

耐震設計審査指針の高度化に係る検討経緯について

1. 検討の背景

阪神淡路大震災以来、原子炉施設の耐震設計に対する社会的関心が高まり、学会、マスコミ等を通じ、耐震設計関連技術に関する新しい見解が活発に発表されるようになってきた。

現行の耐震設計審査指針改訂に対する社会的要望が高まり、原子力安全委員会を含む原子力関係者は、訴訟、安全審査、PA対応に苦慮することとなった。

以下に示す出来事を経て、原子力安全委員会は耐震設計審査指針改訂を前提とした検討の開始を決断するに至った。(平成10年8月)

(1) 東通1号炉 安全審査

- ・意見公募で指針の妥当性を問う質問集中
- ・炉安審部会長による指針改訂に関する意見具申

(2) 浜岡5号炉 安全審査

- ・公開ヒアにて指針改訂に関する質問集中
- ・公開ヒア後の記者会見にて原安委員長の「新知見収集していく」発言
- ・耐震安全性に関する国会質疑

(3) その他

- ・マスコミ等を通じた耐震専門家から指針改訂に対する意見具申

2. 検討体制

原安委員長は、本来科技庁安調室が主体となって検討すべきとしつつも、行政の観点や審査経験の観点から、通産 審査課に検討協力依頼。

通産の依頼により、電力は全面的にバックアップすることとなった。(原安委、科技庁了解)

電力は、電事連内に指針改訂検討チームを設置。

3. 検討の経緯

- ・平成10年8月 通産、電力が主体となって検討開始
- ・原安委は平成11年4月着手公表、その時点から2年程度で改訂を希望
- ・平成11年1月、着手公表を平成11年5月に設定
- ・平成11年4月、MOX、島根訴訟対応のため着手公表を平成11年8月に延期
- ・平成11年7月、原安委より、MITI、電力の検討は哲学がないとの意見。哲学が重要であり、検討期間はこだわらないとの意向、事前検討(非公開、学識経験者を含む)の位置付けでも可、早期の検討開始を要望。
- ・平成11年10月、通産、科技庁、電力、NUPECの四者で哲学に関する勉強会を開始。目処を得次第、事前検討会開始することとなった。
- ・平成12年1月21日 第一回 耐震検討会(非公開 NUPEC事務局)

- ・平成13年3月23日 通算9回の検討会を開催し終了
- ・平成13年6月25日 原安委定例会議にて、原安委より原子力安全基準専門部会宛、耐震指針の検討指示。同時に分科会設置決定。
- ・平成13年7月10日 第一回 耐震指針検討分科会開催

4. 耐震検討会(非公開 NUPEC事務局)での主な検討内容

指針改訂を検討するにあたり、原安委より以下の前提条件が示された。

- ・進歩の激しい耐震設計分野にあって、長持ちする指針作り
- ・最新のプラント設計技術の取り入れ
- ・既設プラントへの影響を十分配慮

以上を踏まえ、以下に示す検討課題を抽出し検討した。

(1) 性能規定化の推進

現行指針もかなり性能規定化されているが、直下地震など地質、地震学の分野で詳細規定が散見される。

これら分野は、新知見・見解が活発な分野であり、そのたび指針の妥当性が問われる。

したがって、長持ちする指針作りの観点から、性能規定化をさらに進めることとした。

(2) 耐震指針はどうあるべきか、哲学(そもそも論)

性能規定化を進めるに当たっては、哲学、総論が重要である。すなわち、地震時の安全目標とそれを担保するための基本的な考え方など、耐震設計に課すべき基本要件機能を明確化する必要がある。

原安委員長は、審査課本部課長との打合せで、通産省、電力の検討内容は各論(直下、大崎スペクトル、松田式、上下動など)に終始し、哲学、総論(そもそも論(あるべき姿、体系))の検討がないと指摘した。

原安委員長のそもそも論の主旨は、現行の体系にとらわれず、耐震安全性の観点から、哲学に遡って議論すべきとのことである。

具体的には、「想定されるいかなる地震(力)に対してもこれが大きな事故の誘引とならない(よう十分な耐震性を有する)」ために、何をどのように担保すればよいかを検討することである。

このような検討課題が示された背景として、原安委員長は MITI、電力を交えた会談で以下のような発言をされた。

哲学に立ち返った検討をしなければ、耐震安全確保の観点で重要な要件を見落とす可能性がある。

地震動、活断層などの新知見により、地震動が今後さらに大きくなる方向であり、構造強度主体の現行指針の体系では、耐震安全性を理詰めで説明することが困難となり破綻する可能性がある。

また、訴訟などの論点が、社会的関心の高い耐震性に移行しつつあることを考慮すれば、結果として、耐震・地震工学や理学の専門家が矢面に立たされることになり、原子力の世界から離れてしまう危惧も考えられる。

したがって、今回の指針改訂に当たっては、炉規制法上の要件である、「災害防止上支障がない。」に立ち返った検討が重要。すなわち、新知見に左右されやすい技術項目の議論を耐震安全性の観点からは重要ではない課題として取り扱えるよう、さまざまなアプローチ(哲学に立ち返った体系)を模索していくことが重要である。

(3) 最新のプラント設計技術の取り入れ

免震、四紀層、海上立地など最新プラント立地様式の取り入れ。

これは技術的にも重要であるが、指針改訂(高度化)の動機としても重要な役割を果たす。

(4) 安全信頼性の向上

直下地震、考慮すべき活断層、地震動評価法、上下動評価法、津波など世間の注目を浴びている項目の検討。

これらは具体的設計要件であり、指針が性能規定化されれば民間規格で規定すべき項目と考えられるが、規制強化につながりやすく、最悪の場合、既設プラントの運転継続に多大な影響がある。

