

意見その1

1.1.2 改定の規程に、“本規程は適宜見直しを実施し”とありますが、「適宜」は、誰がどんな切掛けで見直しをするのかが極めて曖昧です。これでは国民の信頼を得ることが難しいと思います。“毎年”とか“3年毎に定期的に”のような具体的な目途を書くべきです。見直しの間隔は耐震設計の変化の早さを勘案して決めるべきかと思います。

回答

原案のままとする。

1.1.2【解説】に、耐震設計分野では新たな知見等が日々蓄積されていることから、規格のメンテナンスが重要であると記載している。日本電気協会の規約にも「規格の全面的な改定作業は5年毎に実施することとしているが、各分科会においては改定要否の検討作業を5年以内で定期的に行って委員会へ審議提案を行う。なお、状況の変化によっては5年に満たない時点においても適宜、改定及び廃止を行い、適切な規格の維持、普及に努める。」と規定されている。

以上から、日本電気協会が必要に応じて適宜改定していく姿勢は明白である。

意見その2

1.2.1 耐震設計の目的における【解説】の、“地震動に起因する外乱”としては、「火災」を追記すべきだと思います。中越沖地震の教訓を反映すべきです。

回答

1.2.1【解説】に、地震動に起因する外乱に加え、地震随件事象も外乱として扱うことを明記する。

なお、地震に起因するものも含めた火災に対する設計は、火災防護設計の分野で扱われる。これに関する規準類としては、包括的には原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設の安全設計審査指針」及び「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令(通商産業省令第62号)」があり、具体的には原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設の火災防護に関する審査指針」、日本電気協会「原子力発電所の火災防護指針」(JEAG4607)などがある。

意見その3

1.2.1 耐震設計の目的に“供用期間中”という用語が出ていますが、「廃炉措置中」も含まれていると考えるのでしょうか？一般的には“含まれない”と思いますが、含まれないとすると、そんな期間(放射性物質を大量に保有し得る)の原子炉の耐震設計をどう考えるのかを明記しておく必要が有ると思います。また、“含まれる”のであれば、その旨を明記しておく必要が有ります。

特に、「廃炉措置中」は、原子力発電所は、当初の設計仕様と異なる条件で保管維持されていることが考えられますので、そのあたりを考慮した規定が必要ではないでしょうか？

回答

原案のままとする。

供用期間中とは、原子力発電所の営業運転開始から営業運転終了までを指し、その後は

JEAC4601 による耐震設計のスコープ外になる。

なお、原子炉の廃止措置については原子炉等規制法第 38 条に規定がある。廃止措置期間中の耐震性等は、廃止措置計画書に記載し、保安院の審査を受けることになっている。

意見その 4

1.3 用語と略称の「動的機器」で、“地震時及び地震後に安全上要求される機能を果たすため可動部が動くことを要求される機器。この定義は耐震設計でいう動的機器であり、たとえば逆止弁も動的機器に含む。これに対して、安全審査指針では、外部入力によって能動的に所定の機能を果たす機器を動的機器といい、逆止弁は動的機器に含まれない。”と書かれていますが、安全設計審査指針と異なることを規定するなら、何故、そうしたのかを解説に入れておくべきです。設計者にいたずらな混乱を招くのは得策ではないと考えます。

回答

原案のままとする。

安全設計審査指針における「動的機器」は能動的に作動する機器の意味である。一方、耐震設計における「動的機器」は地震時に安全機能を果たすため動作することが求められる機器であり、逆止弁のように受動的に動作する機器も含む。耐震設計における「動的機器」という用語は JEAG4601・補-1984 以来使われており、設計者が安全設計における「動的機器」と混同する懸念はない。

意見その 5

2.3 耐震重要度分類の適用の【解説】の(2)耐震重要度分類の適用に当たっての留意事項 a. で、“主要設備が補助的役割をもつ機能を必要とせずに、それ自体で安全上の当該機能を満たす場合、主要設備の付属設備は補助設備とみなさない。たとえば、安全機能上、「閉」動作が要求される格納容器隔離弁(主要設備)がフェイルセーフの設計になっている場合、通常動作を与える付属設備(電気・計装設備)は補助設備とみなさない。”とあります。しかし、動的な機器が地震時にフェイルセーフに動く保証があるとは思わないのが世間一般でしょうから、これらも補助設備として耐震設計をするべきと思います。

回答

この解説は、主要設備が地震時にフェイルセーフ動作する場合、付属設備は補助設備とみなさないという意味である。たとえば、地震時に電源や空気源に頼らなくても弁の安全機能が維持される場合、電源や空気源は補助設備としない。

