

平成26年 7月31日  
独立行政法人  
日本原子力研究開発機構  
敦賀本部

「もんじゅ安全対策ピアレビュー委員会」の検討結果報告書について  
(お知らせ)

当機構は、これまでの知見を活かし、「高速増殖原型炉もんじゅに関する重大事故を含む安全確保の考え方」を構築すべく、平成25年12月に高速増殖炉に精通した専門家による「もんじゅ安全対策ピアレビュー委員会」を設置し、科学的・技術的知見に基づき検討してまいりました。

本日、その結果を取りまとめた報告書「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」を原子力規制委員会に提出するとともに、当機構ホームページにおいても掲載しましたので、お知らせいたします。

当機構は、引き続き「もんじゅ」の安全確保に万全を期してまいります。

- 添付資料：1) 「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」の概要  
2) 報告書【要旨、委員名簿、開催実績、目次のみ抜粋】  
3) 高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方【解説】

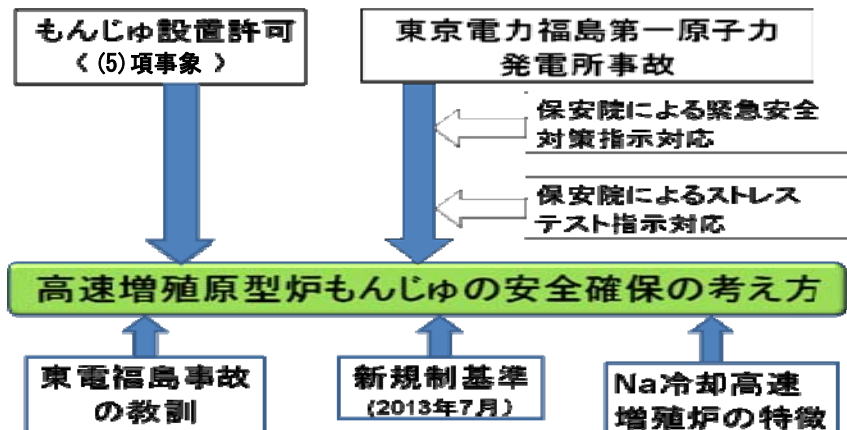
以上

(原子力規制委員会へ提出した報告書)  
高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方

## 「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」の概要

もんじゅ安全対策ピアレビュー委員会

## 高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方



## ナトリウム冷却高速炉の特徴

- 1次冷却材圧力は大気圧近傍であり、1次系配管破断によっても瞬時に冷却材が喪失されることなく、また、ガードベッセル等により長期的にも炉心の露出は防止される。
- 崩壊熱の自然循環冷却が可能であり、電源喪失があっても安定な炉心冷却が出来る。
- 炉心中央部でのボイド反応度が正となる場合があり、また、燃料集中による再臨界の考慮が必要である。
- 本来、高速炉導入の際に、重大事故評価・対策を実施しており、重大事故発生確率は十分に低く抑えられている。
- 事故時に被覆材温度上昇に伴いナトリウムとの相互作用により水素が発生することはない。
- 一方、ナトリウムは空気・水と化学的に反応することを考慮する必要がある。

## 東京電力福島事故の教訓

- 地震、津波及びその他の自然現象に起因する事象並びにテロ対策等は、ナトリウム冷却高速炉の特徴を踏まえつつ軽水炉と同様なアプローチとする。
- 想定外事象による水素発生に備えて水素爆発を防止する対策を講ずべきとした。
- 重大事故時において必要とする原子炉及びプラントの状態を監視できる措置を講じることとした。
- 重大事故発生時に的確なアクシデントマネジメント対策を実施できるように必要な措置を講じることとした。 \_

### 旧原子力安全委員会による（５）項事象の導入

- 旧原子力安全委員会は、もんじゅの安全審査に先立ち、「高速増殖炉の安全性の評価の考え方」を委員会決定。
- 「事故」より更に発生頻度は低い結果が重大であると想定される事象については、LMFBRの運転実績が僅少であることに鑑み、起因事象、事象経過に対する防止対策を評価し、放射性物質の放散が適切に抑制されることを確認することとされた。
- もんじゅの設置許可に係る審査において、先取的に重大事故が評価され、具体的には、原子炉停止失敗による炉心損傷事故等が対象とされた。

### 軽水炉の新規制基準との相違点

- 新たな設備、装置等の設置要求に偏ることなく、新知見も取り入れて重大事故に至る可能性のある事故シーケンスを改めて分析し確率論的リスク評価結果も参考にし、重大事故に対する対応策をまとめた。
- 重大事故発生時における中央制御室及び緊急時対策所の居住性確保の評価上要求されるソースタームは、高速炉の事故進展が軽水炉と異なることに十分配慮したものとすべきとした。