関係者の最大の関心事であり、現段階でほぼ落としどころが詰められている。

検討の方向性に関する MITI、電力(案)を原安委に説明した際、この技術課題が中心であったことから、原安委員長から前述の指摘を受けることとなった。

これら改訂項目は、「現行の手法が安全上問題であるから検討し改定する。」とは言えないことから、安全信頼性の向上項目と位置付けることとした。「現行の方法に問題があるわけではない。」ことの説明をいかにするかが重要。

5. 耐震検討会(非公開 NUPEC 事務局)での検討結果とその後の状況

原安委員長はもとより、通産、科技庁、電力も哲学論、総論の検討が重要と考え、さまざまなアプローチについて検討されたが、具体的な方向性は見出せなかった。

地震・地震動など、新たな知見に基づく、プラクティカルな検討課題は抽出され整理できたが、それぞれの課題に対する落としどころまでは同意が得られなかった。

それら検討課題は、原安委 耐震指針検討分科会に引き継がれ検討されることとなった。

哲学論・総論に関しては、地震 PSA の活用がもっとも有望と目されたことから、近藤先生、MITI 本部課長が主体となって案が検討された。その体系が分科会に提案されることとなった。

指針体系の一案

体系案			特徴	問題点	検討課題
1. 確率論的体系	<p>1.1 地震PSA手法の活用 地震PSAの知見を活用し、現行の決定論的体系を全面的もしくは部分的に確率論的体系にする</p>	<p>1.1.1 地震PSAの全面的採用 炉心損傷頻度(CDF)が安全目標を満足することを確認する体系</p>	<ul style="list-style-type: none"> システム全体の総合評価が可能 トータル安全性を確保した上で、設計の自由度が向上 	<ul style="list-style-type: none"> PSA手法は未だ開発段階 評価に伴うばらつきが大きく、CDFの精度は低い 過度に保守的な条件を考慮すれば、内部事象のリスクより大きくなる 地震リスクに対する安全目標がない 	<ul style="list-style-type: none"> 地震PSA評価手法の精度の向上 各種データベースの充実と信頼性向上 地震に対する安全目標の設定 安全目標を設定できない場合は、安全性の絶対評価は出来ないため、相対評価等の活用の検討が必要
2. 決定論的体系	<p>2.1 現行体系の見直し 地震によって放射性物質を環境に放出しない、すなわち地震力により施設を破損させないことにより地震時安全性を担保するなど、前提条件は現状と同じであるが、体系を見直すことにより裕度を示す体系</p>	<p>2.1.1 現行体系の延長型 地震動の設定から機器の応力評価に至る、一連のプラクティスそれぞれに確保されている裕度を再配分する。不確定性の大きい分野に裕度を大きくとり、比較的不確定要因の小さいその他の分野(応答解析、応力評価、許容限界など)はベストフィット評価を行う</p>	<ul style="list-style-type: none"> 不確定性の大きい分野に裕度を大きくとることができる 	<ul style="list-style-type: none"> 現状の各プラクティスの裕度の定量評価が困難 不確定性の大きい分野に裕度を振り分けるほど他の分野に裕度が存在しなければ成立しない 	<ul style="list-style-type: none"> 耐震設計各段階での設定根拠データと裕度の評価 不確定要因の大きい分野に必要な裕度の把握 耐震設計全体として保有すべき裕度の把握
		<p>2.1.2 現行体系の発展型 過度に地震が大きくなれば、現行体系の延長型では、適切に裕度配分ができなくなり、また狙いどおりの全体裕度がとれないこともあり得ることから、体系を発展させる</p>			
		<p>(1) 耐震性評価対象を環境への影響の観点から限定 安全目標を担保するにあたり、安全上必須の施設(システム)を限定して耐震設計審査を行う。その他の施設は安全上重要でないことから、民間自主で設計評価を行う</p>	<ul style="list-style-type: none"> 例えば、現行のAsクラスに限定して指針に規定し、その他は民間自主 さらに対象施設が限定できればそれもと可とする これまでの訴訟で同様の解釈をした例がある 	<ul style="list-style-type: none"> 最低限必要なシステム・機器を十分絞り込めなければ、今と変わりが無い 行政訴訟は法への適合性が問われるため、このような体系は耐性が増すと考えられるが、民事訴訟、一般的なPAの観点からは十分な検討が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 機能を維持するためのシステム・機器の限定
	<p>2.2 決定論による新たな体系 地震力により施設を破損させないという前提条件をやめ、破損した施設はその機能を喪失するものとして耐震安全性を評価する体系</p>	<p>2.2.1 安全評価体系の導入型 想定される地震力に対し機能維持を期待しない施設については破損状態で安全評価し、環境に過大な影響を及ぼさないことを示せばよいとする体系。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 深層防護的考えを取り入れている 原子力施設の耐震設計に十分な裕度が存在することを一般人にも直感的にイメージできる 	<ul style="list-style-type: none"> AsクラスだけでLOCAを収束できなければあまり変わらない 上記の場合、Aクラスなど実力評価も可と出来るか 	<ul style="list-style-type: none"> S2地震後のプラント状態の想定 地震後の状況で最も厳しい条件となる事故の検討 施設の実力評価手法の検討
3. その他	<p>3.1 AM体系の導入型 設計事象に対する設計とは別に、設計事象を越える事象(地震動)を想定しても原子力施設の耐震安全性が確保されることを代表プラントに対して評価し、社会的に認知してもらう。評価に際してはAMの考え方を適用し、少なくとも炉心溶融は起こさないことを評価する</p>		<ul style="list-style-type: none"> 究極の安全の観点から、地震は脅威と示せる 今後得られるかもしれない、地質、地震学の知見に対する社会的不安が回避できる。訴訟の対象となることもなくなる。 	<ul style="list-style-type: none"> 設計事象を越える事象(地震動)を過度に見込むと成立しない 	<ul style="list-style-type: none"> 設計事象を越える事象(地震動)の設定 機能喪失の判断目安(許容限界) 破損想定施設の破損の程度の判断基準 地震時のAMの考え方の明確化

