



新型炉部会セッション
研究開発段階発電用原子炉に対する規制基準に関する論点

規制基準に関する論点と提言

東海大学
可児 吉男

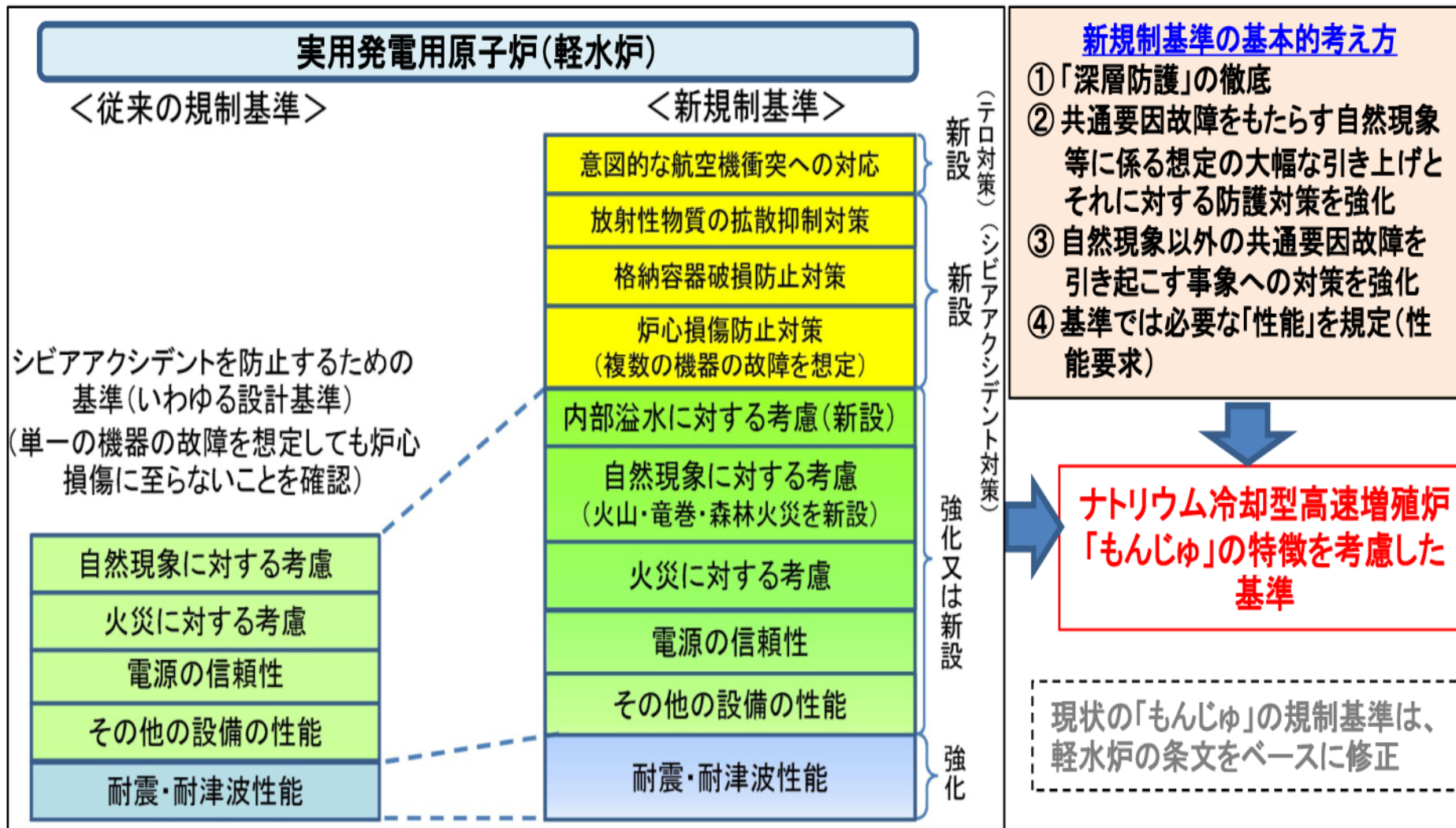


ご説明内容

1. 現状認識を踏まえた論点の整理
2. 論点に対する考え方
3. 今後の検討に対する提言



1. 現状認識を踏まえた論点の整理



※「実用発電炉用原子炉に係る新規制基準について—概要—平成25年7月規制委」より抜粋して加工



1. 現状認識を踏まえた論点の整理

(1) 発電用原子炉に共通する要件と考え方

- ・研究開発段階炉であることから、特別に考慮すべき要件があるのか否か
- ・重大事故対策に着目した深層防護の考え方
- ・自然現象等への対応

(2) SFRの特徴を踏まえた重大事故対策の考え方

- ・炉心損傷事故の特徴と防止対策
- ・格納機能喪失要因と防止対策
- ・放射性物質の放散抑制対策
- ・自然現象等に対する考慮
- ・意図的な航空機衝突への対応

(3) SFRの重大事故等対処設備に関する基準の要件と留意点

- ・重大事故等対処設備の現状の条文は、実用軽水炉のものを流用しているが、SFRの特徴を踏まえた内容とする場合、どのような要件とすべきか



2. 論点に対する考え方



(1) 発電用原子炉に共通する要件と考え方

① 研究開発段階炉であることについて

研究開発段階炉であることによる特段の要件はない。

研究開発段階炉であっても実用軽水炉と同様にPRAの結果を参照して重大事故シーケンス、格納容器破損モードを同定して対策を検討する。検討にあたっては「もんじゅ」の特徴を考慮して対象とする事象と対策の有効性を十分吟味する必要があるが、研究開発段階炉だからといって特段の付加的な要件があるわけではない。

ただし、研究開発段階にある原子炉施設においては、技術の成熟化を図っていく途中段階にあり、実験段階において基礎的技術が習得されているものの、実用軽水型発電炉に比べて運転経験が少ないことから、重大事故の領域の様々な不確かさに潜んでいるリスクを注意深く分析して、有効な対策を吟味することが重要である。



