

2023年9月25~26日

# プラントにおける安全の論理

村上 健太 <murakami@n.t.u-tokyo.ac.jp>

東京大学大学院工学系研究科 レジリエンス工学研究センター

この講義は、北大・工・修士の集中講義「新型軽水炉安全工学」として実施しました

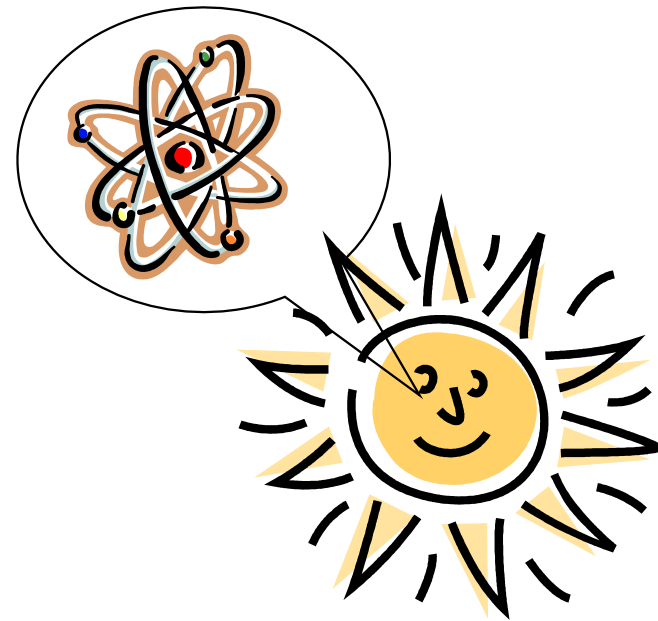
どちらが危険ですか？

乳児の口の中にある  
コイン



太陽で起きる

核融合反応



# 離隔 (Isolation)

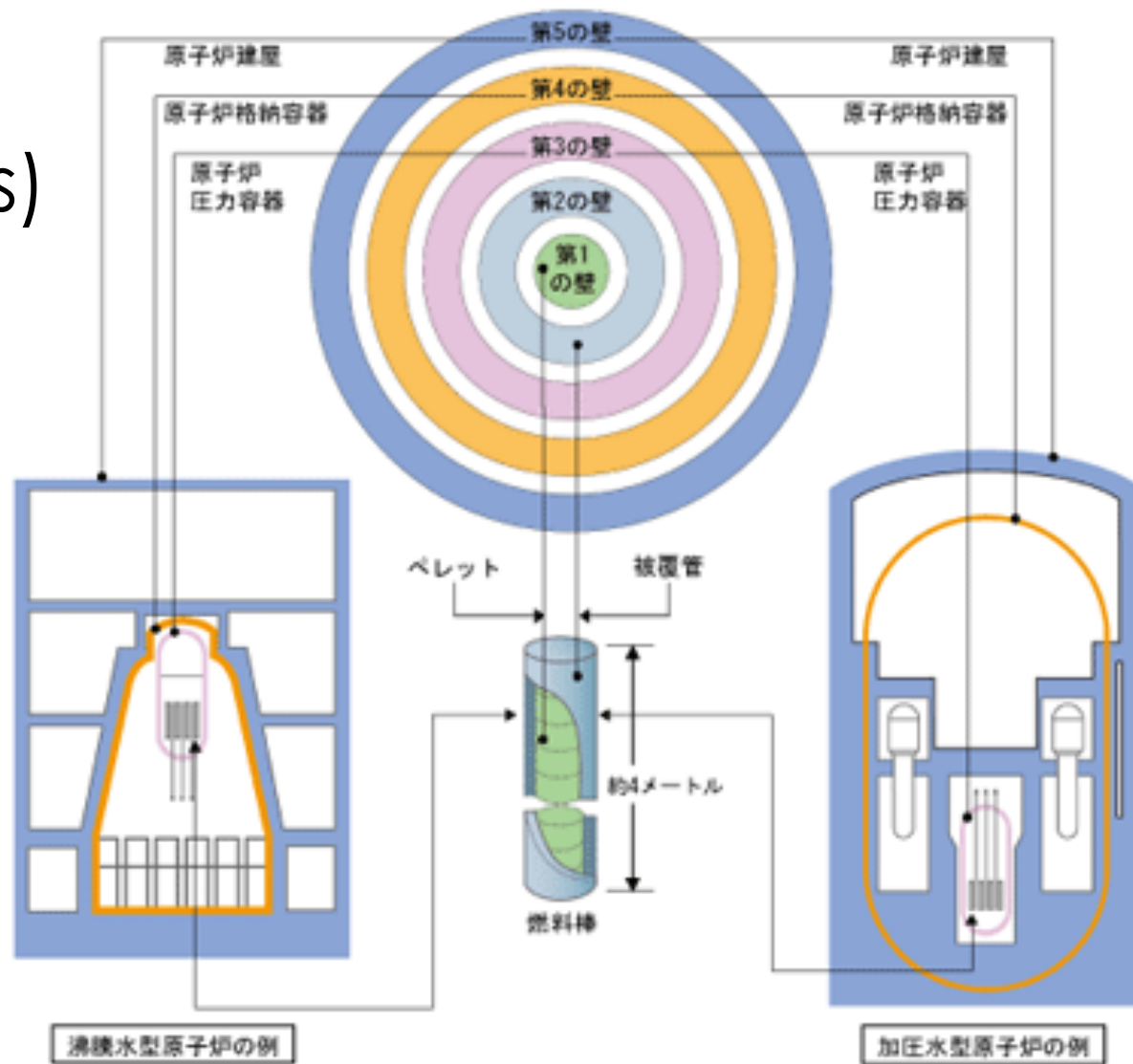
- 危険をもたらすもの（ハザード）が、危険を受ける人やものと接したときに、危険が顕在化する
- ハザードが防護対象に影響を与えないように離しておくことを離隔という。
- 離隔はさまざまな方法で達成できる
  - 距離を取る
  - 物理的な障壁を設ける
  - 曝露される時間を短くする                      等

