

副本

平成 26 年（ヨ）第 31 号、平成 27 年（モ）第 38 号

債権者 松田 正 外 8 名（平成 26 年（ヨ）第 31 号は高橋秀典外 4 名）

債務者 関西電力株式会社

主張書面（11）兼 異議審主張書面（6）

平成 27 年 9 月 24 日

福井地方裁判所民事第 2 部 御中

債務者代理人 弁護士 小 原 正 敏



弁護士 田 中 宏



弁護士 西 出 智 幸



弁護士 原 井 大 介



弁護士 森 拓 也



弁護士 辰 田 淳



弁護士 今 城 智 德



弁護士 山内喜明



弁護士 中室祐



## 目 次

第1 耐震補強工事関係の質問に対する回答について .....	4
1 債務者が本件各発電所において今般実施した耐震補強工事の概要及びこれに 伴う耐震安全性の向上について（追加質問事項1　1） .....	4
2 ストレステストのクリフェッジについて（追加質問事項1　1） .....	6
3 メタクラ及びパワーセンタの耐震補強工事について（追加質問事項2　第2の 2 (1)) .....	11
第2 許容値を超える値の適用の有無（追加質問事項2　第2の2 (2)) .....	12
第3 平成27年9月3日審尋期日における質問事項に対する回答について .....	13
1 材料の持つ強度のばらつきの下限について .....	13
2 ストレステストのクリフェッジを求める際の評価基準値について .....	13
別 紙 .....	14

債務者は、御庁からの平成27年9月4日付「債務者に対する追加質問事項」(以下、「追加質問事項1」という)のうち「1 前回質問事項(平成27年7月24日付け)の補足」及び平成27年9月18日付「債務者に対する追加質問事項2」(以下、「追加質問事項2」という)のうち「第2 2 安全余裕について」について、以下のとおり回答する(下記第1及び第2)。

また、平成27年9月3日の審尋期日における御庁からの質問事項のうち、書面による回答の要請があったものについても、本書面で併せて回答する(下記第3)。

なお、以下では、高浜発電所3号機及び4号機を「高浜3、4号機」といい、大飯発電所3号機及び4号機を「大飯3、4号機」とい、高浜3、4号機と大飯3、4号機を総称して「本件各発電所」という。

#### 第1 耐震補強工事関係の質問に対する回答について

##### 1 債務者が本件各発電所において今般実施した耐震補強工事の概要及びこれに伴う耐震安全性の向上について(追加質問事項1 1)

(1) 債務者答弁書58~61頁、債務者の平成27年1月23日付主張書面(1)(以下、「債務者主張書面(1)」とい)11頁、債務者の平成27年5月15日付異議審主張書面(1)(以下、「債務者異議審主張書面(1)」とい)19~20頁で述べたとおり、原子力発電所の地震に係る安全確保対策は、保守的な「基準地震動」を適切に策定した上で、この基準地震動による地震力に対して、原子炉等の安全性確保に重要な役割を果たす「安全上重要な設備」(設置許可基準規則<sup>13</sup>条及び4条にいう「耐震重要施設」。以下では、用語として「耐震重要施設」を用いる)が、全て耐震安全性を備える(機能喪失しない)ようにすることが基本的な方針である。

(2) そして、耐震重要施設が基準地震動に対する耐震安全性を備えているか否か

---

<sup>13</sup> 正式には、「実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」である。

の判断（耐震安全性評価<sup>2</sup>）は、耐震重要施設に該当する全ての設備について、各々適切な手法に基づき算出した評価値（例えば、基準地震動による地震力が作用した際に当該機器に生じる応力値）が、当該設備に係る評価基準値（許容値）以下となることを確認することにより行う。また、今回のように基準地震動をより保守的で大きなものとなるように見直した場合にも、全ての耐震重要施設について、新たな基準地震動による見直し後の評価値が評価基準値（許容値）以下となるか否かを改めて確認し<sup>3</sup>、その上で、耐震安全性を満足しない（新たな基準地震動による評価値が評価基準値（許容値）を上回る）見込みとなつた設備や、耐震安全性を満足する見込みであるが耐震裕度を更に向上させる必要があると判断した設備に対しては、必要な耐震補強工事を行うこととしている。<sup>4</sup>

(3) 今般、新規制基準の施行を受けて基準地震動を見直したことに伴い、本件各発電所について債務者が実施している耐震補強工事の概要は、別紙「耐震補強工事の概要について」に記載したとおりである。前述した新たな基準地震動に対する全ての耐震重要施設の耐震安全性評価と、必要な耐震補強工事の実施により、本件各発電所の全ての耐震重要施設が新たな基準地震動に対する耐震安全性を備えるところとなる。

その結果、地震に対する本件各発電所のプラント全体としての安全性は、引き上げ後の（従前より保守的で大きなものに引き上げられた）新たな基準地震動

---

<sup>2</sup> 耐震安全性評価の詳細は、債務者主張書面（1）143～154頁、債務者異議審主張書面（1）24～25頁を参照。

<sup>3</sup> なお、耐震重要施設以外の設備でも、その設備が損傷すると耐震重要施設の機能に影響を及ぼすと考えられるものがあり、債務者は、各設備の位置関係・構造等を踏まえ、そのような影響を及ぼす設備については全て基準地震動による評価を行っている。例えば、ある設備が仮に地震によって損傷すると、設備に内包している水等が流失し、その水等が耐震重要施設にかかるなどして機能に影響を及ぼすと考えられる場合、当該設備が基準地震動による地震力によって損傷し、水等が流出することがない（溢水源とならない）ことを確認している。

