

# MOX燃料加工施設

## 燃料加工建屋の耐震評価結果

令和4年1月25日



日本原燃株式会社

# (1) 基本方針

## ■ 燃料加工建屋の地震に対する機能要求及び耐震評価方針

### <安全機能を有する施設としての評価>

- 燃料加工建屋は、「**閉じ込め機能を有するSクラスの壁及び床\***」を内包する建屋であり、建屋全体としては、Sクラス施設の間接支持構造物として**支持機能**を有する。
- **閉じ込め機能及び支持機能**については、**基準地震動Ss**による地震力に対してその機能を損なわない設計とする。
- **閉じ込め機能を有するSクラスの壁及び床**に対しては、「**基準地震動Ssによる地震力**」及び「**弾性設計用地震動Sd及び静的地震力のいずれか大きい方の地震力**」に対して**Sクラスとしての構造強度**を有する設計とする。

※MOX粉末を取り扱うSクラスのグローブボックス等を直接収納する構築物の区域の境界を、放射性物質の過度の放出を防止する観点から安全上重要な施設としている。

### <重大事故等対処施設としての評価>

- 燃料加工建屋は、建屋全体として常設耐震重要重大事故等対処設備の間接支持構造物として**支持機能**を有する。
- **支持機能**については、**基準地震動Ss**による地震力に対してその機能を損なわない設計とする。
- 安全機能を有する施設としての評価と評価条件に差がないため、安全機能を有する施設としての評価で代表する。

### <基準地震動Ssを1.2倍した地震力による重大事故等対処の成立性確認>

- MOX燃料加工施設は、基準地震動Ssを上回る地震が発生した場合であっても、重大事故等に対処することができるよう、「**基準地震動Ssを1.2倍した地震力**」による**重大事故等対処の成立性確認**を実施する。
- 燃料加工建屋は、基準地震動Ssを1.2倍した地震力に対し、**重大事故等対処に対して妨げにならないことを確認**する。

# (1) 基本方針

## ■ 許容限界

### <安全機能を有する施設としての評価（地震応答解析による評価）>

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	評価部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 Ss	Sクラスの壁	耐震壁の最大せん断ひずみ度が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ度 $2.0 \times 10^{-3}$
		基準地震動 Ss	基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力を十分下回ることを確認	基礎地盤の 極限支持力度
		保有水平耐力	構造物全体	保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認	必要保有水平耐力
閉じ込め機能	放射性物質の過度の放出を防止する機能を損なわないこと	基準地震動 Ss	Sクラスの壁	耐震壁の最大せん断ひずみ度が放射性物質の過度の放出を防止する機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ度 $2.0 \times 10^{-3}$
支持機能	機器・配管等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 Ss	耐震壁	最大せん断ひずみ度が支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ度 $2.0 \times 10^{-3}$

# (1) 基本方針

## ■ 許容限界

### <安全機能を有する施設としての評価（応力解析による評価）>

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	評価部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
—	構造強度を有すること	弾性設計用地震動 Sd 及び 静的地震力	Sクラスの壁	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度
			Sクラスの床		
		基準地震動 Ss	Sクラスの床	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界に対して妥当な安全余裕を有することを確認	「RC-N規準」に基づく終局耐力（評価は短期許容応力度に対して行う）
閉じ込め機能	放射性物質の過度の放出を防止する機能を損なわないこと	基準地震動 Ss	Sクラスの床	部材に生じる応力が放射性物質の過度の放出を防止する機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく終局耐力（評価は短期許容応力度に対して行う）
支持機能	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 Ss	基礎スラブ	部材に生じる応力が支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく終局耐力

# (1) 基本方針

## ■ 許容限界

### <基準地震動Ssを1.2倍した地震力による重大事故等対処の成立性確認>

【MOX燃料加工施設において想定する地震を要因とする重大事故】

- 基準地震動を上回る地震により、MOX粉末を扱うグローブボックス内で火災が発生し、**MOX粉末が建屋外に放出**されてしまう事故

【建屋における性能目標】

- 建屋が倒壊せず、グローブボックスの支持機能を維持していれば、グローブボックス内にMOX粉末を保持できる。万が一、グローブボックスからの漏洩が生じた場合でも、建屋内に保持することができる。
- 対処に必要な機器の支持機能を確保していれば、重大事故対処に対して妨げとはならない。

