

## 米国における地震 PSA の検討状況 (IPEEE の概要)

### 1. 経緯

- NRCの実施要求 (Generic Letter 88-20 Suppl.4, 1991年6月) → NRCによる最終レポート (NUREG-1742, 2002年4月)
- 地震リスクについては、地震PSA、地震マージン手法(SMA)\*が主な評価手法として承認
- 27プラントが地震PSAを採用 (残りはSMA 手法他を選択)

\*機器及びプラントのHCLPF 値 (信頼度95%で破損確率が5%となる最大地盤加速度に相当する値) を評価し、この値と基準となる地震動とを比較する手法

### 2. 評価

【地震ハザード評価】 多くのプラントで、EPRI、LLNLの2つの評価機関が評価した地震ハザードのどちらか、あるいは両方を適用。一部プラントでサイト固有の地震ハザードを適用。(図-1,2、比較のため当社ハザードを図-3に示す)

【機器のフラジリティ評価】 多くのプラントで、スクリーニング (例えば、300gal以上の強さをもつ機器は地震動に耐えられると判断し評価から除外)、代表機器による一括的な評価といった簡略的な扱いとしている (図-4)。

例: ホープクリーク原子力発電所の地震PSAでは、プラント踏査に基づき一次的なスクリーニングを実施 (この過程で、弁、横置ポンプなどを除外)。さらにフラジリティ評価を行い、加速度中央値が1.5g以下で、かつHCLPF値が0.5g以下のものを事故シーケンス評価に用いた。

### 3. 結果

- 地震による炉心損傷頻度 (CDF) は、 $1e-3 \sim 1e-7$ の範囲で幅広く分布 (図-5参照)。表-1に、いくつかのプラントのCDFと重要な事故シーケンスを示す。

- リスク上重要な機器として抽出された機器は電気系機器が中心。

電気系の故障: 外部電源の喪失、非常用DGの故障、直流バッテリーの故障等

その他: 建屋、構造物の破損 (ポンプ室/ポンプ取水構造物などの破損) も重要な寄与

表-1: 各プラントのCDFと重要なシーケンス

| プラント       | CDF[炉年]  | 重要なシーケンス       |
|------------|--|----------------|
| シーブルック     | $1 \times 10^{-5}$                                     | 全交流電源喪失 (約80%) |
| ホープクリーク    | $4 \times 10^{-6}$ (LLNL)<br>$1 \times 10^{-6}$ (EPRI) | 計装電源喪失 (約70%)  |
| ディアブロキャニオン | $4 \times 10^{-5}$                                     | 全交流電源喪失 (約40%) |
| [参考]2F-4   | $1 \times 10^{-6}$                                     | 全交流電源喪失 (約50%) |

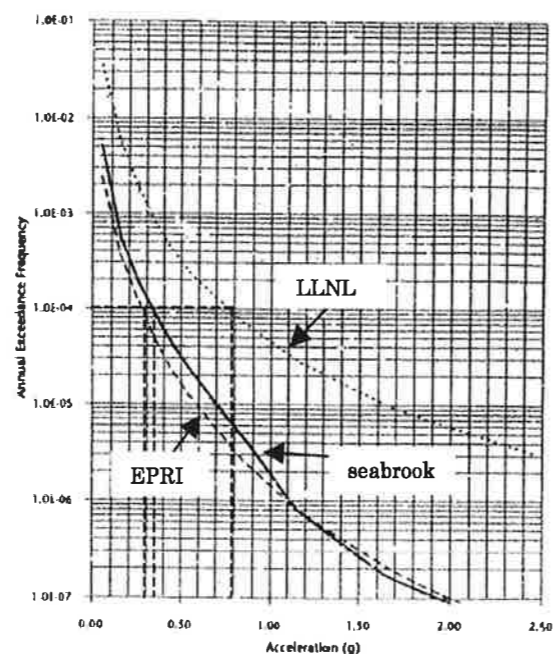


図-1: EPRI、LLNL、seabrook のハザード

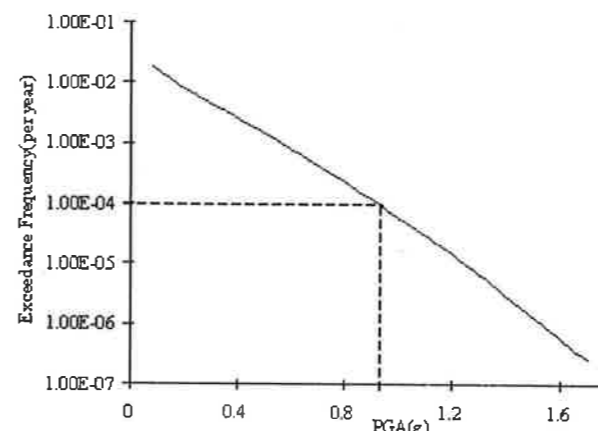


図-2: ディアブロキャニオンサイトのハザード

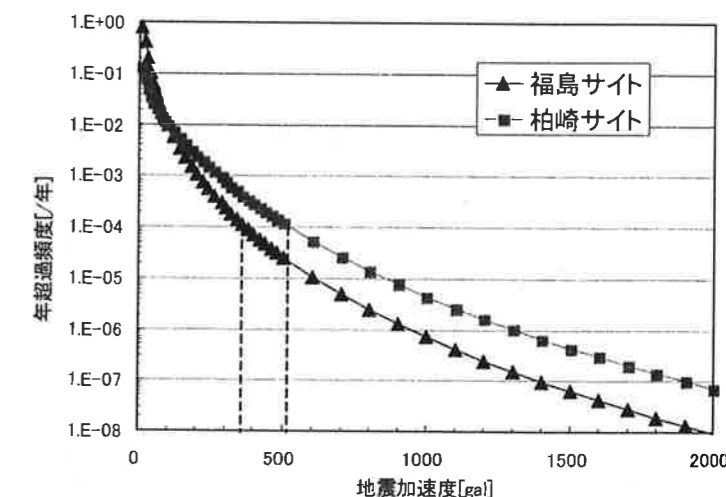


図-3: 当社のハザード

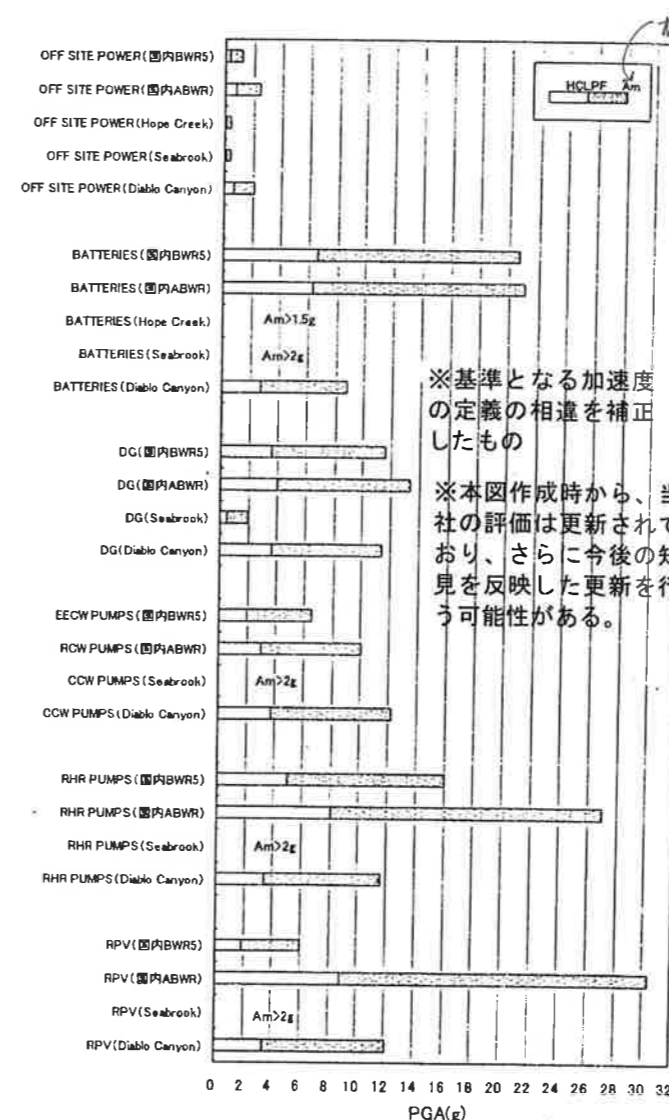


図-4: IPEEE と当社の機器フラジリティ評価例

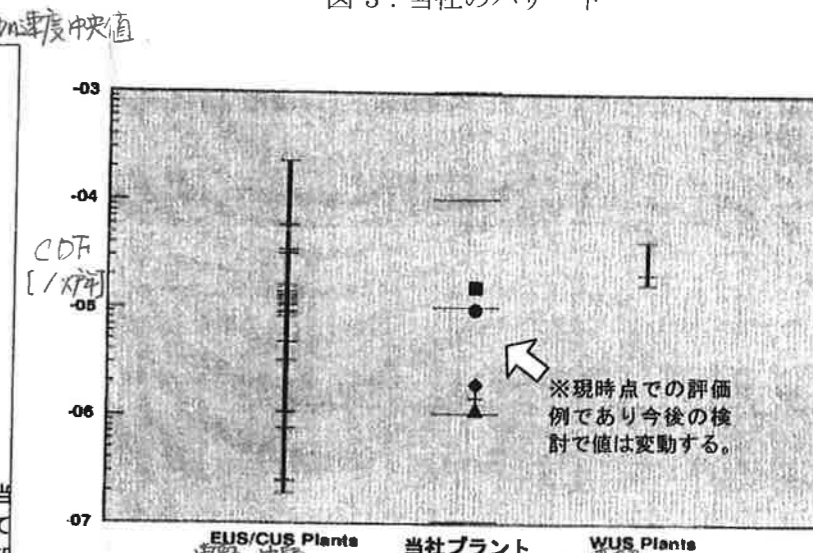


図-5: 米国プラントの地震リスク (IPEEE) と当社の評価例

本ドキュメントには、各電力会社またはその他の企業の秘密情報 (未特許出願発明、ノウハウ等) が含まれている可能性があります。これら当事者の許可なく本ドキュメントの複製物を作成すること、ならびに本ドキュメントの内容を第三者に開示、公開する行為を禁止します。

