

本資料は、原子力規制委員会の「継続的な安全向上に関する検討チーム」第2回会合(2020年9月10日)の資料2-2に報告者が加筆・修正したものである。

話題提供:

原子力エネルギー革新・近代化法*を巡って

***NEIMA: Nuclear Energy Innovation and Modernization Act
(January 2019)**

原子力規制委員会 原子力規制庁
長官官房 技術基盤グループ 技術基盤課

技術参与 平野 雅司

2020秋の大会企画セッション・フォローアップセミナー

2021年1月19日オンライン開催

目次

- NEIMAの概要
- NEI 18-04: NEI技術報告書18-04 (Aug. 2019)
 - 頻度－影響目標 (Frequency-Consequence Target)
- 英国ONR原子力施設の安全評価原則 (SAPs)
- NEI 18-04の頻度－影響目標とBSL, BSOとの比較
- 規制ガイド 1.174
 - 深層防護 (Defense in Depth) とリスク情報活用 (Risk-Informed)
 - 不確実さ (Uncertainties)
 - 深層防護の適切性の評価 (Assessment of DID Adequacy)

NEIMAの概要

- 米国下院は2018年12月、前日の上院に続き、**原子力エネルギー革新・近代化法** (NEIMA) 案を可決。トランプ大統領が翌年1月14日付で同法案に署名・成立。
- **商用新型炉** (液体金属炉、高温ガス炉等の非軽水炉の小型モジュラー炉(SMR)等)について、NRCに指示：
 - 2年以内に、段階的許認可(staged licensing)を採用し、リスク情報を活用したパフォーマンスベースの許認可評価技術とガイドに向けた戦略を開発する。(strategies for the increased use of **risk-informed, performance-based** licensing evaluation techniques and guidance) ← **NEI 18-04** (Rev. 1, Aug. 2019)
 - 2027年12月31日迄に、新型炉のライセンス申請に関し、**炉型に依存しない規制枠組みのためのルール作り**を完了させる。(... shall complete rulemaking to establish **technology inclusive** regulatory framework ...)

現行許認可プロセス (10 CFR Part 50, 52)の ”Dis-incentives”

(4) S.G. Burns, Nuclear Law Bulletin No. 99, OECD, 2017.

■ 10 CFR Part 50 (既設炉):

- 建設許可と運転ライセンスの2段階プロセス。
 - 確実性と安定性(**certainty** and **stability**)の欠如: TMI事故後、建設中に規制が強化、.....
 - プラント設計の標準化の欠如
- } → 10 CFR Part 52の策定へ

■ 10 CFR Part 52 (新型炉)

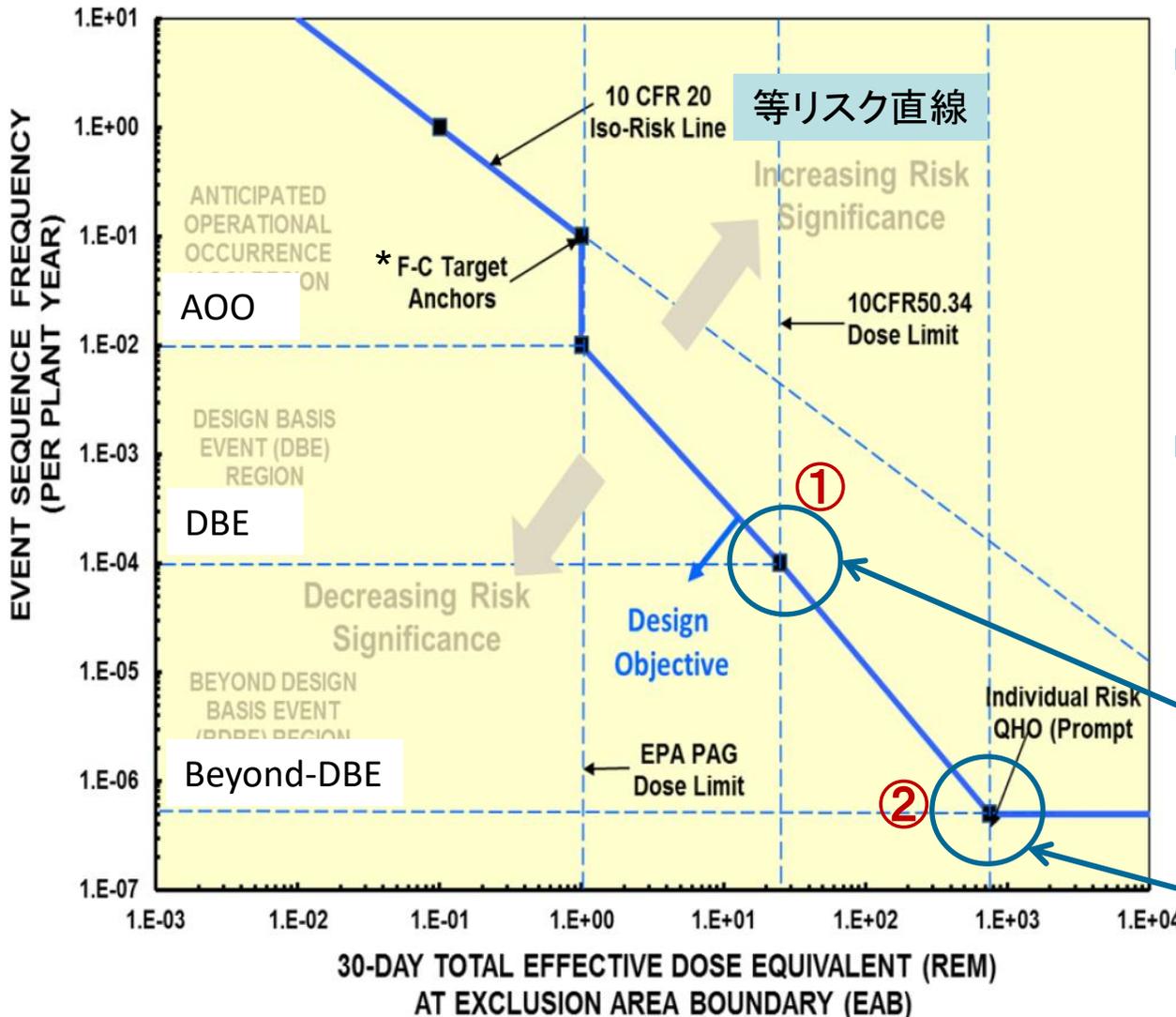
- 早期サイト許可 (ESP: Early Site Permit) と設計承認 (DC: Design Certification)、建設運転一括許認可 (COL: Combined License) から成る。
 - DCは標準化に貢献
 - DCでは、規制は完結した設計 (Design Completeness) を期待、段階的(stepwise)を求める設計開発者の大きな障壁となった。
- NEIMAは**非軽水炉**・新型炉の許認可プロセスを目指すものであり、**”Flexibility”が重要**。→ 段階的許認可(staged licensing) → Part 53へ