⇒重大事故に対処するためには、**建屋が倒壊せず、グローブボックス及び対処に必要な機器の支持機能が確保されていれば良い**

【建屋自体が倒壊しないこと】

- 建屋全体として地震力は主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、梁、間仕切壁等は耐震壁の変形に追従し、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変位が小さく床スラブの変位が抑えられる。さらに、支持地盤が健全であれば、**建屋全体として倒壊には至らない**ことが確認できる。
- 上記を踏まえ、最大接地圧が地盤の極限支持力度を十分に下回ること及び耐震壁が最大せん断ひずみが終局状態に達しないこと（評価基準値としては、下記支持機能における $2.0 \times 10^{-3}$ をもって確認できる）を許容限界とする。

【支持機能が確保されていること】

- 「JEAG4601-1987」にて整理される支持機能に対応する機能維持の代用特性についても確保されれば、**グローブボックス及び対処に必要な機器を保持することができる**。
- 上記を踏まえ、耐震壁の最大せん断ひずみ度 $2.0 \times 10^{-3}$ を満足することを許容限界とする。

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	評価部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
重大事故等対処に対して妨げにならないこと	建屋が倒壊せず、支持機能が確保されていること	基準地震動Ssを1.2倍した地震力	耐震壁	倒壊に至る終局状態に達しないこと	最大せん断ひずみ度 $2.0 \times 10^{-3}$
			支持地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を十分下回ることを確認	基礎地盤の極限支持力度

## (2) 地震応答解析 解析方法

### ■ 地震応答解析の方法

#### これまでの審査を踏まえた反映事項

##### <地盤モデルの設定>

- 直下及び近傍の地盤データに基づき作成した直下地盤モデルを用いる。  
(8/30審査会合 資料1 p11~19にて説明)

##### <入力地震動の算定>

- 燃料加工建屋について、等価線形解析により入力地震動を算定している。
- この際、地盤のせん断ひずみが一般的な適用の目安（1%程度）を大きく上回ること及び試験データに対して外挿範囲となっていたことから、逐次非線形解析及び外挿範囲に対するパラメータスタディを実施し、入力地震動の算定結果に影響を与えないことを確認した。  
(11/15審査会合 資料2 p3~5にて説明)

#### 【地盤モデルの設定】

- 直下及び近傍の地盤データに基づき作成した直下地盤モデル

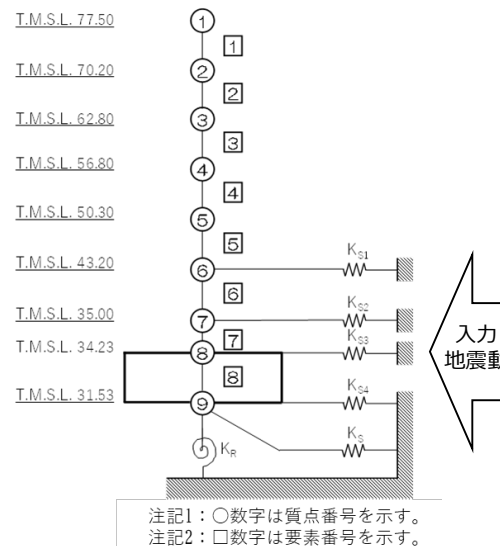
#### 【入力地震動の算定方法】

- 地盤のひずみ依存特性を考慮した等価線形解析

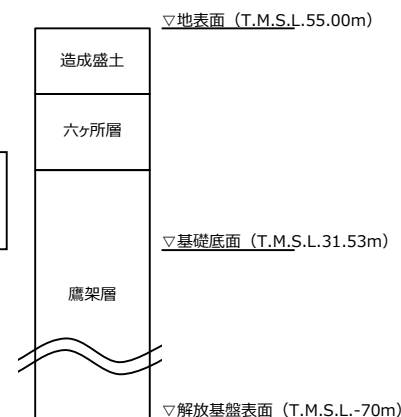
#### 【建屋モデルの設定】

- 側面地盤ばねを考慮した埋込みSRモデル
- 耐震壁の復元力特性を考慮した非線形解析

(単位：m) (建屋モデル)



(地盤モデル)