当社プラントの地震 PSA 結果の概要

取扱注意

1. 現時点での地震 PSA 結果

- 電共研で評価を実施している当社プラントの炉心損傷頻度を、内的事象 PSA の結果とあわせて図-1 に示す。
- 炉心損傷頻度は、IAEA-INSAG に示される基準である  $10^{-4}$ [/炉年]をほぼクリア。
- 地震リスクは内的事象リスクに比べ、平均値で 1~2 桁大きく、不確かさの幅も 1~2 桁広い。
- 他のプラントについては、別途評価を実施する予定であるが、耐震上特段に脆弱な設備がある等の状況がない限り、同じサイトであれば、下記プラントと近い結果になるものとする。

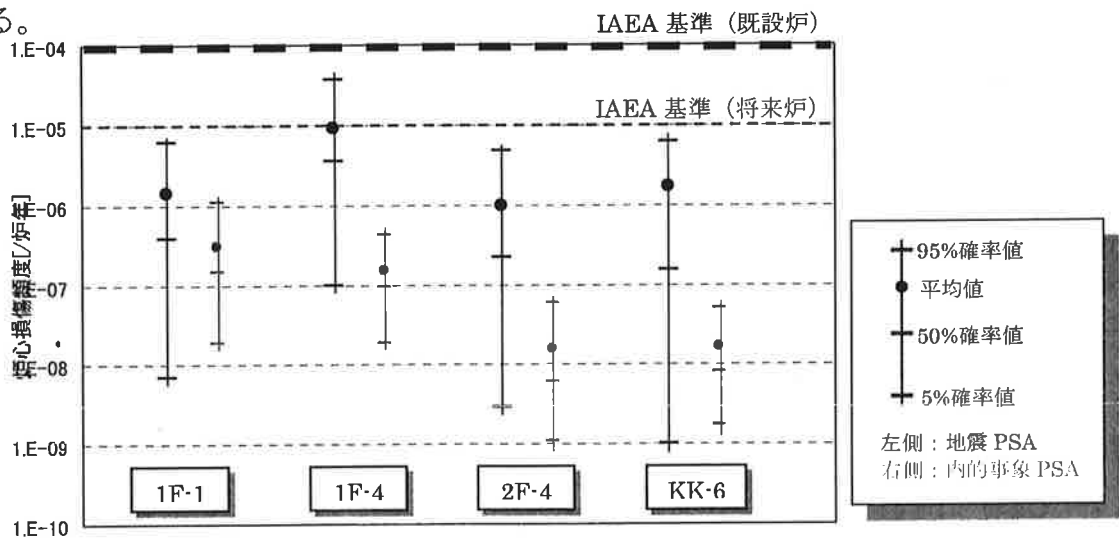
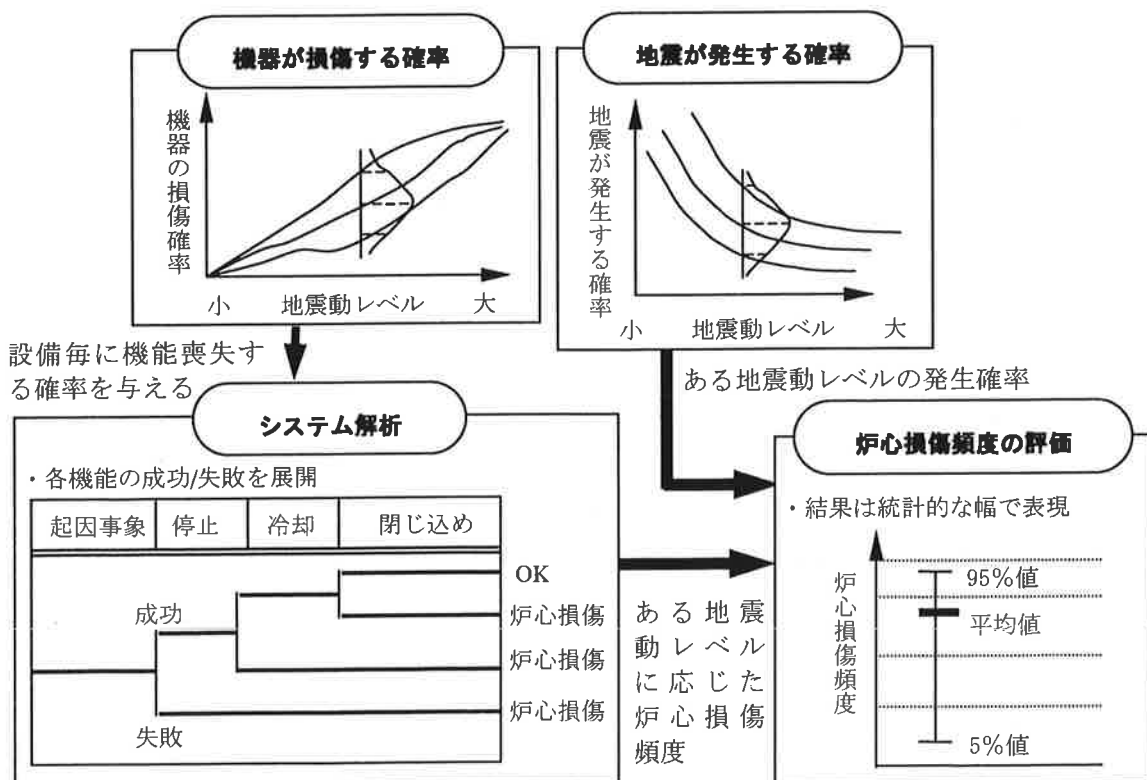


図-1：不確定性を考慮した炉心損傷頻度（当社プラント、暫定値）



産業界代表 BWR プラントの地震 PSA 暫定評価結果

ドミナントシーケンス (2F4) .

|   | 事故シーケンス                                   | 炉心損傷シナリオ | 割合 (%) |
|---|---|----------|--------|
| 1 | 外部電源喪失×交流電源喪失×消火系機能喪失                     | 炉心冷却失敗   | 32     |
| 2 | 外部電源喪失×交流電源喪失×PCV ベント失敗                   | 崩壊熱除去失敗  | 21     |
| 3 | 外部電源喪失×建屋・構築物損傷                           | 緩和系機能喪失  | 7      |
| 4 | 外部電源喪失×交流電源喪失×スクラム失敗                      | 反応度制御失敗  | 5      |
| 5 | 外部電源喪失×CST 損傷×RHR 機能喪失×消火系機能喪失            | 炉心冷却失敗   | 5      |
| 5 | 外部電源喪失×CST 損傷×RCIC 系機能喪失×RHR 機能喪失×消火系機能喪失 | 炉心冷却失敗   | 5      |

ドミナントシーケンスの解説

- ① 外部電源喪失×交流電源喪失×消火系機能喪失 (主な損傷設備：海水熱交換器～タービン建屋トレンチ)
  - ・外部電源と交流電源関連設備が損傷し、所内の全交流電源が喪失
  - ・RCIC による初期の炉心冷却に成功
  - ・その後直流電源の枯渇し、消火系による注水継続に失敗し、炉心損傷
- ② 外部電源喪失×交流電源喪失×PCV ベント失敗 (主な損傷設備：海水熱交換器～タービン建屋トレンチ)
  - ・外部電源と交流電源関連設備が損傷し、所内の全交流電源が喪失
  - ・RCIC による初期の炉心冷却に成功
  - ・その後直流電源が枯渇するが、消火系による注水継続に成功
  - ・その後、PCV ベントによる格納容器からの除熱に失敗し、炉心損傷
- ③ 外部電源喪失×建屋・構築物損傷 (主な損傷設備：原子炉建屋)
  - ・地震により原子炉建屋等の主要構造物が損傷し、多数の緩和系が機能喪失し、炉心損傷
- ④ 外部電源喪失×交流電源喪失×スクラム失敗 (主な損傷設備：燃料集合体(の変位))
  - ・外部電源と交流電源関連設備が損傷し、所内の全交流電源が喪失
  - ・地震により燃料集合体が過度に変位し、制御棒挿入失敗
  - ・全交流電源喪失により ECCS ポンプ等が起動不能であり、炉心損傷
- ⑤-1 外部電源喪失×CST 損傷×RHR 機能喪失×消火系機能喪失
  - ・外部電源と CST が損傷し、S/P 水源による RCIC により炉心冷却成功
  - ・その後、RHR 及び PCV ベントの損傷により、格納容器からの除熱に失敗し、炉心損傷
- ⑤-2 外部電源喪失×CST 損傷×RCIC 系機能喪失×RHR 機能喪失×消火系機能喪失
  - ・外部電源と CST が損傷し、S/P 水源による HPCS により炉心冷却成功
  - ・その後、RHR 及び PCV ベントの損傷により、格納容器からの除熱に失敗し、炉心損傷

