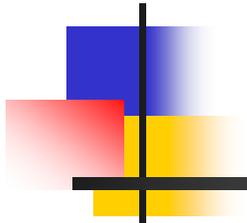


2012年秋の大会企画セッション
「シビアアクシデント対策に係る規格基準の検討動向」

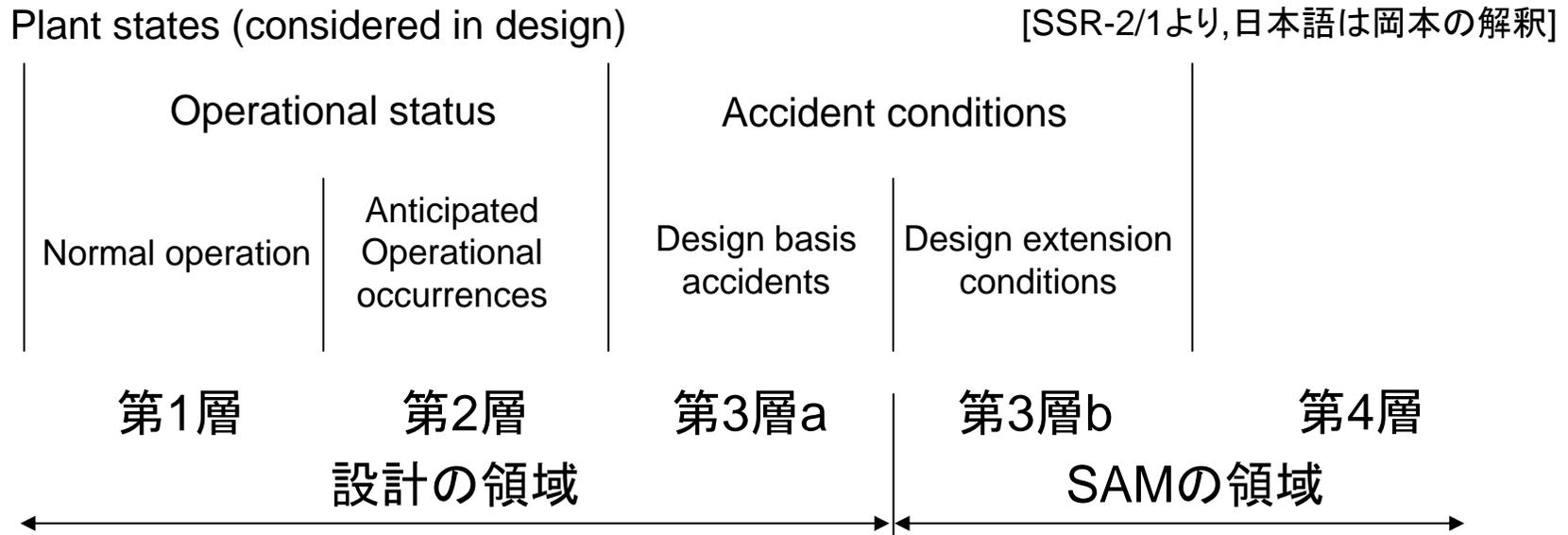
(3) SAM実施基準の検討の現状と 課題



平成24年9月20日
東京大学大学院 工学系研究科
岡本 孝司

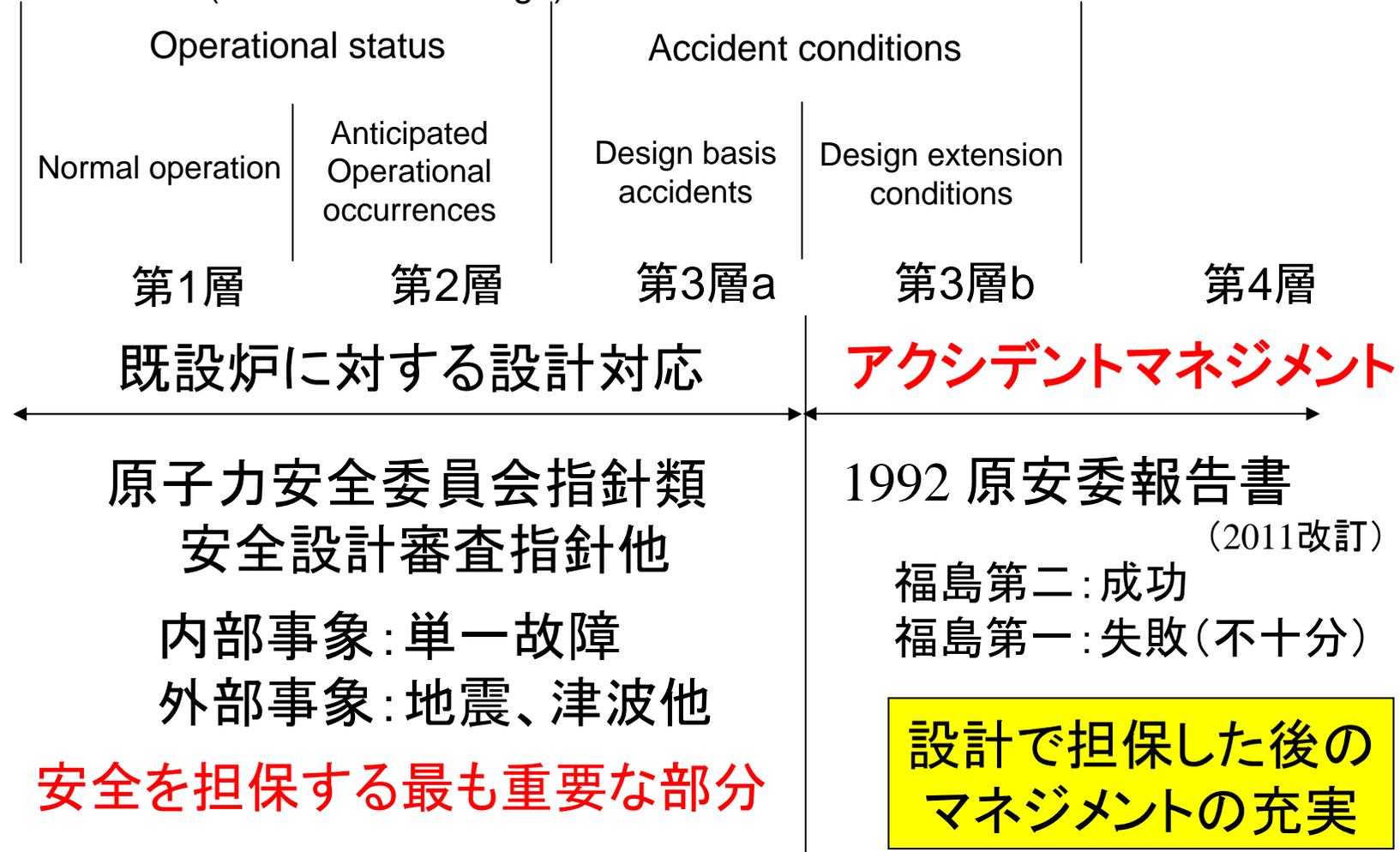
深層防護とSAMの関係

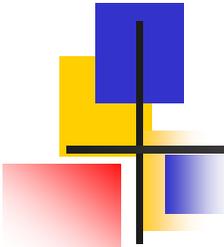
- 深層防護については、様々な解釈がなされているが、ここでは、IAEA SSR-2/1 (2012)によるものとする
- 第3層に区分されているDBAとDECを明示的に分離して考える。すなわち、DBAまでは設計指針で考慮し、DECとSA影響緩和(第4層)を合わせてSAMで考慮する。



深層防護と日本の規制の関係

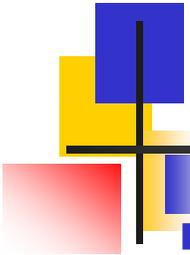
Plant states (considered in design)





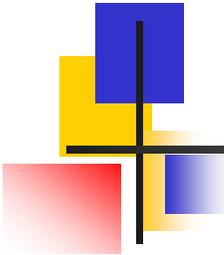
シビアアクシデントマネジメントの反省

- 内的事象に対するPRAをベースとしたAMに留まっていた。
 - 確率が小さいイベントは、放出量が大きくても考慮していなかった。
 - AMに対する教育・訓練が十分であったか疑問
 - B5bに対する対策がとられていなかった。
-
- SAに対する規格基準類が整備されていなかった。
 - 原子力安全における人と環境を守る目的の明確化
 - 深層防護第4層の拡充が必要



