



JY-145-1

## **第4条（地震による損傷の防止）に係る説明書**

**【その2：第4条第3、4項】**

**2022年6月21日**

**日本原子力研究開発機構 大洗研究所**

**高速実験炉部**

## 第4条（地震による損傷の防止）第3、4項に係る要求事項と対応概要

要求事項	対応の概要
<p>3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐震重要施設は、基準地震動による地震力に対して、安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。</li> <li>・ Sクラス、Bクラス及びCクラスの施設に係る耐震設計の基本方針を以下に示す。なお、耐震設計は、日本産業規格（JIS）、原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601）、発電用原子力設備規格（設計・建設規格）等の基準・規格に準拠する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>＞ Sクラスの施設は、基準地震動による地震力に対してその安全機能が保持できるように設計する。また、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように設計する。なお、静的地震力は、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。動的地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。</li> <li>＞ Bクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように設計する。また、共振のおそれのある施設については、その影響についての検討を行う。その場合、検討に用いる地震動は、弾性設計用地震動に1/2を乗じたものとする。なお、当該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て算定する。</li> <li>＞ Cクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように設計する。</li> <li>＞ 耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように、以下の項目について、耐震重要施設への影響がないことを確認する。なお、波及的影響の評価に当たっては、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響</li> <li>- 耐震重要施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響</li> <li>- 建物内における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響</li> <li>- 建物外における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<p>4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子炉施設を設置する敷地に該当する斜面はない。</li> </ul>

# 耐震設計の基本方針

(1) 原子炉施設は、耐震重要度に応じて、以下の耐震重要度分類に分類する。なお、設計にあつては、水冷却型試験研究炉との構造上の相違（低圧、薄肉、高温構造）を考慮するとともに、耐震重要度分類はその設計の特徴を十分踏まえて行うものとする。また、耐震重要施設は、Sクラスの施設とする。

**Sクラス** 安全施設のうち、その機能喪失により周辺の公衆に過度の放射線被ばくを与えるおそれのある設備・機器等を有する施設（「過度の放射線被ばくを与えるおそれのある」とは、安全機能の喪失による周辺の公衆の実効線量の評価値が発生事故当たり5mSvを超えることをいう。）

**Bクラス** 安全施設のうち、その機能を喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設

**Cクラス** Sクラス、Bクラス以外であつて、一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設

(2) 原子炉施設は、耐震重要度分類の各クラスに応じて算定する地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する地盤に設置する。

(3) Sクラスの施設は、基準地震動による地震力に対してその安全機能が保持できるように設計する。また、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように設計する。なお、静的地震力は、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。動的地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。

(4) Bクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように設計する。また、共振のおそれのある施設については、その影響についての検討を行う。その場合、検討に用いる地震動は、弾性設計用地震動に1/2を乗じたものとする。なお、当該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て算定する。

(5) Cクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように設計する。

(6) 耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

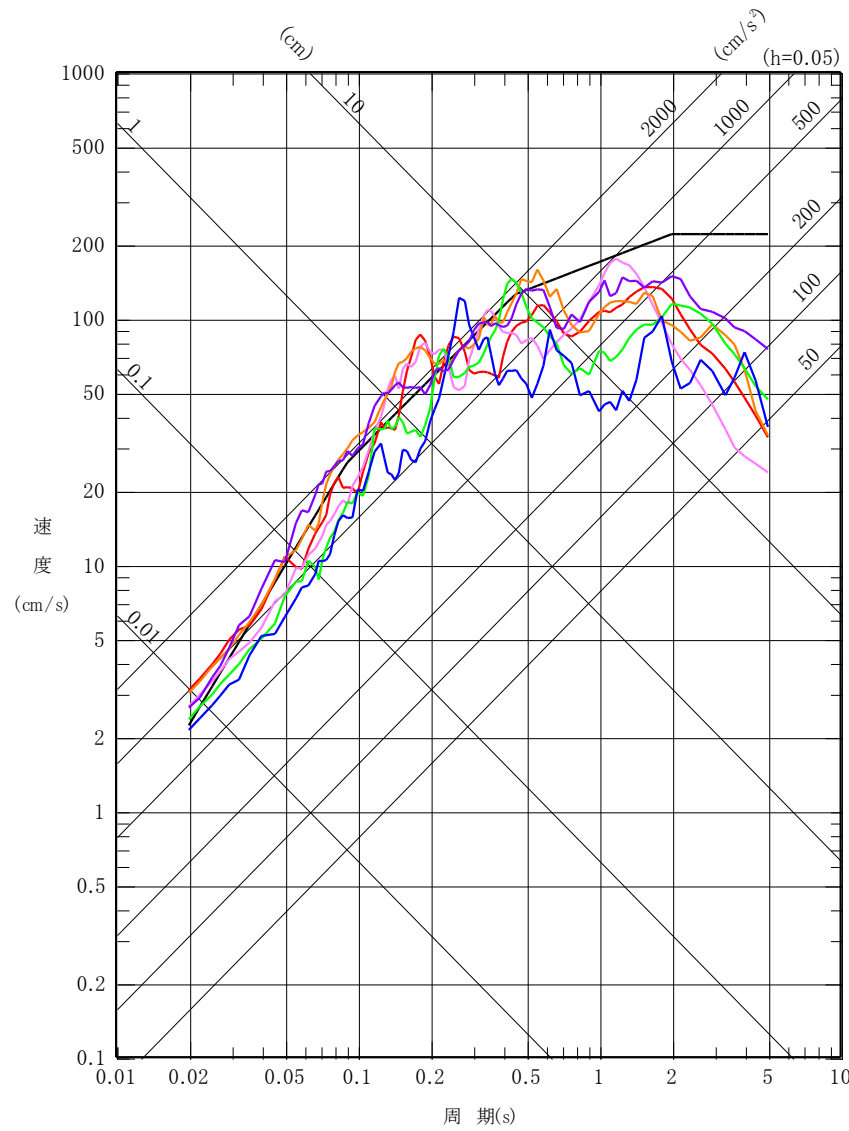
# 地震力の算定法

静的地震力	動的地震力
<p>静的地震力は、Sクラス、Bクラス及びCクラスの施設に適用することとし、それぞれの耐震重要度分類に応じて、以下の地震層せん断力係数<math>C_i</math>及び震度に基づき算定する。</p> <p>(1) 建物・構築物 水平地震力は、地震層せん断力係数<math>C_i</math>に、以下に示す耐震重要度分類に応じた係数を乗じ、さらに当該層以上の重量を乗じて算定する。</p> <p style="padding-left: 40px;">Sクラス 3.0 Bクラス 1.5 Cクラス 1.0</p> <p>ここで、地震層せん断力係数<math>C_i</math>は、標準せん断力係数<math>C_0</math>を0.2とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とする。また、建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力を上回ることを確認する際に用いる必要保有水平耐力の算定においては、地震層せん断力係数<math>C_i</math>に乘じる施設の耐震重要度分類に応じた係数は、耐震重要度分類の各クラスともに1.0とし、その際に用いる標準せん断力係数<math>C_0</math>は1.0とする。</p> <p>Sクラスの建物・構築物については、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。鉛直地震力は、震度0.3を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求めた鉛直震度より算定する。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。</p> <p>(2) 機器・配管系 静的地震力は、上記(1)に示す地震層せん断力係数<math>C_i</math>に施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じたものを水平震度とし、当該水平震度及び鉛直震度をそれぞれ20%増しとした震度より求める。なお、Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。</p>	<p>動的地震力は、Sクラスの施設に適用し、基準地震動及び弾性設計用地震動から定める入力地震動を入力として、動的解析により、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。Bクラスの施設のうち、共振のおそれのある施設については、弾性設計用地震動に1/2を乗じた動的地震力を適用する。</p> <p>(1) 入力地震動 建物・構築物の地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義された基準地震動又は弾性設計用地震動を用いて、敷地の地質・地質構造の調査及び地盤の調査の結果に基づき、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して算定する。</p> <p>(2) 動的解析法 (i) 建物・構築物 動的解析は、スペクトル・モーダル解析法又は時刻歴応答解析法を用いて行うものとする。解析にあたっては、建物・構築物と地盤との動的相互作用を考慮するとともに、建物・構築物の剛性について、それらの形状、構造、特性等を十分考慮して評価し、集中質点系に置換した解析モデルを設定する。動的解析に用いる地盤のばね定数及び減衰定数は、安全上適切と認められる規格及び基準、既往の振動実験及び地震観測の調査結果等を考慮して適切な値を設定する。</p> <p>動的解析は、弾性設計用地震動に対して弾性応答解析を行う。基準地震動に対しては、主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には、規格・基準又は実験式等に基づき、該当する部分の構造特性に応じて、その弾塑性挙動を適切に模擬した復元力特性を考慮した応答解析を行う。また、Sクラスの施設を支持する建物・構築物の支持機能を検討するための動的解析において、建物・構築物等の主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には、その弾塑性挙動を適切に模擬した復元力特性を考慮した応答解析を行う。</p> <p>(ii) 機器・配管系 機器の動的解析については、その形状を考慮した1質点系若しくは多質点系等に置換した解析モデルを設定し、設計用床応答スペクトルを用いたスペクトル・モーダル解析又は時刻歴応答解析により応答を求める。また、配管系の動的解析については、その仕様に応じて適切なモデルに置換し、設計用床応答スペクトルを用いたスペクトル・モーダル解析又は時刻歴応答解析により応答を求める。</p> <p>動的解析に用いる機器・配管系の減衰定数は、安全上適切と認められる規格及び基準、既往の振動実験、地震観測の調査結果等を考慮して適切な値を設定する。</p> <p>剛性の高い機器・配管系は、その機器・配管系が設置された床面の最大床応答加速度の1.2倍の加速度を震度として作用させて地震力を算定する。</p>

