

もんじゅ安全性の国際レビュー

(4) 国外レビュー

原子力機構
中井 良大

1. はじめに

「安全確保の考え方」の国外レビュー [1,2]

- 目的: より客観的な立場からの公正な評価
- 国際的な高速炉安全性の考え方との比較
- 各国の安全確保の考え方に基づいた検討

[1] Japan Atomic Energy Agency, "International Review on Safety Requirements for the Prototype Fast Breeder Reactor "Monju", JAEA-Evaluation 2015-013

[2] 日本原子力研究開発機構、『「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」の国際レビュー報告書(翻訳資料)』、JAEA-Review 2015-029

2. 実施方法: レビューワーの構成

- 米国、仏国、露国、中国、韓国、欧州連合(EU)
 - 高速炉安全性に関する主導的な専門家9名から構成。
- 各国の高速炉計画(SPX、ASTRID、BN-600/800、CEFR、KALIMER、ESFR等)において安全設計・評価に責任ある立場
 - 仏国 CEA科学アドバイザー
 - 露国 IPPE所長
 - 中国 CIAE部長・次長
 - 韓国 KAERI研究主幹・研究員
 - 米国 ANL部長
 - 欧州 EU共同研究センター研究官・プロジェクトリーダー
- GIF(第4世代原子力システムに関する国際フォーラム)やIAEA等の国際協力における重要メンバー

2. 実施方法:レビュー対象

「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」 2014年7月

- 1 はじめに
- 2 「もんじゅ」の安全確保の考え方に関する検討の視点
- 3 設計基準事故対応策の強化に関する考え方
- 4 重大事故の防止と影響緩和に関する考え方
- 4.1 基本的な考え方
- 4.2 事故シーケンスグループの選定
- 4.3 炉心等の著しい損傷防止策の考え方
- 4.4 格納機能の確保策の考え方
- 5 著しい外部事象に関する対策の考え方
- 6 東京電力福島事故を踏まえた特別な安全確保対策について
- 7 安全確保の考え方(16の要求)

- レビュー範囲

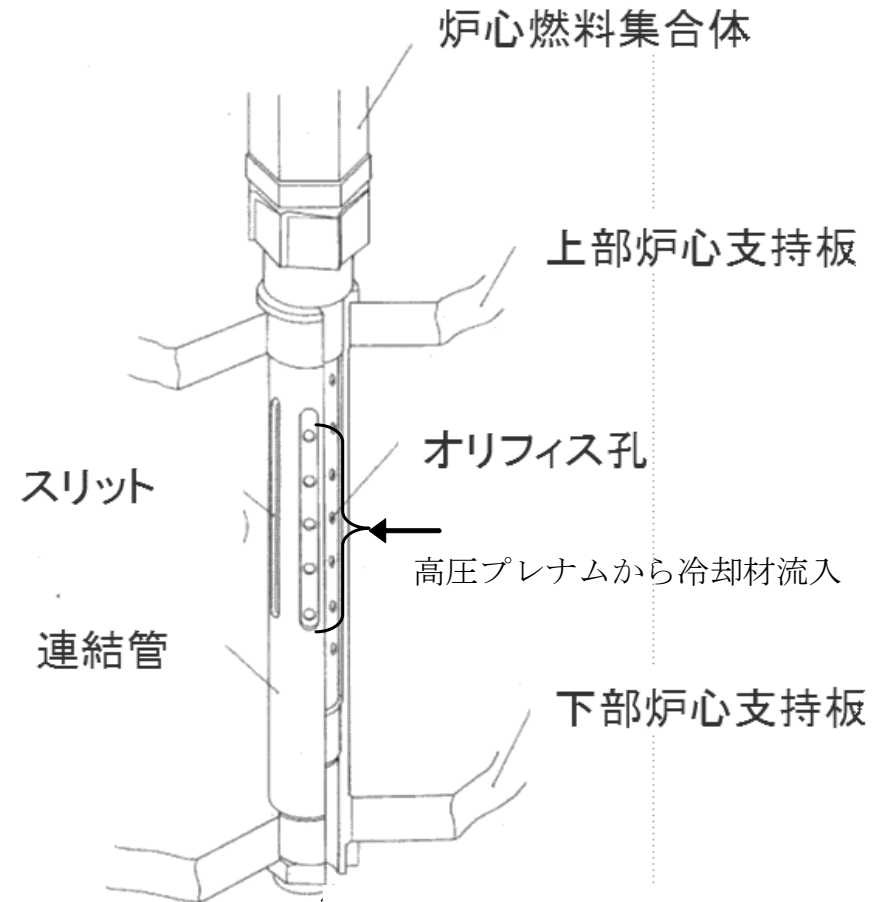
- 「第4章 重大事故の防止と影響緩和に関する考え方」
- 「第7章 安全確保の考え方」

