

原子力発電所耐震設計技術 規程／指針 [JEAC/JEAG4601-2008] の改定等の活動概要

平成27年6月
耐震設計分科会
山崎達広

報告内容

- JEAC/G 4601耐震設計技術規程/
指針の改定状況
- JEAG 4601原子力発電所耐震設計
技術指針(重大事故等対処施設編)
制定案について

原子力発電所耐震設計技術規程／指針 の改定 (JEAC/G 4601)

「原子力発電所耐震設計技術規程」 (JEAC4601-2008)

○ 仕様規定として策定

第1章 基本事項,
第2章 耐震重要度分類,

第3章 建物・構築物の耐震設計,
第4章 機器・配管系の耐震設計,
第5章 屋外重要土木構造物の耐震設計

「原子力発電所耐震設計技術指針」 (JEAG4601-2008)

○ 地震学会などの他分野との関連性が高い自然現象を取り扱う部分であり、指針として策定

第1章 基準地震動策定,
第2章 地質・地盤調査,

第3章 基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価,
第4章 津波水位評価

- 近年の地震等の教訓の反映
- 継続的取組み事項等の
新知見の反映

平成25年7月施行の新規制基準類

- (1) 実用発電用原子炉及び付属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則及び同解釈 (設置許可基準)
- (2) 実用発電用原子炉及び付属施設の技術基準に関する規則及び同解釈 (技術基準)

「原子力発電所耐震設計技術規程」 (JEAC4601) 改定版公衆審査受査
「原子力発電所耐震設計技術指針」 (JEAG4601) 改定版公衆審査受査

3. JEAG4601-20XXの改定の主なポイント

■東日本大震災等の教訓を踏まえた対応

- 東北地方太平洋沖地震に関する国の防災機関・研究機関等の検討事項等について「プレート間地震及び海洋プレート内地震の評価」の参考資料に反映

■継続的取組み事項等

- 新潟県中越沖地震の知見として内陸地殻内地震の震源特性等について参考資料に反映「不確かさ考慮」の参考とする
- 岩盤の動的強度、引張強さ等の試験方法を記載
- アンカー工等の対策工のモデル化を記載

等

■新規制基準への対応

- 津波評価のための地質調査を記載
- 地すべり、斜面崩壊、火山現象による津波の評価方法を追記
- 発生要因が異なる津波波源の組み合わせの考慮について記載
- 基準津波の定義を記載
- 確率論的津波評価(水位の超過確率)を記載

等

■その他

- 現在、原子力規制委員会において、各サイトの新規制基準適合性に係る審査として各検討課題に関する審査が進められており、必要と考えられる事項について反映

2. JEAC4601-20XXの改定の主なポイント

■東日本大震災等の教訓を踏まえた対応

■継続的取組み事項等

- 電力共通研究成果，公的研究機関等で実施された研究成果，他関連規格の改定等の最新知見の反映
 - フリースタANDING方式使用済み燃料ラックの耐震設計法
 - 動的機器の機能維持加速度の見直し