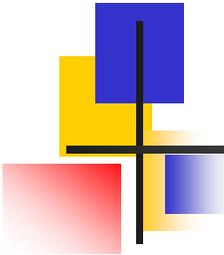
改善の視点

- 継続的改善
 - PDCAサイクルをベースとしたAM策定
- 事象の拡張とスクリーニング
 - リスクを考慮し、頻度だけではなく影響も考慮
- シナリオレス事象の導入
 - 初期条件が既に厳しい状態とする事象を考慮
- 評価手法
 - PRA、ストレステストなどの手法や工学的判断を活用
- システムの重要度分類
 - リスクを考慮した重要度分類と、具体的な運用
- 教育訓練の充実、具体化
 - 例えばスクリーニングアウトされた事象に対する討論



1. 制定の趣旨

- 国は、福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、IAEA提出報告書で外的事象に着目したシビアアクシデント(SA)の発生防止及びアクシデントマネジメント(AM)の充実、強化に言及。
- 原安委は、設計基準事象を超えた防護レベルの強化、外的事象を含めた確率論的安全評価(PRA)を活用したSAに係る安全評価の推進、法令要求化を行うことを決定。
- 日本原子力学会では、原子力発電所を取り巻く外的事象及び内的事象を含めた全事象に起因するリスクを適切に評価、把握した上で、SAのリスクを合理的に達成可能な限り低減するため、アクシデントマネジメント整備の考え方、設備改造または追加、手順書作成に関する技術要件を纏めた標準制定に着手。



2. 活動組織及び活動経緯

- シビアアクシデントマネジメント(SAM)分科会の位置付け
日本原子力学会システム安全専門部会の下部分科会として、SAM実施基準に関して産官学の専門家により学術的に公平、公正な審議を実施。
- 主査 - 岡本孝司東大教授、副主査 - 杉山智之JAEA研究主幹
- 委員構成
PRA、安全工学を専門とする学識経験者、学術機関、規制機関、電力及びメーカー等の関係者(全21名)
- 分科会活動実績
第1回分科会(H23.12)～第9回分科会(H24.9)を開催し、**実施基準の本文案及び附属書案について審議を実施中。**

3. AMの定義及び安全対策における位置付け

アクシデントマネジメントの目的

アクシデントマネジメント(AM)は、設計基準事象を超え、炉心及び使用済み燃料プール内の燃料が大きく損傷するおそれのある事象に対して、①炉心及び使用済み燃料プールの燃料損傷の防止、②事故進展の抑制、③格納容器の健全性確保、④放射性物質(FP)放出の最小化、⑤長期安定状態の達成を目的とする。

