

原子力発電所の地震安全の基本原則（案）
～地震安全の基本的な考え方と
その実践による継続的安全性向上～
（第 15 回日本地震工学シンポジウム配布用）

本資料は、日本地震工学会研究委員会「原子力発電所の地震安全の基本原則に関する研究委員会」（2016.4～）が、原子力学会関係者と協働で取りまとめている「原子力発電所の地震安全の基本原則」の現状での案で、一つの考え方を示したものであり、内容について引き続き審議を行う予定です。審議中ではありますが、広く関連する方々からの御意見を頂く目的で、「I. 基本的な考え方」、「II. 実践に向けたアプローチ」を資料として配布させていただきます。

2018年11月30日

目次

序

重要な用語

I. 基本的な考え方

- 1 位置づけと対象
- 2 地震ハザードの特徴を踏まえた原子力発電所の安全性
- 3 地震安全における基本的考え方
 - 3.1 安全の捉え方と対処
 - 3.2 システムとしての安全確保
 - 3.3 地震安全のための深層防護
 - 3.4 地震安全を実現するための枠組み

II. 実践に向けたアプローチ

- 4 地震安全のための要求性能
 - 4.1 地震安全として考慮すべき深層防護の階層
 - 4.2 地震時における深層防護の考え方（地震時における深層防護を実現する手法）
 - 4.2.1 設備・機器単体設計で確保すべき要求性能
 - 4.2.2 設備集合として確保すべき要求性能
 - 4.2.3 住民避難等を考慮すべき状態での支援
- 5 地震安全のプラントへの実践
 - 5.1 設計・評価における地震動・地震随件事象の設定
 - 5.2 設計
 - 5.2.1 設備・機器単体に対する設計手法
 - 5.2.2 設備集合に対する評価手法
 - 5.3 安全性評価
 - 5.3.1 決定論的評価
 - 5.3.2 確率論的評価
 - 5.4 リスクマネジメントにおける意思決定プロセス
 - 5.5 維持管理
- 6 地震安全における緊急時の住民避難に向けたアプローチ
 - 6.1 緊急時の住民避難の準備と対応目標
 - 6.2 緊急時の住民避難に関する計画・訓練
 - 6.3 平常時のリスクコミュニケーションによるステークホルダーの参画

1 序

2 原子力発電所を設置する、あるいは既に設置されている目的は、社会に安定した電力を
3 供給することである。我が国のエネルギー基本計画における位置づけにおいても、原子力
4 は「安全性の確保を大前提に、長期的なエネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベ
5 ースロード電源である」と記されている。“社会に安定した電力を供給すること”は、原子
6 力発電所の社会的役割（便益）であり、それを供用期間中に継続的に果たすことを本書で
7 は“供用性（Serviceability）”と定義する。従って、“安全が確保されている”ことを前提に
8 供用性を確保することとなる。

9 ここで認識を共有しなければならないことは、“安全が確保されている”とはどのような
10 状態なのか、である。これは、社会との対話の中で決まるものであり、単に発電所の技術
11 的、運営的な事柄の解決だけではない。“絶対安全”は存在せず、我々の知識や経験も完全
12 ではない中で、対象とする原子力発電所の潜在的危険性（リスク）が社会に受容できるレ
13 ベルにまで抑制されていると合理的に判断できる状態が「安全が確保されている」状態と
14 言い換えることができる。この状態を前提に供用性を確保することが原子力発電所を設置
15 する目的となる。

16 さて、我が国は地震国であり、災害をもたらす大地震あるいは巨大地震の脅威に常に曝
17 され、数多くの災害経験を持ちながら“安全の確保”を前提とした“供用性”の確保のため、
18 原子力発電所のみならず一般の建築物などの耐震性の向上に努力してきている。

19 また、地震及び地震による災害の特徴として、①地震事象の評価には極めて大きな不確
20 かさが介在すること（不確かさ）、②地震による影響は極めて広範囲となること（広域性）、
21 ③多くの設備、構築物などに共通して作用すること（共通原因）、④多様な外乱（地震によ
22 る揺れに加えて、余震、津波、斜面崩壊や地盤の変位・変形等）が随伴して生じる（随伴
23 性）ことが挙げられる。

24 これらの特徴を踏まえて、地震国日本において、如何に原子力発電所の“安全を確保”
25 するかを前提に“供用性”を確保するか、また、新たな知識や経験が得られたときに如何
26 に“安全性の向上”に繋げていくか、が問われ続けてきている。例えば、以下のような問
27 いが設定できる。

- 28 ・地域社会が地震災害に見舞われたとき、原子力発電所は如何に電力の供給を継続する
29 のか。
- 30 ・地震の揺れは原子力発電所の設備等に共通的に影響を与えることに対して、如何なる
31 方策で原子力安全確保の対処を行うのか。
- 32 ・どの大きさの地震に対して原子力発電所の安全確保のために、設備等を如何に設計し、
33 要員の体制も含む対応策を講じていくのか。
- 34 ・地震により原子力災害が生じるおそれがあり、地域社会も地震による災害に見舞われ
35 ている中での地域住民に対する防災対応は如何に講じるべきか。地域社会が地震によ
36 る災害に見舞われているときに、原子力発電所は如何なる関与をするのか。

37 2011年の東日本大震災と東京電力福島第一原子力発電所事故後に制定された規制基準に
38 基づき、原子力発電所の安全性の確認が進められているが、国や電気事業者は、上記のよ
39 うな問いに対して社会に十分な説明ができていないと考える。

40 その理由は、このような問いに対する包括的・俯瞰的で首尾一貫した基本的な考え方が
41 共有されていないためではないだろうか。このため、どの程度の大きさの地震に対しどの
42 程度の対策を行うかの判断が難しくなっており、社会との対話の扉さえも開けること
43 ができていない状態だと認識される。この状態のまま放置すると、現時点では地震対策の
44 強化、規制基準の改善により安全性は確保されているが、大地震が起こるたびに心配とい
45 う理由だけで更なる補強を続けていくことが、本当に将来を通じて継続的安全性向上にな
46 るのか疑問がある。

47 このような状況を打開するため、基本的な考え方（これを本原則では地震安全のための
48 基本原則と呼称する）と、原則を実践に繋げる方法論（本原則では、アプローチ、と呼ん
49 でいる）も含めてとりまとめることがまず必要と考え、これを、学術の立場から、関連す
50 る各分野の研究者、技術者による横断的な研究委員会により、検討を進めた。

51 安全が確保されていることを達成するため、社会的合意形成のもの決定される目標が安
52 全目標であり、安全目標の設定が安全を達成すべき最上位の重要項目となる。安全目標に
53 ついては本書においても重要な用語として別途詳細に解説しているが、対象とするものの
54 稼働・不稼働がもたらす人・社会・環境への多様なリスクを勘案し、工学的な観点を踏ま
55 え技術的かつ経済的に実現可能なものが安全目標であると考え。

56 安全目標自体は原子力発電所システムに対する最上位のものであり、安全目標を達成す
57 るために必要なシステムの性能に対する目標（性能目標等）が必要となる。原子力安全に
58 おいて、安全目標の設定とそれに基づく性能目標等の設定に対する考え方や具体的な設定
59 に関する議論は非常に重要である。その一方で上述の通り、システムに対して設定された
60 性能目標等に対する基本的で包括的・俯瞰的で首尾一貫した考え方（基本的な考え方）が
61 十分に共有されていない。本原則では、この基本的な考え方とそれを実践に繋げる方法論
62 に重点を置いて議論を行うこととした。

63 本原則における基本的な考え方は、安全目標やそれに基づき設定される性能目標等に対
64 するものであり、それはリスクに対するものとなる。上記特長の①（不確かさ）に対して
65 は、従来から用いられている決定論的な評価の考え方に加え、確率論的なリスク論のより
66 積極的な活用（リスク評価）が有効であり、②（広域性）、③（共通原因）、④（随伴性）
67 を包絡的、俯瞰的に取り扱うためには、深層防護の概念に基づき地震現象に対し重点化さ
68 れた方策が効果的となる。このため、リスク評価を含めた統合的な意思決定プロセス、深
69 層防護概念の適用を踏まえ、ハード（機器単体や機器集合としての設備）だけではなくソ
70 フト（マネジメント）も含めた総合的なシステムとしての継続的な安全の確保および向上
71 について、より合理的で首尾一貫した考え方の検討を行った。我が国のエネルギー政策に
72 おける基本的要諦は、「安全性（Safety）を前提とした上で、エネルギーの安定供給（Energy

