

柏崎刈羽原子力発電所 6号機

耐震設計上重要な機器・配管系の 耐震安全性評価における 7号機との比較について

平成21年6月4日

東京電力株式会社



東京電力

本日のご説明内容

柏崎刈羽原子力発電所 6号機の耐震安全性評価について、7号機との比較検討結果を説明する。

■ 各設備における評価結果の比較

原子力安全・保安院殿にて6号機、7号機の機器・配管系の耐震安全性評価結果の比較を行った結果、抽出された設備について評価結果の比較を行う。

各設備における評価結果の比較 (1 / 3)

■ 比較対象設備

● 構造強度評価

評価対象設備	6号機				7号機			
	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)
シュラウドサポート	レグ	軸圧縮	170	260	レグ	軸圧縮	51	260
ほう酸水注入系貯蔵タンク	基礎ボルト	引張	72	207	基礎ボルト	せん断	126	159
残留熱除去系熱交換器	胴板	一次	161	408	胴板	一次	288	408
原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	ケーシング	軸圧縮	148	207	ケーシング	軸圧縮	195	207
局部出力領域モニタ検出器集合体	LPRM検出器集合体 加「チューブ」	膜+曲げ	123	254	LPRM検出器集合体 加「チューブ」	膜+曲げ	162	226
非常用ガス処理系排風機	基礎ボルト	引張	36	202	排風機取付ボルト	引張	169	177

各設備における評価結果の比較（ 2 / 3 ）

● 構造強度評価（配管系）

評価対象設備	6号機				7号機			
	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)
放射性ドレン移送系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	100	217	サポート部材	組合せ応力	178	280
原子炉補機冷却海水系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	98	245	サポート部材	組合せ応力	190	280
制御棒駆動系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	124	205	サポート部材	組合せ応力	228	246
可燃性ガス濃度制御系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	26	245	サポート部材	組合せ応力	112	160
不活性ガス系配管サポート	サポート部材	組合せ応力	85	245	サポート部材	組合せ応力	171	280

各設備における評価結果の比較 (3 / 3)

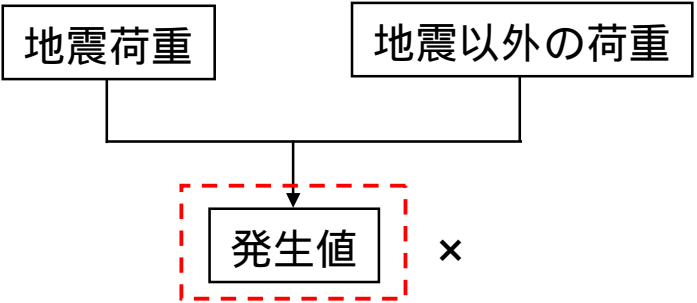
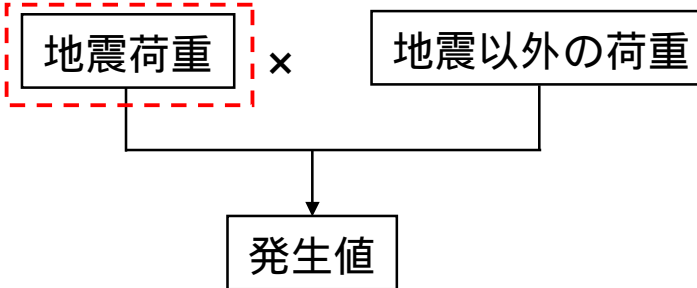
● 動的機能維持評価 (弁)

6号機						7号機					
評価対象設備	加速度 確認部位	水平加速度 (G ¹)		上下加速度 (G ¹)		評価対象設備	加速度 確認部位	水平加速度 (G ¹)		上下加速度 (G ¹)	
		応答 加速度	評価 基準値	応答 加速度	評価 基準値			応答 加速度	評価 基準値	応答 加速度	評価 基準値
主蒸気系 (主蒸気逃がし安全 弁(S))	弁 駆動部	4.71	9.6	2.89	6.1	主蒸気系 (主蒸気逃がし安全 弁(K))	弁 駆動部	6.32	9.6	1.53	6.1
残留熱除去系 (RHR系最小流量バ イパス弁(B))	弁 駆動部	1.95	6.0	1.08	6.0	残留熱除去系 (RHR注入弁(A))	弁 駆動部	5.2	6.0	1.0	6.0
高圧炉心注水系 (HPCF系試験可能 逆止弁(C))	弁 駆動部	2.18	6.0	4.66	6.0	高圧炉心注水系 (HPCF CSP側吸 込弁(C))	弁 駆動部	1.43	6.0	0.97	6.0
原子炉補機冷却水系 (RCW冷却水供給温 度調節弁(B))	弁 駆動部	3.95	6.0	1.44	6.0	原子炉補機冷却水系 (RCWポンプ(A) 吐出逆止弁)	弁 駆動部	1.2	6.0	1.0	6.0

1 G = 9.80665 (m/s²)

応答比を用いた手法例

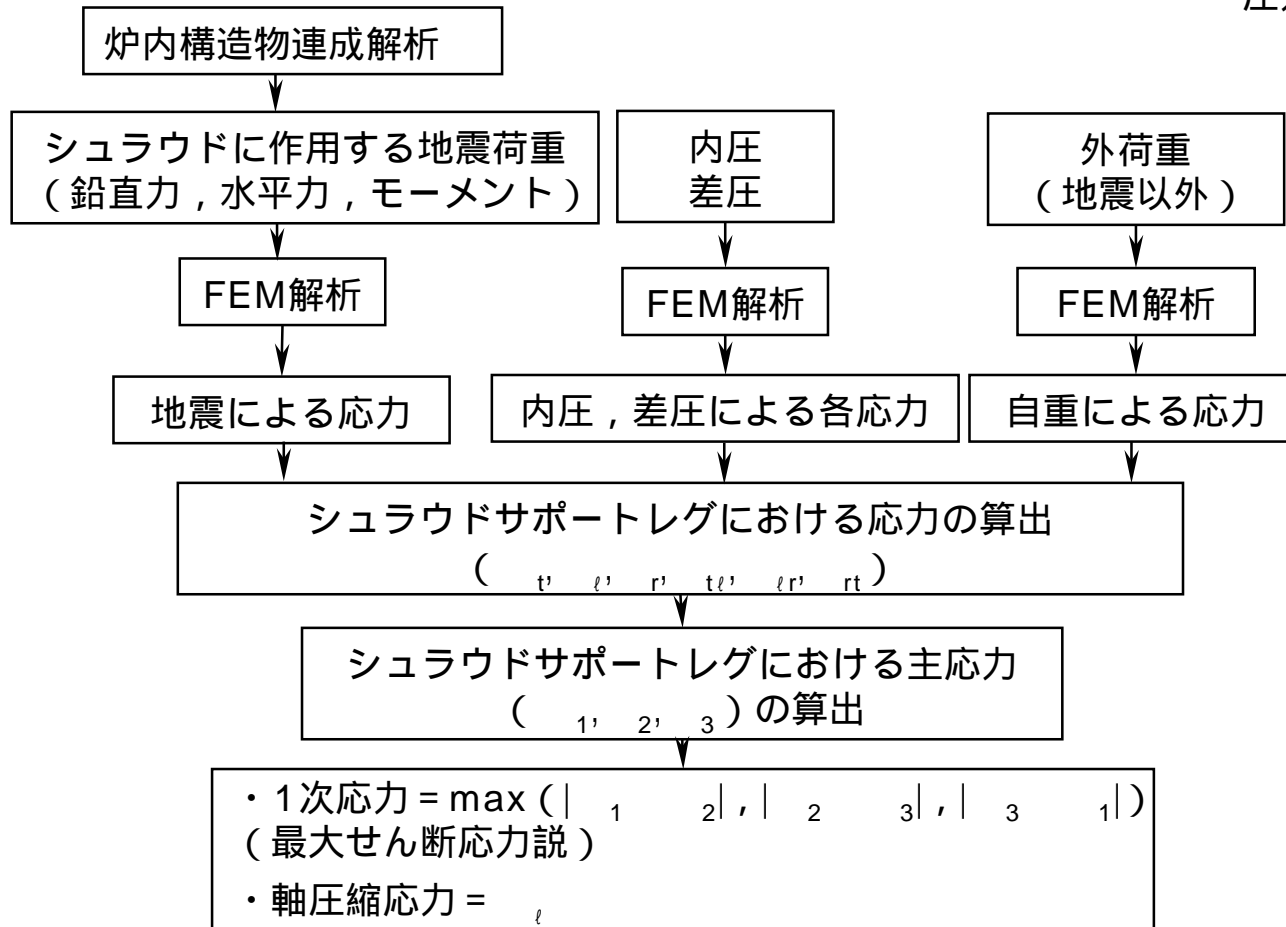
- 応答比（応答荷重比，応答加速度比）を用いた評価には様々なパターンがある。代表的なパターンを下記に示す。

<p>既往の評価における発生値に応答比を乗じる方法</p> <p>地震と地震以外の発生値の合計に応答比を乗じているため，地震以外の発生値に応答比を乗じている分は保守的な値を算出する。</p>	 <p>地震荷重</p> <p>地震以外の荷重</p> <p>↓</p> <p>発生値 ×</p> <p>Detailed description: A flowchart where two boxes at the top, '地震荷重' (Earthquake load) and '地震以外の荷重' (Non-earthquake load), have arrows pointing down to a central box '発生値' (Occurrence value). This central box is enclosed in a dashed red border and followed by a multiplication symbol '×'.</p>
<p>既往の評価における地震荷重に応答比を乗じる方法</p> <p>地震荷重の全ての成分（水平力，鉛直力，モーメント等）に最大の応答比を一律に乗じているため，その分保守的な値を算出する。</p>	 <p>地震荷重 ×</p> <p>地震以外の荷重</p> <p>↓</p> <p>発生値</p> <p>Detailed description: A flowchart where a box '地震荷重' (Earthquake load) is enclosed in a dashed red border and followed by a multiplication symbol '×'. To its right is a box '地震以外の荷重' (Non-earthquake load). Arrows from both boxes point down to a central box '発生値' (Occurrence value).</p>

シュラウドサポート（１）

■ 6号機と7号機で，同等の構造である。

✓設計時の手法



t', ℓ', r' : x,y,z方向応力 $t\ell', \ell r', r t$: せん断力
 $1', 2', 3'$: 主応力 ℓ : 応力強さ

シュラウドサポート（２）

✓ 6号機

- 設計時の地震荷重（鉛直力，水平力，モーメント）に応答比を乗じ，地震による応力を算出する。

応答比は，設計時とSs評価時の水平，鉛直の震度比の内大きい値とする。

（応答比）

$$= \text{MAX}\left(\frac{C_{HS}}{C_{H0}}, \frac{C_{VS}}{C_{V0}}\right)$$

$$= \text{MAX}(2.48, 3.79)$$

$$= \underline{3.79}$$

既往の評価における地震荷重
に応答比を乗じる方法

：応答比
 C_H ：水平震度
 C_V ：鉛直震度
 M ：モーメント
 H ：水平力
 V ：鉛直力
 添字0は設計時の値を示す。
 添字SはSs評価時の値を示す。

✓ 7号機

- 設計時と同様に，連成解析から算出される地震荷重（鉛直力，水平力，モーメント）を用いて，地震による応力を算出する。

6号機は応答比を用いた評価を実施しているため，7号機より発生値が大きくなっている

評価対象設備	6号機				7号機			
	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)
シュラウドサポート	レグ	軸圧縮	170	260	レグ	軸圧縮	51	260

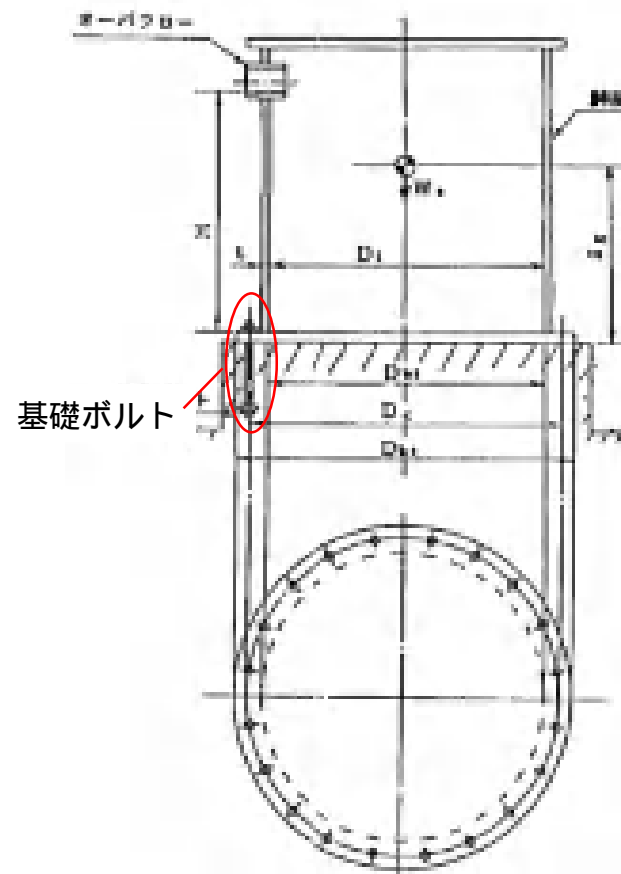
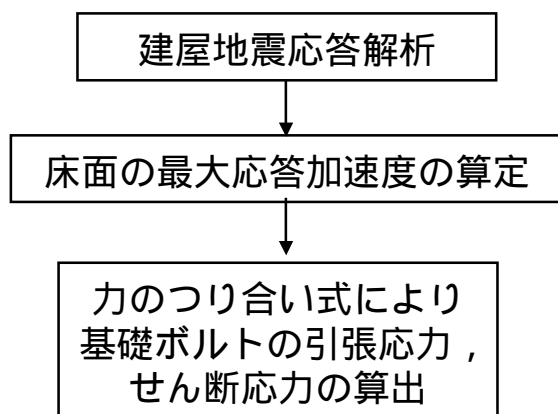
ほう酸水注入系貯蔵タンク（1）

- タンクの仕様は，6号機と7号機で同等である。

✓ タンク仕様

	6号機	7号機
タンク内径(mm)	3300	3300
基礎ボルト断面積(mm ²)	452.3	452.3
基礎ボルト材質	SS400	SS400

✓ 設計時の手法



ほう酸水注入系貯蔵タンク（2）

✓ 6号機

- 設計時と同様に，設置床における震度（水平，鉛直）を用いて，力のつり合い式により地震荷重（モーメント，せん断力）を算出し応力を求める。

✓ 7号機

- 設計時の応力に応答比を乗じる。
 応答比は，設計時とSs評価時の水平，鉛直の震度比の内大きい値とする。

$$\begin{aligned}
 &= \text{MAX}\left(\frac{C_{HS}}{C_{H0}}, \frac{C_{VS}}{C_{V0}}\right) \\
 &= \text{MAX}(1.49, 3.66) \\
 &= \underline{3.66}
 \end{aligned}$$