3. 評価結果：概要

- 全36項目の評価項目の結果
 - 評価委員9名全員から肯定的な評価（ほぼ全てに対して）
- 「もんじゅ」の重大事故の発生防止と影響緩和に関する基本的考え方
 - 高速炉特有の安全特性を考慮すれば適切
 - 国際的な共通認識にも一致
- 特に、ナトリウム冷却高速炉「もんじゅ」の特徴を踏まえ、以下が国際的なコンセンサス
 - 多重の冷却材流路を確保でき、全電源喪失のような設計基準を超える事故時においても、自然循環除熱により炉心が溶融する可能性はきわめて低い
 - 仮に原子炉の停止に失敗して燃料溶融が発生した場合でもその影響は原子炉容器内にとどまり、放射性物質の格納機能は確保される

3. 評価結果:TIBの考え方(1)

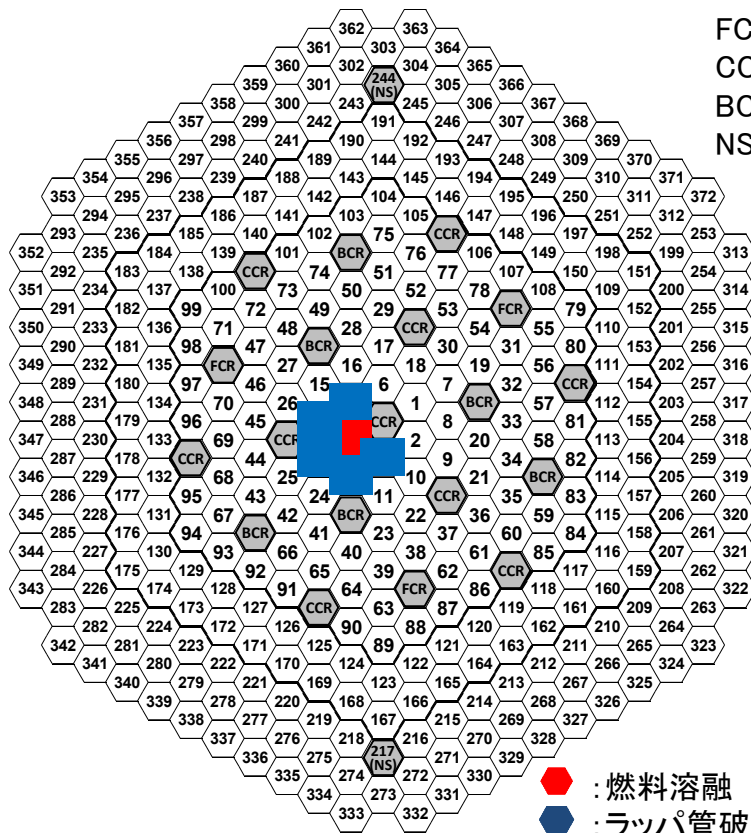
- 集合体入口の瞬時完全閉塞 (TIB)も考慮すべきとの評価シートでの指摘(仏国、露国)
- レビュー会議での議論と結論
- 「もんじゅ」では発生確率が無視できる程度に小さい
- その影響はULOF事象に代表される全炉心事故に十分包絡される
- 事故シーケンスとして選定する必要はない