73 Security) を第一とし、経済効率性の向上 (Economic Efficiency) による低コストでのエネル
74 ギー供給を実現し、同時に、環境への適合 (Environment) を図るため、最大限の取組を行
75 うことである」。本原則の基本的考え方は、グレーデッドアプローチのもと投入されるリソ
76 ースによるそれらの効果を最大限に発揮させる必要がある。

77 今後、本原則における基本的な考え方および実践的なアプローチについて、原子力に携
78 わる全ての関係者の共通理解とされることで施設と活動に具体的に展開され、適切に適用
79 される事でより一層の合理的で継続的な安全性向上が図られることを期待している。

80 重要な用語

81 本基本原則の考え方を理解する上で重要な用語として、従来原子力分野で使われてきた
82 用語・意味とは意図的に異なるものとして用いている用語の説明を以下に示す（解説 0-1：
83 重要な用語について）。その他、本書を理解する上で、定義を必要とする用語については「8
84 用語の説明」に記載する。

85 (1) 安全目標 (safety goal)

86 安全目標とは、「安全が確保されている状態を評価するための目安となるもので社会的に
87 存在するリスクを勘案して受容可能なリスクレベルを設定するもの」とする。

88 (2) 供用性 (serviceability)

89 供用性とは「それが持つ社会的役割（便益）を共用期間中に継続的に果たすこと」とす
90 る。供用性 (serviceability) とは、そのシステムが持つ社会的役割であり、「社会性」、「使
91 用性」とも言われる。

92 (3) リスク (risk)

93 リスクとは「危害の発生確率及びその危害の度合いの組合せ」とする。本定義は ISO/IEC
94 Guide 51:2014 での定義「combination of the probability of occurrence of harm and the
95 severity of that harm」の日本版規格 JIS Z8051:2015（安全側面－規格への導入指針）と
96 同じである。

97 (4) 原子力安全と地震安全 (nuclear safety and seismic safety)

98 原子力安全とは「人と環境を、原子力発電所の施設と活動に起因する放射線の有害な影
99 響から防御するために、受容できないリスクがないこと」とする。また本書における地震
100 安全は、地震および地震随伴事象における原子力安全と位置づけ、「地震および地震随伴事
101 象の発生により生じ得る原子力発電所の施設と活動に起因する放射線の有害な影響から人
102 と環境を防護するために受容できないリスクが無いこと」とする。

103 (5) 深層防護 (defense in depth)

104 深層防護とは、「不確かさに対する備えとして、安全に対する脅威から人を守ることを目
105 的として、ある目標を持ったいくつかの障壁（以下「防護レベル」）を用意して、あるレベ
106 ルの防護に失敗したら次のレベルで防護する」とする。

107 (6) システム (system)

108 システムとは、「ある目的に対して、複数の要素から体系的に構成され、相互に影響しな
109 がら、全体として要求される機能を発揮するもの」とする。加えて、本書では、設計基準
110 としての想定を超える地震に対しては、より広範囲の設備群の機能喪失が考えられること
111 から、例えば、シビアアクシデントマネジメント策や緊急時のプラント間支援・融通など、
112 設備・機器だけではなく、人的資源やマネジメントについても含めることとした。

113 (7) 地震ハザード (seismic hazard)

114 地震ハザードとは、「地震が原因で原子力発電所に作用・影響を及ぼすような事象」とす
115 る。

116 I. 基本的な考え方

117 1. 位置づけと対象

118 本原則は、社会に安定した電力を供給するという原子力発電所の目的を踏まえた上で、
119 その前提となる原子力発電所の安全確保のうち、特に地震に対する基本的な考え方（地
120 震安全の基本原則）をとりまとめたものである。

121 本原則は、地震に対する継続的な安全性の確保及び向上を目的として、耐震設計や保
122 全管理など実践的な活動において指針となる基本的な考え方を提供し、活動の合理化を
123 図るとともに、関連する規格・基準の策定や改定を行う上での基礎となることを目的と
124 したものである。

125 そのために、2011年に発生した原子力災害を防ぐことができなかった原因・背景を念
126 頭に、本原則が地震という不確かさの大きい自然現象を対象としていることから、実
127 践的な活動において深層防護の概念とリスク評価を適用することを根幹とした基本理念
128 に基づいている。不確かさに対処するため、深層防護の概念とリスク評価を適用するこ
129 とは原子力安全のための重要な戦略であり、地震安全のためにも同様であるとする。

130 この基本理念に基づき、合理的な設計や運用の観点で具体化することを志向すること
131 で、運用に際して具体的なイメージをもって読み取れる原則とするとともに、解釈や具
132 体的な例示も併せて提供することで、本原則の効果的な活用を期待している。また、上
133 位概念である原子力安全の基本的考え方（基本安全原則）やこれを踏まえて策定されて
134 いる安全要求における地震安全に関連する部分と照らし合わせてその整合性や十分性を
135 確認したものである。

136 本原則で扱う原子力発電所の状態としては、立地・設計・建設段階¹から運転（運転状
137 態として出力運転、低出力運転、停止時を含む）、廃止措置まで、施設の全生涯に生じ
138 うる状態を対象とする。したがって、その状態に応じて、既に設置されている施設も、
139 今後新設される施設も対象となる。

140 また、地震とそれに伴う随件事象（地震随件事象）の作用に加え、施設の構築物、系
141 統及び機器（SSCs）²の故障（ランダムな故障を含む）の地震時における顕在化、通常運
142 転時および事故発生時の運転員および対応要員の人的過誤の発生の可能性を含めた人的
143 要因、資機材等の資源を考慮する（解説 1-1：敷地外の影響について）。なお、事故発生
144 時においては、施設の様々な状態（複数基の同時発生も含む）を考慮しなければならない。
145

146 さらに、本原則では、原子力発電所の敷地外が対象となる防災の領域（深層防護レベ

¹ 「立地・設計・建設段階」においてもそれぞれの段階で放射線による影響を考慮した検討を実施するという観点で記載している。

² 原子力施設の構築物、系統及び機器には、使用済燃料プール、使用済燃料や廃棄物とその貯蔵施設、シビアアクシデントを含む事故に対処するための施設、敷地内道路等、原子力発電所の地震安全に関わる活動に直接・間接に関わりうる敷地内外の全ての施設がその対象に含まれる。

147 ルの第5層)も対象に含めている。2011年の原子力災害を踏まえれば、設計基準の領域
148 (深層防護レベルの第3層まで)とそれを超えた状態で、原子力発電所側で対応策を講
149 じる領域(深層防護レベルの第4層)に加えて、防災の領域までを対象とすべきであり、
150 かつそれらをシームレスに検討することが必要である。そして、このシームレスな検討
151 においては、従来用いられてきている決定論的な評価手法に加え、確率論的手法をより
152 一層活用したリスク評価手法等、意思決定に必要、有用な全ての用を考慮することが肝
153 要である。防災の領域までを対象とすることにより、後述する国民全体としての議論の
154 対象を網羅することができる。

155 本原則は、原子力発電所の安全確保に一義的な責任を有する電気事業者のみならず、国
156 (安全規制、防災、原子力政策、研究開発)、自治体、研究開発機関等が共通的に理解し、
157 それぞれの役割に応じて活用されるものとして提示する。主語が明示的に示されていない
158 箇所においては、それぞれの役割に照らし、それぞれの果たすべき役割に置き換えて本原
159 則を捉えることを期待している。このことにより、関係者が共通の考え方にに基づき、限ら
160 れた資源を有効に活用して地震安全のための活動に取り組んでいくことができると考える。

161 さらに、本原則の浸透を通じて、広く国民全体において、原子力発電所のリスクをどの
162 ように捉えるか、原子力発電所をどのように活用していくかの議論を深めていくことにも
163 資することができるのではないかと考える。併せて、社会としての安全目標に係る議論の
164 深化にも繋がることを期待される。原子力発電所の活用に関する意思決定の主体は国民で
165 あり、しっかりとした意思決定のためには、リスク評価の実践と、意思決定の判断の目安
166 となる安全目標に係る議論に繋がる取組みが求められている。