: 応答比
 C_H : 水平震度
 C_V : 鉛直震度
 : せん断応力
 添字0は設計時の値を示す。
 添字SはSs評価時の値を示す。

既往の評価における発生値に
 応答比を乗じる方法

7号機は応答比を用いた評価を実施しているため，6号機より発生値が大きくなっている

評価対象設備	6号機				7号機			
	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)
ほう酸水注入系貯蔵タンク	基礎ボルト	引張	72	207	基礎ボルト	せん断	126	159

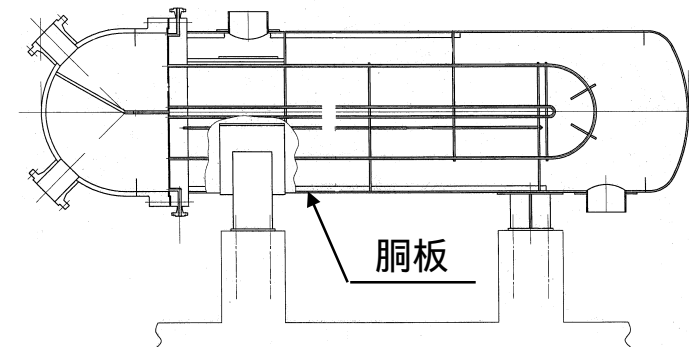
詳細評価では，52MPaとなることを確認している。
 （第26回構造WGにて説明）

残留熱除去系熱交換器（1）

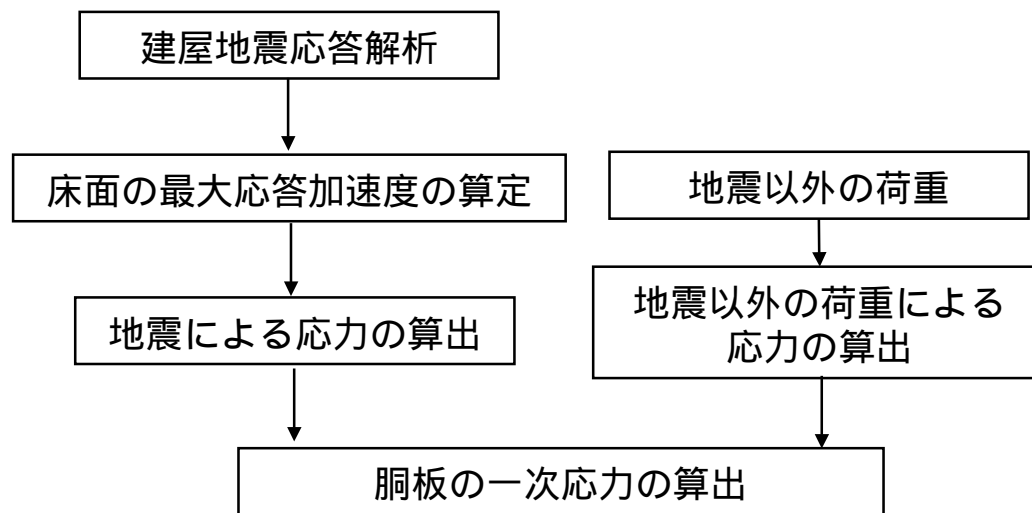
■ 熱交換器の仕様は，6号機と7号機で同等である。

✓ 熱交換器仕様

	6号機	7号機
熱交換器内径(mm)	1600	1600
材質	SGV480	SGV480



✓ 設計時の手法



残留熱除去系熱交換器（2）

✓ 6号機

- ・設計時と同様に，設置床における震度（水平，鉛直）を用いて，胴板に作用する地震荷重を算出し応力を求める。

✓ 7号機

- ・設計時の応力に応答比を乗じる。
 応答比は，設計時とSs評価時の水平，鉛直の震度比の内大きい値とする。

$$\begin{aligned}
 &= \text{MAX}\left(\frac{C_{HS}}{C_{H0}}, \frac{C_{VS}}{C_{V0}}\right) \\
 &= \text{MAX}(2.76, 3.40) \\
 &= \underline{3.40}
 \end{aligned}$$

: 応答比
 C_H : 水平震度
 C_V : 鉛直震度
 添字0は設計時の値を示す。
 添字SはSs評価時の値を示す。

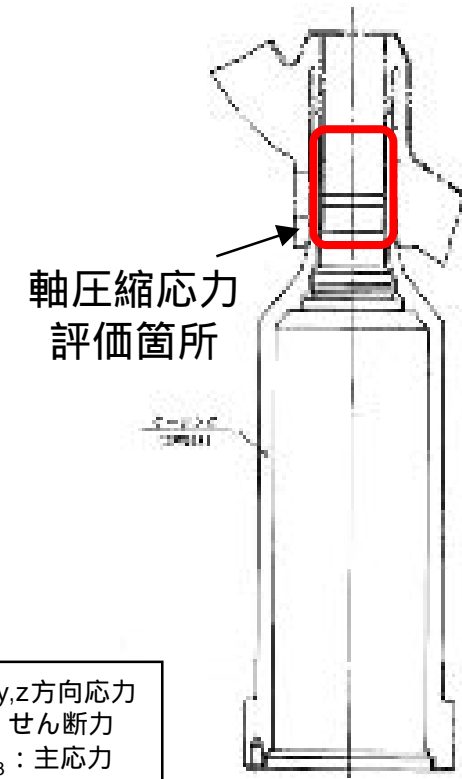
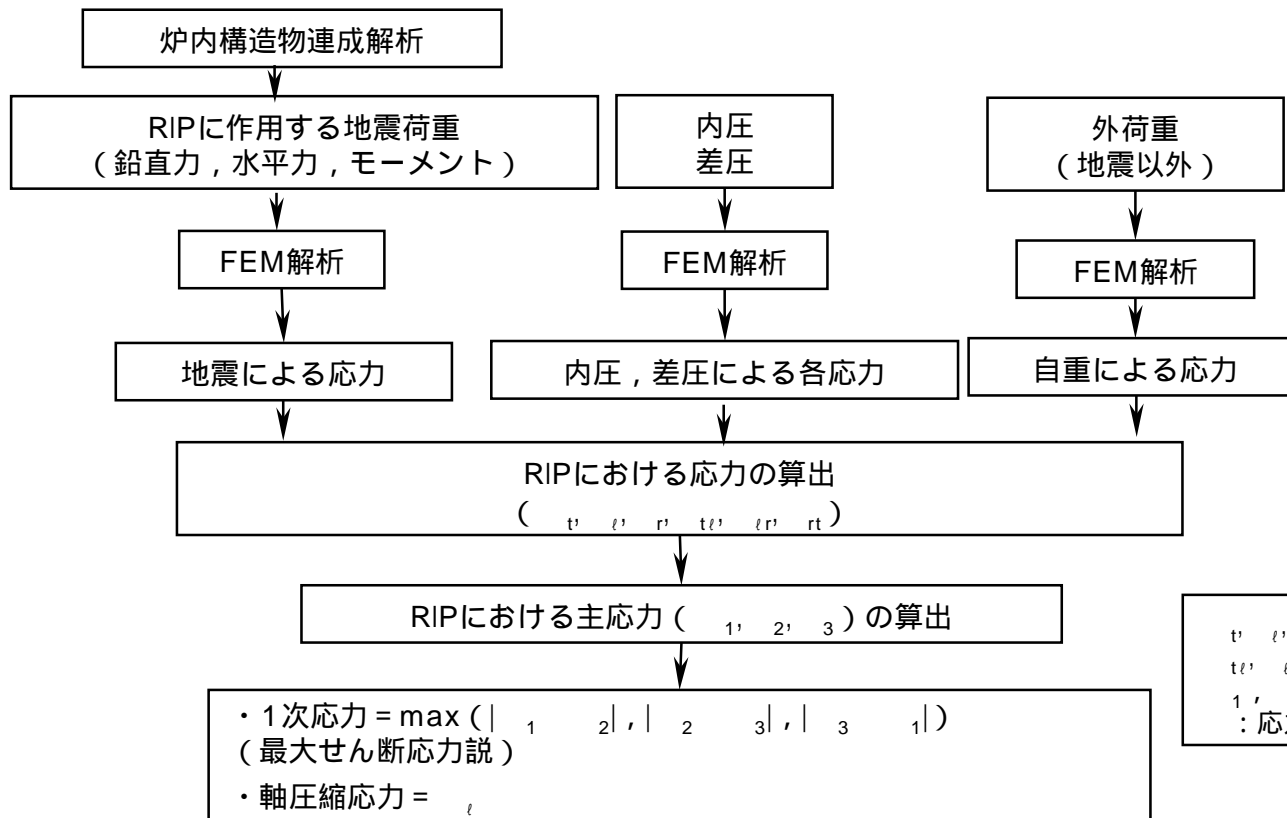
既往の評価における発生値に
 応答比を乗じる方法

7号機は応答比を用いた評価を実施しているため，6号機より発生値が大きくなっている

評価対象設備	6号機				7号機			
	評価部位	応力分類	発生値(MPa)	評価基準値(MPa)	評価部位	応力分類	発生値(MPa)	評価基準値(MPa)
残留熱除去系熱交換器	胴板	一次	161	408	胴板	一次	288	408

原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング (1)

✓設計時の手法

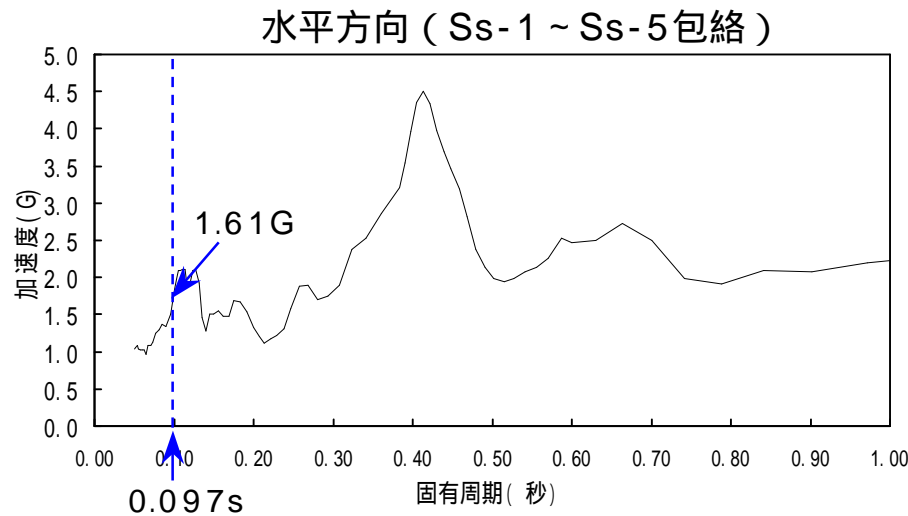


t_x, t_y, t_z : x,y,z方向応力
 t_{xy}, t_{yz}, t_{zx} : せん断力
 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: 主応力
 : 応力強さ

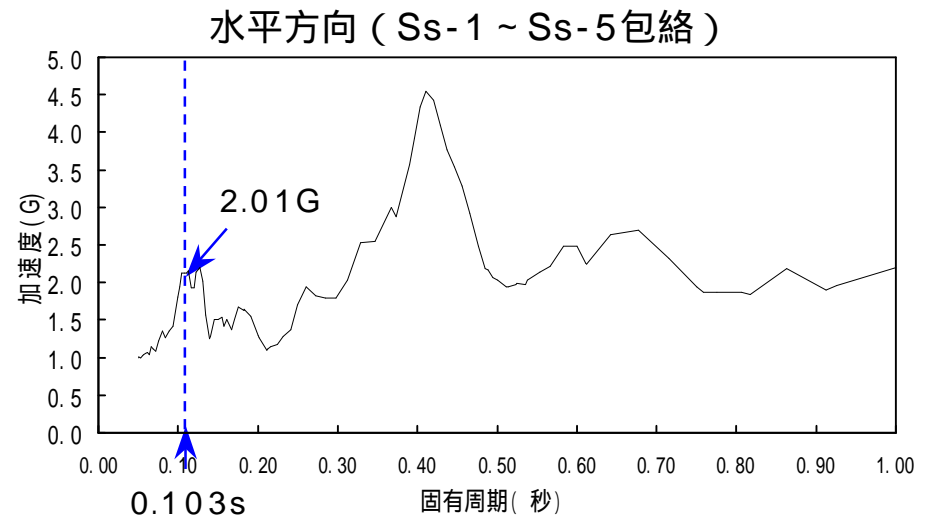
原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング（2）

■ 床応答スペクトル比較（参考）

実際の評価においては，炉内構造物連成解析から得られる地震荷重を用いている。



6号機



7号機

RIPモータケーシング付け根部における床応答スペクトルより読み取った震度
(減衰3%，基準地震動Ss)

	6号機	7号機
固有周期(s)	0.097	0.103
水平方向震度(G)	<u>1.61</u>	<u>2.01</u>

✓ 震度を比較すると，7号機のほうが6号機より大きい。

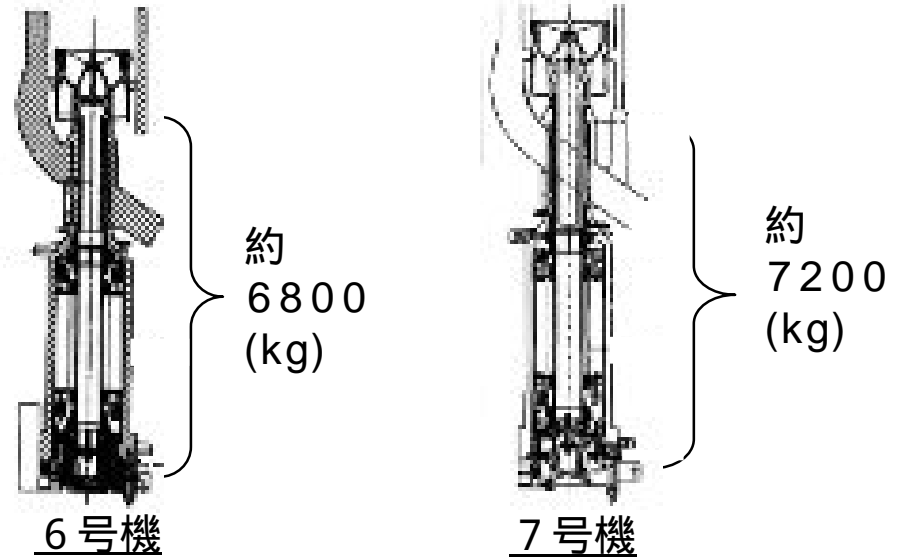
原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング（3）