「もんじゅ」における集合体入口瞬時完全閉塞の防止対策

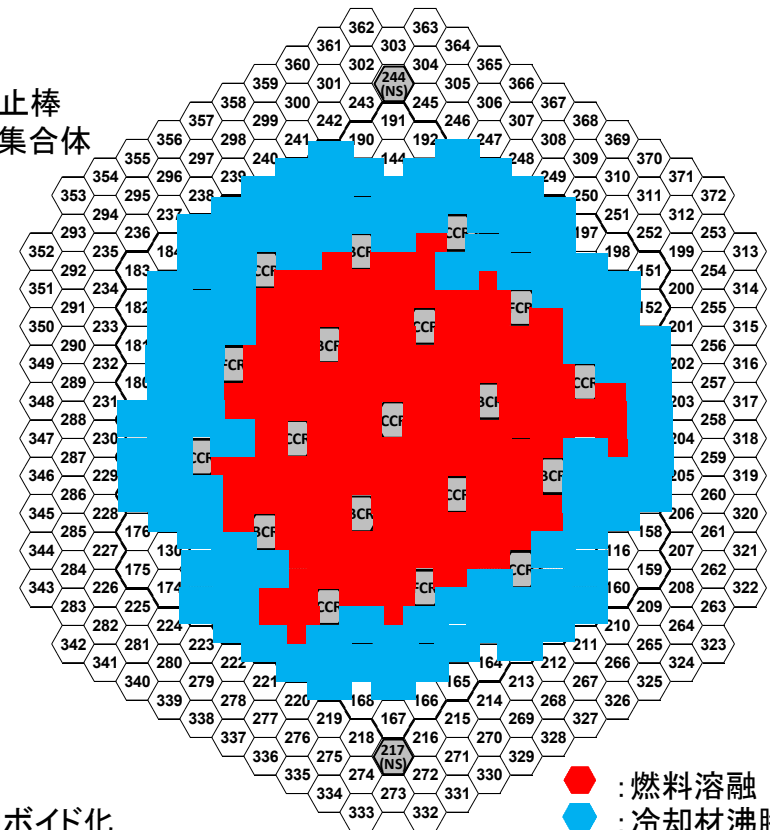
3. 評価結果：TIBの考え方(2)

- ULOF事象では、ほぼ全炉心的に燃料集合体が溶融するのに対し、TIBで溶融する集合体は限定的
- 溶融が限定的なTIB 事象では、炉停止後の崩壊熱の除熱も容易



最大出力集合体でのTIB(炉停止直前)

FCR: 微調整棒
 CCR: 粗調整棒
 BCR: 後備炉停止棒
 NS : 中性子源集合体



ULOF(出力ピーク直後)

3. 評価結果: ATWSの考え方(1)

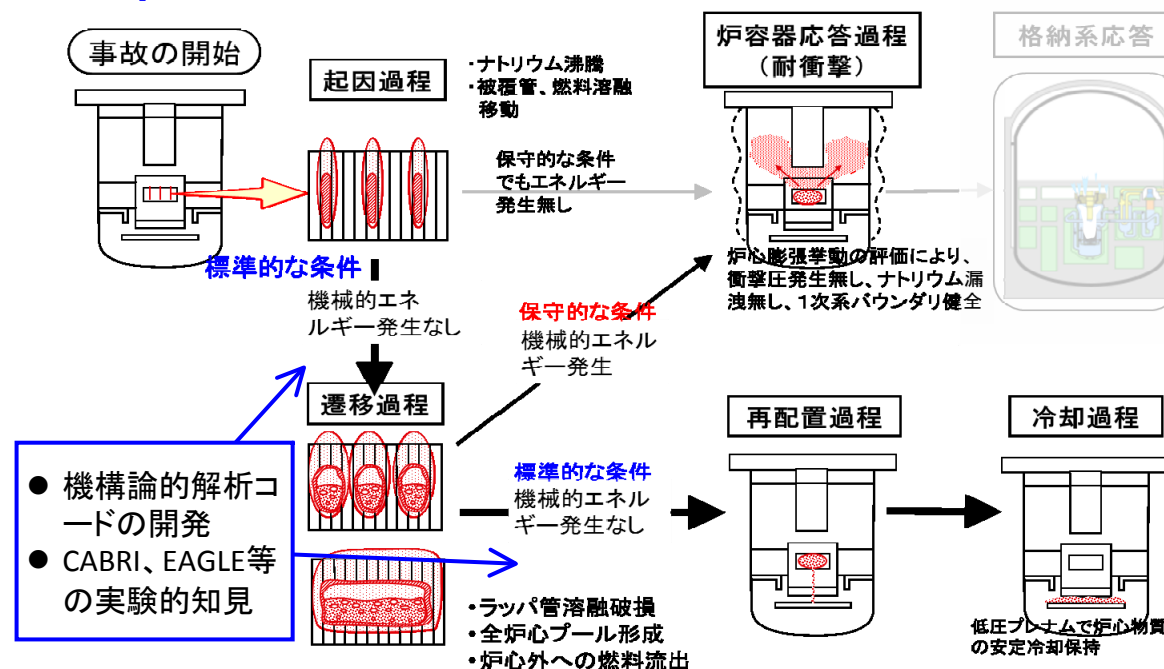
原子炉停止機能喪失事象(ATWS)

