

耐震設計審査指針の考え方 と過酷事故対策について —「残余のリスク」の取り扱い—

平成23年年7月15日

東京都市大学 平野光将(JNES技術顧問)

1

発表内容

I. 耐震設計審査指針の考え方

1. 改定の背景と経緯
2. 改定耐震設計審査指針の特徴と意義
3. 残余のリスクの取り扱い
4. 耐震バックチェック

II. 過酷事故対策(アクシデントマネジメント:AM)

1. AM整備までの経緯
2. AM整備
3. 定期安全レビュー(PSR)
4. 緊急安全対策
5. 原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書
6. 我が国原子力発電所の安全性の確認について
(ストレステストを参考にした安全評価の導入等)

2

I 耐震設計審査指針の考え方

1.改定の背景と経緯

耐震設計審査指針は、原子力安全委員会が原子力発電所の耐震安全性を審査するための基礎とする公開内規であるが、原子力安全・保安院の行政庁審査でも用いられている。

■ 背景

旧耐震設計審査指針は昭和56年に策定されて20年余経過し、特に、平成7年の兵庫県南部地震に関する調査研究の成果等を通じて、断層の活動様式、地震動特性、構造物の耐震性等に係わる貴重な知見が得られており、また社会情勢の変化が生じた。

- 地震学・地震工学における最新知見の蓄積等
 - 地震観測データの増加
 - 地震動策定方法の進歩
 - 震源を特定しにくい地震の発生
 - 3次元的地震動評価方法の進展
 - 動的地震応答解析等耐震設計技術の進展
- 社会情勢の変化
 - 設計用地震動よりも大きい地震動発生の可能性
 - 一般公衆への説明責任

3

- 原子力安全委員会耐震指針検討分科会(計48回)(平成13年7月開始)
 - 別途、基本WG、地震・地震動WG、施設WG を計31回開催

○活動プロセス

- 分科会:耐震設計関連の23の検討課題の抽出
- 各WG:23の検討課題に関する最新知見の調査、整理
- 分科会:各WGにおける整理内容に基づき審議

(23の検討課題の最重要課題)

- ①地震時の安全確保の考え方と耐震指針の枠組み→「残余のリスク」
(確率論的手法と決定論的手法に係わる取り扱い)
- ②最新知見に基づく基準地震動策定方法 →不確かさの取り扱い
- ③直下地震に代わる震源を特定しにくい地震の取り扱い
- ④耐震重要度分類の考え方

その間、幾つかのサイトで指針の想定(S2)を越す揺れを観測したこと、また、平成18年3月末の北陸電力志賀原子力発電所2号機の運転指し止め判決において、金沢地裁が、

- ① 未知の直下型地震の想定が小規模過ぎる、
- ② 活断層の危険性の考慮が不十分、
- ③ 揺れの算定方法が妥当性を欠く、

と指摘したことが、分科会のとりまとめを加速させた。

4

2. 改定耐震設計審査指針の特徴と意義

改定耐震設計審査指針（新指針）は、5年数ヶ月の検討・審議を経て平成18年9月19日に策定されたが、

- ① 信頼性の高い地質・地盤調査を前提とし、不確実さを適切に考慮した基準地震動 S_s の策定方法の高度化
- ② S_s を超える地震動が生起する可能性は否定できないとし、 S_s を超える地震動による「残余のリスク」を認識し、それを合理的に実行可能な限り小さくすること