(1) 発電用原子炉に共通する要件と考え方

② 重大事故対策に着目した深層防護の考え方(1/2)

- 「深層防護」は、目的を達成するための概念であり、全体として有効な防護となっていることが重要。全体としての有効性はリスクによって判断する。
- 第4層に配置する設備対策は、設計基準をこえた事象の影響を緩和するために、最も信頼性が高いものを指向すべき。
- 全ての事故シーケンスに対して、炉心損傷状態を想定した対策を揃えなければならないわけではなく、発生可能性や影響、対策の有効性等との関連において判断が必要。



(1) 発電用原子炉に共通する要件と考え方

② 重大事故対策に着目した深層防護の考え方(2/2)

- 第4層で想定するプラント状態は、第3層までの機能が失われた場合に発現するものであって、必ずしも炉心が損傷した状態ではない。(特に、炉心損傷までの時間余裕が大きく、多様な手段が講じられる場合)
- 設計と着目現象の特徴に応じて、着目現象の発生防止と影響の緩和を適切に組み合わせることが重要

IAEAにおける深層防護の考え方

深層防護のレベル	レベルの目的	必須の手段	備考
第1の防護レベル	通常運転からの逸脱と安全上重要な設備の故障を防止	品質管理と工学的手法に従ってプラントを健全かつ保守的に立地、設計、建設、保守、運転。	
第2の防護レベル	プラントの運転時に予想される事象が事故の状態に拡大するのを防止	設計で特定の系統・設備を設置。有効性を安全解析で確認。	
第3の防護レベル	炉心への損傷や重大な所外放出を防止	設計では事故の進展可能性を想定。固有の工学的安全施設、安全系、手順書を用意。	設計基準事故
第4の防護レベル	深層防護の第3の防護レベルが失敗した結果の事故の影響を緩和	閉じ込め機能を確実にし、放射性物質の放出を合理的に達成可能な限り低く維持。	設計拡張状態 ※シビアアクシデント状態を含む
第5の防護レベル	放射性物質の放出による放射線の影響を緩和	緊急時管理センターの整備。緊急時対応に対する緊急時計画と緊急時要領の確立。	