地震時安全確保および耐震重要度分類の基本的考え方について

1. はじめに

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（以下、「耐震設計指針」という）では、原子炉施設を構成する個々の施設に対して耐震重要度分類を定義し、その重要度に応じた設計を行うこととしている。

耐震重要度分類は、原子炉施設の耐震設計を適切に行う上で必要なものであり、設定の考え方について十分整理されるべきである。

また、設計体系の上流側に位置する「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」（以下、「安全設計審査指針」という。）や「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」（以下、「安全重要度分類指針」という）の考え方とも整合する必要がある。

本資料は、「耐震設計審査指針」に定義されている耐震重要度分類の基本的考え方について、主に、内的事象を対象とした安全設計（以下、安全設計という）との対比の形で考察し整理したものである。

2. 安全設計と耐震設計の安全確保の基本的考え方の対比

安全設計と耐震設計は、想定される事象に対し、安全機能を喪失させないように設計し安全性を確保するという目標は同様であるが、目標達成のための手段（設計体系の基本的考え方）は想定事象の性格の違いにより相違する。

以下に、安全設計、耐震設計それぞれの特徴を明確にすると共に、その相違点について考察する。

安全設計は、安全上特に重要な系統に対し、多重性または多様性及び独立性を備えた設計とすると共に、機器の単一故障を想定しても所定の安全機能が達成できるよう設計することとしている（安全設計の冗長性、以下冗長性という）。これは、主にランダムな原因による故障を対象としている安全設計において、原子炉施設全体としての安全裕度を確保するためには、安全上重要な施設に冗長性をもたせることが最も有効であると判断したためと推察できる。

また、その冗長性を含む安全設計の妥当性の確認が重要であることから、設計上考慮された異常事象（内的事象）の発生を想定して評価を行う体系を、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価指針」で詳細に規定している。

一方、耐震設計では、地震による機能喪失を起こした場合の影響を考慮して重要度を分類し、それぞれの重要度に応じた設計用地震力に対し、施設を破損させないための構造強度上の規定と安全機能の維持確認を「耐震設計審査指針」に規定している。

耐震設計では、安全設計における設計想定事象の発生を前提とした設計体系や安全設計の冗長性は要求していない、これは安全設計がランダム故障を対象としているのに対し、耐震設計の対象が地震力という特定されたものであることが理由として挙げられる。

耐震設計は、対象が地震力といういわゆる荷重であることから、それに耐える設計体系を前提とするのが安全確保の観点で最も有効である。

その地震力は、異常発生防止系や異常影響緩和系の区別なく共通要因として作用する。そのため、異常発生防止系の損傷を前提とした異常影響緩和系を深層防護の観点から設置しても、同等の荷重で設計されておれば機能維持が期待できず深層防護上の安全確保ができない可能性が生じる。

したがって、耐震設計では、ある地震の発生を仮定した場合の地震力に対し、重要度の高い施設ほど裕度を大きくとることで、安全性の冗長性を確保する体系としている。

例えば、Aクラスの耐震設計では、基準地震動S1に基づく地震力に耐える設計（弾性限界）を行い、さらに、Aクラスのうち特に重要な施設をAsクラスと位置づけ、S1を上回るS2に基づく地震力で安全機能維持の確認を行うこととしている。これは、S1に基づく地震力に対して確実な裕度をAsクラスに担保させ、Aクラスより耐震信頼性を高めることにより、安全設計の冗長性と、S1を超える地震が発生したとしても、それが即座に大きな事故の誘因とならないことを担保するものである。

耐震設計では、安全設計のように設計想定事象の発生を想定した安全評価は要求していない。

安全設計における安全評価の目的は、上述したとおり、異常事象発生時の影響を許容できる程度に抑えることを指標として、安全施設の性能と安全設計の冗長性の妥当性の確認である。

耐震設計における安全性の冗長性については、前述したとおり、耐震裕度の適切な確保で担保する体系であり、それを確認することが安全設計における安全評価に相当する。

また、定量的な評価はなされていないが、S2、S1等の設計用地震動がサイトで発生する事象は稀であり、かつ、想定される地震動が発生した場合でも、施設はその重要度に応じ機能喪失しないことを担保することとしているため、地震による安全上重要な施設の機能喪失の確率は非常に低くなると判断された。これも、破損を前提とした設計（評価）体系になっていない理由の一つであると考えられる。

しかしながら、地震（安全設計上の異常事象と同義）の発生を想定すれば、その地震力より小さい地震力で設計された施設は安全評価上機能喪失を考慮することが前提であることから、原子炉施設全体としての耐震性能の確認の観点からはその影響評価が重要となる。この点について、耐震設計審査指針では、あらかじめ、各施設が機能喪失した場合の環境への影響の大きさに基

づき耐震重要度分類を定めておくことにより、耐震安全性能の確保を達成する体系としていることから、別途評価体系として定めることはしていない。

さらに、安全設計において、起こさないよう設計された事故の発生を想定した安全評価が要求されていることを考慮すれば、S1等で損傷しないように設計された異常発生防止系の損傷を考慮した安全評価も可能であるが、この場合でも異常影響緩和系により事象を収束させる考え方や、分離および隔離の原則など、安全設計の基本的考え方が適用されることから、その評価は安全設計における安全評価の条件を逸脱するものではないと考えられる。