NEI 18-04: 非軽水炉の許認可基準開発のためのTI-RIPBのガイダンス 4

(Risk-Informed Performance-Based Technology Inclusive Guidance for Non-Light Water Reactor Licensing Basis Development, Rev. 1, Aug. 2019)

- サザンカンパニー社主導の「許認可近代化プロジェクト(LMP*)」の一環として開発。
* **LMP: Licensing Modernization Project**, a cost shared initiative led by the **Southern Company**, coordinated by NEI and **supported by DOE**.
Technical contributions are provided by INL, NEI and **NRC**.
- 主要プロセス:
 - **許認可ベース事象**(LBEs: Licensing Base Events, AOOs, DBEs, BDBEsを含む)**の選定**のための系統的な事象シーケンスの評価等
 - 構造物、システム及び機器(SSCs)の**安全重要度分類**等
 - **深層防護の適切性**評価 (assessment of DID adequacy)
- **PRAから得られるインサイト**を活用。規範的アプローチ(prescriptive approach)は採らない。→ **RIPB**
 - 頻度－影響目標 (**Frequency-Consequence Target**) を使う。
- NRCは**SECY-19-0117**でこれをエンドース (Dec. 2, 2019) ⇒ **RG 1.233** を刊行 (Rev.0, June 2020)

頻度－影響目標 (F-C Target)



- 合格/不合格を決める(**pass-fail basis**)ためのものではない:
 - **規制ガイド1.174の統合意思決定**と同様に、リスク評価から得られる知見(**risk insight**)を他の因子と共に用いる。
- 容認/非容認の線引(**demarcation of acceptable and unacceptable results**)に用いるものでもない。

10 CFR 50.34 Dose Limit: 250 mSV at 10⁻⁴/RY for BDBEs

QHO: Quantitative Health Objective (early health effects: 7.5 Sv at 5 × 10⁻⁷/RY)

Figure 3-1. Frequency-Consequence Target: 出典(2)一部加筆

* For lower frequency AOOs at frequencies of 10⁻¹/plant-year down to 10⁻²/RY are set at a reference value of 1 rem corresponding with EPA Protective Action Guide (PAG) limits

米国NRC 規制ガイド1.174 (Rev. 3, Jan. 2018)