の明記が新指針の大きな特徴といえる。

5

(1) 地震を起因とする事象の特徴

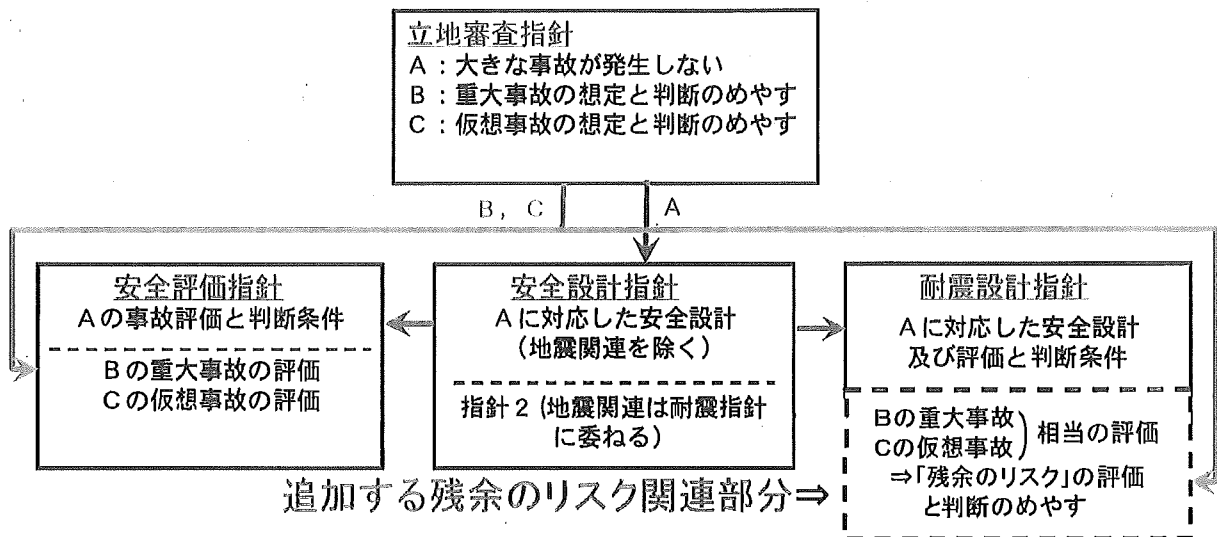
一般に原子力施設の安全性は深層防護の原則に基づく確定論的な対策・評価によって達成されているが、地震を起因とする事象は、以下のような要因から機器故障や人的過誤等に基づく内的事象と異なる特徴を持つ。

- a) 地震・地震動は自然現象で人間が制御できないこと
- b) 兵庫県南部地震以降著しい進歩を遂げた最新技術でも地震・地震動の規模、頻度、特性を精度良く（不確実さを小さく）推定することは難しいこと
- c) 大きな地震動に対し重要な系統・機器・構造物が同時多発的に損傷し、多重防護が有効に機能しない可能性があること

6

(2) 原子力施設の安全機能維持の考え方-1

- (i) 不確実さを考慮した基準地震動 S_s を策定し、重要な系統・機器・構造物が安全機能を維持するよう設計することで、原子炉等規制法にある災害を起こさないことを求めている。
 ⇒その結果として、必要な対策を含め「残余のリスク」を小さくする。



(2) 原子力施設の安全機能維持の考え方-2

- 「残余のリスク」が小さいことを確実にするため、
 (ii) 「残余のリスク」を確率論的耐震安全評価（地震PSA: Probabilistic Safety Assessment）により把握することを推奨している。

そのために、

- (iii) 様々な不確実さを考慮して策定する S_s の策定方法と地震PSAとは整合することが求められる。

実際、

- (iv) 地震PSAを構成する要素技術は全て決定論的耐震設計法及び耐震安全評価法と同一である。また、評価や設計に用いるデータも共通である。

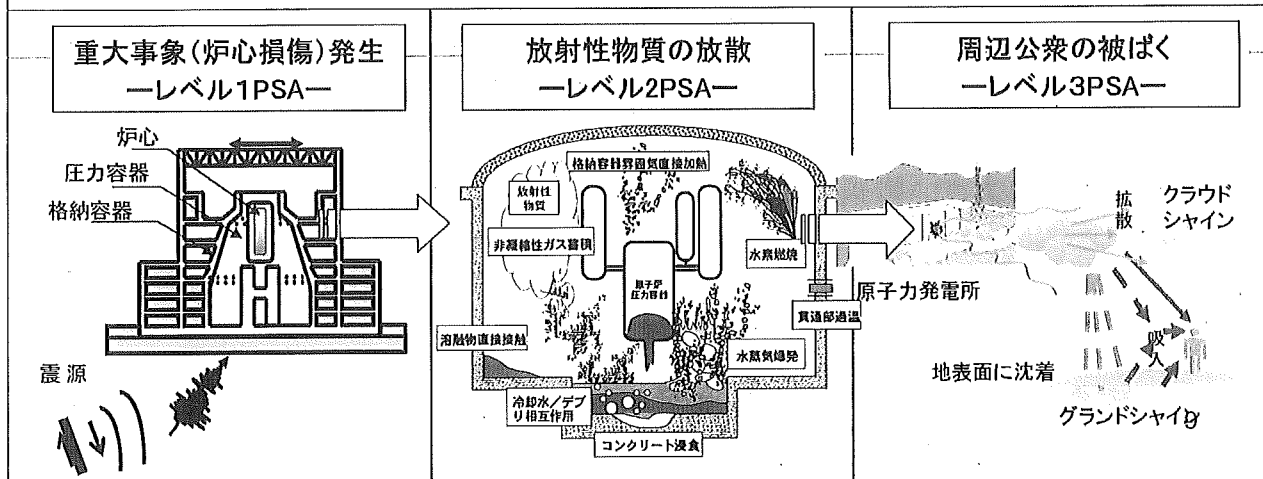
→残余のリスクを地震PSAで評価し、必要に応じて、プラント改造、AM整備によりリスク低減が可能

