

The Concept of Risk and Reactor Safety

Dr. George Apostolakis
Head, Nuclear Risk Research Center
apostola@mit.edu

NRRC Symposium, Tokyo
February 8, 2018

本資料は原子力リスク研究センターにて
仮訳したものです。

リスク概念と原子力の安全性

ジョージ・アポストラキス
原子力リスク研究センター所長
apostola@mit.edu

原子力リスク研究センターシンポジウム2018
2018年2月8日

Overview

- **The concepts of risk and residual risk**
- **Traditional (“deterministic”) approach to safety**
 - ∅ Defense in Depth
- **Probabilistic Risk Assessment (PRA)**
 - ∅ Frequency of core damage
 - ∅ Frequency of radioactive releases
- **Risk Management**

概要

- リスク概念と残留リスク
- 安全性に対する伝統的な(「決定論的」)アプローチ
 - ∅ 深層防護
- 確率論的リスク評価(PRA)
 - ∅ 炉心損傷頻度
 - ∅ 放射性物質放出頻度
- リスクマネジメント

Risks in Society

- **Hazard: A source of danger**
 - ∅ Industrial facilities
 - ∅ Activities, e.g., driving a car
- **Risk: The possibility that something bad or unpleasant (such as an injury or a loss) will happen**
- ***Uncertainty* is an integral part of risk**
- **Risk: Probability and adverse consequences**

社会の中にあるリスク

- **ハザード: 危険の発生源**
 - 産業施設
 - 種々の活動 (例:車の運転)
- **リスク: (怪我や損害といった)悪いことや望ましくない事態が発生する確率**
- **不確かさはリスクを考える上で不可欠な要素である**
- **リスク: 確率及び負の影響**

Safety vs. Residual Risk

- **Safety is a continuum**
 - ∅ It is meaningless to call something safe or unsafe without further explanation
 - ∅ Claim: A plant is “safe” if it meets the regulations
 - ∅ A very obscure statement
- **The proper way is to speak of the *residual risk*.**
 - ∅ Example: In Japan, 5 people die in transportation accidents for every 100,000 residents every year
 - ∅ Therefore, the residual risk (frequency per year) is
$$\frac{5}{100,000} = 0.00005$$
 a very small frequency
- **This residual risk is “accepted” or “tolerated” by Japanese society**

安全性 vs. 残留リスク

- 安全性は、途切れなく続いている概念である
 - 詳細な説明を抜きにして、単にあるものが安全である、もしくは安全でないと呼ぶことは無意味である
 - 主張：規制を満たしていれば、プラントは「安全」である
 - 非常にあいまいな声明である
- 残留リスクについて語る、それが正しい方法
 - 例：日本では毎年100,000人に5人が、交通事故で死亡している
 - それゆえ、残留リスク(年間発生頻度)は $\frac{5}{100,000} = 0.00005$ と非常に小さな頻度になる
- この残留リスクは日本社会において「受け入れられ」あるいは「容認され」ている

Why do we tolerate Residual Risks?

- Because each facility or activity provides benefits
- For individual **voluntary** activities in which a person feels in control the residual risk may be relatively high (the risk in general aviation is about 1,000 times greater than that in commercial aviation)
- For industrial facilities, it is society through its representatives, government and regulatory agencies, that decides
- Risk-Benefit tradeoffs are rarely quantitative; benefit is much harder to quantify than risk

なぜ私たちは残留リスクを容認するのか？

- その理由は、各施設や活動が便益を生み出すため
- 個人の**自発的な**活動においては、人は自分でコントロールできていると感じるため、残留リスクは相対的に高くなる場合がある（個人で航空機を操縦する場合のリスクは商用航空機の1,000倍である）
- 産業施設においては、議員や政府、規制組織を通して社会が決定をする
- リスクと便益のトレードオフはなかなか定量的に行うことができない。便益を定量化することは、リスクを定量化すること比べて、はるかに難しい

Nuclear Power Plants

- **Undesirable potential consequences**
 - ∅ Health effects
 - ∅ Evacuation
 - ∅ Land contamination
- **Commonly used potential consequences**
 - ∅ Damage to the reactor core
 - ∅ Release of various amounts of radioactivity
- **Accidents are very rare**
 - ∅ The uncertainties are large
- **Management of uncertainties has always been a concern of the industry and regulators**

原子力発電所

- 望ましくない潜在的な影響
 - 健康への影響
 - 避難
 - 土壌汚染
- 一般的に使用される潜在的な影響
 - 原子炉の損傷
 - 様々な量の放射性物質放出
- 事故は非常に稀である
 - 不確かさは大きい
- 不確かさにどう対処するかが、常に産業界と規制当局の懸念となり続けてきた

Managing Uncertainty in Nuclear Safety (1)

- **Traditional “conservative” approach**
 - ∅ A bottom-up approach
 - ∅ A limited number of potential accidents is considered
 - ∅ Uncertainty is not quantified
 - ∅ Unquantified uncertainty is managed by conservatism via defense in depth and safety margins
- ***Defense-in-Depth*** is a safety philosophy that employs successive compensatory measures to prevent accidents or mitigate damage if a malfunction, accident, or naturally caused event occurs at a nuclear facility.
- ***Safety Margin***: The imposed stress on a component or structure is maintained well below the onset of damage.