したがって、耐震設計は対象が地震力であり、それに耐えることで安全性を担保する必要があること、かつその地震力は各施設に共通要因として働くこと、また、内的要因が起因事象として通常運転時をも含むのに対し、地震は稀な事象として考えられることを考慮すれば、耐震設計体系は適切かつ妥当なものと判断できる。

以下に、耐震設計の安全確保の考え方において最も基本となる重要度分類の基本的考え方について詳細に考察する。

3. 耐震重要度分類と安全重要度分類の対応

(1) 指針における記載

耐震重要度分類は、「地震により発生する可能性のある放射線による環境への影響の観点から」分類している。

一方、安全重要度分類は「原子炉施設全体としての安全に対して、それぞれの機能がどの様な役割を果たしているかを総合的に判断して定めたもの」であり、耐震重要度分類のような「特定の側面に着目した分類」とは異なる（耐震重要度分類等認識し、指針に明記されている）。

そのため、両者の比較・照合には「目的及び主旨、分類上着目すべき特性上の差異」を理解することが必要である。

(2) 両分類の整合性

耐震重要度分類および安全重要度分類は、原子炉施設の安全性確保という観点から機能上の重要度を定義し、分類することとしており、基本的に同じ考え方に基づいている。また、重要度として3クラスに分類する体系も同じである。

また、「安全重要度分類指針」において定められている「関連系の範囲と分類」、「二つ以上の安全機能を有する構築物、系統及び機器」、「分離及び隔離の原則」及び「異クラスの接続に関する分類適用の原則」は、耐震設計が安全設計の一部であることを考慮すれば、おのずと耐震設計でも適用される。これは、「耐震設計審査指針」もしくは「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1）」に規定されている。

したがって、個々の設備を対比すれば、地震という事象の性格上から設備に求められる安全性の要求に、いくつか（使用済燃料ピットなど）留意すべき点があるものの両分類は対応がとれたものと考えられる。

(3) 地震に対するPS、MS分類の検討

安全重要度分類に定義されているPS（異常発生防止系）、MS（異常影響緩和系）という安全機能の区分を耐震重要度分類で明確に分けられていないことは、両分類の体系上の明確な違いとして挙げられる。この相違点については、原子炉施設の安全性確保という観点から以下のように考えられる。

安全重要度分類におけるMSは、PSの機能喪失を想定した場合の異常緩和系であることから、PSより一ランク重要度を下げても良いとの議論もあった。しかし、実際のPSとMSの設計条件を見れば、いずれもその運転条件から想定される最大の荷重と環境条件で設計することとなり、双方に安全裕度の明確な差は無い。

したがって、深層防護の基本的考え方、すなわち「異常状態の発生防止、異常状態の拡大防止、放射性物質の異常な放出・影響の緩和といった、それぞれのレベルで原子力安全に最善を尽くす。」との観点に照らせば、MS・PSを同クラスとして信頼性を同等とすることにより、リスクを適切に低減すべきとの考え方に基づいている。

耐震重要度分類はPSとMSを区別せず両者を同一のクラス分類としている。これは、PS・MSともに最高の信頼性確保を求めているものと言え、安全設計の考え方と一致する。

一方、深層防護の観点からは、地震が共通要因事象であることを考えれば、安全上重要な施設であるPS1とMS1をAクラスとして同等の設計とすることは不十分との考え方もある。

これに対しては、特に重要な設備をAsクラスと位置付け、最強地震より大きな限界地震で耐震性を評価し、十分な裕度が存在することを確認することで、原子炉施設全体としての耐震安全裕度を確保することとしている。

以上より、耐震重要度分類においてPS・MSの分類の考え方は存在しないものの、地震による施設の破損モードに配慮し、深層防護の観点から適切に定義されたものであり、安全重要度分類の考え方と齟齬をきたすものではないと考える。

4. 耐震重要度分類の基本的考え方

耐震設計審査指針では、耐震重要度分類を、地震により発生する可能性のある放射線による環境への影響の観点から分類するとしているが、それ以上の明確な分類の基本的考え方は示されていない。

したがって、これまでに確認した耐震設計の安全確保の考え方にに基づき、現行耐震重要度分類の分類の基本的考え方を以下のとおりまとめる。

①原子力発電所は、想定される地震発生時に、従業員並びに一般公衆の安全を確保するため、原子炉を安全に停止し、かつその状態を維持することが求められる。

したがって、原子炉を緊急に停止する機能、原子炉停止時に安全を維持する機能（未臨界維持、冷却維持）が求められる。また、原子炉外にあっても、燃料の臨界を防止する機能は要求される。

②原子力発電所の中で、最も多く放射能を含有しているのは燃料であり、この燃料が大量かつ大規模に損傷した場合、外部に極めて大きな影響を及ぼす可能性がある。また、その事象は影響の拡大が懸念される。

したがって、地震時に燃料の大量かつ大規模な損傷を防止する機能が要求される。さらに、損傷を考慮した場合に必要な放射性物質放出を防止する機能も重要である。

③その他にも放射能を含有する設備があり、その破損防止、並びに破損した場合の放射性物質の外部への放出防止が求められる。

しかしながら、燃料の損傷に関係する設備以外の放射能を含有する設備については、「分離及び隔離の原則」など安全設計の基本原則が適用されることから、仮に破損してもその影響は限定的と考えられる。