<sup>4</sup> 御庁からの質問事項において触れられている「債務者が・・・耐震補強工事を行った目的ないし必要性（なぜその箇所を補強しなければならないと判断したのか）」については、この（2）及び別紙「耐震補強工事の概要について」の「2 耐震補強工事の目的ないし必要性」で説明する内容が回答となる。

に対して耐震安全性を有することが確認されたという意味で、引上げ前の基準地震動 S s にて耐震安全性が確認されていた際に比べて向上しているといえる。

例えば、高浜 3, 4 号機の場合を例にとると、従前は最大加速度 550 ガルの基準地震動 S s に対する耐震安全性が確保されたプラントであったが、今回の基準地震動の見直し及び耐震補強工事の実施により、新たに最大加速度 700 ガルの基準地震動に対する耐震安全性が確保されたプラントであることを確認した。このように、耐震安全性確保の基準となる地震動が、最大加速度 550 ガルの基準地震動 S s から最大加速度 700 ガルの基準地震動に引き上げられ、必要な耐震補強工事を行うことで、この新たな基準地震動に対する耐震安全性が確保されたという意味で、プラント全体としての耐震安全性が向上したといえるのである。

## 2 ストレステストのクリフエッジについて（追加質問事項 1 1）

- (1) 御庁からの追加質問事項 1 の 1 には、「本件原発の安全性が具体的にどのように変化したと考えるのか」という問い合わせに続いて、括弧書きで、「観念的であってもクリフエッジの上昇等の耐震安全性に関わる数値の向上が図られたと理解してよいのか」と記載され、「クリフエッジの上昇」にも言及されている。
- (2) この点については、以前にストレステストを実施<sup>5</sup>した後、新規制基準の施行を受けて本件各発電所の基準地震動が見直されるとともに、耐震補強工事が実施され、新たな設備が配備されたといった様々な事情の変化がある。そして、債務者は、このような事情の変化を踏まえての改めてのストレステストのよう

<sup>5</sup> 債務者主張書面（1）161 頁で述べたとおり、以前に実施したストレステストの評価内容は、平成 24 年 4 月 20 日（高浜発電所 3 号機）、同月 1 日（高浜発電所 4 号機）、平成 23 年 10 月 1 日（大飯 3, 4 号機）の時点における本件各発電所の施設の状態を前提としており、また、高浜 3, 4 号機の基準地震動 S s (550 ガル)、大飯 3, 4 号機の基準地震動 S s (700 ガル) を基礎としたものである。

な評価は実施していない<sup>6</sup>。そのため、債務者主張書面（5）5頁でも述べたとおり、本件各発電所の新たな施設の状態を前提とした、本件各発電所の新たな基準地震動に対するクリフエッジは分からぬ。したがって、耐震補強工事の実施や新たな設備の配備による本件各発電所のプラント全体としての耐震安全性の向上を、クリフエッジの値<sup>7</sup>の上昇という形で示すことは困難である。

（3）この点につき詳しく説明する前提として、まず、以前に実施したストレステストにおけるクリフエッジの特定方法について、その概要を説明しておく。

債務者主張書面（1）162～163頁で述べたとおり、ストレステストにおいては、（発生の蓋然性は捨象して）本件各発電所が基準地震動 S s を超える地震動に襲われることをあえて仮定し、一定の前提<sup>8</sup>の下で、以下の評価実施手順により、本件各発電所の地震に係るクリフエッジを特定した。

①起因事象（地震による機器の損傷に起因して生じ、有効な収束手段がとられなければ燃料の重大な損傷に至る可能性のある事象）を選定する。

②各起因事象に対して、燃料の重大な損傷に進展しないように収束させる手順（収束シナリオ）を確認し、その実現に必要な機器を整理する。

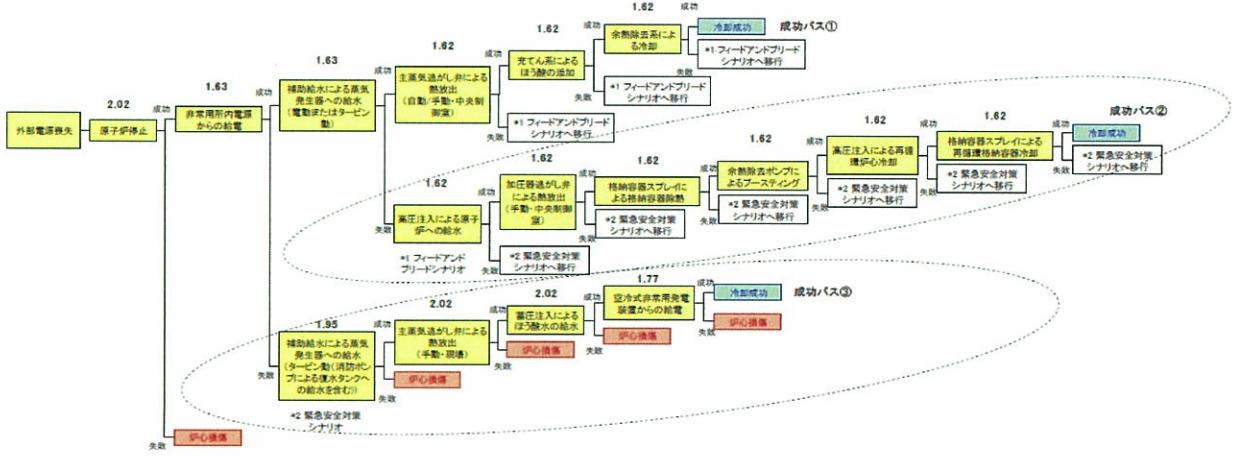
③収束シナリオの実現に必要な機器が、それぞれどの程度の地震動レベルまで正常に働くか（耐震裕度）を個々に評価し、それをもとに各起因事象に対する耐震裕度（どの程度までの地震動であれば当該起因事象に対する収束が可能か）を確認する。そして、それらのうち最も耐震裕度が低いものをクリフエッジとして特定する。

