

2023年9月25~26日

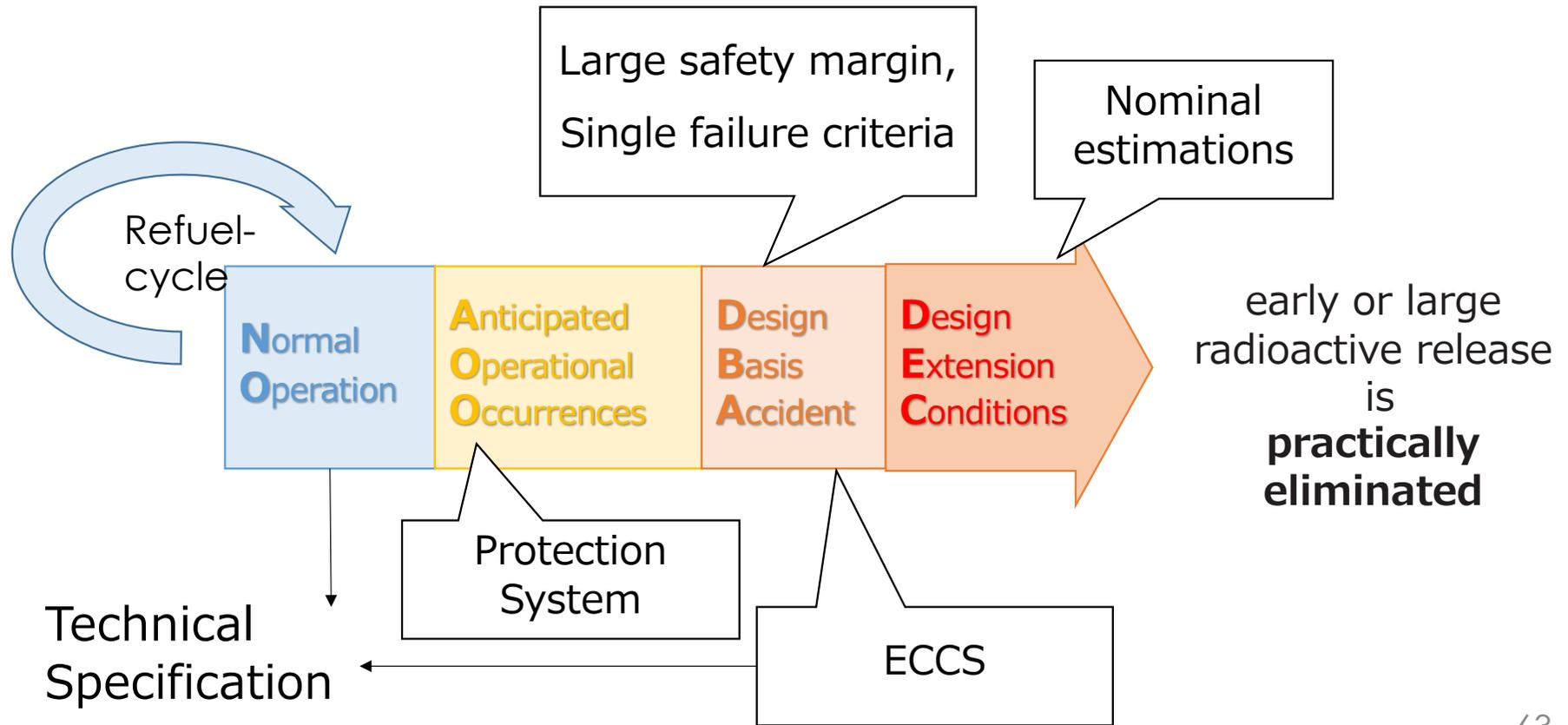
深層防護別にみる安全設計の具体例

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