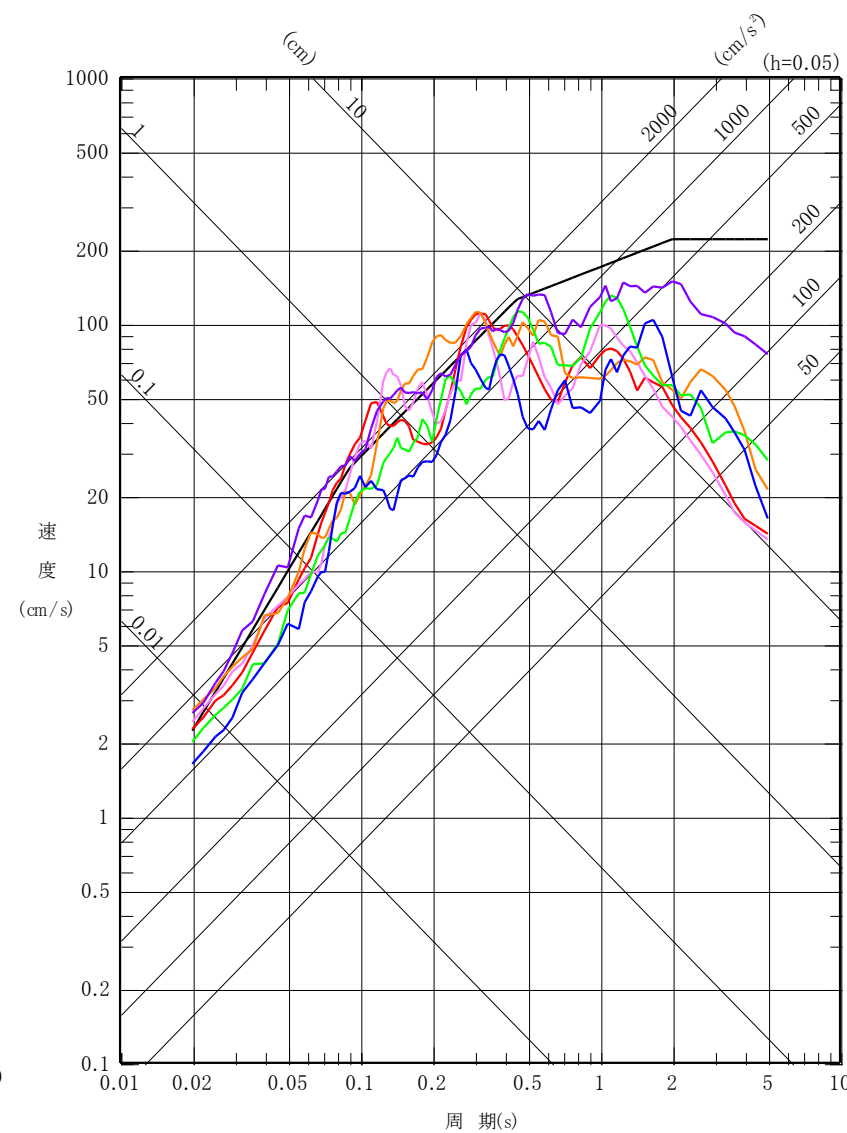
# 基準地震動（1/2：応答スペクトル）

## 基準地震動S<sub>s</sub>の応答スペクトル

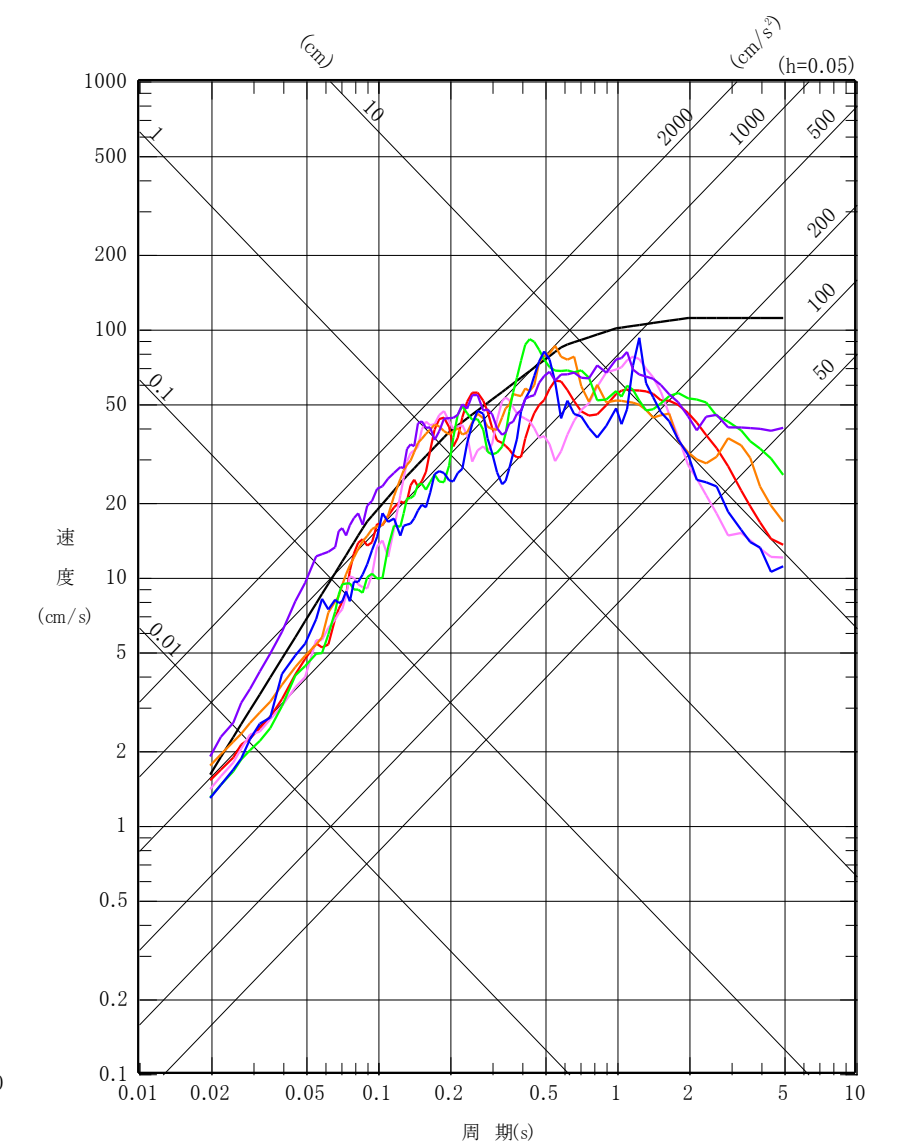
- S<sub>s</sub>-D 応答スペクトル手法による基準地震動
- S<sub>s</sub>-1 F3断層～F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- S<sub>s</sub>-2 F3断層～F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- S<sub>s</sub>-3 F3断層～F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- S<sub>s</sub>-4 F3断層～F4断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点3)
- S<sub>s</sub>-5 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- S<sub>s</sub>-6 標準応答スペクトルを考慮した地震動



NS成分



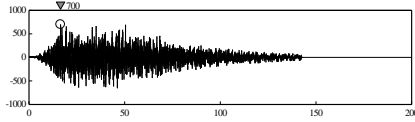
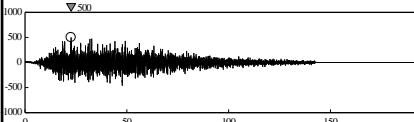



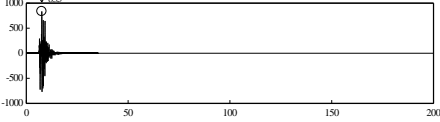
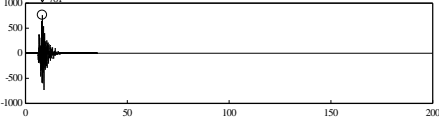
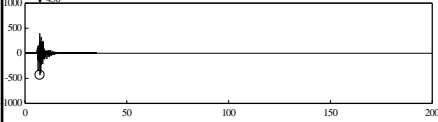



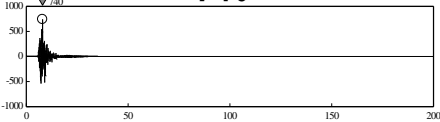
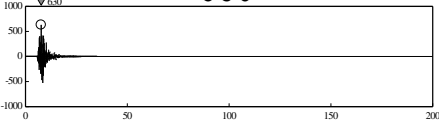
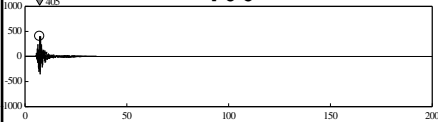
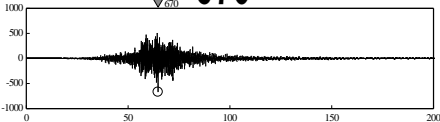
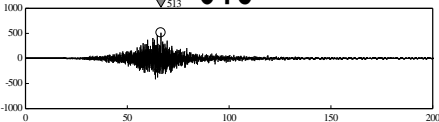
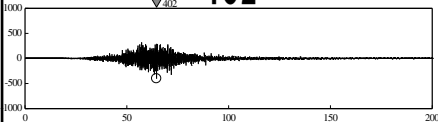
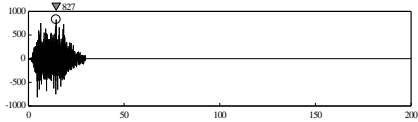
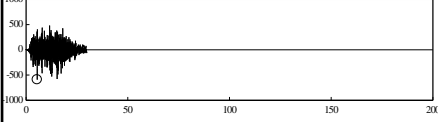
EW成分



UD成分

# 基準地震動（2/2：最大加速度値）

基準地震動S<sub>s</sub>※の最大加速度の一覧を示す。

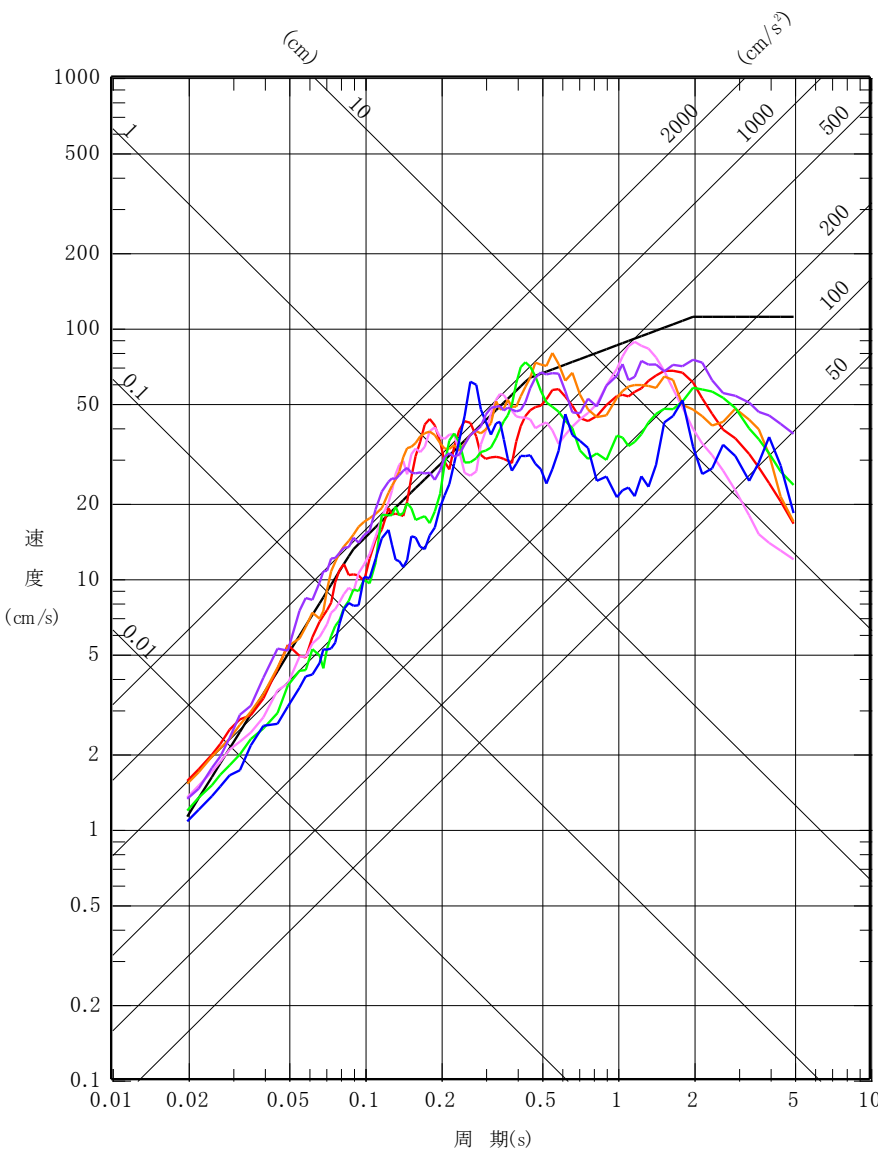
基準地震動		最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		
		NS成分	EW成分	UD成分
S <sub>s</sub> -D	応答スペクトル手法による基準地震動	700 		500 
S <sub>s</sub> -1	F 3 断層～F 4 断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点 1)	973 	711 	474 
S <sub>s</sub> -2	F 3 断層～F 4 断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点 2)	835 	761 	436 
S <sub>s</sub> -3	F 3 断層～F 4 断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点 3)	948 	850 	543 
S <sub>s</sub> -4	F 3 断層～F 4 断層による地震 (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点 3)	740 	630 	405 
S <sub>s</sub> -5	2011年東北地方太平洋沖型地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	670 	513 	402 
S <sub>s</sub> -6	標準応答スペクトルを考慮した地震動	827 		591 