---

<sup>6</sup> 債務者の平成27年3月4日付主張書面（5）（以下、「債務者主張書面（5）」という）5～6頁で述べたとおり、ストレステストは、新規制基準の下で、その実施が法令上要求されているものではない。

<sup>7</sup> ストレステストにおけるクリフエッジの値は、下記（3）で述べるとおり、あくまでもクリフエッジと特定された設備の基準地震動に対する耐震裕度の値（評価基準値（許容値）を評価値で除した値）にて表されるものである。

<sup>8</sup> 債務者主張書面（1）162頁で述べたとおり、例えば、各機器の耐震裕度を評価するに際しては、原則として評価基準値（許容値）を評価値で除した値がそのまま利用されているに過ぎないなど、全ての余裕が定量的に評価されて見込まれているわけではない。



【図表 1 高浜発電所 3 号機における「外部電源喪失」に対するイベントツリー】

(4) クリフエッジの特定方法について更に具体的に敷衍するために、上記（3）で挙げた評価実施手順②の前段の例として、高浜発電所 3 号機においてクリフエッジが特定された、「外部電源喪失」という起因事象<sup>9</sup>に対する収束シナリオを確認した結果であるイベントツリー（収束シナリオを構成する各々の手段の耐震裕度<sup>10</sup>も記入されたもの）を図表 1 に示す<sup>11</sup>。

このイベントツリーの見方は次のとおりである。まず、同発電所の基準地震動 S s (550 ガル) の 1.62 倍までは、図表 1 に示された収束シナリオの成功パス①ないし③（を構成する全ての手段）がいずれも実現可能（成功）であり、炉心の重大な損傷に至ることはない。次に、基準地震動 S s (550 ガル)

<sup>9</sup> 「主給水喪失」も併せて発生していることが前提とされている。

<sup>10</sup> 図表 1 において、収束シナリオを構成する個々の手段が黄色い四角で示されているが、これら各手段（各々の黄色い四角）の上に記載されている数字が、当該手段の実現（成功）に必要な設備のうちで最も耐震裕度の低いものの値（すなわち、その値を超えるレベルの地震動に襲われると、当該設備が機能喪失すると評価される結果、当該手順が実現（成功）できなくなるとされる値）である。「外部電源喪失」の収束シナリオを構成する各手段について、必要な設備とその耐震裕度を整理した一覧表が、甲 118 号証の添付 5-(1)-13 である。

<sup>11</sup> これは、高浜発電所 3 号機のストレステストに関する報告書（甲 118）添付 5-(1)-12 の図を抜粋したものである。

の 1.62 倍を超えると、成功パス①及び②を構成する手段の中に（その手段に必要な設備の一部が機能喪失するとされることで）実現不能（失敗）とみなすものがあり、これら 2 つの成功パスは実現できないが、成功パス③は（基準地震動 S s (550 ガル) の 1.77 倍までは）依然として実現可能であり、これにより、やはり燃料の重大な損傷に至ることはない。ところが、基準地震動 S s (550 ガル) の 1.77 倍を超えると、耐震裕度が 1.77 倍である高電圧開閉装置（「メタルクラッド開閉装置」、「メタルクラッドスイッチギア」、「メタクラ」ともいい、以下では「メタクラ」という）及びパワーセンタが機能喪失すると評価される結果、これらの装置を必要とする、成功パス③の「空冷式非常用発電装置からの給電」という手段<sup>12</sup>が実現不能とみなすことになり、成功パス③も含めて、収束シナリオがいずれも実現不能と評価されることになる。

このようにして、高浜発電所 3 号機の地震に係るクリフエッジは、メタクラ及びパワーセンタの耐震裕度である、基準地震動 S s (550 ガル) の 1.77 倍と結論付けられたのである<sup>13</sup>。

(5) 以上のようにして、以前に実施したストレステストにおけるクリフエッジは特定されたものである。しかしながら、その後、新規制基準の施行を受けて本件各発電所の新たな基準地震動が策定されるとともに、上記 1 (2) 及び (3) で述べたように必要な設備について耐震補強工事が実施され、さらには、債務者答弁書 78~86 頁で説明したような、(以前に実施したストレステストの評価には織り込んでいなかった) 新たな電源設備・注水設備等が多数配備されたといった様々な事情の変化がある。基準地震動の見直し及び耐震補強工事の実施

<sup>12</sup> 同手順の給電は、蓄圧注入系のバルブを電動で操作するために必要となるものである。

<sup>13</sup> なお、債務者主張書面 (1) 163 頁で大飯 3, 4 号機のメタクラを例に述べたとおり、この 1.77 倍という高浜 3, 4 号機のメタクラ及びパワーセンタの耐震裕度の値は、これらの装置の動的機能維持に係る鉛直方向の評価基準値（許容値）1.10G（G は重力加速度の単位）を、基準地震動 S s (550 ガル) に対する評価値（基準地震動 S s (550 ガル) によりこれらの装置に作用する鉛直方向の加速度値）0.62G で除したものに過ぎない。