原子力安全において、不確かさに対処する (1)

- 伝統的な“保守的”アプローチ
 - ボトムアップ式のアプローチ
 - 限られた数の潜在的事故が考慮される
 - 不確かさは定量化されない
 - 定量化されていない不確かさは、深層防護や安全マージンを介して保守性を確保することで対処される
- **深層防護**は原子力施設にて異常や事故、自然災害が発生した際に、事故防止や影響緩和を目的として、一連の相補的な対策を用意するという安全確保の考え方である
- **安全マージン**： 機器や構造物に実際にかかる負荷の大きさが、損傷が始まるような負荷の大きさを十分下回るように維持されていること

Defense in Depth

- **A philosophy for managing risk**
- **It ensures that safety will not be wholly dependent on any single element of the design, construction, maintenance, or operation of a nuclear facility.**
- **The net effect of incorporating defense-in-depth into design, construction, maintenance, and operation is that the facility or system in question is more tolerant of failures and external challenges.**

深層防護

- リスクを管理するための理念
- 安全性が、原子力発電所の設計、建設、保守または運転のいずれかの単一要素によって左右されてしまうことがないようにする
- 設計、建設、保守及び運転に対し深層防護を組み込むことの実質的効果は、当該施設または系統が故障及び外的事象に対し、より耐性を有するようになるということである