※表中のグラフは各基準地震動S<sub>s</sub>の加速度時刻歴波形（縦軸：加速度 [cm/s<sup>2</sup>], 横軸：時間 [s]）

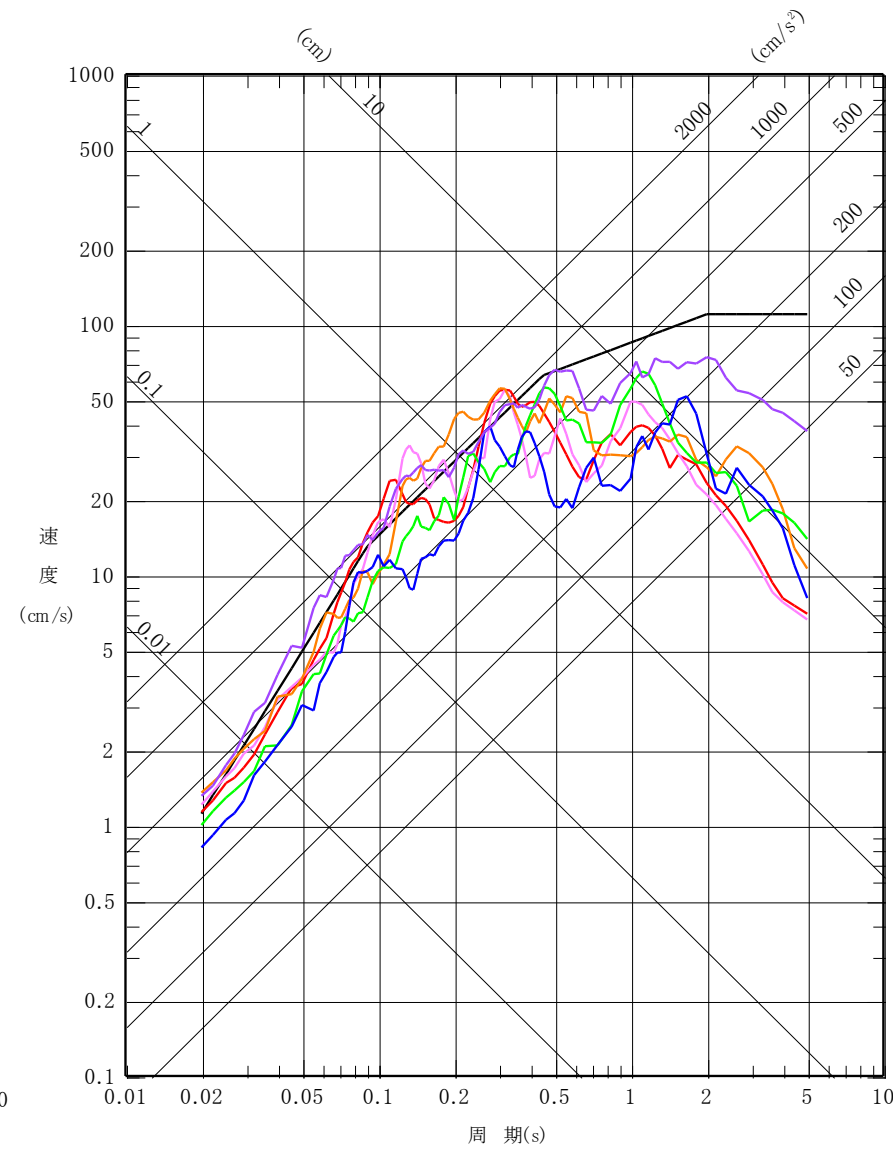
# 弾性設計用地震動（1/4：応答スペクトル）

弾性設計用地震動は、基準地震動との応答スペクトルの比率の値が目安として0.5を下回らないように、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和56年7月20日原子力安全委員会決定）」における基準地震動S1を踏まえ、工学的判断から基準地震動に係数0.5を乗じて設定する。

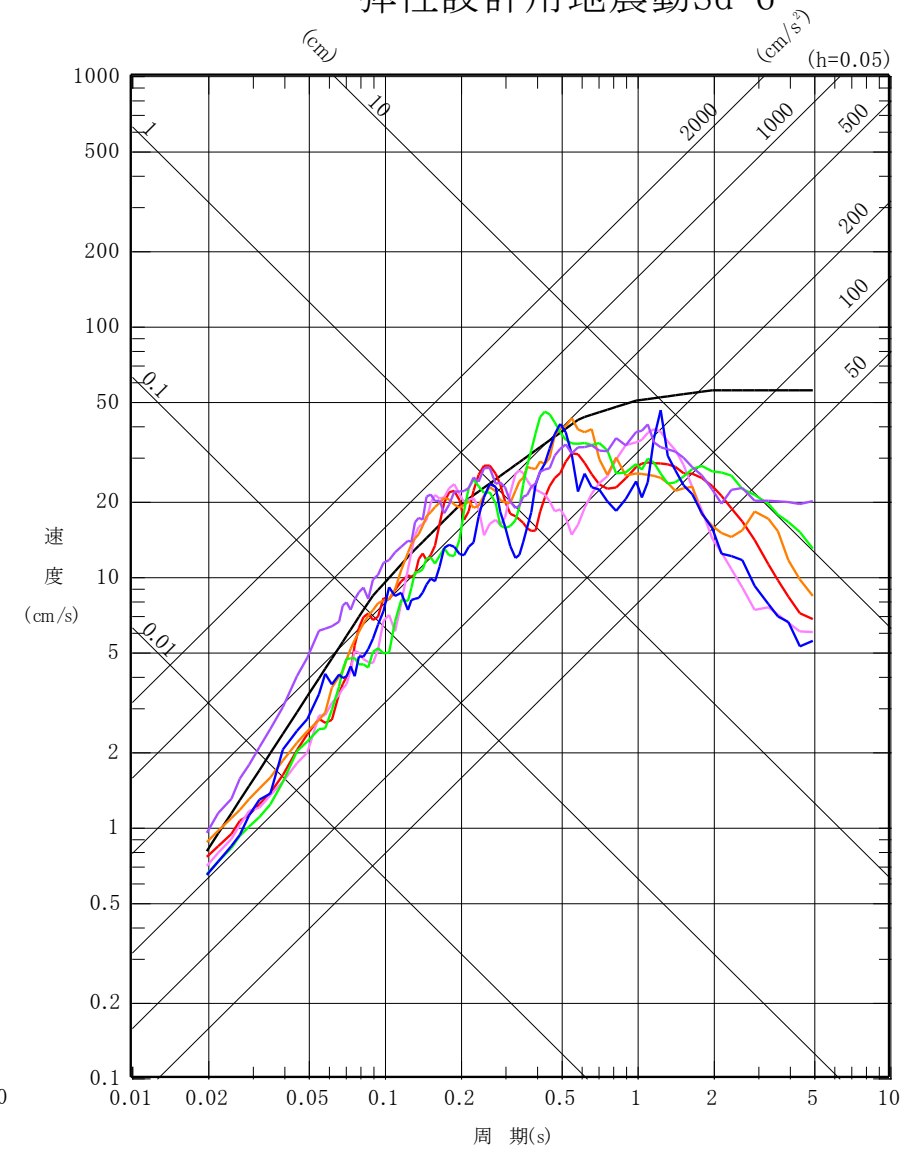
- 弾性設計用地震動Sd-D
- 弾性設計用地震動Sd-1
- 弾性設計用地震動Sd-2
- 弾性設計用地震動Sd-3
- 弾性設計用地震動Sd-4
- 弾性設計用地震動Sd-5
- 弾性設計用地震動Sd-6



NS成分



EW成分



UD成分

# 彈性設計用地震動 (2/4 : 最大加速度值)

彈性設計用 地震動	最大加速度( $\text{cm/s}^2$ )		
	NS成分	EW成分	UD成分
Sd-D	<p>350</p>		<p>250</p>
Sd-1	<p>486</p>	<p>356</p>	<p>237</p>
Sd-2	<p>417</p>	<p>380</p>	<p>218</p>
Sd-3	<p>474</p>	<p>425</p>	<p>272</p>
Sd-4	<p>370</p>	<p>315</p>	<p>202</p>
Sd-5	<p>335</p>	<p>257</p>	<p>201</p>
Sd-6	<p>414</p>		<p>296</p>



# 弾性設計用地震動（3/4：設定の考え方）

- 弾性設計用地震動は、原子炉施設の安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率が0.5程度であるという知見<sup>(1)</sup>を踏まえ、また、弾性設計用地震動を原子炉建物及び原子炉附属建物設計時より保守的な設定とするため、応答スペクトルに基づく基準地震動 $S_s-D$ に係数0.5を乗じた弾性設計用地震動 $S_d-D$ が、設計時に用いた「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和56年7月20日原子力安全委員会決定）」に基づく基準地震動 $S_1$ の応答スペクトルを下回らない（右図参照）ものとして、工学的判断により基準地震動に係数0.5を乗じて設定する。

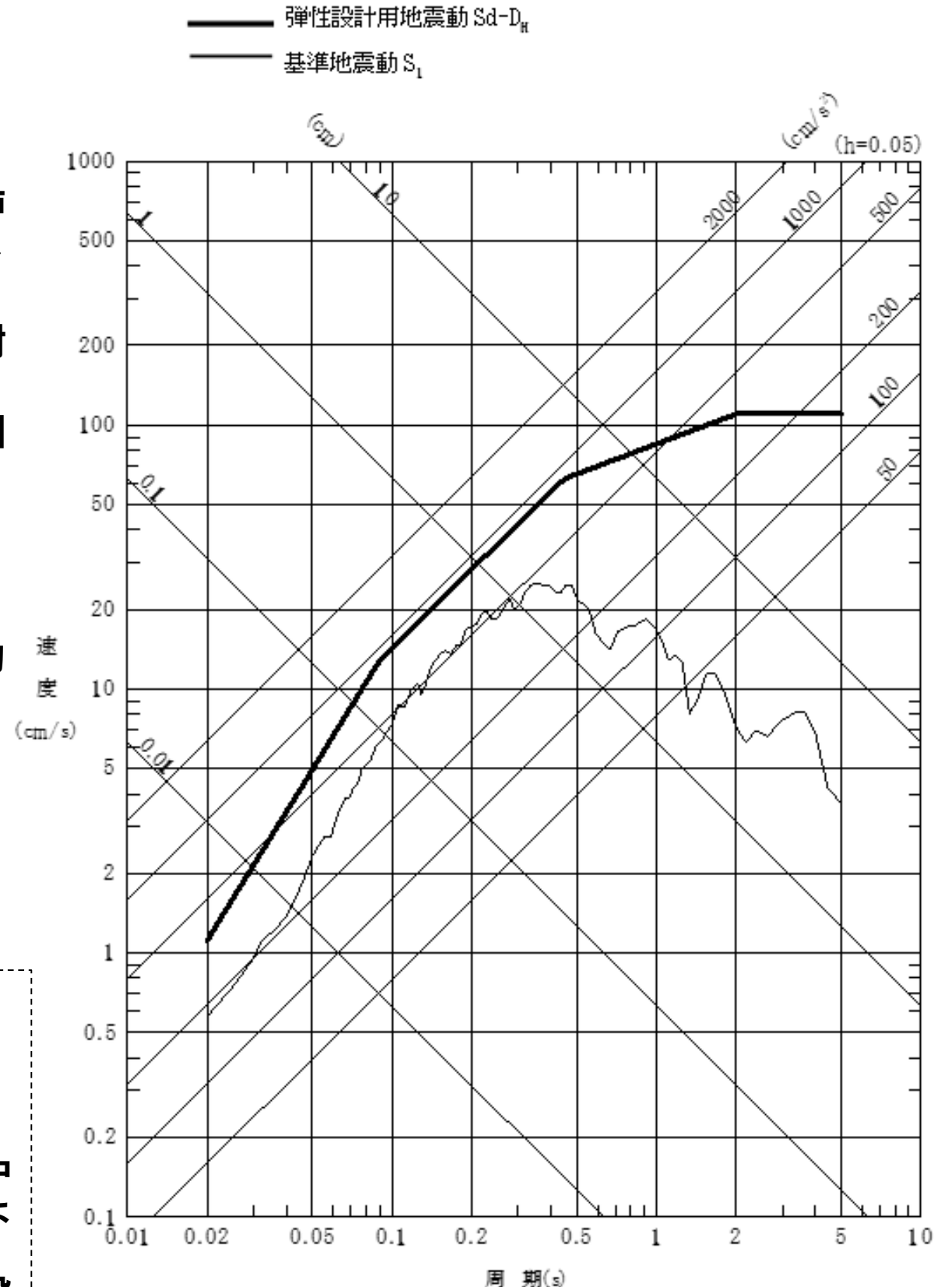
(1) 社団法人日本電気協会電気技術基準調査委員会原子力発電耐震設計特別調査委員会建築部会；「静的地震力の見直し（建築編）に関する調査報告書（概要）」（1994年）

- 当該係数は、「实用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」の別記2の要求を満足する。

「实用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」の別記2より抜粋

## 一 弾性設計用地震動による地震力

- 弾性設計用地震動は、基準地震動（第4条第3項の「その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震」による地震動をいう。以下同じ。）との応答スペクトルの比率の値が、目安として0.5を下回らないような値で、工学的判断に基づいて設定すること。  
（以下、省略）