安全上の課題認識

- 高速炉の反応度特性に起因して再臨界事象及びその結果生ずる機械的エネルギー放出の潜在的可能性

最確評価

- 事故進展は即発臨界に至らず、機械的エネルギー放出も殆ど無い



(例) 原子炉停止機能喪失事象(ATWS系)の評価フロー

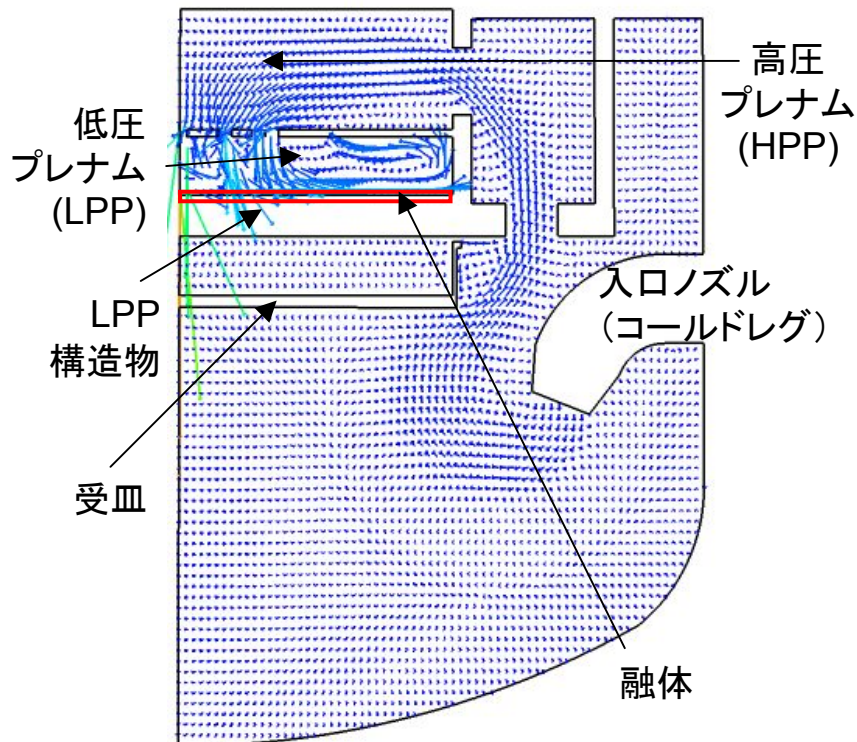
不確かさの考慮の重要性

- 重大事故解析では保守的な想定は必ずしも要求されない
- 特に燃料損傷以降に起きる事象に関しては比較的大きな不確かさが残っていることを認識し、その影響評価は評価結果の信頼性と頑健性のために重要
- 不確かさを考慮した想定を用いても原子炉冷却材バウンダリの健全性は維持