Major Elements of Defense in Depth

Accident Prevention



Safety Systems



Containment



Accident Management



Emergency Plans

深層防護の主要要素

事故防止



安全系統



閉じ込め

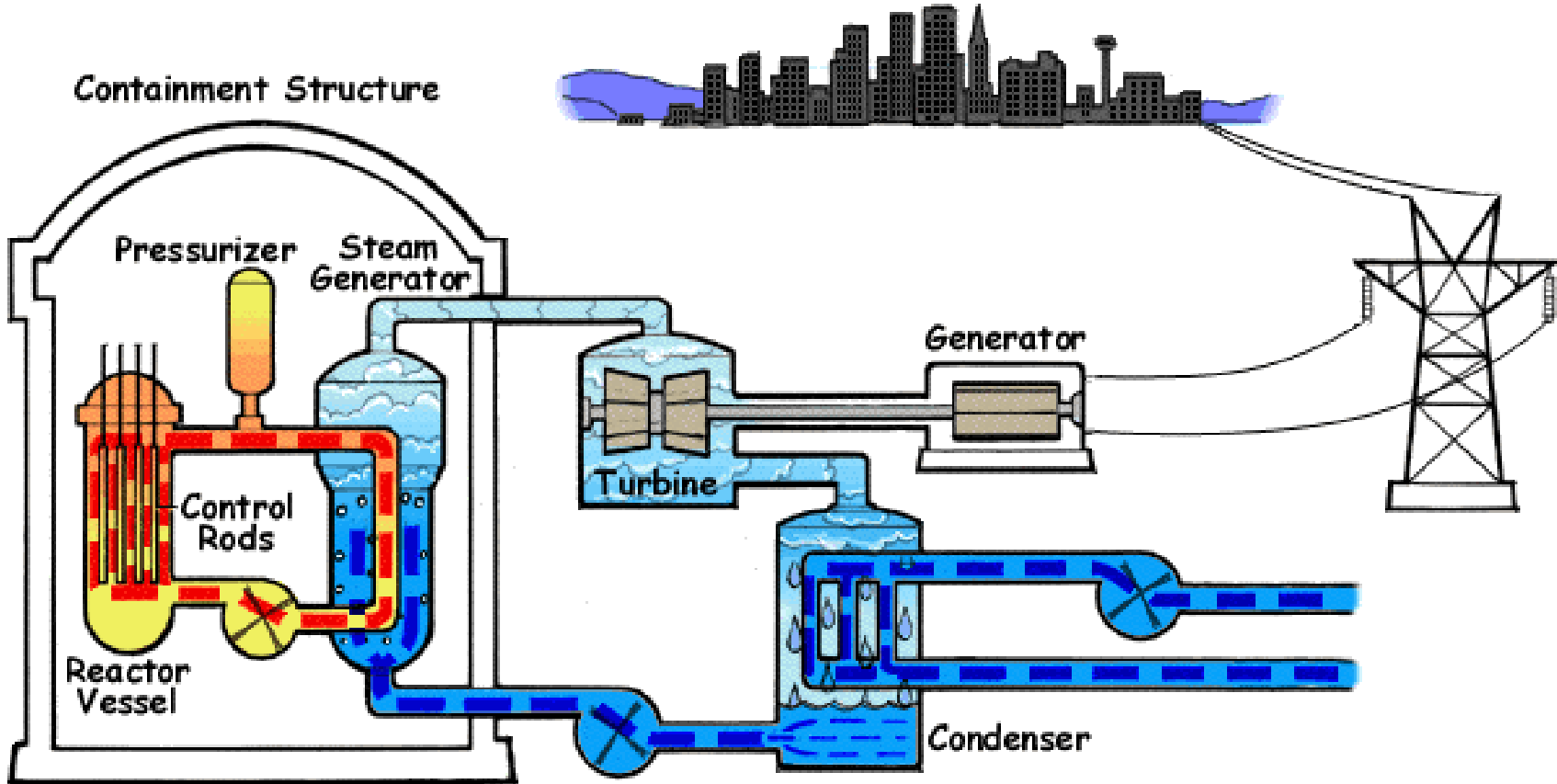


アクシデント・マネジメント



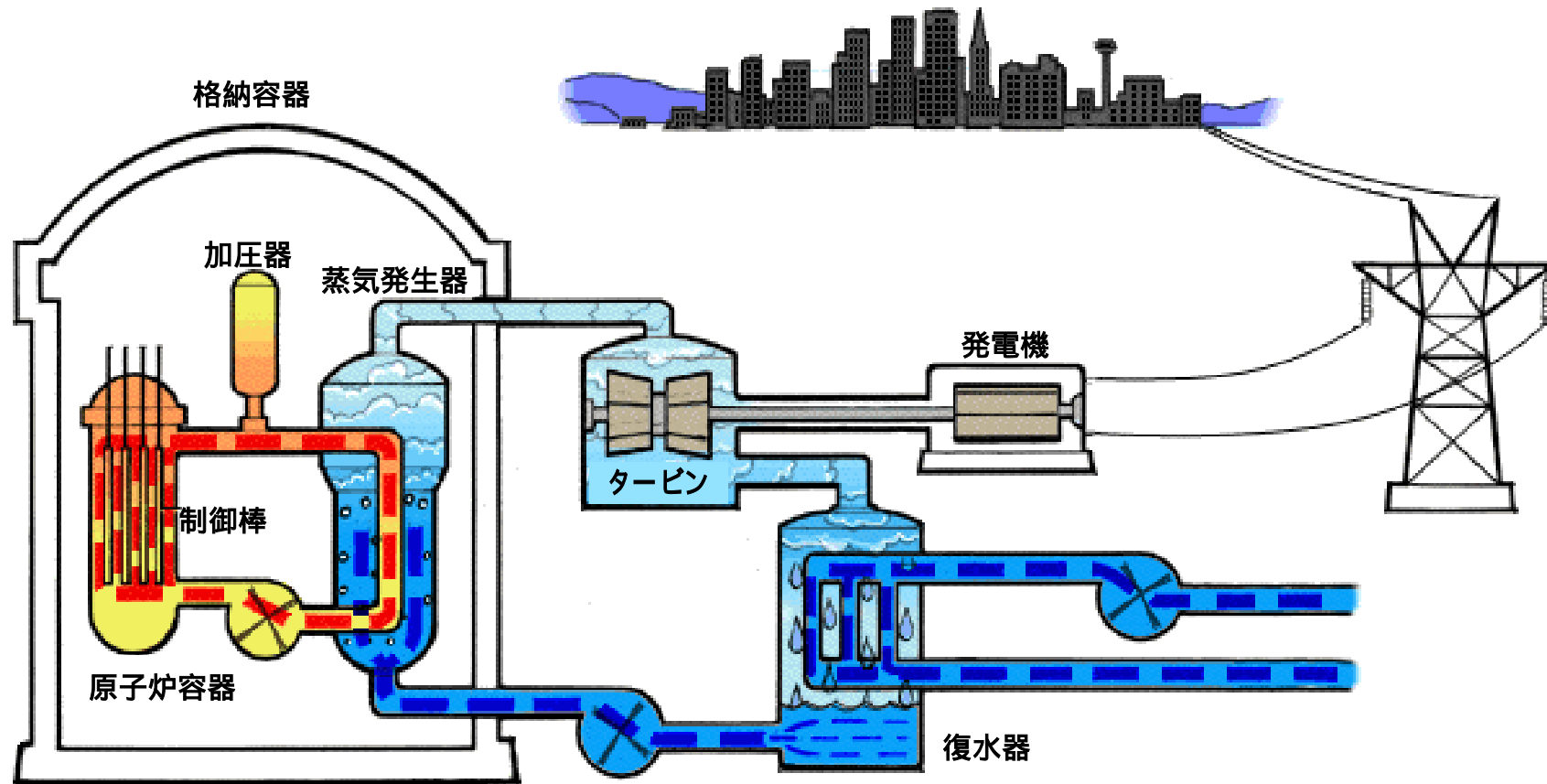
緊急時計画

Pressurized Water Reactor



U.S. NRC website

加圧水型原子炉 (PWR)



米国原子力規制委員会Webサイト

Managing Uncertainty in Nuclear Safety (2)

