} = 254(\text{MPa})$$

$$M_{y1} : \text{先端ジブに作用する Y 軸まわりのモーメント} \quad 8.245 \times 10^8(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{z1} : \text{先端ジブに作用する Z 軸まわりのモーメント} \quad 1.284 \times 10^7(\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$H_{z1} : \text{先端ジブの評価断面中立軸から評価点までの Z 方向の長さ} \quad 247 (\text{mm})$$

$$B_{y1} : \text{先端ジブの評価断面中立軸から評価点までの Y 方向の長さ} \quad 191 (\text{mm})$$

$$I_{yy1} : \text{先端ジブにおける Y 軸まわりの断面二次モーメント} \quad 8.407 \times 10^8 (\text{mm}^4)$$

$$I_{zz1} : \text{先端ジブにおける Z 軸まわりの断面二次モーメント} \quad 2.182 \times 10^8 (\text{mm}^4)$$

###### (4) 組合せ応力

$$\sigma_{ot1} = \sqrt{(\sigma_{t1} + \sigma_{b1})^2 + 3\tau_1^2} = 257(\text{MPa})$$



#### 4.1.2 取付ボルトの強度検討

##### (1) 引張応力

$$\sigma_{t2} = P_{t2}/A_2 = 201(\text{MPa})$$

$P_{t2}$  : 取付ボルトに作用する引張力

$$7.095 \times 10^4(\text{N})$$

$A_2$  : 取付ボルトの有効断面積

$$353(\text{mm}^2)$$

##### (2) せん断応力

$$\tau_2 = P_{\tau 2}/A_2 = 33(\text{MPa})$$

$P_{\tau 2}$  : 取付ボルトに作用するせん断力

$$1.148 \times 10^4(\text{N})$$

$A_2$  : 取付ボルトの有効断面積

$$353(\text{mm}^2)$$

## 5. 結論

算出応力は, 表 17 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 17 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)
先端ジブ	SM490B	引張	343	0
		せん断	198	21
		曲げ	343	254
		組合せ	343	257
取付ボルト	S45C	引張	399	201
		せん断	230	33