個別プラントの許認可ベースの変更に関するリスク情報を活用した判断に 確率論的リスク評価を使用するためのアプローチ⁽⁵⁾

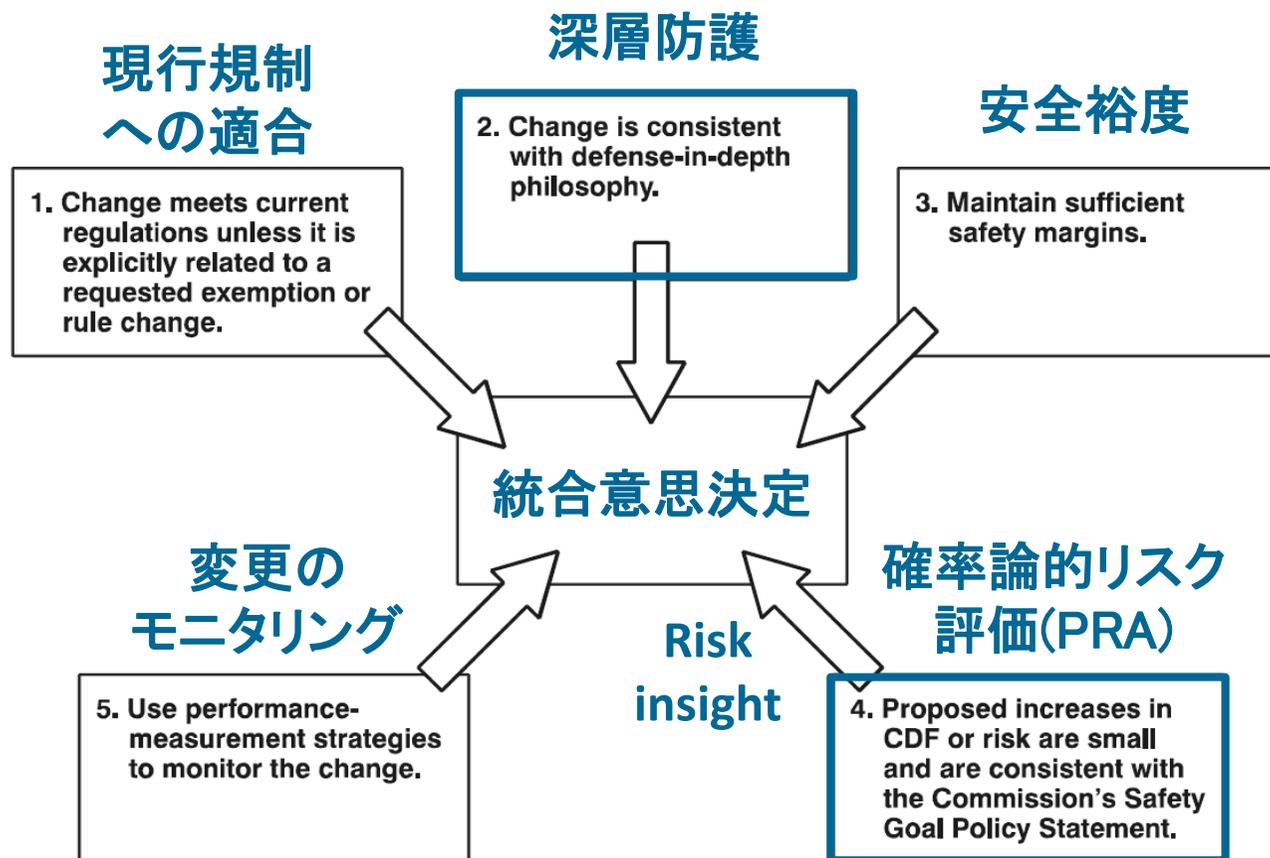


Figure 1. Principles of Risk-Informed Integrated Decisionmaking

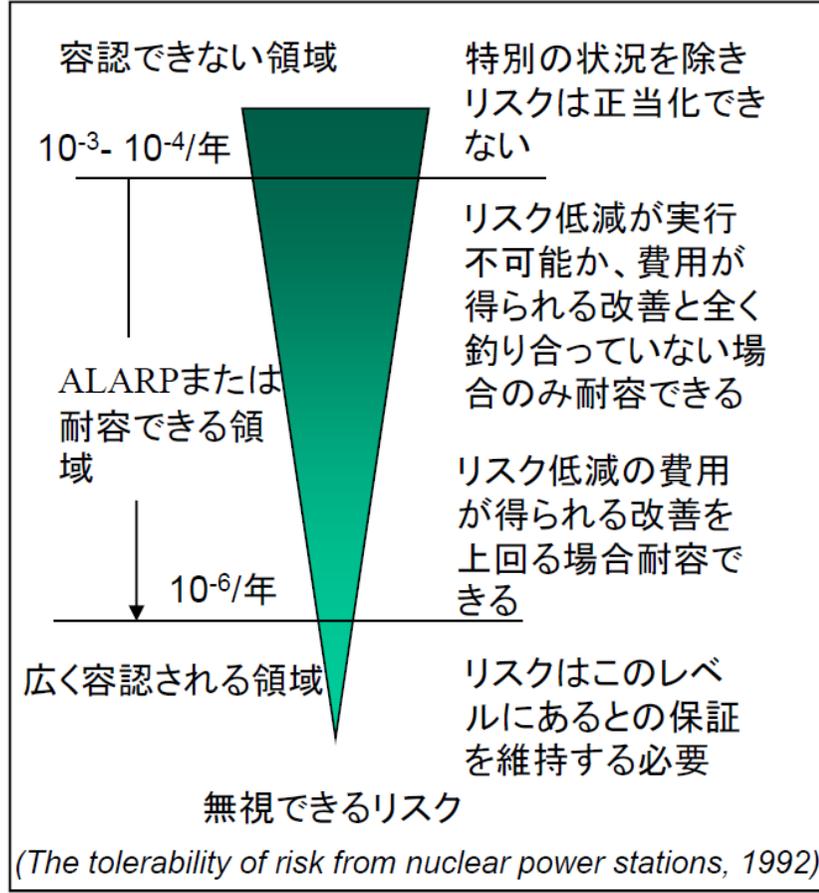
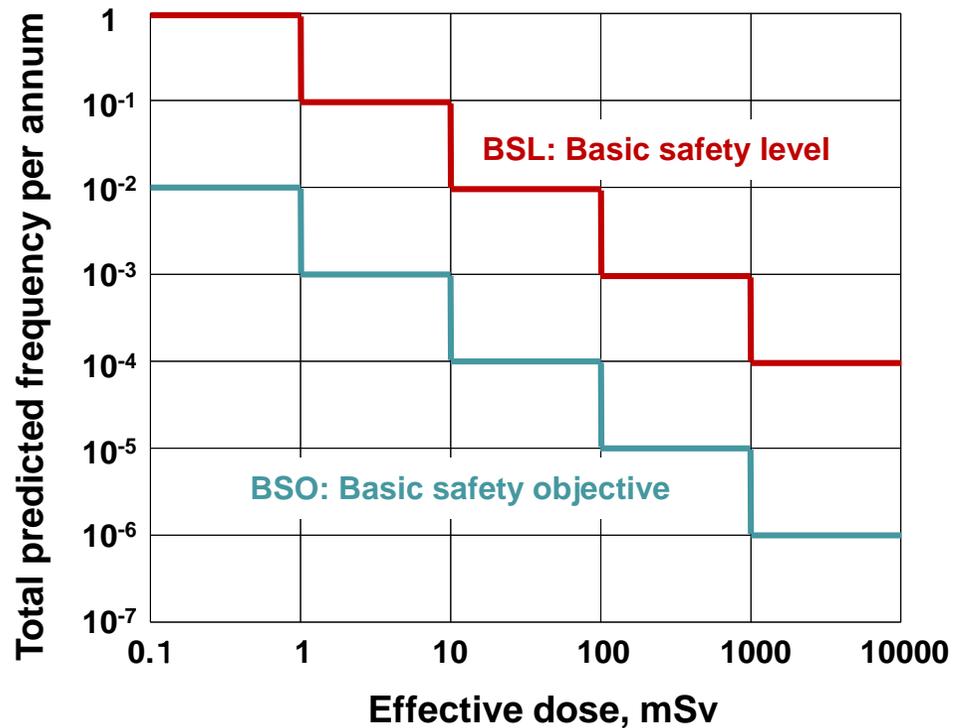
リスク情報を活用した統合意思決定における5原則

英国ONR原子力施設の安全評価原則 (SAPs*)

Frequency dose targets for accidents on an individual facility – any person off the site		Target 8	
The targets for the total predicted frequencies of accidents on an individual facility, which could give doses to a person off the site are:			
Effective dose, mSv	Total predicted frequency per annum		
	BSL	BSO	
0.1–1	1	1×10^{-2}	
1–10	1×10^{-1}	1×10^{-3}	
10–100	1×10^{-2}	1×10^{-4}	
100–1000	1×10^{-3}	1×10^{-5}	
>1000	1×10^{-4}	1×10^{-6}	

* **Safety Assessment Principles** for Nuclear Facilities 2014 Ed. Rev.1 (Jan. 2020), ONR

The tolerability of risk from nuclear power stations, HSE: The Health and Safety Executive, 1988 Revised 1992.