は、上記（3）③における収束シナリオの実現に必要な機器の耐震裕度に変化をもたらす。また、新たな電源設備・注水設備等の配備により、上記（3）②において、各起因事象に対する新たな収束シナリオ（成功パス）が成立するだけでなく、既存の収束シナリオ（成功パス）を含む収束シナリオの各手段（図表1の黄色い四角）において、代替となる手順として当該設備を用いる<sup>14</sup>など、収束シナリオの各手段の信頼性向上も期待できる。しかし、債務者は、このような事情の変化を踏まえての改めてのストレステストのような評価は実施しておらず、最終的なクリフエッジの値を特定することもできないのが実情である<sup>15</sup>。

（6）仮に、本件各発電所の新たな設備状態を前提として、上記と同様の分析・評価を行うとすると、相当の期間を要することになる。特に、上記（3）②における収束シナリオの確認とその実現に必要な機器の整理には、少なくとも数か月の期間を要すると見込まれる。

すなわち、ストレステスト後に新たに設置した設備や整備した手順を反映した上でクリフエッジを特定するためには、まず、イベントツリーの見直しを行う必要がある。具体的には、（i）新たな収束シナリオの抽出にあたって、収束するための機器や手順が、どのシナリオのどのタイミングで有効に機能するかを解析により確認したり<sup>16</sup>、（ii）収束シナリオを構成する各手段が必要な時間内に実施可能か（必要な要員が確保されているか等）を確認したりするなどといった作業が必要となる。続いて、見直しを行ったイベントツリーに関連するフォールトツリー（収束シナリオを構成する各々の手段が実現可能（成功）となるのに必要な操作や機器の相関を詳細に記載したもの。例えば、図表1の

<sup>14</sup> 後述の3（2）に記載の代替所内電源設備は、その一例である。

<sup>15</sup> 次回のストレステストは、原子炉等規制法43条の3の29に基づいて行う安全性向上評価の一環として実施することとしている。具体的な時期については、次回運転開始後、最初に実施される施設定期検査終了後6か月以内に評価を実施する予定である。

<sup>16</sup> 起因事象の発生によってプラントの状態が時間の経過とともにどのように変化するかを、解析コードを用いたコンピュータによる計算等によって確認する。

高浜発電所 3 号機における「外部電源喪失」に対するフォールトツリーは甲 118, 添付 5-(1)-11 を参照) の見直し作業を行うことになるが, これには机上検討のみならず現場調査も行う必要がある。

また, 大飯 3, 4 号機については, これに加えて, 上記(3)で挙げた評価実施手順③で必要となる, 新たな基準地震動に対する各設備の耐震裕度の評価が, 一部完了していないものがある。

### 3 メタクラ及びパワーセンタの耐震補強工事について（追加質問事項 2 第 2 の 2 (1)）

(1) 以前に実施した本件各発電所のストレステストにおいて具体的にクリフェッジを特定する設備となったメタクラ及びパワーセンタ<sup>17</sup>（耐震裕度は, 高浜 3, 4 号機で基準地震動 S s (550 ガル) の 1.77 倍, 大飯 3, 4 号機で基準地震動 S s (700 ガル) の 1.80 倍であった）については, ストレステスト実施後, 特段の耐震補強工事は実施していない。

そのため, これらの設備の耐震裕度は, 基準地震動の見直しに伴って減少している<sup>18</sup>。具体的には, 以前に実施した本件各発電所のストレステストと同じ評価手法で評価すると, 高浜 3, 4 号機では, メタクラ及びパワーセンタの耐震裕度は, いずれも新たな基準地震動 (700 ガル) の 1.30 倍であり, また, 大飯 3, 4 号機では, メタクラ及びパワーセンタの耐震裕度は, いずれも新たな基準地震動 (856 ガル) の 1.50 倍である。（なお, 新規制基準の施行を受けた高浜 3, 4 号機の工事計画認可の手続では, 原子力規制委員会による審査を踏まえて, メタクラの耐震裕度を計算する際の評価値の計算に,

<sup>17</sup> メタクラ及びパワーセンタは, いずれもブレーカー又は遮断機と呼ばれる開閉装置（スイッチ）であり, 家庭にあるブレーカーと同様, 過電流（過負荷）となれば自動的に回路を切り離す機能を備えている。メタクラは 6600V, パワーセンタは 440V の電圧で使用する。

<sup>18</sup> 債務者の平成 27 年 8 月 28 日付主張書面（7）兼異議審主張書面（2）49 頁で述べたとおり, 耐震補強工事を実施しない場合には, 基準地震動の引上げによって評価値は大きくなる一方で, 評価基準値（許容値）は変わらないのであるから, 評価基準値（許容値）を評価値で除した値（すなわち, 耐震裕度）は, 基準地震動引上げ前に比べて, 相対的に小さくなる。

より保守的な手法を採用しており、新たな基準地震動（700 ガル）の 1.04 倍となっている。また、同様の手法により、大飯 3, 4 号機におけるメタクラの耐震裕度は、新たな基準地震動（856 ガル）の 1.50 倍となっている。乙 126, 「耐震安全性確認結果報告書（メタルクラッド開閉装置）（パワーセンタ）」

(2) もっとも、高浜 3, 4 号機においては、上記のメタクラ及びパワーセンタが機能を喪失し、同設備を経由した電気供給が行えなくなるような事態に陥った場合に別の電気回路を成立させることができると「代替所内電気設備」を、ストレステスト後に新たに設けており、この「代替所内電気設備」の耐震裕度は、高浜 3, 4 号機の新たな基準地震動（700 ガル）の 1.85 倍となっている（乙 127, 「耐震安全性確認結果報告書（代替所内電気設備）」）。したがって、いずれにしても、以前に実施したストレステストにおいて具体的にクリフエッジを特定する設備となったメタクラ及びパワーセンタは、現在のクリフエッジを特定する設備となることはない。