FV 重要度の高い設備

| 設備                       | 中央値/HCLPF (g) | Fussell - Vesely<br>重要度 |
|--------------------------|---------------|-------------------------|
| 海水熱交換器～タービン建屋トレンチ (構造損傷) | 1.82/0.94     | 0.17                    |
| 燃料移送系配管 (構造損傷)           | 4.37/1.01     | 0.06                    |
| EECW 配管 (構造損傷)           | 4.37/1.01     | 0.06                    |
| RHRS 配管 (構造損傷)           | 4.37/1.01     | 0.06                    |
| EECW ポンプ (機能損傷)          | 1.88/0.96     | 0.05                    |
| 海水熱交換器建屋 (構造損傷)          | 1.94/0.99     | 0.04                    |
| RHR/MUW 隔離弁 (機能損傷)       | 2.19/0.50     | 0.03                    |
| 格納容器内配管 (構造損傷)           | 4.37/1.01     | 0.03                    |
| タービン建屋 (構造損傷)            | 2.12/1.08     | 0.02                    |
| 燃料集合体の過度の変位 (機能損傷)       | 1.90/0.85     | 0.02                    |
| 非常用 DG (機能損傷)            | 2.12/1.08     | 0.01                    |

## 安全係数法によるフラジリティ評価事例（代表BWR 4プラント）

---

産業界のフラジリティ評価例（代表BWR 4 プラント）を下表のように示す。

| 機器      | 表番号 |
|---------|-----|
| 原子炉格納容器 | 表-1 |
| 原子炉圧力容器 | 表-2 |
| RHRポンプ  | 表-3 |
| RCCWポンプ | 表-4 |
| RHR熱交換器 | 表-5 |
| 配管系     | 表-6 |
| 弁       | 表-7 |
| 制御盤     | 表-8 |

表一 原子炉格納容器のフラジリティ評価結果

| 損傷モード:底部の座屈                       |                              | 損傷加速度中央値(A <sub>m</sub> =F·Ad):6.96G |  | β <sub>c</sub> :0.28 | β <sub>r</sub> :0.21 | β <sub>u</sub> :0.19 | AHCLPF=A <sub>m</sub> ·EXP[-1.65(β <sub>r</sub> +β <sub>u</sub> ):3.60G   |   |
|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|--|----------------------|----------------------|----------------------|---|---|
| 安全係数                              | 中央値                          | 根                                    | 拠  | β <sub>c</sub>       | β <sub>r</sub>       | β <sub>u</sub>       | 根   | 拠 |
| 耐力係数<br>F <sub>C</sub>            | 強度係数<br>F <sub>S</sub>       | 13.91                                | JEAG4601-1984記載の第2種容器の座屈評価式を用いる。座屈応力の真値はJEA記載の実験データ(NACA実施)を適用。      | 0.12                 | 0.05                 | 0.11                 | 座屈応力式において、実験式に対し、設計式が-3βの位置にあると仮定。β <sub>r</sub> 、β <sub>u</sub> への配分は、不確実性が支配的であるものの、残留応力のばらつき等ランダムな要因も考えられるため、2β <sub>r</sub> =β <sub>u</sub> の比率を仮定。 |   |
|                                   | 弾塑性係数<br>F <sub>μ</sub>      | 1.00                                 | 降伏以前に座屈が生じると考えられるので、考慮しない。   | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 考慮しない   |   |
| 建屋・機器応答係数<br>F <sub>RS</sub>      | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00                                 | 基準地震動スペクトルの形状は一樣ハザードスペクトル(耐専スペクトル)の形状と建屋・機器の周期範囲で同等であるため、中央値=1.0とする。 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 地震ハザードにおける距離減衰式等のばらつきに考慮されるので、考慮しない。  |   |
|                                   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00                                 | 剛であり減衰の違いが応答に及ぼす影響は無視できるため、考慮しない。                                    | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 同 左   |   |
|                                   | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00                                 | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。                                       | 0.15                 | 0.00                 | 0.15                 | kenedy他による。   |   |
|                                   | 非線形応答係数<br>F <sub>NL</sub>   | 1.09                                 | 剛な機器に対する床応答加速度比(線形/非線形)の中央値を用いる。                                     | 0.20                 | 0.20                 | 0.00                 | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。  |   |
| F=F <sub>C</sub> ·F <sub>RS</sub> |                              | 15.16                                | -  | 0.28                 | 0.21                 | 0.19                 | -   |   |
| 設計加速度Ad                           |                              | 450                                  | Gal  |                      |                      |                      |   |   |

表-2 原子炉圧力容器のフラジリティ評価結果

| 損傷モード:支持スカートの座屈                   |                              | 損傷加速度中央値(Am=F·Ad):5.31G |  | βc:0.41 |      | βr:0.29                       |  | βu:0.29 |    | AHCLPF=Am·EXP[-1.65(βr+βu)]:2.04G |   |
|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------|--|---------|------|-------------------------------|--|---------|----|-----------------------------------|---|
| 安全係数                              |                              | 中央値                     | 根  | 拠       | 根    | 拠                             | βc   | βr      | βu | 根                                 | 拠 |
| 耐力係数<br>F <sub>C</sub>            | 強度係数<br>F <sub>S</sub>       | 6.27                    | ASME規格の設計基準の考え方に従い、限界強度が許容圧縮応力Bの2倍であると評価。<br>(許容圧縮応力B=12.6kg/mm <sup>2</sup> , qn=1.93kg/mm <sup>2</sup> , qt=5.64kg/mm <sup>2</sup> )                                 | 0.23    | 0.10 | 0.21                          | 設計上の許容座屈応力が限界荷重の $\sim 3\beta$ の位置にあると仮定。 $\beta_r, \beta_u$ への配分は不確実性が支配的ではあるが、ランダム的要因も考えられるため $\beta_u=2\beta_r$ の比率を仮定。 |         |    |                                   |   |
|                                   | 弾塑性係数<br>F <sub>μ</sub>      | 1.00                    | 降伏以前に座屈が生じると考えられるので、考慮しない。   | 0.00    | 0.00 | 考慮しない                         |  |         |    |                                   |   |
| 建屋・機器応答係数<br>F <sub>RS</sub>      | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00                    | 基準地震動スペクトルの形状は一樣ハザードスペクトル(耐専スペクトル)の形状と建屋・機器の周期範囲で同等であるため、中央値=1.0とする。   | 0.00    | 0.00 | 地震ハザードにおける距離減衰式等のばらつきに考慮されない。 |  |         |    |                                   |   |
|                                   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.42                    | FD=Shd/Shmにより算定<br>Shd:設計用減衰定数に対するスペクトル値<br>Shm:減衰定数中央値に対するスペクトル値<br>現実的減衰は米国Regulatory Guideの値を参考に3%とする。各減衰に対するスペクトル値は大崎地による変換式 <sup>(9)</sup> (T=0.090秒, M=8.0)を用いる。 | 0.21    | 0.19 | 0.09                          | 設計用減衰定数(1.0%)による応答が、中央値+1.65β(95%確率値)にあたるとして算定。 $\beta_r, \beta_u$ への配分はLimerick Oconee Zion PRAによる。                       |         |    |                                   |   |
| 非線形応答係数<br>F <sub>NL</sub>        | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00                    | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。   | 0.18    | 0.00 | 0.18                          | kenedy他による。炉水の影響を考慮して一般機器より大きな値とする。  |         |    |                                   |   |
|                                   | 非線形応答係数<br>F <sub>NL</sub>   | 1.30                    | 柔な機器に対する床応答加速度比(線形/非線形)の中央値を用いる。   | 0.20    | 0.20 | 0.00                          | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。   |         |    |                                   |   |
| F=F <sub>C</sub> ·F <sub>RS</sub> |                              | 11.57                   | -  | 0.41    | 0.29 | 0.29                          | -  |         |    |                                   |   |
| 設計加速度Ad                           |                              | 450                     | Gal  |         |      |                               |  |         |    |                                   |   |