したがって、①、②に比べ耐震上の要求を緩和することが可能である。

上記、①、②をAクラス、③をBクラスとする。また、放射能を含有しないか、仮に破損しても外部への影響がほとんど無いものについては、さらに、耐震上の要求を緩和することが可能であり、区別して扱うのが合理的と考えられる。これをCクラスとする。

この基本的考え方に従い、原子力発電所の各設備を分類し、耐震設計審査指針にクラス別施設として規定されている。

なお、Aクラス設備は原子力施設の安全上、最も重要な分類と位置づけつつも、前項の検討のとおり、地震が共通要因事象であることに配慮し、地震でLOCAを引き起こさないようにすること、地震発生時に緊急かつ安全に停止させ維持する施設、および環境への放射能放出の最終障壁となる原子炉格納容器をAsクラスとし、S1を上回る地震動に対し評価を行い、裕度の確保を行うことが現状のS2に対する評価である。

また、Asクラスの評価が裕度の確認ということ踏まえれば、評価に用いる地震動は「地震学等の観点から想定される最大規模の地震」を基に策定されるのが妥当と考えられる。

以上

現行の安全設計と耐震設計の考え方の対比について

項目	安全設計（内的事象）	耐震設計	考 察
想定事象と設計目標	安全設計上想定すべき事象（起動停止、出力運転状態、故障、事故時）に対する安全機能の確認。	設計上想定すべき地震に対する安全機能の確認。（但し、設計では左記荷重を適切に組み合わせる）	安全設計では個別事象（ランダム故障等）を対象として個々の施設を設計。耐震設計では各施設に共通要因事象である地震が対象。
安全確保の基本的考え方	<p>多重性、多様性及び独立性を備えた設計。</p> <p>機器の単一故障等を想定しても所定の安全機能が確保できる設計。</p> <p>深層防護の観点から一定の機能喪失を考慮しても影響が拡大しない設計体系。</p>	<p>地震により機能喪失を起こした場合の環境への影響を考慮して重要度を分類。</p> <p>重要度に応じた設計用地震力に対し、施設を破損させないための構造強度設計と必要な安全機能の維持確認。</p> <p>想定地震力に対し、深層防護の観点からの機能喪失は考慮していない。</p>	<p>主にランダム故障を対象とした安全設計において、安全裕度を確保するためには、安全上重要な施設に冗長性（多重性、多様性及び独立性）をもたせることが最も有効。</p> <p>耐震設計は対象が地震力という荷重であることから、それに耐える設計体系が安全確保の観点で最も有効。</p> <p>現行指針制定以前の耐震設計は、設計用地震力（現行S1相当）で設計された安全上重要な施設のうち特に重要な施設に対し、安全裕度確認地震（現行S2相当）で安全機能が担保できることとしていた。</p> <p>現行指針も、それ以前の思想を踏襲し、S1で設計されたAクラスのうち、特に重要な施設（Asクラス）をS2にて安全裕度を確保する思想であったと推測できる。これは、地震力が共通要因事象であることを考慮すれば、安全上重要な施設をAsクラスとAクラスに分けずに同等の設計とすることは、その設計地震を超える地震力に遭遇した時には同時に機能喪失することが想定され、深層防護の観点から不十分と考えられたためと推測できる。</p> <p>すなわち、重要度の高い施設ほど地震力に対する安全裕度を大きくとることにより信頼性をより確実なものとする体系としたものと考えられる。</p>
設計の妥当性評価	異常事象発生時の影響を許容できる程度に抑えることを指標として、安全施設の性能と安全設計の冗長性の妥当性確認の観点から安全評価を要求している。	耐震設計では、安全設計のように設計想定事象の発生を想定した安全評価は要求していない。	安全設計では冗長性を含む設計の妥当性の確認が重要であり、設計上考慮された異常事象の発生を想定して評価を行う体系としている。
重要度分類の基本的考え方	<p>施設の安全機能は、原子炉の安全確保の観点から必要とされる機能であり、内的事象、外的事象にかかわらず不変。</p> <p>また、安全重要度分類指針で定められた重要度分類は、各安全機能の果たすべき役割を総合的に判断して決められたものであり、内的事象、外的事象にかかわらず基本的には同一。</p> <p>安全設計の冗長性、深層防護の思想は、原子炉の安全確保の根幹をなすものであり、それに基づく重要度分類が重要度分類指針に定められている。</p> <p>ただし、構造強度（告示501号）の分野は内的事象を対象としているが、その特定の側面に着目し、第一種から第五種まで分類されており、重要度分類指針の分類とは一致しない。</p>	<p>左記の思想に基づき耐震重要度分類も定められているが、さらに地震というある特定の側面に着目した放射線による環境への影響も検討され、A、B、Cクラスに分類すると共に、Aクラスのうち特に重要なものをAsクラスとしている。</p>	<p>地震における特定の側面とは、地震が共通要因事象であることと地震による施設の損傷形態*1である。</p> <p>*1： 使用済燃料貯蔵プールと貯蔵ラックを例にあげれば、重要度分類指針はⅡクラスとしているが、耐震重要度分類ではAsクラスとしている。</p> <p>これは、内的事象として想定される主な故障が、ライナーのピンホールや亀裂などによる微小な漏洩、もしくは貯蔵ラックの単体破損程度であるのに対し、地震時には、設計レベル以上の地震力を施設が受ければ、大規模かつ大量に同時損傷する可能性も否定できないことによる。</p>

