

SMR のメルトダウン対策 : Answer from ChatGPT;

MR（小型モジュール炉）のメルトダウン対策は、従来の大型軽水炉よりも「起こりにくく・起きても進展しにくい」設計を重視している点が特徴です。荒井様はこれまで原子炉の安全設計に关心を持たれていましたので、技術的観点から体系的に整理します；

● そもそも SMR はメルトダウンが起こりにくい設計

①出力・崩壊熱が小さい

熱出力：大型炉（3000MW 級）に対し、SMR は数十～300MW 程度

崩壊熱も比例して小さいため、

冷却喪失時でも燃料温度上昇が遅く対応時間に余裕がある

② 受動安全（パッシブセーフティ）が中核

SMR 最大の特徴が外部電源・人操作に頼らない冷却です。

● 重力・自然循環による炉心冷却

例：NuScale、BWRX-300 など

ポンプ停止でも自然対流で冷却水が循環、非常用炉心冷却系（ECCS）が、バルブを開くだけで作動電源・操作員不要→全電源喪失（福島型事故）でも炉心溶融に至りにくい

③ 一体型圧力容器で配管破断事故を抑制

多くの SMR は一体型（インテグラル型）PWR：

* 蒸気発生器・加圧器・主配管を圧力容器内に内蔵。大口径冷却材配管が存在しない

→ LOCA（冷却材喪失事故）の最大原因を原理的に排除

→ 炉心露出＝メルトダウンの引き金が起きにくい

④ 炉心損傷時の「進展防止」設計

万一、燃料損傷が始まても：

● 炉心キャッチャー・下部冷却構造

一部設計では：圧力容器下部に溶融燃料受け皿（コアキャッチャー）設置

外部から自然冷却

→ 圧力容器破損・格納容器貫通を防止

⑤ 地下設置・水没型配置

多くの SMR が：

原子炉建屋を地下に設置

原子炉モジュール全体を大型水槽に沈める構造

例：NuScale

効果：

- 外部衝突・航空機テロ耐性
- 冷却水が自然に供給され続ける
- 放射性物質の閉じ込め性が高い

⑥ 炉型別のメルトダウン対策の違い

■ 軽水型 SMR (NuScale、BWRX-300 等) :

従来炉の延長だが、受動冷却、一体型容器、地下設置
→ 福島事故の教訓を最も直接反映

■ 高温ガス炉型 SMR (HTGR) :

燃料 : TRISO 被覆粒子 (1600°C以上でも破損しにくい)

冷却材 : ヘリウム (化学反応せず、沸騰しない)

特徴 :

- * 炉心溶融という概念がほぼ成立しない
- * 冷却喪失でも自然放熱で停止
- 「本質的にメルトダウンしない炉」とされる

■ ナトリウム冷却高速炉型 SMR

* 低圧運転、沸点高い

ただし :

- * ナトリウム水反応リスク
- * 炉心設計の複雑さ

⑦ 規制上の位置づけ

多くの SMR 設計は、「炉心損傷頻度 (CDF)」を、従来炉の 1/10~1/100 以下に設定
一部は、「大規模住民避難不要」という前提で審査されつつあります (米国 NRC など)

まとめ (要点)

対策カテゴリ	内容
事故予防	出力小・崩壊熱小
冷却確保	受動安全・自然循環
事故誘因除去	一体型容器で配管破断防止
進展防止	コアキャッチャー・下部冷却
外的耐性	地下設置・水没配置
炉型革新	高温ガス炉は事実上メルトダウン不可