弾性設計用地震動 $S_d-D$ と基準地震動 $S_1$ の応答スペクトルの比較（水平方向）

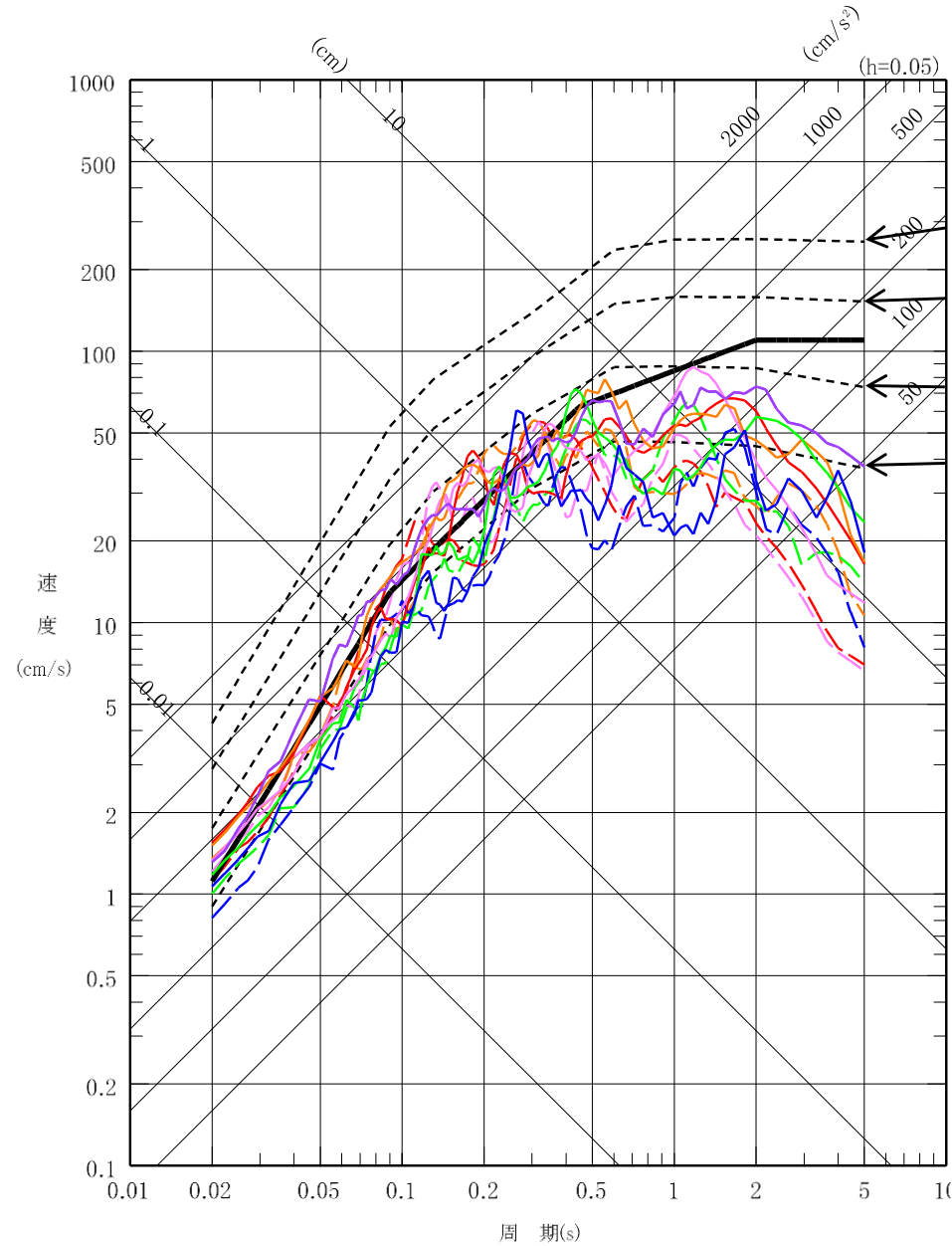
# 弾性設計用地震動（4/4：一様ハザードスペクトル）

弾性設計用地震動の年超過確率は、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度

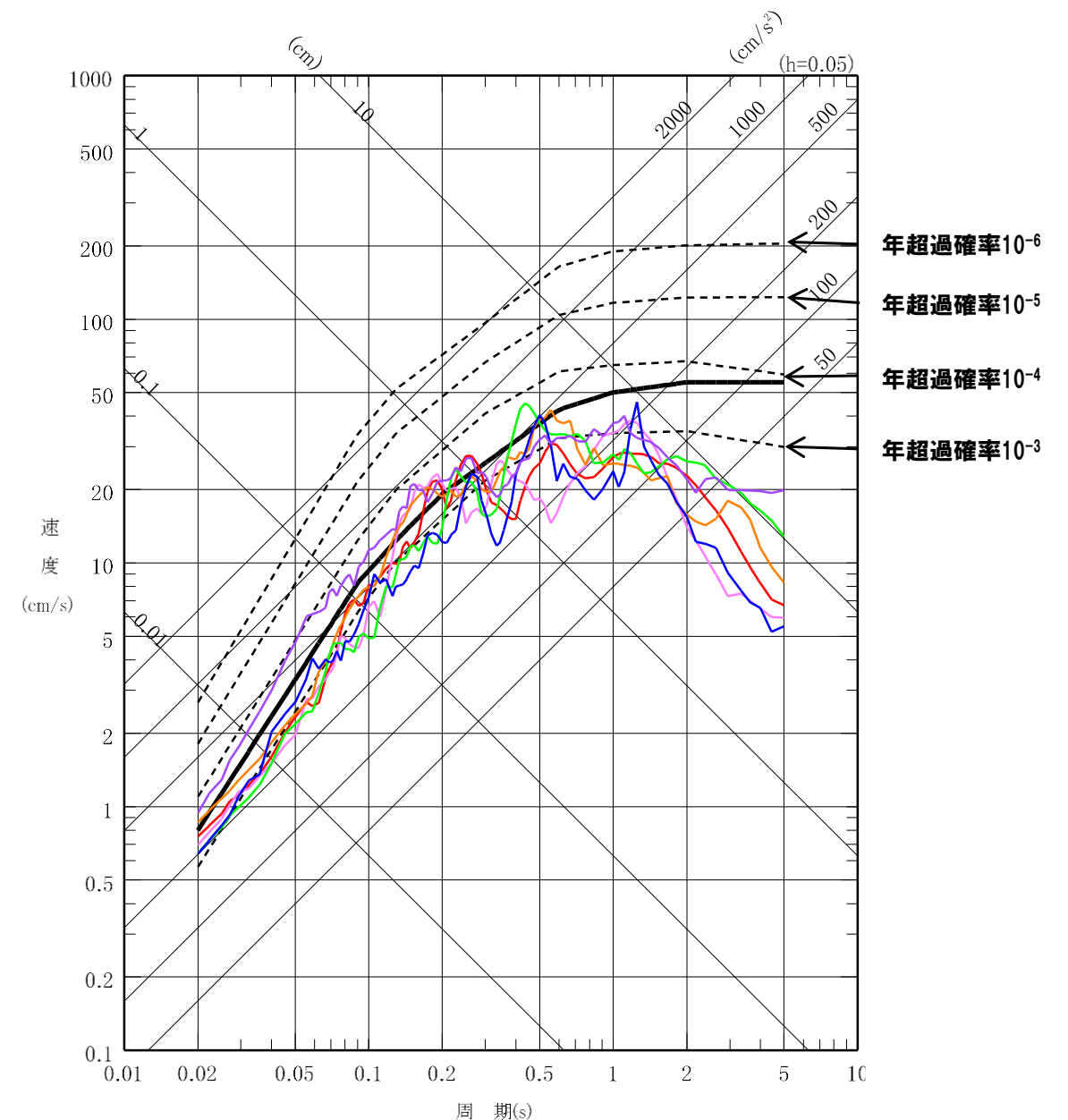
- 一様ハザードスペクトル
- 弾性設計用地震動 Sd-D
- 弾性設計用地震動 Sd-1<sup>※1</sup>
- 弾性設計用地震動 Sd-2<sup>※1</sup>
- 弾性設計用地震動 Sd-3<sup>※1</sup>
- 弾性設計用地震動 Sd-4<sup>※1</sup>
- 弾性設計用地震動 Sd-5<sup>※1</sup>
- 弾性設計用地震動 Sd-6

※1 実線はNS成分、破線はEW成分

- 一様ハザードスペクトル
- 弾性設計用地震動 Sd-D
- 弾性設計用地震動 Sd-1
- 弾性設計用地震動 Sd-2
- 弾性設計用地震動 Sd-3
- 弾性設計用地震動 Sd-4
- 弾性設計用地震動 Sd-5
- 弾性設計用地震動 Sd-6



水平方向



鉛直方向

# 荷重の組合せの考え方

## (1) 建物・構築物

- (i) Sクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時の状態で作用する荷重と基準地震動による地震力を組み合わせる。
- (ii) Sクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時の状態で作用する荷重と弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を組み合わせる。
- (iii) Bクラス及びCクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時の状態で作用する荷重と静的地震力を組み合わせる。

## (2) 機器・配管系

- (i) Sクラスの機器・配管系については、通常運転時の状態で作用する荷重、及び運転時の異常な過渡変化時の状態若しくは設計基準事故時の状態で作用する荷重のうち、長時間その作用が続く荷重と基準地震動による地震力を組み合わせる。
- (ii) Sクラスの機器・配管系については、通常運転時の状態で作用する荷重、又は運転時の異常な過渡変化時の状態若しくは設計基準事故時の状態で作用する荷重のうち、長時間その作用が続く荷重と弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力を組み合わせる。
- (iii) Bクラス及びCクラスの機器・配管系については、通常運転時の状態で作用する荷重又は運転時の異常な過渡変化時の状態で作用する荷重と静的地震力を組み合わせる。

## (3) 荷重の組合せ上の留意事項

- (i) 耐震設計では、水平2方向及び鉛直方向の地震力による応力を適切に組み合わせる。
- (ii) 明らかに、他の荷重の組合せ状態での評価が厳しいことが判明している場合には、その荷重の組合せ状態での評価は行わなくてもよいものとする。
- (iii) 複数の荷重が同時に作用する場合、それらの荷重による応力の各ピークの生起時刻に明らかになぜがあることが判明しているならば、必ずしも、それぞれの応力のピーク値を重ねなくともよいものとする。
- (iv) 上位の耐震クラスの施設を支持する建物・構築物の当該部分の支持機能を検討する場合においては、支持される施設の耐震重要度分類に応じた地震力と常時作用している荷重、運転時の状態で作用する荷重及びその他必要な荷重とを組み合わせる。

# 許容限界の考え方（1/3：許容限界）

## （1）建物・構築物

### （i）Sクラスの建物・構築物

#### a. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

#### b. 基準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、十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、終局耐力に対して妥当な安全余裕を持たせることとする。なお、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、既往の実験式等に基づき適切に定めるものとする。

### （ii）Bクラス及びCクラスの建物・構築物

常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重と静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

### （iii）耐震クラスの異なる施設を支持する建物・構築物

上記の「（i）Sクラスの建物・構築物 b. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界」を適用するほか、耐震クラスの異なる施設が、それを支持する建物・構築物の変形等に対して、その機能が損なわれないものとする。

### （iv）建物・構築物の保有水平耐力

建物・構築物については、当該建物・構築物の保有水平耐力が、必要保有水平耐力に対して耐震重要度に応じた妥当な安全余裕を有していることを確認する。

## （2）機器・配管系

### （i）Sクラスの機器・配管系

#### a. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

応答が全体的におおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように、降伏応力又はこれと同等の安全性を有する応力を許容限界とする。

#### b. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

構造物の相当部分が降伏し塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生じ、その施設の機能に影響を及ぼすことがない程度に応力を制限する。なお、地震時又は地震後に動作を要求される動的機器については、基準地震動による応答に対して、実証試験等により確認されている機能維持加速度等を許容限界とする、若しくは解析又は実験等により、その機能が阻害されないことを確認する。

### （ii）Bクラス及びCクラスの機器・配管系

応答が全体的におおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように、降伏応力又はこれと同等の安全性を有する応力を許容限界とする。