上記のような観点から、主要な要求事項（規制で言う基準）16項目をまとめた。

# 高速増殖原型炉もんじゅの 安全確保の考え方

もんじゅ安全対策ピアレビュー委員会

# 高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方

もんじゅ安全対策ピアレビュー委員会

## 要旨

原子力規制委員会は2011年3月の東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故（以下「東京電力福島事故」という）を踏まえ、ナトリウム冷却高速炉等の研究開発段階発電用原子炉を対象とした重大事故を考慮した新規制基準を2013年7月に定めた。

この基準については、パブリックコメント等を踏まえ再度見直しをすることとしているが、日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という）はこれまでの知見を活かし、独自に「高速増殖原型炉もんじゅに関する重大事故を含む安全確保の考え方」を構築すべく、高速増殖炉の技術及び安全性評価に精通した専門家により「もんじゅ安全対策ピアレビュー委員会」（以下「委員会」という）を設置し、科学的・技術的知見に基づき、検討することとした。

本報告書は、委員会として高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方を以下の観点から取りまとめたものである<sup>1</sup>。

- ① 設計基準事故対応策の強化に関する考え方
- ② 重大事故の防止と影響緩和に関する考え方（内部事象及び外部事象起因）

ナトリウム冷却高速炉の冷却材は高沸点（883℃：大気圧）であり発電のために一次系圧力を上げる必要がなく、静的なガードベッセルにより冷却材の確保が可能である。そのため、1次系冷却材の漏えい事故時においても軽水炉のように早期に炉心が露出することはなく、冷却のための減圧及び冷却材注入は不要である。また、液体で利用可能な温度範囲が広く、自然循環冷却が可能である。さらに、系統ナトリウム及びプラント構造物の熱容量が大きいことから、事故時における温度の上昇は一般に緩慢であり、炉心の著しい損傷までに時間的な余裕（数時間から数十時間）があることから、運転員の手動操作による複数のアクシデントマネジメント策が可能である。一方、ナトリウム冷却高速炉は、ナトリウムボイド反応度が正となりうること及び燃料集中による臨界性を考慮する必要がある。また、化学的に活性な特性を考慮する必要がある。このようにナトリウム冷却高速炉は軽水炉と異なる特性を有することから、その安全確保に関する要件は軽水炉との特性の相違を十分に考慮する必要がある。

---

<sup>1</sup> 本報告書は、いわゆる「ピアレビュー」ではなく、本委員会が「安全確保の考え方」を検討した結果を取りまとめたものである。

「もんじゅ」では、これまで上記の特性を踏まえて設計がなされ、安全審査において確認されてきた。特に、設計基準を超える事故についてもシビアアクシデントに対する先取的な審査が行われており、炉心特性等を十分に考慮した対策が講じられていることが確認されている。

しかしながら、今般の東京電力福島事故を踏まえれば、その教訓を反映する観点から、更なる安全対策の拡充を図ることが重要である。日本原子力学会の調査では重要設備に地震の揺れによる深刻な損傷はなかったとされているが、津波による浸水が交流、直流を含め全ての電源喪失をもたらし、電源が確保されることを前提としたアクシデントマネジメント策が機能しなかったことを重く受け止めなければならない。このため、地震、津波をはじめとする共通要因故障の原因となる外部ハザード全般への対策強化、長期的な事故対応に当たっては代替電源確保とそれらの位置的分散配置、全交流動力電源が喪失した状態における操作・管理・体制面（ソフト）を含めたアクシデントマネジメント策の信頼性向上、格納機能の確保に関する詳細な確認、電源喪失時の通信・計装の強化、等に関し東京電力福島事故の教訓を反映し検討を行うべきである。また、それらの反映にあたっては、事象の選定等において確率論的なリスク情報等を活用し、大規模な格納機能喪失に至るシーケンスは実質上除外されるように対策しなければならない。

本報告書の構成として、第1章は、委員会の目的及び前提となる検討範囲について示すとともに、第2章は、検討の視点として、基礎となるいくつかの安全の基本原則及びリスク情報利用の考え方、さらには、東京電力福島事故の教訓とそれらに対する対策の考え方、参考となる海外専門家の意見等を記載した。また、第3章は、設計基準事故対応策の強化として、重要な設計基準の考え方とそれらの設計基準外事象へ拡張の考え方を示した。また、第4章では、高速炉特有の重大事故の防止と影響緩和に関する考え方、第5章では、著しい外部事象として着目すべき自然現象及び航空機衝突対策の考え方を記載するとともに、第6章では、東京電力福島事故の教訓に対する特別な対策を整理した。そして、第7章では第6章までの重要な論点事項を本委員会として整理し、「高速増殖原型炉もんじゅに関する重大事故を含む安全確保の考え方」として適切に対策を講じなければならない以下の16の要求をまとめた。