- ケーシングは6号機と7号機で同等の構造であるが、ポンプの構造が若干異なる。

内部構造物等の重量が7号機のほうが大きくなっている
 （7号機と6号機の差が1体当たり約400kg）



地震応答解析により算出されるモーメントが7号機のほうが大きくなるため、発生値に違いが出ている。

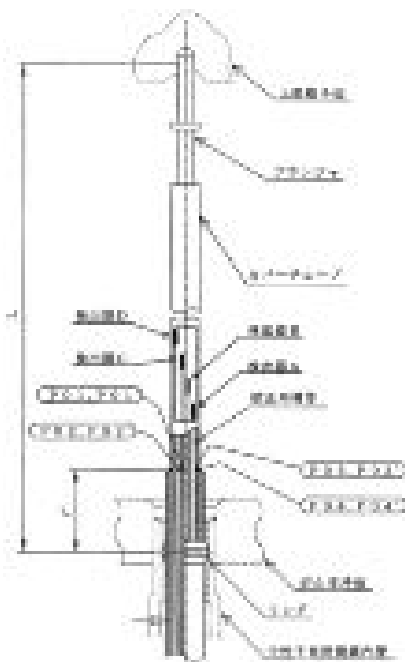


ケーシングを含めた原子炉冷却材再循環ポンプ重量
 （1体当たり）（内部構造物等を含む）

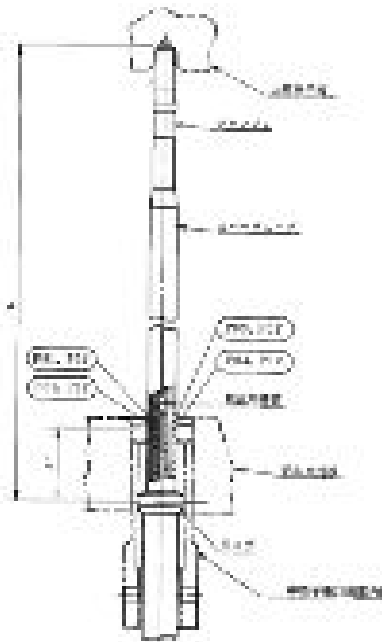
評価対象設備	6号機					7号機				
	評価部位	応力分類	減衰定数	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	評価部位	応力分類	減衰定数	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)
原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	ケーシング	軸圧縮	3%	148	207	ケーシング	軸圧縮	1%	195	207
								(参考) 3%	183	207

局部出力領域モニタ検出器集合体（1）

- 6号機と7号機で，同等の構造である。
- 局部出力領域モニタは，はり質点モデルで応答加速度を算出し，その加速度を元に，片持ちはりの計算モデルにより発生応力を算出する。

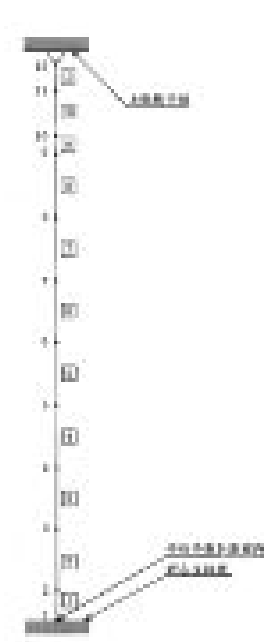


6号機

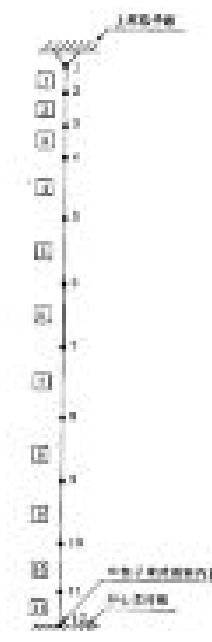


7号機

✓動解析モデル



6号機



7号機

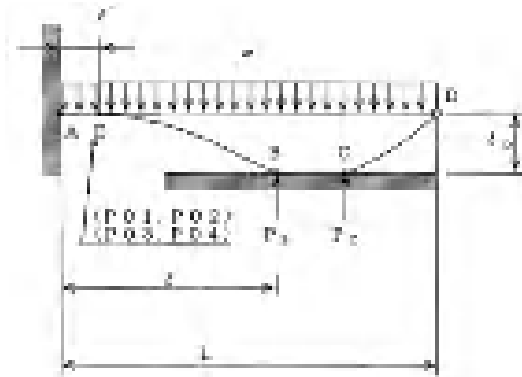
局部出力領域モニタ検出器集合体（2）

- 応答加速度を算出する過程で，6号機では時刻歴解析を用いているが，7号機ではスペクトルモーダル解析を用いている。

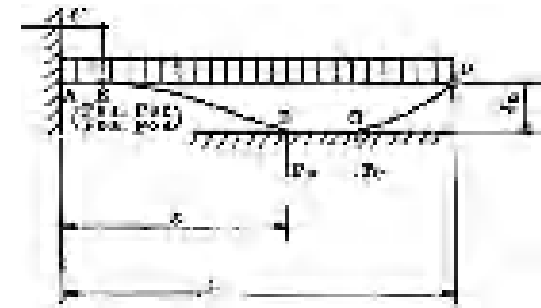
✓荷重条件

	6号機	7号機
水平力(N)	307.1	360.0

✓応力計算モデル



6号機



7号機

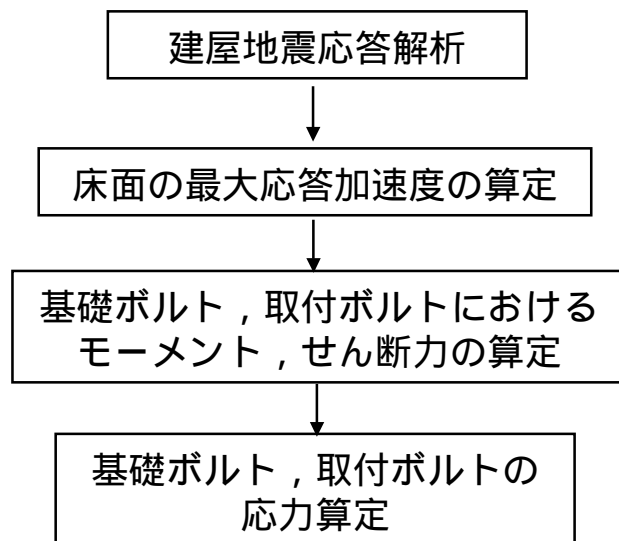
入力となる荷重条件が7号機のほうが大きいため，6号機より発生値が大きくなっている

評価対象設備	6号機				7号機			
	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)
局部出力領域モニタ検出器集合体	LPRM検出器集合体加「チューブ」	膜+曲げ	123	254	LPRM検出器集合体加「チューブ」	膜+曲げ	162	226

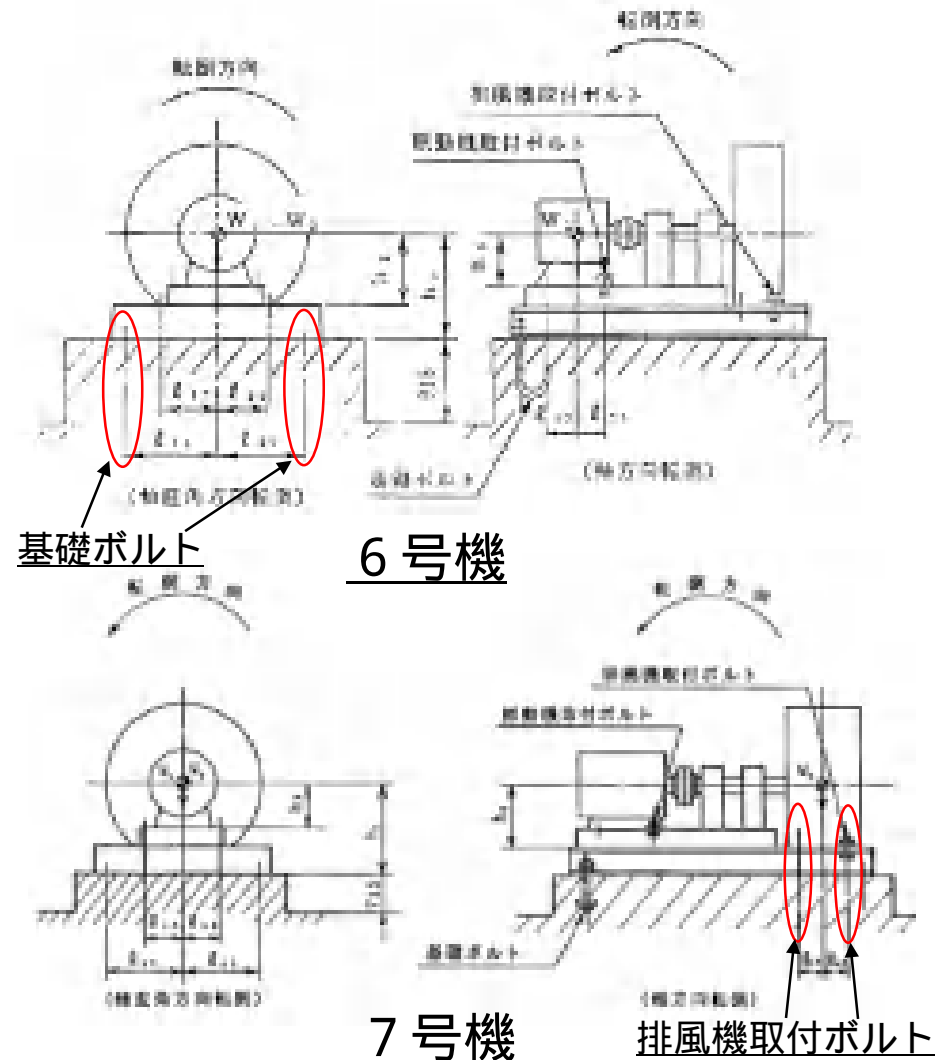
非常用ガス処理系排風機（1）

- 6号機と7号機で，同等の構造であるが評価部位が6号機は基礎ボルト，7号機は排風機取付ボルトと異なっている。

✓設計時の手法



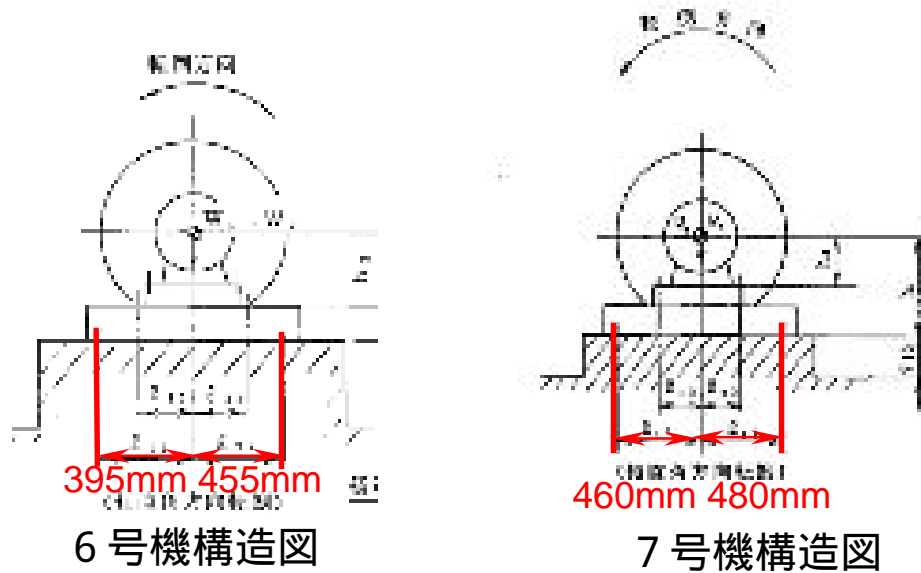
- 6号機と7号機で，評価部位を合わせた場合で比較をした。



非常用ガス処理系排風機（2）

● 非常用ガス処理系排風機（基礎ボルト）（6号機の評価部位にあわせた場合）

評価対象設備	評価部位	応力分類	6号機		7号機	
			発生値	評価基準値	発生値	評価基準値
非常用ガス 処理系排風機	基礎ボルト	引張応力	36MPa	202MPa	29MPa	202MPa



✓引張応力の算出式

$$F_{bi} = \frac{(C_H + C_P) \cdot W_i \cdot h + M_P - (1 - C_P - C_V) \cdot W_i \cdot \overset{\cdot}{l}_i}{n_{fi} \cdot (\overset{\cdot}{l}_{1i} + \overset{\cdot}{l}_{2i})}$$

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}}$$

✓重心とボルト間の距離

	6号機	7号機
$\overset{\cdot}{l}_{1i}$	395mm	460mm
$\overset{\cdot}{l}_{2i}$	455mm	480mm

C_H ：地震による水平評価用震度

C_V ：地震による鉛直評価用震度

C_P ：ポンプ震度による震度

M_P ：ポンプ回転により作用するモーメント

$\overset{\cdot}{l}_{1i}$ 、 $\overset{\cdot}{l}_{2i}$ ：重心とボルト間の水平方向距離

A_{bi} ：ボルトの軸断面積

n_{fi} ：ボルトの本数

h_i ：当該面から重心までの距離

W_i ：運転時重量

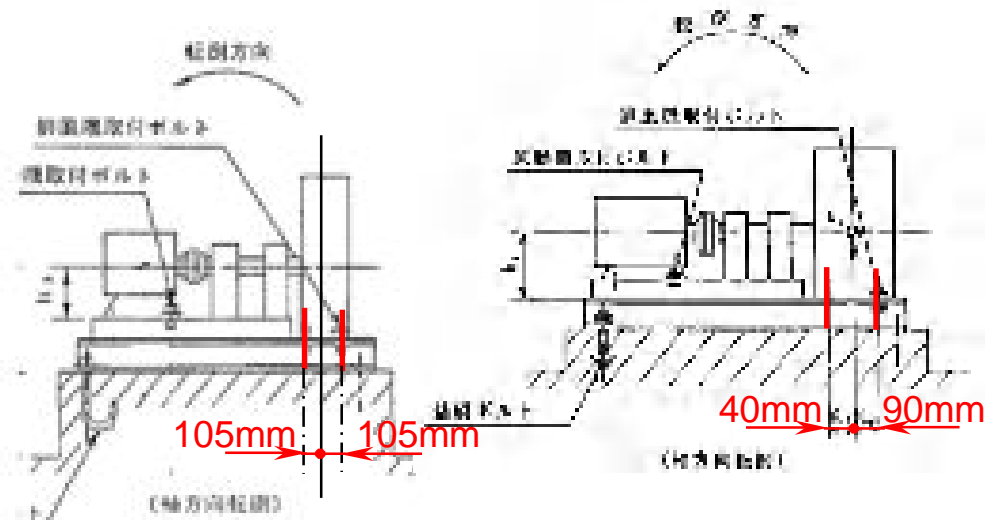
基礎ボルトでは、6号機と7号機で引張応力の算出に用いる、重心とボルト間の距離はほぼ同じであるため、発生値はほぼ同じ値である

非常用ガス処理系排風機（3）

- 非常用ガス処理系排風機（排風機取付ボルト）（7号機の評価部位にあわせた場合）

評価対象設備	評価部位	応力分類	6号機		7号機	
			発生値	評価基準値	発生値	評価基準値
非常用ガス処理系排風機	排風機取付ボルト	引張応力	12MPa	177MPa	169MPa	177MPa

詳細評価では、67MPaとなることを確認している。
（第26回構造WGにて説明）



6号機構造図

7号機構造図

✓引張応力の算出式

$$F_{bi} = \frac{(C_H + C_P) \cdot W_i \cdot h + M_P - (1 - C_P - C_V) \cdot W_i \cdot \overset{\cdot}{l}_i}{n_{fi} \cdot (\overset{\cdot}{l}_1 + \overset{\cdot}{l}_2)}$$