なお、大飯 3, 4 号機についても、高浜 3, 4 号機と同様の「代替所内電気設備」を設置する予定である。

## 第 2 許容値を超える値の適用の有無（追加質問事項 2 第 2 の 2 (2)）

債務者が本件各発電所で以前実施したストレステストにおいて、許容値を超える値（規格基準で規定されている以外の許容値）を適用したのは、「原子炉建屋及び原子炉補助建屋」（高浜 3, 4 号機、大飯 3, 4 号機）、「炉内計装引出管」（高浜発電所 4 号機）、「蒸気発生器伝熱管」（高浜 3, 4 号機、大飯 3, 4 号機）、「格納容器スプレイ系配管・スプレイノズル・格納容器再循環サンプ配管（格納容器スプレイ設備配管）」（高浜 3, 4 号機）である（高浜 3, 4 号機につき甲 118, 添付 5-(1)-3(3/49), 5-(1)-3(45/49)～(46/49), 甲 119, 添付 5-(1)-3(3/50), 5-(1)-3(45/50)～(47/50), 大飯 3, 4 号機につき甲 16 の 5, 添付 5-(1)-3(2/48), 5-(1)-3(44/48)～(45/48), 甲 123, 添付 5-(1)-3(2/48), 5-(1)-3(44/48)～

(45/48))。

これらの値は、設備の実力（許容値）をより忠実に反映する観点で適用したものであり、その妥当性は、原子力安全・保安院により確認されている（乙 71, 25～26 頁, 乙 79, 26～28 頁）。

### 第3 平成27年9月3日審尋期日における質問事項に対する回答について

#### 1 材料の持つ強度のばらつきの下限について

材料の持つ強度のばらつきの下限については、材料ごとに破壊実験結果から得られた強度のばらつきを統計的に処理して定められており、その具体的な値は、社団法人日本機械学会の「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」又は「発電用原子力設備規格 材料規格」に示されている。なお、これらの規格は、原子力規制委員会の「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の解釈」（乙 128）17条10項に引用されているものである。

#### 2 ストレステストのクリフェッジを求める際の評価基準値について

本件各発電所のストレステストにおいて、クリフェッジに係る機器（メタクラ）の耐震裕度を求める際にも、基準地震動に対する施設の耐震安全性評価で用いる評価基準値（許容値）を用いている。

以上

## 耐震補強工事の概要について

新規制基準の施行を受けて基準地震動を見直したことに伴い、債務者が本件各発電所について実施し、又は実施する予定の耐震補強工事の概要は、次のとおりである。

### 1 耐震補強工事の全体像

債務者は、本件各発電所における耐震補強工事として、配管を支持する配管サポート類についてサポート部材の取替や補強等といった工事を行い、原子炉補機冷却水冷却器・格納容器スプレイ冷却器等の機器に対して支持脚や基礎部の補強等といった工事を行って、本件各発電所の耐震安全性を向上させている。

本件各発電所において耐震補強工事の対象設備となっている耐震重要施設等<sup>19</sup>の概要是、別紙図表1－1及び2のとおりであり、配管サポート類については主な系統と箇所数を、機器については名称と箇所数をそれぞれ記載している。また、対象設備の総箇所数は、高浜3, 4号機で約830箇所（配管サポート類約740箇所、機器約90箇所）、大飯3, 4号機で約1200箇所（配管サポート類約1140箇所、機器約60箇所）である。

耐震補強工事の対象設備の多くは、配管サポート類や機器の支持脚等といった支持構造物で占められているが、これは次のような事情による。すなわち、耐震設計においては、地震荷重に加えて、自重、内圧及び熱荷重、さらには事故時の荷重等を足し合わせて評価値を算出するところ、評価値に占める地震荷重の割合

<sup>19</sup> 脚注3で述べたとおり、耐震重要施設以外の設備でも、その設備の損傷が原因となって耐震重要施設の機能に影響を及ぼすと考えられるものがあり、そのような影響を及ぼす設備については全て基準地震動による評価を行っている。耐震補強工事の対象設備には、このような設備も含まれている。

は設備によって異なるため、基準地震動を引き上げた場合における評価値の増加率も設備によって異なる。そして、支持構造物は、配管やタンク等の機器本体を支え、地震力による配管や機器本体の過大な振動による機能喪失（破損等）を防止する役割を果たすものであり、評価値に占める地震荷重の割合が大きいことから、基準地震動を引き上げた場合、配管や機器本体に比して、評価値の増加率が大きく、評価値の評価基準値に対する余裕（債務者異議審主張書面（1）26頁図表2の①の余裕）の減少幅が大きくなる。一方、配管や機器本体には、そのような事情はなく、評価値に占める地震荷重の割合が相対的に小さいことから、基準地震動を引き上げた場合でも、評価値の評価基準値に対する余裕の減少幅は相対的に小さい。こうした事情から、耐震補強工事の対象設備の多くは、支持構造物によって占められているのである。

## 2 耐震補強工事の目的ないし必要性

債務者が本件各発電所において実施し、又は実施する予定の耐震補強工事は、その目的ないし必要性の観点から、以下の2つに大別される。

### （1）新たな基準地震動に対する耐震安全性確保

耐震補強工事を行う目的は、新たな基準地震動に対する耐震安全性を満足しない見込みとなった設備に対して、耐震安全性を満足させることである。すなわち、耐震安全性評価において、新たな基準地震動による見直し後の評価値が評価基準値（許容値）を上回った設備については、評価値を評価基準値以下とするために必要な耐震補強工事を実施している。

