

## ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟

### 耐震設計基本方針

#### 【概要】

- ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟における耐震設計の基本方針を示す。

なお、当該方針は令和 2 年 5 月 29 日の廃止措置計画変更認可申請書の一部補正の中で示した高放射性廃液貯蔵場(HAW)の耐震設計基本方針と同じ考え方に基づくものである。

令和2年7月16日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

## 耐震設計基本方針

## 1. 概要

本資料は、「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「再処理技術基準規則」という。）の第六条一項及び二項に照らして、廃止措置段階にある再処理施設 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の耐震設計について、地震による損傷の防止のために求められる性能を維持できることを説明するための方針を示すものである。

※ 原子力規制委員会から示された「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所(再処理施設)の廃止措置計画の認可の審査に関する考え方」（平成 29 年 4 月）においては「再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則」（以下「再処理維持基準規則」という。）に照らして審査するものとされているが、改正第 3 条の施行の日（令和 2 年 4 月 1 日）から廃止措置計画の認可は再処理技術基準規則に従うこととされているため、本資料では従来までの再処理維持基準規則を再処理技術基準規則で読み替える。

## 2. 耐震設計の基本方針

### 2.1 基本方針

廃止措置段階にある再処理施設においては、リスクが特定の施設に集中している。特に高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場 (HAW) と、長期間ではないものの分離精製工場 (MP) 等の工程洗浄や系統除染に伴う廃液処理も含めて一定期間使用するガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟については、廃止措置計画における安全対策の検討に用いるために策定された廃止措置計画用設計地震動による地震力に対して、その耐震安全性を確認し、建家及び機器・配管系の健全性を維持できるよう廃止措置段階に応じた措置を行う。

- (1) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟において高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能にかかわる設備については、廃止措置計画用設計地震動による地震力に対してその安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。その対象となる設備については別添 6-1-2-4 に示す。

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟建家については、構造物全体として変形能力に対して十分な余裕を有するように設計する。

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の閉じ込めを担う第二付属排気筒については、構造物全体として変形能力に対して十分な余裕を有するように設計する。また、ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟建家と第二付属排気筒を結ぶダクトの間接支持構造物であるダクト接続架構については、地震時の損傷等によりダクト及び第二付属排気筒への波及的影響を及ぼさないようにする。

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の機器・配管系については、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設の機能を保持できるように設計する。

- (2) ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟において高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能にかかわる設備に対して、その他の設備の地震による損傷等により波及的影響が生じないように設計する。

### 3. 設計用地震力

#### 3.1 地震力の算定法

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟における高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能にかかわる施設の耐震設計に用いる地震力（表 3-1）の算定は以下のとおりとする。

- (1) 廃止措置計画用設計地震動による地震力は、水平 2 方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定する（考え方の詳細を参考 1 に示す）。
- (2) 廃止措置計画用設計地震動による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮の上、適切な解析法を選定するとともに、十分な調査に基づく適切な解析条件を設定する。
- (3) 地震力の算定過程において建物・構築物の設置位置等で評価される入力地震動については、解放基盤表面からの地震波の伝播特性を適切に考慮するとともに、必要に応じて地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。

表 3-1 高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能にかかわる施設の設計に用いる地震力

項目	動的地震力	
	水平	鉛直
建物・構築物	$K_h (S_s)^{(1)}$	$K_v (S_s)^{(2)}$
機器・配管系	$K_h (S_s)^{(1)}$	$K_v (S_s)^{(2)}$

(1)  $K_h (S_s)$  は、水平方向の廃止措置計画用設計地震動に基づく水平地震力。

(2)  $K_v (S_s)$  は、鉛直方向の廃止措置計画用設計地震動に基づく鉛直地震力。

### 4. 機能維持の基本方針

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟における高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能にかかわる設備の安全機能維持は、廃止措置計画用設計地震動に対して、施設の構造強度の確保を基本とする。

#### 4.1 構造強度

廃止措置計画用設計地震動に伴う地震力による荷重と地震力以外の荷重の組合せを適切に考慮した上で、構造強度を確保する設計とする。また、変位及び変形に対し、設計上考慮する。