# 許容限界の考え方（2/3：準拠する基準・規格）

- 試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準（文部科学省科学技術・学術政策局）
- 研究開発段階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の解釈 別紙1 ナトリウム冷却型高速炉に関する構造等の技術基準の付録1 高速原型炉第1種機器の高温構造設計指針及び付録2 高速原型炉高温構造設計指針 材料強度基準等（原子力規制委員会）
- 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会）
- 日本産業規格（JIS）
- 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601（（社）日本電気協会）
- 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601（（社）日本電気協会）
- 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会）
- 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会）
- 鋼構造設計規準（（社）日本建築学会）
- 建築基礎構造設計指針／各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会）
- 煙突構造設計指針（（社）日本建築学会）
- 鋼構造座屈設計指針／鋼構造接合部設計指針／鋼構造塑性設計指針（（社）日本建築学会）

# 許容限界の考え方（3/3：基準・規格の適用性）

## <材料規格>

- 本申請において、機器等に使用する材料は、「発電用原子力設備規格（（社）日本機械学会）」及び「ナトリウム冷却型高速炉に関する構造等の技術基準の付録2 高速原型炉高温構造設計指針 材料強度基準等」の規格に適合するもの又は同等以上の化学的成分及び機械的強度を有するものとする。

※ 「常陽」が設置許可（昭和45年2月12日：45原第663号）を得た当時の状況において、一部に、ASME Code Section II規格材を使用している。ただし、当該材料は、すでにJIS規格材として制定されている（JIS規格材とASME相当材の対照表：平成2年に通商産業省資源エネルギー庁公益事業部原子力発電安全管理課監修、（社）火力原子力発電技術協会発行の「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準 質疑応答集」のp227～p237参照）。

## <構造設計規格>

- 本申請において、機器・配管等の構造設計には、「試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準」を適用する。なお、第1種容器及び第1種管は、「試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準」の適用外であり、これらについては「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第1編 軽水炉規格 JSME S NC1-2005」のクラス1容器及びクラス1配管の規格に従う。

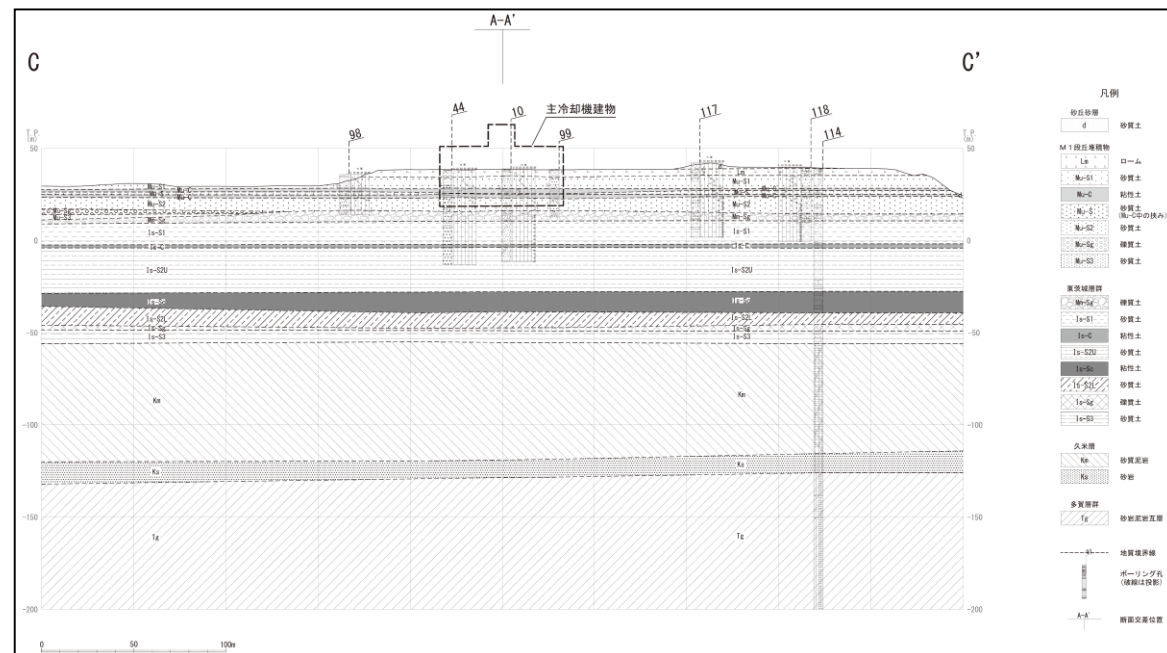
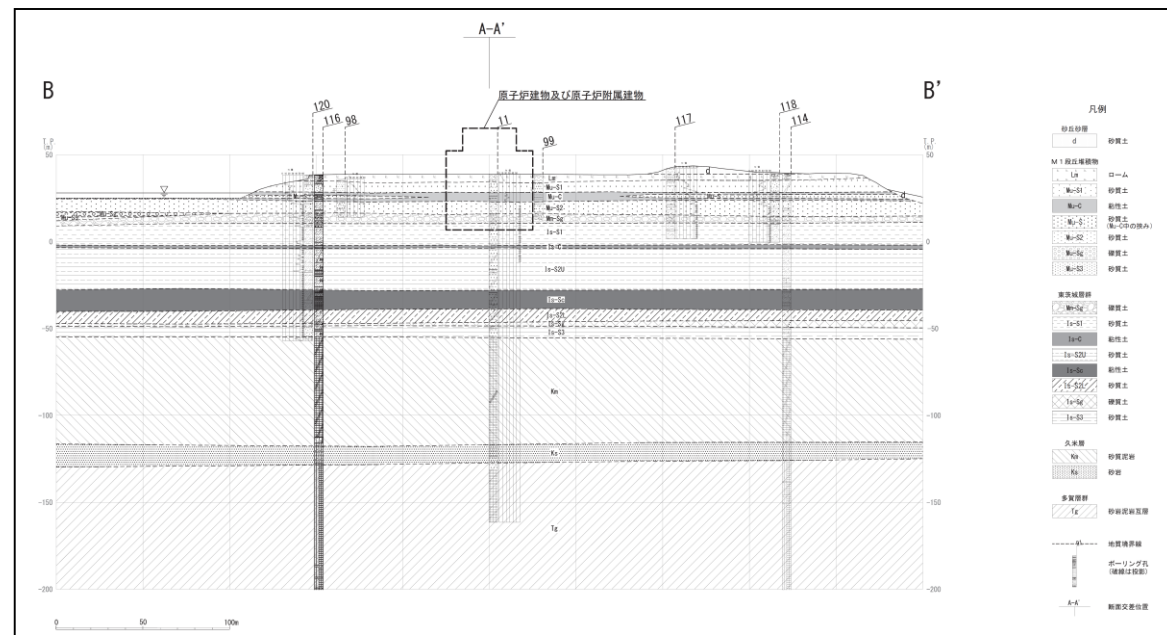
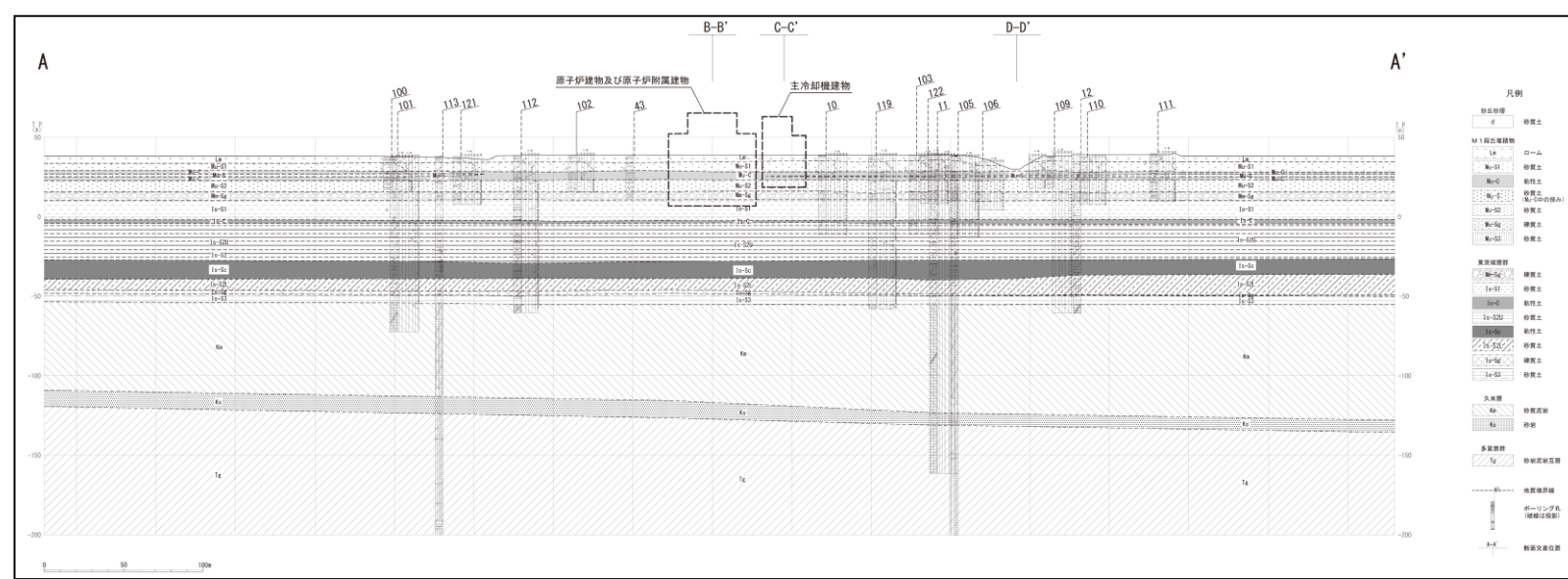
- ただし、使用中の金属温度が「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第1編 軽水炉規格 JSME S NC1-2005」の付録材料図表 Part5の適用温度範囲を超える場合は、「ナトリウム冷却型高速炉に関する構造等の技術基準の付録1 高速原型炉第1種機器の高温構造設計指針及び付録2 高速原型炉高温構造設計指針 材料強度基準等」を適用する。

※ 既設工認では、「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」及び「「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針」を用いている。「「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針」は、軽水炉に比べて低圧である一方で、高温環境下で使用されること、材料の機械的特性にナトリウムが影響を及ぼすこと等を踏まえ、当時のデータ等に基づき、高速実験炉原子炉施設の構造設計用に作成されたものである。「高速原型炉第1種機器の高温構造設計指針」は、その後の研究開発成果から導かれた知見等を反映し、国内法規に基づく構造設計基準の適用範囲を超える高温環境下における構造設計の指針として作成されたものである。

- なお、これらの構造設計規格の適用方法は、過去に実施してきた高速実験炉原子炉施設の設備更新や改造工事における設計及び工事の認可申請と同様である。

# 耐震Sクラスの施設 を有する建物の設置状況

**原子炉施設を設置する敷地に  
該当する斜面はない。**



# 設工認段階における機器・配管系の耐震安全性評価の基本フロー

応答倍率法

方法1の応答比 ( $\alpha_1$ ) : 
$$\frac{\sqrt{C_H^2 + (1+C_V)^2}}{\sqrt{C_{H0}^2 + (1+C_{V0})^2}}$$

方法2の応答比 ( $\alpha_2$ ) : 
$$\frac{\sqrt{C_H^2 + C_V^2}}{\sqrt{C_{H0}^2 + C_{V0}^2}}$$

$C_H$  : 本評価時の水平震度  
 $C_V$  : 本評価時の鉛直震度  
 $C_{H0}$  : 既往の設工認の水平震度  
 $C_{V0}$  : 既往の設工認の鉛直震度

1次固有周期0.05s以下の本評価時の動的加速度は、 $C_H$ 、 $C_V$ とも1.2ZPAとし、0.05s以下で1.2ZPAを上回る部分がある場合は上回った動的加速度とする。