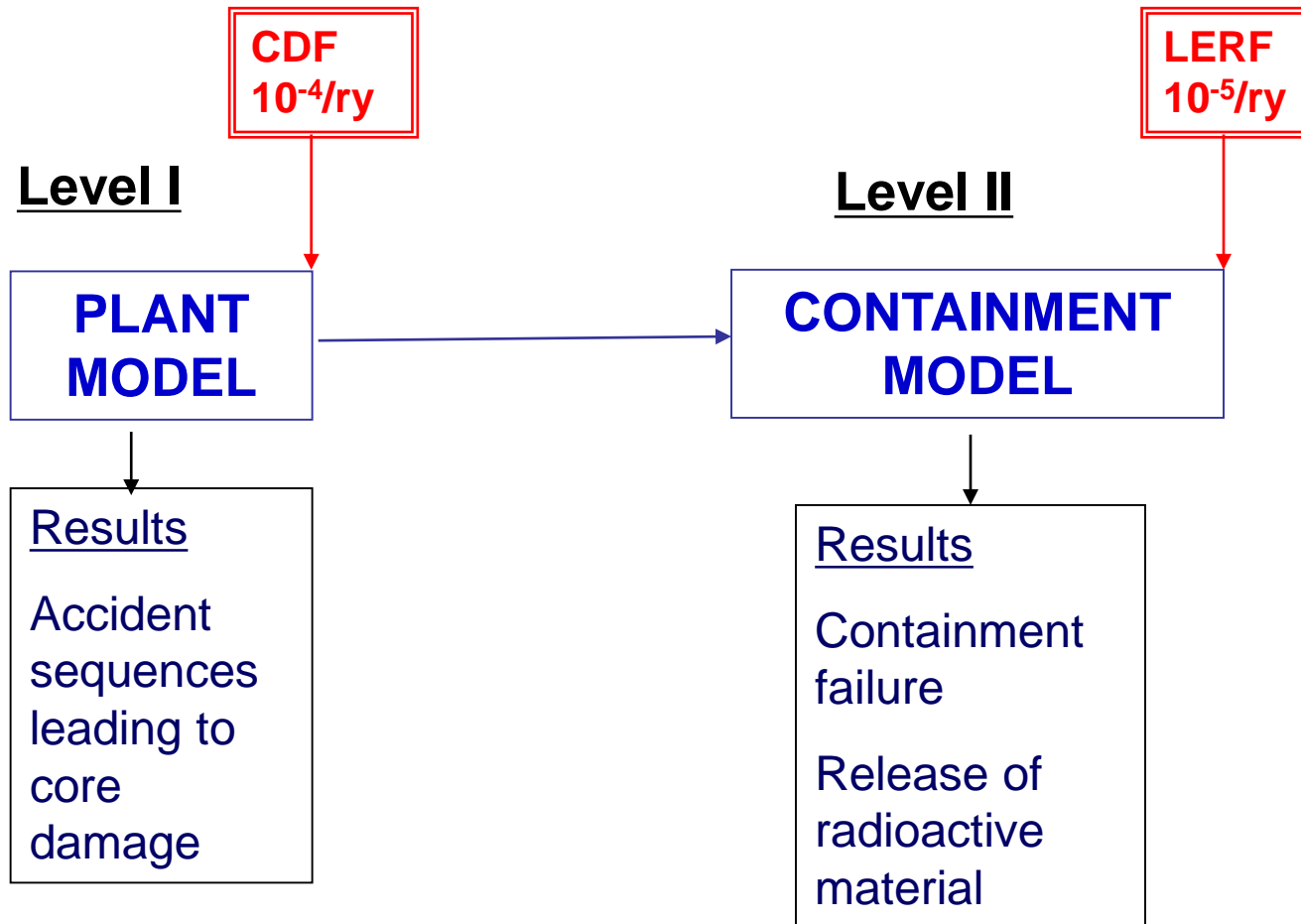
- **Probabilistic Risk Assessment (PRA)**
 - ∅ A top-down approach
 - ∅ Thousands of potential accident sequences are investigated
 - ∅ Uncertainty is quantified and managed
 - ∅ More realistic depiction of what can go wrong
- **Probabilistic Risk Assessment (PRA) supports Risk Management by answering the questions:**
 - ∅ What can go wrong? (thousands of accident sequences or scenarios)
 - ∅ How likely are these scenarios?
 - ∅ What are their consequences?

原子力安全において不確かさに対処する (2)

- **確率論的リスク評価 (PRA)**
 - トップダウン式のアプローチ
 - 数千の潜在的な事故シーケンスが検討される
 - 不確かさは定量化され把握される
 - 何が起こり得るのかについて、より現実的に記述