1. 原子力事故に対する人と環境の安全を確保する目的のため、深層防護概念に基づく事故の発生防止と影響緩和によって、原子力施設とその運用に起因する放射線から人と環境が受けるリスクを社会から受容される範囲に制限すること。
2. (原子炉停止系)：多重性又は多様性及び独立性を有した原子炉停止系を設けること。ナトリウム冷却高速炉では、制御棒による複数の独立した原子炉停止系を設けること。設計基準事故時において原子炉停止系のうち少なくとも一つは、原子炉を臨界未満にでき、かつ、臨界未満を維持できること。
3. (崩壊熱除去系)：原子炉容器内で発生する崩壊熱を除去し、最終ヒートシンクへ熱を輸送する設備を設けること。熱輸送系及び最終ヒートシンクは、その健全性及び機能を失わないようにすること。
4. (共通要因故障の回避)：共通要因故障に至る可能性のある内部火災、内部溢水に対し

て事象の発生と拡大を防止するため、必要な対応策が講じられていることを確認すること。対応が不十分である場合にはさらなる対応策を講じること。

5. (ナトリウム冷却高速炉に特有な事象)：ナトリウム漏えい、ナトリウム・水反応に関する十分な対応策を講じること。2次系のナトリウム漏えい及び蒸気発生器の水漏えいに対し、従来の設備対応の妥当性、並びに設計基準を超える重大事故への進展のおそれについて検討し、必要に応じて設備対応等を適切に実施すること。
6. 炉心損傷事故に至る可能性のある原子炉停止失敗に起因する事象と除熱失敗に起因する事象について、安全機能の喪失状態及び事象進展を PRA 等も参考にして適切に考慮し、必要な設備対応（ハード）及び操作・管理・体制面（ソフト）での対応から成る適切なアクシデントマネジメント（AM）策を講じること。
7. 原子炉停止機能喪失事象に対し、ナトリウム冷却高速炉の炉心特性から進展速度が一般に極めて速い事象であることを考慮し、設計の安全余裕について最新知見を用いて確認するとともに、設備面（ハード）及び操作・管理・体制面（ソフト）から成る適切な AM 策を講じること。
8. 「もんじゅ」の安全上の特徴から除熱機能喪失事象についての安全対応策は極めて重要であることから、設備の特徴を踏まえ設備面（ハード）及び操作・管理・体制面（ソフト）から成る適切な AM 策を構築すること。
9. 格納機能の喪失に至る事象を詳細に評価し、原子炉停止機能喪失事象及び除熱機能喪失事象について熔融燃料による原子炉容器破損の可能性は実質上除外されるように適切な AM 策を講じること。
10. 原子炉施設は、地震、津波、及びそれ以外の自然現象に対して、確率的評価手法等に基づきリスクを評価し、適切な余裕をもって安全が確保されるように設計による対応策を施すこと。設計想定を超える規模の自然現象に対してはその影響や設備の耐性を把握し、ナトリウム冷却高速炉の特徴を考慮した適切な AM 策を整備すること。
11. 故意による大型航空機の衝突、その他のテロリズムに対して、自然循環冷却ループや補助冷却系の配置等の設備上の特徴、並びに AM 策の有効性も考慮し重大事故の発生防止及び影響緩和策を講じること。
12. 設計基準を超える事象に対する合理的な安全対策の整備の観点から水素爆発を防止するため、水素濃度の測定、水素の外部への排出、意図的な小規模な水素燃焼等の適切な AM 策を、既存設備も活用し講じること。
13. 使用済燃料貯蔵槽（炉外燃料貯蔵槽及び燃料池）における燃料破損を防止するため、設備の特徴を踏まえた適切な AM 策を講じること。
14. 重大事故等発生時の中央制御室及び緊急時対策所の居住性を、ナトリウム冷却高速炉における事故の特徴に鑑みた適切なソースタームを想定し、運転員あるいは要員の被ばくの観点から遮蔽、換気等の設備を設計し、確保すること。
15. 重大事故時において必要とする原子炉及びプラントの状態を監視できる措置を講じること。重大事故等が発生した場合に監視するパラメータは、ナトリウム冷却高速炉の特徴及び想定される重要事故シーケンス等の事象進展と環境条件に鑑みて適切に選定

すること。また、監視パラメータの重要性によって計測機器を分類し、耐震性を確保すること。

16. 重大事故発生時に的確な AM 対策を実施できるように必要な措置を講じること。重大事故に的確かつ柔軟に対処できるよう、体制、手順、書類、資機材等を整備するとともに、教育、訓練を行なうこと。さらに、訓練等で評価された AM 策の有効性を適切に PRA に反映するとともに、PRA 等の結果を用いて、継続的に AM 策の有効性を向上させること。