「地震時の安全確保および耐震重要度分類の基本的考え方について」に関する質問に対する回答

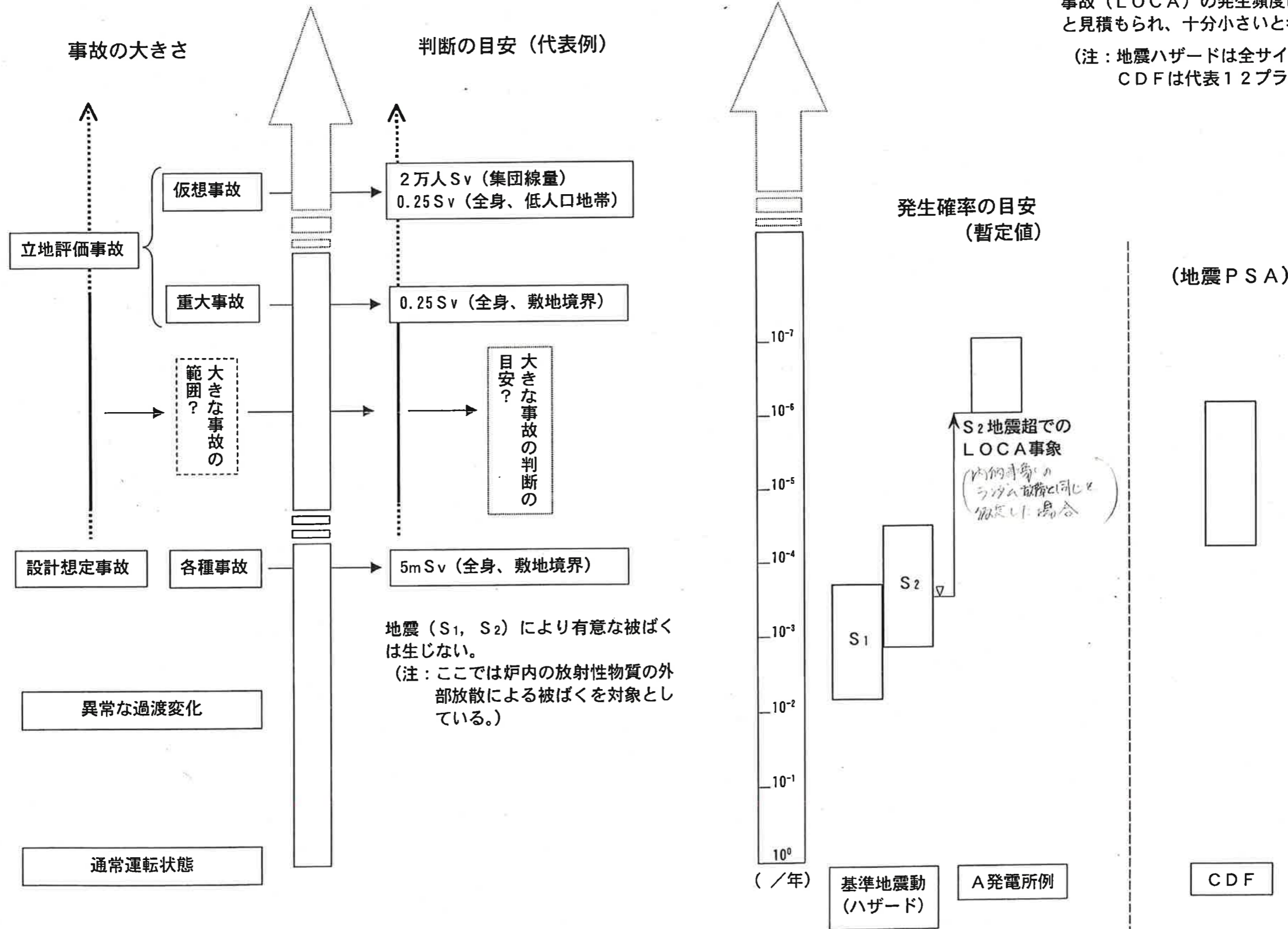
原安委・事務局からの質問に対する回答

	質 問	回 答 案	備 考
A 現 行 指 針 制 定 当 時 の 資 料 の 調 査 結 果 を 踏 ま え た 質 問	(1) 当時の資料をみると、最初の耐震重要度分類に関する原案(S52.7)では、当時の安全重要度分類(案)と耐震重要度分類(案)が併記され、耐震重要度分類は基本的に安全重要度分類を基に策定することを明記している。 電事連の資料では、安全設計と耐震設計の違いを考慮して、耐震重要度分類と安全重要度分類を別々のものとして考えたことを言っているが、その点が当時の資料と整合しない。その点について、何か知っているか、もしくは、柴田先生などから聞いているか。	本資料において耐震重要度分類と対比している安全重要度分類は平成2年に策定されたものであり、質問中の昭和52年安全重要度分類原案との関係は不明。 これまでの重要度分類に関する議論では、(平成2年)安全重要度分類と耐震重要度分類の整合に関する意見が出されており、資料では両分類について事実関係を整理・検討した。質問中に「安全設計と耐震設計の違いを考慮して、耐震重要度分類と安全重要度分類を別々のものとして考えた」とあるが、資料では両分類の相互関係を考慮した上で、便宜上、想定事象の対象を内的事象に限定した安全設計(重要度分類)と耐震設計(重要度分類)とを対比させ、安全確保の観点からは同様とした上で、想定事象の違いによる相違点が浮き彫りになるよう論理展開させてみた。 なお、この点について柴田先生から当時の事実関係を聴取したことはない。	事実関係については、原子炉安全技術専門部会 耐震設計小委員会出席者の話を聞く必要があり、原安委事務局殿でご確認を願いたい。
	(2) S2 基準地震動は、裕度確認用であるという解釈がところどころ見受けられるが、その根拠が当時の資料からは、確認することができなかった。その点について、具体的な根拠が見出せるか。あるいは、柴田先生など当時の関係者から、そのようなコンセンサスがあったことを聞いているか。	S2 地震動に対する解釈については、大崎順彦*、渡部丹監修の「原子力発電所の耐震設計」(産業技術出版)に拠れば、『……基準地震動をもたらす地震としては、S1 地震(設計用最強地震)と S2 地震(設計用限界地震)の2種類を、選定することが規定されていて、前者には過去の歴史地震、A 級活断層による地震等が含まれ、後者には B 級活断層によるもの、あるいは、地震地体構造上考え得る限界的な地震等、確率はきわめて低い、なお、その発生を否定できない性格の地震が選定される。