表-3a RHRポンプのフラジリティ評価結果(機能)

| 損傷モード:ポンプ用電動機の回転機能喪失              |                              | 損傷加速度中央値(A <sub>m</sub> =F <sub>Ad</sub> ) | 5.82G  | β <sub>c</sub> :0.29 | β <sub>r</sub> :0.23 | β <sub>u</sub> :0.18 | AHCLPF=Am·EXP[-1.65(β <sub>r</sub> +β <sub>u</sub> )]   | 2.96G          |   |   |
|-----------------------------------|------------------------------|--|--|----------------------|----------------------|----------------------|---|----------------|---|---|
| 安全係数                              | 中央値                          | 根  | 拠  | 根                    | 拠                    | β <sub>c</sub>       | β <sub>r</sub>  | β <sub>u</sub> | 根 | 拠 |
| 耐力係数<br>F <sub>C</sub>            | 強度係数<br>F <sub>S</sub>       | 11.63                                      | 対象設備の試験結果の裕度評価による推定機能確認済加速度を限界加速度中央値とする。本ポンプ、電動機は剛であり応答加速度は電動機、ポンプで同一、限界加速度は電動機の方が低いため電動機機能喪失について評価(電動機の限界加速度中央値=5.0 G, CH=0.43) | 0.11                 | 0.05                 | 0.10                 | ばらつきは、中央値加速度を1.2で除した値をHCLPF加速度とし、HCLPF値が中央値-1.65β(95%確率値)に相当するとして算定。なお、β <sub>r</sub> 、β <sub>u</sub> への配分は、米国の試験例を参考にβ <sub>u</sub> =2β <sub>r</sub> の比率を仮定。 |                |   |   |
|                                   | 弾塑性係数<br>F <sub>μ</sub>      | 1.00                                       | 動的機能喪失に対するものであり、試験結果を用いるため、考慮しない。  | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 同 左   |                |   |   |
| 建屋応答係数<br>F <sub>RS</sub>         | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00                                       | 基準地震動スペクトルの形状は一樣ハザードスペクトル(耐専スペクトル)の形状と建屋・機器の周期範囲で同等であるため、中央値=1.0とする。   | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 地震ハザードにおける距離減衰式等のばらつきに考慮されるので、考慮しない。  |                |   |   |
|                                   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00                                       | 設計用減衰定数5%は中央値と考えられ1.0とする。  | 0.10                 | 0.10                 | 0.00                 | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。  |                |   |   |
|                                   | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00                                       | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。   | 0.15                 | 0.00                 | 0.15                 | kenedy他による。   |                |   |   |
| 機器応答係数<br>F <sub>RE</sub>         | 非線形応答係数<br>F <sub>NL</sub>   | 1.09                                       | 剛な機器に対する建屋床応答加速度比(線形/非線形)の中央値を用いる。   | 0.20                 | 0.20                 | 0.00                 | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。  |                |   |   |
|                                   | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00                                       | 剛であり床応答スペクトルは使用していないため、考慮しない。  | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 同 左   |                |   |   |
|                                   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00                                       | 剛であり減衰の違いが応答に及ぼす影響は無視できるため、考慮しない。  | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 同 左   |                |   |   |
|                                   | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00                                       | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。   | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 剛な機器なので、ばらつきは考慮しない。   |                |   |   |
| モード合成係数<br>F <sub>MC</sub>        |                              | 1.00                                       | モード合成を行っていない(剛な機器)ため、考慮しない。  | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 同 左   |                |   |   |
| F=F <sub>C</sub> ·F <sub>RS</sub> |                              | 12.68                                      | -  | 0.29                 | 0.23                 | 0.18                 | -   |                |   |   |
| 設計加速度Ad                           |                              | 450  | Gal  |                      |                      |                      |   |                |   |   |

表一3b RHRポンプのフラジリティ評価結果(強度)

| 損傷モード:ポンプ支持台取付ボルトの損傷   |                       | 損傷加速度中央値( $A_m=F \cdot A_d$ ):2.93G |   | $\beta_c:0.29$ |           | $\beta_r:0.19$ |           | $\beta_u:0.11$                       |   | AHCLPF= $A_m \cdot \text{EXP}[-1.65(\beta_r + \beta_u)]$ :1.49G |  |
|------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---|----------------|-----------|----------------|-----------|--------------------------------------|---|---|--|
| 安全係数                   |                       | 中央値                                 | 根   | 拠              | $\beta_c$ | $\beta_r$      | $\beta_u$ | 根                                    | 拠 |   |  |
| 耐力係数<br>$F_C$          | 強度係数<br>$F_S$         | 5.86                                | バックチェックのS1地震応力と許容応力の比より求める。限界応力中央値は、 $1.2 \times$ 告示 $S_u$ とする。 $(S_u=39.3\text{kg/mm}^2, \text{引張応力}:7.9\text{kg/mm}^2, \text{せん断応力}:0.9\text{kg/mm}^2)$ |                | 0.11      | 0.00           | 0.11      | 許容応力のばらつきについてLimerick PRAの結果を用いる。    |   |   |  |
|                        | 弾塑性係数<br>$F_u$        | 1.00                                | ボルトの塑性変形は局所的であり、塑性変形の吸収はほとんど期待できない。   |                | 0.00      | 0.00           | 0.00      | 同 左                                  |   |   |  |
|                        | スペクトル形状係数<br>$F_{SA}$ | 1.00                                | 基準地震動スペクトルの形状は一樣ハザードスペクトル(耐専スペクトル)の形状と建屋・機器の周り範囲で同等であるため、中央値=1.0とする。  |                | 0.00      | 0.00           | 0.00      | 地震ハザードにおける距離減衰式等のばらつきに考慮されるので、考慮しない。 |   |   |  |
| 建屋応答係数<br>$F_{RS}$     | 減衰係数<br>$F_D$         | 1.00                                | 設計用減衰定数5%は中央値と考えられ1.0とする。   |                | 0.10      | 0.10           | 0.00      | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。       |   |   |  |
|                        | モデル化係数<br>$F_M$       | 1.00                                | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。  |                | 0.15      | 0.00           | 0.15      | kenedy他による。                          |   |   |  |
|                        | 非線形応答係数<br>$F_{NL}$   | 1.09                                | 剛な機器に対する建屋床応答加速度比(線形/非線形)の中央値を用いる。  |                | 0.20      | 0.20           | 0.00      | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。       |   |   |  |
| 機器応答係数<br>$F_{RE}$     | スペクトル形状係数<br>$F_{SA}$ | 1.00                                | 剛であり床応答スペクトルは使用していないため、考慮しない。   |                | 0.00      | 0.00           | 0.00      | 同 左                                  |   |   |  |
|                        | 減衰係数<br>$F_D$         | 1.00                                | 剛であり減衰の違いが応答に及ぼす影響は無視できるため、考慮しない。   |                | 0.00      | 0.00           | 0.00      | 同 左                                  |   |   |  |
|                        | モデル化係数<br>$F_M$       | 1.00                                | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。  |                | 0.00      | 0.00           | 0.00      | 剛な機器なので、ばらつきは考慮しない。                  |   |   |  |
| $F = F_C \cdot F_{RS}$ |                       | 6.39                                | -   |                | 0.29      | 0.22           | 0.19      | -                                    |   |   |  |
| 設計加速度 $A_d$            |                       | 450                                 | Gal   |                |           |                |           |                                      |   |   |  |

表-4a RCCWポンプのフラジリティ評価結果(機能)

| 損傷モード:ポンプの回転機能喪失                  |                              | 損傷加速度中央値(A <sub>m</sub> =F <sub>·</sub> Ad):3.15G |  | β <sub>c</sub> :0.23 |                | β <sub>u</sub> :0.18 |  | β <sub>r</sub> :0.23 |   | β <sub>r</sub> +β <sub>u</sub> ]:1.60G |  | AHCLPF=Am·EXP[-1.65(β <sub>r</sub> +β <sub>u</sub> )] |  |
|-----------------------------------|------------------------------|---|--|----------------------|----------------|----------------------|--|----------------------|---|--|--|---|--|
| 安全係数                              |                              | 中央値   | 根  | 拠                    | β <sub>c</sub> | β <sub>r</sub>       | β <sub>u</sub>   | 根                    | 拠 |  |  |   |  |
| 耐力係数<br>F <sub>C</sub>            | 強度係数<br>F <sub>S</sub>       | 6.28  | 対象設備の試験結果の裕度評価による推定機能確認済加速度を中央値加速度とする。(ポンプの中央値加速度=2.7 G, CH=0.43)    | 0.11                 | 0.05           | 0.10                 | ばらつきは、中央値加速度を1.2で除した値をHCLPF加速度とし、HCLPF値が中央値-1.65β (95%確率値)に相当するとして算定。なお、β <sub>r</sub> 、β <sub>u</sub> への配分は、米国の試験例を参考にβ <sub>u</sub> =2β <sub>r</sub> の比率を仮定。 |                      |   |  |  |   |  |
|                                   | 弾塑性係数<br>F <sub>μ</sub>      | 1.00  | 動的機能喪失に対するものであり、試験結果を用いるため、考慮しない。                                    | 0.00                 | 0.00           | 0.00                 | 同 左  |                      |   |  |  |   |  |
| 建屋応答係数<br>F <sub>RS</sub>         | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00  | 基準地震動スペクトルの形状は一樣ハザードスペクトル(耐震スペクトル)の形状と建屋・機器の周期範囲で同等であるため、中央値=1.0とする。 | 0.00                 | 0.00           | 0.00                 | 地震ハザードにおける距離減衰式等のばらつきに考慮されるので、考慮しない。   |                      |   |  |  |   |  |
|                                   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00  | 設計用減衰定数5%は中央値と考えられ1.0とする。  | 0.10                 | 0.10           | 0.00                 | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。   |                      |   |  |  |   |  |
|                                   | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00  | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。                                       | 0.15                 | 0.00           | 0.15                 | kenedy他による。  |                      |   |  |  |   |  |
|                                   | 非線形応答係数<br>F <sub>NL</sub>   | 1.09  | 剛な機器に対する建屋床応答加速度比(線形/非線形)の中央値を用いる。                                   | 0.20                 | 0.20           | 0.00                 | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。   |                      |   |  |  |   |  |
| 機器応答係数<br>F <sub>RE</sub>         | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00  | 剛であり床応答スペクトルは使用していないため、考慮しない。  | 0.00                 | 0.00           | 0.00                 | 同 左  |                      |   |  |  |   |  |
|                                   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00  | 剛であり減衰の違いが応答に及ぼす影響は無視できるため、考慮しない。                                    | 0.00                 | 0.00           | 0.00                 | 同 左  |                      |   |  |  |   |  |
|                                   | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00  | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。                                       | 0.00                 | 0.00           | 0.00                 | 剛な機器なので、ばらつきは考慮しない。  |                      |   |  |  |   |  |
|                                   | モード合成係数<br>F <sub>MC</sub>   | 1.00  | モード合成を行っていない(剛な機器)ため、考慮しない。  | 0.00                 | 0.00           | 0.00                 | 同 左  |                      |   |  |  |   |  |
| F=F <sub>C</sub> ·F <sub>RS</sub> |                              | 6.85  | -  | 0.29                 | 0.23           | 0.18                 | -  |                      |   |  |  |   |  |
| 設計加速度Ad                           |                              | 450   | Gal  |                      |                |                      |  |                      |   |  |  |   |  |