## 付録1 委員名簿及び開催実績

### もんじゅ安全対策ピアレビュー委員会 〈委員名簿〉

五十音順（委員長、委員長代理を除く）

役職	氏名	所属
委員長	齋藤 伸三	独立行政法人日本原子力研究開発機構 副理事長
委員長代理	岡本 孝司	国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科原子力専攻 専攻長・教授
委員	一宮 正和	独立行政法人日本原子力研究開発機構 敦賀本部 経営企画部 産学連携コーディネーター
委員	片岡 勲	国立大学法人大阪大学大学院 工学研究科機械工学専攻 教授
委員	近藤 悟	独立行政法人日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター 所長
委員	杉山 憲一郎	国立大学法人北海道大学 名誉教授
委員	村松 健	学校法人五島育英会東京都市大学 工学部原子力安全工学科 客員教授
委員	与能本 泰介	独立行政法人日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門 安全研究センター 原子炉安全研究ユニット長

#### （開催実績）

もんじゅ安全対策ピアレビュー委員会

第1回：2013年12月24日

第2回：2014年1月14日

第3回：2014年1月28日

第4回：2014年2月5日

第5回：2014年2月27日

第6回：2014年3月12日

第7回：2014年3月18日

第8回：2014年4月23日

第9回：2014年5月27日

## 目 次

1	はじめに .....	- 1 -
2	「もんじゅ」の安全確保の考え方に関する検討の視点 .....	- 2 -
3	設計基準事故対応策の強化に関する考え方 .....	- 22 -
3.1	基本的な考え方 .....	- 22 -
3.2	外部ハザード対策 .....	- 23 -
3.3	地震 .....	- 25 -
3.4	津波 .....	- 37 -
3.5	内部火災 .....	- 42 -
3.6	内部溢水 .....	- 48 -
3.7	静的機器の単一故障 .....	- 51 -
3.8	原子炉停止系 .....	- 53 -
3.9	崩壊熱除去系 .....	- 59 -
3.10	ナトリウム冷却高速炉に特有な事象 .....	- 63 -
3.10.1	蒸気発生器の水漏えい .....	- 63 -
3.10.2	2次系のナトリウム漏えい .....	- 67 -
4	重大事故の防止と影響緩和に関する考え方 .....	- 70 -
4.1	基本的な考え方 .....	- 70 -
4.2	事故シーケンスグループの選定 .....	- 72 -
4.2.1	炉心の著しい損傷防止 .....	- 72 -
4.2.2	使用済燃料貯蔵槽内の燃料損傷防止 .....	- 81 -
4.2.3	運転停止中原子炉内の燃料損傷防止 .....	- 84 -
4.2.4	格納機能の確保 .....	- 86 -
4.3	炉心等の著しい損傷防止策の考え方 .....	- 91 -
4.3.1	炉心の著しい損傷防止 .....	- 91 -
4.3.2	使用済燃料貯蔵槽内の燃料損傷防止 .....	- 97 -
4.3.3	運転停止中原子炉内の燃料損傷防止 .....	- 99 -
4.4	格納機能の確保策の考え方 .....	- 101 -
4.4.1	原子炉停止機能喪失事象関係 .....	- 101 -
4.4.2	除熱機能喪失事象関係 .....	- 114 -
4.5	重大事故等における構造健全性 .....	- 118 -
4.6	中央制御室及び緊急時対策所における著しい放射線被ばくの防止 .....	- 123 -
4.7	従来の(5)項事象の取り扱いについて .....	- 127 -
5	著しい外部事象に関する対策の考え方 .....	- 133 -
5.1	著しい自然現象への対策の考え方（竜巻、森林火災、火山） .....	- 133 -
5.2	想定を超えた自然現象への対策の考え方（地震、津波他） .....	- 138 -

5.3	航空機衝突等のテロリズムに関する対策について .....	- 139 -
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 .....	- 142 -
7	安全確保の考え方 .....	- 148 -
謝辞 .....		- 169 -
参考文献 .....		- 170 -
付録1	委員名簿及び開催実績 .....	- 173 -
付録2	研開炉設置許可基準規則に対する海外専門家からのコメント .....	- 174 -
付録3	「もんじゅ」における静的機器の単一故障に対する検討の詳細 .....	- 178 -
付録4	ナトリウム冷却高速炉に特有な事象に係る評価の詳細 .....	- 187 -
付録5	「もんじゅ」における炉心等の著しい損傷防止策の有効性評価の検討例 .....	- 208 -
付録6	原子炉停止機能喪失事象に係るCABRI、EAGLE試験による知見 .....	- 246 -
付録7	格納機能確保対策としてのメンテナンス冷却系の概要 .....	- 251 -
付録8	構造材健全性に係る評価クライテリアの根拠 .....	- 254 -
用語集 .....		- 255 -