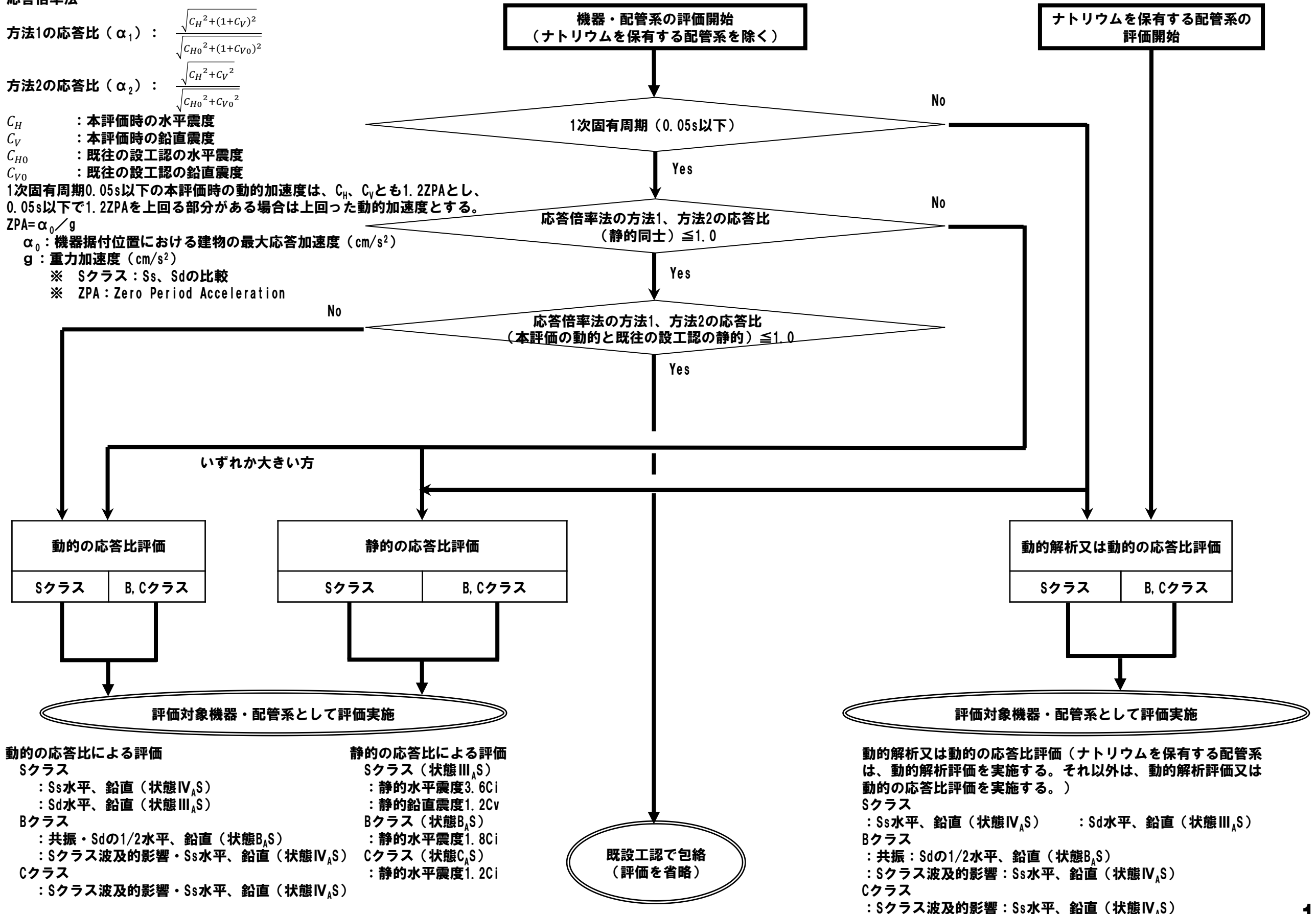
ZPA =  $\alpha_0 / g$

$\alpha_0$  : 機器据付位置における建物の最大応答加速度 (cm/s<sup>2</sup>)

$g$  : 重力加速度 (cm/s<sup>2</sup>)

※ Sクラス : Ss、Sdの比較

※ ZPA : Zero Period Acceleration



動的の応答比による評価

Sクラス  
 : Ss水平、鉛直 (状態IV<sub>A</sub>S)  
 : Sd水平、鉛直 (状態III<sub>A</sub>S)

Bクラス  
 : 共振・Sdの1/2水平、鉛直 (状態B<sub>A</sub>S)  
 : Sクラス波及的影響・Ss水平、鉛直 (状態IV<sub>A</sub>S)

Cクラス  
 : Sクラス波及的影響・Ss水平、鉛直 (状態IV<sub>A</sub>S)

静的の応答比による評価

Sクラス (状態III<sub>A</sub>S)  
 : 静的水平震度3.6Ci  
 : 静的鉛直震度1.2Cv

Bクラス (状態B<sub>A</sub>S)  
 : 静的水平震度1.8Ci

Cクラス (状態C<sub>A</sub>S)  
 : 静的水平震度1.2Ci

動的解析又は動的の応答比評価 (ナトリウムを保有する配管系は、動的解析評価を実施する。それ以外は、動的解析評価又は動的の応答比評価を実施する。)

Sクラス  
 : Ss水平、鉛直 (状態IV<sub>A</sub>S) : Sd水平、鉛直 (状態III<sub>A</sub>S)

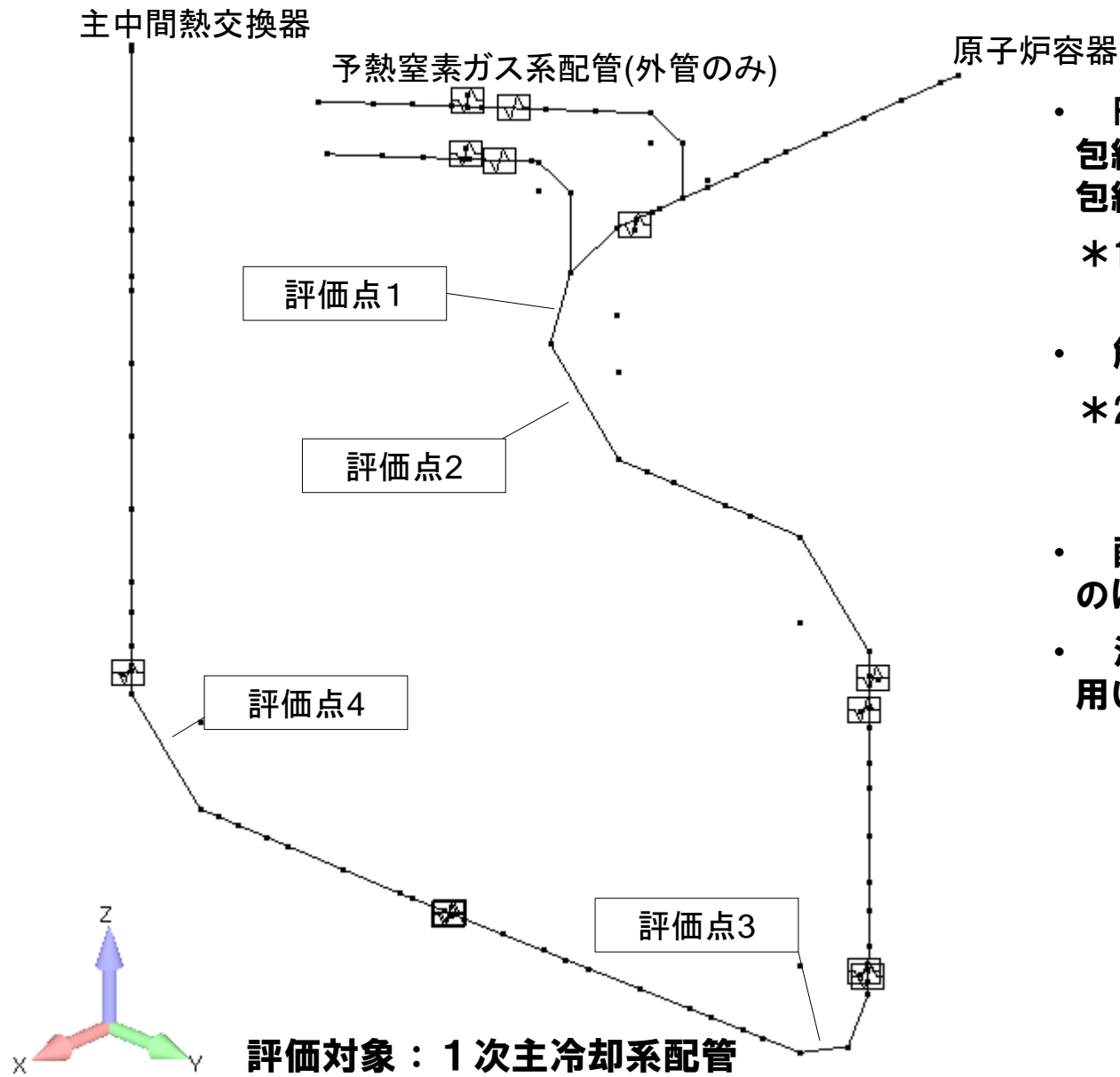
Bクラス  
 : 共振 : Sdの1/2水平、鉛直 (状態B<sub>A</sub>S)  
 : Sクラス波及的影響 : Ss水平、鉛直 (状態IV<sub>A</sub>S)

Cクラス  
 : Sクラス波及的影響 : Ss水平、鉛直 (状態IV<sub>A</sub>S)



# ナトリウム配管の耐震評価の一例

## (1次主冷却系配管：耐震重要度分類Sクラス)



- FRSは、基準地震動 $S_s, S_d$ ごとに配管の配置されている各フロアでのFRSを包絡したものをを用いる\*1。なお、基準地震動 $S_s, S_d$ は $S_s-1$ から $S_s-5$ と $S_s-D$ を包絡したものをを用いる\*1。
- \*1：暫定値（今後、 $S_s-6$ を追加するとともに、審査会合指摘を踏まえたFRSの再設定が必要）
- 解析モデルは、内管と外管を組み合わせたモデルとする\*2。
- \*2：評価に関して、評価手法、解析モデルや解析条件等が、既設工認と異なるものがある。現在の規格・基準等に基づき設定を変更したものであり、特殊なものはない。
- 配管支持装置については、一部のメカニカル防振器を容量アップしたものに交換する。
- 汎用非線形構造解析システムFINASコード又はメーカーが使用するコードを用いる。

下記表に示す如く各評価点の一次応力、ひずみ、及びクリープ疲労損傷の各制限を満足している。

一次応力の制限 単位（応力： $N/mm^2$ ）

評価点	運転状態	評価項目	計算値	許容値
1	運転状態III	膜 $\leq 1.2S_m$	2	121
		膜+曲げ $\leq 1.2K_s S_m$	16	154
	運転状態IV	膜 $\leq 2S_m$	2	203
		膜+曲げ $\leq 2K_s S_m$	14	257
2	運転状態III	膜 $\leq 1.2S_m$	3	121
		膜+曲げ $\leq 1.2K_s S_m$	20	154
	運転状態IV	膜 $\leq 2S_m$	2	203
		膜+曲げ $\leq 2K_s S_m$	18	257
3	運転状態III	膜 $\leq 1.2S_m$	2	121
		膜+曲げ $\leq 1.2K_s S_m$	12	154
	運転状態IV	膜 $\leq 2S_m$	2	203
		膜+曲げ $\leq 2K_s S_m$	17	257
4	運転状態III	膜 $\leq 1.2S_m$	2	121
		膜+曲げ $\leq 1.2K_s S_m$	12	154
	運転状態IV	膜 $\leq 2S_m$	2	203
		膜+曲げ $\leq 2K_s S_m$	16	257