167

168 2. 地震ハザードの特徴を踏まえた原子力発電所の安全性

169 本原則では、原子力発電所の施設に影響を及ぼすと考えられる全ての地震ハザードを
170 対象として考慮する。地震ハザードは、地震動、及び地震随件事象、すなわち地震動と
171 ほぼ同時あるいはその後に発生する余震、津波、斜面崩壊、断層変位等の外部事象に加
172 え、地震に起因して発生する火災、溢水(浸水)等の事象を対象とするものとする。また、
173 これらの事象が、重畳(同時発生/事後発生)する可能性についても考慮しなければならない。
174 我が国で発生し得る地震ハザードの特徴に基づいて、地震ハザードによる影響
175 は小さいが高い頻度で発生する地震から、頻度は低い地震ハザードによる影響は大き
176 い地震までの全てを対象とする。地震ハザードの評価に際しては、不確実さ³を可能な範
177 囲で定量化し、合理的に扱うこと⁴が基本となる⁵。

178 原子力発電所の地震安全を実現するためには、設計および運用において、地域ごとに

³不確実さは偶然的(偶発的)なものと認識論的なものを含む。

⁴学会の基本原則と同様に、「合理的(reasonable)」とは、「理由(reason)の上に成り立っている(科学的、技術的に確認されたもの)」としている。

⁵想定する地震ハザード及び地震随件事象は決定論的アプローチ、確率論的アプローチなど様々な検討に基づき合理的に決定されなければならない。

179 異なる地震ハザードの特徴、時間差を伴った余震や地震随件事象の発生、および、予測
180 の不確かさの大きさに応じた備えを深層防護の概念を適用して用意しなければならない
181 い。原子力発電所の事故を発生させるくらいに規模の大きな地震ハザードによる影響が
182 複数の防護レベルに同時に伝わり、複数の防護レベルが同時に機能喪失しうること、さ
183 らに地震被害が発電所外も含めて空間的に広域で同時に発生すること、および事前の予
184 測に不確かさがあることを前提としなければならない。

185 そのため、深層防護の理念の下、地震ハザードの特徴を踏まえた形で、多重性または多
186 様性および独立性が実現されなければならない。また、リスク評価結果を中心にそれ以外
187 の様々な情報を活用してその有効性が確認されなければならない。

188

189 3. 地震安全における基本的考え方

190 3.1. 安全の捉え方と対処

191 安全を確保するためには、まずどのような状態を安全と捉えるかが重要となる。安全
192 の定義は「受容できないリスクがないこと」である（解説 3-1:「受容」について）。
193 また原子力安全の目的は、「人と環境を、原子力の施設と活動に起因する放射線の有害な
194 影響から防御すること」[3-1]であり、地震安全の目的とは、「地震および地震随
195 伴事象の発生により生じ得る原子力発電所の施設と活動に起因する放射線の有害な
196 影響から人と環境を防護するために受容できないリスクが無い状態を確保すること」
197 と捉えることが出来る。

198 地震安全を確保するためには、この受容できないリスクがどのようなものかという
199 観点から設定される具体的な目標（安全目標）、その目標を満足するために必要な発
200 電所システムの性能（性能目標）に基づき、地震に対する目標を決め、それを達成す
201 るための対処を発電所の全生涯を対象として実施することが必要となる。

202 安全目標は、社会的合意形成（意思決定）のもと定められる具体的な安全に対する
203 目標であり、原子力発電所の活動が生み出す社会的便益の供給（供用性）、その活動
204 により発生しうるリスクだけではなく、その活動を実施しないことによる便益、リス
205 クも考慮して決定されるべきである。また、原子力発電所を設置・運転することの目
206 的は供用性の確保であり、安全性を確保した上で、すなわち安全目標を満足した上で、
207 供用性が達成されるよう対処されなければならない。発電所の運転期間中に確保すべ
208 き供用性は、地震ハザードによるリスクを考慮した上で検討されなければならない。

209 安全を確保するための対処は、許容できないリスクに対する対処であり、リスクに
210 内在している不確かさ⁶への対処が重要となる。地震安全において適用される深層防
211 護概念は、発電所の全生涯の各フェーズ（立地、設計、建設段階、運転段階および廃

⁶ 定性的な意味だけではなく、PRA 標準における定量的な意味としての「不確かさ（リスク評価の過程及びおよび結果に含まれる物理量，モデル，専門家判断などにおける確実さの度合いの定量値）」も含む。

212 止措置段階)において実施される。また、それぞれにおいて得られる定性的、定量的
213 な地震リスクの分析結果の活用を含めた適切なプロセスを通じた意思決定(リスクマ
214 ネジメントの考え方)によって、その有効性が確保される。

215 安全に対する捉え方や地震学も含めた科学的・技術的知見は常に変化する。また原
216 子力発電所の状態も各フェーズや経過年数により変化する。このため、安全性に対す
217 る評価を定期的実施し、合理的に達成可能な範囲で発電所の安全性へフィードバッ
218 クすることにより、継続的な安全性向上を着実に実施する必要がある。加えて、安全
219 目標を達成しても慢心することがないように、常に安全に対し問いかける姿勢⁷を持ち、
220 安全に対する注意が最優先で払われる行動と、その行動に関わる個人又は組織におい
221 て相互に連携した動きができるよう強固な安全文化(解説 3-2: 安全文化について)
222 を浸透、醸成させるとともに、それを促進し支援するマネジメントシステムを構築し
223 なければならない。それらの対象には地震による事故発生の防止や影響緩和のような
224 問題も含めなければならない。また低頻度であることだけを理由として対象から外して
225 はならない。

226

227 3.2. システムとしての安全確保(システム安全の導入)

228 システムとは、一般的に、ある目的に対して、複数の要素から体系的に構成され、
229 相互に影響しながら、全体として要求される機能を発揮するものである。なお要素に
230 は設備・機器(ハード)だけではなく、人的資源やマネジメント(ソフト)も含まれ
231 る。原子力発電所を構成する設備は、単体の機器で成り立っているものではなく、機
232 器の集合とそのつながりで求める機能を得るシステムであり、安全機能を担う設備も
233 同じである。安全機能を担う設備・機器は機能喪失に対しても安全性確保が可能なよ
234 うに多重性・多様性を持たせた設計がなされる。とりわけ、地震(以下、地震随伴事
235 象や地震に起因して発生する火災等を含む)は多重性・多様性を施した設備・機器に
236 対しても共通原因となる機能喪失を引き起こすこともあるため、特に多様性が地震の
237 同時作用に対しても有効である形として実装し、システムとしての安全機能が確保さ
238 れるようにすることが重要である。

239 原子力発電所の設計においては、まず設計基準として求める機能を得るためのシ
240 ステムを構成し、そのシステムを構築するための機器を設計する。個々の機器の設計に
241 においては、要求性能に応じた設計基準を設定し、それを満足するよう余裕や安全率が
242 考慮される。次に、設計基準としての想定を超える地震に対しては、より広範囲な設
243 備群の機能喪失のおそれが考えられることから、それに対処するため、設備・機器の
244 多様性の確保やシビアアクシデントマネジメント策、さらに外部支援も準備される必
245 要がある。これを実現するためには、個々の設備・機器の信頼性を上げるだけではなく、
246 設備・機器の集合や人的資源のマネジメントを含む全体的なシステムが、発電所

⁷ 米国規制委員会(U.S. NRC)では"Questioning Attitude"と定義される。

247 の総合的なリスクの低減の観点から要求されるシステムとしての補完性や復旧性も
248 含めた安全機能を発揮できることを維持し、継続的に向上させるためのマネジメント
249 が行われる、システム安全の考え方が導入されなければならない。

250

251 3.3. 地震安全のための深層防護

252 原子力発電所における深層防護の概念の適用は、全ての事象の持つ不確かさに対処
253 するための重要な戦略である。その発生や構築物・設備への作用における不確かさの
254 大きい地震に対しても、深層防護の概念の適用は有効である（解説 3-3：地震安全に
255 における深層防護の適用について）。深層防護のレベルを横断して影響を及ぼす地震の
256 場合には、設備・構築物だけでなく操作や判断などの行為にも影響を及ぼすこと、さ
257 らに及ぼす影響が広く同時であることを考慮して、地震安全のために効果的に実装し
258 なければならない。