このような目的による耐震補強工事は、別紙図表1-1及び2に示す配管サポート類の大部分及び海水ストレーナに対して行っており、その代表的な施工例は、別紙図表2の上段左側の「対策図例」に記載のとおりである。

## (2) 耐震裕度の更なる向上

耐震補強工事には、新たな基準地震動に対する耐震安全性を満足する見込みとなった設備について、耐震裕度を更に向上させることを目的として実施するものもある。この例としては、耐震安全性評価において、新たな基準地震動による見直し後の評価値が評価基準値（許容値）を下回ることを確認しているものの、耐震計算手法に含まれる余裕が小さいことを考慮して実施する工事が挙げられる。

以下、具体的に説明すると、一般に、物の疲労破壊（応力が繰り返しかかることで、き裂が発生し、そのき裂が成長、伝播して破断するに至る破壊）は、2次応力<sup>20</sup>が1次応力<sup>21</sup>とともに①一定量以上、かつ、②繰り返しかかる場合に発生することが知られている。このことを踏まえ、耐震安全性評価において設備が疲労破壊しないことを確認する際には、まず、1次応力と2次応力の和が民間規格である社団法人日本機械学会「発電用原子炉設備規格 設計・建設規格」（以下、「設計・建設規格」という）に定める評価基準値を下回るか否かを確認し、評価基準値を下回れば疲労破壊しないことが確認できるので、それ以上に後述の疲労解析を用いた疲労評価は行わない。これに対し、1次応力と2次応力の和が評価基準値を超えた場合、設計・建設規格に別途定められている疲労解析を用いた疲労評価<sup>22</sup>（この解析では応力が繰り返しかかることも考慮される）を行い、疲労評価における評価値が評価基準値以下であることが確認できれば、疲労破壊しないことが確認できる。この疲労評価を実施する際には応力集中係数<sup>23</sup>を用いるが、応力集中係数は、設計・建設規格に例示されている値のほか、評価箇所の形状や寸法等を詳細に考慮して、設備ごとに個別に算定する値を用いることも同規格により認められている。そして、設備ごとに個別に

<sup>20</sup> 二次応力とは、熱膨張変形等、強制的な変形によって発生する応力をいう。

<sup>21</sup> 一次応力とは、内圧や地震力等により機器・配管に加わる荷重によって発生する応力をいう。

<sup>22</sup> 疲労評価とは、物体が荷重を継続的に又は繰り返し受けた場合の物体の強度に対する評価をいう。

<sup>23</sup> 応力集中係数とは、部材に切欠きや溝がある場合、その部分に働く応力の増加度合いを示す係数をいう。

算定した応力集中係数は、一般に、規格で例示されているものより小さく、耐震安全性確認という点では問題ないものの、耐震安全性評価上、規格で例示されている応力集中係数を用いる場合に比べて耐震計算条件の余裕（債務者異議審主張書面（1）26頁図表2の③の余裕）が小さくなる。このような事情を踏まえて、債務者は、個別に算定した応力集中係数を用いて疲労評価を行い、耐震安全性を有することを確認した設備については、耐震裕度を更に向上させるべく、耐震補強工事を実施している。

このような目的による耐震補強工事は、別紙図表1－1及び2に示す格納容器スプレイ冷却器、余熱除去冷却器、原子炉補機冷却水冷却器及び原子炉補機冷却水サージタンクに対して行っており、その代表的な施工例は、別紙図表2の下段左側の「対策図例」に記載のとおりである。