表-4b RCCWポンプのフラジリティ評価結果(機能)(JNES機器耐力試験結果適用)

| 損傷モード:ポンプの回転機能喪失                  |                              | 損傷加速度中央値(A <sub>m</sub> =F <sub>o</sub> Ad):6.98G |   | β <sub>u</sub> :0.18 |                | β <sub>r</sub> :0.23 |                | β <sub>c</sub> :0.29 |  | AHCLPF=A <sub>m</sub> ·EXP[-1.65(β <sub>r</sub> +β <sub>u</sub> ):3.55G |  |
|-----------------------------------|------------------------------|---|---|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|--|---|--|
| 安全係数                              |                              | 中央値   | 根   | 拠                    | β <sub>c</sub> | β <sub>r</sub>       | β <sub>u</sub> | 根                    | 拠  |   |  |
| 耐力係数<br>F <sub>C</sub>            | 強度係数<br>F <sub>S</sub>       | 13.95   | JNES機器耐力試験で横形ポンプ・電動機が6Gまで健全だったため、保守的に6Gを限界加速度中央値とする。(ポンプ・電動機の限界加速度中央値=6.0 G, CH=0.43) |                      | 0.11           | 0.05                 | 0.10           |                      | ばらつきは、中央値加速度を1.2で除した値をHCLPF加速度とし、HCLPF値が中央値-1.65β (95%確率値)に相当するとして算定。なお、β <sub>r</sub> 、β <sub>u</sub> への配分は、米国の試験例を参考にβ <sub>u</sub> =2β <sub>r</sub> の比率を仮定。 |   |  |
|                                   | 弾塑性係数<br>F <sub>μ</sub>      | 1.00  | 動的機能喪失に対するものであり、試験結果を用いるため、考慮しない。   |                      | 0.00           | 0.00                 | 0.00           |                      | 同 左  |   |  |
| 建屋応答係数<br>F <sub>RS</sub>         | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00  | 基準地震動スペクトルの形状は一樣ハザードスペクトル(両専スペクトル)の形状と建屋・機器の周期範囲で同等であるため、中央値=1.0とする。                  |                      | 0.00           | 0.00                 | 0.00           |                      | 地震ハザードにおける距離減衰式等のばらつきに考慮されるので、考慮しない。   |   |  |
|                                   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00  | 設計用減衰定数5%は中央値と考えられ1.0とする。   |                      | 0.10           | 0.10                 | 0.00           |                      | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。   |   |  |
| 機器応答係数<br>F <sub>RE</sub>         | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00  | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。  |                      | 0.15           | 0.00                 | 0.15           |                      | Kennedy他による。   |   |  |
|                                   | 非線形応答係数<br>F <sub>NL</sub>   | 1.09  | 剛な機器に対する建屋床応答加速度比(線形/非線形)の中央値を用いる。  |                      | 0.20           | 0.20                 | 0.00           |                      | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。   |   |  |
| モード合成係数<br>F <sub>MC</sub>        | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00  | 剛であり床応答スペクトルは使用していないため、考慮しない。   |                      | 0.00           | 0.00                 | 0.00           |                      | 同 左  |   |  |
|                                   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00  | 剛であり減衰の違いが応答に及ぼす影響は無視できるため、考慮しない。   |                      | 0.00           | 0.00                 | 0.00           |                      | 同 左  |   |  |
| モード合成係数<br>F <sub>MC</sub>        | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00  | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。  |                      | 0.00           | 0.00                 | 0.00           |                      | 剛な機器なので、ばらつきは考慮しない。  |   |  |
|                                   | モード合成係数<br>F <sub>MC</sub>   | 1.00  | モード合成を行っていない(剛な機器)ため、考慮しない。   |                      | 0.00           | 0.00                 | 0.00           |                      | 同 左  |   |  |
| F=F <sub>C</sub> ·F <sub>RS</sub> |                              | 15.21   | -   |                      | 0.29           | 0.23                 | 0.18           |                      | -  |   |  |
| 設計加速度Ad                           |                              | 450   | Gal   |                      |                |                      |                |                      |  |   |  |

表-4c RCCWポンプのフラジリティ評価結果(強度)

| 損傷モード:基礎ボルトの損傷         |                       | 損傷加速度中央値(Am=F·Ad):24.73G |   | $\beta_c:0.29$ | $\beta_r:0.22$ | $\beta_u:0.19$ | AHCLPF=Am·EXP[-1.65( $\beta_r + \beta_u$ ):12.57G] |                                      |
|------------------------|-----------------------|--------------------------|---|----------------|----------------|----------------|--|--------------------------------------|
| 安全係数                   |                       | 中央値                      | 根   | 拠              | $\beta_c$      | $\beta_r$      | $\beta_u$  | 拠                                    |
| 耐力係数<br>$F_C$          | 強度係数<br>$F_S$         | 49.40                    | バックチェックのS1地震応力と許容応力の比より求める。限界応力中央値は、 $1.2 \times$ 告示Suとする。(Su=39.3kg/mm <sup>2</sup> ,引張応力:0.4kg/mm <sup>2</sup> ,せん断応力:0.5kg/mm <sup>2</sup> ) | 拠              | 0.11           | 0.00           | 0.11   | 限界応力のばらつきは米国評価例により設定。                |
|                        | 弾塑性係数<br>$F_\mu$      | 1.00                     | ボルトの塑性変形は局所的であり、塑性変形の吸収はほとんど期待できない。   | 拠              | 0.00           | 0.00           | 0.00   | 同 左                                  |
| 建屋応答係数<br>$F_{RS}$     | スペクトル形状係数<br>$F_{SA}$ | 1.00                     | 基準地震動スペクトルの形状は一樣ハザードスペクトル(耐専スペクトル)の形状と建屋・機器の周期範囲で同等であるため、中央値=1.0とする。  | 拠              | 0.00           | 0.00           | 0.00   | 地震ハザードにおける距離減衰式等のばらつきに考慮されるので、考慮しない。 |
|                        | 減衰係数<br>$F_D$         | 1.00                     | 設計用減衰定数5%は中央値と考えられ1.0とする。   | 拠              | 0.10           | 0.10           | 0.00   | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。       |
|                        | モデル化係数<br>$F_M$       | 1.00                     | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。  | 拠              | 0.15           | 0.00           | 0.15   | kenedy他による。                          |
| 機器応答係数<br>$F_{RE}$     | 非線形応答係数<br>$F_{NL}$   | 1.09                     | 剛な機器に対する建屋床応答加速度比(線形/非線形)の中央値を用いる。  | 拠              | 0.20           | 0.20           | 0.00   | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。       |
|                        | スペクトル形状係数<br>$F_{SA}$ | 1.00                     | 剛であり床応答スペクトルは使用していないため、考慮しない。   | 拠              | 0.00           | 0.00           | 0.00   | 同 左                                  |
|                        | 減衰係数<br>$F_D$         | 1.00                     | 剛であり減衰の違いが応答に及ぼす影響は無視できるため、考慮しない。   | 拠              | 0.00           | 0.00           | 0.00   | 同 左                                  |
|                        | モデル化係数<br>$F_M$       | 1.00                     | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。  | 拠              | 0.00           | 0.00           | 0.00   | 剛な機器なので、ばらつきは考慮しない。                  |
| モード合成係数<br>$F_{MC}$    |                       | 1.00                     | モード合成を行っていない(剛な機器)ため、考慮しない。   | 拠              | 0.00           | 0.00           | 0.00   | 同 左                                  |
| $F = F_C \cdot F_{RS}$ |                       | 53.85                    | -   | 拠              | 0.29           | 0.22           | 0.19   | -                                    |
| 設計加速度Ad                |                       | 450                      | Gal   | 拠              | -              | -              | -  | -                                    |