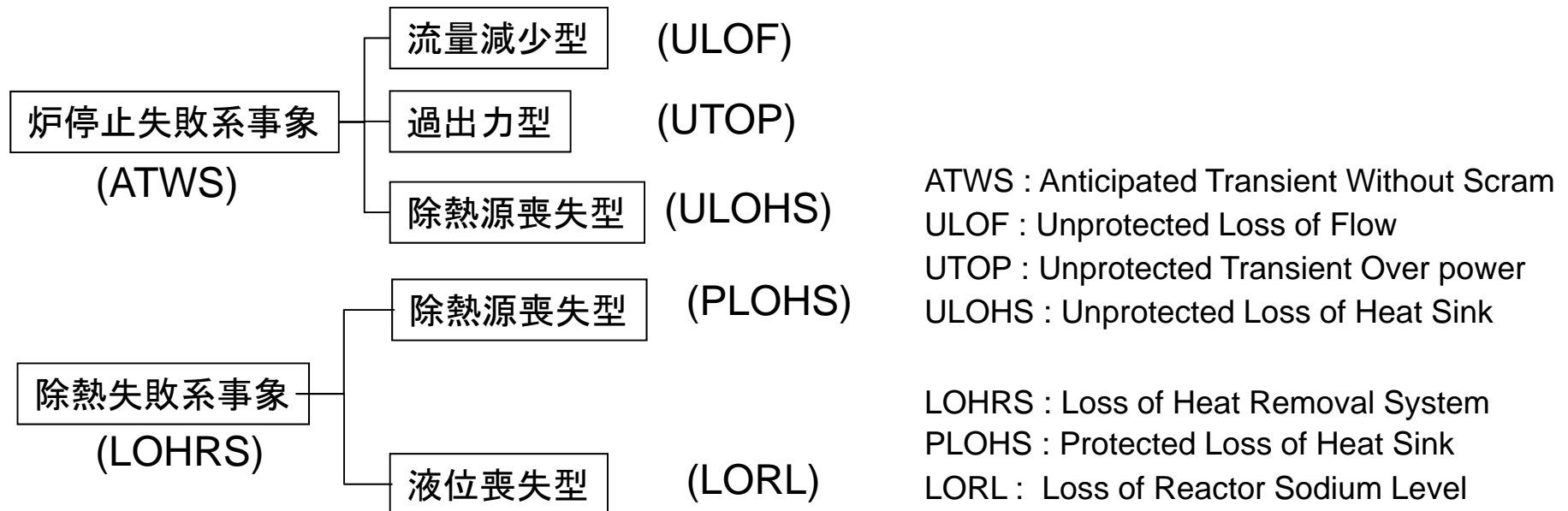


(2) SFRの特徴を踏まえた重大事故対策の考え方

① 炉心損傷事故の特徴と防止対策(1/3)