##### (1) 荷重の種類

###### a. 建物、構築物

(a) 建物、構築物のおかれている状態にかかわらず常時作用している荷重（自重や地下水による浮力等）

(b) 地震力

###### b. 機器・配管系

(a) 運転時の状態で設備に作用する荷重（自重や動的機器の通常の運転時に生じる反力等）

(b) 地震力

(c) 温度条件、圧力条件については、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601（以下「JEAG4601」という。）のクラス 3 機器の供用状態  $D_s$  ( $IV_A S$ ) に準じて、設計最高温度・設計最高圧力を基本とする。

##### (2) 荷重の組合せ

地震力と他の荷重との組合せは以下による。

###### a. 建物・構築物

常時作用している荷重と地震力を組み合わせる。

###### b. 機器・配管系

運転時の状態で施設に作用する荷重と地震力を組み合わせる。

###### c. 荷重の組合せ上の留意事項

(a) 地震力については、水平 2 方向と鉛直方向の地震力とを適切に組み合わせ、影響検討を行うものとする。

(b) ある荷重の組合せ状態での評価が、その他の荷重の組合せ状態での評価より明らかに厳しいことが判明している場合には、その他の荷重の組合せ状態での評価は行わない。

(c) 高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能にかかわる設備を支持する建物・構築物の当該部分の支持機能を確認する場合においては、設計用地震力と、常時作用している荷重、運転時に施設に作用する荷重及びその他必要な荷重とを組み合わせる。

##### (3) 許容限界

各施設の地震力と他の荷重とを組み合わせた状態に対する許容限界は次のとおりとし、JEAG4601、発電用設備規格 JSME 等の安全上適切と認められる規格及び規準又は試験等で妥当性が確認されている値を用いる。

a. 建物・構築物

(a) 廃止措置計画用設計地震動による地震力との組合せに対する許容限界

建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）に対して十分な余裕を有し、終局耐力に対して、妥当な安全余裕をもたせることとする。また、終局耐力は、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又はひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力とし、既往の実験式に基づき適切に定めるものとする。

当該施設を支持する建物・構築物の支持機能が損なわれないことを確認する際の地震動は、支持される施設に適用される地震動とする。

b. 機器・配管系

(a) 廃止措置計画用設計地震動による地震力との組合せに対する許容限界

塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないような応力、荷重等とすること。

c. 基礎地盤の支持性能

(a) 廃止措置計画用設計地震動による地震力との組合せに対する許容限界

接地圧が、安全上適切と認められる規格及び基準による地盤の極限支持力度に対して十分な余裕を有していること。

4.2 評価を個別に行わない設備について

別添 6-1-2-4 に示した設備のうち、以下のものについては個別の評価ではなく他の設備の付属物として評価を行う。

(1) スチームジェット、ポット等の小型の配管付属物

スチームジェット、小容量のポットについては小型で剛性が高いため、それらを取り付く配管の荷重として扱い、その配管の耐震性を確保することで当該機器の耐震性が確保されるとする。

(2) セル

セルは建家躯体の一部であることから、建家躯体がその許容限界を満たすことをもって、セルの耐震性が確保されるとする。

(3) ドリップトレイ

ドリップトレイは地震時には設置される建家躯体と一体となって振動する。

またドリップトレイは金属材料で製作され、建家躯体のコンクリートよりも延性が高い材料であることから建家躯体がその許容限界を満たすことをもって、ドリップトレイの耐震性が確保されるとする。

## 5. 耐震計算の基本方針

前述の耐震設計方針に基づいて設計した施設について、耐震計算を行うに当たり、既設工認で実績があり、かつ、最新の知見に照らしても妥当な手法及び条件を用いることを基本とする。一方、最新の知見を適用する場合は、その妥当性と適用可能性を確認した上で適用する。

耐震計算における動的地震力の水平方向及び鉛直方向の組合せについては、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せで実施した上で、その計算結果に基づき水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せが耐震性に及ぼす影響を評価する（考え方の詳細を参考1に示す）。