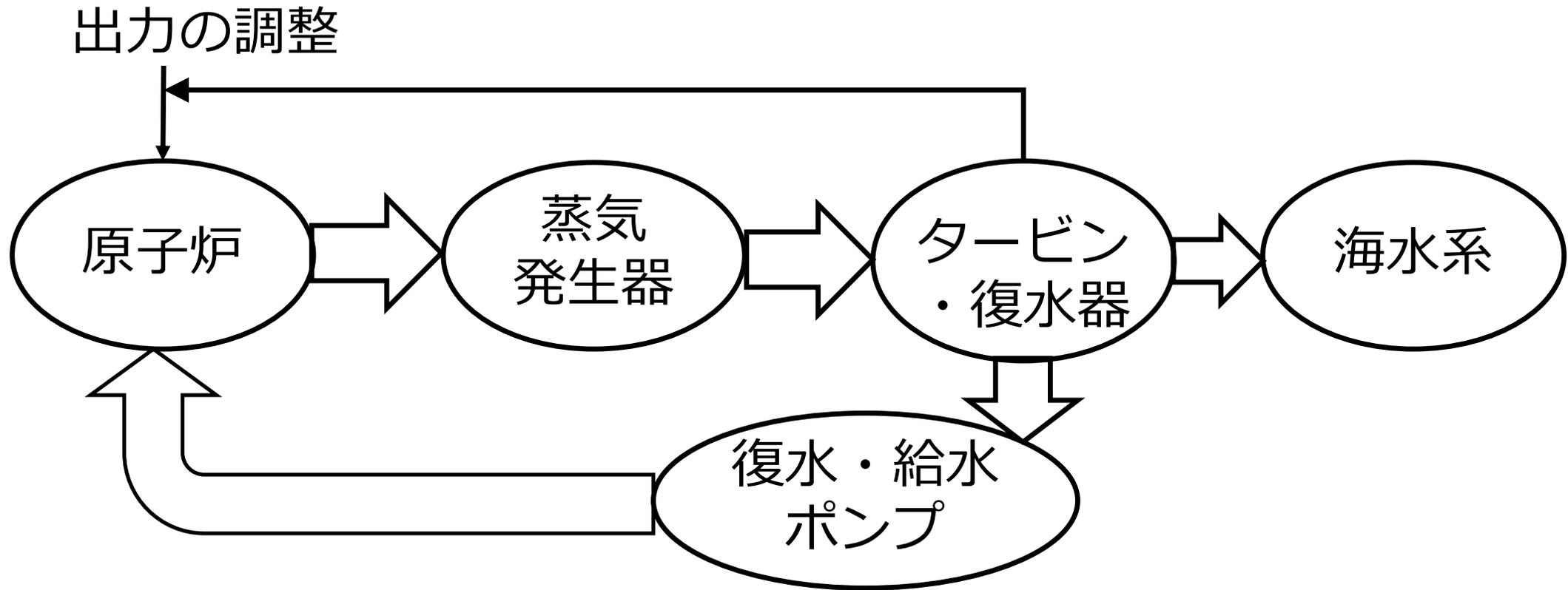
原子炉発電システムにおける深層防護



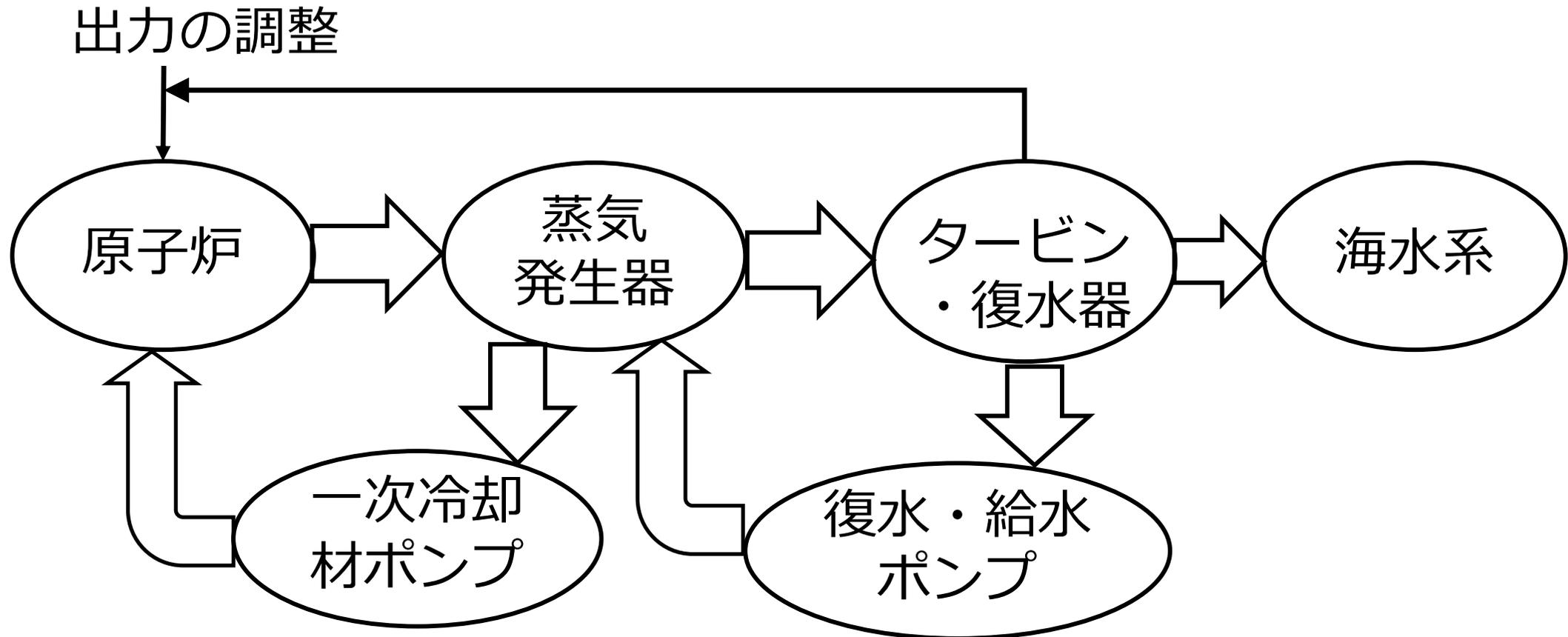
考えてみよう

- 深層防護の五つのレベルと、5重の壁は、どのような関係にありますか？
 - 通常運転
 - 異常な過渡変化
 - 設計基準事故
 - 設計拡張状態
 - 防災対策
 - 燃料ペレット
 - 被覆管
 - 原子炉圧力容器
 - 格納容器
 - 原子炉建屋