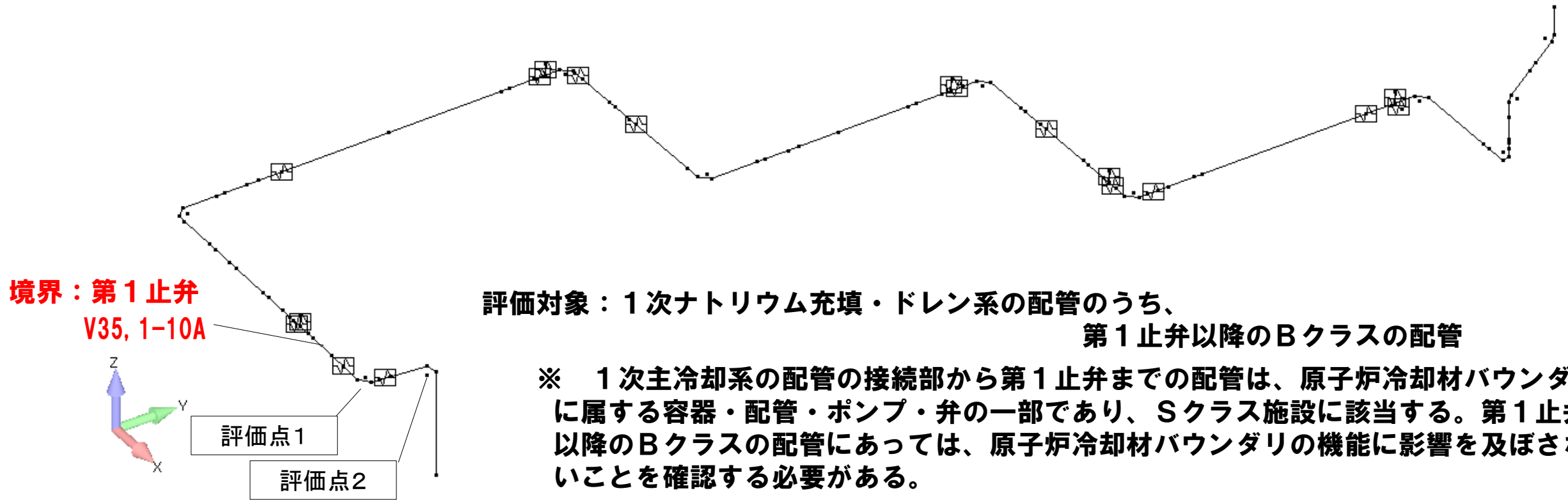
単位（応力： $N/mm^2$ ）

評価点	一次応力の制限	評価法の区分	ひずみの制限										クリープ疲労損傷の制限	
			一次+二次応力の制限					$S_a$ 制限	累積非弾性ひずみの制限		運転状態IVに関する制限			
			$S_n^*$ ( $3S_{mh}$ )	$S_n$ ( $3S_m$ )	$S_n$ ( $2.5(3S_m)$ )	$S_n'$ ( $3S_m$ )	$S_e$ ( $3S_m$ )	$P'+Q'$ ( $S_a$ )	$\epsilon_{EC} + \epsilon_{mEF}$ (0.01)	$\epsilon_{EC} + \epsilon_{mEF} + \epsilon_{bEF}$ (0.02)	$S_n^*$ ( $2.5(3S_{mh})$ )	領域 (E, S1, S2, P)	$D_f$ $D_c$	$D_f + D_c$ (D)
1	合格	B	46 (304)	165 (277)	-	-	-	159 (157)	0.0000 (0.0100)	0.0012 (0.0200)	40 (758)	E	0.00 0.30	0.31 (0.60)
2	合格	B	42 (304)	119 (277)	-	-	-	118 (122)	0.0000 (0.0100)	0.0012 (0.0200)	37 (758)	E	0.00 0.30	0.31 (0.60)
3	合格	B	31 (304)	173 (277)	-	-	-	175 (157)	0.0000 (0.0100)	0.0012 (0.0200)	45 (758)	E	0.00 0.30	0.31 (0.60)
4	合格	B	32 (304)	175 (277)	-	-	-	175 (157)	0.0000 (0.0100)	0.0012 (0.0200)	44 (758)	E	0.00 0.30	0.31 (0.60)

# ナトリウム配管の耐震評価の一例

## (1次ナトリウム充填・ドレン系のうち、上位波及を考慮した部分)

1次主冷却系配管  
(原子炉容器～主中間熱交換器(A))に接続



評価対象：1次ナトリウム充填・ドレン系の配管のうち、  
第1止弁以降のBクラスの配管

※ 1次主冷却系の配管の接続部から第1止弁までの配管は、原子炉冷却材バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁の一部であり、Sクラス施設に該当する。第1止弁以降のBクラスの配管にあつては、原子炉冷却材バウンダリの機能に影響を及ぼさないことを確認する必要がある。

評価点の応力は、許容応力を十分に下回っている  
(波及的影響を及ぼさない)。

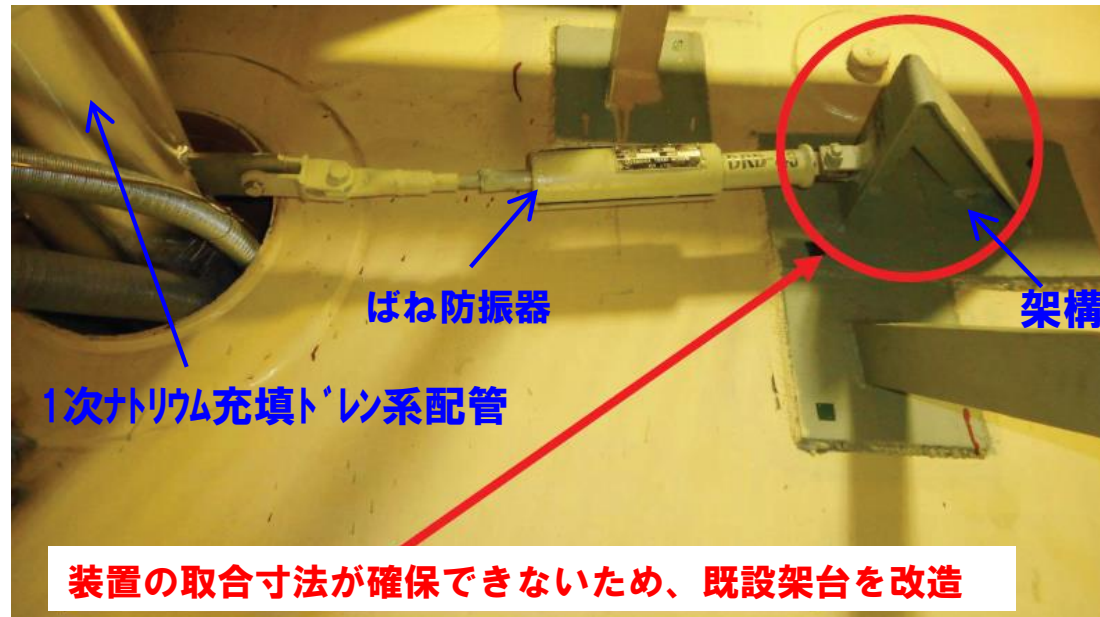
- 波及的影響の評価にあつては、基準地震動 $S_s$ を用いて許容応力状態 $IV_A S$ に対する応力評価を行う。
- FRSは、基準地震動 $S_s$ ごとに配管の配置されている各フロアでのFRSを包絡したものをを用いる\*1。なお、基準地震動 $S_s$ は $S_s-1$ から $S_s-5$ と $S_s-D$ を包絡したものをを用いる\*1。  
\*1：暫定値（今後、 $S_s-6$ を追加するとともに、審査会合指摘を踏まえたFRSの再設定が必要）
- 解析モデルは、該当する部分について、内管と外管を組み合わせたモデルとする。
- 配管支持装置については、一部の装置をメカニカル防振器に交換及び一部のメカニカル防振器を容量アップしたものに交換する。
- 汎用非線形構造解析システムFINASコード又はメーカーが使用するコードを用いる。

評価点	許容応力状態	一次及び二次応力 (N/mm <sup>2</sup> )				一次応力評価 (N/mm <sup>2</sup> )		一次+二次応力評価 (N/mm <sup>2</sup> )		疲労評価 疲れ累積係数
		① 内圧応力 SP	② 自重応力 SMa	③ 短期的機械荷重応力及び地震応力 SMb	④ 二次応力* SMc	計算応力 ①+② ①+②+③ ①+②+③	許容応力 1.5S 1.0Sy** 1.5(0.6Su)	計算応力 — ①+②+④ SS (1/2Sd) SS (S <sub>s</sub> )	許容応力 — Sa (ハ) 2.0Sy 2.0Sy	
1	設計条件	1	20	—	—	21	165	—	—	—
	( $I_A, II_A$ )	1	11	—	62	—	—	74	315	—
	$B_A S$	1	11	13	1	25	175	28	350	—
	$IV_A S$	1	11	38	1	50	405	78	350	—
2	設計条件	1	13	—	—	14	165	—	—	—
	( $I_A, II_A$ )	1	7	—	14	—	—	22	315	—
	$B_A S$	1	7	18	1	26	175	38	350	—
	$IV_A S$	1	7	51	1	59	405	104	350	—

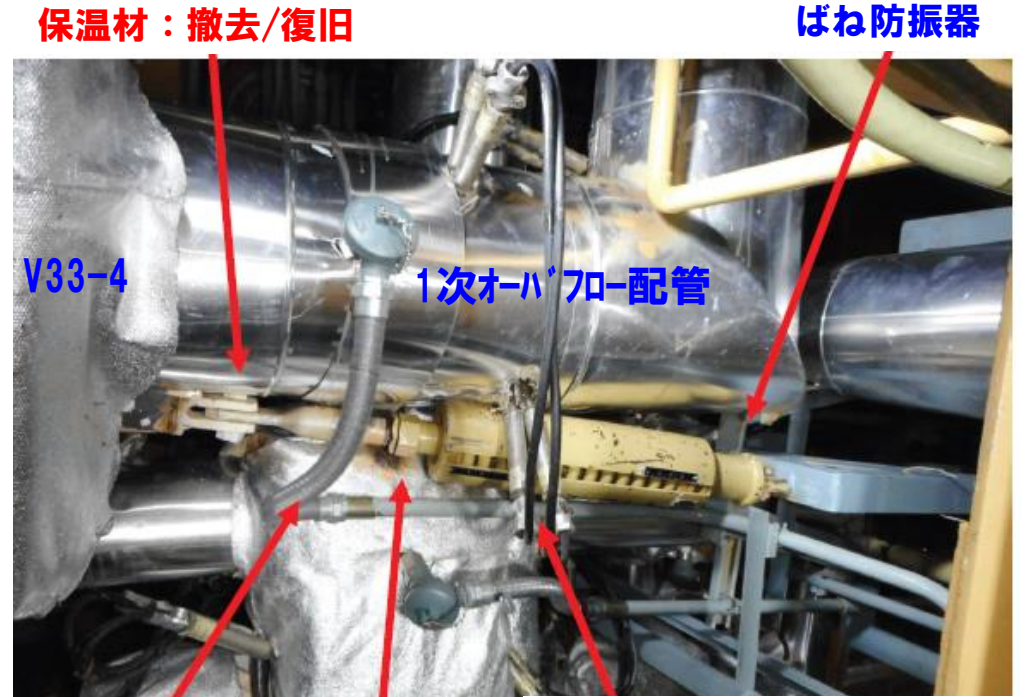
\* ( $I_A, II_A$ )は熱による支持点変位及び熱膨張応力、 $B_A S, IV_A S$ は地震相対変位応力を記す。  
\*\* オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、1.0Syと1.2Sのうち大きい方の値とする。