SFRの炉心損傷事故は、**炉停止失敗系事象(ATWS)**と**除熱失敗系事象(LOHRS)**に大別される。

炉心損傷事象の分類

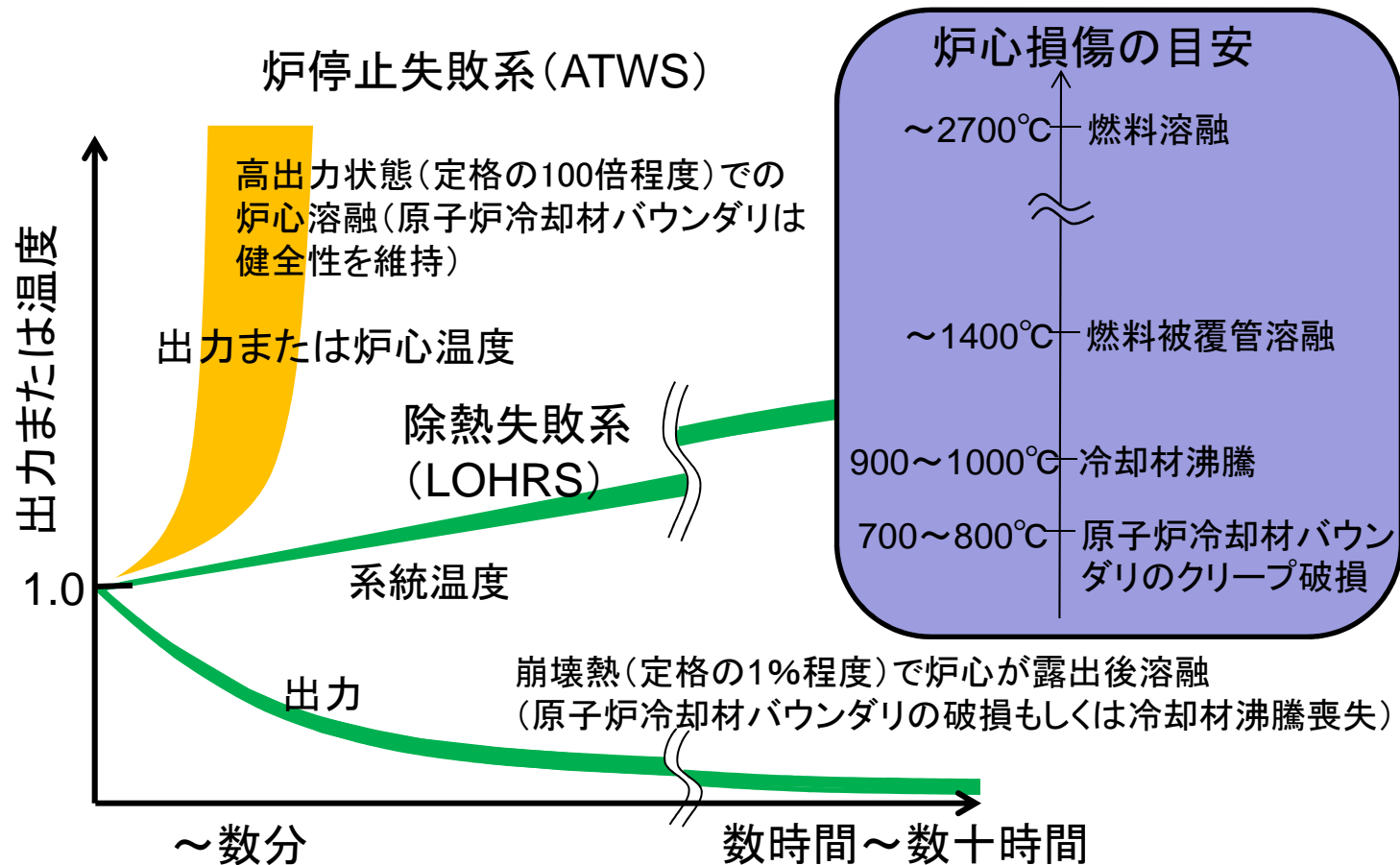




(2) SFRの特徴を踏まえた重大事故対策の考え方

①炉心損傷事故の特徴と防止対策(2/3)

事象推移は、ATWSとLOHRSで大きく異なるため、それぞれの事象の特徴に応じた対策が必要





(2) SFRの特徴を踏まえた重大事故対策の考え方

①炉心損傷事故の特徴と防止対策(3/3)

炉停止失敗系事象(ATWS)

出力が異常に上昇して短時間で炉心損傷に至る恐れがあるため、炉心損傷の防止と損傷後の損傷炉心の保持冷却対策を十分講じる必要がある。

除熱失敗系事象(LOHRS)

事象進展は緩慢で時間的余裕が大きい。この時間的余裕を活用して多種・多様な対策を講じて炉心損傷を防止することが重要である。冷却材の相変化を考慮する必要はないので、炉心を覆うナトリウム液位を確保してナトリウムを循環させることで除熱することが基本となる。ナトリウムの自然循環機能を活用することが重要である。



(2) SFRの特徴を踏まえた重大事故対策の考え方

②格納機能喪失要因と防止対策(1/2)