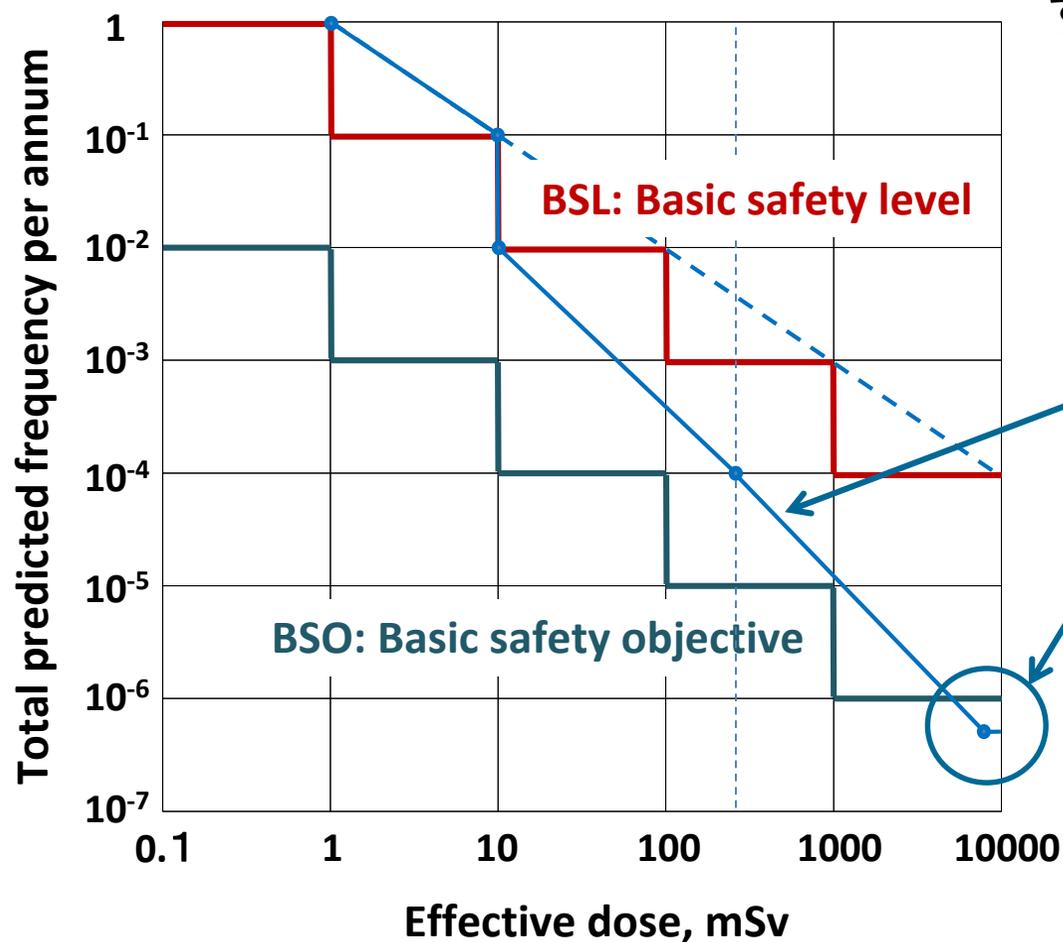


(The tolerability of risk from nuclear power stations, 1992)

出典: (6)スライド9の一部

NEI 18-04の頻度—影響目標とBSL, BSOとの比較

- NEI 18-04の頻度—影響目標線は、概ね、SAPsのBSLとBSOの間に位置する。
- 本目標は、**確定的影響に関する定量的健康目標(QHO)**を満足するように設定されており、**発生頻度の小さい事故**(影響の大きな事故)は、BSO以下の領域、すなわち、広く容認される領域に入る。



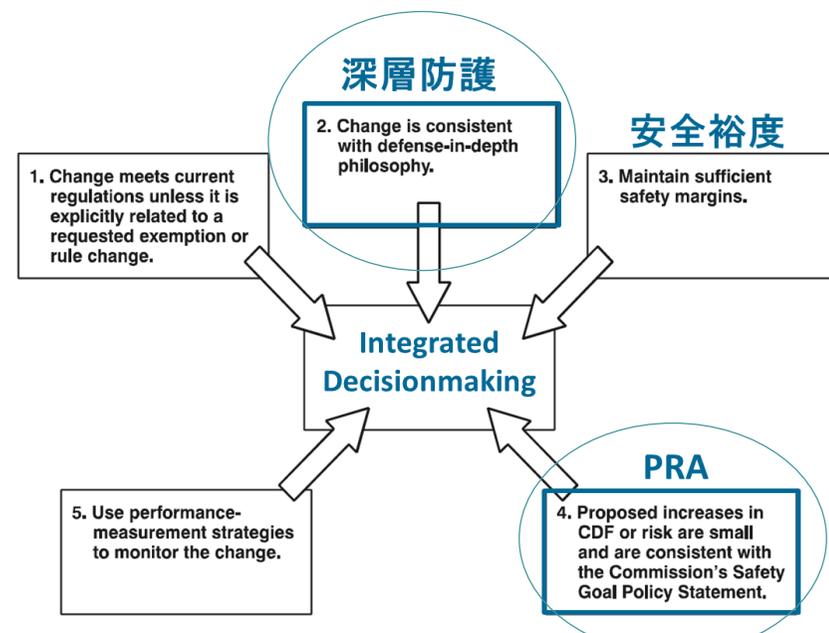
NEI18-04の頻度—影響目標の概略の位置

QHO: Quantitative Health Objective
(early health effects: 7.5 Sv at $5 \times 10^{-7}/\text{RY}$)

米国NRC 規制ガイド1.174: 深層防護 (Defense in Depth)とリスク情報活用 (Risk-informed)

深層防護

- 深層防護は、機器や人間の振る舞いにおける**不確実さを考慮するための有効な手段** (an effective way to account for uncertainties)であったし、今後もそうあり続けるであろう。
- 特に、「**未知の(unknown)**」又は「**予期せぬ(unforeseen)**」損傷メカニズムや物理現象が起き得る(potential)ことを考慮するためには有効である。
- 何故なら、それらは「未知の」或いは「予期せぬ」ものなので、**PRAその他の工学的分析では反映されない**からである。