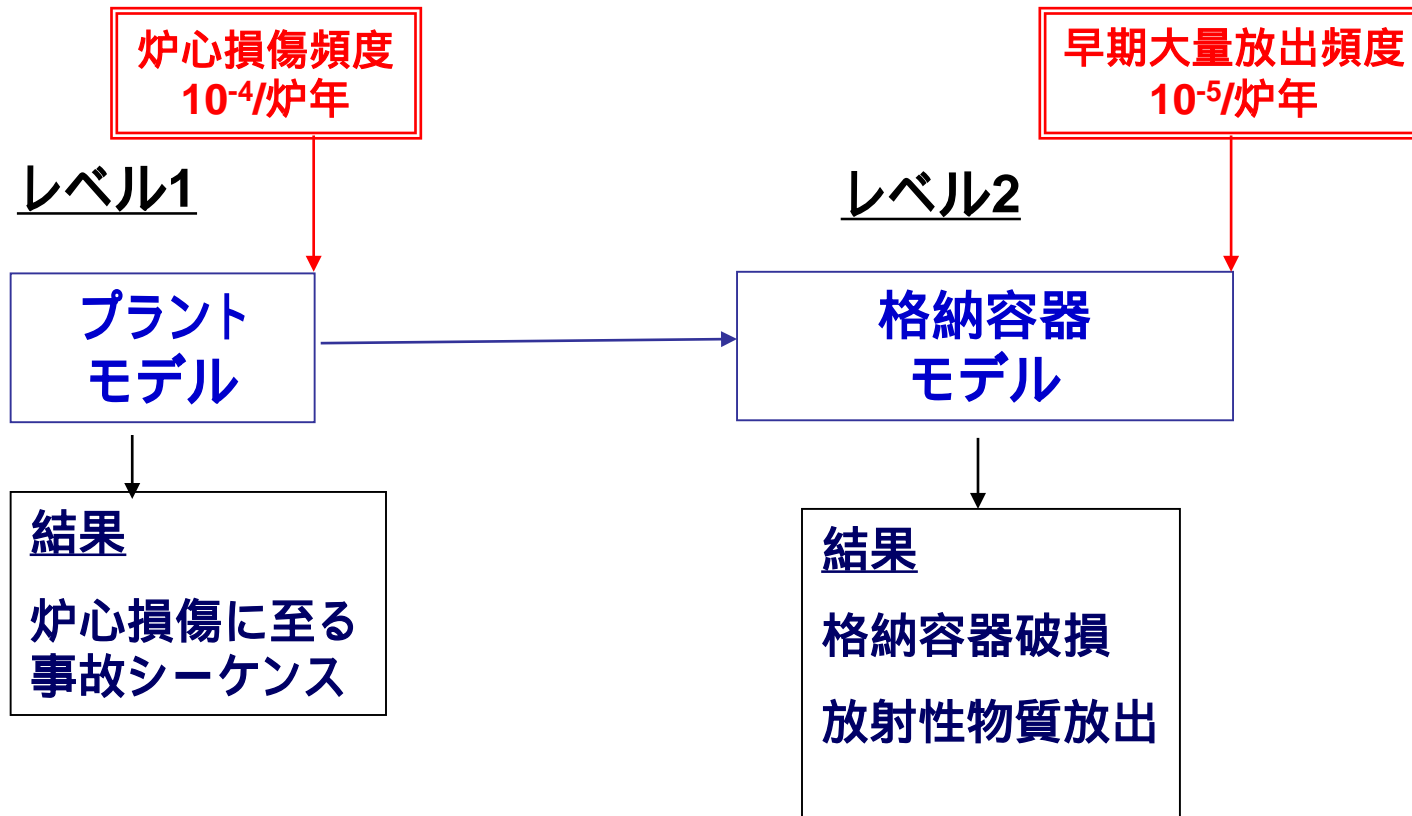
- **確率論的リスク評価 (PRA)は以下の疑問に回答することでリスクマネジメントに活用される**
 - 何が起こり得るか (数千の事故シーケンスまたはシナリオ)
 - シナリオの発生頻度は?
 - それらの結果はどの様なものか?

PRA Model Overview



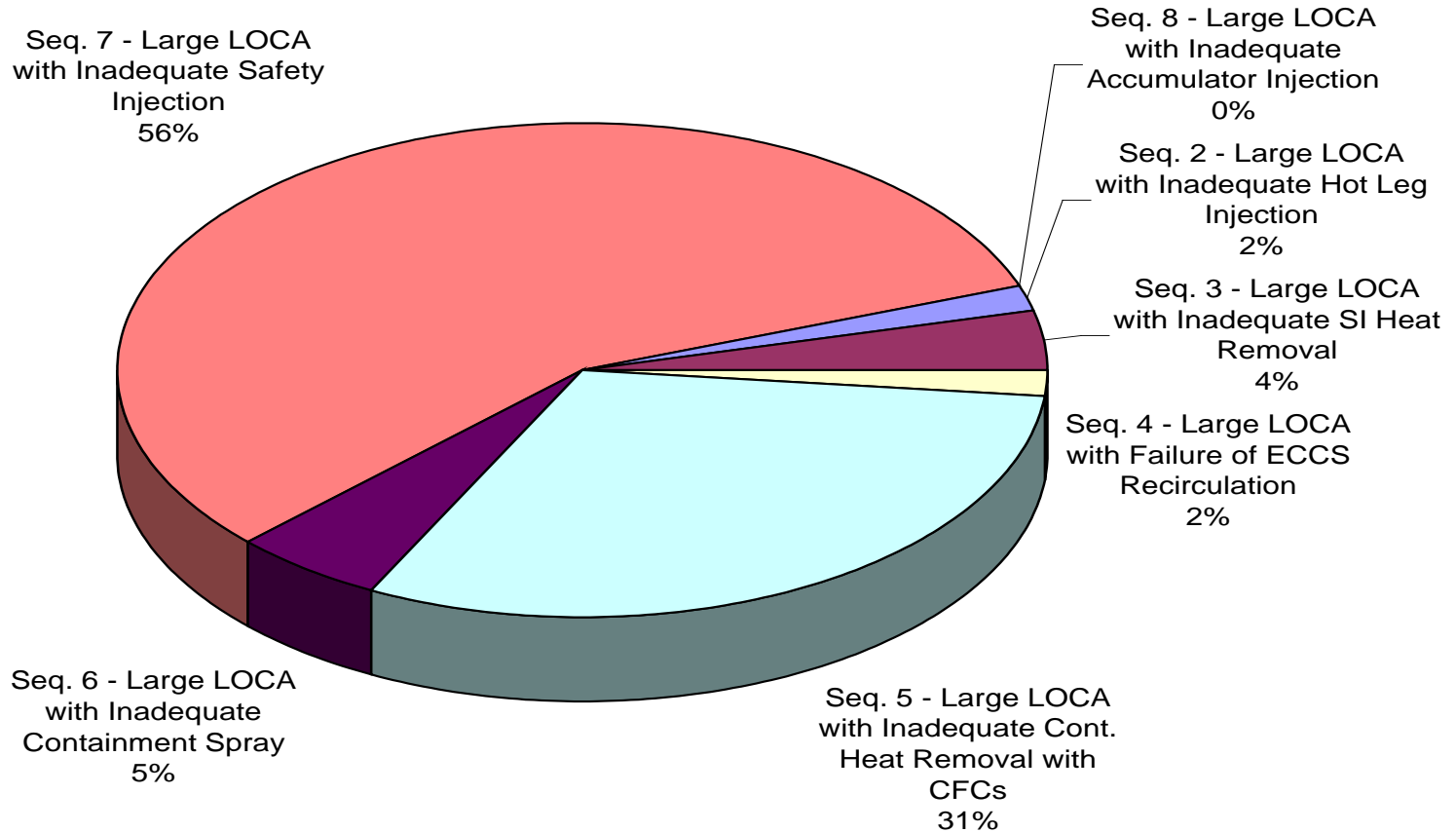
Recently proposed goal: The frequency of accidents leading to long-term evacuation should be less than once in a million years.