燃料加工建屋の地震応答解析に用いるモデル（水平方向の例）

## (2) 地震応答解析

# 隣接建屋による影響評価

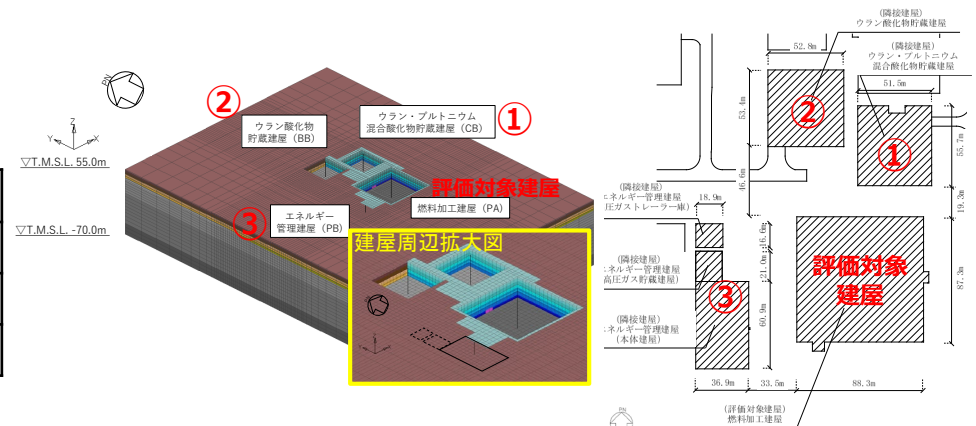
### ■ 隣接建屋による影響評価

#### これまでの審査を踏まえた反映事項

- 隣接建屋の影響評価として地盤3次元FEMモデルを用いた評価を行う。  
(6/28審査会合 資料2-1 p37にて説明)
- 入力地震動を直下地盤モデルを用いたものとする(8/30審査会合 資料1 p13にて説明)としており、その評価結果を本資料に示す。
- 実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置する場合(隣接モデル)と各建屋を単独でモデル化する場合(単独モデル)の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答を比較。
- 建屋を質点系モデルとし、地盤を3次元FEMモデルとした地盤3次元FEMモデルを用いる。
- 隣接モデルでは、評価対象建屋の基礎幅程度の範囲内に存在する建屋を考慮する。
- 単独モデルに対する隣接モデルの応答比率が1を上回る(最大1.040)ことから、応答比率を考慮しても燃料加工建屋の耐震性に影響を与えないことを確認する。(p14,16参照)

隣接モデルに考慮する建屋

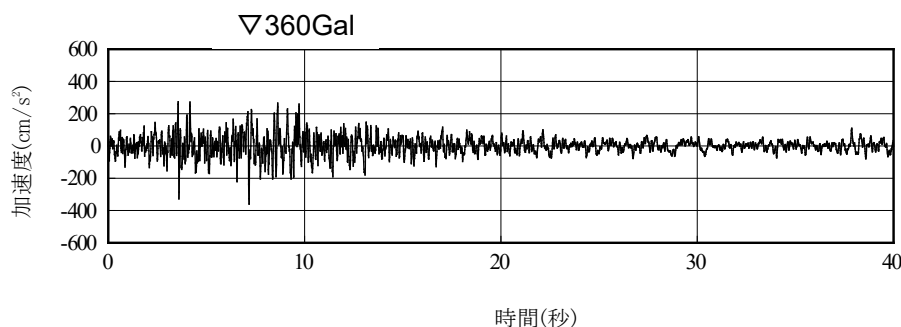
評価対象建屋	隣接モデルに考慮する建屋
燃料加工建屋	①ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
	②ウラン酸化物貯蔵建屋
	③エネルギー管理建屋



## 一関東評価用地震動（鉛直）に関する影響評価

### ■一関東評価用地震動（鉛直）に関する影響評価

- 基準地震動Ss-C4は、水平方向の地震動のみであることから、工学的に水平方向の地震動から設定した鉛直方向の評価用地震動（一関東評価用地震動（鉛直））による地震力を用いて、水平方向と鉛直方向の地震力を組み合わせた影響が考えられる部位に対する影響を確認する。
- 一関東評価用地震動（鉛直）による地震力を考慮した場合、考慮しない場合に対して応答比率が1を上回る（最大1.007）ことから、応答比率を考慮しても燃料加工建屋の耐震性に影響を与えないことを確認する。（p14,16参照）