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}}$$

✓設備の相違点（重心とボルト間の距離）

	6号機	7号機
■ l_1	105mm	40mm
■ l_2	105mm	90mm

C_H ：地震による水平評価用震度

C_V ：地震による鉛直評価用震度

C_P ：ポンプ震度による震度

M_P ：ポンプ回転により作用するモーメント

■
 l_1 , ■
 l_2 ：重心とボルト間の水平方向距離

A_{bi} ：ボルトの軸断面積

n_i ：ボルトの本数

h_i ：当該面から重心までの距離

W_i ：運転時重量

6号機，7号機の構造を比較すると，引張応力の算出に用いる，重心とボルト間の距離が異なるため，発生値に差異がある

配管系（配管サポート）（1）

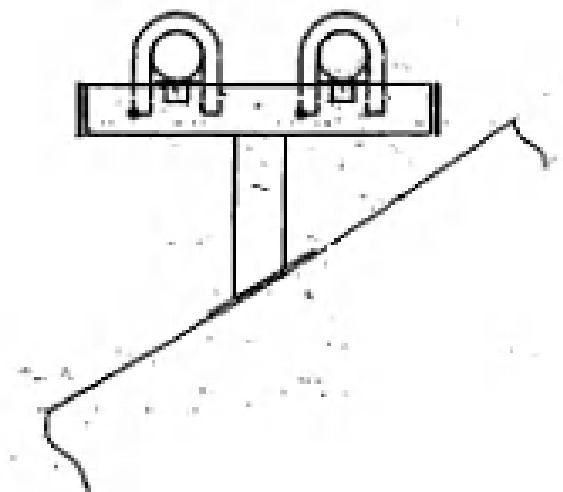
■ 配管系（配管サポート）

- 配管系については，同じ系統であっても配管の引き回しやサポートの取付位置等が異なることから，6 / 7号機で発生値に違いがある。
- 配管の解析モデルは一つの系統に対して複数（数モデル～数十モデル）存在する。
- 6 / 7号機で同じ系統であっても，評価基準値に対して裕度の小さい箇所（解析モデル）は異なる。

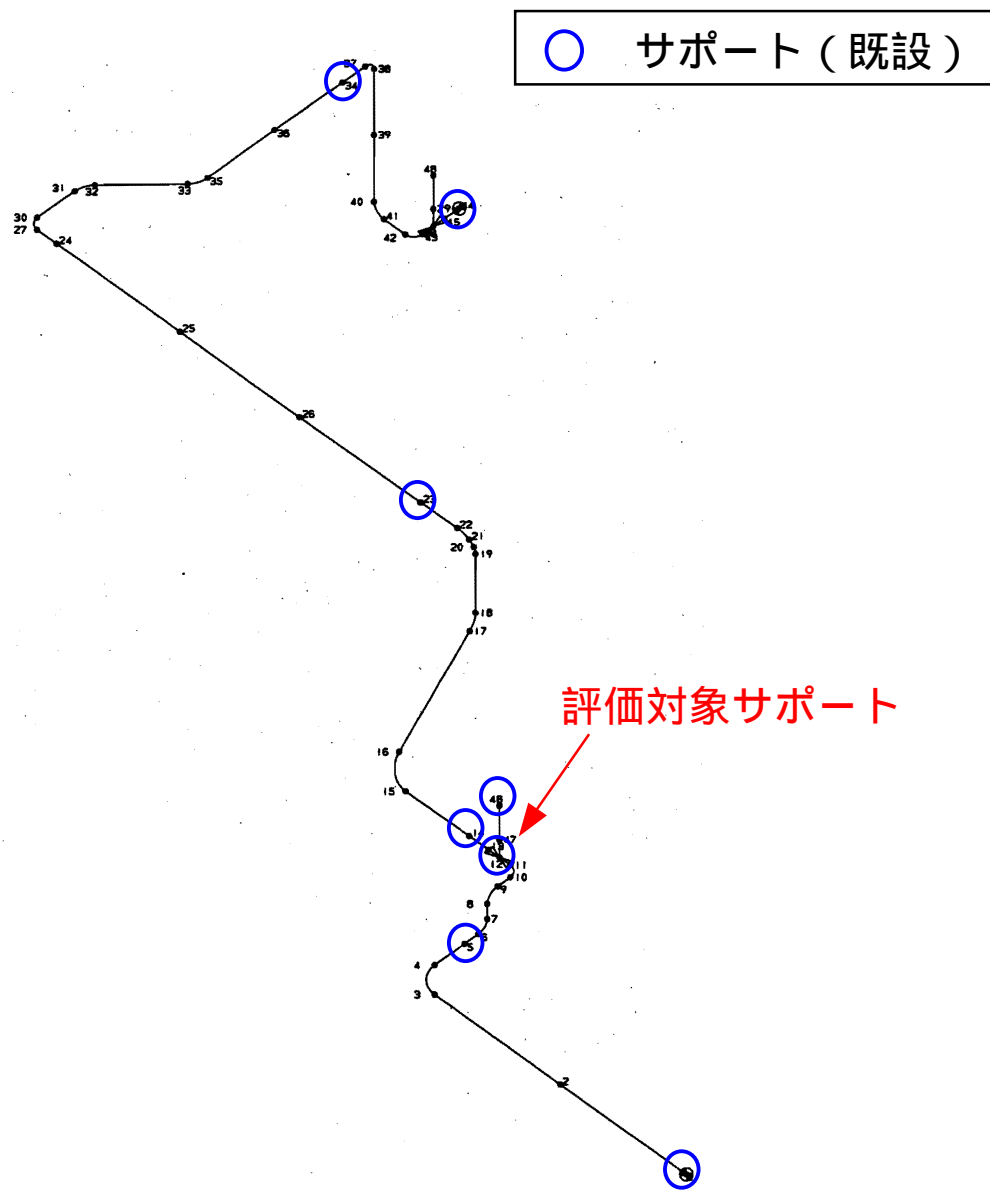
次頁以降に，それぞれの系統について構造を示す。

配管系（配管サポート）（2）

- 放射性ドレン移送系（6号機）



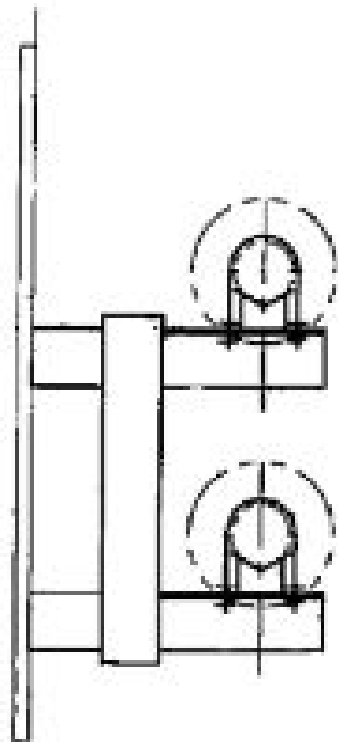
サポート構造図



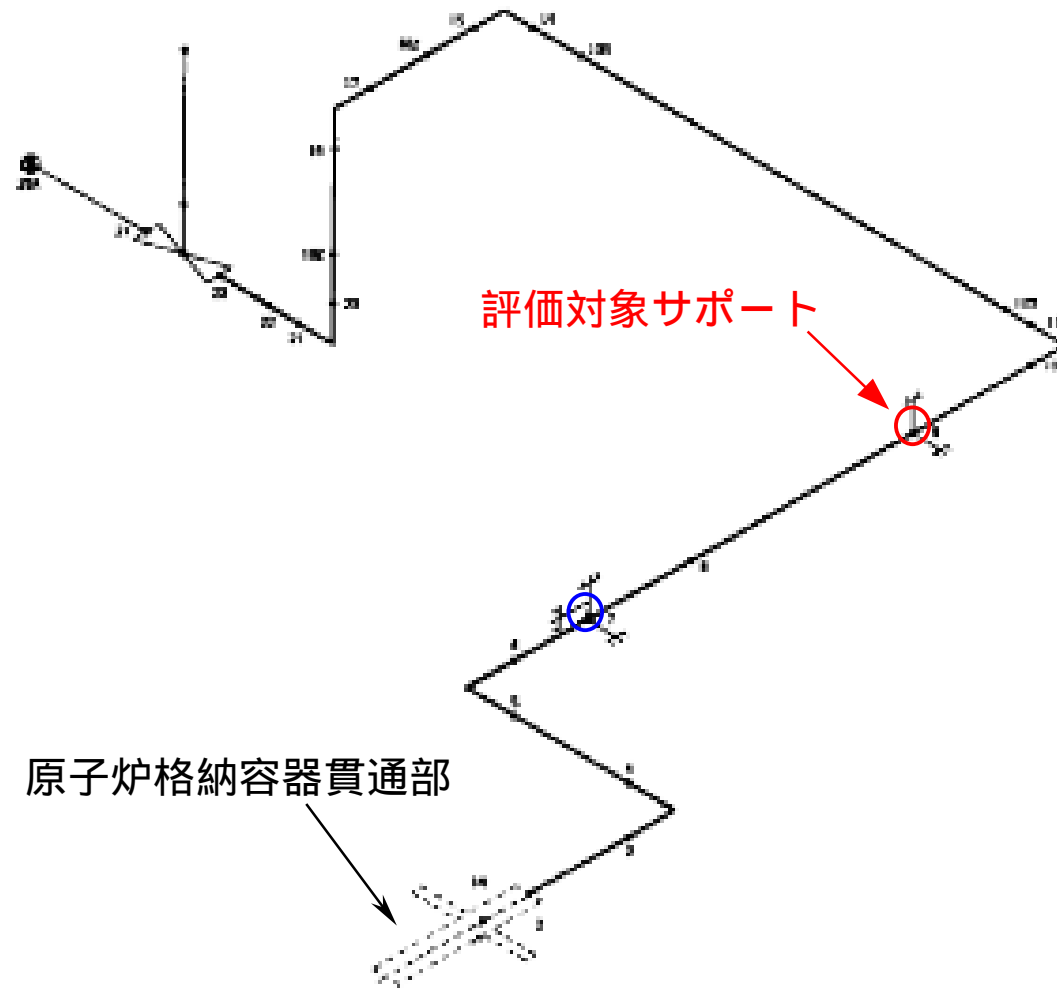
配管系（配管サポート）（3）

- 放射性ドレン移送系（7号機）

- サポート（既設）
- サポート（強化）

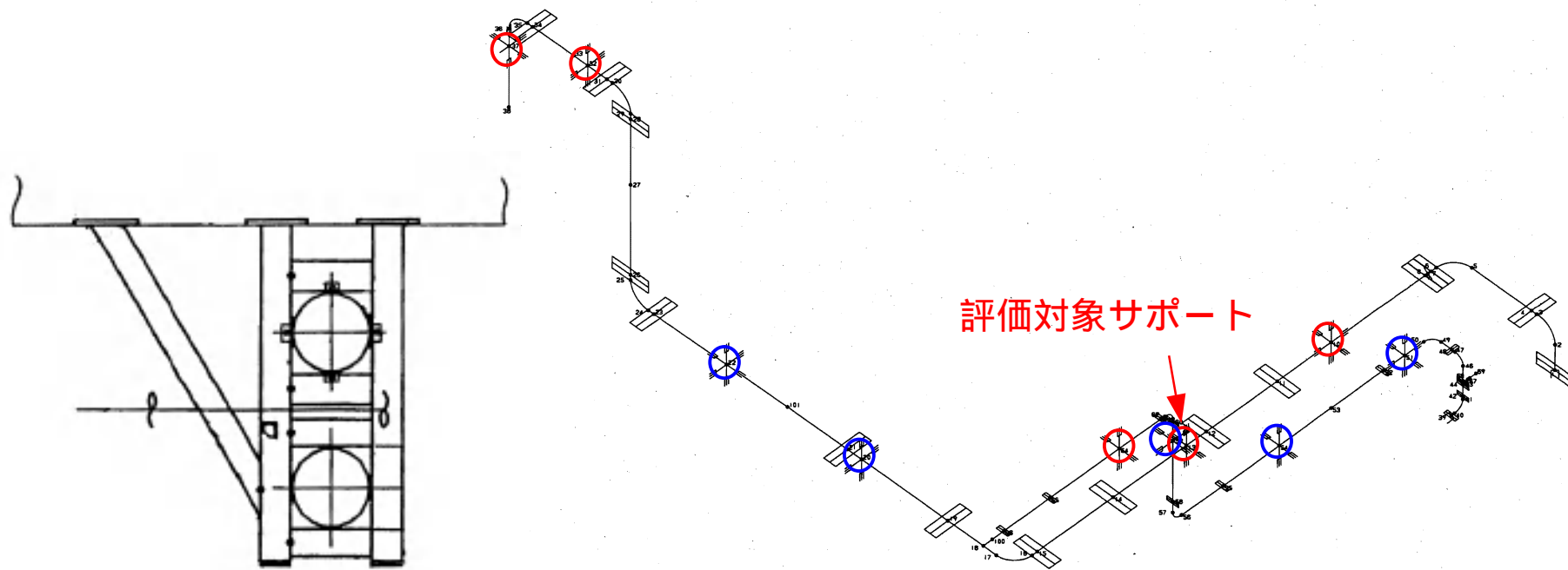
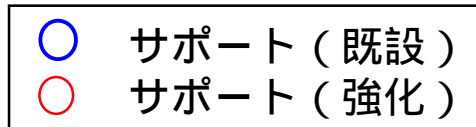