PRAモデルの概要



近年提案された目標: 長期的な避難に繋がる事故頻度は100万年に1回未満とすべきである。

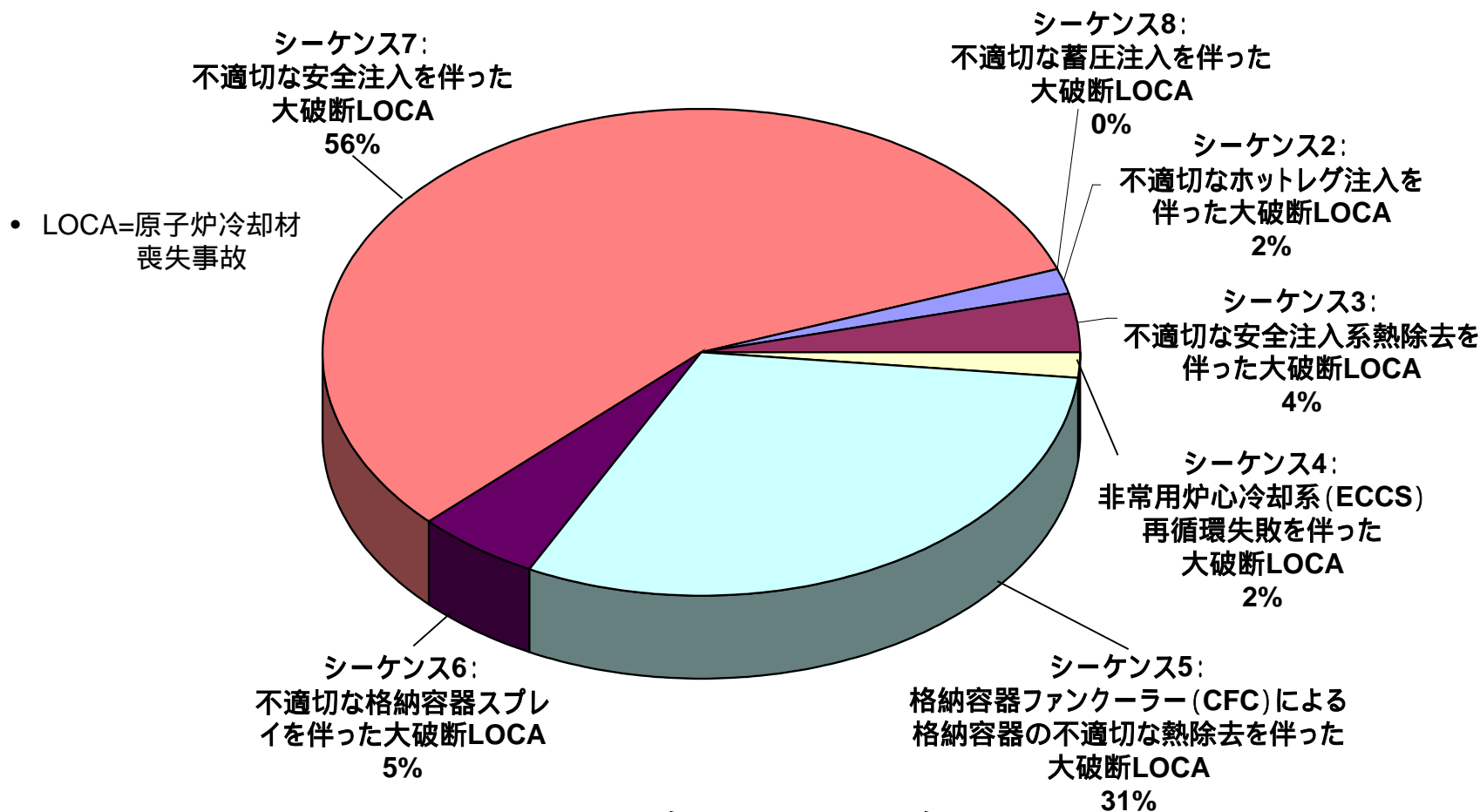
Contributions to Core Damage Frequency (CDF) for a Current U.S. Plant