3. 残余のリスクの取り扱い

(1) 「残余のリスク」の定義

基準地震動 S_s を上回る地震動の影響が施設に及ぶことにより、

- ・ 施設の重大損傷事象が発生すること
- ・ 大量の放射性物質が放散する事象が発生すること
- ・ それらの結果として周辺公衆に対して放射線被ばくによる災害を及ぼすこと



(2) 「残余のリスク」の評価手法・判断指標

評価手法

「残余のリスク」の最も現実的な評価手法として、確率論的安全評価 (PSA: Probabilistic Safety Assessment) 手法が提案されている。

- ・ 施設の重大損傷事象評価 : レベル1PSA手法 (20年3月制定、21年3月発行)
- ・ 放射性物質の放散事象評価 : レベル2PSA手法 (同上)
- ・ 周辺公衆の放射線被ばく評価: レベル3PSA手法 (同上)

原子力学会地震PSA実施基準の策定
(平成19年3月制定、同9月発行)

判断のめやす

- ・ 安全目標(案):
敷地境界付近の公衆の個人平均急性死亡リスクと敷地周辺の公衆の個人平均がん死亡リスクが 10^{-6} /年・サイト程度以下
- ・ 性能目標:
炉心損傷頻度が 10^{-4} /炉・年、且つ、格納容器機能喪失頻度が 10^{-5} /炉・年以下

(3) 「残余のリスク」の評価による有用情報とリスク低減策

- 評価条件、評価モデル、使用データ、評価結果の陽な明示 ⇒ 透明性、説明性
- 耐震安全上重要な次の情報が得られる

- (1) 炉心損傷頻度(CDF)へ寄与する構造物・機器
⇒ 耐震重要度分類の適正化
- (2) 地震動下で複数の機器が同時に損傷する可能性
⇒ 共通原因損傷の把握
- (3) CDFへ寄与するシステム
⇒ システム冗長性の有効性
- (4) CDFへ寄与する事故シーケンス
(各種安全系がどのように破られるか) ⇒ 多重防護の有効性
- (5) CDFへ寄与する地震動の大きさ及び超過頻度の範囲
⇒ 地震動評価の信頼性範囲
- (6) CDFの把握 ⇒ 残余のリスクの安全目標/性能目標、国際標準との比較

- CDFに寄与の大きい構造物、機器及びシステムに着目し、耐震安全性の一層の向上を図り、その低減効果の確認 → 「残余のリスク」低減のための
例えば、構造強化の観点では、プラント改造、AM整備
 - ・タンクや配管のような静的機器の場合
→ 支持構造物(基礎アンカーボルトや配管サポート等)の強化
 - ・安全上重要な機器がポンプや電気盤のような動的な機器の場合
→ 制震、免震構造化による応答の低減

11

4. 耐震バックチェック

■ 原子力安全委員会(H18年9月19日)

原子力施設の耐震安全性は、基本設計に加えて、詳細設計、それらに基づく建設段階を通じて、さらに地震時における適切な運転管理等が相まって確保される。

安全審査とは別に、「残余のリスク」を含む耐震安全性に関する評価について、行政庁から報告を受ける。

■ 原子力安全・保安院

● 耐震バックチェック(H18年9月20日、事業者へ指示)

○ 第1段階(進捗状況は次ページ)

- ・不確実さを考慮した S_s の策定と建屋・機器の安全性評価
- ・不確実さを考慮した設計津波の策定と建屋・機器の安全性評価等

○ 第2段階(事業者から国への報告は未だ無い)

- ・地震PSA技術等を用いた「残余のリスク」の定量的評価

● 中越沖地震(H19年7月、M6.8、柏崎刈羽発電所近傍)

- ・旧耐震指針の設計応答の約2倍の加速度応答が観測
- ・最新知見(地震動増幅や建屋床柔性等)