一関東評価用地震動（鉛直）の加速度時刻歴波形





### (3) 耐震評価

## 耐震評価結果 (建屋応答の傾向)

### ■ 建屋全体としての地震応答解析結果の傾向

- 燃料加工建屋の各階の最大せん断力分布としては、NS方向、EW方向共に、自重を負担する下層部ほど大きくなる一般的な傾向を示しており、特定の層で特異な応力分布を示す傾向は見られない。
- Sクラスの壁及び床が存在する層のせん断スケルトンを確認すると、弾性域は超えているものの、許容限界であるせん断ひずみ度 $2.0 \times 10^{-3}$ に対して裕度をもった結果となっている。

(単位: m)

T.M.S.L. 77.50

T.M.S.L. 70.20

T.M.S.L. 62.80

T.M.S.L. 56.80

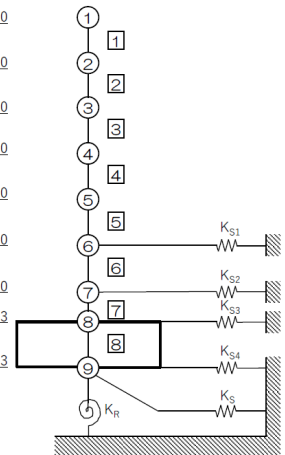
T.M.S.L. 50.30

T.M.S.L. 43.20

T.M.S.L. 35.00

T.M.S.L. 34.23

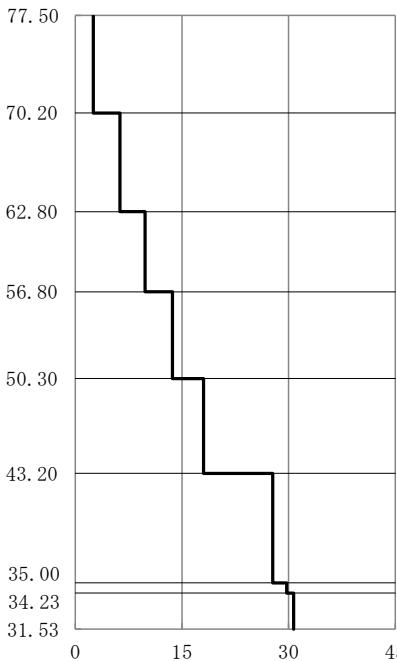
T.M.S.L. 31.53



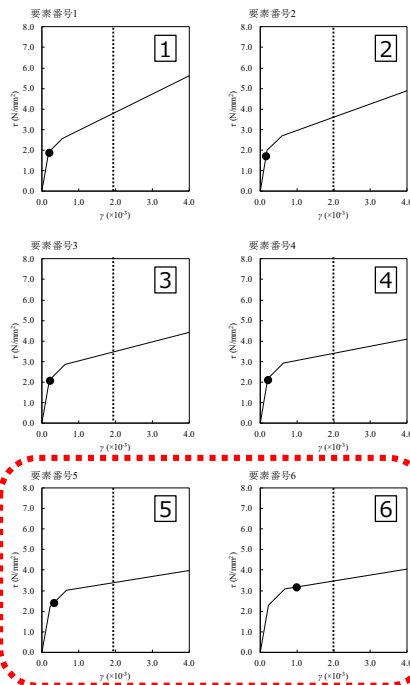
建屋モデル (水平方向)

Sクラスの部位を有する層

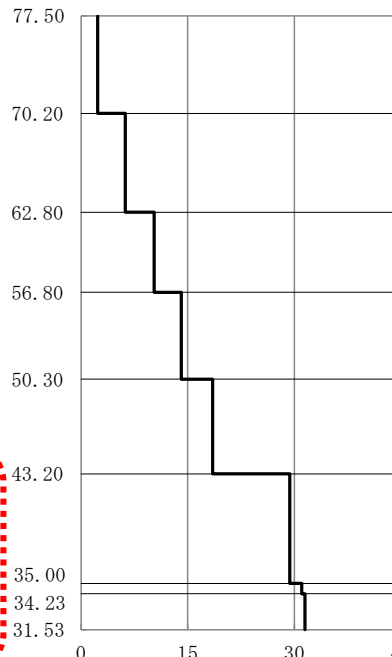
T. M. S. L. (m)