CDF = 1.46×10^{-5} /yr (once every 68 thousand years)

D. True, Presentation at MIT, 2010

現在の米国プラントに対する 炉心損傷頻度 (CDF) への寄与



CDF = 1.46×10^{-5} /年 (68,000年に1回)

D. True, Presentation at MIT, 2010

Can we benefit from both the Traditional and the Probabilistic Approaches?

“A **risk-informed** approach to regulatory decision-making represents a philosophy whereby risk insights are considered together with other factors to establish requirements that better focus licensee and regulatory attention on design and operational issues commensurate with their importance to public health and safety.”

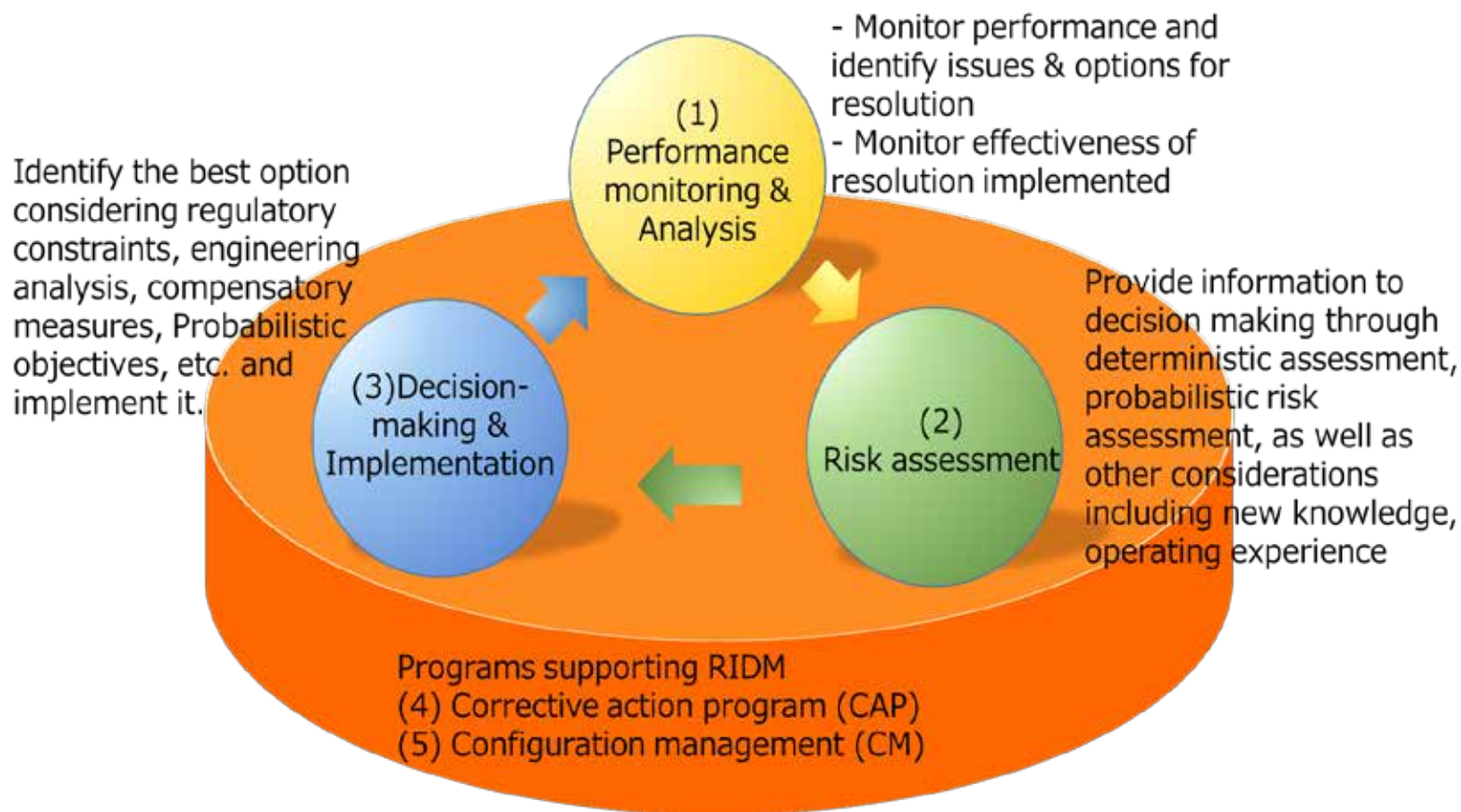
[Commission’s White Paper, U.S. NRC, 1999]