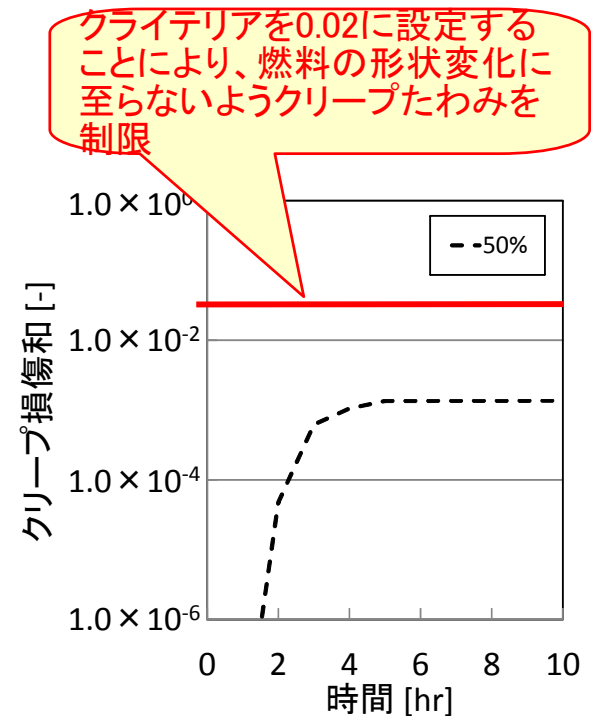
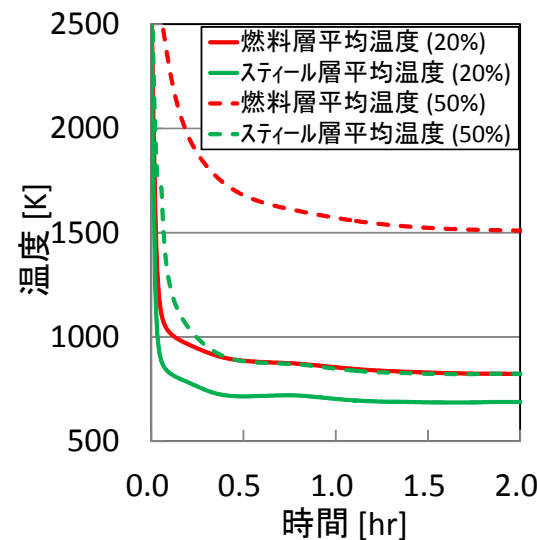
3. 評価結果：ATWSの考え方(2)

損傷炉心の冷却性

- 損傷炉心の炉容器内保持 (IVR) シナリオは、低圧系で熱輸送特性に優れた单相ナトリウムを冷却材として使用するナトリウム冷却炉固有の安全で信頼性の高い崩壊熱除去能力を反映
- 様々な不確かさも考慮して適切に評価



「もんじゅ」下部プレナム流動状況



低圧プレナムにおける炉心物質冷却保持挙動評価結果

3. 評価結果: LOHRSの考え方(1)

除熱機能喪失事象(LOHRS) PLOHSとLORL

基本的考え方

- 多重の炉心損傷防止対策により格納機能確保(著しい放射性物質の放散防止)は妥当

PLOHS対策(崩壊熱除去機能)