このような S1, S2 地震による基準地震動によって、As クラスの施設に生じる応力の限界としては、S1 基準地震動に対しては、施設が弾性範囲内に維持されることを目標として、建築基準法の短期許容応力度が準用されているが、S2 基準地震動に対しては、施設の機能に影響を及ぼさないことを条件として、一部が塑性域に入ことを容認した。従来は S2 地震動に相当するものを、機能保持検討用の地震動と称して、副次的な取り扱いをされてきたが、この指針では、S1 地震動と同等の比重を有する設計用の地震動であることが明記されている。』とある。 これは、許容限界を弾性範囲とする、いわゆる設計用地震動と呼ばれる地震動を超える地震動に対し、許容限界を設け、設計用の地震動とすることを明確にしたものである。 しかしながら、本資料は、現行耐震重要度分類が耐震安全性確保の観点から適切かつ合理的に設定されていることを示す目的で作成している。その結果、根拠の希薄な部分については、技術的に説明可能な範囲で当時の検討を推測し、とりまとめている。質問にある S2 の裕度確認用との位置づけもその一つである。 現行指針制定前、設計地震で設計された安全上重要な設備(現行 A クラス)のうち、特に重要な設備に対しては設計地震に係数(1.5 倍もしくはその前後)を乗じて「安全余裕検討用地震」と称し、安全機能の確認を行っていたことを踏まえれば、S2 を安全裕度確保用との位置づけで読むことが可能である。 なお、柴田先生など当時の関係者から、そのようなコンセンサスに基づき制定されたと明言は受けていないが、基本的にはこのような思想がベースにあったことについて、柴田先生には同意が得られている。	*大崎順彦：耐震設計審査指針制定のために、昭和 49 年原子力委員会・原子炉安全専門審査会の下部機構として設置された耐震設計検討会の委員長
	(3) P3 の 10 行目で「耐震設計では、あらかじめ、各施設が機能喪失した場合の環境への影響の大きさに基づき耐震重要度を定めておくことにより耐震安全性の確保を達成する体系としている」とあるが、一般公衆、または従業員の被曝線量を定量的に評価し、その結果で分類を決めたような、具体的な検討があったか。 当時の資料で、B、C クラスについては、(評価手法は明示されていなかったが) BWR、PWR 各炉型で概略評価した結果が若干見受けられたが、それによって重要度分類を決めたようには見えなかった。	指針検討段階における被ばく線量の観点からの具体的検討については、当時の経緯を把握していない。 左記意見に同意する。具体的な評価にあたっては、個別プラントの条件が必要なことから、体系的な評価に基づき定められていないであろうと推測した。指針の記載「原子炉施設の耐震設計上の施設別重要度を、地震により発生する可能性のある放射線による環境への影響の観点から、次のように分類する。」が、定量評価に基づき分類されていないとすれば、弊資料 4 項に記載した基本的考え方に基づき定性的に決められたと推測した。	