表-5 RHR熱交換器のフラジリティ評価結果

| 損傷モード:基礎ボルト損傷 損傷加速度中央値(A <sub>m</sub> =F <sub>Ad</sub> ):2.44G β <sub>c</sub> :0.29 β <sub>r</sub> :0.22 β <sub>u</sub> :0.19 AHCLPF=A <sub>m</sub> ・EXP[-1.65(β <sub>r</sub> +β <sub>u</sub> ):1.24G |                              | 中央値  | 根   | 拠 | β <sub>c</sub> | β <sub>r</sub> | β <sub>u</sub> | 根                                    | 拠                     |
|---|------------------------------|------|---|---|----------------|----------------|----------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 耐力係数<br>F <sub>C</sub>  | 強度係数<br>F <sub>S</sub>       | 4.88 | バックチェックのS1地震応力と許容応力の比より求める。限界応力中央値は、1.2×告示S <sub>u</sub> とする。(S <sub>u</sub> =52.0kg/mm <sup>2</sup> ,引張応力:4.0kg/mm <sup>2</sup> ,せん断応力:7.0kg/mm <sup>2</sup> ) |   | 0.11           | 0.00           | 0.11           |                                      | 限界応力のばらつきは米国評価例により設定。 |
|   | 弾塑性係数<br>F <sub>μ</sub>      | 1.00 | ボルトの塑性変形は局所的であり、塑性変形の吸収は殆ど期待できない  |   | 0.00           | 0.00           |                | 同 左                                  |                       |
|   | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00 | 基準地震動スペクトルの形状は一樣ハザードスペクトル(耐専スペクトル)の形状と建屋・機器の周期範囲で同等であるため、中央値=1.0とする。  |   | 0.00           | 0.00           |                | 地震ハザードにおける距離減衰式等のばらつきに考慮されるので、考慮しない。 |                       |
| 建屋応答係数<br>F <sub>RS</sub>   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00 | 設計用減衰定数5%は中央値と考えられ1.0とする。   |   | 0.10           | 0.10           |                | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。       |                       |
|   | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00 | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。  |   | 0.15           | 0.00           |                | kenedy他による。                          |                       |
|   | 非線形応答係数<br>F <sub>NL</sub>   | 1.09 | 剛な機器に対する建屋床応答加速度比(線形/非線形)の中央値を用いる。  |   | 0.20           | 0.20           |                | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。       |                       |
| 機器応答係数<br>F <sub>RE</sub>   | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00 | 剛であり床応答スペクトルは使用していないため、考慮しない。   |   | 0.00           | 0.00           |                | 同 左                                  |                       |
|   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00 | 剛であり減衰の違いが応答に及ぼす影響は無視できるため、考慮しない。   |   | 0.00           | 0.00           |                | 同 左                                  |                       |
|   | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00 | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。  |   | 0.00           | 0.00           |                | 剛な機器なので、ばらつきは考慮しない。                  |                       |
|   | モード合成係数<br>F <sub>MC</sub>   | 1.00 | モード合成を行っていない(剛な機器)ため、考慮しない。   |   | 0.00           | 0.00           |                | 同 左                                  |                       |
| F=F <sub>C</sub> ・F <sub>RS</sub>   |                              | 5.32 | -   |   | 0.29           | 0.22           |                | -                                    |                       |
| 設計加速度Ad   |                              | 450  | Gal   |   |                |                |                |                                      |                       |

表一6 配管系のフラジリティ評価結果(As, Aクラス配管)

| 損傷モード: サポート溶接部損傷 |       | 損傷加速度中央値(Am=F·Ad): 4.97G   |   | βc: 0.51 |      | βr: 0.38 |   | βu: 0.34 |  | AHCLPF=Am·EXP[-1.65(βr+βu)]: 1.52G |  |
|------------------|-------|--|---|----------|------|----------|---|----------|--|------------------------------------|--|
| 安全係数             | 中央値   | 根  | 拠 | βc       | βr   | βu       | 根   | 拠        |  |                                    |  |
| 耐力係数<br>Fc       | 1.55  | 設計データに基づく地震応力の中央値と設計基準に基づく許容応力の比より算定。限界応力中央値は1.2×告示Syとする。  |   | 0.24     | 0.11 | 0.21     | Kennedyらの評価結果を参考に、βは降伏強度のばらつきと設計許容応力が地震応力の中央値に対し99%期待値(+2.32β)に相当すると考えて評価。βとβuの配分は米国評価例による。 |          |  |                                    |  |
| 弾塑性係数<br>Fμ      | 2.83  | Newmarkの評価式(μ: 塑性率)を用いる。μは配管系の弾塑性設計法に関する調査報告書(耐特委)において、試験により塑性率=4.5~5.5でサポートが健全であることを確認しているため、中央値としてμ=4.5を採用。                      |   | 0.12     | 0.08 | 0.08     | 左記調査報告書で設計上はμ=3以下とすることを規定しているためμ=3が中央値-2βに相当すると仮定。βr, βuへの配分はOcone PRAIによる。                 |          |  |                                    |  |
| スペクトル形状係数<br>FSA | 1.00  | 基準地震動スペクトルの形状は一樣ハザードスペクトル(耐専スペクトル)の形状と建屋・機器の周期範囲で同等であるため、中央値=1.0とする。   |   | 0.00     | 0.00 | 0.00     | 地震ハザードにおける距離減衰式等のばらつきに考慮されるので、考慮しない。  |          |  |                                    |  |
| 建屋応答係数<br>FRS    | 1.00  | 設計用減衰定数5%は中央値と考えられ1.0とする。  |   | 0.10     | 0.10 | 0.00     | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。  |          |  |                                    |  |
|                  | 1.00  | 設計解析モデルは中央値を与えたと判断されるため1.0とする。   |   | 0.15     | 0.00 | 0.15     | kennedy他による。  |          |  |                                    |  |
| 非線形応答係数<br>FNL   | 1.30  | 柔な機器に対する床応答加速度比(線形/非線形)の中央値を用いる。   |   | 0.20     | 0.20 | 0.00     | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。  |          |  |                                    |  |
| スペクトル形状係数<br>FSA | 1.24  | 原子炉建屋の応答スペクトルについて設計用応答スペクトル(±10%振幅)と応答スペクトル(振幅前)の平均的な比率を計算。<br>FD=SHD/SHMにより算定<br>Shd: 設計用減衰定数に対するスペクトル値<br>Shm: 減衰定数中央値に対するスペクトル値 |   | 0.06     | 0.00 | 0.06     | スペクトルの違いによるばらつき±2βの範囲にあると仮定。  |          |  |                                    |  |
| 機器応答係数<br>FRE    | 1.53  | 現実的減衰はJEA G4601-1991の試験データ <sup>(8)</sup> により、7.1%(区分I配管を代表)とする。各減衰に対するスペクトル値は大崎他による変換式 <sup>(9)</sup> を用いる。                       |   | 0.26     | 0.23 | 0.12     | 設計用減衰定数(2.5%)による応答が、中央値+1.65β(95%確率値)にあたるとして算定。βr, βuへの配分はLimerick Ocone Zion PRAIによる。      |          |  |                                    |  |
| モデル化係数<br>FM     | 1.00  | 現状のモデルは中央値を与えていると仮定。   |   | 0.15     | 0.00 | 0.15     | 多自由度系に対するKennedyの評価値を使用。  |          |  |                                    |  |
| モード合成係数<br>FMC   | 1.00  | SRSS法が用いられているため中央値と仮定。   |   | 0.15     | 0.15 | 0.00     | 同 左   |          |  |                                    |  |
| F=Fc·FRS         | 10.82 |  |   | 0.51     | 0.38 | 0.34     |   |          |  |                                    |  |
| 設計加速度Ad          | 450   | Gal  |   |          |      |          |   |          |  |                                    |  |