# ハザード (Hazard)

- 危険の原因となるもののこと。
- プラントでは特に、計画的に管理できない機器の故障を引き起こす外力の原因を指すことが多い
- プラント内のハザード：
  - プラントで管理しているもの（放射性物質、高温物質、化学物質、生物など）、
  - プラントを動かすために使うもの（火源、蒸気、貯留水、有毒ガス、タービンなどの動的機器など）
- プラント外のハザード：
  - 人為的現象（飛翔物、電磁波、火災、ほか）
  - 自然現象（地震、津波・洪水、強風、落雷、気温の変化、土石流、降灰、ほか）

# 物理的な障壁 (Physical Barriers)

軽水炉の場合  
(ただし、このコンセプトは  
後述の深層防護と区別する  
ことが必要)



## 考えてみよう

- あなたは「乳児がもの（例えばコイン）を誤飲しないような対策」を検討するように依頼されました。
- まずは、限界を設けずにオープンに考えたいと思います。
- どんな対策を取りますか？

# 安全バリア (Safety Barriers)

- 物理的バリア：ハザードが防護対象に害をなさないような壁となる  
(例：自動車のバンパー、ボディ、エアバッグ本体など)
- 機能的バリア：ハザードを検知して害を減らすように動作する  
(例：自動ブレーキ、エアバック起動装置など)
- 記号的バリア：危険の存在や、その回避方法を示す  
(例：信号、標識、表示灯など)
- 制度的バリア：危険を回避したり、管理したりする仕組みをつくる  
(例：スピード制限、車検など)

# 設計上の留意点

- 防止系：故障等の発生を防止することが安全上重要なシステム
- 緩和系：トラブル発生時に動作し、その影響を緩和するシステム
- インターロック：設計時に決められた複数の条件がすべて揃わないと機能が有効にならないよう制御する方式
- フェールセーフ：システム又はこれを構成する要素が故障したときに、設計時に想定した“安全側”に動作するような設計手法
- 安全余裕：製品を使用する全ての期間において予想される最大負荷が、機器等の物理的な限界を十分下回るように設計すること



# 深層防護 (Defense in Depth)

- 多段の安全対策を用意し、かつ各段の設計時には当該の段だけで安全確保できるように設計するという、安全確保の基本戦略のこと
- 次のコンセプトを組み合わせて実装することが多い
  - 多重性：複数の安全対策を持たせること
  - 冗長性：必要な台数に対して、余分を持たせること
  - 多様性：一つの安全機能を、異なる手段等で実現すること

## 考えてみよう

- あなたのプラントでは、非常用発電機を設置することにしました。
- 必要な設備容量は 100 kW であり、最長72時間の機能維持が必要です。
- 発電機及び備蓄燃料の準備に当たり、限られたリソースを使って、どのように深層防護を高めることができるでしょうか？