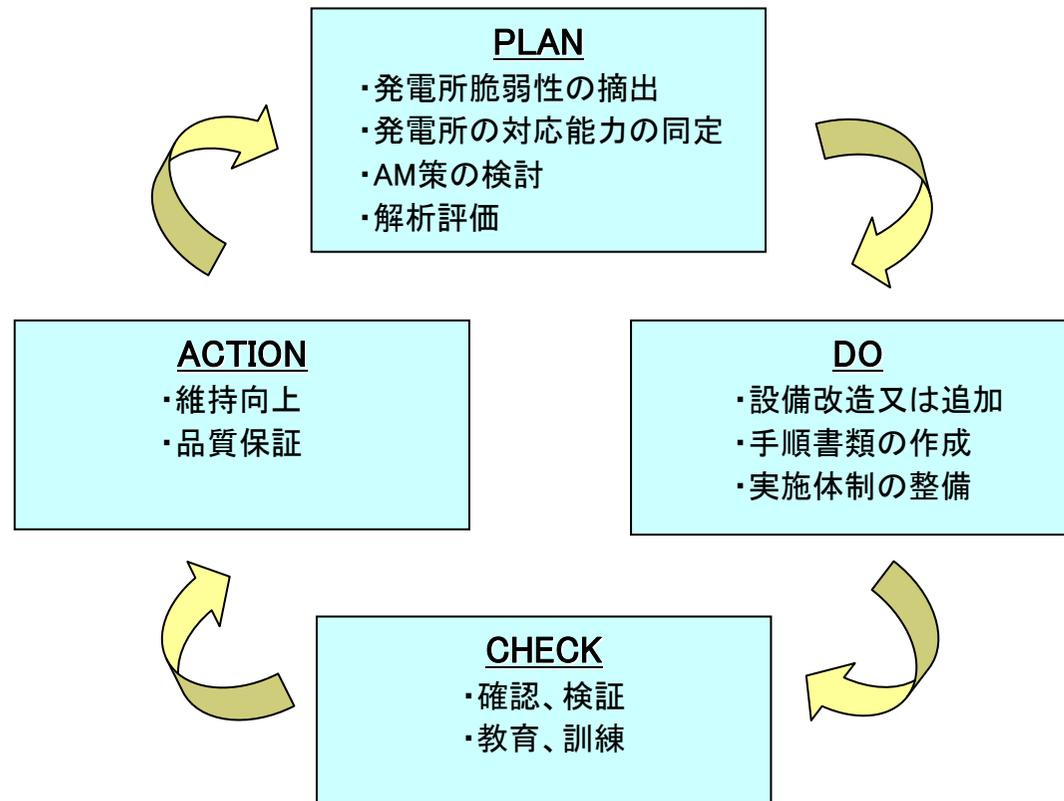
【参考】WENRAの深層防護の考え方

深層防護レベル	プラント状態	対策系
レベル1	通常運転	—
レベル2	異常な過渡変化	運転の制御、状態監視
レベル3	3a 設計想定事象(想定単一起因事象)	安全系、事故手順
	3b 設計拡張事象(SBO、ATWS等の多重故障)	工安施設、事故手順
レベル4	想定炉心溶融事故	炉心溶融緩和の工安施設、管理
レベル5	所外緊急時対応レベル	防災活動

(出典: Safety Objectives for New Power Reactor Reactors Study by WENRA RHWG より抜粋)

4. アクシデントマネジメントの確立及び維持

- アクシデントマネジメントは下記のPDCAスパイラルに則り、継続的な改善に努める。



5. プラント脆弱性の把握①

- 事象の想定について
 内的事象、外的事象及びこれらの重畳事象を考慮。但し、想定外事象の完全排除は困難であり、広範な安全機能の喪失 (Loss of Large Area: LOLA) も想定し、ロバスト性を高めた対策を検討。
- 想定事象の抽出(棄却)方法
 影響有無等に関する定性的判断(プラントに近接した場所で発生しない、事象進展が遅く対応の時間裕度がある、等で棄却)、事象の発生頻度で定量的スクリーニングを実施 (IPEEEガイダンスの棄却例は 10^{-5} /炉年)

内部ハザード	外部ハザード	
	自然ハザード	人為ハザード
内部火災	地震	サイト外での爆発
内部溢水	外部火災	サイト外での有毒物質
内部ミサイル	外部溢水	航空機衝突
内部爆発	強風	
重量物落下	生物学的現象	
化学物質放出	異常気象	

出典 : ハザードの分類例
(IAEA SSG-3)

6. プラント脆弱性の把握②

重要シーケンスの同定方法 (NEIガイドライン)

リスク上重要な想定事象を抽出し、プラントの重要な安全機能への影響度を、PRA、立地条件、設備及び運用等の実態を踏まえ評価し、重要シーケンスの同定、プラントの脆弱性を抽出

事故シーケンスのグループ分類

- ・ 炉心損傷の終状態に至るプラント応答、プラント・システムの損傷状態の類似性でグループ化
- ・ 互いのグループの独立性(シーケンスの重複無し)の確認

事故シーケンス発生頻度によるスクリーニング

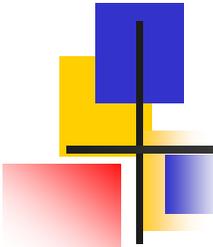
- ・ 事故シーケンスグループの発生頻度の大きさ、全事故シーケンス頻度に占める寄与度に基づきスクリーニングを行い、重要なシーケンスグループを抽出

判断基準、現地調査に基づく脆弱性抽出

- ・ 安全、配置設計の特性、プラントウォークダウンによる設備、運用を踏まえてプラントの脆弱性を抽出
- 例) CDF基準に基づく米国事業者の対応例
- CDF > 全CDFの50% or CDF > 10^{-4} /炉年
発生可能性の削除、低減に着目
- 全CDFの50% > CDF > 全CDFの20% or 10^{-4} /炉年 > CDF > 10^{-5} /炉年
炉心損傷の防止に着目
- CDF < 10^{-6} /炉年 → 特定の措置不要