表-7a 仕切弁(電動弁、空気作動弁)のフラジリティ評価結果

| 損傷モード:弁の動的機能損傷                    |                              | 損傷加速度中央値(Am=F·Ad):2.01G |   | βc:0.45 |      | βr:0.36 |   | βu:0.27 |   | AHCLPF=Am·EXP[-1.65(βr+βu)]:0.71G |  |  |
|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------|---|---------|------|---------|---|---------|---|-----------------------------------|--|--|
| 安全係数                              | 中央値                          | 根                       | 拠   | βc      | βr   | βu      | 根   | 拠       |   |                                   |  |  |
| 耐力係数<br>F <sub>C</sub>            | 強度係数<br>F <sub>S</sub>       | 1.77                    | 対象設備の試験結果の裕度評価による推定機能確認済加速度を中央値加速度とし、弁の応答加速度の最大値で除した値を強度係数の中央値とした。(中央値加速度=7.3 G, CH=4.13)   | 0.11    | 0.05 | 0.10    | 限界加速度のばらつきは、中央値加速度を1.2で除した値をHCLPF加速度とし、HCLPF値が中央値-1.65β (95%確率値)に相当するとして算定。なお、β <sub>r</sub> 、β <sub>u</sub> への配分は、米国の試験例を参考にβ <sub>u</sub> =2β <sub>r</sub> の比率を仮定。なお、弁の応答加速度が最大となるものを使って強度係数の中央値を算出している。応答加速度のばらつきは考慮しない。 | 同       | 左 |                                   |  |  |
|                                   | 弾塑性係数<br>F <sub>μ</sub>      | 1.00                    | 動的機能喪失に対するものであり、試験結果を用いているため、考慮しない。   | 0.00    | 0.00 | 0.00    | 同   | 左       |   |                                   |  |  |
| 建屋応答係数<br>F <sub>RS</sub>         | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00                    | 基準地震動スペクトルの形状は一樣ハザードスペクトル(耐震スペクトル)の形状と建屋・機器の周期範囲で同等であるため、中央値=1.0とする。  | 0.00    | 0.00 | 0.00    | 地震ハザードにおける距離減衰式等のばらつきに考慮されるので、考慮しない。  |         |   |                                   |  |  |
|                                   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00                    | 設計用減衰定数5%は中央値と考えられ1.0とする。   | 0.10    | 0.10 | 0.00    | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。  |         |   |                                   |  |  |
| 機器応答係数<br>F <sub>RE</sub>         | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00                    | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。  | 0.15    | 0.00 | 0.15    | kenedy他による。   |         |   |                                   |  |  |
|                                   | 非線形応答係数<br>F <sub>NL</sub>   | 1.30                    | 柔な機器に対する床応答加速度比(線形/非線形)の中央値を用いる。  | 0.20    | 0.20 | 0.00    | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。  |         |   |                                   |  |  |
| 機器応答係数<br>F <sub>RE</sub>         | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.24                    | 原子炉建屋の応答スペクトルについて設計用応答スペクトル(±10%拡幅)と応答スペクトル(拡幅前)の平均的な比率を計算。<br>FD=Shm/Shmiにより算定<br>Shd: 設計用減衰定数に対するスペクトル値<br>Shm: 減衰定数中央値に対するスペクトル値<br>現実的減衰はJEA4601-1991の試験データ <sup>(8)</sup> に<br>より、7.1%(区分I配管を代表)とする。各減衰に<br>対するスペクトル値は大崎他による変換式 <sup>(9)</sup> を用い<br>る。 | 0.06    | 0.00 | 0.06    | スペクトルの違いによるばらつき±2βの範囲にあると仮定。  |         |   |                                   |  |  |
|                                   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.53                    | 設計用減衰定数に対するスペクトル値<br>現実的減衰はJEA4601-1991の試験データ <sup>(8)</sup> に<br>より、7.1%(区分I配管を代表)とする。各減衰に<br>対するスペクトル値は大崎他による変換式 <sup>(9)</sup> を用い<br>る。   | 0.26    | 0.23 | 0.12    | 設計用減衰定数(2.5%)による応答が、中央値+1.65β (95%確率値)にあたるとして算定。β <sub>r</sub> 、β <sub>u</sub> への配分はLimerick Ocone Zion PRAによる。   |         |   |                                   |  |  |
| F=F <sub>C</sub> ·F <sub>RS</sub> | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00                    | 現状のモデルは中央値を与えていると仮定。  | 0.15    | 0.00 | 0.15    | 多自由度系に対するKennedyの評価値を使用。  |         |   |                                   |  |  |
|                                   | モード合成係数<br>F <sub>MC</sub>   | 1.00                    | SRSS法が用いられているため中央値と仮定。  | 0.15    | 0.15 | 0.00    | 同   | 左       |   |                                   |  |  |
| F=F <sub>C</sub> ·F <sub>RS</sub> |                              | 4.37                    | -   | 0.45    | 0.36 | 0.27    | -   |         |   |                                   |  |  |
| 設計加速度Ad                           |                              | 450                     | Gal   | -       | -    | -       | -   |         |   |                                   |  |  |



表-7b 玉形弁(電動弁、空気作動弁)のフラジリティ評価結果

| 損傷モード:弁の動的機能損傷 |                  | 損傷加速度中央値(Am=F・Ad):2.08G |   | βc:0.45 |      | βr:0.36 |  | βu:0.27 |   | AHCLPF=-1.65(βr+βu):0.74G |  |
|----------------|------------------|-------------------------|---|---------|------|---------|--|---------|---|---------------------------|--|
| 安全係数           |                  | 中央値                     | 根   | 拠       | βc   | βr      | βu   | 根       | 拠 |                           |  |
| 耐力係数<br>Fc     | 強度係数<br>Fs       | 1.84                    | 対象設備の試験結果の裕度評価による推定機能確認済加速度を中央値加速度とし、弁の応答加速度の最大値で除した値を強度係数の中央値とした。(中央値加速度=7.6 G, CH=4.13)   | 0.11    | 0.05 | 0.10    | 限界加速度のばらつきは、中央値加速度を1.2で除した値をHCLPF加速度とし、HCLPF値が中央値-1.65β (95%確率値)に相当するとして算定。なお、βr、βuへの配分は、米国の試験例を参考にβu=2βrの比率を仮定。なお、弁の応答加速度が最大となるものを使って強度係数の中央値を算出している。そのため、応答加速度のばらつきは考慮しない。 | 同 左     |   |                           |  |
|                | 弾塑性係数<br>Fu      | 1.00                    | 動的機能喪失に対するものであり、試験結果を用いているため、考慮しない。   | 0.00    | 0.00 | 0.00    | 同 左  |         |   |                           |  |
| 建屋応答係数<br>FRS  | スペクトル形状係数<br>FSA | 1.00                    | 基準地震動スペクトルの形状は一樣ハザードスペクトル(耐専スペクトル)の形状と建屋・機器の周期範囲で同等であるため、中央値=1.0とする。  | 0.00    | 0.00 | 0.00    | 地震ハザードにおける距離減衰式等のばらつきに考慮されない。  |         |   |                           |  |
|                | 減衰係数<br>FD       | 1.00                    | 設計用減衰定数5%は中央値と考えられ1.0とする。   | 0.10    | 0.10 | 0.00    | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。   |         |   |                           |  |
|                | モデル化係数<br>FM     | 1.00                    | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。  | 0.15    | 0.00 | 0.15    | Kennedy他による。   |         |   |                           |  |
|                | 非線形応答係数<br>FNL   | 1.30                    | 柔な機器に対する床応答加速度比(線形/非線形)の中央値を用いる。  | 0.20    | 0.20 | 0.00    | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。   |         |   |                           |  |
| 機器応答係数<br>FRE  | スペクトル形状係数<br>FSA | 1.24                    | 原子炉建屋の応答スペクトルについて設計用応答スペクトル(±10%振幅)と応答スペクトル(振幅前)の平均的な比率を計算。<br>FD=Shd/Shmにより算定  | 0.06    | 0.00 | 0.06    | スペクトルの違いによるばらつき±2βの範囲にあると仮定。   |         |   |                           |  |
|                | 減衰係数<br>FD       | 1.53                    | Shd:設計用減衰定数に対するスペクトル値<br>Shm:減衰定数中央値に対するスペクトル値<br>現実的減衰はJEAG4601-1991の試験データ(B)に<br>より、7.1%(区分I配管を代表)とする。各減衰に<br>対するスペクトル値は大崎他による変換式(9)を用い<br>る。 | 0.26    | 0.23 | 0.12    | 設計用減衰定数(2.5%)による応答が、中央値+1.65β (95%確率値)にあたるとして算定。βr、βuへの配分はLimerick Oconee Zion PRAによる。   |         |   |                           |  |
|                | モデル化係数<br>FM     | 1.00                    | 現状のモデルは中央値を与えていると仮定。  | 0.15    | 0.00 | 0.15    | 多自由度系に対するKennedyの評価値を使用。   |         |   |                           |  |
| モード合成係数<br>FMC |                  | 1.00                    | SRSS法が用いられているため中央値と仮定。  | 0.15    | 0.15 | 0.00    | 同 左  |         |   |                           |  |
| F=Fc・FRS       |                  | 4.54                    | -   | 0.45    | 0.36 | 0.27    | -  |         |   |                           |  |
| 設計加速度Ad        |                  | 450                     | Gal   | -       | -    | -       | -  |         |   |                           |  |