259 また、地震安全のための深層防護を考えるとときに留意すべきことは、地震は原子力
260 発電所周辺の広域に亘り被害を及ぼすことである。周辺地域の住民避難を含む緊急時
261 対応の円滑的实现、及び発電所に対する外部支援の迅速的实现のために、平常時から、
262 関係する外部組織との間で、複合災害リスクの対応を準備すること、加えて、原子力
263 発電所が周辺地域の防災活動と連携することは、深層防護の最後のレベルである避難
264 等を含めた発電所外の緊急時対応の効果を高める点で有効である。

265

266 3.4. 地震安全を実現するための枠組み

267 地震安全は、設計、製造、建設、施工、据付、運転、維持管理（保守）、定期的な
268 安全性評価⁸、及び廃止措置に加え、サイト内外における事故対応、緊急時対応、復
269 旧等に関する準備などの全ての活動に関わる組織が、効果的なマネジメントシステム
270 を構築し、高い品質で維持され、自主的に改善するとともに、柔軟な対応⁹を含む効
271 果的な運用により実現されなければならない。加えて、効果的かつ合理的な規制及び
272 これらの活動を円滑にするための利害関係者間のコミュニケーションにより実現さ
273 れなければならない。特に、地震にかかる新知見は、耐震設計や地震調査などを含め
274 た安全に関する最新の研究知見に加え、地震による事故事例、被害事例なども広く把
275 握することにより、リスクマネジメントのプロセスを推進する大きな駆動力となるの
276 で、収集および分析、反映を実行する仕組みを整備しなければならない。これらはグ
277 レーデッドアプローチのもと、投入されるリソースによる効果を最大限に発揮される
278 よう運用される必要がある。

⁸ 評価する時点での原子力発電所の状態を対象とした、決定論的な耐震性評価、安全裕度評価、確率論的リスク評価などを含む。

⁹ 想定を超える異常事象に対して、サイト内外の現状を勘案して対応要員が柔軟に適切な回復、復旧操作を実施することを許容するマネジメントシステムは有効である。

279 ただし、リスク評価の評価範囲の限界について十分留意し、国内外の良好事例、経
280 済的事項、社会的事項など多面的な要素を統合して判断する枠組みを組み入れなけれ
281 ばならない。

282 II. 実践に向けたアプローチ

283 4. 地震安全のための要求性能

284 4.1. 地震安全として考慮すべき深層防護

285 地震安全への対処の基本的な考え方は3.3項で述べた深層防護の概念の適用にある。
286 ここでは、原子力事業者として守るべき地震安全の観点からの深層防護を実装するう
287 えで、地震による影響の程度に応じて要求される対応と深層防護の階層を関連付けて
288 整理する。ただし、地震による影響の程度を考慮するとき、階層順に事象が発生する
289 わけではなく、また、地震動強度の増大に伴って設備の機能喪失確率が徐々に高くな
290 ることを踏まえる必要である。

291 地震動への対応としては、運転継続、運転停止（原子炉停止）、炉心損傷（使用済
292 燃料プール内の重大な燃料損傷含む）防止、放射性物質放出防止および人的被害防止
293 の5つの階層（レベル）に分類する¹⁰。

294 まず、最初のレベルとして、地震による異常運転や故障を防止するため、各施設が
295 適切に耐震クラス分類され、その要求性能に到達するように設計されていることを前
296 提として、運転継続に必要な全ての設備について、運転継続が求められる地震動対
297 して適切に設計することにより対応する。

298 次のレベルとして、地震動が検知された時点で、異常運転の制御及び故障の検知の
299 観点で、一定レベルに設定した地震加速度¹¹の検知による原子炉自動停止により、地
300 震時に確実に原子炉を「止める」機能を確保する。

301 機器が損傷した場合の炉心損傷を防止するために、安全上重要な設備の多重性・多
302 様性及び独立性を確保することを含めて、耐震設計条件に対して適切な安全率を考慮
303 した設計を行うことを第3のレベルとする。この際、地震による影響の不確かさにも
304 対処できるように、余裕をもった設計を行うことにより本レベルで対応可能な範囲を
305 増すことができ、その余裕の程度は実力評価等により確認することができる（**解説**
306 **4-1：余裕の程度の確認について**）。

307 機器類の損傷が拡大し、炉心損傷に至るおそれがある場合もしくは炉心損傷に至っ
308 た場合に、環境への放射性物質の放出を極力抑制若しくは放出までの時間余裕を確保
309 するための手段を確保する対応を第4のレベルとする。これには、熔融炉心冷却や原
310 子炉格納容器スプレイ等の冷却機能確保があるが、このような地震時には原子炉格納
311 容器が構造的に損傷している可能性があるため、放水車等による対策も含まれ、第3
312 のレベルにおける機器の設計・配置を踏まえて、多重性・多様性及び独立性を確保し
313 た設備や人的な対応を考慮する必要がある。

314 最後に、緊急時の避難等の観点での対応となるものを第5のレベルとする。なお、

¹⁰ 各階層で考慮する設備はその階層のみで使用するのではなく、ある事象が発生した時点で使用可能な設備は全て活用して収束を図ることを考慮しなければならない。

¹¹ 設定する地震加速度については、供用性を踏まえ適切に設定する必要がある

315 地震の場合は周辺地域が被害を受けており、原子力防災対応に影響を及ぼす可能性が
316 ある（一般的に周辺住民の避難はより低い地震動レベルにおいて開始されうる）こと
317 に留意が必要である。

318 なお、地震の場合には、各機器の損傷の程度を把握したうえで、発生した事象に対
319 する安全を確保するために必要なあらゆる手段を用いることとなるので、それが可能
320 となるような設計・配置など面での配慮が必要であることにも留意する。

321

322

323

324

325

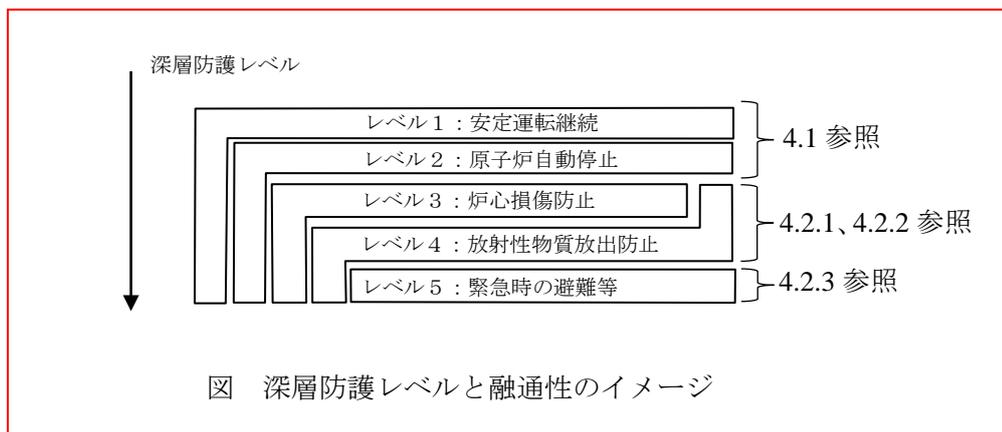
326

327

328

329

330



331 4.2. 地震に対する深層防護の考え方（地震に対する深層防護を実現する手法）

332 地震のような全ての設備・機器等に対し共通原因として加わる外力に対して、深層
333 防護を考える際以下の考え方をとることができる。

334 深層防護を実現する手法には、設備・機器単体での対応、設備集合（システム）と
335 しての対応、避難を含む敷地外における対応がある（解説 4-2：設備・機器単体、設
336 備集合（システム）の考え方）。深層防護は、これらの対応を組み合わせることで実現され
337 る。

338

339 4.2.1. 設備・機器単体設計で確保すべき要求性能

340 設備・機器単体設計では、当該設備・機器の安全機能や対応する深層防護レベル
341 により要求性能に応じた許容基準を設定し、これを満足するように設計されなけれ
342 ばならない¹²。

343 要求性能は、プラントの関連する運転状態、事故条件¹³及び内部・（地震以外の）
344 外部ハザードも考慮し、供用性と比較して受容可能なものとしなければならない（解
345 説 4-3：設備・機器単体の要求性能と受容可能性について）。