### 5. 1 建物・構築物

建物・構築物の評価は、「4. 機能維持の基本方針」で示す荷重条件に対して構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）が「4. 機能維持の基本方針」で示す許容限界内にあることを確認すること（解析による設計）により行う。

評価手法は建物・構築物に用いられる構造材（鉄筋コンクリート）の非線形特性を扱うことのできる時刻歴応答解析法を用いることとし、JEAG4601に基づき実施することを基本とする。また、評価に当たっては材料物性の不確かさを適切に考慮する。

### 5. 2 機器・配管系

機器・配管系の評価は、「3. 設計用地震力」で示す設計用地震力による適切な応力解析に基づいた地震応力と、組み合わせすべき他の荷重による応力との組合せ応力が「4. 機能維持の基本方針」で示す許容限界内にあることを確認すること（公式又は解析による設計）により行う。許容限界は廃止措置計画用設計地震動により荷重を受ける構造の一部が降伏し、塑性変形する場合においても、過大な変形、き裂、破損等が生じてその設備の機能に影響を及ぼすことがなく、かつ変形後に想定される繰り返し応力範囲に対して塑性変形が進展しないもの（シェイクダウン範囲）として設定する。

評価手法は、以下に示す解析法により JEAG4601 に基づき実施することを基本とし、その他の手法を用いる場合については適用性を確認した上で使用することとする（考え方の詳細を別紙 6-1-2-3-1-1 に示す）。剛性の高い（剛な）機器・配管については規準等に示される定式化された評価式又は FEM モデルによる静的解析を基本とする。ここで剛性が高いとは、機器・配管の一次固有振動数が 20Hz 以上のものをいう。こ

の時、剛性の高い機器・配管の静的解析に用いる震度は設置床面の最大応答加速度（ZPA）を1.2倍した値を用いる。

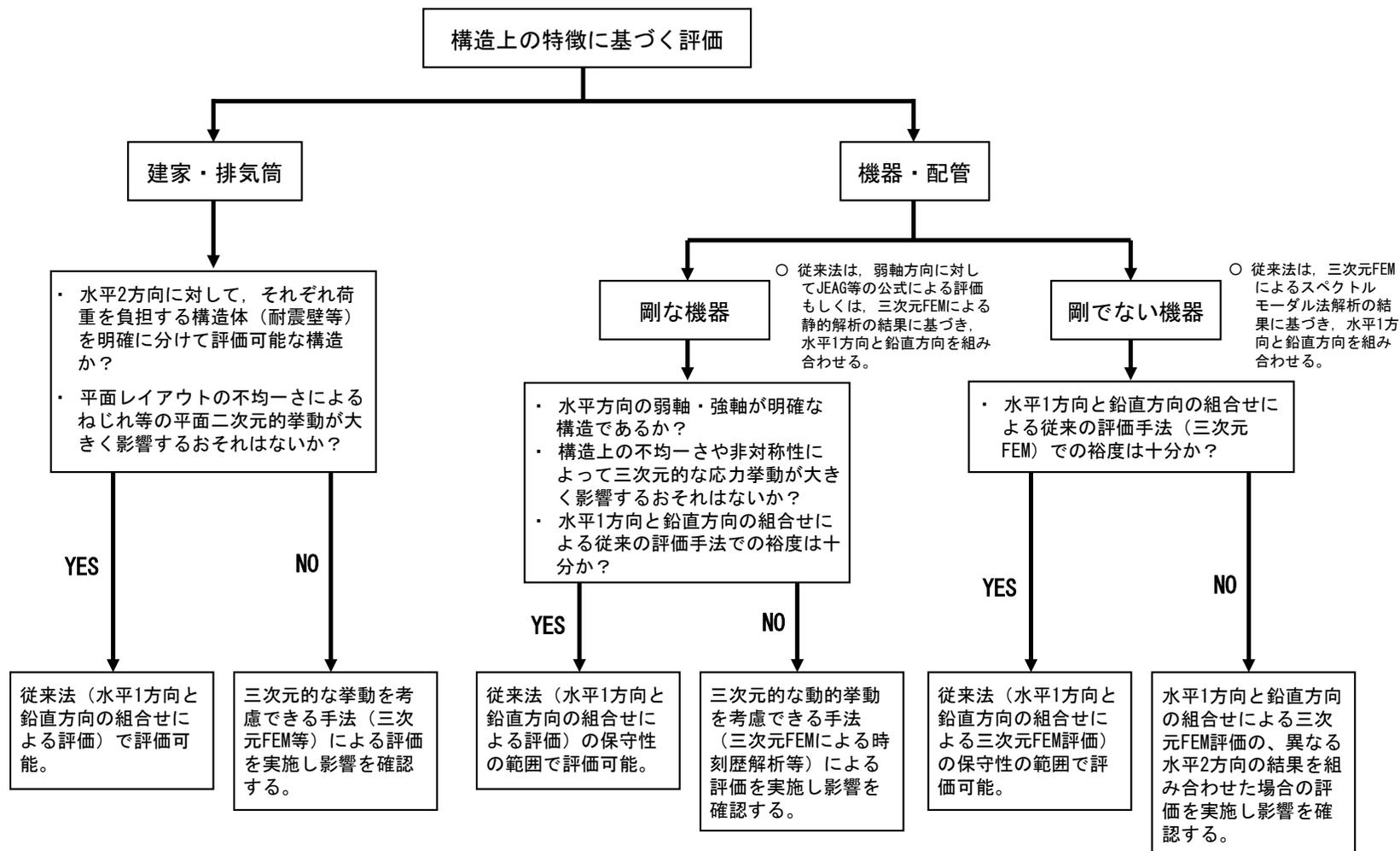
剛でない機器・配管については、地震動との共振といった振動特性を評価できるFEMモデルによる動的解析法（時刻歴応答解析法又は応答スペクトルモーダル解析法）を用いることとし、その場合には寸法や材料物性の不確かさを適切に考慮してモデル化を行う。水平地震動と鉛直地震動による荷重の組み合わせは、入力段階で組み合わせる場合と、個別の評価で得られた応答結果を組み合わせる場合があるが、組み合わせの方法については適切な保守性を考慮する。