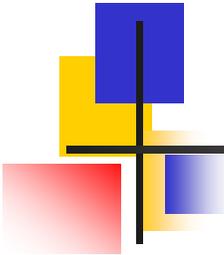
重要な事故シーケンスの同定

- ・ 重要な事故シーケンスグループ内において全事故シーケンス頻度の寄与度等に基づいて重要シーケンスを同定
- 例) Columbia発電所の重要シーケンス(地震起因)
- ① DG故障、② 配電盤喪失による開閉器室の冷却喪失、③……



7. 発電所の対応能力の調査

- 対応能力の留意点として下記を確認、検討
SAの発生防止及び影響緩和の各々に対して、有効と考えられる全ての対応能力全て対応能力を同定
 - ・ 設計と異なる目的での設備使用、設計ベースを超えた利用の可能性
 - ・ 故障した設備を復旧し、再使用の可能性
 - ・ 従来と異なる設備構成、または仮設設備の使用可能性
 - ・ 休日、夜間における発電所の十分な緊急時対応
 - ・ 自然災害発生時の劣悪な環境条件を想定したAMの訓練の実施有無
 - ・ 高放射線下作業に関する遮へい設備の整備や手順上の配慮
 - ・ AM策に係る設備、手順は炉心損傷、格納容器バウンダリの破損防止に対する余裕の確保、また事象進展を遅らせるための整備

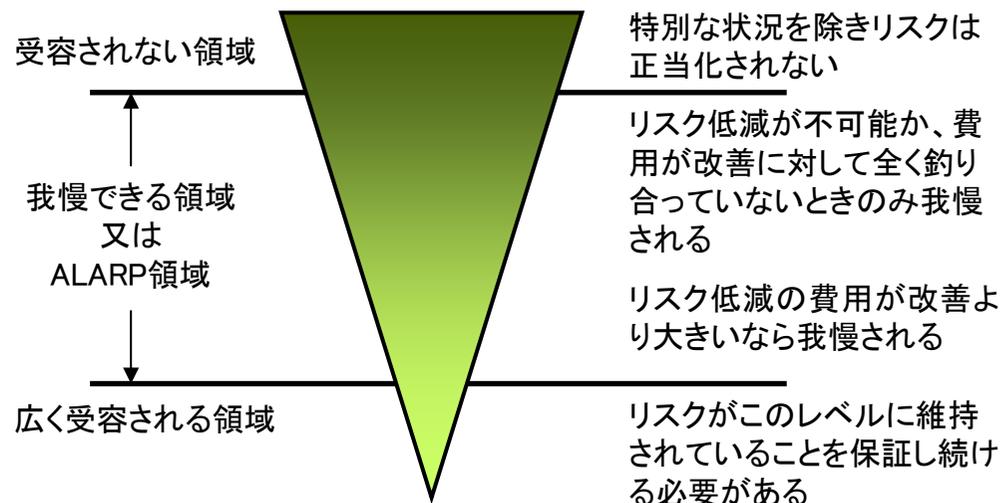


8. SAMの方策の決定①

- アクシデントマネジメントの策定
炉心損傷の防止、事故進展の抑制、格納容器の健全性確保、FP放出の最小化、長期安定状態が可能な方策。
プラントの脆弱点に対して、合理的かつ実行可能な範囲で設備の改造又は追加を考慮。
現場へのアクセスルート、時間、作業環境上の制約及び使用可能な資機材の制約等を考慮、等。
- アクシデントマネジメント策の体系的評価
対策実施による影響、外的事象及びプラント共用部からの悪影響伝播、時間的制約における不確定性等を考慮して体系的評価を実施。
- アクシデントマネジメント策の有効性確認
熱水力解析コードを用いる場合は最適評価を原則とし、モデルの不確定性も考慮。
外的事象の対応を目的とする対応方策に関しては、当該設備が外的事象の影響に対して適切な耐性を有するかを評価、等。

9. SAMの方策の決定②

- 合理的で実行可能なAM策の考え方
限られた発電所のリソースで安全性確保に有効でかつ合理的な対策を選定する。ALARP (As Low As Reasonably Practicable) の思想では、「我慢できる領域」はリスクが合理的に実行可能な限り低くなっている領域で、社会的に受容される領域を指す(米国のバックフィットルールにおけるValue-Impact評価もALARPの思想)。



米国 (NEI) のSA緩和代替策の例
米国のSA緩和代替策では、所外及び所内の被ばくコストと経済性コストを評価し、コストベネフィットでの有益性を判断基準として複数の代替策から方策を決定

出典:「英国HSEのリスクレベルとALARP」
原子力安全白書(H14年度版)