サポート構造図



配管系（配管サポート）（4）

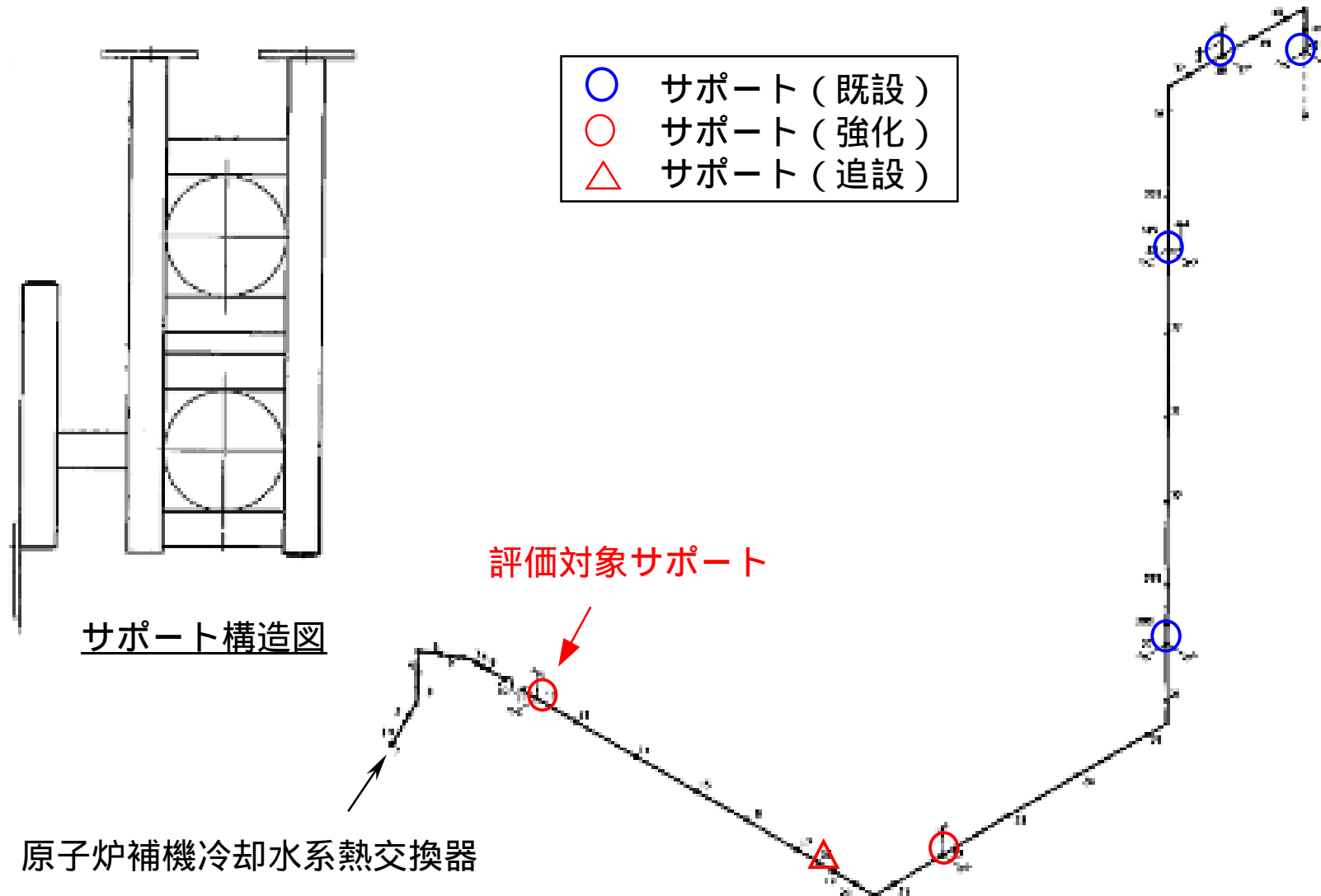
- 原子炉補機冷却海水系（6号機）



サポート構造図

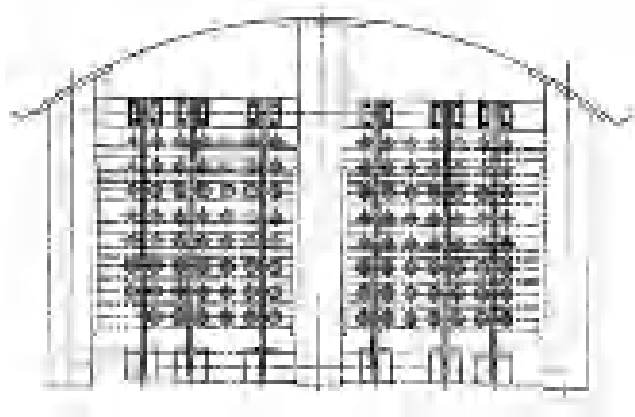
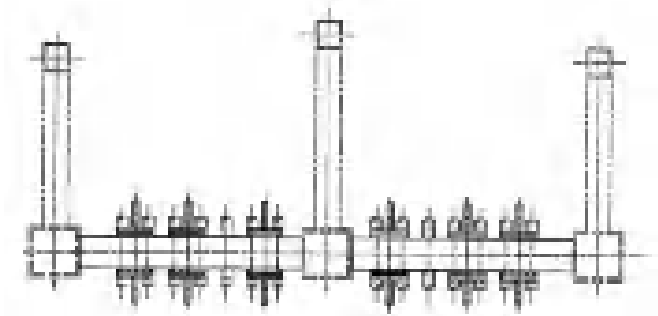
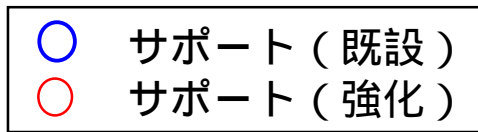
配管系（配管サポート）（5）

● 原子炉補機冷却海水系（7号機）



配管系（配管サポート）（6）

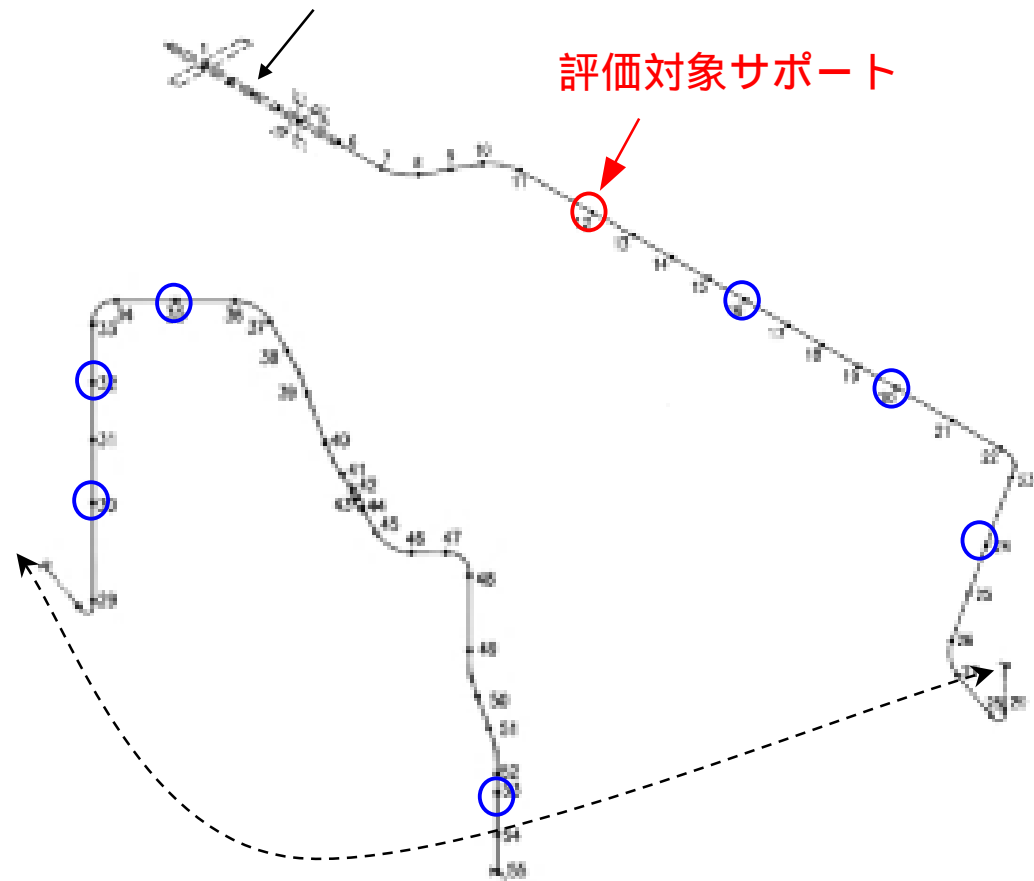
● 制御棒駆動系（6号機）



サポート構造図

原子炉格納容器貫通部

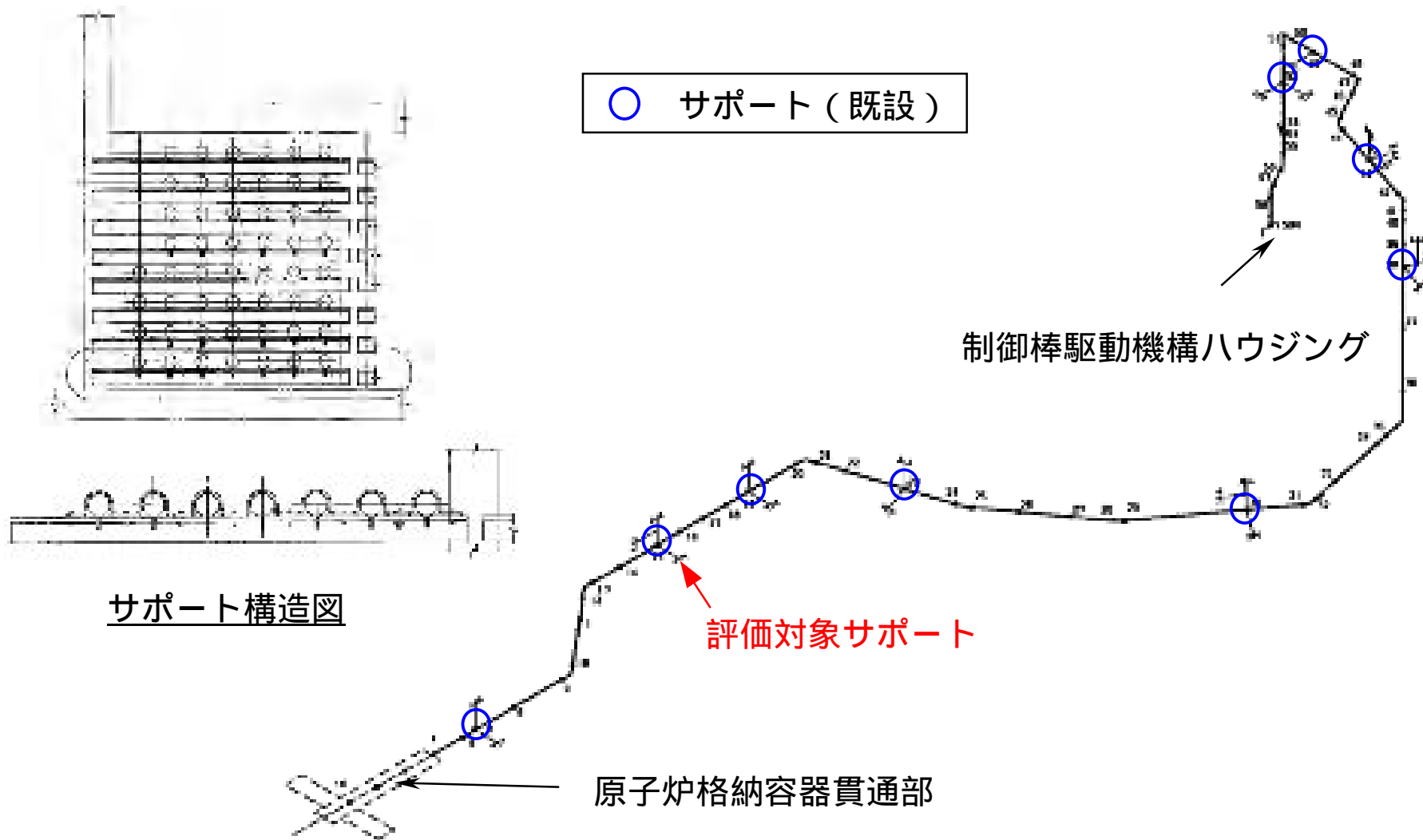
評価対象サポート



↑ 制御棒駆動機構ハウジング

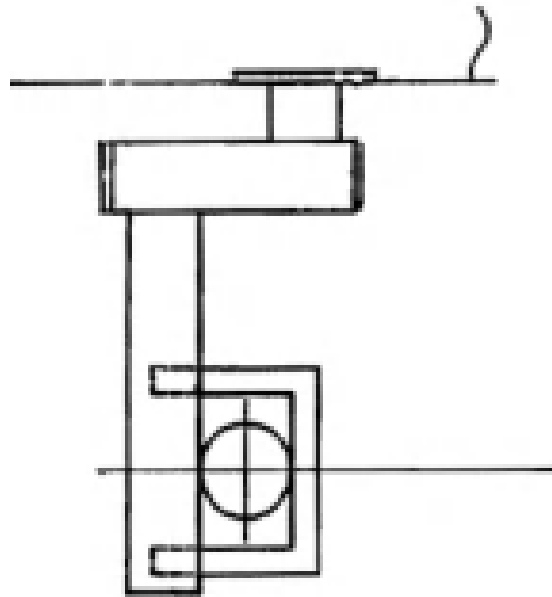
配管系（配管サポート）（7）

- 制御棒駆動系（7号機）

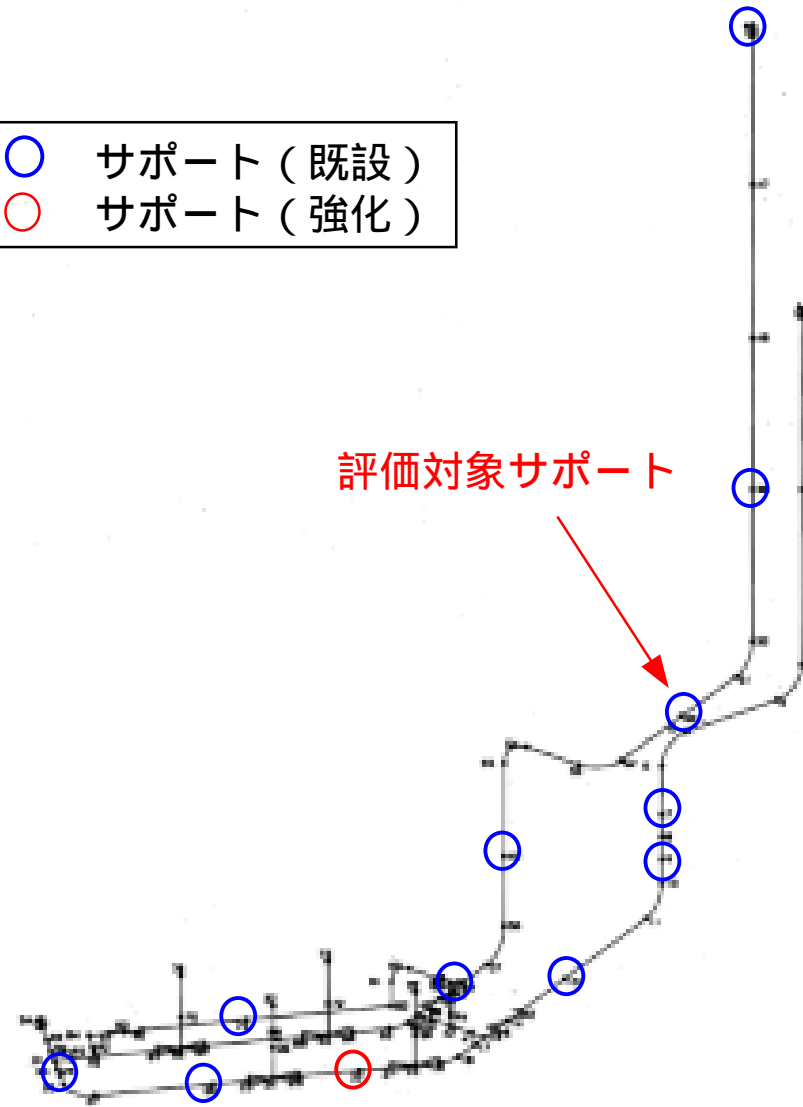
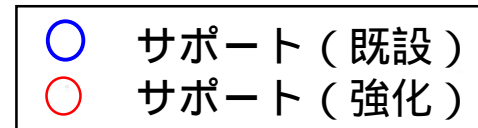