BWRプラントのシステム構成

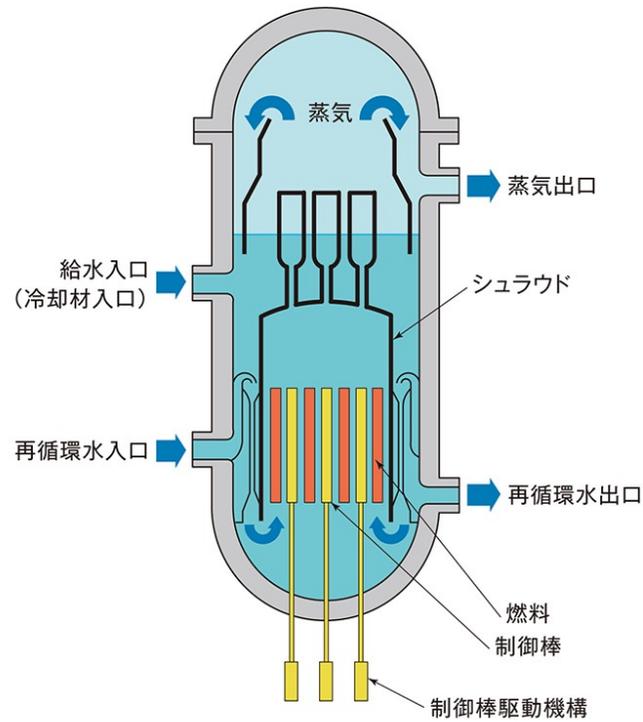


PWRプラントのシステム構成

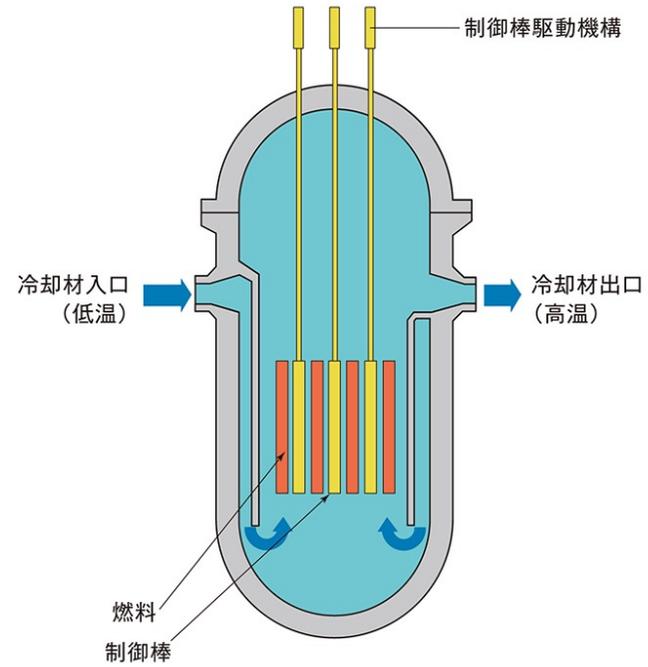


原子炉压力容器断面図

沸騰水型原子炉 (BWR)



加圧水型原子炉 (PWR)



原子力エネルギー図面集

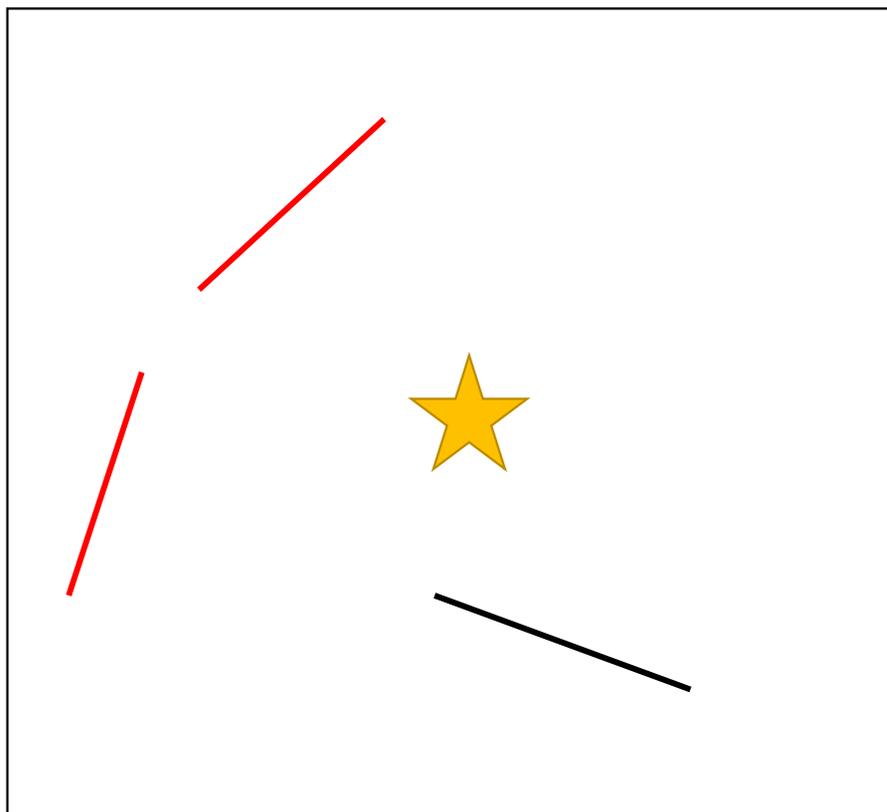
<https://www.ene100.jp/zumen/5-1-6>

原子炉冷却材圧力バウンダリの設計と 供用期間中検査 (In-service Inspection)