10. 設備改造又は追加①

■ 設備の改造又は追加の実施方針

SAの防止或いは緩和に対して重要な設計上の特性を評価し、合理的かつ実行可能なAM策を策定、既存の設備や計装を改造。

改造、追加設備は既存システムからの適切な独立性、事故条件下で適切な余裕を確保、等。

■ 設備の改造又は追加の実施要件

AM設備の整備にあたっては、既設の設備構成と配置を考慮。

AM設備は十分な信頼性を確保し、既設設備から適切に独立したもの。

計装はSA条件下でも適切に耐え、最悪な状態で相対的経時変化を把握。

■ AMのためのBWRの設備例

①代替注水手段

復水補給水系、消火系設備による低圧注水(配管接続)

②格納容器からの除熱手段

耐圧強化ベントによる減圧操作の適用範囲の拡張

③電源供給手段

複数基立地における交流電源(6.9kV、460kV)の電源融通(タイラインの設置、手順の整備)

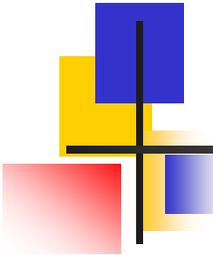
11. 設備改造又は追加－②

■ AM設備の重要度分類の設定

アクシデントマネジメント策に係る設備等の安全上の重要度は、①設備等が有する安全機能、②安全機能が喪失した場合の影響、③安全機能を達成することが要求される頻度、④安全機能の継続維持が必要な期間等の点から、決定論的手法を主に、確率論的手法で補完しつつ決める。

【重要度分類の設定例(暫定)】

重要度	定義	備考(対象シーケンス等)
クラス1	重要なシーケンスに関連(基本的要求事項に適合)	外的事象のリスク(地震、津波等)低減への寄与が大きく、内的事象のATWS、SBO、CVバイパス、等に対するAM策
クラス2	考慮すべきシーケンスに関連(基本的要求事項に部分的に適合)	内的事象PRAで検討したシーケンスに対する既存の主要AM策
クラス3	検討しておくべきシーケンス(基本的要求事項に適合無し)	クラス1、2以外のAM策