# 高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方

もんじゅ安全対策ピアレビュー委員会

# 原子力規制委員会における 「もんじゅ」を対象とした新規制基準対応状況

## 平成25年7月に研究開発炉に関する基準を策定

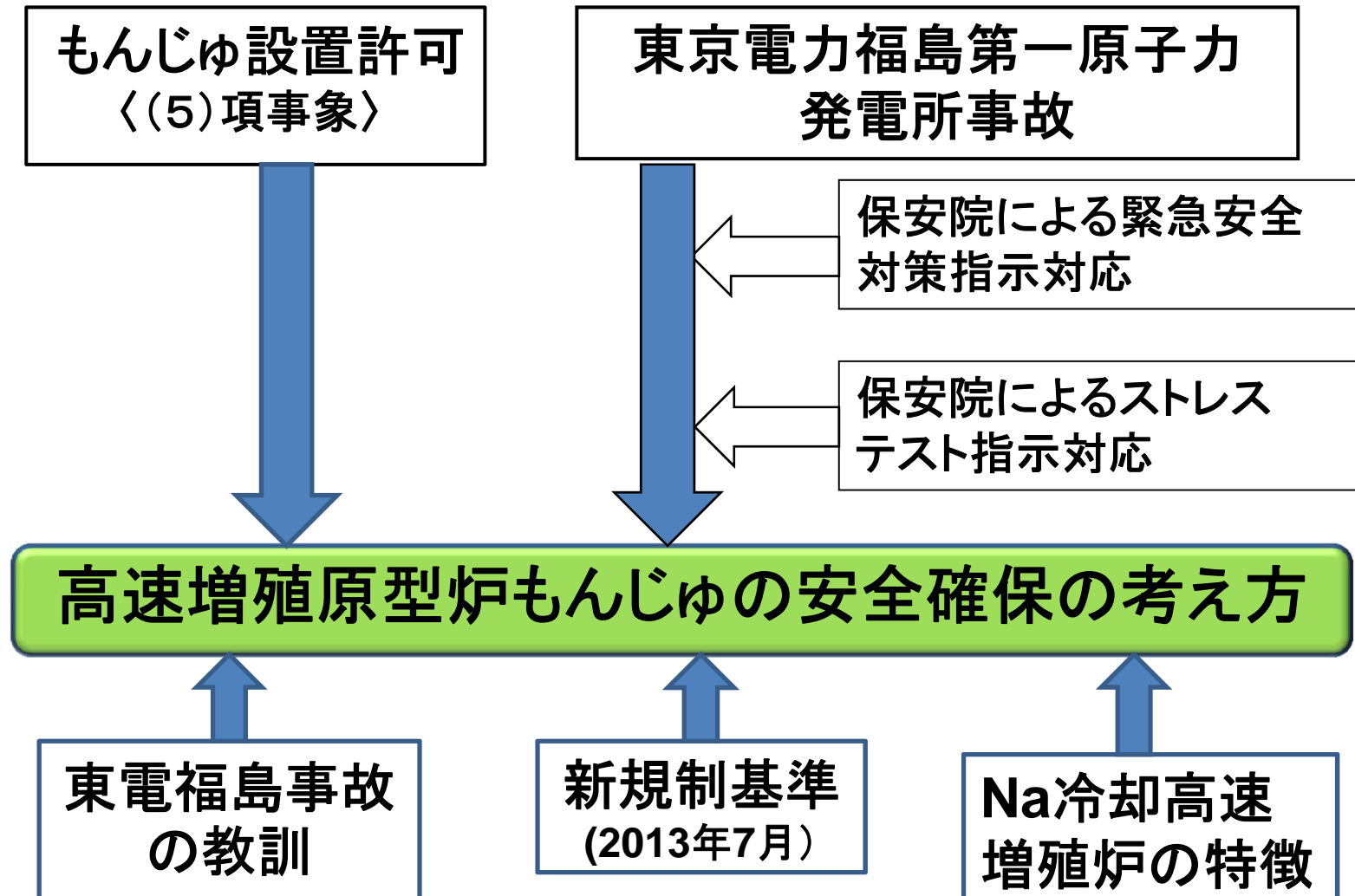
- 今回の新基準は、法律により7月までに施行することが求められていることから、軽水炉の新基準(地震・津波の基準を含む)をベースとして、旧原子力安全委員会が定めた「高速増殖炉の安全性の評価の考え方」の要求事項を加える等により策定したもの。
- 今後、安全審査を行うまでに、**パブリックコメントによる意見も含め改めて検討し基準を見直す**こととし、今回は修正を行わない。

(平成25年6月12日 規制委員会会議資料)

## 日本原子力研究開発機構の立場

- 原子力機構は、「もんじゅ」の安全確保に関して一義的な責任を負っており、重大事故を含む「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」を構築すべく、高速増殖炉に精通した専門家により「もんじゅ安全対策ピアレビュー委員会」を設置し、科学的・技術的知見に基づいた検討を依頼した。