表-7c バタフライ弁(電動弁、空気作動弁)のフラジリティ評価結果

| 損傷モード:弁の動的機能損傷                    |                              | 損傷加速度中央値(Am=F·Ad):2.86G |  | βc:0.45 |      | βr:0.36 |   | βu:0.27 |  | AHCLPF=Am·EXP[-1.65(βr+βu)]:1.01G |  |
|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------|--|---------|------|---------|---|---------|--|-----------------------------------|--|
| 安全係数                              | 中央値                          | 根                       | 拠  | βc      | βr   | βu      | 根   | 拠       |  |                                   |  |
| 耐力係数<br>F <sub>C</sub>            | 強度係数<br>F <sub>S</sub>       | 2.52                    | 対象設備の試験結果の裕度評価による推定機能確認済加速度を中央値加速度とし、弁の応答加速度の最大値で除した値を強度係数の中央値とした。(中央値加速度=10.4 G, GH=4.13)   | 0.11    | 0.05 | 0.10    | 限界加速度のばらつきは、中央値加速度を1.2で除した値をHCLPF加速度とし、HCLPF値が中央値-1.65β(95%確率値)に相当するとして算定。なお、βr、βuへの配分は、米国の試験例を参考にβu=2βrの比率を仮定。なお、弁の応答加速度が最大となるものを使って強度係数の中央値を算出しているもので、応答加速度のばらつきは考慮しない。 | 同 左     |  |                                   |  |
|                                   | 弾塑性係数<br>F <sub>μ</sub>      | 1.00                    | 動的機能喪失に対するものであり、試験結果を用いているため、考慮しない。  | 0.00    | 0.00 | 0.00    | 同 左   |         |  |                                   |  |
| 建屋応答係数<br>F <sub>RS</sub>         | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00                    | 基準地震動スペクトルの形状は一樣ハザードスペクトル(耐専スペクトル)の形状と建屋機器の周期範囲で同等であるため、中央値=1.0とする。  | 0.00    | 0.00 | 0.00    | 地震ハザードにおける距離減衰式等のばらつきに考慮されるので、考慮しない。  |         |  |                                   |  |
|                                   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00                    | 設計用減衰定数5%は中央値と考えられ1.0とする。  | 0.10    | 0.10 | 0.00    | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。  |         |  |                                   |  |
|                                   | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00                    | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。   | 0.15    | 0.00 | 0.15    | kenedy他による。   |         |  |                                   |  |
|                                   | 非線形応答係数<br>F <sub>NL</sub>   | 1.30                    | 柔な機器に対する床応答加速度比(線形/非線形)の中央値を用いる。   | 0.20    | 0.20 | 0.00    | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。  |         |  |                                   |  |
| 機器応答係数<br>F <sub>RE</sub>         | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.24                    | 原子炉建屋の応答スペクトルについて設計用応答スペクトル(±10%振幅)と応答スペクトル(振幅前の平均的な比率を計算。<br>FD=Shd/Shmにより算定<br>Shd: 設計用減衰定数に対するスペクトル値<br>Shm: 減衰定数中央値に対するスペクトル値<br>現実的減衰はJFAG4601-1991の試験データ <sup>(8)</sup> により、7.1%(区分I配管を代表)とする。各減衰に対するスペクトル値は大崎他による変換式 <sup>(9)</sup> を用いる。 | 0.06    | 0.00 | 0.06    | スペクトルの違いによるばらつき±2βの範囲にあると仮定。  |         |  |                                   |  |
|                                   | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00                    | 現状のモデルは中央値を与えていると仮定。   | 0.15    | 0.00 | 0.15    | 設計用減衰定数(2.5%)による応答が、中央値+1.65β(95%確率値)にあたるとして算定。βr、βuへの配分はLimerick Ocone Zion PRAによる。  |         |  |                                   |  |
|                                   | モード合成係数<br>F <sub>MC</sub>   | 1.00                    | SRSS法が用いられているため中央値と仮定。   | 0.15    | 0.15 | 0.00    | 多自由度系に対するKennedyの評価値を使用。  | 同 左     |  |                                   |  |
| F=F <sub>C</sub> ·F <sub>RS</sub> |                              | 6.22                    | -  | 0.45    | 0.36 | 0.27    | -   |         |  |                                   |  |
| 設計加速度Ad                           |                              | 450                     | Gal  |         |      |         |   |         |  |                                   |  |

表-8a 制御盤のフレンジリティ評価結果(機能)

| 損傷モード:電氣的機能喪失                     |                              | 損傷加速度中央値(A <sub>m</sub> =F·Ad):5.38G |   | β <sub>c</sub> :0.35 | β <sub>r</sub> :0.24 | β <sub>u</sub> :0.25 | AHCLPF=A <sub>m</sub> ·EXP[-1.65(β <sub>r</sub> +β <sub>u</sub> ):2.40G |   |
|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|---|---|
| 安全係数                              | 中央値                          | 根                                    | 拠   | β <sub>c</sub>       | β <sub>r</sub>       | β <sub>u</sub>       | 根   | 拠 |
| 耐力係数<br>F <sub>C</sub>            | 強度係数<br>F <sub>S</sub>       | 10.75                                | 対象設備の試験結果より求めたHCLPF値(AHCLPF)と米国試験例より定めたβ <sub>r</sub> 、β <sub>u</sub> に基づき損傷加速度中央値(A <sub>m</sub> )を計算し、機器設置床加速度で除した数値を強度係数の中央値と考える。(AHCLPF=6.1G,A <sub>m</sub> =10.0G,CH=0.93) | 0.22                 | 0.10                 | 0.20                 | ばらつきは米国試験例による。  |   |
|                                   | 弾塑性係数<br>F <sub>μ</sub>      | 1.00                                 | 動的機能喪失に対するものであり、試験結果を用いているため、考慮しない。   | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 同 左   |   |
| 建屋応答係数<br>F <sub>RS</sub>         | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00                                 | 基準地震動スペクトルの形状は一樣ハザードスペクトル(耐専スペクトル)の形状と建屋・機器の周期範囲で同等であるため、中央値=1.0とする。  | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 地震ハザードにおける距離減衰式等のばらつきに考慮されるので、考慮しない。                                    |   |
|                                   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00                                 | 設計用減衰定数5%は中央値と考えられ1.0とする。   | 0.10                 | 0.10                 | 0.00                 | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。  |   |
|                                   | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00                                 | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。  | 0.15                 | 0.00                 | 0.15                 | kennedy他による。  |   |
|                                   | 非線形応答係数<br>F <sub>NL</sub>   | 1.09                                 | 剛な機器に対する建屋床応答加速度比(線形/非線形)の中央値を用いる。  | 0.20                 | 0.20                 | 0.00                 | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。  |   |
| 機器応答係数<br>F <sub>RE</sub>         | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00                                 | 剛であり床応答スペクトルは使用していないため、考慮しない。   | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 同 左   |   |
|                                   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00                                 | 剛であり減衰の違いが応答に及ぼす影響は無視できるため、考慮しない。   | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 同 左   |   |
|                                   | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00                                 | 現状のモデルは中央値を与えていると仮定。  | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 剛な機器なので、ばらつきは考慮しない。   |   |
|                                   | モード合成係数<br>F <sub>MC</sub>   | 1.00                                 | モード合成を行っていない(剛な機器)ため、考慮しない。   | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 同 左   |   |
| F=F <sub>C</sub> ·F <sub>RS</sub> |                              | 11.72                                | -   | 0.35                 | 0.24                 | 0.25                 | -   |   |
| 設計加速度Ad                           |                              | 450                                  | Gal   |                      |                      |                      |   |   |

表-8b 制御盤のフラジリティ評価結果(強度)

| 損傷モード:縮付ボルトの損傷 損傷加速度中央値(A <sub>m</sub> =F <sub>0</sub> Ad):8.79G β <sub>c</sub> :0.29 β <sub>r</sub> :0.22 β <sub>u</sub> :0.19 AHCLPF=A <sub>m</sub> ·EXP[-1.65(β <sub>r</sub> +β <sub>u</sub> ):4.47G |                              | 中央値   | 根   | 拠 | β <sub>c</sub> | β <sub>r</sub> | β <sub>u</sub> | 根                                    | 拠                     |
|---|------------------------------|-------|---|---|----------------|----------------|----------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 耐力係数<br>F <sub>C</sub>  | 強度係数<br>F <sub>S</sub>       | 17.57 | バックチェックのS1地震応力と許容応力の比より求める。限界応力中央値は、1.2×告示Suとする。(Su=39.3kg/mm <sup>2</sup> ,引張応力:2.3kg/mm <sup>2</sup> ,せん断応力:0.8kg/mm <sup>2</sup> ) |   | 0.11           | 0.00           | 0.11           |                                      | 限界応力のばらつきは米国評価例により設定。 |
|   | 弾塑性係数<br>F <sub>μ</sub>      | 1.00  | ボルトの塑性変形は局所的であり、塑性変形の吸収はほとんど期待できない。   |   | 0.00           | 0.00           |                | 同 左                                  |                       |
| 建屋応答係数<br>F <sub>RS</sub>   | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00  | 基準地震動スペクトルの形状は一樣ハザードスペクトル(耐専スペクトル)の形状と建屋・機器の周期範囲で同等であるため、中央値=1.0とする。  |   | 0.00           | 0.00           |                | 地震ハザードにおける距離減衰式等のばらつきに考慮されるので、考慮しない。 |                       |
|   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00  | 設計用減衰定数5%は中央値と考えられ1.0とする。   |   | 0.10           | 0.00           |                | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。       |                       |
|   | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00  | 設計解析モデルは中央値を与えると判断されるため1.0とする。  |   | 0.15           | 0.00           |                | kennedy他による。                         |                       |
|   | 非線形応答係数<br>F <sub>NL</sub>   | 1.09  | 剛な機器に対する建屋床応答加速度比(線形/非線形)の中央値を用いる。  |   | 0.20           | 0.20           |                | 建屋非線形応答解析結果による床応答加速度のばらつきより設定。       |                       |
| 機器応答係数<br>F <sub>RE</sub>   | スペクトル形状係数<br>F <sub>SA</sub> | 1.00  | 剛であり床応答スペクトルは使用していないため、考慮しない。   |   | 0.00           | 0.00           |                | 同 左                                  |                       |
|   | 減衰係数<br>F <sub>D</sub>       | 1.00  | 剛であり減衰の違いが応答に及ぼす影響は無視できるため、考慮しない。   |   | 0.00           | 0.00           |                | 同 左                                  |                       |
|   | モデル化係数<br>F <sub>M</sub>     | 1.00  | 現状のモデルは中央値を与えていると仮定。  |   | 0.00           | 0.00           |                | 剛な機器なので、ばらつきは考慮しない。                  |                       |
|   | モード合成係数<br>F <sub>MC</sub>   | 1.00  | モード合成を行っていない(剛な機器)ため、考慮しない。   |   | 0.00           | 0.00           |                | 同 左                                  |                       |
| F=F <sub>C</sub> ·F <sub>RS</sub>   |                              | 19.15 | -   |   | 0.29           | 0.22           |                | -                                    |                       |
| 設計加速度Ad   |                              | 450   | Gal   |   |                |                |                |                                      |                       |