配管系（配管サポート）（8）

- 可燃性ガス濃度制御系（6号機）



サポート構造図



評価対象サポート

配管系（配管サポート）（9）

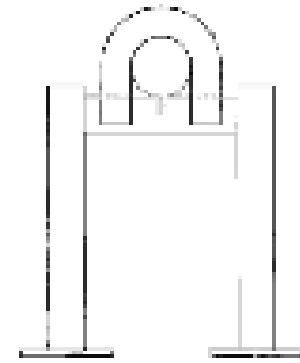
- 可燃性ガス濃度制御系（7号機）

原子炉格納容器貫通部

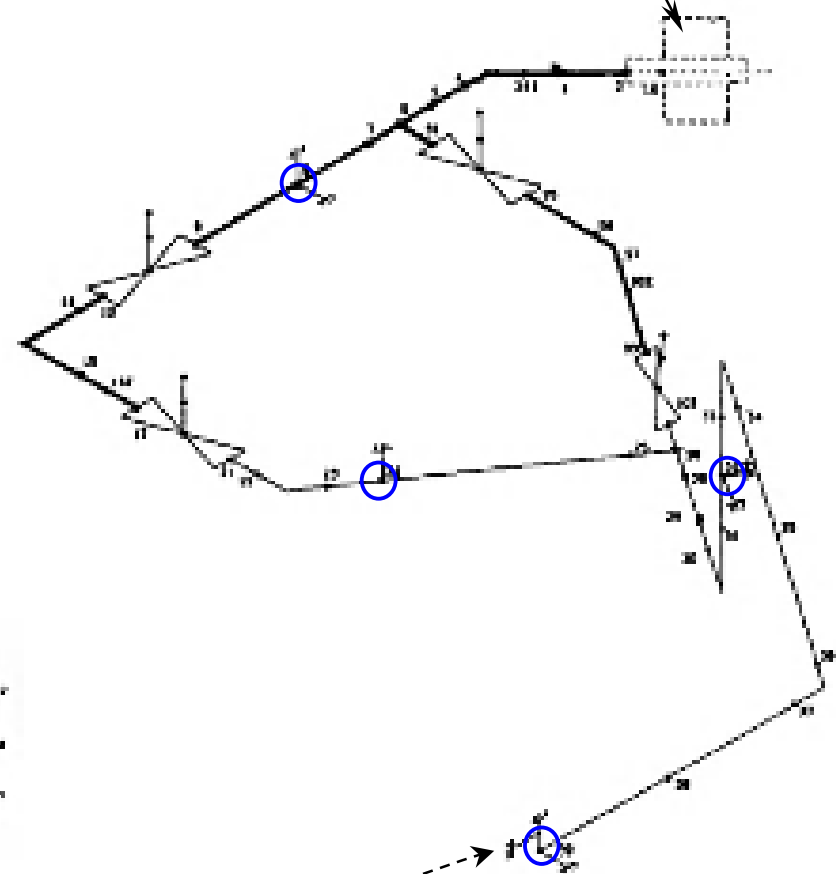
○ サポート（既設）

評価対象サポート

再結合装置（B）



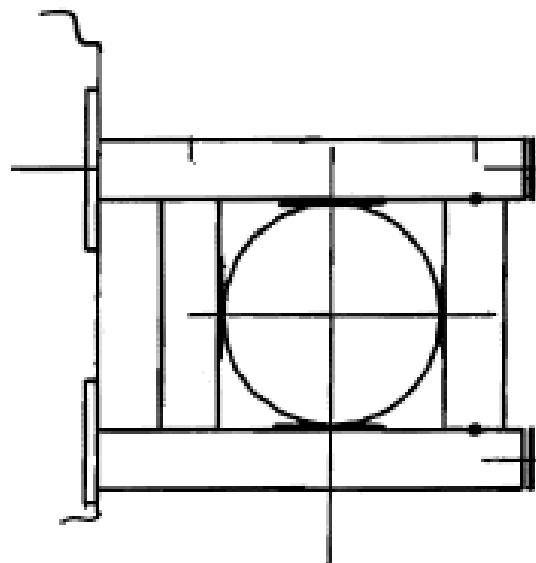
サポート構造図



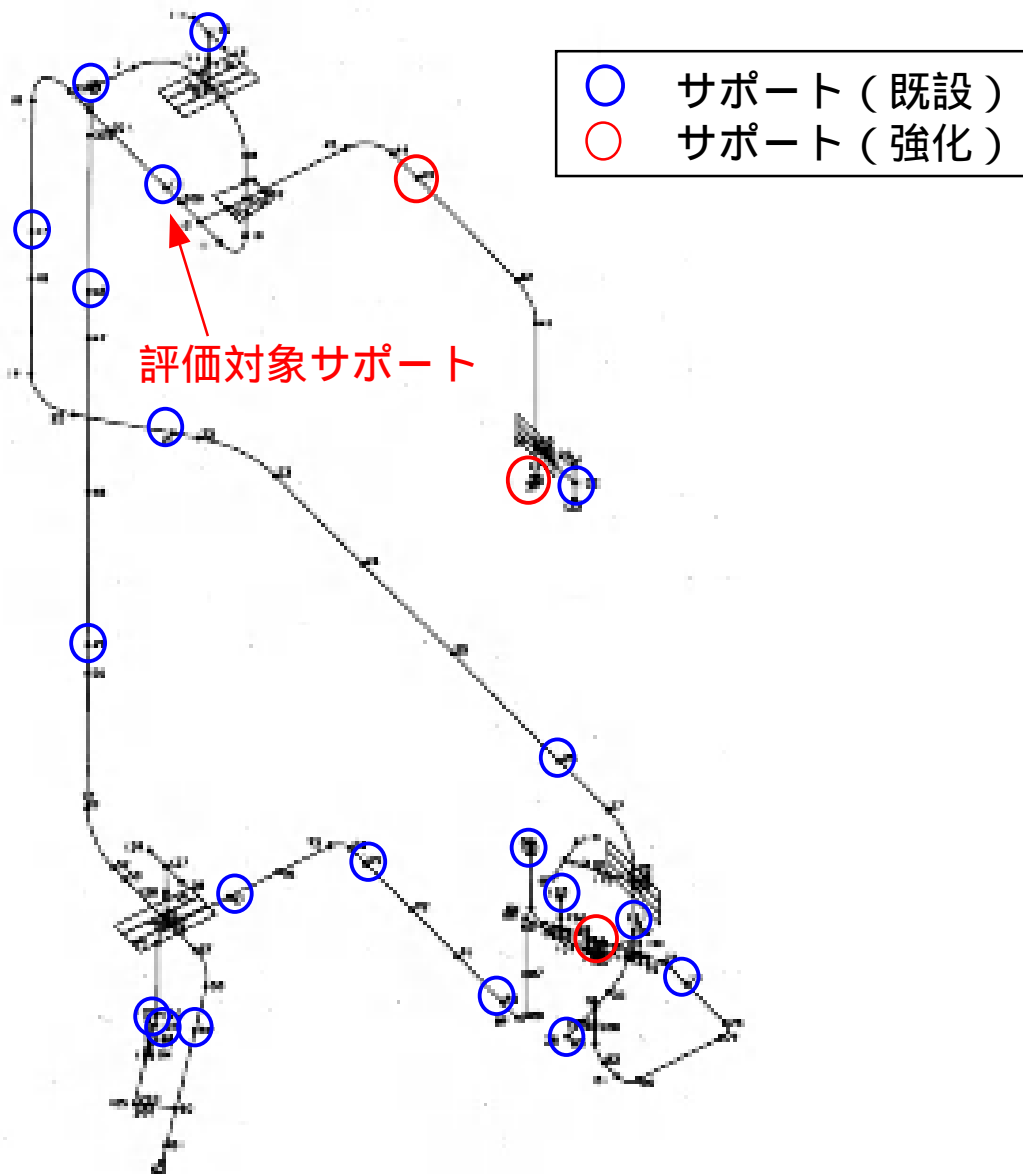
再結合装置（A）

配管系（配管サポート）（10）

- 不活性ガス系（6号機）



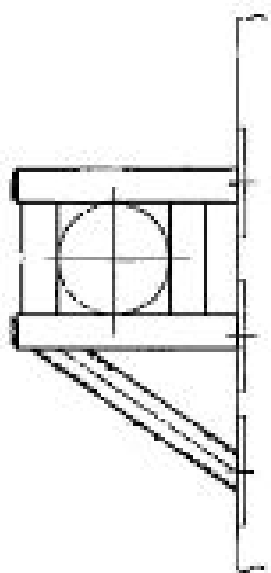
サポート構造図



配管系（配管サポート）（11）

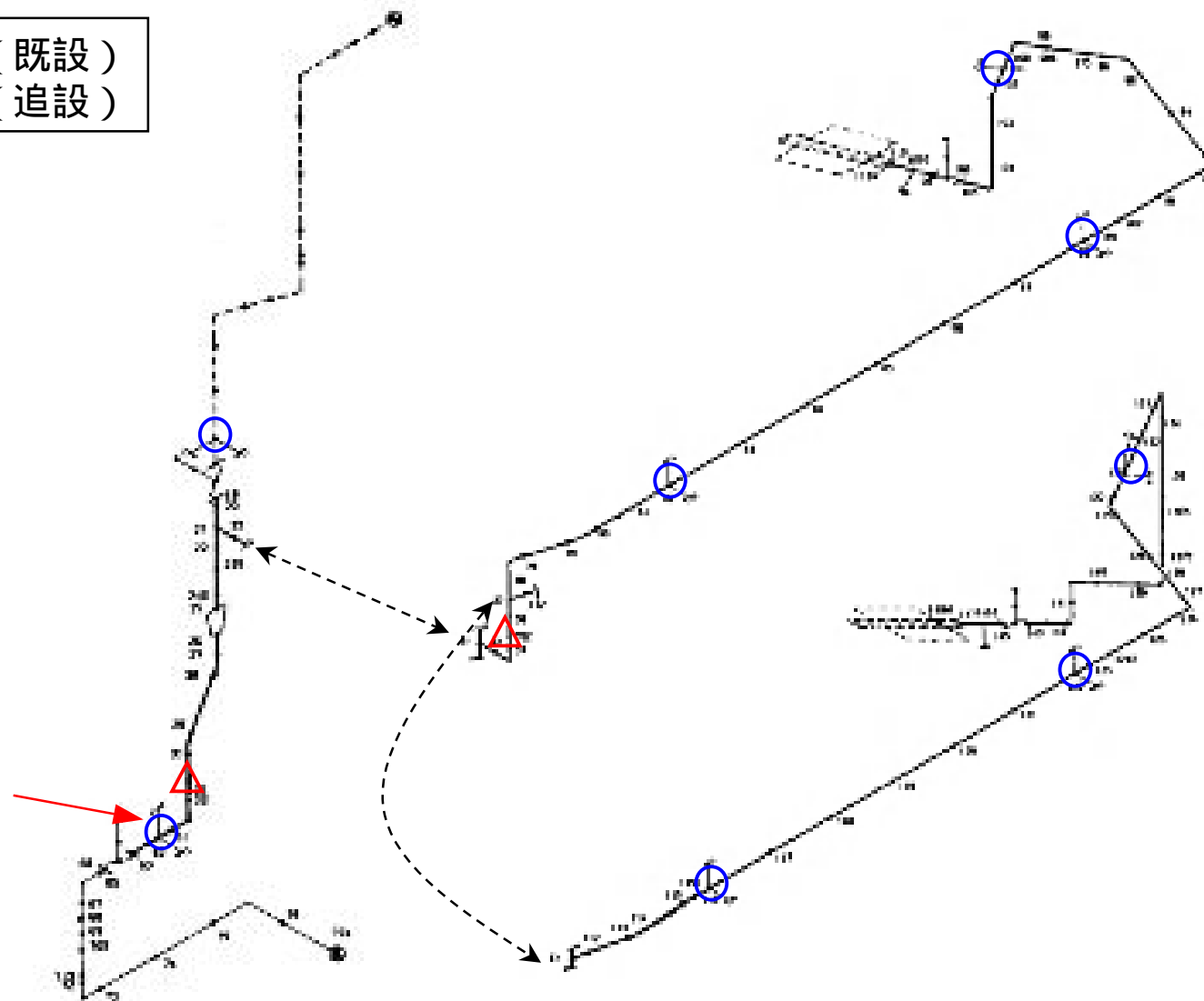
● 不活性ガス系（7号機）

- サポート（既設）
- △ サポート（追設）



サポート構造図

評価対象サポート



動的機能維持評価（弁）（1）

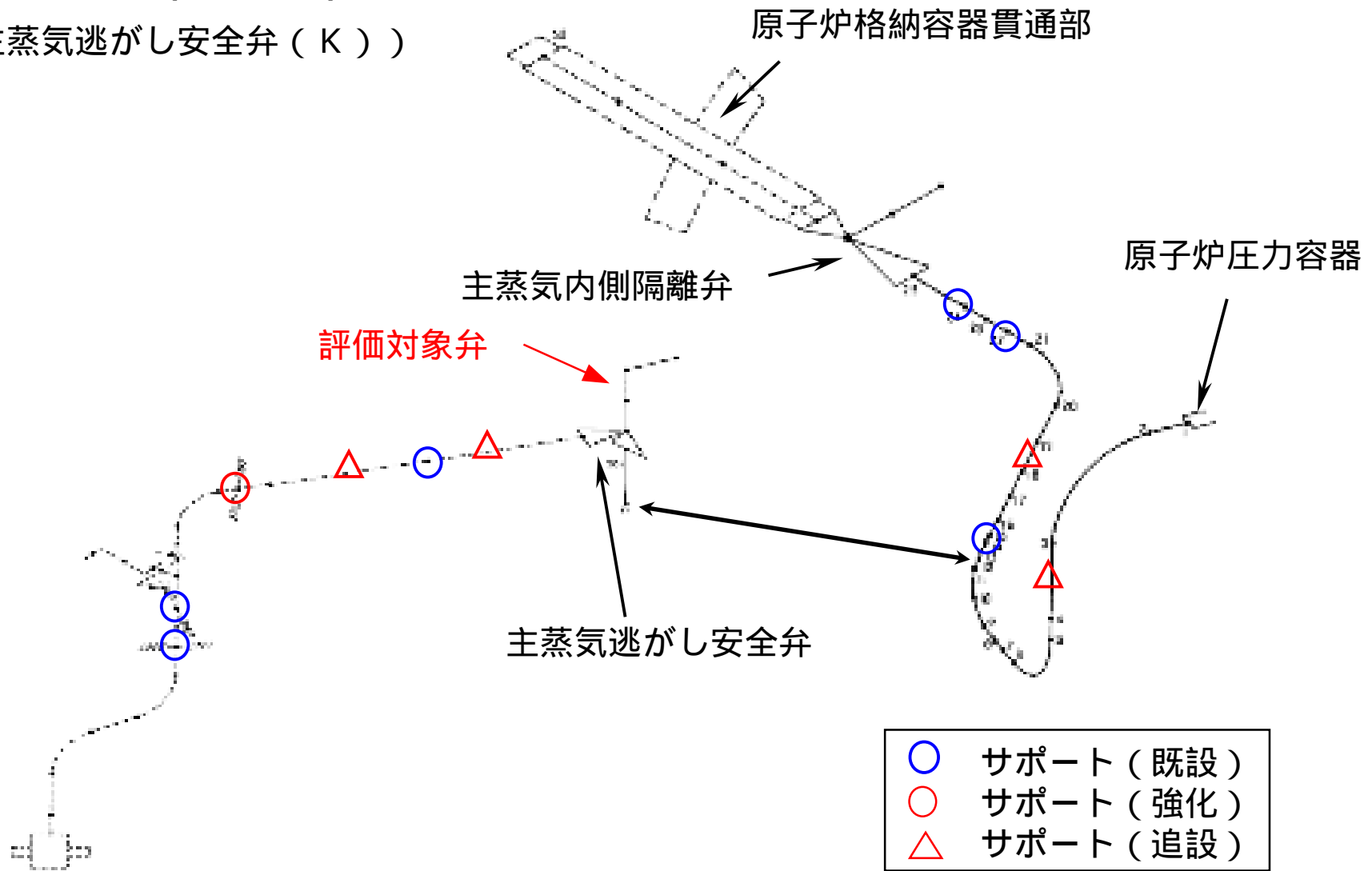
■ 動的機能維持評価（弁）

- 弁は，配管モデルにおいて多質点でモデル化している。
- 配管解析により弁部の加速度が算出され，得られた加速度を応答加速度としている。
- 6 / 7号機において同じ系統であっても配管の引き回しやサポートの取付位置等が異なることから，発生値に違いがある。