### 3 耐震補強工事による本件各発電所の安全性の向上

耐震補強工事の実施により、本件各発電所の全ての耐震重要施設が、見直し後の新たな基準地震動に対する耐震安全性を備えることになる。

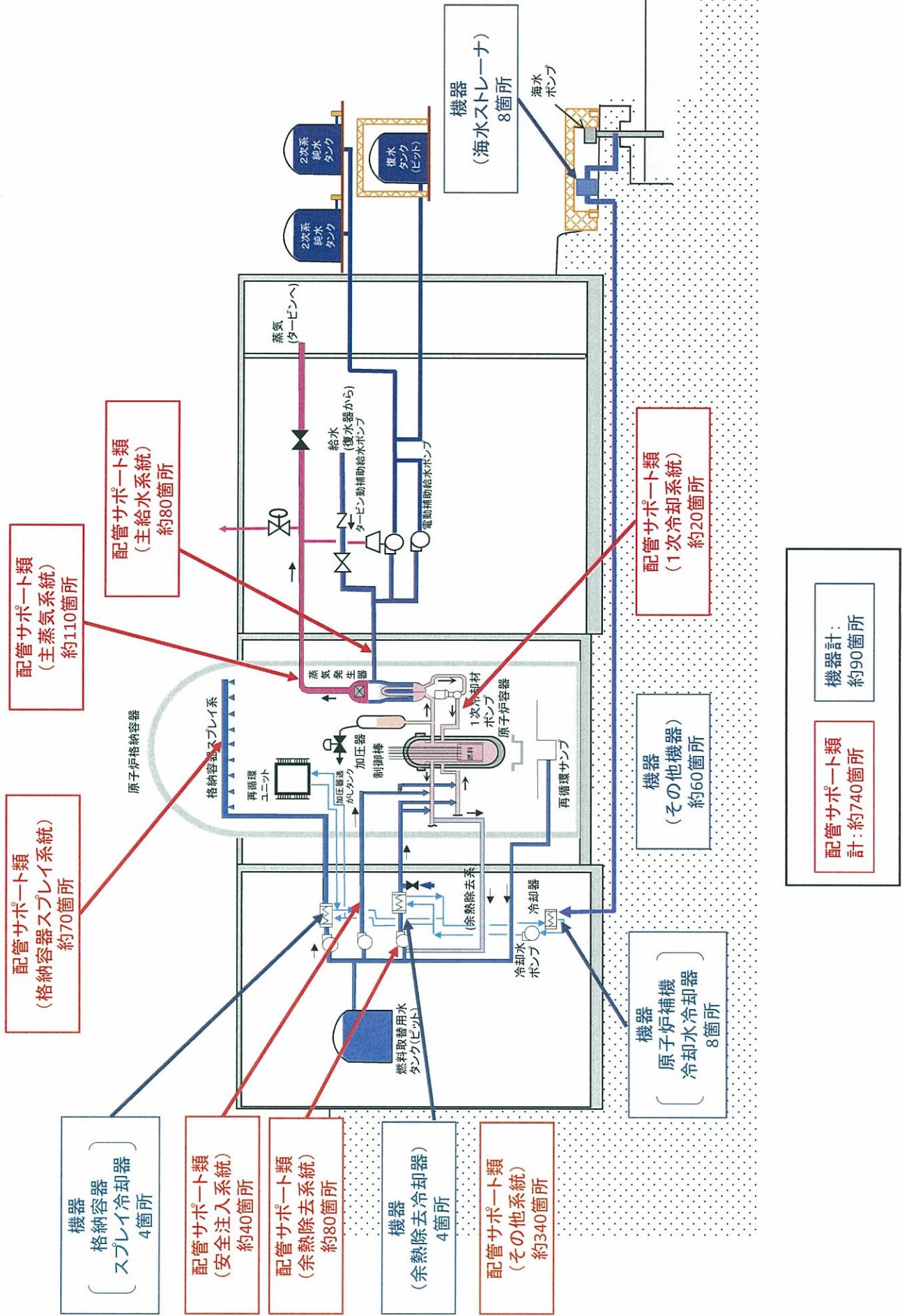
耐震補強工事を実施している耐震重要施設は膨大な量にのぼることから、耐震補強工事の代表例として、上記2の類型ごとに、配管及び機器のうち、耐震補強工事後における裕度（評価値の評価基準値に対する余裕）が最も小さいものを別紙図表2に示す。各設備の耐震補強工事前後の裕度を比較すると、工事後の裕度は工事前の裕度より大きな値となっており、かつ、裕度の最も小さい設備でも1以上の裕度がある<sup>24</sup>ことから、耐震補強工事を実施することで耐震安全性が向上し、本件各発電所が全体として新たな基準地震動に対する耐震安全性を有していることが分かる。

---

<sup>24</sup> 債務者主張書面（1）156～157頁及び債務者異議審主張書面（1）67頁で述べたように、支持構造物が大きな地震荷重を受ける際には、自らの変形によるエネルギー吸収効果が生じること、他の支持構造物との荷重分担が生じることから、支持構造物の損傷が配管や機器本体の安全機能喪失に至るまでには大きな余裕（債務者異議審主張書面（1）26頁図表2の③の余裕）がある。