¹²個々の構造物・系統・機器は、設備単体で対応すべき想定を超える場合に対して、設備の集合（システム）としての機能が満足できるように配慮しなければならない。

¹³外的事象から生じる状態を含め、設計において考慮すべき一連の事故条件は、原子力発電プラントの寿命期間にわたって、（原子力発電プラントに必要な能力、信頼性及び機能性が、要求性能に応じた許容限界を超えることなく耐える境界条件を確立する目的のために、）想定起因事象から導かれなければならない。

346 発生頻度等を参照して外部ハザード（地震動¹⁴等）による荷重（設計荷重）を設定し、要求性能が満足されるかを確認しなければならない。

348

349 4.2.2. 設備集合として確保すべき要求性能

350 個々の設備機器に完全な信頼性を要求することは可能ではないため、それらの集合（システム）の性能¹⁵に着目して、システムとしてリスクを合理的に達成可能な限り低減させなければならない。

353 このため、これらの設備集合を評価するための外部ハザード荷重を想定し、事故シーケンスに対する評価により受容可能なシステム目標を満足することを確認する。

355 ¹⁶

356 また、システムとしての性能をより確実なものとするために、地震および地震随伴事象を考慮した号機間や敷地外（他発電所を含む）からの、緊急時のプラント間の支援・融通についてあらかじめ取り決め、確実に機能するよう準備する（**解説 4-4：プラント間の支援・融通について**）。

360 地震及び地震随伴事象による原子力発電所の異常事象発生時の事象進展防止策および緩和策の実施に関しては、原子力発電所施設の敷地内はもとより敷地外における社会基盤等の被害とその波及影響（例：原子力発電所施設に通じる道路等の寸断により資機材や要員等の運搬・移動が困難となる）が発生する可能性を考慮しなければならない。そのため、平時からの安全確保のための対策を確実に講じるとともに、号機間や敷地外（他発電所を含む）からの支援・融通に関する内容や方法をあらかじめ取り決めて、緊急時においても確実に機能するよう準備することが有効である。支援・融通にあたっては、地震および地震随伴事象による影響を考慮し、あらかじめ地域や輸送・移送手段、受入れ体制を検討の上、適応可能な資機材や対応可能な要員、多様な通信連絡手段を確保し機能維持しておくことが重要である。

370

371 4.2.3. 住民避難等を考慮すべき状態での支援

372 地震及び地震随伴事象も考慮し、原子力災害の発生に際して、住民避難等への事業者による支援・協力について、事故情報の提供、地域住民等の避難措置のための輸

¹⁴ プラントの立地条件から、震源、地震の発生頻度、地質、地盤条件などを考慮し、発生が想定される地震から、受容可能な状態を設定する地震動を決定論的設計用として設定する。地震動の設定に当たっては、供用性を判断材料の一つとしてその大きさや発生頻度を決定する。

¹⁵ これらの設備・機器が地震という共通原因により同時に機能喪失することを防ぐには、設備はその性能を、裕度、多様性、多重性、位置的分散、物理的分離および機能の独立等の観点から計画・設置されなければならない。

¹⁶ 評価の手法としては原子力プラント全体の PRA を援用し、大規模な放射性物質放散の確率を評価する場合や、限定された範囲のシステムの破損確率等を設定した目標値以下とすることで実現する場合は考えられる。実践手法については 5 章参照。

374 送手段の提供に関する協力、緊急時モニタリング、避難退域時検査及び除染など、
375 事業者以外の組織（地方公共団体等）と協議した上で、あらかじめ取り決め、機能
376 するよう準備することが重要である（解説 4-5：住民避難等への支援・協力につい
377 て）。

378

379 5. 地震安全のプラントへの実践

380 5.1. 設計・評価に適用する地震動・地震随件事象の設定

381 原子力発電所は、安全性や供用性を確保できない際に社会へ与える影響について一
382 般構造物と異なる部分が多いことに特徴がある。また、地震の特徴である不確かさ、
383 広域性、随伴性を考えると、地震によって設計の想定条件を逸脱する事態も起こりう
384 ると考えられる。したがって、地震に対する安全性やリスクについて正しく把握する
385 ためには、地震に対する性能評価として設計条件に基づく（Design Basis）評価だけ
386 でなく、設計想定外の事象（Beyond Design Basis）へ拡張した評価を行う必要があ
387 る。

388 そのため、地震に対する性能評価において考慮する地震動・地震随件事象は、その
389 性能評価の対象が設計領域（Design Basis）か、設計想定外領域（Beyond Design Basis）
390 までかを適用範囲の考え方として踏まえたうえで、事象の網羅性、サイト固有の評価、
391 国内外の最新知見の取り入れ、不確かさ要因の網羅、評価結果の品質、評価の多面性
392 に特に配慮して設定しなければならない。

393 また、地震に対する性能確認・評価に適用する地震動・地震随件事象は、地震学、
394 地球物理学、地質学等の知見とその不確かさを踏まえて客観性を確保した上で、DB
395 の場合と BDB の場合それぞれについて要求される性能の種類と水準、その確認の方
396 法と併せて設定されることが基本である。

397 地震動・地震随件事象のリスク評価には、不確かさを保守的に評価し、特定の代
398 表的なシナリオに関して詳細に検討する決定論的アプローチと不確かさを定量的に
399 扱ったうえで、数多くのシナリオを網羅的に検討する確率論的アプローチがある。我
400 が国においては、従来から、DB について決定論的アプローチによる評価を行ってき
401 たが、BDB まで拡張した評価に当たっては決定論的アプローチと確率論的アプロ
402 ーチの両者から、評価しようとする事象と意思決定において求められる結果の指標の観
403 点から適切に選択して評価を行う必要がある。なお、決定論的アプローチにおいては、
404 パラメータの同定、評価手法、モデル化などの不確かさに応じた保守的な（安全側の）
405 評価条件の設定が、専門家判断などに基づきなされるが、その設定の合理性を確率論
406 的な視点からも確認することが必要である。

407 性能評価に適用する地震動・地震随件事象は、多面的な検討を統合して設定され
408 なければならない。その設定にあたっては、安全目標やそれを達成するために必要な
409 システムの性能に対する目標である性能目標と整合する形で設定される発生頻度な

410 どの確率値を妥当性の判断の目安とすることができる。

411 地震動・地震随件事象を設定して評価・確認する要求性能の種類としては、深層
412 防護の各レベルに対応して、供用性の確保、安全性の確保、事故時の炉心損傷防止・
413 格納機能の維持、放射性物質放出時の公衆と環境の防護などが挙げられる。したがっ
414 て、性能評価に適用する地震動・地震随件事象の設定においては、通常運転状態、異
415 常状態、事故状態など様々なプラント状態下での地震の発生も考慮する必要がある。

416

417

418 5.2. 設定した地震動・地震随件事象に対する設計

419 5.2.1. 設備・機器単体に対する設計手法

420 個別の SSCs について設計を行う場合は、重要度に応じた等級別アプローチ¹⁷を
421 行う。現在の耐震設計で適用されている耐震重要度分類は、耐震設計審査指針にお
422 いて、「原子力発電所の施設の耐震設計上の重要度を、地震により発生する可能性の
423 ある環境への放射線による影響の観点から、施設の種別に応じて分類したもの」と
424 して、S・B・Cの3クラスに分類されている。この分類はその機能や損傷時の影響
425 度合いの観点から、個別の SSCs の設計を合理的に実施するに有用なものである。
426 一方で、個別の SSCs が持つ、炉心損傷・格納容器機能維持の事故シナリオに関す
427 る寄与や深層防護の各レベルにおいて要求される性能の維持という観点では、必ず
428 しも耐震重要度分類と整合しないことがある。したがって、地震に対するリスクに
429 適切に対応した設計とするという目的から、耐震設計に向けた等級別アプローチに
430 おける重要度は、要求性能に応じた深層防護レベルや地震 PRA・ストレステストに
431 よるリスクプロファイルを考慮の上で設定する必要がある。また、このようなリス
432 クプロファイルに基づいて設定した重要度は、地震以外の事象に関する評価を行う
433 際にも活用することが可能である。