設計基準事故対策

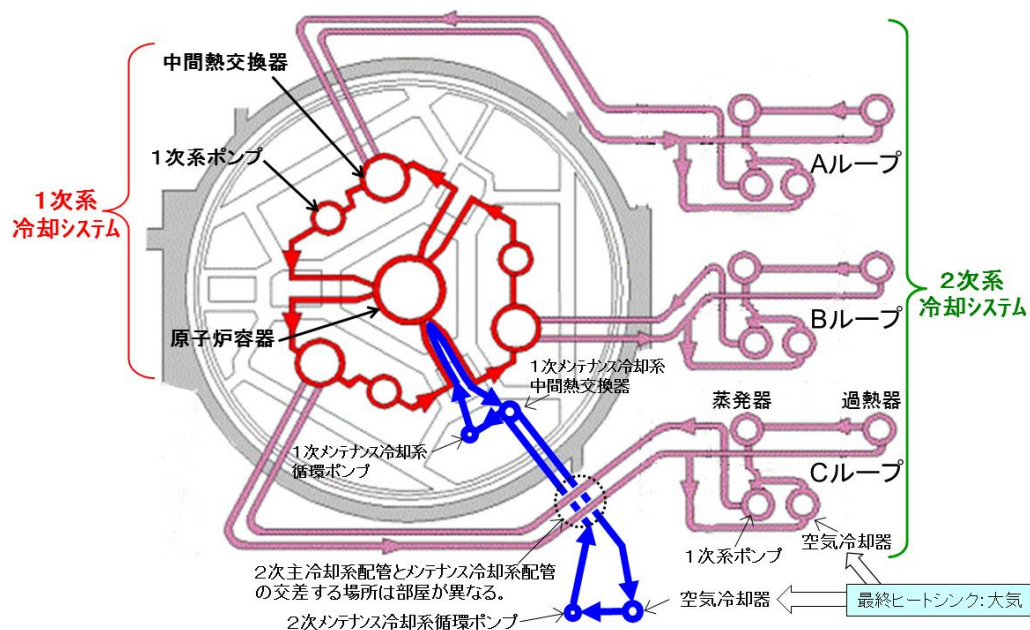
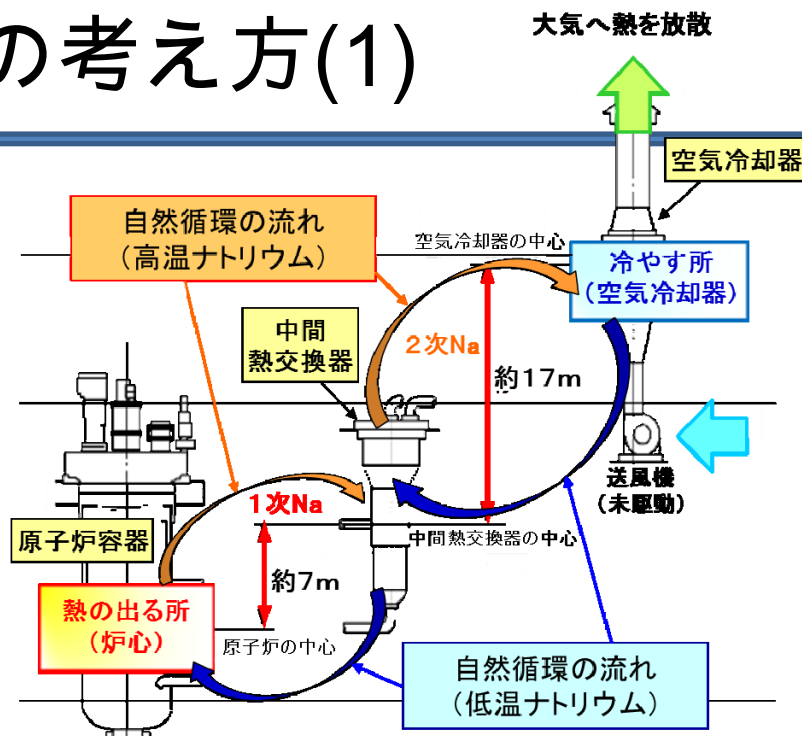
- 補助冷却系強制循環による冷却
- 3系統の多重性

重大事故(SBO)対策1

- 補助冷却系自然循環による冷却
- 3系統の多重性

重大事故対策2

- メンテナンス冷却系
- 直接炉心から独立した冷却系



3. 評価結果: LOHRSの考え方(2)