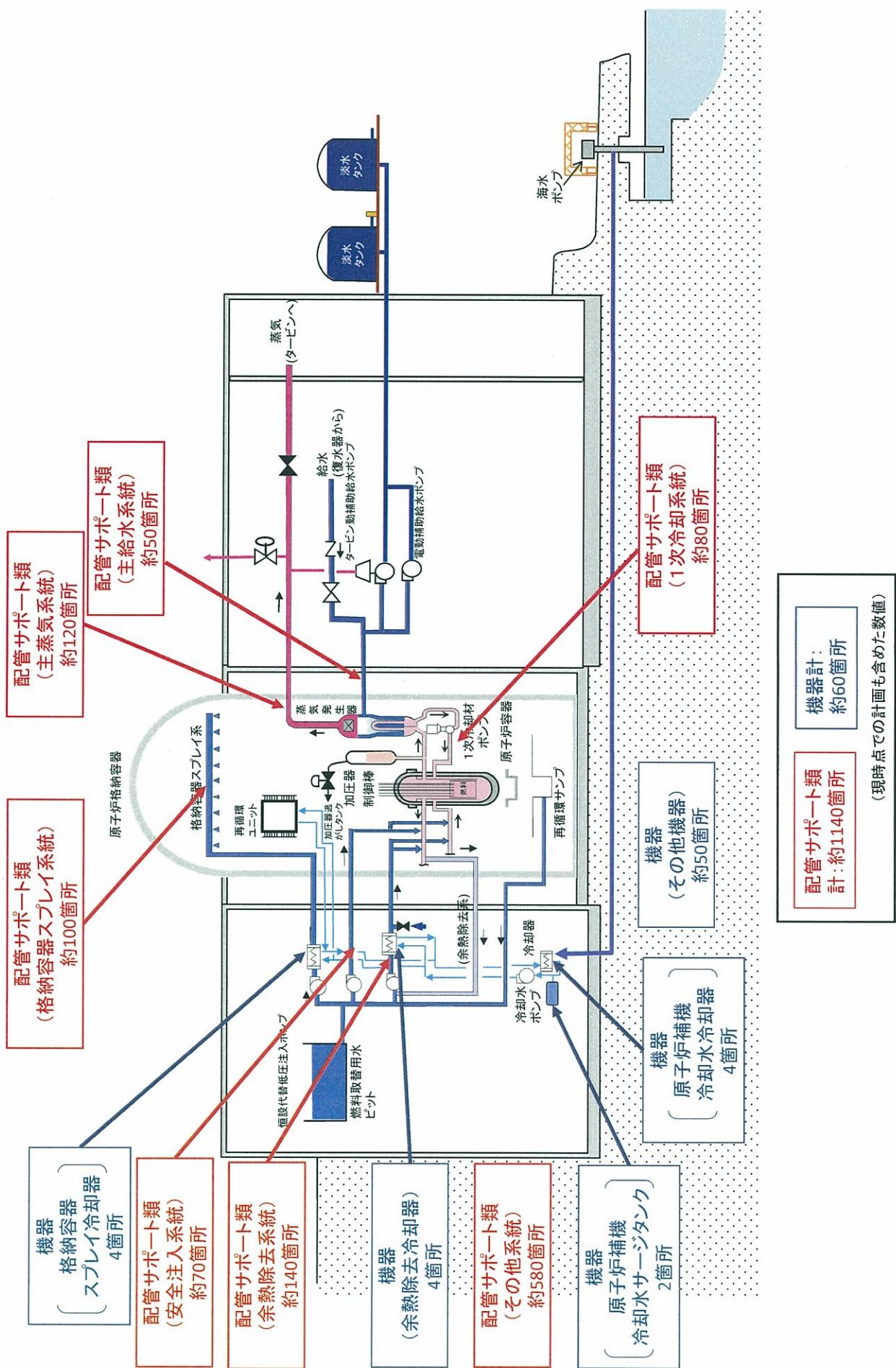
# 高浜3、4号機 耐震補強工事対象設備の概要

別紙図表1-1



## 別紙図表1－2

### 大飯3、4号機 耐震補強工事対象設備の概要



別紙図表2

高浜3、4号機、大飯3、4号機 耐震補強工事の内容及び耐震裕度の向上状況(代表例)

※配管及び機器のうち、耐震補強工事後の耐震裕度が最も小さい設備を例に挙げている。

目的	機器種別	対策図例	耐震裕度		対策後(Ss550kN)
			対策前(Ss700kN)	対策後(Ss700kN)	
配管	新たな基準地震動に対する耐震安全性確保		<p>○主蒸気系統 スナバ<sup>*1</sup> ・荷重 0.60 裕度 600kN 〔評価基準値※3: 600kN〕</p> <p>○余熱除去系統 ラック ・組合せ応力 裕度 0.88 〔評価基準値※2: 80MPa〕</p> <p>○余熱除去系統 ラック ・組合せ応力 裕度 1.18 〔評価基準値※2: 71MPa〕</p> <p>○余熱除去系統 ラック ・組合せ応力 裕度 0.66 〔評価基準値※2: 66MPa〕</p> <p>○余熱除去系統 ラック ・組合せ応力 裕度 0.78 〔評価基準値※2: 78MPa〕</p>	<p>○主蒸気系統 スナバ<sup>*1</sup> ・荷重 1.00 裕度 1000kN 〔評価基準値※2: 1000kN〕</p> <p>○余熱除去系統 ラック ・組合せ応力 裕度 0.88 〔評価基準値※2: 80MPa〕</p> <p>○余熱除去系統 ラック ・組合せ応力 裕度 1.12 〔評価基準値※2: 100MPa〕</p> <p>○余熱除去系統 ラック ・組合せ応力 裕度 1.12 〔評価基準値※2: 112MPa〕</p>	対策前(Ss550kN)
機器			<p>○海水ストレーナ ・脚版 ・一次一般膜応力 裕度 0.93</p> <p>上記は、ss550kNでの下記評価から求めた裕度(1.19)に550/700を乗じた値である。 〔評価基準値※2: 45MPa〕</p>	<p>○海水ストレーナ ・脚版 ・引張応力 裕度 3.31</p> <p>〔評価基準値※2: 45MPa〕</p>	対策後(Ss700kN)
配管	耐震裕度の更なる向上		-	-	対策後(Ss700kN)
			<p>○原子炉補機冷却水冷却器 ・脚版 ・一次応力+二次応力<sup>*3</sup> 裕度 0.60 〔評価基準値 336MPa〕</p> <p>○原子炉補機冷却水冷却器 ・脚版 ・一次応力+二次応力<sup>*3</sup> 裕度 1.09 〔評価基準値 202MPa〕</p> <p>○原子炉補機冷却水冷却器 ・脚版 ・一次応力+二次応力<sup>*3</sup> 裕度 1.25 〔評価基準値 0.80〕</p>	<p>○原子炉補機冷却水冷却器 ・脚版 ・一次応力+二次応力<sup>*3</sup> 裕度 0.85 〔評価基準値 184MPa〕</p> <p>○原子炉補機冷却水冷却器 ・脚版 ・一次応力+二次応力<sup>*3</sup> 裕度 1.09 〔評価基準値 202MPa〕</p> <p>○原子炉補機冷却水冷却器 ・脚版 ・一次応力+二次応力<sup>*3</sup> 裕度 1.25 〔評価基準値 191MPa〕</p>	対策後(Ss700kN)

\*1:スナバについては、荷重と応力を評価している。荷重の評価は、スナバ全体に作用する力(荷重)を評価値とし、メーカーが該当スナバに対する定格荷重値を評価基準値として行っている。一方、応力の評価は、スナバの各部位に対する単位面積当たりの力(荷重)を評価値とし、その部位につき材料に関する民間規格を参照して設定した許容応力を評価基準値として評価している。このときの評価値は、荷重の評価と比べて、個々のスナバの材質・構造・形状に即したものである。

\*2:対策前後ににおいて、部材や裕度最小部位が変わったため、評価基準値も対策前後で変わっている。

\*3:「一次応力+二次応力」の評価と疲労評価の関係については、別紙2(2)に記載のとおり。