→ 最新知見の考慮を全事業者に指示(H20年9月)

12

第1段階 耐震バックチェックの審議状況 中間報告には津波に関する
評価は含まれていない。

平成22年12月6日現在

設置者名	施設名	審議状況	設置者名	施設名	審議状況
北海道電力	泊	△	関西電力	大飯(3, 4号機)	◎
東北電力	女川(1号機)	◎		高浜(3, 4号機)	◎
	東通	△	中国電力	島根(1, 2号機)	◎
東京電力	柏崎刈羽 (1,5,6,7号機)	◎ (最終報告)	四国電力	伊方(3号機)	◎
	福島第一(3号機)	◇	九州電力	玄海(3号機)	◎
	福島第一(5号機)	◎		川内(1号機)	◎
	福島第二(4号機)	◎	日本原子力 発電	東海第二	○
中部電力	浜岡	△ (最終報告)	原子力機構	敦賀	△
北陸電力	志賀(2号機)	◎		もんじゅ	◎ (最終報告)
関西電力	美浜(1号機)	◎	再処理	△	
			日本原燃	六ヶ所	◎ (最終報告)

◎: 原安委でも妥当と評価 ○: 保安院での審議を終え、現在原安委で審議中
 △: 現在、保安院で審議中 ◇: 保安院で特別な扱いとして審議を実施し妥当評価
 ※最終報告以外は中間報告を審議

II. 過酷事故対策(アクシデントマネジメント: AM)

1. AM整備までの経緯

(1) 1979年3月 TMI-2事故

我が国の原子力安全確保対策に反映させるべき事項を抽出(52項目)

- ① 運転員の教育・訓練の強化
- ② 事故時手順の見直し
- ③ 発電所緊急時対策所の設置
- ④ 計測機器の充実・強化

(2) 1986年4月 チェルノブイル事故

○安全文化の醸成

(3) 1992年3月 共通問題懇談会報告書「シビアアクシデント(SA)対策としてのアクシデントマネジメント(AM)に関する検討報告書—格納容器対策を中心として—」

SAへの拡大防止対策及びSAに至った場合の影響緩和対策が原子炉施設の安全性の一層の向上を図る上で重要であり、海外諸国において格納容器対策が採択され始めていることを踏まえ、

我が国が採るべきAM、SA研究、PSA実施などの考え方について提案

(4) 1992年5月原子力安全委員会決定文(1997年10月20日一部改正)

「発電用軽水型原子炉施設におけるSA対策としてのAMについて」

- ・原子炉設置者が、原子炉施設の安全性の一層の向上を図るため効果的なAMを自主的に整備し、万一の場合にこれを的確に実施できるようにすることを強く奨励。
- ・行政庁は、AMの促進、整備等に関する行政庁の役割を明確にするとともに、その具体的な検討を継続して進めること。
- ・当面の処置として、行政庁から以下の報告を受け検討する。
 - ①新設原子炉施設については、当該原子炉施設の燃料装荷前までに整備するAMの実施方針(設備上の具体策、手順書の整備、要員の教育訓練等)
 - ②運転中又は建設中の原子炉施設の今後のAMの実施方針
 - ③上記①及び②で実施する確率論的安全評価
- ・関係機関及び原子炉設置者はSAIに関する研究を継続する。当委員会は、これらの成果の把握に努め所要の検討を行う。

15

(5) 1992年7月 通商産業省による産業界への要請

●PSAの実施とこれに基づくAMの整備

- ①内的事象の出力運転時のレベル1PSA及びレベル1.5PSA(格納容器機能喪失迄)を実施し、各原子力施設の特性の把握とAM候補の検討を1993年度末迄に行う。