一方、主要設備が地震時にフェイルセーフに動く保証のない場合、当該動的機器を動作させるための付属設備は補助設備とする。たとえば、地震時に弁の安全機能を果たすために電源や空気源を必要とする場合、それらは補助設備とする。また、地震時に安全機能を果たすため電気や空気を遮断する必要があり、それらの制御回路が主要設備の側でない場合、当該制御回路は補助設備とする。

したがって、ご指摘の部分は基本的に原案のままとするが、「通常動作を与える」という表現は多様な解釈がありうるので明確な表現に修正する。

意見その 6

2.4 耐震重要度と地震力の(2)間接支持構造物及び波及的影響を考慮すべき設備に、“間接支持構造物及び波及的影響を考慮すべき設備については、2.3 (2) b. 及び c. で定めた確認用地震動から求まる地震力に対して、支持機能の確認あるいは波及的影響防止の確認を行う。”とあります。

この記述は、建物構築物の内部に設置される設備について書かれていると思いますが、Cクラスの屋外設備の間接支持構造物（具体的には地面）について、どのような設計をすればよいかを規定すべきだと思います。たとえば、中越沖地震で火災になった変圧器や屋外の消火設備等の場合です。

回答

原案のままとする。

間接支持構造物に関する記載は、建物・構築物内部に限らず、屋外に設置する機器・配管系設備の基礎も含んでいる。変圧器や消火設備は「一般産業施設と同等の安全性を保持すればよい」耐震Cクラスの「放射線安全に関連しない施設等」に分類される。また、これら設備の破損が上位耐震クラスの施設に波及的影響を与えるおそれがある場合は、「波及的影響を考慮すべき設備」として上位クラスに適用される設計用地震力に対して安全上支障がないことを確認する。

意見その7

附属書 2.2 地震時又は地震後に動的機能が要求される設備の【解説】の(2)に、“クラス1ポンプの動的機能について”とありますが、「クラス1ポンプ」は、後の4.1.5.1「機器・配管系の設備の区分」で定義されていますが、この部分では何も記述がないため判りません。せめて、どこを見るようにとの注記が必要だと思います。

回答

拝承。

クラス1ポンプの説明を追記する。

意見その8

4.1.5.1 機器・配管系の設備の区分の【解説】で、“その他の支持構造物”とは、解図4.1.5.1-1に示すように、本規程の第2章「2.3(1) 設備区分」に定める直接支持構造物の範囲であって、設計・建設規格で規定される支持構造物の範囲外を意味している。”と有ります。解図4.1.5.1-1を見ても、どの部分が該当するのかが不明確です。白い部分だと思いますが、それなら、その旨を記述しておかないと判りにくいと考えます。

回答

拝承。

解図4.1.5.1-1に、網掛けした部分が「その他の支持構造物」を表すことを追記する等、分かりやすい図に修正する。

意見その9

4.6.3.3 解析による評価の方法の(1)基本事項のa.で、“解析による評価の対象機器は、表4.6.3.3-1に示す適用形式及び目安となる仕様に該当するものとする。”と規定されていますが、この適用形式及び目安となる仕様は解析手法の高度化と共に変わって行くものと思われるから、ここで規定しないで設計の自由度を重視したほうが発展性が有ります、つまり、a項は不要だと思います。

回答

原案のままとする。

4.6.3.3項に規定する「解析による評価の方法」は、設計者に簡便な「動的機器の地震時機

能維持評価法」を提供するものである。表 4.6.3.3-1 の「適用形式及び目安となる仕様」に該当する動的機器はプラントで使用実績があり、附属書 4.4 に示す標準的な評価法を用いて評価できる。形式・仕様が該当しない動的機器については、別途評価法の適用性チェックが必要というのが基本スタンスである。なお、技術進歩を取り入れることにより、本規程に規定されない方法等により耐震設計することを排除するものでないことは、「1.1.1 適用範囲」【解説】に記載されているとおりである。

意見その 10

原子力発電所耐震設計技術指針(案)(JEAG4601-200X)の第 4 章に津波の水位の評価手法が書かれていますが、その評価結果を、どのように原子力発電所の設計に反映するのも記述するべきではないでしょうか。別の指針に拠るのであれば、この指針の中に言及すべきだと思います。

回答

拝承。

1.2 耐震設計の基本方針 1.2.2 基本的考え方 の本文及び【解説】に、津波対応に関する記述を追加する。記述のバランスに配慮して、斜面安定性に関する部分も修文する。