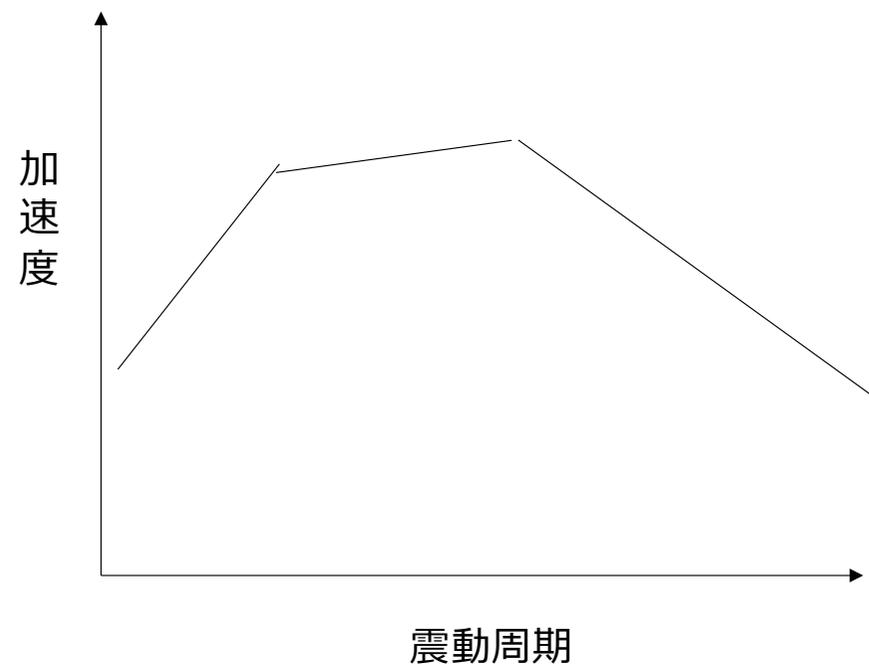
- 原子炉冷却材圧力バウンダリは、亀裂が発生する確率が極めて低く、発生した欠陥は不安定破壊や急速な亀裂進展に対する抵抗性が高い領域で進展するように設計する
- 構造部の亀裂は、運転期間中も、非破壊検査によって定期的に確認する
- バウンダリの内側にある動的機器（ポンプの羽根車や弁）は、想定される劣化を踏まえてもバウンダリ内の他の機器に干渉しないように、設計と保全の両面に対応する。