次頁以降に，それぞれの系統について構造を示す。

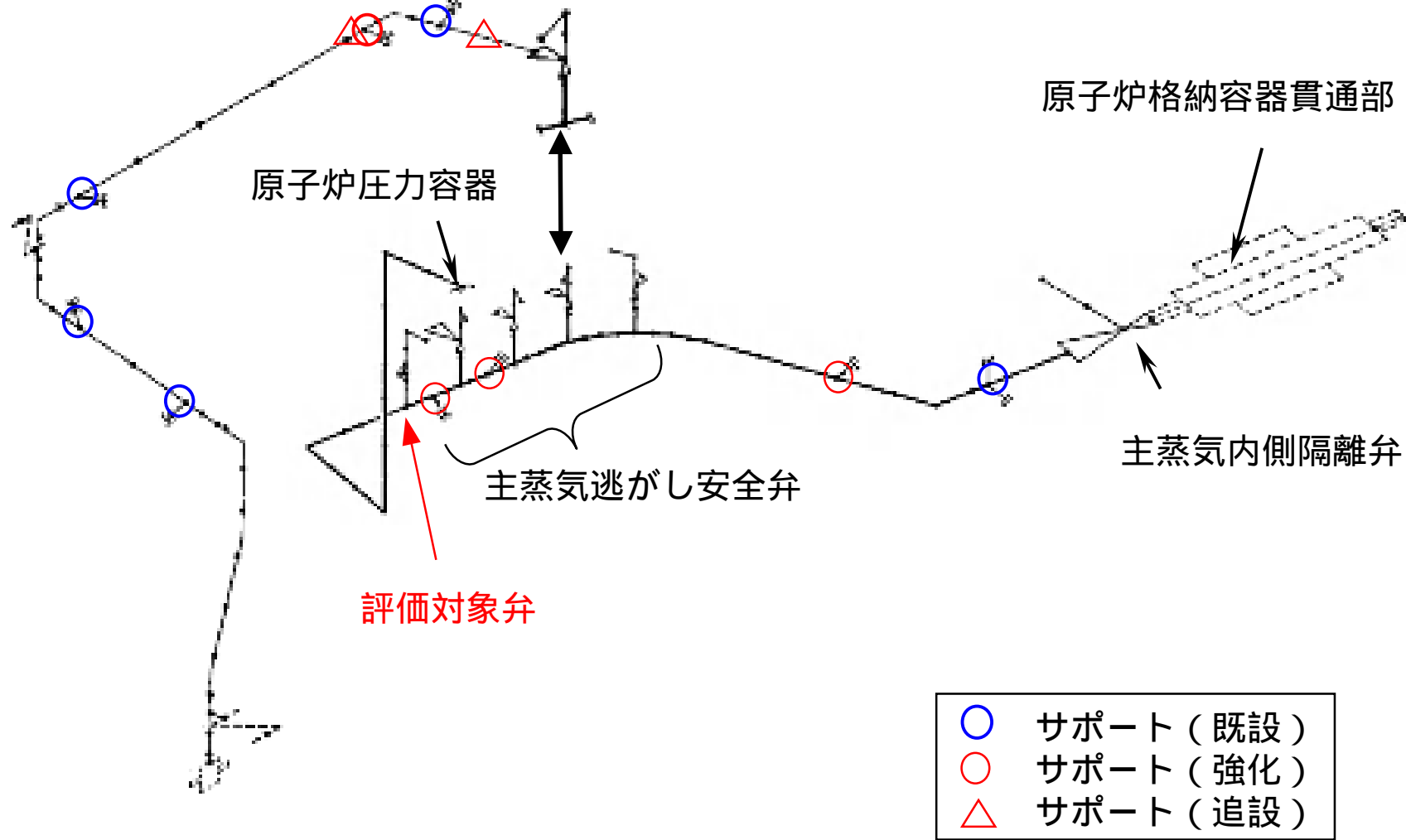
動的機能維持評価（弁）（2）

- 主蒸気系（6号機）
（主蒸気逃がし安全弁（K））



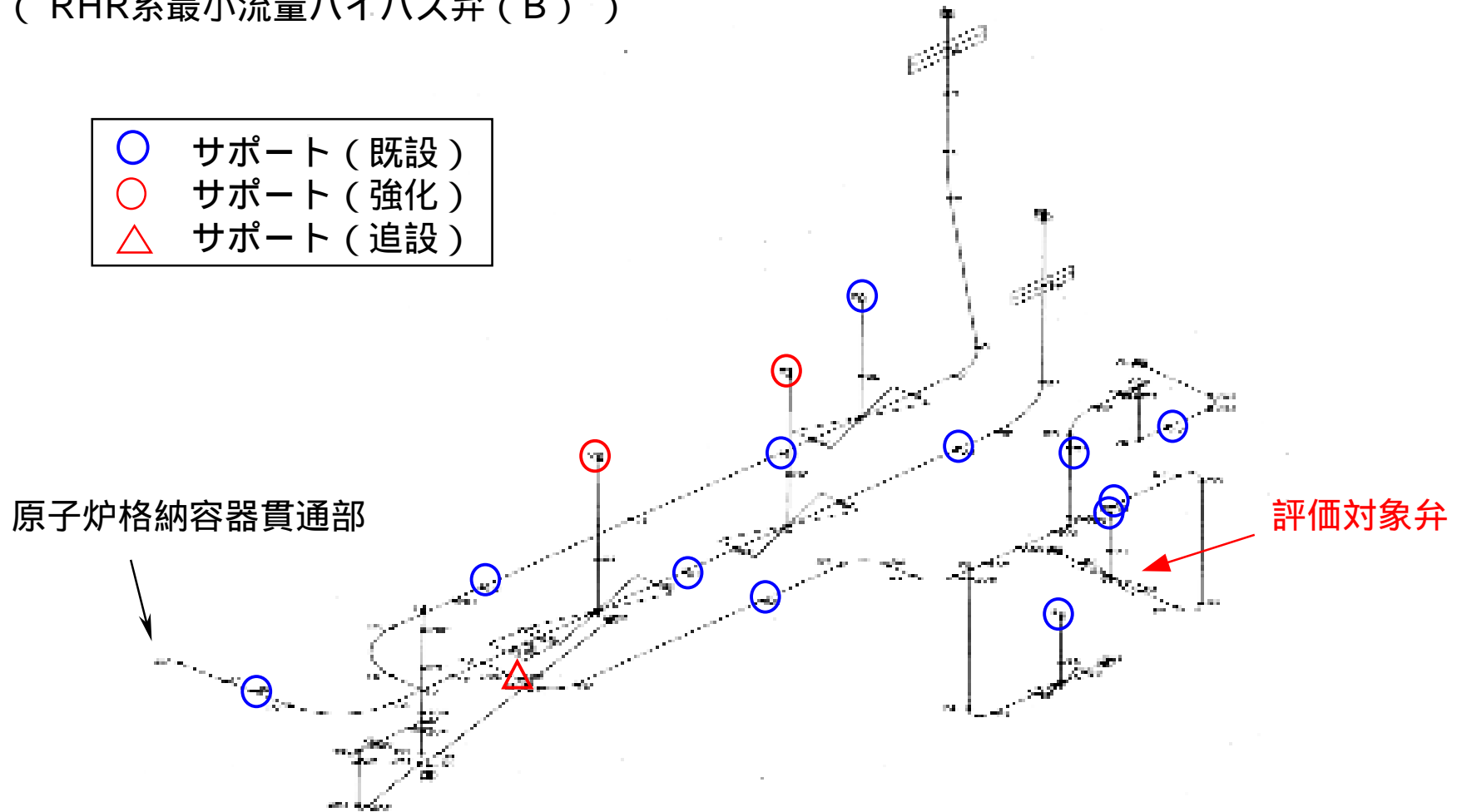
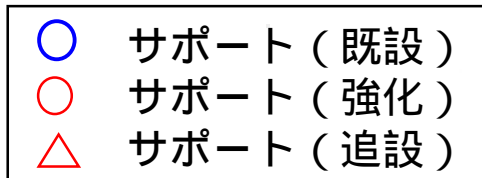
動的機能維持評価（弁）（3）