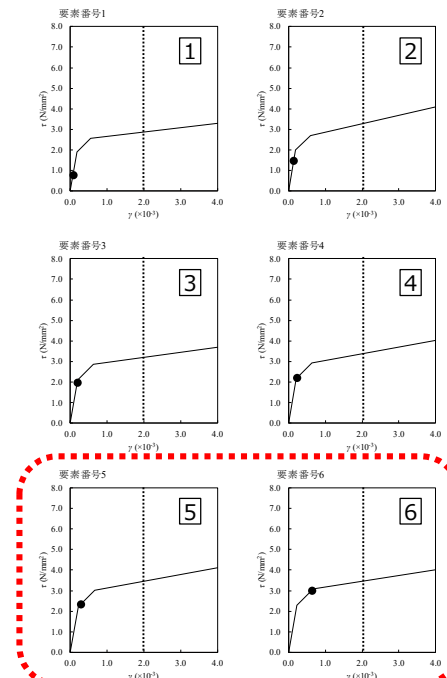
( $\times 10^5 \text{kN}$ )  
NS方向 最大せん断力及び最大せん断ひずみ度分布



T. M. S. L. (m)



( $\times 10^5 \text{kN}$ )  
EW方向 せん断力分布

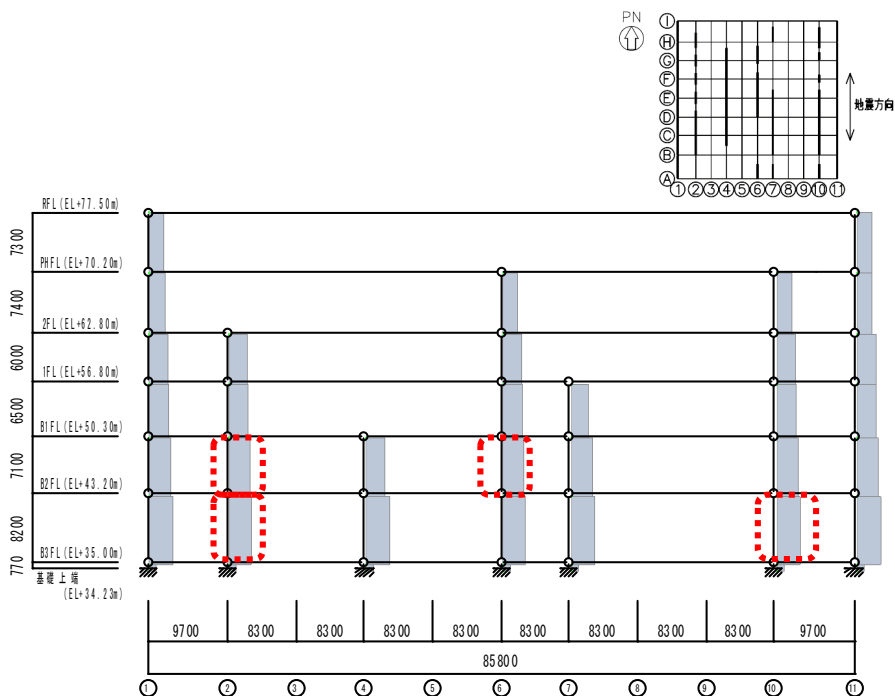


### (3) 耐震評価

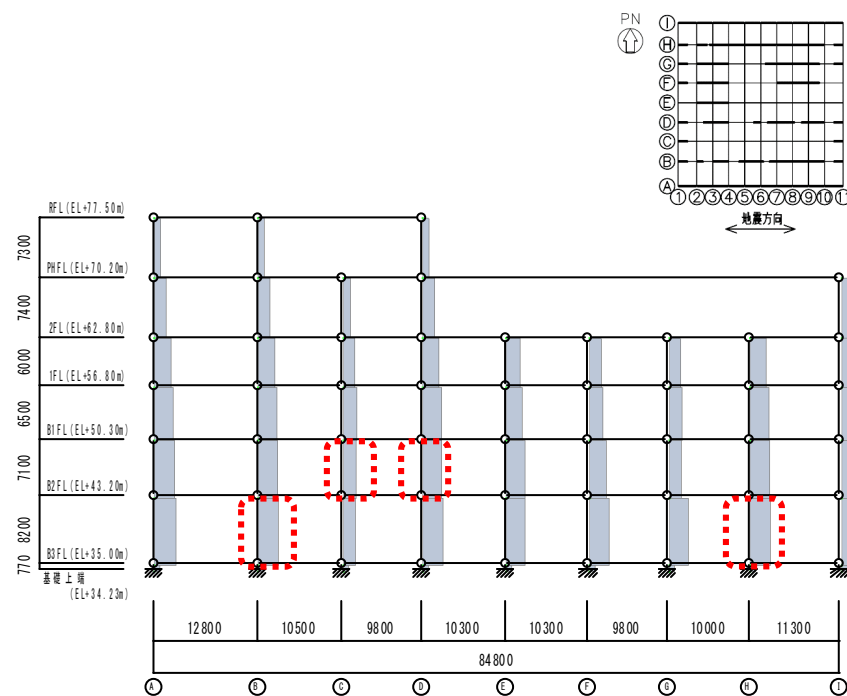
## 耐震評価結果 (建屋応答の傾向)