LORL対策

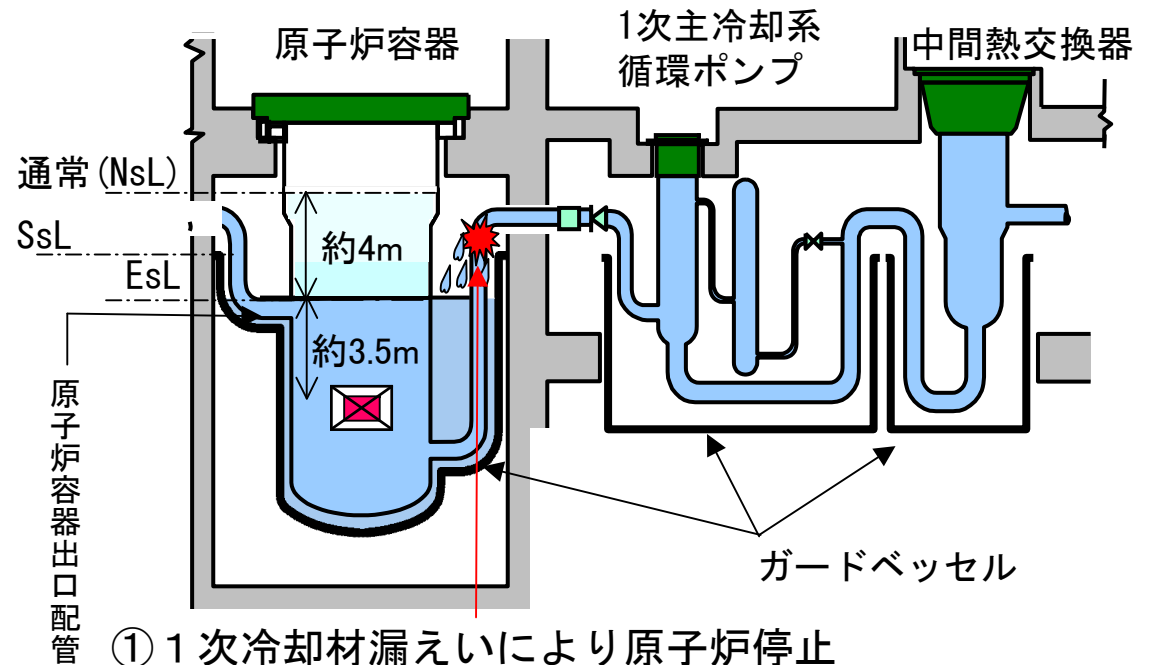
(冷却材液位確保機能)

設計基準事故対策

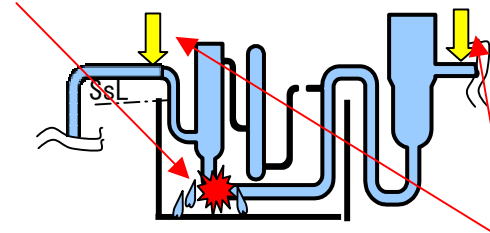
- 高速炉では系統圧力が低いため、炉心冷却に必要な冷却材液位を十分確保
- 高所配管引き回しとガードベッセル

重大事故対策1

- 設計基準の想定を超える1次系の2か所漏えいを想定した場合でも、主冷却系の循環パスは確保され、補助冷却設備による除熱が可能
- 漏えいループのサイフォンブレーク操作等