地震ハザードの評価

活断層の同定



地震動の伝達

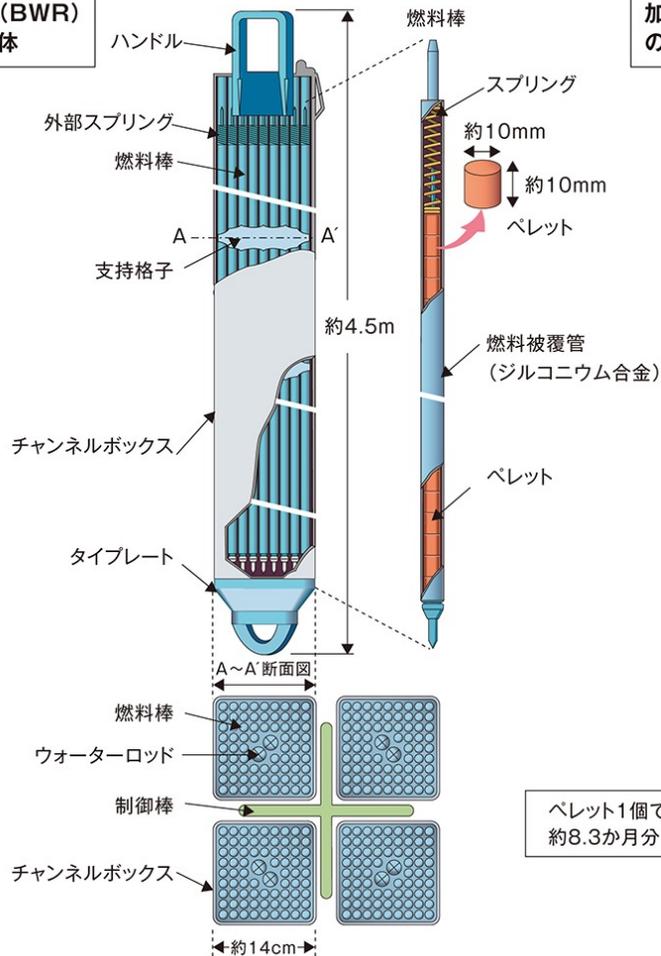


クリフエッジ効果

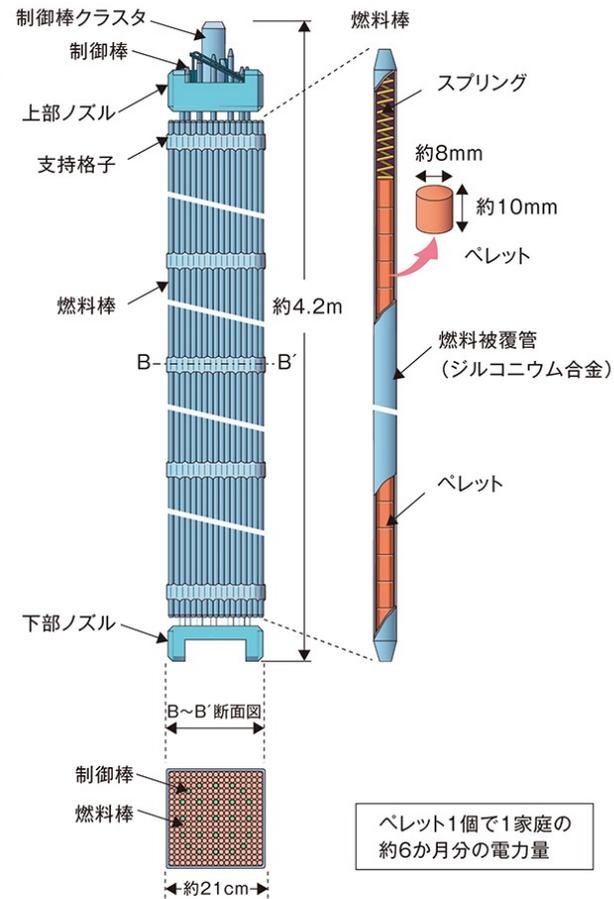
- プラントパラメーターのわずかな偏差によって、あるプラント状態から別のプラント状態へと急激に移行するような特徴
- 例えば、
 - 核燃料の出力がわずかに大きくなると冷却性能が大幅に低下する
 - 洪水の高さが想定をわずかに超えると、発電所全体が浸水する

燃料集合体の構造と制御棒

沸騰水型炉 (BWR) の燃料集合体



加圧水型炉 (PWR) の燃料集合体



ペレット1個で1家庭の約8.3か月分の電力量

ペレット1個で1家庭の約6か月分の電力量

<https://www.ene100.jp/zumen/5-1-7>

炉心と燃料要素

- 供用中の劣化を受けても、形状を保持する
 - ペレットの膨張、熱伝導の変化、割れ、被覆管の腐食や振動、内圧変化
 - 設計限界（線出力密度を十分小さくし、沸騰遷移を避ける）
- 制御棒挿入性を維持する
- 炉心の中性子分布が安定している
- 冗長性のある原子炉停止系を有する

安全保護系

- 原子炉運転中に、異常を検知して、原子炉緊急停止系を作動して自動的に（あるいは手動で）原子炉停止する
- 事故時に、炉心及び格納容器バウンダリを保護するため、工学的安全施設を作動させる
- 単一故障基準を満たす設計とする
- 原子炉の制御システムからは分離した設計とする
- 事故時の正しい対応を阻害しない設計とする