(参考 1) 耐震計算における動的地震力の水平方向及び鉛直方向の組合せの考え方について

建物・構築物，機器・配管系の評価における個別の扱いは，それぞれで用いる評価手法及びモデルのもつ保守性，対象の構造的特徴，許容値に対する評価値の裕度の観点から，最終的な評価内容が保守的なものとなるように扱っている（参考 1-表 1 及び参考 1-図 1）。この考え方に従い，従来法である水平 1 方向及び鉛直方向の地震力の組合せによる評価を基本とし，水平 2 方向の組合せを考慮した場合の影響を評価した上で保守的となる結果を用いることとしている。

参考 1-表 1 耐震計算における動的地震力の水平方向及び鉛直方向の組合せの適切性

<p>建家・排気筒</p>	<p>○従来法である水平 1 方向及び鉛直方向の地震力の組合せによる評価の保守性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・質点系モデルでは、水平方向のせん断に抵抗する耐震壁について加振方向に直交している耐震壁は無視するという様に、保守性を考慮してモデル化されている。</li> </ul> <p>○水平 2 方向の組合せを考慮した場合の影響の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水平 2 方向の組合せを詳細に評価する場合は建家を 3 次元でモデル化することから、すべての耐震壁が地震に対する抵抗力として評価される。</li> <li>・建家の平面レイアウトは方形で、耐震壁も直交方向に均等に配置された構成となっているという特徴から、水平 2 方向入力時には各方向の地震力を負担する部位が異なることとなるため、水平 2 方向の地震力の組合せの影響は軽微である。</li> <li>・上記のように対称性のある平面レイアウトで床荷重分布も分散しているため、水平 2 方向入力時にねじれ等の平面 2 次元的挙動が生じる恐れはない。</li> </ul> <p>○以上より、建家の耐震評価では、水平 2 方向の組合せによる影響を考慮した上で、従来法である水平 1 方向及び鉛直方向の地震力の組合せによる評価の方が保守的な結果が得られるため適切であると判断している。</p> <p>なお、従来法のモデル（質点系モデル）の妥当性については、過去の地震観測波を用いた検証計算により妥当性を確認している。</p> <p>○第二付属排気筒については断面が円形で対称性を持つことから、水平 2 方向入力時の各方向での最大応力発生位置が異なるため、水平 2 方向の組合せを考慮した場合の影響は軽微である。</p>
<p>機器・配管系</p>	<p>○従来法である水平 1 方向及び鉛直方向の地震力の組合せによる評価の保守性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・剛な機器の評価（JEAG 式や FEM の静的解析で評価する機器、定ピッチスパン法に基づいて設計された配管）に用いる水平方向の入力加速度は、3 波の 2 方向の床応答の中の最大加速度を 1.2 倍した加速度を用いている。</li> <li>・剛でない機器の評価（スペクトルモーダル法で評価する機器）に用いる水平方向の入力加速度は、3 波の 2 方向の床応答スペクトルをすべて重ね合わせた後、周期方向に±10%拡幅したものをを用いており、単独方向の床応答スペクトルや時刻歴波に対して高い保守性を持つ。</li> </ul> <p>○水平 2 方向の組合せを考慮した場合の影響の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・機器の構造上の特徴として、剛な構造で明確な弱軸方向がある機器及び定ピッチスパン法に基づいて設計された配管については、水平 2 方向の組合せを考慮した場合に加わる強軸方向の影響は軽微である。</li> <li>・機器の構造上の特徴として、円筒容器胴のような対称性のあるものについては、水平 2 方向入力時の各方向での最大応力発生位置が異なるため、水平 2 方向の組合せを考慮した場合の影響は軽微である。</li> <li>・3 次元 FEM モデルを用いてスペクトルモーダル法で解析するもの（剛でない機器）については、従来法の評価で裕度が少なくなる場合に、<math>S_s</math>-D 波の 2 方向の床応答スペクトルを用いて水平 2 方向の組合せを考慮した場合の影響を評価し、保守的な結果となる方を評価に用いている。</li> <li>・3 次元 FEM モデルを用いて時刻歴解析を行うもの（剛であっても 3 次元的な変形挙動に基づき応力発生を評価すべきと判断したもの）については、水平 2 方向の組合せを評価している。解析においては、2 方向の床応答加速度の時刻歴波を直接用いている。</li> </ul> <p>○以上より、機器及び配管系の耐震評価では、水平 2 方向の組合せによる影響を適切に評価した上で、保守的な結果を用いることとしているため適切であると判断している。</p>



参考 1-図 1 水平方向及び鉛直方向の組合せに係る検討フロー

※ 波及的影響を評価する機器については本図の考えとは別に個別の機器の構造的特徴に基づき考慮する（参考 2 参照）。

(参考2) 耐震計算における波及的影響を及ぼす機器の評価の考え方について

高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能にかかわる設備に対して、その他の設備の地震による損傷等により波及的影響が生じないように設計している。

波及的影響の可能性のある設備は、図面調査及びプラントウォークダウンに基づき、設計地震動に対して耐震性を確保するとして設備の近傍に配置され、設計地震動時に転倒、倒壊及び落下のおそれがあると考えられた設備を選定している。

これらの波及的影響の可能性のある設備は、設計地震動による地震力が作用した際には、その設備の機能の喪失は許容するものの、転倒、倒壊及び落下を生じないことが求められることから、それら設備の評価においては、設備の支持・固定部位について評価することとしている。また、それら設備の支持・固定部位が弾性範囲を超えて変形したとしても破断に至らなければ転倒、倒壊及び落下を生じないと考えられる。そこで、対象機器の構造上の特徴を踏まえた評価を実施しており、据付ボルト等による単純な支持構造をもつ設備に対しては、保守的な評価基準として弾性範囲に収めることとし、剛でない機器であっても JEAG 式等の公式に基づき支持部位の評価を行っている。