格納容器破損要因

- ・ナトリウム噴出燃焼
- ・ナトリウム - コンクリート反応及びデブリ - コンクリート相互作用による水素発生と蓄積燃焼
- ・漏えいした高温ナトリウムの燃焼及び顕熱
- ・ガス状放射性物質の発熱
- ・燃料デブリ発熱による過熱
- ・燃料デブリによるベースマツト貫通 等



(2) SFRの特徴を踏まえた重大事故対策の考え方

②格納機能喪失要因と防止対策(2/2)

防止対策

事故シーケンスにおいて**事象進展をくい止める方策**と**事象発生時の緩和方策**を組み合わせる。

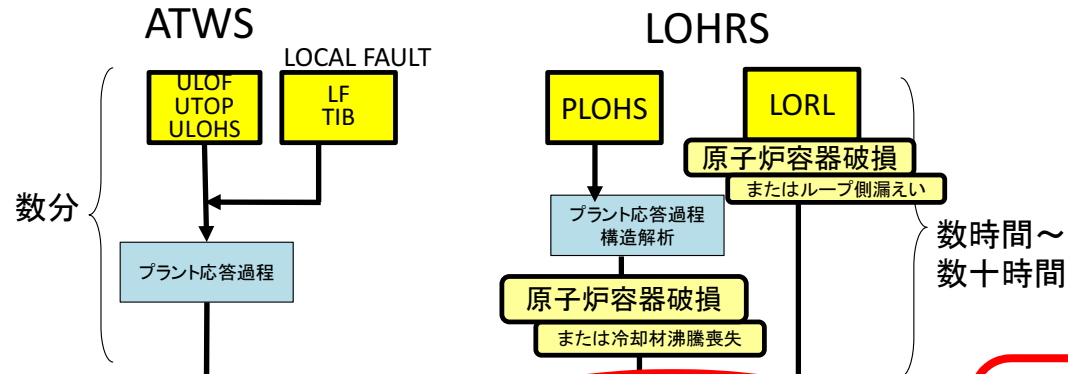
・炉停止失敗系事象(ATWS)

炉心損傷したとしても**原子炉容器内での保持が可能**であり、これによって格納容器への負荷を軽減できる。したがって、**原子炉容器内事象の評価が重要**である。

・除熱失敗系事象(LOHRS)

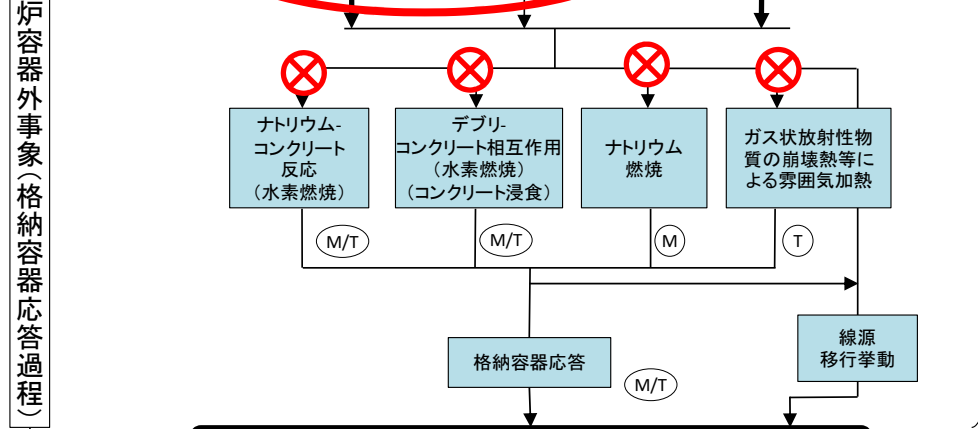
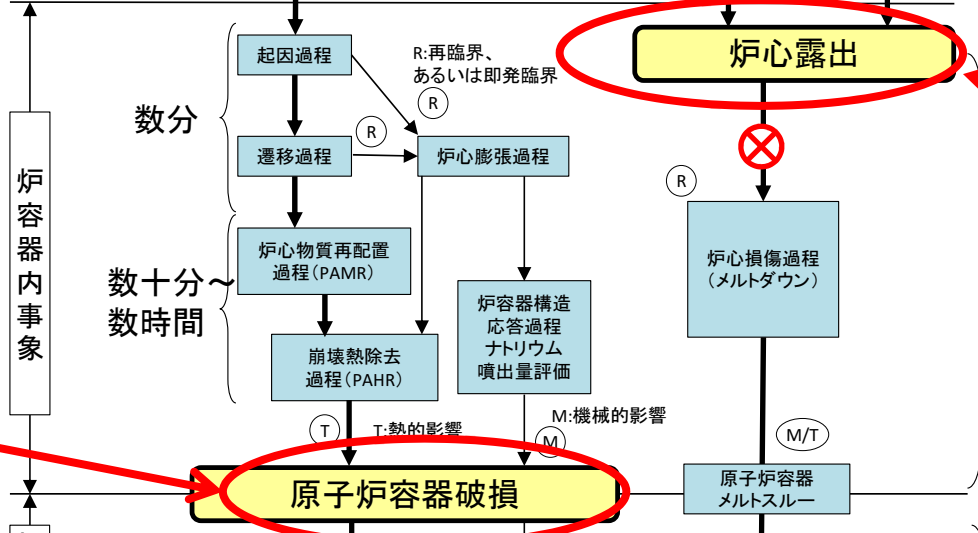
炉心損傷までの時間的余裕があることから、その余裕を活用して、**原子炉容器内**で炉心をナトリウムから露出させることなく**保持・冷却**するための方策が望ましい。