また、格納容器ベンディングシステム、水素制御対策等の格納容器対策、運転手順書の整備、運転員の訓練等を含め、AMの技術的要件を検討する。

- ②検討結果を踏まえ、計画的かつ速やかに必要なAMを整備する。
- ③定期安全レビュー等において上記AMについて定期的に評価する。

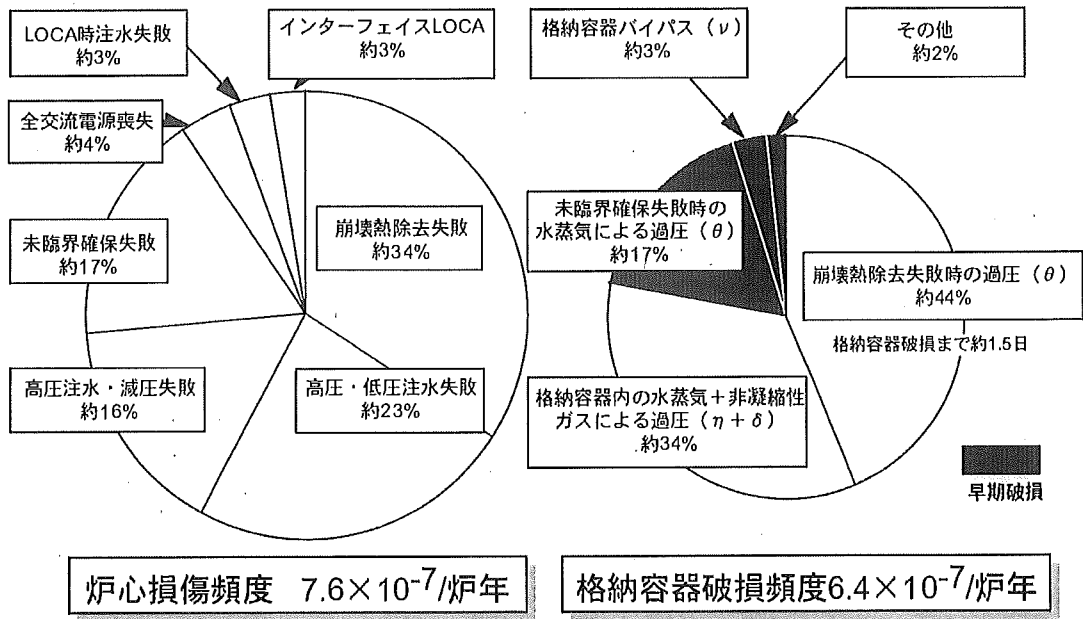
●その他

- ①電気事業者は、代表的な原子力施設を対象に1年以内に停止時PSA(レベル1PSA)を実施し、その結果を踏まえ、適切に対応
- ②電気事業者は、引き続きPSA手法の精度を高めかつ、その範囲を拡大する研究を行うとともに、機器故障率等のデータベースを整備

2. AM整備

BWRプラントのPSAの結果

PSAの結果 (内的事象、出力運転時)