■新規制基準への対応

- 津波防護施設の耐震評価方法を記載
- 波及的影響評価について記載
- 安全性向上評価について記載

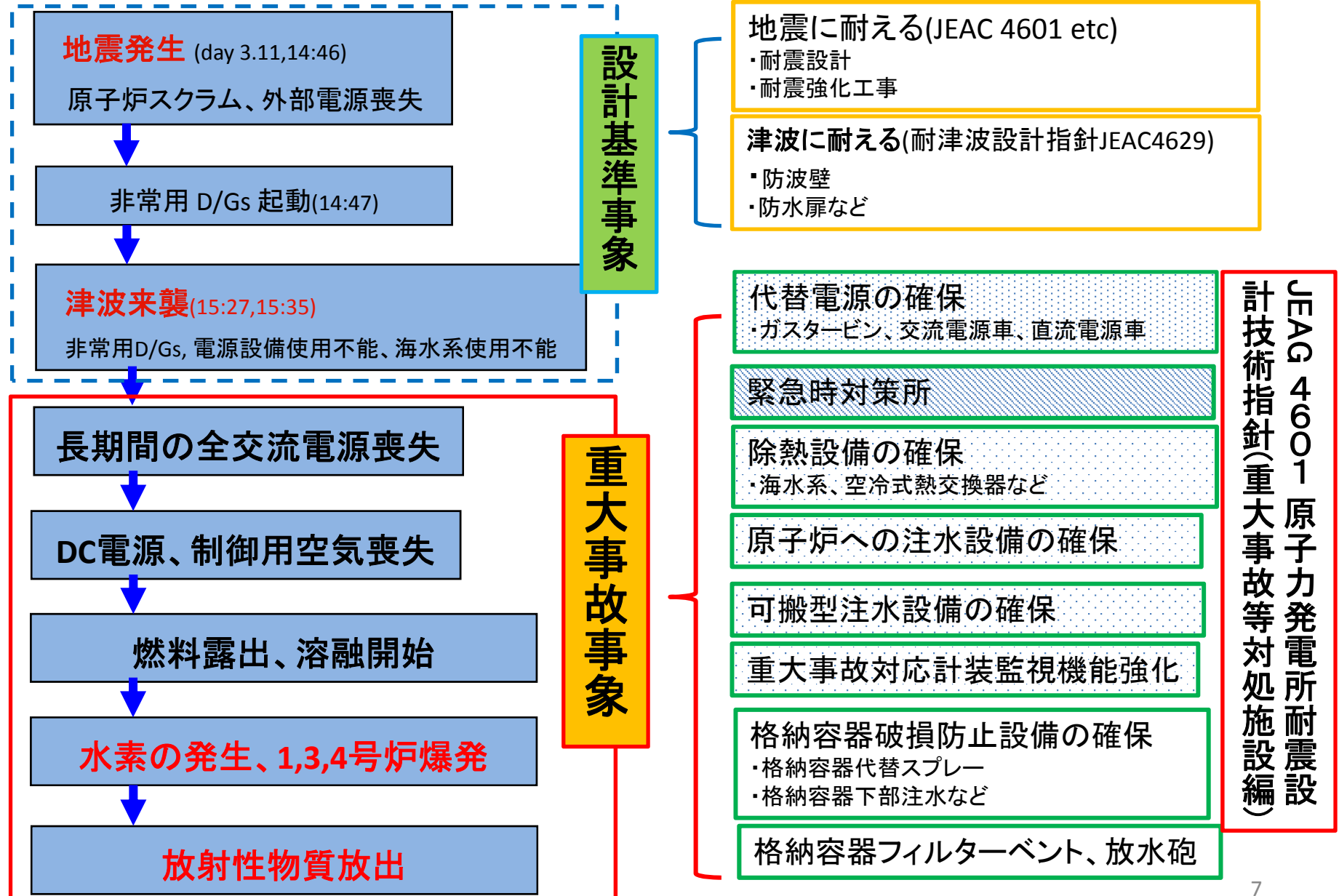
■その他

- 現在，原子力規制委員会において，各サイトの新規制基準適合性に係る審査として各検討課題に関する審査が進められており，必要と考えられる事項について反映
- **重大事故等対処施設に対する部分については，設計基準事象を超える部分であることを踏まえ，JEAG4601（重大事故等対処施設編）として策定する。**