意見その 11

「耐震設計の基本方針」について

「4.1.3 機器・配管系の耐震設計の基本方針」の「4.1.3.2 基本的な方針」の記載内容は、耐震設計審査指針の基本方針を反映したものとと思われますが、JEAG4601-1987「6.1.1 耐震設計の基本方針」に記載されていたわが国の地震被災経験に基づく耐震設計の基本原則とも思われる記述が JEAC 案の他の部分にも見当たりません。「規格」である JEAC としては抽象的な内容は不適切と判断されたのかも知れませんが、「耐震設計の基本方針」は耐震設計者の工学的判断の元となるものであり、極めて重要と考えます。中越沖地震の経験でも、この基本方針に忠実に設計を行った結果として耐震裕度が確保されたものと私は考えており、是非、JEAG4601-1987 の記載内容を再度吟味して、JEAC に反映するようお願い致します。その際、今後基準地震動 S_s が大きくなって、構造物が塑性領域に入る程度が増すことが予想されることから、JEAG4601-1987 の基本方針では言及されていないダクティリティの重要性についても記述下さるようお願い致します。材料選定の基本方針は耐震設計上極めて重要と思います。

回答

ご指摘のとおり、JEAG4601-1987「6.1.1 耐震設計の基本方針」は、耐震設計技術者にとって重要な内容を含んでいる。また、材料選定における延性・靱性の重要性についても同感である。

JEAG4601-1987 の 6.1.1 の内容を基に、材料の延性と靱性に関する記述を追加して、「参考資料 4.1 機器・配管系の耐震設計について」を設けることとする。

意見その 12

「設計用地震動の定義」について

「第 1 章 基本事項」の「1.2.3 耐震設計に適用する地震動」では、耐震設計に適用する地震動として基準地震動 S_s と弾性設計用地震動 S_d の 2 種が定められています。 S_d は、「安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率を考慮して、工学的判断から求められる係数を基準地震動 S_s に乗じて設定する」と規定されており、自然現象としての地震との関係が言及されていません。従って、「入力荷重の比率」を除く特性（例えば地震の規模に依存するはずの地

震動の継続時間など)は S_s に順ずると解釈されますが、具体的な設計においては、疲労評価上の扱いなどで不合理なものとなる可能性があります。

また、荷重の組合せの検討には、弾性設計用地震動 S_d の発生確率を想定する必要があり、これについては、「4.2.2 荷重の組合せ」の解説に、「解表 4.2.2.1-1 は、基準地震動 S_s の発生確率を $5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ /年程度、弾性設計用地震動 S_d の発生確率を $10^{-2} \sim 5 \times 10^{-4}$ /年程度として、運転状態と地震動との組合せの確率的考え方を例示したものである。 S_s および S_d の発生頻度はこの表に示した範囲になければならないわけではないが、大幅に外れる場合は別途検討する必要がある。」との記述があり、耐震設計審査指針よりは設計の実務に配慮頂いた結果だと思えます。弾性設計用地震動 S_d の他の特性についても、このような記述が望まれます。

耐震設計上はこの弾性設計用地震動 S_d が極めて重要であり、耐震設計者の工学的判断に資するためにも、旧耐震設計審査指針の「設計用最強地震」のごとく、自然現象としての地震との関連において、具体的なイメージを記載して頂くことを検討願います。

回答

弾性設計用地震動 S_d についてはいろいろな議論があるので、現状の表現のままとする。

意見その 13

運転を継続する地震動 S_o の必要性について

前記に関連して、規制要求としての耐震設計審査指針では、自然現象と関連のある設計用地震動は基準地震動 S_s のみとなっておりますが、原子力発電所の耐震設計実務上は、米国の Operating Basis Earthquake のように、民間側で設計に考慮する地震動を設定する必要があるのではないかと考えます。弾性設計用地震動 S_d もこの類と考えますが、設定が必要な地震動としては、原子炉の運転を継続する(通常時の荷重と重ね合わせて疲労評価をする)地震動(米国の OBE 相当)があります。

日本電気協会では昭和 55 年に「地震時の原子炉停止及びその後の安全確認についての検討報告書」で運転を継続する地震動を検討し、JEAG-4601-補-1984 の参考資料に記載されております。この S_o (S_1 の $1/3$) は地震による原子炉緊急停止を行う感震器を設計する際の目安ともなっています。

また、建設時の設計からは離れますが、維持規格では解説「整理番号 E-10 評価に用いる荷重」で、JEAG-4601-補-1984 を引用して「運転継続が可能な地震」 S_o を呼び込み、「建築基準法施行令の水平震度と基準地震動 S_1 の $1/3$ の小さな方」で疲労き裂進展評価を行うことを要求しています。