# 高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方



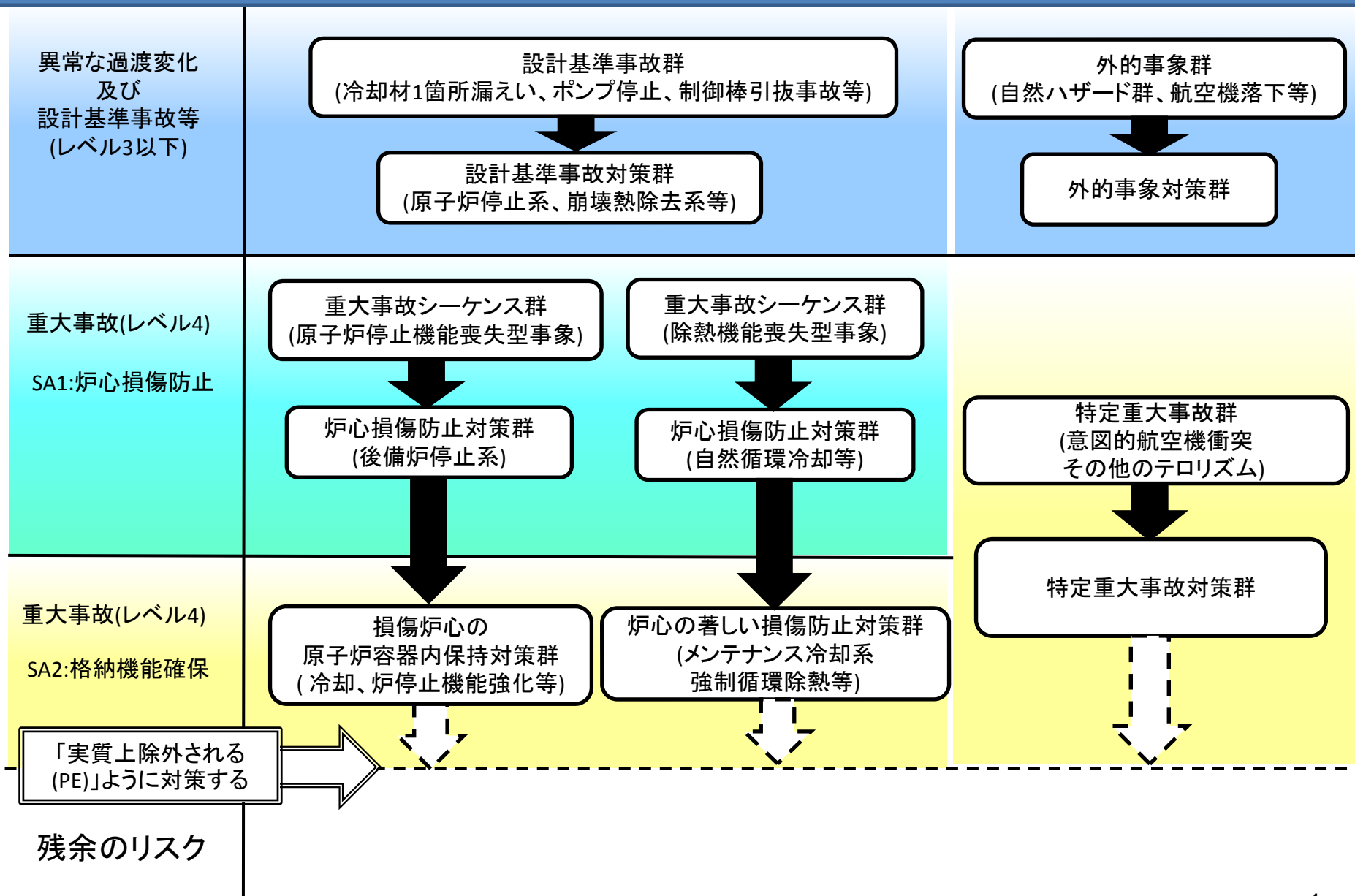
# 東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓

- 「もんじゅ」は、高速炉特有の特性を踏まえた設計がされ、また、運転実績が僅少であることに鑑み、当初より設計基準を超える事故についても先取的な審査が行われ、その安全性が確認されてきた。
- しかし、今般の東京電力福島事故を踏まえれば、その教訓を反映する観点から、更なる安全対策の拡充を図ることが重要である。地震、津波等に対する対策は基より、代替電源の確保、格納機能の維持、水素爆発の防止等、その要因となるものを含めて対応策を構築する必要がある。
- このため、地震、津波をはじめとする共通要因故障の原因となる外部ハザード全般への対策強化、長期的な事故対応に当たっては代替電源確保とそれらの位置的分散配置、全交流電源が喪失した状態における操作・管理・体制面(ソフト)を含めたアクシデントマネジメント策の構築と信頼性向上、格納機能の確保に関する詳細な検討、電源喪失時の通信・計装の強化、等に関し東京電力福島事故の教訓を反映し検討を行うべきである。
- また、それらの反映にあたっては、事象の選定等において確率論的なリスク情報を活用すべきである。