Regulatory Guide 1.174 (Revision 3, January 2018)

リスク情報を活用した統合意思決定における5原則

規制ガイド1.174

不確実さ (Uncertainties)

2.5.1 不確実さのタイプ

2.5.1.1 パラメーター不確実さ

2.5.1.2 モデル不確実さ

2.5.1.3 完全さに関わる不確実さ (Completeness Uncertainty)

- 「不完全さ」は「不確実さ」ではなく、考慮しているハザードの範囲（地震、津波、……）が**全体をカバーしていないこと (Scope limitation)**の反映にすぎない。
- 結果的に、「**真のリスクがどこに存在するか**」に関する不確実さとなる (**uncertainty about where the true risk lies**)
 - ハザードの発生頻度の評価モデルがない、あるいは、大きな不確実さを伴うような場合等

➡ 「**深層防護**」に重点を置くべき。

規制ガイド1.174

深層防護の適切性の評価 (Assessment of DID Adequacy)

- 許認可ベースの変更が深層防護に与える影響を評価するために考慮すべき事項：
 1. **層間の合理的なバランス** : Reasonable **balance among the layers**
 2. 代替措置に過度に依存しない(設計対応を取る) : Adequate capability of design features without an **overreliance on programmatic activities as compensatory measures**.
 3. **多重性、独立性、多様性** : System redundancy, independence, and diversity
 4. **共通要因故障 (CCFs) に対する防護** : Adequate defense against **potential CCFs**
 5. 多重バリアの保持 : Maintain multiple fission product barriers
 6. **人的過誤に対する防護** : Sufficient defense against **human errors**
 7. プラントの設計基準の意図への適合 : Meet the intent of the plant's design criteria.

TI-RIPBはインセンティブとして働くか？

■ リスク情報活用 (Risk-Informed):

- 現状の規制要求等における**不必要な安全裕度の削減**。

米国NRC PRAポリシー声明⁽⁶⁾

■ パフォーマンス・ベースト (Performance-Based):

- パフォーマンス・ベーストとは**規範的 (Prescriptive)でないこと**

SECY-98-144 - White Paper on RIPB Regulation, March 1, 1999

- パフォーマンス・ベーストの要求では、計測可能な結果/成果 (outcomes)が目標を達成することを重視し、**達成のための方法に自由度を与える**。(例: 10 CFR 50.56 保守規則, July 1996)

Nils J. Diaz, "Realistic Conservatism," April 16, 2003

■ 技術(炉型)に依存しない (Technology-Inclusive):

- 必然的に規範的でなくなる(自由度が与えられる)。安全上重要な論点に重点化される。

➡ インセンティブとして働くか否かは、リスク評価の不確実さ依存？

先進炉・新規炉に関するNRC委員への ブリーフィング（2020年2月6日）

<https://www.gov/docs/ML2004/ML20041C974.pdf>

- 参加者：NRC委員、NRCスタッフ及び外部ステークホルダー・パネル（USDOE, NEI, Southern Company*, **UCS: 憂慮する科学者同盟**）

* ヴォーグルNPPを運営するジョージア電力の親会社。
LMP: Licensing Modernization Projectを主導。

- **Edwin Lyman, USC**

- ... リスク情報を活用したパフォーマンスベースの手法に関する私の懸念は、**余りにも PRA に依存しており、設計承認に際し、本質的に共通要因故障モード**になっているということ。... I think there's **too much dependence on PRA** and making **essentially a common cause failure mode**
- 現時点では、非軽水炉の設計は紙上のもの、学術的な検討の過程にあり、検証のための十分なデータは存在しない。... for a non-light water design that's **still on a paper**, there are really academic exercises and they **don't have sufficient data**

参考文献

1. **U.S.NRC, Report to Congress** on Increasing the Use of Risk-Informed and Performance-Based Evaluation Techniques and Regulatory Guidance in Licensing Commercial Advanced Nuclear Reactors, Enclosure 2, July 19, 2019, <https://www.nrc.gov/docs/ML1912/ML19128A324.pdf>.
2. **NEI Technical Report 18-04**, “Risk-Informed Performance-Based Technology Inclusive (TI-RIPB) Guidance for Non-Light Water Reactor Licensing Basis Development,” Report Revision 1, August 2019.
3. **NUREG-1860**, “Feasibility Study for a Risk-Informed and Performance- Based Regulatory Structure for Future Plant Licensing, Vol. 1, **December 2007**.”
4. **Stephen G. Burns**, “Reformed and reforming: Adapting the licensing process to meet new challenges,” Nuclear Law Bulletin No. 99, OECD, 2017.
5. **U.S.NRC, Regulatory Guide 1.174**, “An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in **Risk-Informed Decisions** on Plant-Specific Changes to the Licensing Basis,” **Revision 3**, January 2018.
6. **本間俊充**、ICRP勧告及び英国SAPにおけるリスク低減の基本的考え方、原子力安全委員会、意交原第2-3号、平成23年2月26日。
<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/2617010/www.nsc.go.jp/annai/kihon22/gensoku/20110302/siryu2-3.pdf>
7. **Regulatory Guide 1.233 Rev. 0**, June 2020, “Guidance for technology inclusive, risk-informed, and performance-based methodology to inform the licensing basis and content of applications for licenses, certifications, and approvals for non-LWRs.”