構造評価上は S_1 に相当すると考えられる S_d のイメージが耐震設計審査指針では漠然としていることから、民間規定においては、設計に考慮する地震動のレベル (S_s , S_d , S_o) について、設計者の工学的判断の拠りどころとなる記述が望まれます。

回答

JEAG4601 は耐震設計技術規程なので、運転継続に係る地震動 S_o は規定しない。

なお、地震時のプラント運転継続の可否、停止後の再立ち上げについては、IAEA 等で検討が行われている。

意見その 14

弾性設計用地震動 S_d で要求される「構造健全性確保」の意味について

4.1.3.3 節では、弾性設計用地震動 S_d の設定に関して、「構造健全性確保」を条件としてしていると記載されていますが、「構造健全性確保」とは具体的にどのような状態を意味しているのでしょうか。「構造健全性」についての定義が必要と思えます。例えば配管系の終局強度に関する耐震性実証試験では、損傷モードは塑性崩壊よりも疲労き裂が先行することが報告されて

いますが、疲労き裂に関する評価条件は、基準地震動 S_s に対しても、弾性設計用地震動 S_d に対しても同一となっており、許容値としての差は見られません。

S_d に対する許容値を弾性限度を目安とすることと「構造健全性確保」との関係、線形応答との関係などについて解説していただけると、設計実務者の理解を助けるものと考えます。

回答

ご指摘の趣旨を踏まえ、新たに設ける参考資料 4.1 に以下の内容を盛り込む。

耐震設計審査指針は S クラスの機器・配管系について、弾性設計用地震動 S_d による地震力に対して耐えることを要求している。これはたとえば曲げモーメントを受ける配管の内外表面等の局部が弾性限界を超えることを容認しつつ、施設全体として「概ね弾性範囲に留まる」ことを求めるものである。概ね弾性範囲にある場合、施設は地震動に対してほぼ線形の応答を示し、地震動が施設に及ぼす影響及び施設の状態を明確に評価することが可能である。耐震設計審査指針は、施設全体として概ね弾性範囲に留まる観点からの許容限界を「降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力」としている。弾性限界を超える局部の挙動は実質的にひずみ制御であり、有意な進行性変形は生じない。許容限界を満足する機器・配管系は、構造が健全であると判断される。

また、4.1.3.3【解説】における弾性設計用地震動 S_d と基準地震動 S_s の関係に触れた部分を、参考資料 4.1 の内容と整合した正確な表現に修正する。

意見その 15

拘束を生じる JEAC「本文」の記述内容について

今回の JEAC 化によって、耐震設計関係は従来の JEAG が JEAC と JEAG に二分された形となったことから、JEAC 化された部分は、「規格」としての要求項目であることを強めたものであり、ある意味では、条件が固定化されることによって、設計の自由度（技術の進歩）を制限する可能性が懸念されます。その一例としては、「4.4.5 減衰定数」の「使用済み燃料ラック（PWR）」があります。ここでは、本文に減衰定数のみならず、特殊な解析手法の詳細が記載されておりますが、これは、解析手法自体を固定化することになりかねません。また、例示されている燃料ラックの構造図は詳細で、この構造に固有の値として与えられているように感じます。

この種の構造物の減衰定数は、例えば燃料体と支持構造間のギャップなどが変わると変化することから、解析モデルと構造の双方を規定する趣旨と理解しておりますが、将来に自由度を残す観点からは、減衰定数のみを本文化し、解析手法は拘束力のない「解説」に記載することが妥当ではないでしょうか。

今回、「第 4 章 機器配管系」は全文が JEAC 化されておりますが、一部を JEAG に残す、または、JEAC とする際には、「本文」から拘束力のない「解説」に移すなどを再度ご判断頂きたく、お願いします。

回答

原案のままとする。

今回の改定で機器・配管系の規定は JEAC 化したのが、その際には本意見と同様な趣旨で設計の自由度を束縛しないように本文と解説を書き分けている。

設計の自由度に関しては、第 1 章「1.1 適用範囲」の解説に、技術の進歩に伴う合理的な設計を排除しない旨を記載している。減衰定数等数値を規定した条文は、設計の自由度を束縛するよりも、設計者が数値の妥当性を検証する手間を省く意義の方が大きいと考えている。

ご指摘の使用済み燃料ラックの減衰定数に関しては、構造上の特異性を考慮してギャップの挙動を合理的に評価しているものであり、非線形解析を用いることもあって、ラックの構造やモデル化との関係をクリアにする必要があったことから本文に記載している。また、配管系に代表されるように、減衰定数が詳細な条件付きで適用される場合は、減衰定数値が無条件で適用されることのないよう、その条件も本文に記載している。