### ■ 各通りごとの壁に対する負担応力の分布傾向

- 各層及び各通りに対するせん断応力度の分布傾向としては、層内の各部位に応力が概ね均等に分散されており、Sクラスの部位を有する層及び通りに対して応力集中が起こるような傾向とはなっていない。



NS方向地震力 (Sd) に対する各通りのせん断応力度の分布



EW方向地震力 (Sd) に対する各通りのせん断応力度の分布

  Sクラスの部位を有する層及び通り

### (3) 耐震評価

## 耐震評価結果（安全機能を有する施設としての評価）

### ■ 燃料加工建屋の各部位における耐震評価結果

- 燃料加工建屋の各評価部位における耐震評価結果を以下に示す。
- 評価部位において検定比が1.00を超えないことから、安全上支障がないことを確認した。
- 基礎スラブの検定比が最も大きくなる位置はSクラスの壁で囲まれた区域の外であり、検定比が大きい範囲も限定的である。

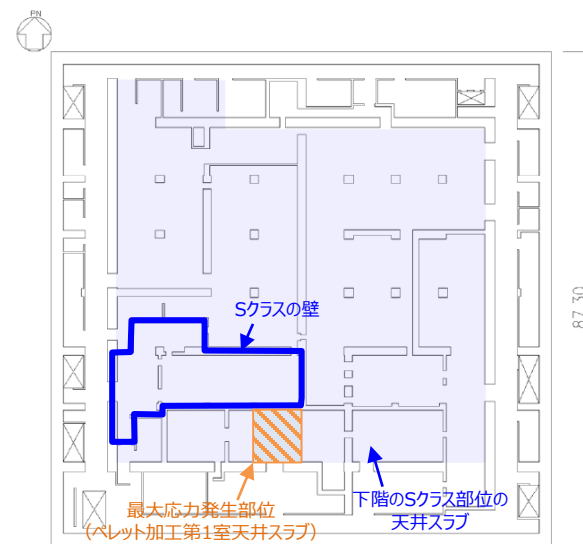
燃料加工建屋の耐震評価結果（各項目に対し検定比が最も厳しい項目を代表して記載）

評価部位	評価項目			耐震評価結果※1 (検定比換算)	判定
	地震力	方向	項目		
耐震壁	Ss※2	NS	せん断ひずみ	0.497	OK
地盤（接地圧）	Ss	EW	最大接地圧	0.0414	OK
保有水平耐力	-	NS	保有水平耐力	0.243	OK
基礎スラブ	Ss	NS	軸力+曲げモーメント	0.752	OK
		NS	面外せん断力	0.861	OK
Sクラスの壁	Sd	NS	鉄筋の引張応力度	0.838	OK
Sクラスの床	Ss※3	EW	曲げモーメント	0.792	OK
		EW	面外せん断力	0.378	OK