適切な対策を講ずべき重要な事項を16項目の要求としてまとめた。

# もんじゅの安全確保に関する基本構成





# Na冷却高速増殖炉の特徴と軽水炉との相違

- ナトリウム冷却高速炉は軽水炉と異なる特性を有することから、その安全確保は軽水炉との特性の相違を十分に考慮する必要がある。

## ナトリウム冷却高速炉

1次冷却材圧力は大気圧近傍であり、ガードベッセルにより冷却材の喪失は防止される

液体で利用可能な温度範囲が広く、事故時に電源が喪失しても、自然循環による冷却が可能

自然循環に失敗しても、熱容量が大きいことから、除熱機能喪失事象時における温度の上昇は一般に緩慢であり、運転員の手動操作による複数のアクシデントマネジメント策が可能

・炉心中央部でのボイド反応度が正となる  
・燃料集中による再臨界の考慮が必要

ナトリウム冷却材の特性の考慮が必要  
化学的活性が大、不透明、凍結

事故時の被覆材温度上昇等に伴う原子炉容器内での水素発生はない

## 軽水炉

1次冷却材圧力が極めて高いので、事故時には瞬時に冷却材が喪失し冷却材注入が必要

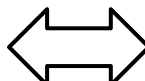
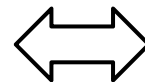
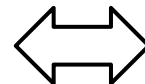
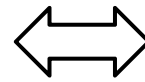
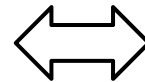
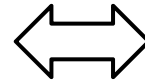
事故時の冷却のためには、電源が必要なポンプによる強制循環冷却が必要

冷却材喪失事故時に注水に失敗すると炉心損傷に至るまでの時間的余裕が少ない

ボイド反応度は負であり、一般に炉心における再臨界事故を想定する必要はない

水は広く使われてきた熱伝達媒体である。  
金属材料に対する腐食等は考慮が必要

事故時のジルコニウム-水反応等により、原子炉容器内で水素が大量発生する



# 16項目の要求事項

## I. 基本的な考え方

### (要求1) 安全確保の目的と深層防護

原子力事故に対する人と環境の安全を確保する目的のため、深層防護概念に基づく事故の発生防止と影響緩和によって、原子力施設とその運用に起因する放射線から人と環境が受けるリスクを社会から受容される範囲に制限すること。

### 深層防護

#### 設計基準

レベル1: 異常発生防止

レベル2: 異常の制御と事故防止

レベル3: 事故の緩和と放射性物質の放出抑制

#### 設計拡張状態 (設計基準を超える事故状態)

レベル4: 過酷状態の制御(SA対策)  
(著しい炉心損傷への進展防止と影響緩和)

対策強化(add-on)を含むSA対策により、炉心損傷後の大規模な放射性物質の放出の防止

#### 敷地外緊急 時対応

レベル5: 放射性物質放出時の影響緩和

確率論的リスク評価、  
アクシデントマネジメント策の整備、保全活動及び安全研究を有機的に連携させて、  
最高水準の安全性を追求すべき

# 16項目の要求事項

## Ⅱ. 設計基準ベースの考え方

### (要求2)原子炉停止系

多重性又は多様性及び独立性を有した原子炉停止系を設けること。ナトリウム冷却高速炉では、制御棒による複数の独立した原子炉停止系を設けること。設計基準事故時において原子炉停止系のうち少なくとも一つは、原子炉を臨界未満にでき、かつ、臨界未満を維持できること。

項 目		高速増殖炉(もんじゅ)	軽水炉(PWR)
原子炉冷却材	原子炉冷却材 圧力(ゲージ圧)	約0.8MPa (原子炉容器入口圧力)	約15.4MPa
	原子炉冷却材	ナトリウム(大気圧の沸点 約 880℃)	水(大気圧の沸点 約100℃)
	原子炉 入口/出口温度	約400℃/約530℃	約290℃/約325℃
炉停止機構		制御棒	制御棒
		後備炉停止系	化学体積制御系、蓄圧注入系