■ 定量的健康目標QHOs

- QHOsは、当初、**サイト毎の目標**として定められたが、複数基サイトでは厳しい要求となるため、NRC委員会はこれを**基毎の目標に変更** (NUREG-0880).

- NRCスタッフは、複数モジュール新型炉でのQHOsの適用について、3つのオプションを提示し、オプション2を推奨(SECY-05-0130)。委員会はこれを拒否。後に**integrated risk**を用いることを了承(NUREG-1860)

1. 従来どおり(**炉又はモジュール毎**)
2. サイト内の複数の**新型炉のリスクの合計(integrated risk)**を定量化する(既設炉がある場合、そのリスクは除く)
3. サイト内の**既設炉を含む全炉のリスクの合計**を定量化する

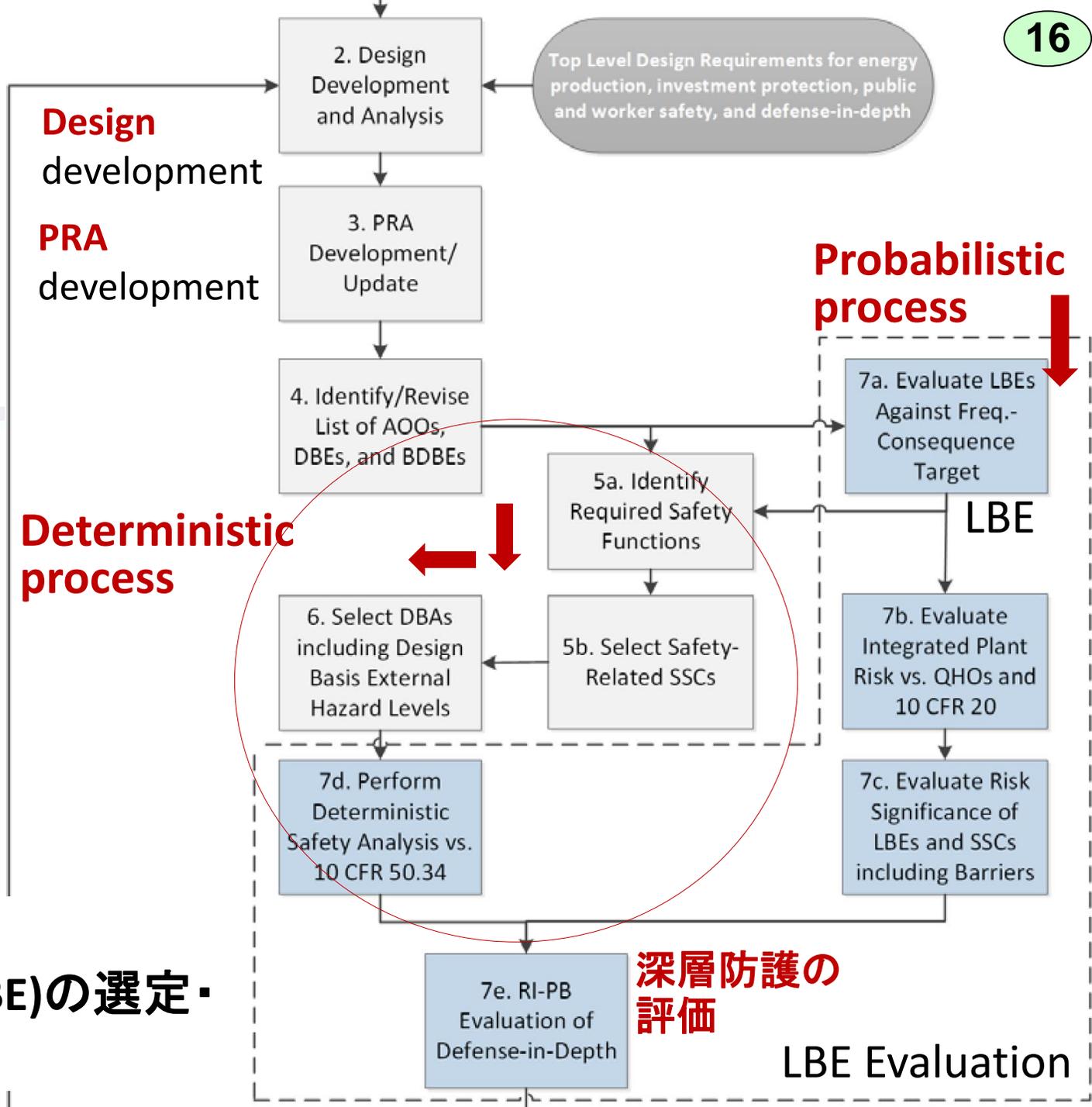
■ 複数モジュールプラントのリスク

- NEI 18-04: 設計段階で、PRAにより、複数モジュールを含む事象シーケンスはリスク上重要ではないことを確認する。

Appendix B: NEI 18-04

リスク情報を活用したパフォーマンスベースの深層防護の評価

RI-PB Evaluation of DiD



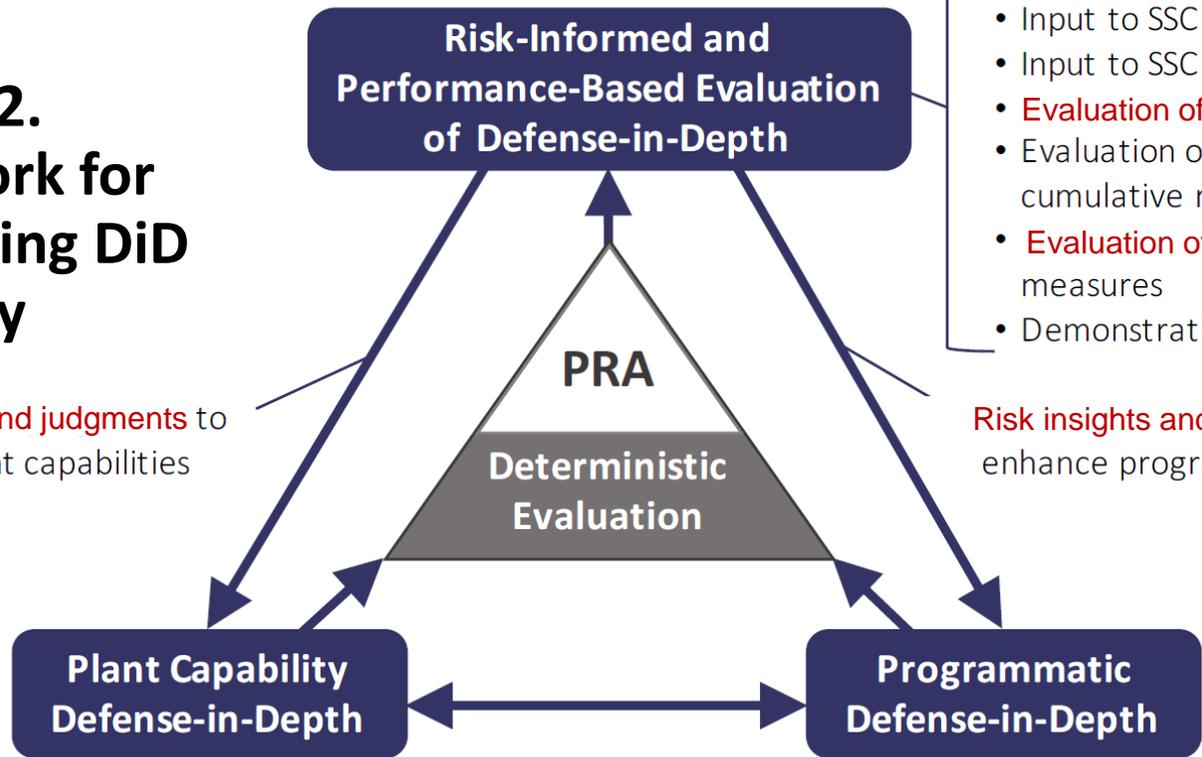
NEI 18-04 Figure 3-2. ライセンス基準事象(LBE)の選定・評価プロセス

**Figure 5-2.
Framework for
Establishing DiD
Adequacy**

Risk insights and judgments to enhance plant capabilities

- Input to LBE selection
- Input to SSC safety classification
- Input to SSC performance requirements
- Evaluation of LBEs vs. layers of defense
- Evaluation of risk margins of LBEs vs. F-C and cumulative risk targets
- Evaluation of uncertainties and protective measures
- Demonstration of adequate defense-in-depth

Risk insights and judgments to enhance programmatic assurance



- Inherent reactor, facility, and site characteristics
- Radionuclide physical and functional barriers
- Passive and active SSCs in performance of safety functions
- SSC reliability in prevention of events
- SSC capability in mitigation of events
- SSC redundancy and diversity
- Defenses against common cause failure
- Conservative Design margins in SSC performance

- Performance targets for SSC reliability and capability
- Design, testing, manufacturing, construction, operations, and maintenance programs to meet performance targets
- Tests, inspections, and monitoring of SCC performance and corrective actions
- Operational procedures and training to compensate for human errors, equipment failures, and uncertainties
- Technical specifications to bound uncertainties
- Capabilities for emergency plan protective actions