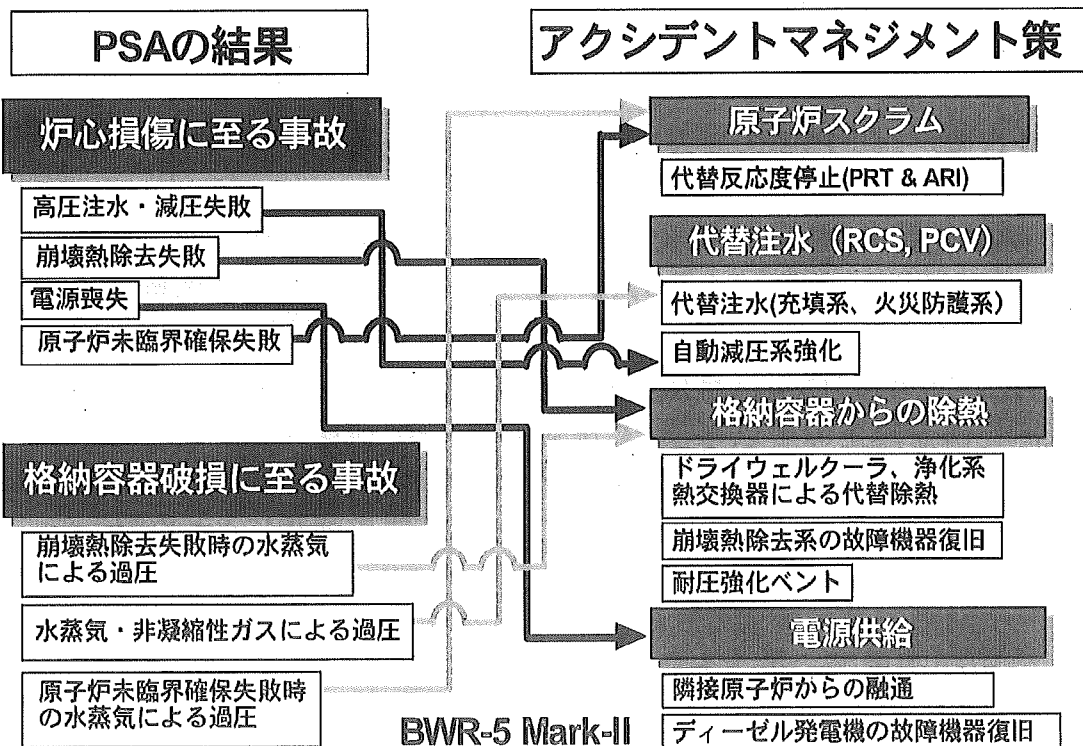
BWR-5 Mark-II

平成6年度、原子力安全解析所解析結果

17

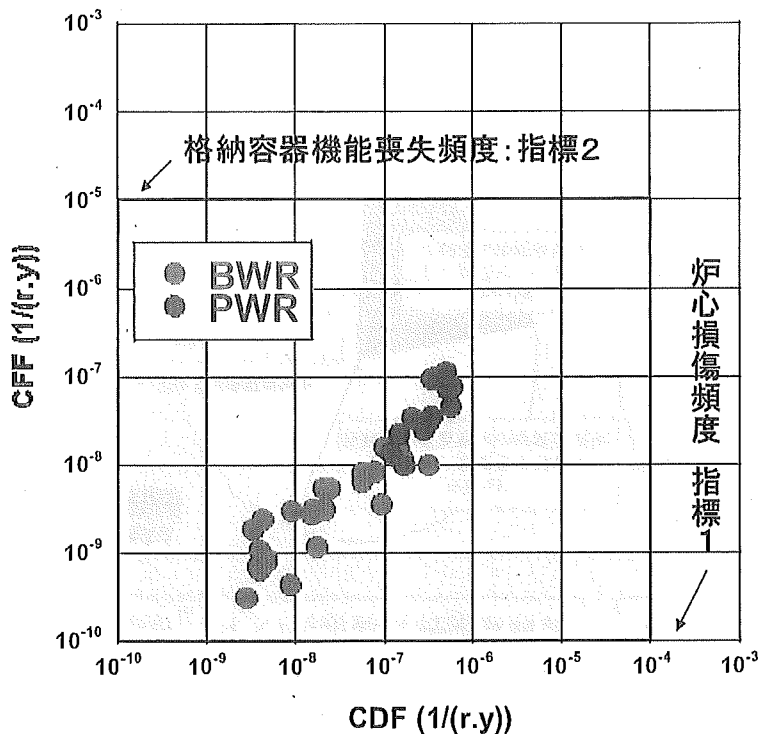
アクシデントマネジメント策の抽出

アクシデントマネジメント策抽出の手順



18

我が国のリスク評価結果と性能目標案との関係



○既設52基の「出力運転時の内的事象」のPSAの結果(2004年)は性能目標の値を十分に満足。

○地震リスク(残余のリスク)は耐震バックチェック(Phase1)に続いてPhase2として検討

原子力安全・保安院,「軽水型原子力発電所における「アクシデントマネジメント整備後確率的安全評価」に関する評価報告書」(平成16年10月)

19

3. 定期安全レビュー(PSR)(平成4年6月要請)

事業者の品質保証活動として、約10年間隔で最新の技術的知見に基づき既存の原子力発電所の安全性等を総合的に評価する。

- (1) 運転経験の包括的な評価
- (2) 最新の技術的知見の反映状況の把握及び必要な対策の立案
- (3) PSAの実施とAMの有効性把握及び必要な対策の立案

・結果を行政庁が専門家の意見を聴きつつ評価する。

→上記(3)でAMの定期的評価も行っていた。

- ・AM整備のPSA →安全上重要度の高い系統、機器の同定とその保全
- ・停止時PSA(平成14年3月)→プラント改造、待機除外設備構成管理
- ・次年度は火災PSAと仮合意、そしてその次は地震PSA?と議論

○実用炉規制の改訂(平成15年10月)←東電不適切記載事件(平成14年8月)

PSRを保安規定の要求事項とし法令上義務化(いわゆるシュラウド問題)

ただし、上記(3)(PSA関連)は、法的要求事項とするには十分な技術的知見が得られていないとして従前通り任意要求事項にとどめた。

→行政庁の評価が無くなる。

→AMの定期的評価も行政庁はしなくなった。

→PSAの範囲の拡大も無くなった。

→「残余のリスク」の概念の提案、導入→AM整備

20