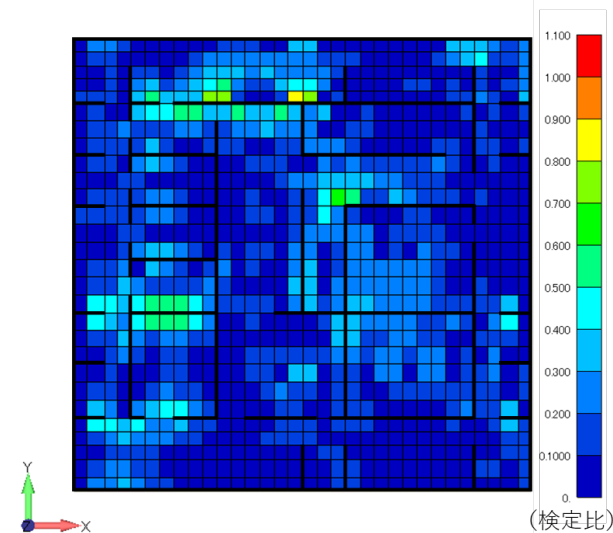
※1：有効数字3桁表記（4桁目を保守的に切り上げ）

※2：Sクラスの壁のSs評価を含む

※3：Sdでの評価については、Ssでの評価を代表とすることで示す



Sクラスの床の評価結果（T.M.S.L. 43.20m床面）



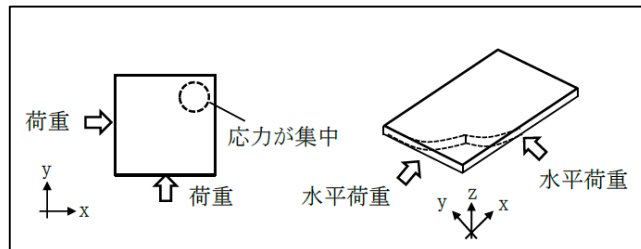
基礎スラブの面外せん断力に対する評価結果  
(検定比コンター図)

### (3) 耐震評価

## 耐震評価結果（安全機能を有する施設としての評価）

### ■ 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価

- 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のある部位について、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位、3次元的な応答特性が想定される部位の抽出を行った。
- 抽出の結果、直交する水平2方向の荷重が応力として集中する矩形の**基礎スラブ**を選定し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施した。
- 評価部位において検定比が1.00を超えないことから、安全上支障がないことを確認した。
- 基礎スラブの検定比が大きくなる位置はSクラスの壁で囲まれた区域の外である。

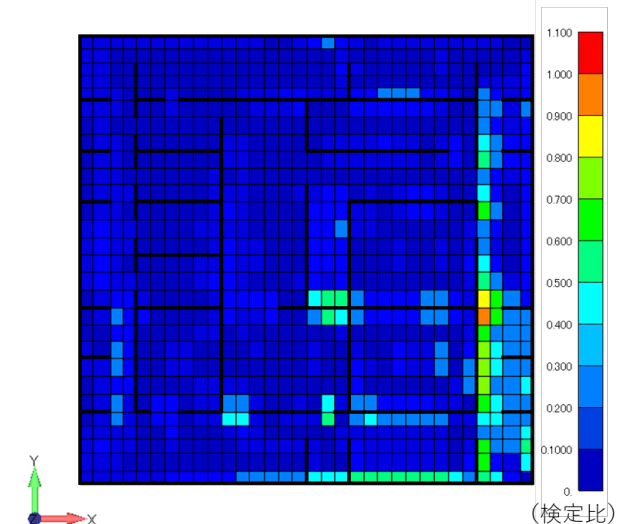


水平2方向の荷重が応力として集中する部位（矩形の基礎スラブ）

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果  
（各項目に対し検定比が最も厳しい項目を代表して記載）

評価部位	評価項目			耐震評価結果※1 (検定比換算)	判定
	地震力	方向	項目		
基礎スラブ	Ss	EW	軸力＋ 曲げモーメント	0.752	OK
		EW	面外せん断力	0.973	OK

※1：有効数字3桁表記（4桁目を保守的に切り上げ）



基礎スラブの面外せん断力に対する評価結果  
(検定比コンター図)

### (3) 耐震評価

## 耐震評価結果（安全機能を有する施設としての評価）

### ■ 隣接建屋及び一関東評価用地震動（鉛直）による耐震性への影響確認結果

- 評価部位において、隣接建屋及び一関東評価用地震動（鉛直）による耐震性への影響を確認した結果、検定比が1.00を超えないことから、耐震性に影響がないことを確認した。

隣接建屋に関する影響検討結果（応答比率を乗じた検定比が最も厳しい項目を代表して記載）

評価部位	①最大応答比率	評価項目			②耐震評価結果※1 (検定比換算)	③応答比率を乗じた検定比※1 (①×②)	判定
		地震力	方向	項目			
耐震壁	1.040	Ss※3	NS	せん断ひずみ	0.497	0.529※2	OK
地盤(接地圧)	1.022	Ss	NS	最大接地圧	0.0400	0.0409	OK
基礎スラブ	1.026	Ss	NS	面外せん断力	0.861	0.884	OK
スクラスの壁	1.037	Sd	NS	鉄筋応力度	0.838	0.870	OK