SFRの特徴(低圧系であり冷却材喪失しにくい)を活かして、原子炉容器周りでの保持冷却を重視



LOHRS系は炉心溶融の手前で事象終息させる

ATWS系は原子炉容器内で事象終息させる (IVR : In Vessel Retention)



格納容器破損



除熱失敗時の炉心損傷までの時間余裕と対策

軽水炉

減圧沸騰により冷却材喪失し注水できない場合、短時間で炉心損傷に至る。

スリーマイル島事故：炉心溶融まで2～3時間

福島第1事故(1号機)：炉心損傷開始まで約4時間

炉心損傷を考慮した対策が必要

SFR

冷却材の減圧沸騰による喪失は起こらない。

「もんじゅ」：炉停止後、除熱がない状態で1次系及び2次系のナトリウムを850°Cまで加熱するのに要する時間は約30時間

時間余裕を活用した除熱手段によって炉心損傷防止が可能



除熱失敗時の炉心損傷までの時間余裕と対策

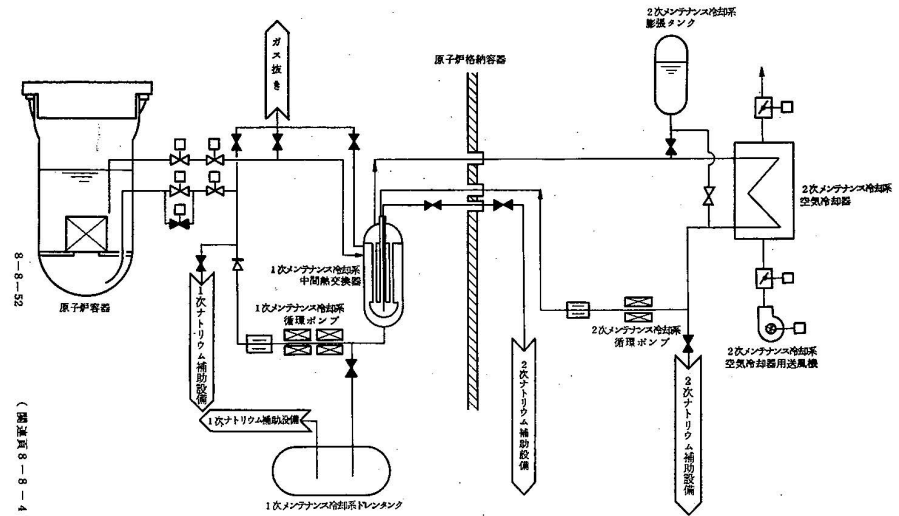
炉心損傷前の対策

設計基準事故対処設備とは独立した冷却回路

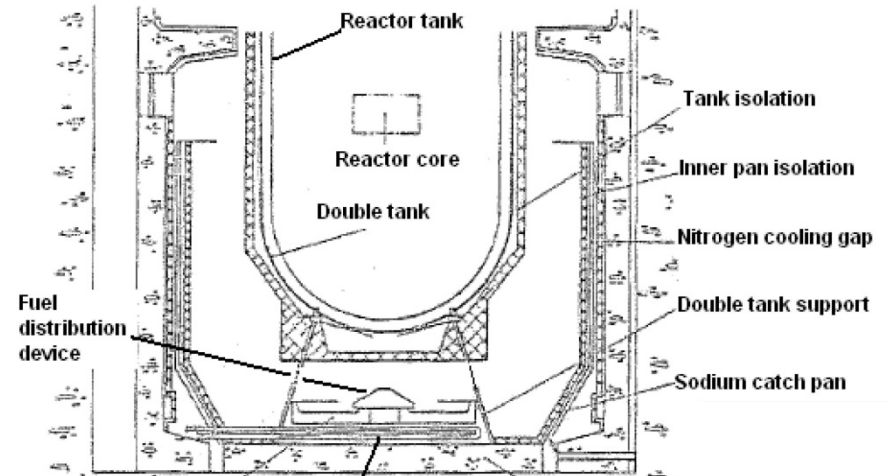
炉心損傷後の対策

除熱のための冷却回路が必要となるのは炉心損傷前の対策と同様であり、さらに燃料落下による炉外コアキャッチャー破損の可能性やナトリウムが保持されない場合機能しない等の阻害要因が加わる。

SFRのシビアアクシデント現象の不確かさを考慮すれば、炉心損傷前の対策が推奨される。



「もんじゅ」のメンテナンス冷却系



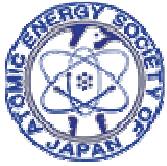
SNR300の炉外コアキャッチャー



(3) SFRの重大事故等対処設備に関する基準の要件と留意点

重大事故等対策設備に関する条文の構成案

- 条文項目はSFRの特徴を踏まえて見直す。
- 「第37条：重大事故等の防止等」の解釈では、SFRの特徴に応じた事象例を提案
- 以下の条文と解釈の見直し案、留意点を提案
 - 特定重大事故等対処施設
 - 発電用原子炉を緊急停止するための設備