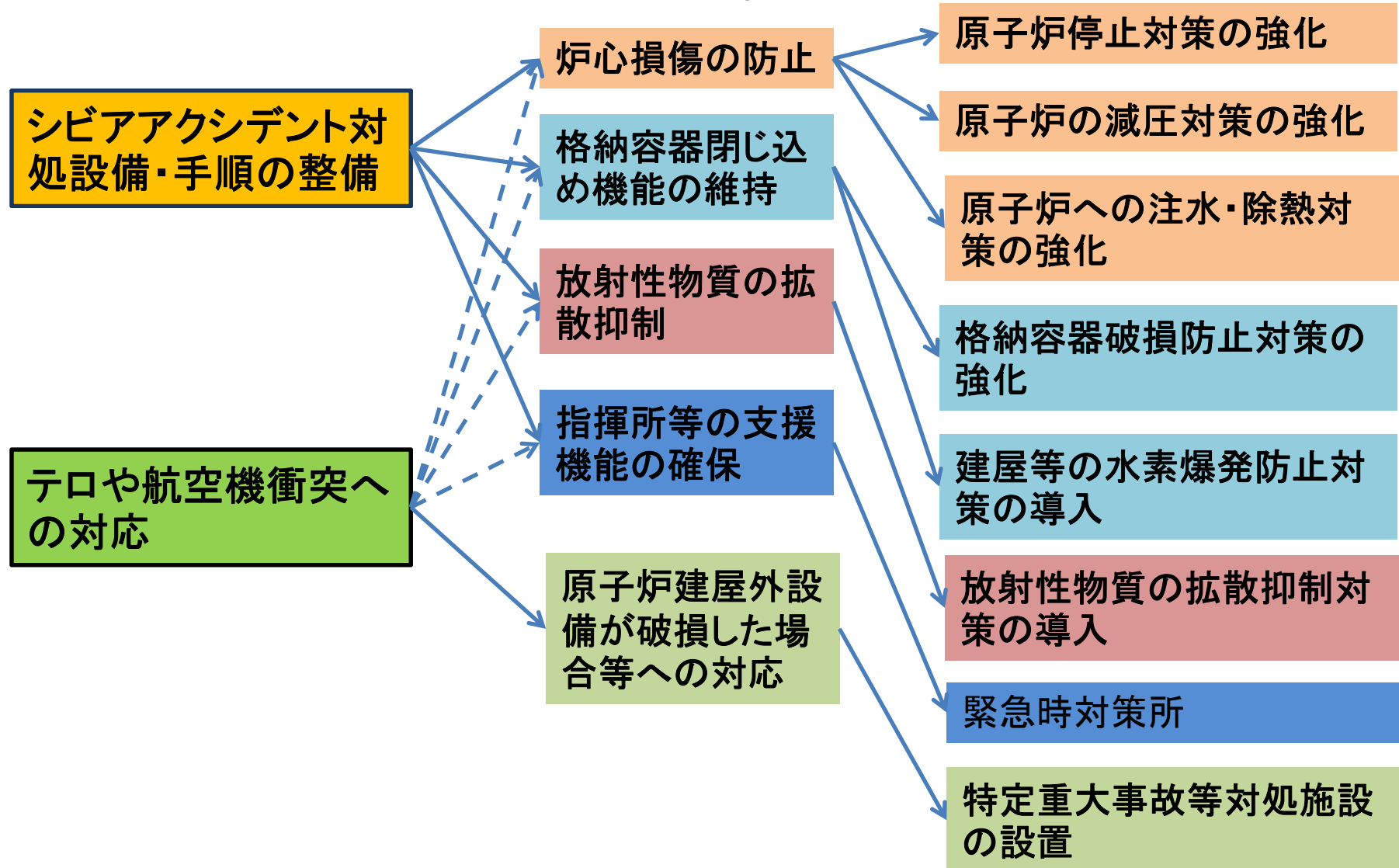
JEAG4601 原子力発電所耐震設計 技術指針(重大事故等対処施設編)

