



# 深層防護実装の論点

---

名古屋大学 山本章夫



# なぜ深層防護?

- 不確かさがない世界では、深層防護は不要
- 深層防護は不確かさへの備え
- 単一の防護策では、「銀の弾丸<sup>\*</sup>」にならない
  - 万能の(完璧な)単一の防護策(防止策または緩和策)はなく、必ず弱点がある(と考える)
  - 従って、多数の防護策を組み合わせることで、全体としての信頼性をできるだけ向上させる

<sup>\*</sup>銀の弾丸:銀の弾丸(ぎんのだんがん、英語: silver bullet)とは銀で作られた弾丸で、西洋の信仰において狼男や悪魔などを撃退できるとされ、装飾を施された護身用拳銃と共に製作される。現代においては文字どおりの弾丸を意味するものではなく、狼男や悪魔を1発で撃退できるという意味から転じた比喻表現として用いられることが多い。例えば、ある事象に対する対処の決め手や特効薬、あるいはスポーツで相手チームのエース選手を封じ込める選手などを表現する場合に用いられる。(Wikipedia)

# 原子力安全の目的と深層防護の実装

- 達成したいことは
  - 安全
    - 原子力安全
      - 原子力安全の目的: 人と環境を放射線リスクから防護する
    - 労働安全
  - 安心
- 深層防護実装の基本的な考え方
  - 防護の目的(防護レベル、守るべきもの)を設定
  - 防護の目的を達成するため(防護レベルを突破されないため)の防止策と緩和策を設定
  - 複数の防護レベルを設定し、深層防護全体として、安全目標を達成する



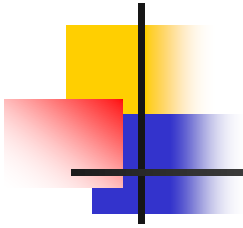
# どのように実装するか

- 高レベルの(一般的には抽象的な)防護の目的から出発し、具体的な設備設計、対応手順、設備・運転管理などに落とし込める段階まで防護の目的をサブ目的に分解する手順を繰り返す。
  - 防止策と緩和策をサブ目的ごとに設定
  - サブ目的は、それを達成するための手段が他のサブ目的を達成するための手段と(広義の)独立性を有するように選ぶ
- サブ目的毎に達成すべき信頼度を性能目標、設計基準、評価基準などの形で表し、有効性評価を通じて、これらの目標や基準を達成するように設備設計、対応手順の設定、設備・運転管理などを行う
- 具体的な防護策の選定については、技術的成熟度や技術的困難さ、品質保証など多様な観点を考慮し、さらに深層防護の有効性を評価した上で包絡的かつバランスの取れた意思決定プロセスを踏む必要がある

# 防護のサブ目的の選択肢と性能目標

- 原子力安全の目的を達成するためのより具体的な目標が安全目標
- 安全目標を達成するためには
  - 放射性物質の有意(significant)な放出の防止
    - 土地汚染の防止
    - サイト内での閉じ込め
      - 平常時の放射性物質放出量制限
      - 事故時の放射性物質放出量制限
    - 格納容器内での閉じ込め:CFF
    - 原子炉容器内での閉じ込め:IVRF(?)
    - 炉心損傷防止:CDF
    - 設計基準事象からの逸脱防止
    - 燃料被覆管内での閉じ込め(運転時の異常な過渡事象からの逸脱防止)
    - 通常運転からの逸脱防止
- 上記のサブ目的候補の指標に加えて、管理、運転、さらに防災をカバーする指標が必要と考えられる。

サブ目的の候補



ROPなどで用いられる  
指標を整理した上で流  
用可能ではないか?