※1：有効数字3桁表記（4桁目を保守的に切り上げ）

※2：エネルギー一定則を考慮した値のため、単純に①×②の値とはならない

※3：スクラスの壁のSs評価を含む

一関東評価用地震動（鉛直）に関する影響検討結果（応答比率を乗じた検定比が最も厳しい項目を代表して記載）

評価部位	①最大応答比率	評価項目			②耐震評価結果※1 (検定比換算)	③応答比率を乗じた検定比※1 (①×②)	判定
		地震力	方向	項目			
耐震壁		水平方向と鉛直方向の地震力を組み合わせた影響が考えられる部位に該当しない					
地盤(接地圧)	0.974	最大応答比率が1を超えないため、応答比率を乗じた影響評価は不要					
基礎スラブ	0.989	最大応答比率が1を超えないため、応答比率を乗じた影響評価は不要					
スクラスの壁	1.007	Sd	NS	鉄筋（鉛直）の引張応力度	0.838	0.844	OK
スクラスの床	1.003	Ss※2	EW	曲げモーメント	0.792	0.795	OK

※1：有効数字3桁表記（4桁目を保守的に切り上げ）

※2：Sdでの評価については、Ssでの評価を代表とすることで示す

### (3) 耐震評価

## 耐震評価結果（基準地震動Ssを1.2倍した地震力による重大事故等対処の成立性確認）

- 燃料加工建屋の「基準地震動Ssを1.2倍した地震力」による重大事故等対処の成立性確認結果を以下に示す。
- 評価部位において検定比が1.00を超えないことから、重大事故等対処の実施に対して妨げにならないことを確認した。

### ■「基準地震動Ssを1.2倍した地震力」による重大事故等対処の成立性確認結果

燃料加工建屋の耐震評価結果（各項目に対し検定比が最も厳しい項目を代表して記載）

評価部位	評価項目			耐震評価結果※1 (検定比換算)	判定
	地震力	方向	項目		
耐震壁	1.2×Ss	NS	せん断ひずみ	0.329	OK
地盤（接地圧）	1.2×Ss	NS	最大接地圧	0.0428	OK

※1：有効数字3桁表記（4桁目を保守的に切り上げ）

### ■水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果

評価部位	①最大応答比率	評価項目			②耐震評価結果 (検定比換算)	③応答比率を 乗じた検定比※1 (①×②)	判定
		地震力	方向	項目			
耐震壁	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のある部位に該当しない						
地盤(接地圧)	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のある部位に該当しない						



### (3) 耐震評価

## 耐震評価結果（基準地震動Ssを1.2倍した地震力による重大事故等対処の成立性確認）

- 隣接建屋及び一関東評価用地震動（鉛直）による影響を確認した結果を以下に示す。
- 評価部位において検定比が1.00を超えないことから、重大事故等対処に対して妨げにならないことを確認した。

### ■ 隣接建屋による影響評価

隣接建屋に関する影響検討結果（応答比率を乗じた検定比が最も厳しい項目を代表して記載）

評価部位	①最大応答比率	評価項目			②耐震評価結果※ <sup>1</sup> (検定比換算)	③応答比率を乗じた検定比※ <sup>1</sup> (①×②)	判定
		地震力	方向	項目			
耐震壁	1.040	1.2×Ss	NS	せん断ひずみ	0.329	0.348※ <sup>2</sup>	OK
地盤(接地圧)	1.022	1.2×Ss	NS	最大接地圧	0.0428	0.0438	OK

※1：有効数字3桁表記（4桁目を保守的に切り上げ）

※2：エネルギー一定則を考慮した値のため、単純に①×②の値とはならない、

### ■ 一関東評価用地震動（鉛直）に関する影響評価

一関東評価用地震動（鉛直）に関する影響検討結果（応答比率を乗じた検定比が最も厳しい項目を代表して記載）

評価部位	①最大応答比率	評価項目			②耐震評価結果 (検定比換算)	③応答比率を乗じた検定比 (①×②)	判定
		地震力	方向	項目			
耐震壁		水平方向と鉛直方向の地震力を組み合わせた影響が考えられる部位に該当しない					
地盤(接地圧)	0.977	最大応答比率が1を超えないため、応答比率を乗じた影響評価は不要					



## (4) まとめ

- MOX燃料加工施設の第1回申請施設における耐震設計の各段階において、これまでの審査を踏まえた燃料加工建屋の設工認申請書（耐震設計部分）への反映事項を踏まえた耐震評価を行った。
- 評価の結果、燃料加工建屋の耐震性に問題が無いこと、重大事故等対処に対して妨げにならないことを確認した。
- 評価方針並びに評価結果については、設工認申請書に適切に反映する。