平成27年 6月

福島第一原子力発電所の事態の進展と重大事故等対処施設



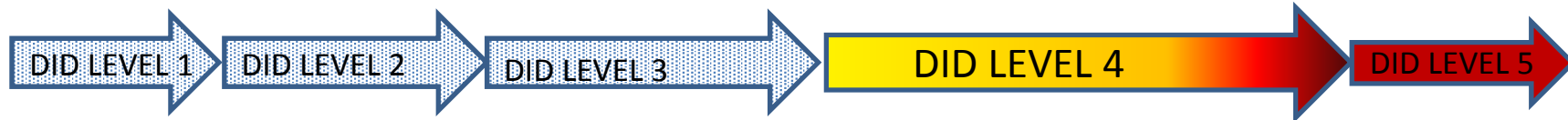
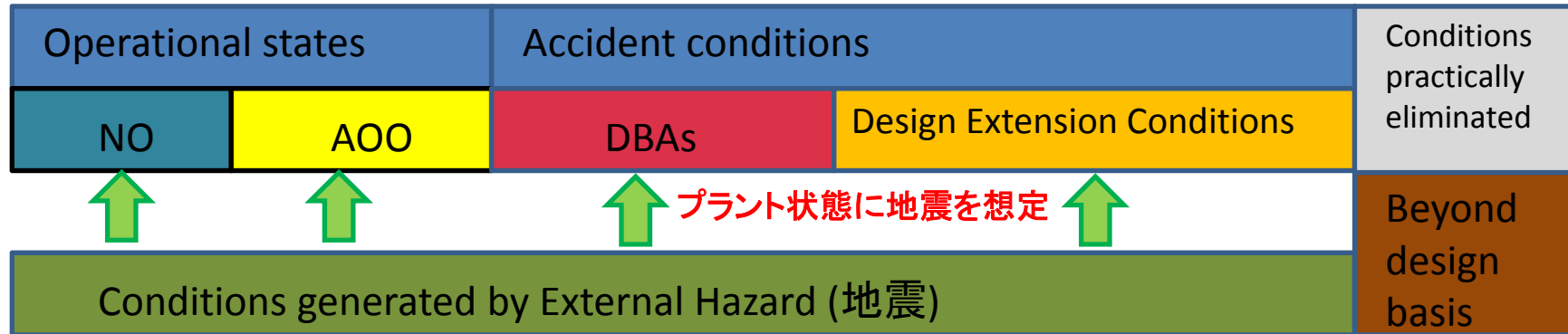
新規制基準の考え方と主要な要求(シビアアクシデントの進展を防止するための基準)



指針の対象

- 新設プラント
- 既設プラントで重大事故対処施設を追設する場合に適用
- 既設プラントの重大事故対処施設の改造に適用

プラント状態と外部事象の組み合わせ



異常運転や故障の防止

異常運転の制御及び故障の検知

炉心損傷の防止

重大事故の進展防止、制御および重大事故の影響緩和

放射性物質の大規模な放出による放射性影響の緩和

重大事故対処施設は代表的な重大事故シーケンスを想定して必要な設備の抽出を行う

- ・全交流電源喪失
- ・崩壊熱除去機能喪失
- ・原子炉停止機能喪失 等

NO: Normal Operation
 AOO: Anticipated Operational Occurrences
 DBA: Design Basis Accident
 DEC: Design Extension Condition

外部事象(地震)とプラント状態を 考えるもう一つの方法

- 外部事象(地震)を主体に考えると、
 - 発電所のプラント状態は、安全系の損傷度合い、外部事象(地震)に対するマネジメント能力等を考慮すると、プラント状態は多くの選択肢が考えられる。
 - プラント状態は一概には決まらない。
- 外部事象を主体にしたプラント状態の取り扱い
 - 最終目標である炉心損傷の防止や放射性物質の放出防止に対しては、確率論を用いて事故シナリオを想定してリスクを算定し、安全目標を基にして必要な重大事故対処設備やマネジメント策などの対策をとる



安全性向上評価で取り扱う(本指針の対象外であるが、
評価の結果設計に反映すべきものは本指針で考慮する)

深層防護(DID)について(INSAG-10より)

防護レベル	目的	目的達成に不可欠な手段
レベル1	異常運転や故障の防止	保守的な設計及び建設・運転における高い品質
レベル2	異常運転の制御及び故障の検知	制御、制限及び防護系、並びにその他のサーベランス特性
レベル3	設計基準内への事故の制御	工学的安全施設及び事故時手順
レベル4	事故の進展防止 シビアアクシデントの影響緩和 過酷なプラント状態の制御	補完的手段及び格納容器の防護を含めたアクシデントマネジメント
レベル5	放射性物質の大規模放出による放射線影響の緩和	サイト外の緊急時対応