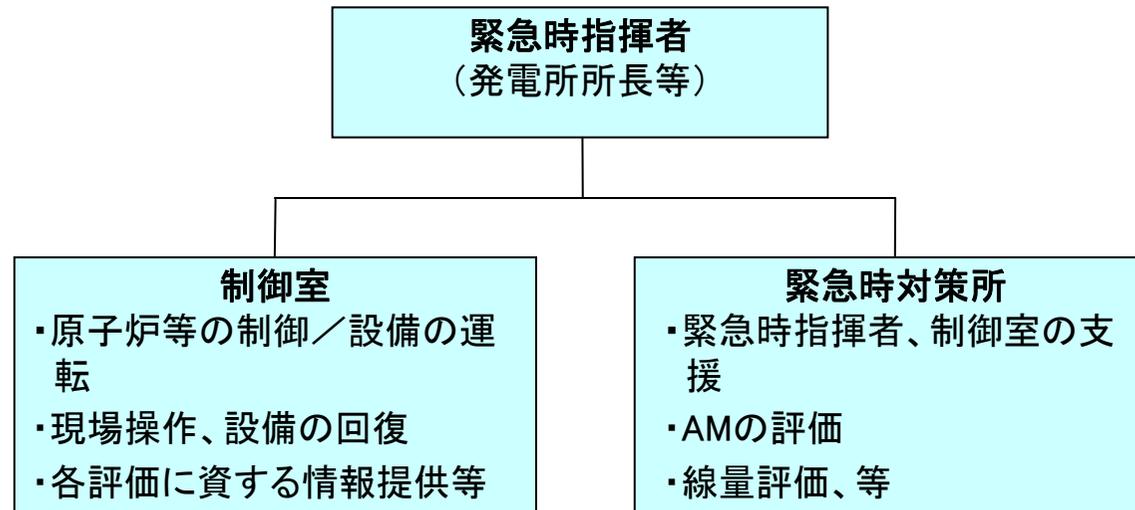
12. 手順書の作成

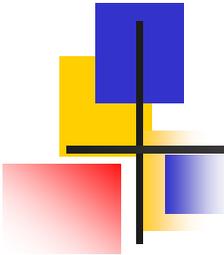
- 作成方針
発電所の脆弱性、対応能力、SA策に基づき手順書類を作成。
緩和に関する手順書類は、措置による影響評価、結果の不確定性の考慮が可能な柔軟性のあるもの(規範的・定型的ではないもの)。
- 考慮すべき事項
複数基同時にSAが発生した場合、操作の選択(優先順位を含む)、判断基準となるパラメータ、その入手方法及び具体的判断基準、事象進展に応じた複数の手順書類と各手順書類相互の移行基準の明確化。
制御室及び緊急時対策所の居住性、他の関連区域の接近可能性(放射線、熱、空気、照明、設備損壊)。
計装・支援のための計算機・通信に必要な電源確保、等。

13. 実施体制

■ 組織の構成

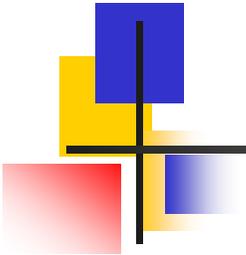
所内の緊急時対応組織の技術的要素は、緊急時指揮者(発電所所長)をトップに制御室、緊急時対策所から構成。事業者の本店、他サイト、社外組織からの支援を確立。





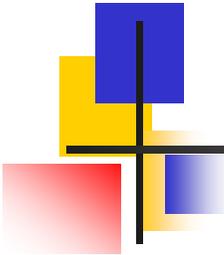
14. 確認及び検証

- AM策の確認・検証
AM策が深層防護の観点で十分であり、想定外的事象に対して適用可能。
複数プラントが同時にSAIに至った場合にもAMの有効性が確保。
基準・指針等への適合性、既存の安全機能への悪影響が無い、等。
- AM策のレビュー
独立した第三者によるレビューの活用
プラントウォークダウンによる現場確認
プラントシミュレータ、解析ツールを使用した手順書類の確認
確認プロセスの文書化、得られた知見のAM策への反映



15. 教育及び訓練

- 実施方針
アクシデントマネジメントの役割分担、責任範囲に応じて計画目的、技術、実施場所・効果の確認について体系的に策定
- 考慮すべき事項
教育・訓練(机上教育、実習・演習による訓練)の方法、頻度
教育・訓練に使用する資機材の整備・維持管理を実施
教育・訓練の有効性を評価、評価結果を計画へ反映



16. 維持及び向上

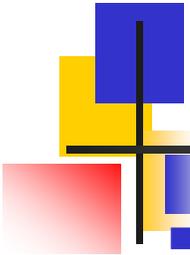
- 調査・監視
発電所の設備、手順書、実施体制の変更
AM策の策定時に使用した参考技術文書の改訂
SAに関する研究、解析ツールに関する国内外の知見
国内外の事故・トラブル事例に基づく新知見
- 影響の確認
プラント脆弱性、AM策の有効性、妥当性の確認方法等への影響を確認
- 整備に関する再検討
確認・検証の妥当性確認で問題有りと判断された場合
教育・訓練でフィードバックが必要と判断された場合
AM策の策定、有効性、妥当性に対して影響が確認された場合

17. 今後の予定

スケジュール

今後、基準案の審議、パブコメを経てH25.12に制定する予定
 (SA規制要求をミニマムリクワイヤメントとして反映すべく、規制
 機関の動向を注視)

タイムスケジュール	H23.12	H24.12	H25.6	H25.12
主要工程	分科会設置 ▽	中間報告 ▽	最終報告 ▽	制定 ▽
関連文献の調査・分析	[Yellow bar from H23.12 to early H24.12]			
標準作成のための検討	[Yellow bar from early H24.12 to mid H24.12]			
骨子の作成	[Yellow bar from mid H24.12 to early H25.6]			
原案の作成、レビュー	[White bar from early H25.6 to H25.12]			
パブコメ、制定	[White bar from H25.12 to H25.12]			



18. 終わりに替えて

- 継続的改善
 - PDCAサイクルをベースとしたAM策定
- 事象の拡張とスクリーニング
 - リスクを考慮し、頻度だけではなく影響も考慮
- シナリオレス事象の導入
 - 初期条件が既に厳しい状態とする事象を考慮
- 評価手法
 - PRA、ストレステストなどの手法や工学的判断を活用
- システムの重要度分類
 - リスクを考慮した重要度分類と、具体的な運用
- 教育訓練の充実、具体化
 - 例えばスクリーニングアウトされた事象に対する討論