434 SSCs の耐震設計は、下記に示す評価に基づき実施する。

435

436 ・耐震設計の入力となる地震動は、上述の評価対象の重要度に応じて対応する許
437 容値と組み合わせて複数設定する。

438 ・地震動の入力に対して SSCs の健全性を評価するための指標を設定し、設計基

¹⁷等級別アプローチとは、設計で想定する地震の揺れの強さ、検証手法の詳細さ、妥当性確認のレベル、破損した場合の安全性への影響等様々な観点で実施するものである。

深層防護に応じた考え方として「異常発生防止」(PS)と「異常影響緩和」(MS)で分類し、それぞれに対応する機器が破損を防止すべき地震レベル(S～Cクラス、機能維持)等を耐震に対する重要度として設計する手法などが考えられる。

これらには機能を支えるサポート系、損傷することでこれらの構造物・系統・機器に影響を与えるものも含める。

5.2.2 項の設備集合評価の結果において、設備・機器単体が破損した場合の影響が安全性に対し寄与が小さいと判断された場合は、重要度を見直すことができる。

439 準等で整備した手法により応答値として評価する。
440 ・SSCsの要求性能と重要度に応じた許容値¹⁸を設定する。
441 ・設定した地震動・地震随件事象に対する評価指標について、SSCs単体に生じ
442 る応答値が許容値以下となることにより、当該SSCsが要求性能を満足するこ
443 とが確認される。

444

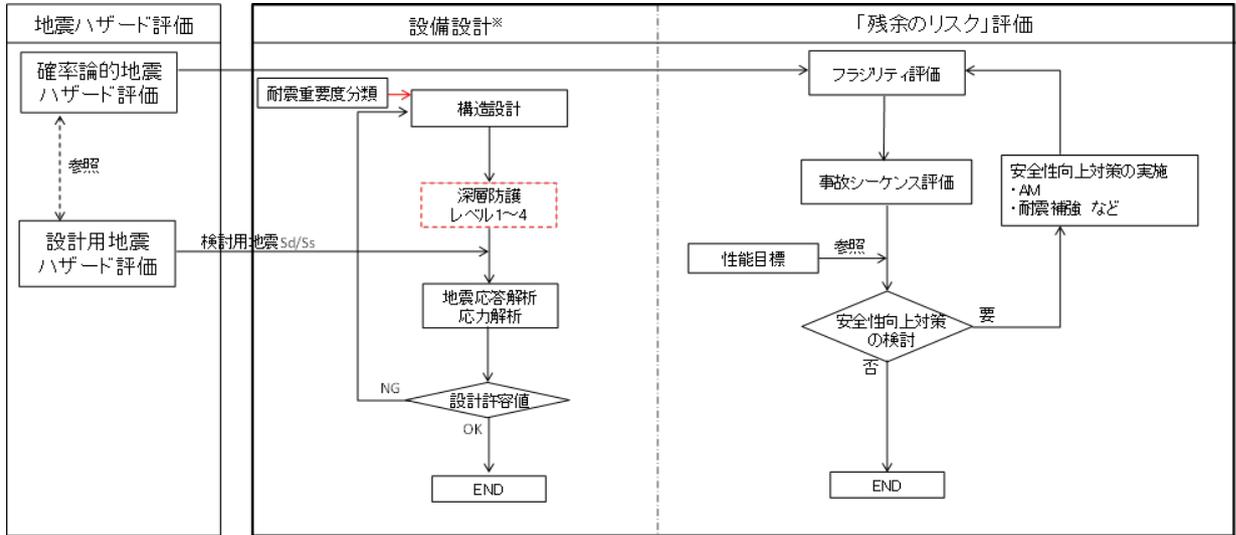
445 5.2.2. システムに対する設計手法

446 現状の原子力発電所の耐震設計体系では、深層防護レベルに関わらず設備単体と
447 しての仕様規定により設計が行われており、システムとしての性能は「残余のリス
448 ク」評価の一環としての地震PRAにより評価されている(図5.2-1参照)。一方で、
449 強地震動下においては複数のSSCsが同時に機能喪失することが考えられることか
450 ら、システムとして要求性能を満足する観点からの設計を行う必要がある。この時
451 のシステムとしての要求性能(システム目標)は、各深層防護における事象進展の
452 発生防止及び影響緩和の観点や許容リスクの観点から設定される。また、強地震動
453 による影響は極めて不確かさが大きく、設計外事象や発電所施設の多様な不具合状
454 態にも対応する必要がある、こうした状態を包絡的、俯瞰的に取り扱いシステムと
455 しての性能を評価するにはリスク論の活用が有効である。

456 システムの設計においては、定量的リスク評価を用いて要求性能を満足すること
457 を確認する。定量的リスク評価において判断基準を満足しない場合には、設備・機
458 器単体での機能強化又は多様な設備の組合せ(多様性・多重性の構築)により対応
459 する(図5.2-2参照)(解説5-1:設備集合(システム)に対する設計手法について)。

¹⁸許容値としては、動作時間、応力、ひずみ、加速度等各種の指標を用いてよい。要求性能に合わせ、設備・機器の発生応力を設定値(例:弾性状態)に抑えたり、破損に対し余裕のあるひずみレベルに制限したりすることが考えられる。

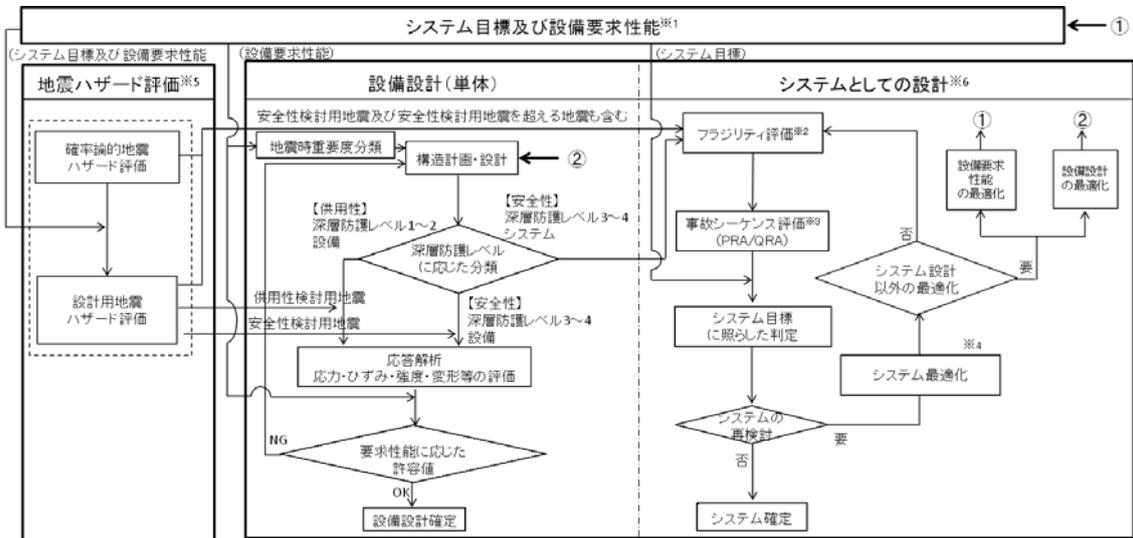
460
461



※現状の設計体系では、深層防護レベルに限らず設備単体としての仕様規定により設計している。

462
463
464
465

図 5.2-1 現状の原子力発電所の耐震設計体系



※1: システム目標は、各深層防護における事業進展の発生防止及び影響緩和の観点から設定される(システムの許容リスクなどを踏まえて設定、耐震強度などの定性的目標とする場合もある)。
 ※2: 地震応答解析、応力・ひずみ・強度・変形等の評価、設備間の連携の相関評価を含む。
 ※3: ①起因事象の設定
 ②事故シーケンスのモデル化
 →イベントツリー作成
 ③事故シーケンスの定量化
 →損傷の相関評価
 →発生確率・頻度の評価
 ④リスクプロファイルの評価
 ※4: 固有設備の機能強化、緩和系の組合せ、それらの組合せ、構造設計の最適化、許容値の再設定及びその他対策(地震動レベルの再検討、要求性能の最適化、人・体制を含むソフトウェア対策等)を含む。
 ※5: 地震ハザードは、地震動に加えて、地震動とほぼ同時あるいはその後発生する津波、斜面崩壊、断層変位の外部事象を含む。
 ※6: 設備集合の設計では、複数の施設設備の組合せだけでなく、可搬設備等を加えた人・体制を含むソフトウェアによる事故対応を含んだシステムとしての対応を考慮する。
 ※7: ここでは示す設計体系では、地震ハザード単体の外部事象に加えて、それらの重量も対象としている。