深層防護レベルと設計の考え方

方針	事故の防止			事故の緩和	
深層防護	レベル 1	レベル 2	レベル 3	レベル 4	レベル 5
目的	異常運転、損傷の防止	異常運転の制御と損傷の検知	事故を設計で想定したもの以下に抑える	重大事故状態の制御、閉じ込め機能の確保(事故の拡大防止と緩和)	放射性物質の放出に伴う防護
設計の対応	保守的な設計と品質保証	防護設備 監視設備	工学的安全施設と事故対応手順	重大事故対応施設の設置と重大事故対応手順の作成 閉じ込め機能の確保	緊急時対策所

重大事故等対処施設の設備分類 (技術基準第五十条、設置許可基準規則第三十九条にて定義)

	名称(設置許可基準の定義による)	機能
事故防止設備	常設耐震重要重大事故防止設備	耐震重要度の高い設計基準事故対処設備(耐震Sクラス)の機能を代替するもの (圧力容器、燃料ピット、格納容器、非常用電源など) ・原子炉への注水 ・電源の確保 ・炉心からの除熱など
	常設重大事故防止設備(常設耐震重要重大事故防止設備を除く)	耐震重要度の低い設計基準事故対処設備(耐震B, Cクラス)の機能を代替するもの (格納容器圧力計装、取水口など)
事故緩和設備	常設重大事故緩和設備	重大事故が発生したときに事故の拡大防止または影響を緩和するもの (圧力容器、燃料ピット、格納容器、非常用電源、取水設備、緊急時対策所) ・格納容器冷却 ・原子炉ウェルへの注水 ・フィルターベントなど
	可搬型重大事故等対処設備	電源車、可搬型注水ポンプなど
	名称(設置許可基準の定義による)	機能
	特定重大事故等対処施設	故意による航空機衝突やテロにより炉心損傷した場合において、格納容器破損による放射性物質の異常な放出を抑制するもの ・熔融炉心冷却 ・格納容器の除熱、減圧、放射性物質除去など

IAEAのプラント状態とJEAGの運転状態の関係

Operational states		Accident conditions		Conditions practically eliminated
NO	AOO	DBAs	Design Extension Conditions	
			No core melt	Severe Accident(Core melt)
Conditions generated by External Hazards				Beyond design basis

運転状態 I	運転状態 II, III	運転状態 IV	運転状態Va	運転状態Vb
--------	--------------	---------	--------	--------



設計対象事象からの急激な逸脱(クリフエッジ)を防ぐため、運転状態Vを想定する設備に対して十分な裕度を確保する

損傷モードに対する考慮の例

- **塑性崩壊の防止**には、温度依存の硬化特性を考慮した真の応力歪曲線を用いた弾塑性解析を行う
- **局部歪み損傷の防止**:3軸応力場における一軸の許容塑性ひずみを定義する(ASME Sec VIII div.2の例)

$$\bullet \quad \varepsilon_L = \varepsilon_{Lu} \exp \left[- \left(\frac{\alpha_{Sl}}{1+m_2} \right) \left(\left\{ \frac{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{3\sigma_e} \right\} - \frac{1}{3} \right) \right]$$

- **座屈の防止**
 - 分岐座屈解析又は弾塑性座屈解析の実施
- **繰り返し荷重による損傷の防止**
 - 繰り返し荷重が想定されるところには疲労解析を実施する
 - 弾性解析による等価応力を用いる方法
 - 弾塑性解析による方法
 - 弾性解析と構造応力による方法(溶接構造物の溶接箇所を考慮する方法)
- **ラッチェティングに対する考慮**
 - 疲労評価を満足したとしてもラッチェティング評価は実施する