意見その 16

「制振サポート」と設計用地震入力の関係について

「4.8.3 架構レストレイントの弾塑性を利用した配管系設計法」と「4.8.4 配管に制振サポートを用いた場合の機器・配管系設計法」の「弾塑性ダンパ」は、支持構造物の一部による塑性エネルギー吸収という観点では同一のように思われますが、地震入力の扱いについての記述に差が有るように思われます。特に、「制振サポート」では、「4.8.4.3 設計の基本方針」で動的な地震入力への適用に限定しているにも拘わらず、「附属書 4.7」には「2.2 静的地震力」の項目が設けられ、等価剛性を有する構造物として静的地震力に対する釣り合いを考慮していること、逆に、制振サポートの摩擦ダンパ、鉛ダンパは静的地震力の釣り合いを考慮することが妥当かなどの疑問があります。

また、静的地震荷重と同様な「自重」に関して、「制振サポート」は「自重を支持しないものとして評価する」ことが要求されています（4.8.4.3）が、「弾塑性ダンパ」は剛性を有するため、「自重を支持しないものとして評価する」と、配管系全体としてのバランスが実機とは異なり、却って不安全側の結果を招く場合があるのではないかと懸念いたします。特性の異なる「弾塑性ダンパ」と「摩擦ダンパ」、「鉛ダンパ」を同じ節の中で扱うことに無理があるのではないのでしょうか。

回答

原案のままとする。

4.8 節はサポートの塑性変形によるエネルギー吸収を利用した設計方法という点に着目してまとめたもので、技術の性格や使用する位置付けの違いにより設計方法が異なることから、架構レストレイントと制振サポートに大別したものである。

架構レストレイントが支持装置としても使用するのに対し、制振サポートは減衰付加装置として使用する。制振サポートは大きな消散エネルギーが得られるよう、意図した部材のみ効率よく塑性変形させる設計となっているため、架構レストレイントと比較して剛性が小さく、自重はハンガで支持するようにしている。

弾塑性ダンパは、設計で想定する地震動が起きた場合には交換することを前提に、設計用地震動が数回加われば疲労破損する程度の強度に設計されている。

摩擦ダンパは剛性を考慮しない(附表 4.8.4-2 参照)ので、静的地震力の釣り合いを考える際には摩擦ダンパの寄与を考慮しない。

鉛ダンパは荷重-変位特性が鋼材と類似(附図 4.7-6 参照)しており、静的地震力に対して弾塑性ダンパと同じ扱いをして問題ない。

意見その 17

機器に使用される制振サポート（鉛ダンパ）について

「4.8.5 機器に制振サポートを用いた場合の機器・配管系設計法」では、重量機器に鉛ダンパを用いるときの重要な概念として、「累積消散エネルギーの平均速度」と「累積消散エネルギー」の関係が規定されていますが、この概念および制限範囲については、発生熱量やそれに伴う鉛の物性値との関係などを「解説」に記述していただくと設計者の理解が深まると思います。また、この制振サポートは重量機器の支持構造として有効と思われませんが、適用を「蒸気発生器を含む PWR 一次冷却ループ」に限定する理由は何でしょうか。逆に、PWR 一次冷却系の構造は、国内の PWR とドイツの PWR では異なっており、また、国外では横置き蒸気発生器があるとも聞いております。適用範囲を PWR 一次冷却ループに限定する構造力学上の（単に多度津で実証試験を行ったということではない）理由についても解説などに記載いただくと良いと思われます。

回答

原案のままとする。

大容量制振サポートの原子力分野への適用はまだ例がないことから、直ちに汎用性のある設計規定を策定するのは難しいと判断した。JEAC4601に取り込んだ評価法は、当面の使用対象と設計範囲を念頭に置いて実施された各種実験等の成果に基づいたものである。今後の適用範囲の拡大は、R&Dの進捗や他産業分野における使用実績を見ながら、次回のJEAC4601改定時に検討する。なお、JEAC4601は国内プラントを対象とした規格であるが、4.8節に規定する制振技術は海外プラントにも適用可能である。

制振サポート技術に関する解説を充実してほしいとのご意見に対しては、参考資料4.13及び4.14に技術の詳細説明や実験結果、さらに許容限界に関する説明を記載しており、そちらを参照してもらうようにしている。解説は本文規定の正確な理解と運用に資することを目的としており、新しい技術のバックデータ、技術開発の背景などは参考資料に記載することとしている。

以上