466
467

図 5.2-2 地震ハザードに対する原子力発電所の性能確保のための設計体系 (案)

468

469 5.3. 安全評価

470 地震時における原子力発電所の状態を理解するとともに、地震安全のための要求性
471 能が確保されていることを確認するため、決定論的アプローチや確率論的アプローチ
472 に基づき、最新知見の反映及び不確かさを考慮した上で包括的な安全評価を行う。決
473 定論的アプローチと確率論的アプローチの例について、5.3.1 と 5.3.2 項に示す（解説
474 5-2：地震時の安全評価における決定論的、確率論的評価について）。

475

476 5.3.1. 決定論的評価

477 耐震設計においては 5.2.1 に基づく耐震重要度分類を定め、各クラスにおいて設
478 計用地震動と許容値をそれらが持つ不確かさを考慮して保守的に（安全側に）設定
479 して設計を行う。ここで設定される発生値（応力など）と許容値の比較により SSCs
480 の健全性を判定する決定論的アプローチによる評価は、安全評価の対象を DB の領
481 域までとする場合に適用する。

482

483 5.3.2. 確率論的評価

484

485 確率論的評価では、設計において考慮する各種のパラメータや運転員の操作に伴
486 う不確かさを定量的に評価したうえで、プラント全体のリスクを使用目的に対して
487 適切な指標を用いて定量化する。確率論的アプローチによる安全評価は大きく分け
488 て地震 PRA とストレステストがある。

489 地震 PRA は、地震発生頻度を求める地震ハザード評価、SSCs の損傷確率を求め
490 るフラジリティ評価及びプラントをモデル化しリスクの定量化を行う事故シーク
491 ンス評価から構成され、炉心損傷頻度（CDF）、格納容器機能喪失頻度（CFF）など
492 を指標として定量化される。地震 PRA は原子力学会により実施基準が制定されてお
493 り、評価の際にはこれに準拠することが求められる。

494 ストレステストは地震を起因とした事象の進展シナリオをイベントツリーで示し、
495 イベントツリーの各段階で使用可能な防護措置について考慮し、それぞれの有効性
496 及び機能維持の限界を検討する。ストレステストにおける各 SSCs の使用可能性を
497 判断する指標は、一般的に SSCs の損傷確率を表す指標（フラジリティにおける損
498 傷加速度中央値 A_m 、高信頼度低損傷確率(HCLPF: High Confidence of Low
499 Probability of failure)など)を用いる。このため、ストレステストは SSCs が持つ
500 不確かさ要因を踏まえた損傷確率に関わる指標を用いることから、得られる結果に
501 は確率論的な観点が含まれるアプローチである。一方で、SSCs の損傷判定や ET
502 の分岐を決定論的に決定する（SSCs の間での HCLPF の大小比較など）ため、決
503 定論的な考え方も含まれるといえることができる。

504 安全評価の対象を BDB の領域までとする場合には上記の確率論的アプローチに
505 基づき、評価の目的に応じた方法を選択して評価を行う。安全目標との対比などの
506 ために CDF や CFF を算出し、各指標への SSCs の寄与度合いを詳細に把握するこ
507 とを目的とする場合には、地震 PRA を実施する。また、比較的簡易的な評価により
508 プラントのリスクプロファイルを把握することなどを目的とする場合には、ストレ
509 ステストを実施することが適当である。

510

511 5.4. 維持管理

512 原子力発電所においては、地震安全を実現するための手段としての各組織における
513 様々な活動が、マネジメントシステムの下、新知見の収集・分析・反映を含めた継続
514 的な安全性向上が行われることにより、プラント生涯を通して、維持・改善される必
515 要がある。

516 SSCs の維持管理においては、その要求性能（例えば、安全性能、耐震性能、構造
517 健全性など）が維持されていることを確認し、必要に応じて補修、取替、改造などの
518 対応を行う。地震が発生し、その影響が考えられる場合においても、同様であり、そ
519 の対応は、対象となる SSCs の重要度、発生した地震動の大きさ及び地震動による影
520 響に応じて、実施される必要がある。

521 その実践のために実施する事項の例を以下に示す。

- 522 ・ 供用期間中において、SSCs は、定期的な検査や安全性評価等によりその要求性
523 能（例えば、安全性能、耐震性能、構造健全性など）が維持されていることを確
524 認し、必要に応じて補修、取替、改造などの対応を行う。
- 525 ・ 地震が発生し、その影響が考えられる場合には、各 SSCs の要求性能が維持され
526 ているかどうかを確認する。ただし、その対応は、対象となる SSCs の重要度、
527 発生した地震動の大きさ及び地震動による影響に応じて実施する。加えて、必要
528 に応じて補修、取替などの対応を行う。
- 529 ・ SSCs の改造や新たなアクシデントマネジメント等のための設備の配備等、当初
530 の設計からプラント構成の変更を行う場合には、地震安全のための要求性能を踏
531 まえた設計と必要な評価を行い、運用前に必要な試験を行う。また、このよう
532 なプラント構成の変更を行う場合には、ハード面及びソフト面の整合を取るととも
533 に、手順や関係文書の整合性確保・更新を確実に行う。
- 534 ・ 地震及び地震随件事象により事故が発生した場合に備え、対処に必要な体制、設
535 備、資機材及び手順を整備し、要員の役割に応じた教育・訓練や自治体等との連
536 携も考慮した総合的な訓練を行い、要員の知識・技能を維持・継承する。
- 537 ・ 緊急時対応に必要な内部・外部アクセスルートは、地震や地震随件事象が発生し
538 た際の現場アクセスに支障が生じないように、仮置き資機材等がある場合には固縛
539 等の処置を施すなど適切な管理を行う。

- 540 ・ 発生した地震に対して適切な対応を取るため、及び発生した地震による原子力発
541 電所への影響を評価するために、評価対象となる位置での地震動を観測するため
542 の措置を維持管理する。
- 543 ・ 廃止措置段階では、解体中の施設は設計時の耐震性が維持されていない場合があ
544 る。そのため、地震や地震随伴事象による廃止措置段階にあるプラントの施設の
545 倒壊や瓦礫化により、廃止措置に関する作業や同一サイト内の他のプラントに影
546 響を及ぼすことがないよう考慮する。

547 5.5. 意思決定プロセス

548 地震に対してプラント生涯を通して原子力安全を達成するためには、立地・設計・
549 建設段階、運転段階及び廃止措置段階の各々のフェーズ及び放射性廃棄物の処理にお
550 いて、適切なプロセスを通じた意思決定を行うことが重要である。

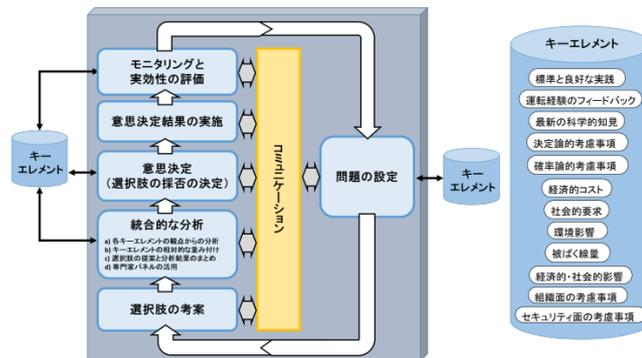
551 特に、運転段階においては、最新知見、プラント状態の変化、社会的要求などの種々
552 の環境変化に対して、合理的且つ実行可能な安全性向上対策を打ち続け、継続的に改
553 善していく必要がある。対策には設備の改良や補強だけでなく、マネジメントや組織
554 体制見直し、基準の変更なども含まれ、サイト外に広範囲に影響を及ぼす地震に関し
555 ては、多様な対策は重要である。その点で、安全性向上対策の意思決定に際しては、
556 地震の不確かさの特徴からリスク情報の活用が重要ではあるが、それだけではなく、
557 最新知見、運転経験、経済的コスト、時期・期間など色々な要素を考慮に入れて、バ
558 ランスの取れた選択をすることが特に地震の場合には有効である。IAEA[5-1]、日本
559 原子力学会[5-2]などから示されている統合的意思決定プロセスが参考になるが、これ
560 らは基本的な考え方とプロセスを示したものであるため、各組織の実態及び実施課題
561 の目的に応じた形で、組織内のマネジメントルールを構築し確実に実施していくこと
562 が重要である。