- 主蒸気系（7号機）
（主蒸気逃がし安全弁（S））



動的機能維持評価（弁）（4）

- 残留熱除去系弁（6号機）
（RHR系最小流量バイパス弁（B））

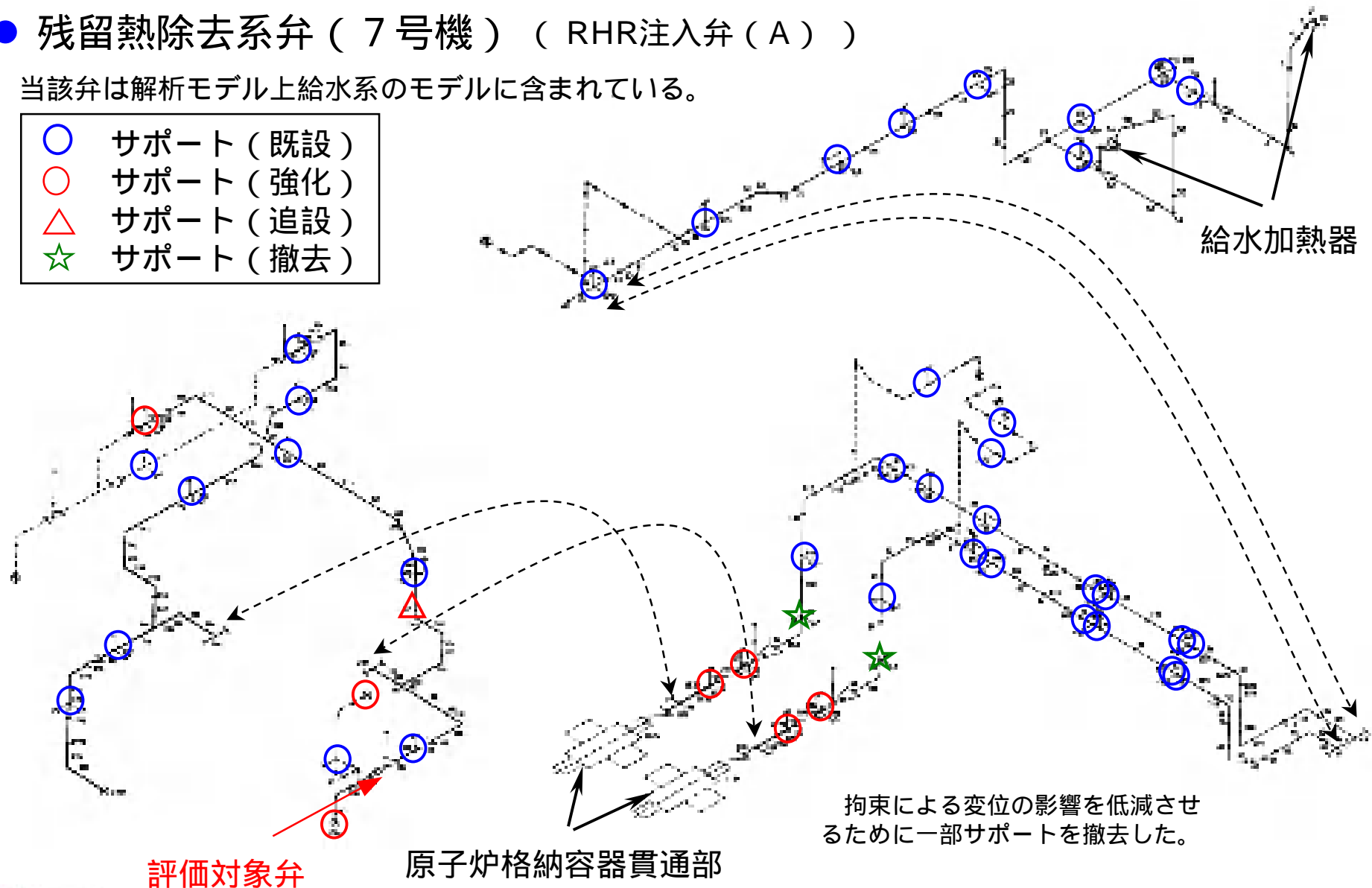


動的機能維持評価（弁）（5）

● 残留熱除去系弁（7号機）（RHR注入弁（A））

当該弁は解析モデル上給水系のモデルに含まれている。

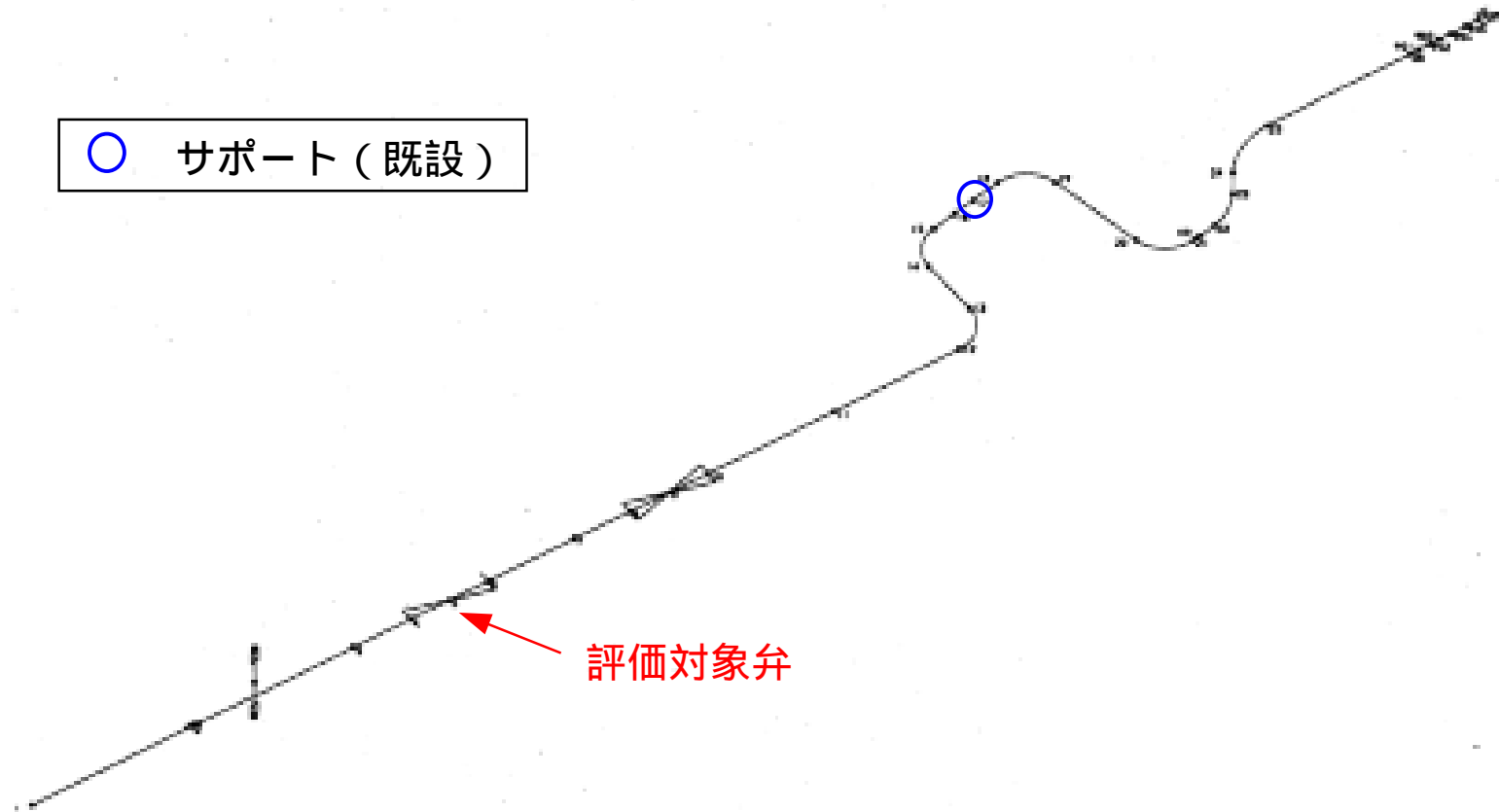
- サポート（既設）
- サポート（強化）
- △ サポート（追設）
- ☆ サポート（撤去）



拘束による変位の影響を低減させるために一部サポートを撤去した。

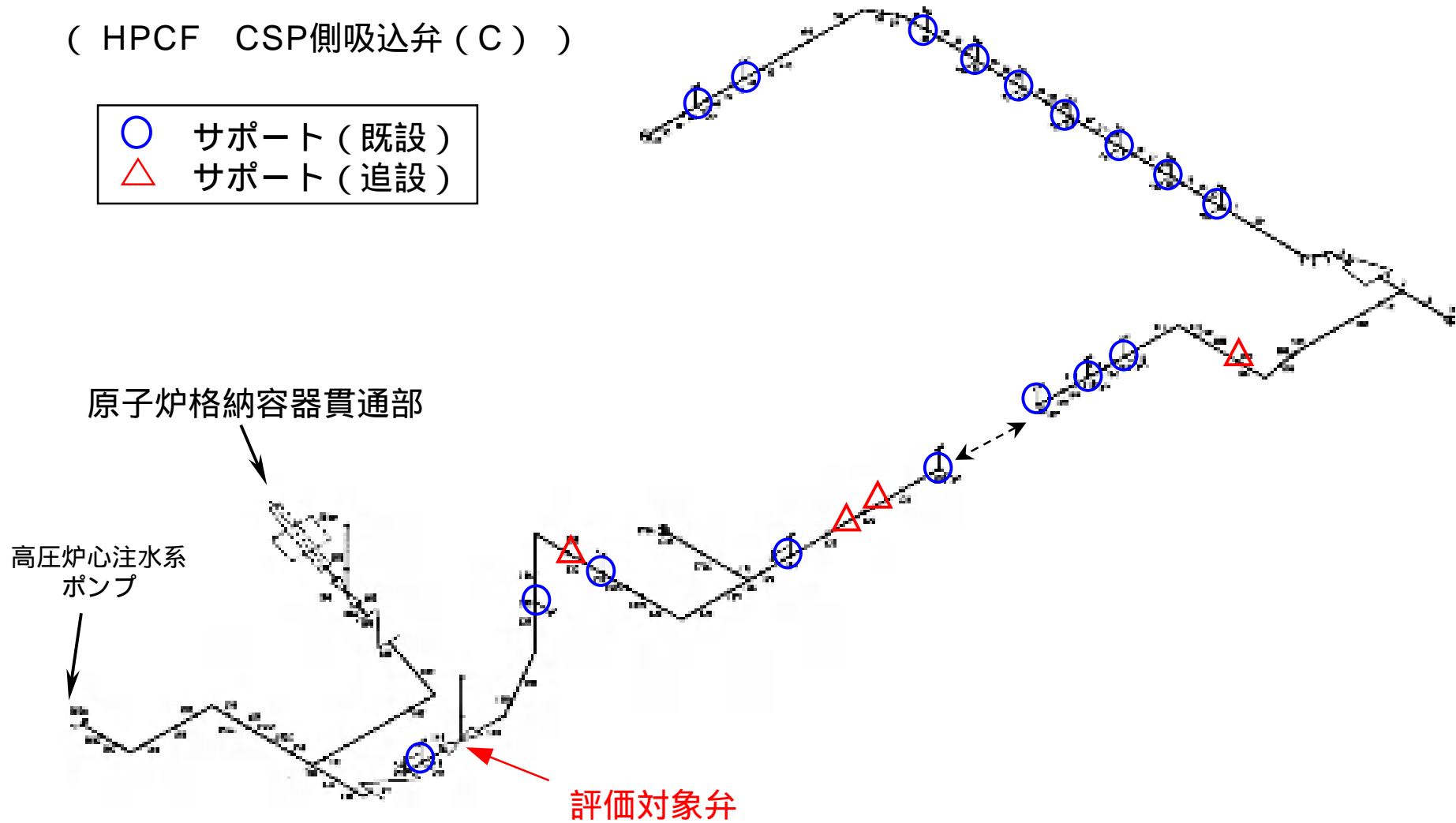
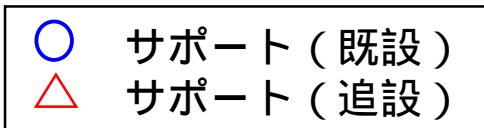
動的機能維持評価（弁）（6）

- 高压炉心注水系（6号機）
（HPCF系試験可能逆止弁（C））



動的機能維持評価（弁）（7）

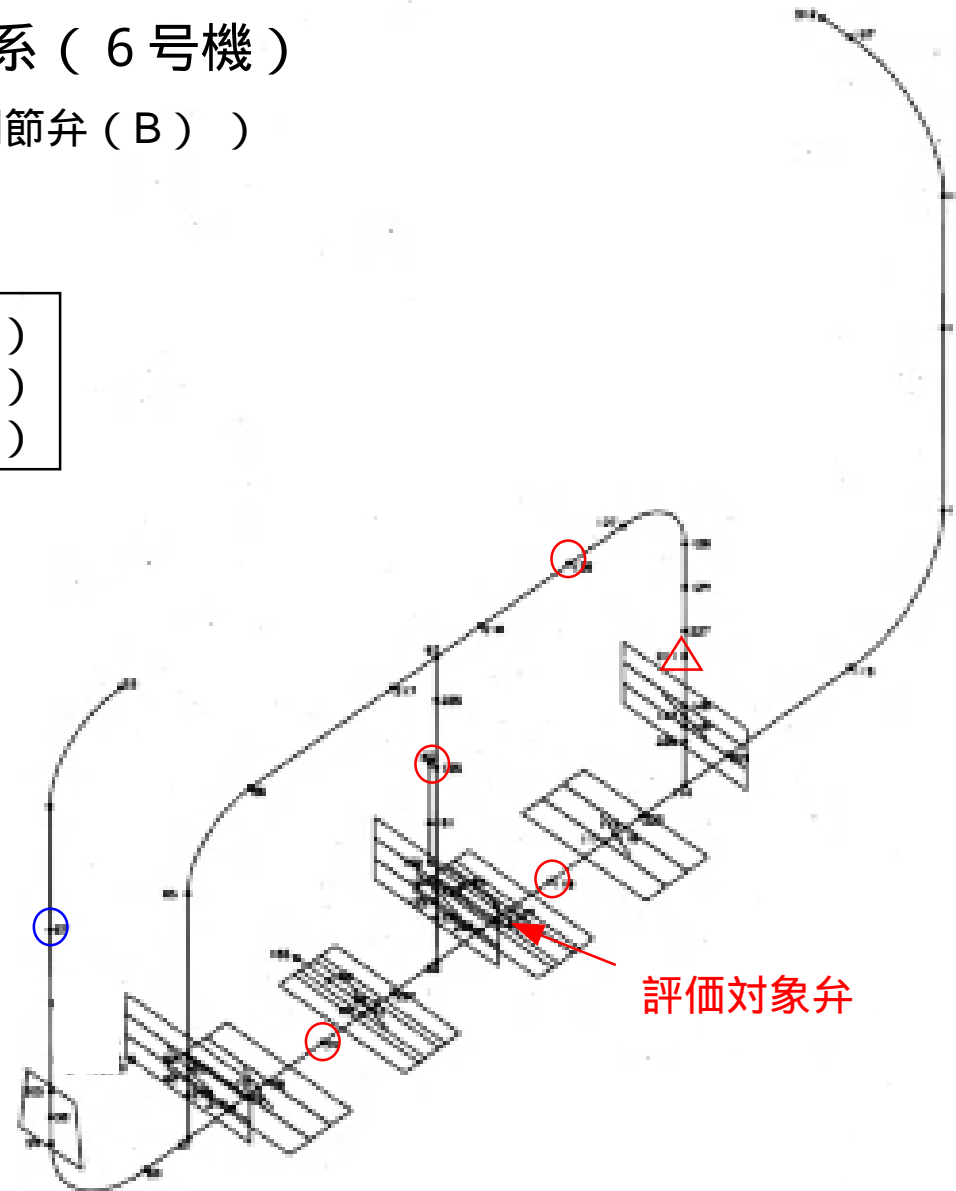
- 高压炉心注水系（7号機）
（ HPCF CSP側吸込弁（C） ）



動的機能維持評価（弁）（8）

- 原子炉補機冷却水系（6号機）
（RCW冷却水供給温度調節弁（B））

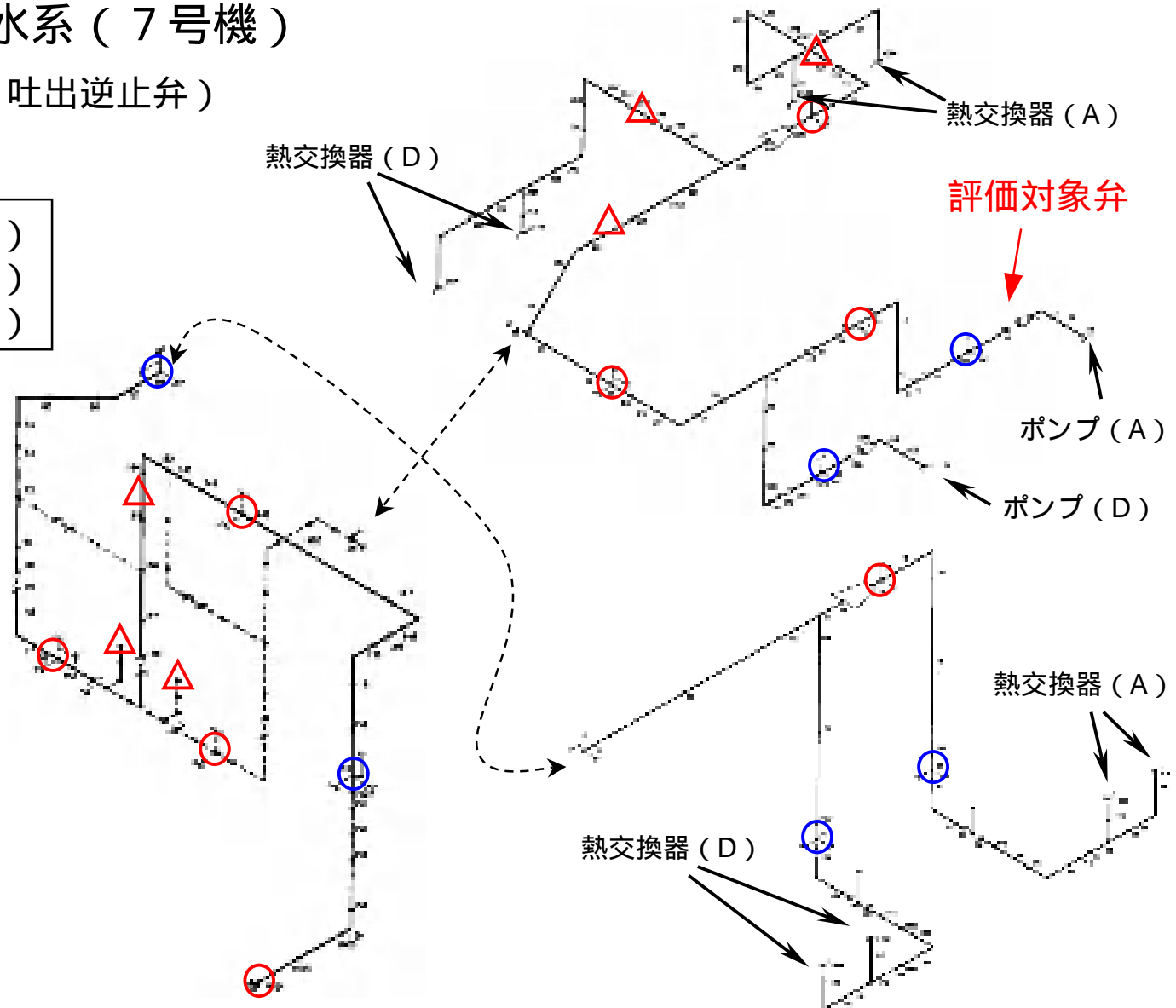
○	サポート（既設）
○	サポート（強化）
△	サポート（追設）



動的機能維持評価（弁）（9）

- 原子炉補機冷却水系（7号機）
（RCWポンプ（A）吐出逆止弁）

- サポート（既設）
- サポート（強化）
- △ サポート（追設）



まとめ

- 6号機と7号機で同等な構造であるが発生値が異なるものについては、主に評価手法（詳細評価と簡易評価，応答比の扱い等）が異なること，個々の設備の相違（重量や寸法）に起因している。
- 配管系については，同じ系統であっても配管の引き回しやサポートの取付位置等が異なることから，6 / 7号機で発生値に違いがある。
- 一部，上記のような違いはあるものの6号機の評価は7号機と同等であり，耐震安全性は確保されている。