外部事象に対する設計要求

- ・基準地震動に対して安全機能が損なわれないこと
- ・基準津波に対して安全機能が損なわれないこと
- ・想定される自然現象に対して安全機能が損なわれないこと

想定される外部事象に対し事故を起こさないよう設計

仮に、事故が発生した場合
想定される外部事象に対し影響拡大防止と緩和策の成立を確認

プラントの発生荷重と地震の組み合わせ

荷重の継続時間と地震の発生頻度を考慮しスクリーニング基準10-7を適用する

通常運転時

- ・通常運転時
- ・停止時
- ・定検時
- ・待機時
- ・試験時

【地震起因で設計基準事故に至らないことを確認】

通常運転時の荷重と地震を組み合わせる。地震時には待機状態であっても、運転時を想定する等の保守的仮定をおく。地震起因で設計基準事故に至らないことを確認する。

+ 通常運転時の地震の想定

設計基準事故時の想定

- ・原子炉冷却材喪失
- ・主蒸気ライン破断
- ・制御棒落下(BWR) など

【(仮に) 設計基準事故が発生した場合も想定】

設計基準事故は地震の独立事象として扱い、事故と地震を組み合わせる。地震によって重大事故に進展しないことを確認する。

+ 設計基準事故後の地震の想定

JEAC 4601 (prevention)

重大事故の想定

- ・全交流電源喪失
- ・崩壊熱除去機能喪失
- ・LOCA時炉心入機能喪失
など

【(仮に) 重大事故が発生した場合を想定】

重大事故は地震の独立事象として扱い、事故と地震を組み合わせる。重大事故の封じ込め、影響拡大の緩和を確認する。

+ 重大事故後の地震の想定

JEAGXXXX (Prevention & Mitigation)

安全対策と地震時の設備評価の関係整理

事象	安全対策	設備分類	地震時の評価クライテリア	対応する民間規格
設計基準事象	<ul style="list-style-type: none"> ・耐震強化対策*¹ ・耐津波防護対策*¹ (ドライサイト化) ・その他自然事象への対策 (竜巻・火山等) 	耐震重要度分類 <ul style="list-style-type: none"> ・Sクラス ・Bクラス ・Cクラス 	許容限界 C _S 許容限界 D _S	JEAC4601
重大事故	<ul style="list-style-type: none"> ・炉心損傷防止対策*² ・格納容器破損防止対策*² ・放射性物質の拡散抑制対策*² 	重大事故対処施設 の設備分類 <ul style="list-style-type: none"> ・重大事故防止設備 ・重大事故緩和設備 ・特定重大事故等対処施設 	許容限界 E _S	JEAG4601 重大事故対処編

注) *¹ : 設計基準に従って、各設備を重大事故に至らないよう耐震設計する。
 *² : 設計基準に基づく設計により、地震で重大事故は起こらないが、地震以外の要因で重大事故が起こったと仮定。
 (重大事故時) 更に地震が発生した場合を想定して、対象となる設備の機能が健全であることを評価する。

重大事故対処設備と地震荷重の組み合わせ

設備S	運転状態+地震	SA時、短期	SA時、長期
常設耐震重要重大事故対処設備(Sクラス代替)	運転状態、I,II,III,IV+Ss	重大事故防止設備はSAの発生を防止するための設備であり、DB設備と同様の設計条件を適用し、SA時荷重等は考慮しなくてよい	
常設重大事故防止設備	運転状態、I,II,III,IV+B,C クラス地震		
常設重大事故緩和設備	待機状態+Ss 運転状態V+Ss	SA時の温度、圧力、動的荷重、環境条件を考慮する	SA長期荷重+地震力 SA発生確率、温度、圧力事象の継続時間を考慮して、組み合わせる地震力を決める 例、Ss:5 × 10 ⁻⁴ /年、Sd:10 ⁻² /年 スクリーニング基準10 ⁻⁷ /年
可搬型	待機状態でのSsを想定し機能維持を確認		常設設備の多様性のために設置し、配備にあたり分散配置を考慮する また、可搬型本体は事故荷重等の影響を考慮するが、事故荷重を受けない場所に配備されることから事故時荷重との組み合わせは考えない
特定重大事故防止設備 (炉心損傷後の格納容器破損防止を目的とする) テロや航空機落下に限定	待機状態+Ss 運転状態V+Ss	特定重大事故防止設備の事故時の取り扱いは重大事故対処設備の考え方を参照できるもののテロ対策等プラントの機微情報を含むことから指針の対象外とする	

ご清聴ありがとうございます