563 図 5.4-1 に、統合的意思決定プロセスを示す。「問題の設定」では、取り組むべき対
564 象、目標、解決の方向性を明確にするとともに、問題のプロフィールの把握を行う。
565 最新の科学的知見や社会的要求、対策の実効性評価の結果等が契機となる。「選択肢
566 候補の考案」では、対策の実行可能性にかかわらず、設計用地震動の見直し、耐震補
567 強工事や安全性評価にかかる研究の実施など、複数の幅広い対策を選択肢候補として
568 考案する。「統合的な分析」では、各キーエレメント¹⁹の観点からの分析、キーエレ
569 メントの相対的な重み付け、を行い選択肢候補から選択肢として提案するとともに、
570 その分析結果を意思決定者の判断材料としてまとめる。また、キーエレメントが持つ
571 不確かさについては、考慮しようとしている不確かさが現象等の偶然的不確かさ
572 (Aleatory uncertainty) と認識・知識・情報不足に関わる不確かさ(認識論的不確

¹⁹ プラントの安全性に影響を与えることから、統合的意思決定プロセスにおいて統合的に考慮することが望まれる要素。リスク情報に加え、標準と良好事例、決定論的考慮事項、経済的コストや作業員の被ばく線量、などがある。

573 実さ：Epistemic uncertainty) のいずれに分類されるのか（あるいは両方に該当す
574 るのか）についても分析のうえでその対処に当たっての判断材料とする必要がある。
575 ここでは、分析におけるバイアスの排除、地震の不確かさへの対処の観点から、専門
576 家パネルを活用することも有効である。また、地震動の与える影響が振動だけではなく
577 又同時に複数の対象に及ぶという特性を踏まえると、地震起因の火災や地震動による
578 複数の SSC の機能喪失などの様々なリスク要因を特定し、そのバランスを考慮する
579 ことも例として考えられる[5-3]。「意思決定（選択肢の採否の決定）」では、「統合
580 的な分析」から得られた選択肢と分析結果に基づき、選択肢の採否に係る意思決定を
581 行う。「意思決定結果の実施」では、採用した対策を計画に従い確実に実施するとと
582 もに、想定を超える事態に対し適切な対応が出来るよう、体制、工程、マネジメント
583 策定などを行う。情報が少ないといった不確かさ（認識論的不確かさ）に対して、PRA
584 などのリスク評価のみで対処するのではなく、この段階におけるマネジメントや次の
585 ステップであるモニタリングにおいて、不確かさの程度に応じた対処とすることが重
586 要である。「モニタリングと実効性の評価」では、実施した対策の実効性の評価や、
587 意思決定時の前提に変化がないかのモニタリングを行う。ここでは、計器などを通し
588 た予兆の監視を意味しているのではないことに留意する。見直すべきとなった場合に
589 は、「問題の設定」に戻り、再度プロセスを廻し検討する。例えば、低頻度高影響とな
590 る地震ハザードに対しては、その不確かさが大きいため、対策案の前提条件となるハザ
591 ードに関する情報（規模、強さ、等）やリスク評価手法の高度化などについて最新知
592 見の更新が実施されているかモニタリングすることが考えられる[5-4]。上記のプロセ
593 スを通じて、各実施項目内及び実施項目間では組織内・組織外とのコミュニケーション
594 を行うとともに、意思決定プロセスの文書化、体制などもプロセスを進める上では
595 重要となる。例えば、地震の特徴的な点として、原子力発電所の中だけではなく、原
596 子力発電所の外も含めた広域に影響を与えることについても留意する必要がある、緊
597 急時の住民避難に際しては、避難地域の防災対応とのシームレスな連携など、ステー
598 クホルダー間のコミュニケーションを平時から実践する必要がある。

599 なお、ここでは運転段階での安全確保のための意思決定プロセスについて記載した
600 ものであるが、この考え方は、立地・建設段階および廃止措置段階においても適用可
601 能なものである。



602

603

604 6. 地震安全における緊急時の住民避難に向けたアプローチ

605 6.1. 緊急時の住民避難の準備と対応目標

606

607 地震による原子力発電所の異常事象に係る緊急事態に対する準備と対応は、地震による被害の影響と原子力災害の影響が重畳することも前提に、次の事項を主な目標とすることが重要である。

609

610 ・ 地震災害と原子力災害の複合災害事象に対して、人の生命、健康に対する影響を緩和できるよう合理的に予測可能な範囲で実施可能な準備を行う。その際、地震被害により避難が困難となる状況を考慮し、避難することによるリスクと放射線リスクを鑑みて、可能な限り被害が軽微になる住民避難の対応を図る。

613

614 ・ 政府、規制機関、事業者、地方自治体、災害対応機関、情報メディア及び地域住民レベルで、平常時から効果的な住民避難や屋内退避に関する対応を準備する²⁰と共に、緊急時には、公助・共助・自助の連携等により、対応を確実なものにする。

617

618 ・ 地震により原子力発電所の異常事象に至らない場合でも、原子力発電所は、安全を確保した上で、一般構造物と比べ高い耐震性を生かし、設備、資機材等を地域の地震防災に活用すること等により、避難地域の地震に係る防災対応とのシームレスな連携を維持する。

621

622 6.2. 緊急時の住民避難、屋内退避等に関する計画・訓練

623

624 地震による原子力発電所の異常事象に係る住民避難や屋内退避が必要となる緊急時の対応のための計画・訓練については、次の事項を考慮することが重要である。

625

626 ・ 原子力発電所のハザード評価と一般防災におけるハザード評価の違いに基づく

626

く、地震（随伴事象を含む）による原子力発電所に係る緊急事態の発生の可能

²⁰原子力防災及び地震防災に関わる法令（原子力基本法、原子炉等規制法（核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律）、災害対策基本法、原子力災害対策特別措置法）、原子力災害対策指針（原子力規制委員会）、防災基本計画（中央防災会議）、防災業務計画（指定行政機関、指定公共機関）、地域防災計画（都道府県、市町村）、原子力事業者防災業務計画等）に基づき、対応を準備する必要がある。

- 627 性及び住民に起こりうる影響。
- 628 ・ 避難経路の閉塞に繋がる地震（随伴事象を含む）による道路被害、橋梁被害、
- 629 急傾斜地被害等と原子力発電所周辺及び避難経路の放射線量の時間的変化。
- 630 ・ 住民に対する情報の空白及び無秩序な自家用車避難等による避難計画の破綻
- 631 を防ぐための、地震による通信、避難道路等の社会インフラ被害による影響。
- 632 ・ 避難経路の道路啓開及び避難誘導のための資機材、避難車両等の資機材の管理
- 633 と調達能力。
- 634 ・ 住民避難計画への避難対象地域の状況を適切に反映するための、定期的な改訂
- 635 と実効的な避難訓練の実施による知見と住民意見のフィードバック。

636

637 **6.3. 平常時のリスクコミュニケーションによるステークホルダーの参画**

638 地震による原子力発電所の異常事象に係る緊急時の住民避難や屋内退避を実効的

639 にするために、ステークホルダーによるリスク把握、評価、対応、レビューの枠組み

640 が必要である。そのため、地震災害と原子力災害が重畳する複合災害に関するリスク

641 及び複合災害下における住民避難に係るリスクを地域で共有するリスクコミュニケ

642 ーションを平時から実践することが肝要である（解説 6-1：ステークホルダーと共有

643 するリスクコミュニケーションについて）。

644

645

【参考文献】

- 646 [3-1] 原子力学会標準委員会技術レポート, “原子力安全の基本的考え方について 第I編
647 原子力安全の目的と基本原則”, AESJ-SC-TR005:2012.
- 648 [5-1] IAEA INSAG25, ” A Framework for an Integrated Risk Informed Decision Making Process”
- 649 [5-2] 日本原子力学会, 「継続的な安全性向上対策採用の考え方について」, 2016 (発行準備中)
- 650
- 651 [5-3] 成宮他, 原子力安全確保における地震安全原則の必要性(5), 日本地震工学会・大会
652 2017.
- 653 [5-4] 日本原子力学会, 原子力発電所の継続的な安全性向上のためのリスク情報を活用した統合的意思決定に関する実施基準: 201x (新規策定中)
- 654