	質 問	回 答 案	備 考
B 資料 内容 に 関 す る 個 別 質 問	<p>(1) p.1 下から9行目「安全設計は・・・」の параграф この文章は、要約すると、 「安全設計において安全上重要な施設に冗長性をもたせた設計をしているのは、安全上重要な施設に冗長性をもたせることが最も有効であるから」という意味になり、なぜ”最も有効”であるのかの理由が述べられていない。 また、”最も”ということは他にも手段があることになるが、どんなものが他に考えられるか。</p>	<p>原子力発電所は、深層防護(defense-in-depth)の思想に基づき、第一レベル(異常事象発生防止)、第二レベル(異常事象拡大防止)、第三レベル(事故影響緩和策)として安全設計をしている。各レベルを達成するための一つの方策として、機器・設備に対し多重性、多様性、独立性などの余裕のある設計を展開している。ここでは、多重性、多様性などの概念を代表して「冗長性」という言葉を用いている。この考え方が原子力発電所に採用されているのは、放射能による潜在的な危険性を保有しているからであり、危険性がある一つの機器・設備の機能喪失により急激に増加するようなことが許されないことが背景と考えられる。すなわち、深層防護の考えをとらず、ある設備を非常に故障しにくく(耐震設計でいえば壊れにくく)することが可能であるとしても、万一それが機能喪失した場合には壊滅的な危険性が顕在化するような施設は、受け入れられないということであり、それを現実的に設計するために多重性・多様性・独立性などをとったものである。</p>	
	<p>(2) p.2 上から2行目 「・・・施設を破損させないための構造強度上の規定と安全機能の維持確認・・・」 前者の構造強度上の規定はS1に対するいわゆる弾性設計、 後者はS2に対するチェックの意味をさしているのか。</p>	<p>動的機器や電気品の耐震設計では、構造強度確認とともに動作確認が必要であり、この点について記したものである。 指針には、「S1に対し耐えること」と記載されているが、安全機能の維持が大前提であることを考慮すれば、耐えれば自ずと安全機能が担保されると考えたか、もしくは「耐える」には安全機能の維持も含まれていると解釈するのが自然と考える。S2に対しては「耐える」必要は無いが、少なくとも安全機能の維持は担保するとして考えている。</p>	
	<p>(3) p.2 上から15行目 「・・・耐震設計における安全性の冗長性の確保・・・」 この場合の”冗長性”とは、重要度の高い施設ほど地震力に対する安全裕度を大きくとることを意味しているように読めるが、”冗長性”という用語にはこういう意味も通常含まれるのか。 また、同ページの上から6行目にある「耐震設計では、・・・安全設計の冗長性は要求していない」と矛盾はしないのか。 p.2 下から2行目 「耐震設計における安全性の冗長性・・・」 上記と同じコメント。</p>	<p>段階的に耐震裕度を確保することで“冗長性”の確保と記すことは、本来の意味から逸脱するものであるが、本資料では安全設計の冗長性に相当するものとして、耐震裕度の確保に対しても“冗長性”という用語を用い対比することでイメージしやすくしている。 2ページ6行目の「耐震設計では、・・・安全設計の冗長性は要求していない」というのは、耐震の観点からの多重性または多様性を要求していないという主旨。(例えば、安全上重要な系統のA系とB系で耐震裕度の差を設ける等)</p>	
	<p>(4) p.3 上から2行目 「・・・S2、S1等の設計用地震動・・・」 このペーパーでは、S2は設計用地震動として扱っているのかいないのか。ここでは明確にS2も設計用地震動であると述べているが、そうではなく、S2は裕度確認用であって設計用ではないと読める箇所もある。</p>	<p>耐震設計審査指針では、S1およびS2をそれぞれ「設計用最強地震」および「設計用限界地震」によって発生する地震動としている。本指針は設計指針であることから設定される地震(動)は設計のためのものであり、指針記載上は設計地震動と明記しているが、本検討ではS2を裕度確保上の地震動と解釈した。よって、資料中でS2の位置づけをまとめる際は裕度確認用と記し、それ以外では、指針記載どおり設計用としている。(参考：A(2)回答)</p>	
	<p>(5) p.3 上から6行目 「・・・これも、破損を前提とした設計(評価)体系になっていない理由の一つ・・・」 これより手前で他の理由が示されていることになるが、どれがその個所に該当するのかハッキリしない。 前ページ下から2行目「耐震設計における・・・」の文がそれに当たるのか。</p>	<p>ご推察のとおり、前ページ下から2行目が他の理由に相当する。 本資料で地震に対する安全評価が要求されていない理由として以下の3つを挙げている。 ○耐震設計における安全性の冗長性については、施設の重要度に応じて耐震裕度を確保しているが、これが安全設計における安全評価に相当するため。 ○S2やS1の発生確率は相当低い上に、仮に発生したとしても機能喪失しないよう設計されている設備が機能喪失する確率は低いと考えられるため。 ○耐震設計では各施設が機能喪失した場合の環境への影響の大きさに基づき重要度分類を定め、耐震安全性を確保する体系としているため。</p>	
	<p>(6) p.3 上から8行目 「しかしながら、・・・」 このパラグラフの後半に出てくる 「・・・耐震設計では、あらかじめ・・・耐震重要度分類を定めておくことにより・・・」も、破壊を前提とした設計(評価)体系になっていない 別の理由であると述べているように読めるが、そうだとすると、”しかしながら”という接続詞は相応しくないのではないか。</p>	<p>上の理由で既に評価は不要と述べているが、このパラグラフは「それでも必要」と言う人がいるとすれば、このような観点からの考え方も可能との説明であることから、「しかしながら」で接続した。</p>	

質 問	回 答 案	備 考
<p>(7) p.3 上から 15 行目 「さらに、・・・」 このパラグラフで述べていることの意味がよく理解できない。</p>	<p>内部事象を対象とする安全設計については、事象の多様性が包絡でき、その安全設計の妥当性の検討の観点から、評価するのが適当である事象を選定し、安全評価することが要求されている。一方、耐震設計については同様に地震で設備が破損したと仮定して安全評価を行うことは理屈上可能ではあるが、耐震設計の場合、具体的に想定できる地震動に対して、設備がその重要度に応じて機能喪失をしないよう設計上確実に担保できるため、安全評価を要求されていない。仮に何らかの適切な地震動を仮定し、適切な考え方で耐震安全評価を行ったとしても内部事象を対象とする安全評価の結果とは大きな齟齬がないであろうという主旨。</p>	
<p>(8) p.4 上 12 行目 「また、『安全重要度分類指針』において定められている・・・は、『耐震設計審査指針』もしくは『原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4601）』に規定されている。」 耐震設計審査指針及び J E A G の中のどの個所のことを指しているのか。</p>	<p>「『安全重要度分類指針』において定められている・・・は、」は『原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4601-1991）』387 ページにおいて対比検討されている。</p>	
<p>(9) p.5 上 13 行目 「・・・地震による施設の破損モードに配慮し、・・・」 ”地震による施設の破損モード”とは、そのページの少し上のパラグラフに出てくる「・・・地震が原子炉施設全体に共通要因的に作用するものである・・・」と同じ意味か。</p>	<p>地震による破損モードとは、共通要因的に作用した荷重によって破損した状態のことであり、推察のとおり</p>	

安全設計評価における判断の目安及び地震に起因する事故発生確率の目安の概念



S₂ 地震動を超える地震動による代表的な事故 (LOCA) の発生頻度は 10⁻⁶~10⁻⁷ と見積もられ、十分小さいと考えられる。

(注: 地震ハザードは全サイトの値, CDFは代表12プラントの値)