# ナトリウム配管の耐震工事（現場調査と対策検討）

現場調査により、周辺状況を把握するとともに、干渉物対策、ヒータ・保温材等の改造、既設サポート架台の使用などの検討を実施し、工事可能な方法を策定する。



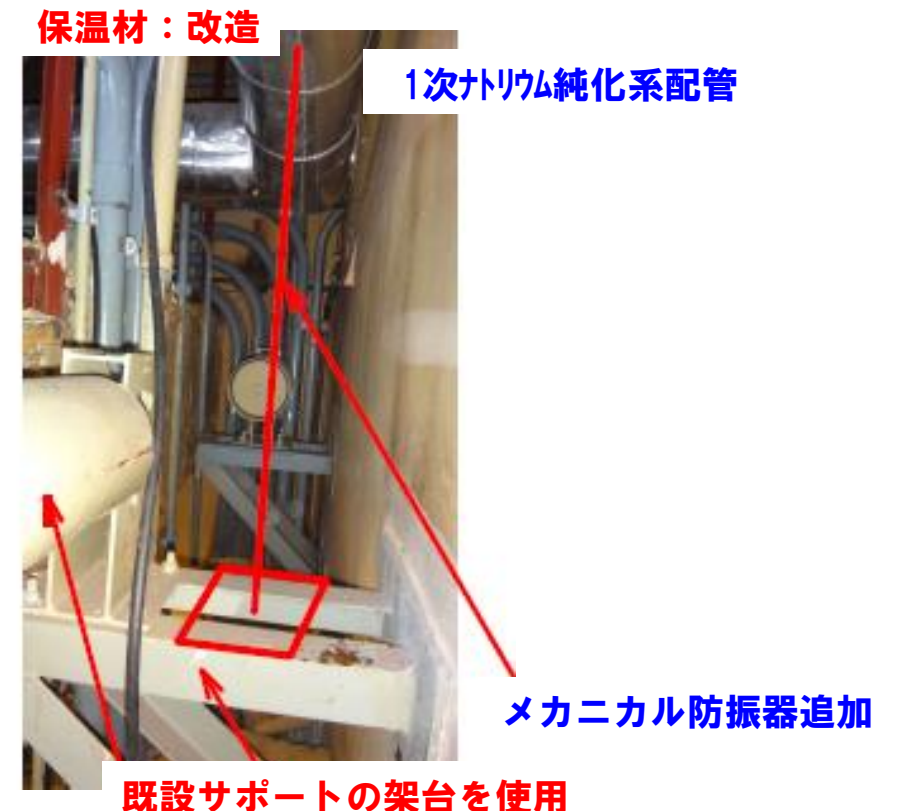
ばね防振器からメカニカル防振器への交換の例①



温度計：移設 保温材：改造 ヒータケーブル：移設  
ばね防振器からメカニカル防振器への交換の例②



メカニカル防振器追加  
パット追加  
メカニカル防振器の追加の例①



メカニカル防振器の追加の例②

# 耐震重要度分類 S クラスに属する動的機器 の機能維持に係る基本方針

耐震重要度分類 S クラスに属する施設のうち、地震時又は地震後に動作を要求される動的機器については、基準地震動による応答に対して、実証試験等により確認されている機能維持加速度等を許容限界とする、若しくは解析又は実験等により、その機能が阻害されないことを確認する。

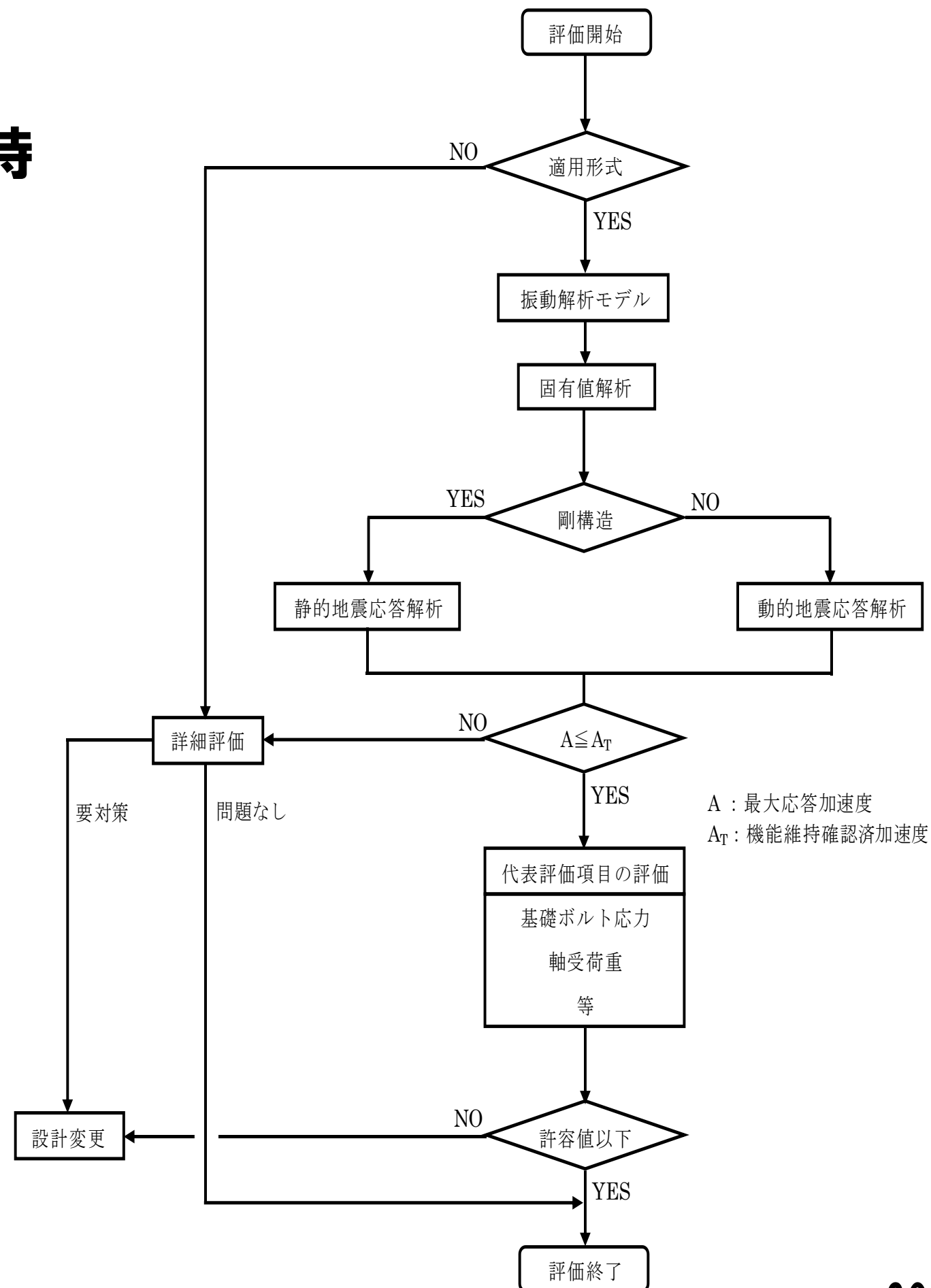
## 【評価対象機器の選定】

- ( i ) 原子炉冷却材バウンダリを構成する機器・配管系：該当無し
- ( ii ) 使用済燃料を貯蔵するための施設：該当無し
- ( iii ) 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設及び原子炉の停止状態を維持するための施設
  - ・ 制御棒及び制御棒駆動系／後備炉停止制御棒及び後備炉停止制御棒駆動系
- ( iv ) 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
  - ・ 1次主循環ポンプポニーモータ／1次主冷却系逆止弁
  - ・ 2次ナトリウム純化系2次主冷却系Aループ充填第1元弁（冷却材バウンダリに属する弁）
  - ・ 2次ナトリウム純化系2次主冷却系Bループ充填第1元弁（冷却材バウンダリに属する弁）
- ( v ) 原子炉冷却材バウンダリ破損事故の際に障壁となり、1次冷却材の漏えいを低減するための施設
  - ・ 1次補助冷却系サイフォンブレイク弁／1次予熱窒素ガス系仕切弁
- ( vi ) 原子炉冷却材バウンダリ破損事故の際に障壁となり、放射性物質の放散を直接防ぐための施設
  - ・ 格納容器バウンダリに属する弁（隔離弁）
- ( vii ) 放射性物質の放出を伴うような事故の際にその外部放散を抑制するための施設で、上記（vi）以外の施設  
： 該当無し
- ( viii ) その他（上記の動的機能維持に関連する動的機器）
  - ・ 非常用ディーゼル電源系（ディーゼル発電機）

# 耐震重要度分類Sクラス に属する動的機器の機能維持 に係る評価の基本方針

- 地震時及び地震後に動作を要求される動的機器は、右図に示すフローに基づき設計する。
- 機種及び適用形式に応じた動的機能維持確認済加速度（既往の研究によって機能維持を確認した加速度）を有するもの（一例：下表参照）にあつては、相応する機能維持確認済加速度を使用する。
- 機種・適用形式に合致しない場合、及び合致した場合にあつても目安となる仕様を大きく超える場合、若しくは、応答加速度が機能確認済加速度を上回る場合には、機器本体や動的機能維持評価の対象となる部位の強度評価により、機能維持可能であることを確認する。

機種	適用形式	目安となる仕様	機能確認済加速度 (G)		
			部位	水平	鉛直
電動機	横形 すべり軸受機	出力 1400kW	軸受部	3.7	2.0
	横形 ころがり軸受機	出力 950kW	軸受部	7.0	2.0
	立形 すべり軸受機	出力 2700kW	軸受部	2.5	1.0
	立形 ころがり軸受機	出力 1300kW	軸受部	2.5	2.0



# 耐震重要度分類 S クラスに属する動的機器の機能維持に係る評価の考え方（一例：1/2）

機器	機種	評価項目	評価の考え方
1 次主循環ポンプ ポニーモータ*1	電動機	軸受部の応答加速度	軸受部の応答加速度を算出し、動的機能維持確認済加速度を下回ることを確認
		軸受の負荷荷重	軸受部の地震時負荷荷重を算出し、許容値以下であることを確認
		取付ボルトの強度	取付ボルトに発生する応力を算出し、許容値以下であることを確認
1 次主冷却系 逆止弁*1	逆止弁	本体の応答加速度	配管系の一部として、対象弁の応答加速度を算出し、動的機能維持確認済加速度を下回ることを確認
		配管との接続部強度	弁と配管の接続部に発生する応力を算出し、許容値以下であることを確認
2 次ナトリウム 純化系 2 次主冷却系 充填第 1 元弁*1	グローブ弁	駆動部の応答加速度	配管系の一部として、対象弁の応答加速度を算出し、動的機能維持確認済加速度を下回ることを確認
		配管との接続部強度	弁と配管の接続部に発生する応力を算出し、許容値以下であることを確認
1 次補助冷却系 サイフォン ブレイク弁*2	グローブ弁	駆動部の応答加速度	配管系の一部として、対象弁の応答加速度を算出し、動的機能維持確認済加速度を下回ることを確認
		配管との接続部強度	弁と配管の接続部に発生する応力を算出し、許容値以下であることを確認
予熱窒素ガス系 仕切弁*2	グローブ弁	駆動部の応答加速度	配管系の一部として、対象弁の応答加速度を算出し、動的機能維持確認済加速度を下回ることを確認
		配管との接続部強度	弁と配管の接続部に発生する応力を算出し、許容値以下であることを確認

\*1：原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設

\*2：原子炉冷却材バウンダリ破損事故の際に障壁となり、1 次冷却材の漏えいを低減するための施設

# 耐震重要度分類Sクラスに属する動的機器の機能維持に係る評価の考え方（一例：2/2）

機器	機種	評価項目	評価の考え方
原子炉格納容器隔離弁*3	グローブ弁	駆動部の応答加速度	配管系の一部として、対象弁の応答加速度を算出し、動的機能維持確認済加速度を下回ることを確認
		配管との接続部強度	弁と配管の接続部に発生する応力を算出し、許容値以下であることを確認
	ゲート弁	駆動部の応答加速度	配管系の一部として、対象弁の応答加速度を算出し、動的機能維持確認済加速度を下回ることを確認
		配管との接続部強度	弁と配管の接続部に発生する応力を算出し、許容値以下であることを確認
	バタフライ弁	駆動部の応答加速度	配管系の一部として、対象弁の応答加速度を算出し、動的機能維持確認済加速度を下回ることを確認
		配管との接続部強度	弁と配管の接続部に発生する応力を算出し、許容値以下であることを確認
ディーゼル発電機*4	中速形ディーゼル機関	機関重心位置の応答加速度	重心位置の応答加速度を算出し、動的機能維持確認済加速度を下回ることを確認
		ガバナ取付位置の応答加速度	取付位置の応答加速度を算出し、動的機能維持確認済加速度を下回ることを確認
		燃料移送ポンプ重心位置の応答加速度	重心位置の応答加速度を算出し、動的機能維持確認済加速度を下回ることを確認
		機関本体取付ボルトの強度	取付ボルトに発生する応力を算出し、許容値以下であることを確認
		発電機取付ボルトの強度	取付ボルトに発生する応力を算出し、許容値以下であることを確認
		発電機軸受の負荷荷重	軸受部の地震時負荷荷重を算出し、許容値以下であることを確認

\*3：原子炉冷却材バウンダリ破損事故の際に障壁となり、放射性物質の放散を直接防ぐための施設原子炉格納容器バウンダリに属する弁（隔離弁）

\*4：耐震重要度分類Sクラスに属する動的機器の機能維持に関連する動的機器