 - 発電用原子炉を冷却するための設備
 - 原子炉格納容器の損傷を防止するための設備
- 「第56条：原子炉停止系統失敗時に炉心の著しい損傷及び格納容器破損を防止するための設備」は、「第37条：重大事故等の防止等」に含めることとし、これを削除



(3) SFRの重大事故等対処設備に関する基準の要件と留意点

重大事故等対策設備に関する条文の構成案

条	現状	修正案
44	緊急停止失敗時に発電用原子炉を未臨界にするための設備	発電用原子炉を緊急停止するための設備
45	原子炉冷却材圧力バウンダリ高圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	削除
46	原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備	削除
47	原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備	発電用原子炉を冷却するための設備
48	最終ヒートシンクへ熱を輸送するための設備	
49	原子炉格納容器内の冷却等のための設備	原子炉格納容器の損傷を防止するための設備
50	原子炉格納容器の過圧破損を防止するための設備	
51	原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備	
52	原子炉格納容器の損傷を防止するための設備	
56	原子炉停止システム失敗時に炉心の著しい損傷及び格納容器破損を防止するための設備	削除



3. 今後の検討に対する提言



今後の検討に対する提言

- 今後の原子力規制委員会での基準見直しに当たっては、基準とその解釈だけでなく、ここで示した発電用原子炉施設に共通する要件と考え方についての見解を取り入れた研究開発段階発電用原子炉施設の安全確保の考え方が示されることが望まれる。
- 今後の原子力規制委員会での基準見直しに当たっては、ここで示したSFRの特徴を踏まえた重大事故対策の考え方及び、現行規則とその解釈の見直し案を取り入れた検討が行われることが望まれる。