項目	安全性能	安全余裕	利用性能	保守性能	ロバスト性	深層防護	リアルタイム性
リスク指標							
深層防護の第一層が破られる確率(異常な過渡事象に至る発生確率)	○				○	1	
深層防護の第二層が破られる確率(事故事象に至る確率)	○				○	2	
深層防護の第三層が破られる確率(設計基準事象を超える確率)	○				○	3	
深層防護の第四層が破られる確率(シビアアクシデントマネジメントが機能しない確率)	○				○	4	
深層防護の第五層が破られる確率(容認できない公衆の被ばくに至る確率)	○				○	5	
炉心損傷確率(CDF)	○				○	3	
格納容器破損頻度(CFF)	○				○	3.4	
早期大規模放出確率(LERF)	○				○	4.5	
典型的な事故・過酷事故を想定した場合の一般公衆被ばく線量	○					4.5	
典型的な事故・過酷事故を想定した場合の土壌汚染面積	○					4.5	
ストレステスト							
安全余裕値		○			○	1-4	
プラント正当化指標							
稼働率				○		-	
年当たりの発電量				○		-	
発電コスト				○		-	
安全実績指標							
原子炉の安全							
計画外スクラム回数	○			○		1	
熱除去機能喪失を伴う計画外スクラム回数	○					1.2	
計画外出力変動回数	○			○		1	
緩和系統のアンアベイリリティ	○					1	
緩和系統の故障事例件数	○				○	1	
冷却材中のヨウ素131濃度	○				○	1	
一次冷却材漏えい率	○				○	1.2	
防災							
訓練回数		○				4.5	
訓練参加率		○				4.5	
通報・通信システムの信頼性	○					4.5	
放射線防護							
従業者の個人線量の最大値					○	1	
従業者の個人線量のサイト平均値					○	1	
報告事象件数					○	1	
気体放射性廃棄物放出放射能量	○					1	
液体放射性廃棄物放出放射能量	○					1	
報告事象件数	○					1	
検査指摘事項の安全重要度							
設備、機器などの安全機能が損なわれたか、またはその可能性があった事項	○	○				1.2	
定量的リスクに影響したか、又はその可能性があった事項	○	○				1.2	
従業員の放射線被曝があったか、又はその可能性があった事項	○			○		1.2	
災害に備え、整備・実施しておくべきことに係る事項		○			○	5	
その他のプラント安全指標							
軽微なトラブル件数(NUCIA登録件数)				○	○	1	
ヒューマンエラー発生回数		○				1	
LCO逸脱回数		○		○		1	
運転操作中の労働災害発生回数		○			○	1	
定期検査項目・期間				○	○	-	
定期安全レビュー							
運転経験の保安活動への反映	○					1.2	
新しい発電所と同等の安全水準	○	○			○	1.2	
継続的な改善プロセス	○	○			○	1.2	
最新知見の反映	○	○			○	1-5	



# 深層防護の評価

---

- 有効性
  - 性能目標への適合度
- 適切さ
  - 有効性に加え、技術的困難さ、技術的成熟度、人的因子の介在度合い、品質保証など多様な観点を総合的に評価

# 深層防護の有効性をどのように評価するか： サブ目的毎の評価

- サブ目的毎に性能目標・設計基準・評価基準などへの適合度を評価する手法を選定する
- サブ目的毎に適合度評価を実施し、性能を評価する
  - この段階では、特定のサブ目的に着目した性能評価
  - 旧安全設計審査指針において、機器毎の信頼性・適合性を確認したのと同じ考え方
- サブ目的ごとに用いることができる適合度の評価手法の例
  - 決定論的手法
  - PRA

} これらの手法が果たす役割は、適合度の評価対象とする深層防護レベルによって変化する。



# 深層防護の有効性をどのように評価するか： 総体としての評価(1)

- PRAを実施し、全ての事故シーケンスについて、深層防護により安全目的が達成されていることを確認する
- 決定論的と確率論的の違いはあるが、旧安全評価指針により、プラント全体としての信頼度を確認したのと同じ考え方
- あるサブ目的を達成するための機器・手順・管理は、全てのシーケンスに対して同一である必要はなく、シーケンス毎に異なる可能性がある。
- 逆に、ある機器・手順・管理に着目した場合、シーケンス毎に違うサブ目的に対する防止策、あるいは緩和策に用いられる可能性がある

# 深層防護の有効性をどのように評価するか： 総体としての評価(2)

- あるシーケンスに着目したとき、サブ目的の数が多く、サブ目的を達成するための対策の独立性が相互に高い場合、そのシーケンスに対する深層防護の有効性は高くなる
- あるシーケンスに着目したとき、深層防護レベルの数が少なくても、それぞれのサブ目的を達成する策の信頼度が十分に高ければ、同様にそのシーケンスに対する深層防護の有効性は高くなる。
- なお、シーケンス毎にサブ目的の数は変動する可能性があるが、特定の防護レベルに極端に依存することは、不確かさへの対処の観点から不適切である。