伝統的なアプローチと確率論的アプローチ 双方から恩恵を受けることができるのか？

「規制に関する意思決定に**リスク情報を活用する**アプローチは、リスクに関する知見を他の要因と併せて考慮し、事業者や規制当局が公衆の健康と安全に対する重要度に応じて設計・運転上の問題に注意を向けることのできるような要件を策定すべきである、という理念を反映したものである」

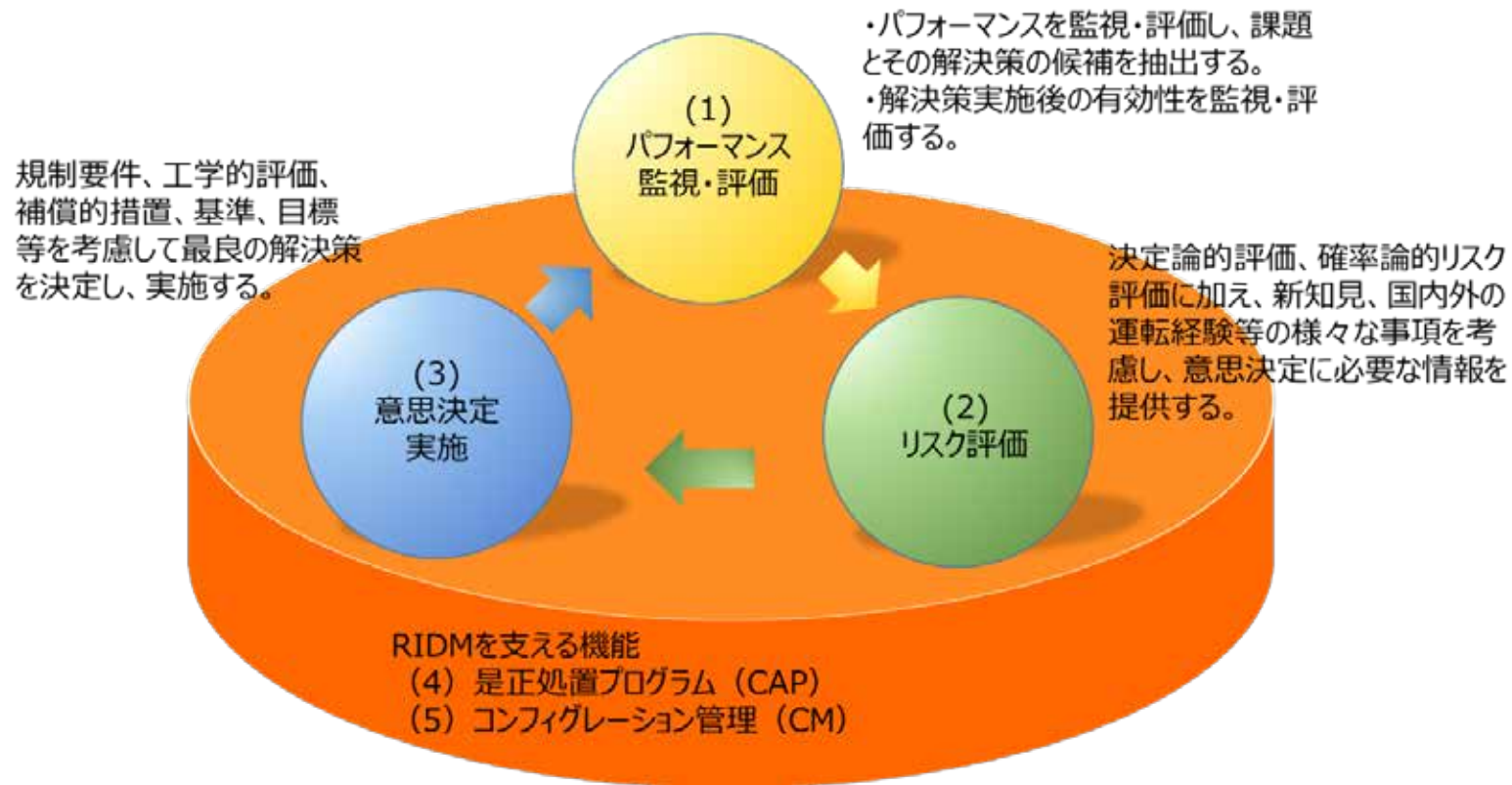
[原子力規制委員会白書、USNRC、1999年]

Comprehensive Risk Management



Strategic Plan of the Japanese Nuclear Industry

包括的なリスクマネジメント



日本の事業者の戦略プラン

Concluding Remarks

- **The question of what is acceptable or tolerable risk cannot be avoided.**
- **The residual risk metrics are a more rational way to communicate the degree of plant safety to the technical community and the public.**
- **Decision making regarding reactor safety issues must be based on the totality of available information, i.e., from both traditional and probabilistic analyses.**

結論

- 受け入れられ、容認できるリスクは何かという問いは避けて通れない
- 残留リスクを定量的指標で示すことは、技術者のコミュニティ及び公衆に対してプラントの安全性を伝える上で、より理にかなった方法である
- 原子炉の安全性に関する事項の意思決定は、利用できる情報全て、即ち、伝統的解析及び確率論的解析双方から得られる情報を基にすべきである