- ① 1次冷却材漏えいにより原子炉停止
→原子炉容器Na液位低下 (0~4m)
- ② 別ループのSsLより低所で1次冷却材漏えい発生

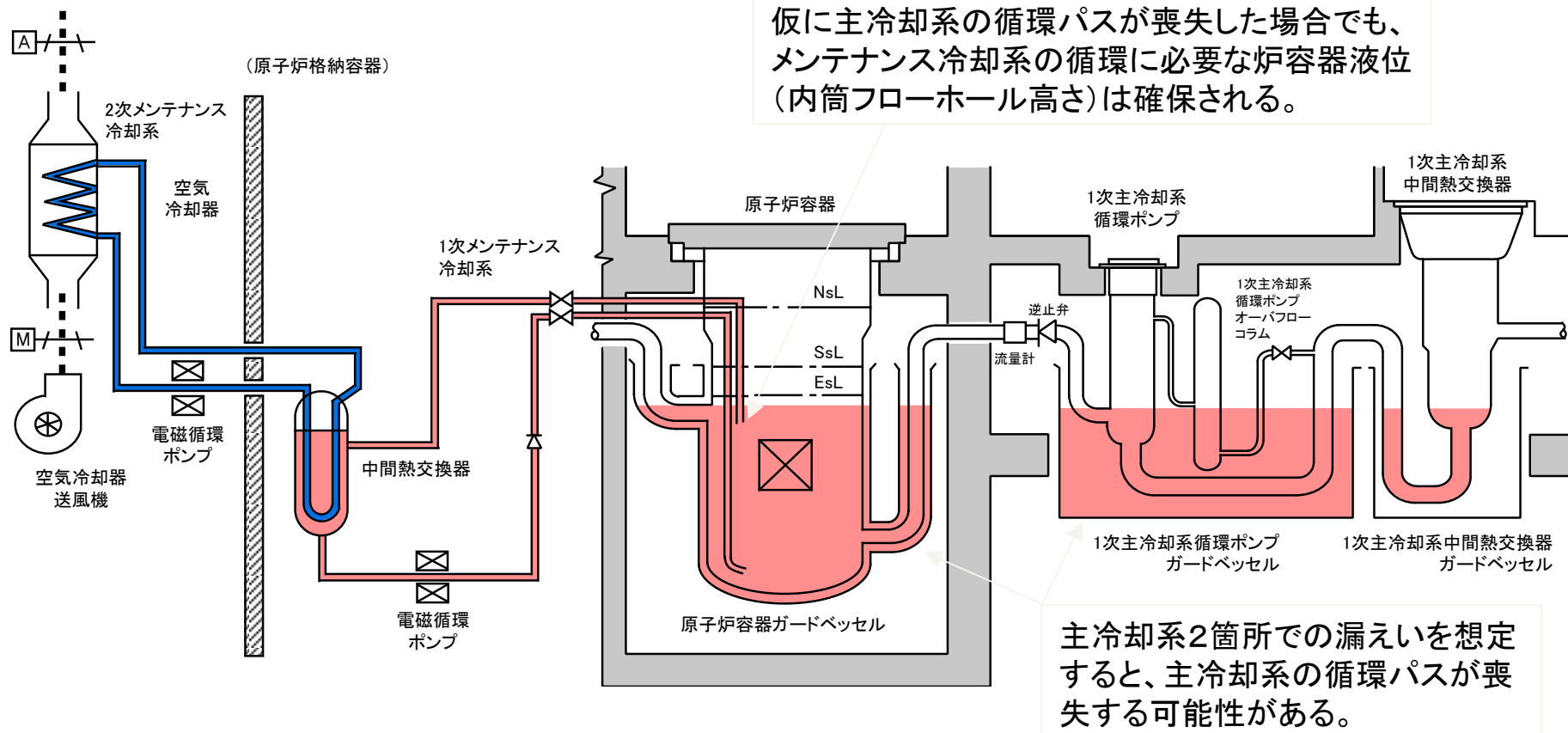


- ③ 【対処】 運転員によるサイフォンブレーク操作
- ➡ ④ 炉心を安定に冷却

3. 評価結果: LOHRSの考え方(3)

重大事故対策2

- 仮に主冷却系の循環パスが喪失したとしても、メンテナンス冷却系の循環に必要な原子炉容器液位は確保されるため、メンテナンス冷却系により、崩壊熱除去が可能



4. まとめ(1)

- 重大事故の想定は、ナトリウム冷却高速炉の特徴を踏まえ、系統的かつ包括的に実施されており、安全確保の基本的考え方は妥当なものであることが国外レビュー者間で合意された。
- 原子炉容器内保持(IVR)シナリオは、ナトリウム冷却高速炉の持つ固有の安全性と信頼性の高い崩壊熱除去能力を反映したものであり、高速炉安全における最新の国際的アプローチにも一致する。
- 原子炉停止に失敗して炉心が溶融しても、炉心物質は原子炉容器内に保持(IVR)され、原子炉容器の健全性が確保されることが、様々な不確かさも考慮して適切に評価されている。

4. まとめ(2)

- 高速炉では、全電源喪失のような設計基準を超える事故においても、自然循環による冷却が可能である。また高速炉では系統圧力が低いため、炉心冷却に必要な冷却材液位が十分確保でき、除熱が失敗した場合でも、炉心損傷までの時間が長く、多重な対策が期待できる。これらのことから、「もんじゅ」の格納機能確保(著しい放射性物質の放散防止)を炉心損傷防止により達成するという考え方は妥当である。
- 東電福島事故の教訓を反映して、設計基準を超える地震・津波などの外的事象に対し、高速炉の構造物、系統及び機器の耐性と設計上の特徴を考慮しつつ、確率論的リスク評価を利用して安全確保策を策定することとしており、外部事象に対する要求事項は妥当なものである。