### 多様な挿入方式

主炉停止系	後備炉停止系
制御棒・駆動軸一体落下 ガス圧加速	制御棒単体落下 スプリング加速

**設計基準外への拡張: 重大事故等対処設備**  
(緊急停止失敗時に原子炉を未臨界にするための設備)

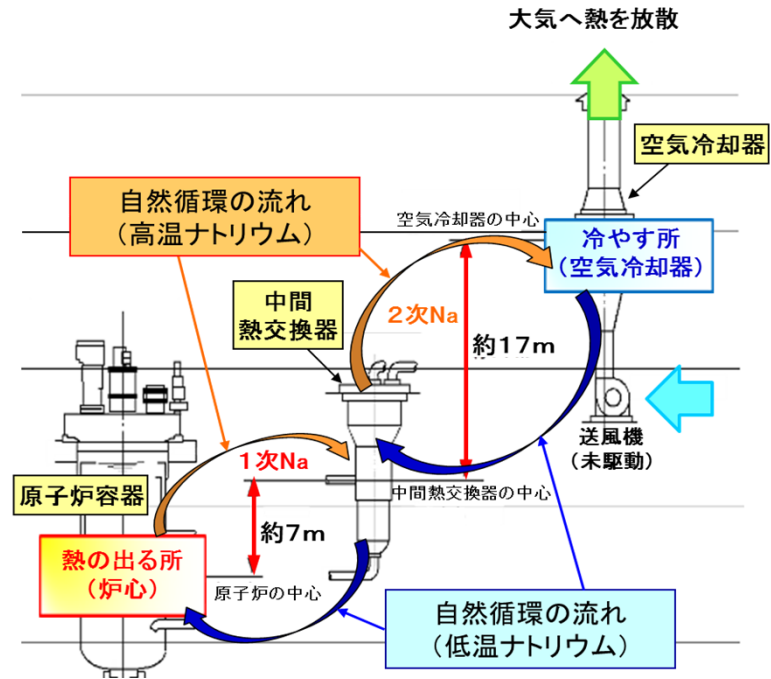
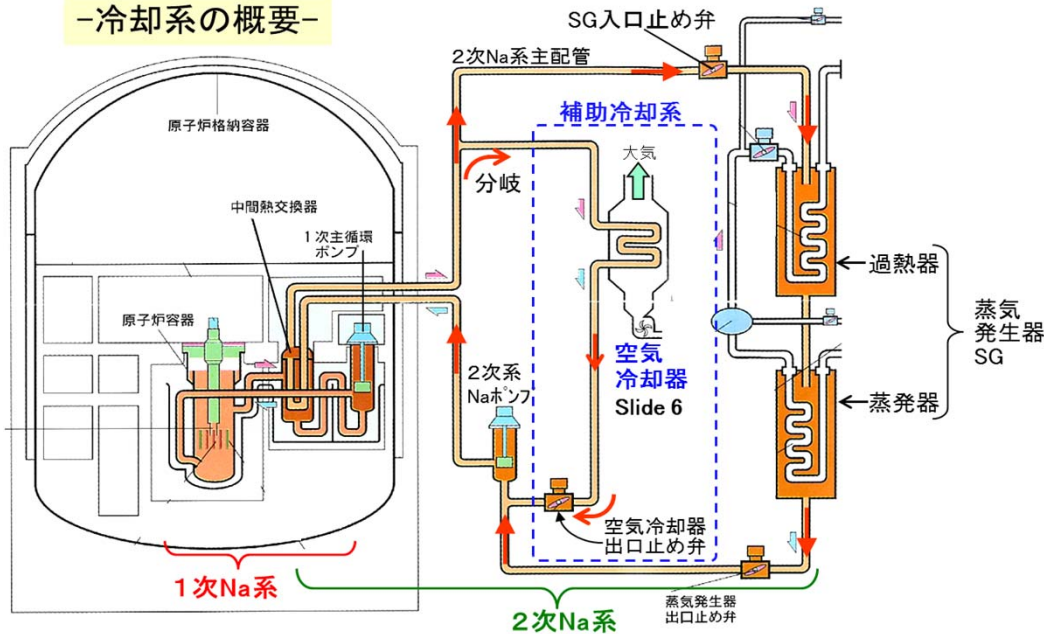
# 16項目の要求事項

## II. 設計基準ベースの考え方

### (要求3) 崩壊熱除去系

原子炉容器内で発生する崩壊熱を除去し、最終ヒートシンクへ熱を輸送する設備を設けること。熱輸送系及び最終ヒートシンクは、その健全性及び機能を失わないようにすること。

-冷却系の概要-



設計基準事故時は、強制循環による除熱

設計基準外への拡張性 ➡

重大事故等への対処  
(電源が不要な自然循環除熱が可能)

# 16項目の要求事項

## Ⅱ. 設計基準ベースの考え方

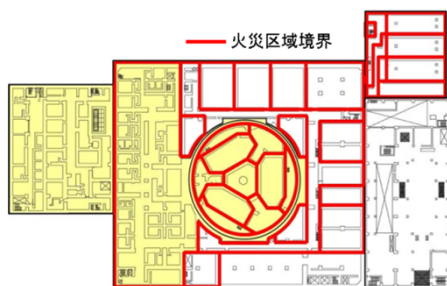
### (要求4) 共通要因故障の回避

共通要因故障に至る可能性のある内部火災、内部溢水に対して事象の発生と拡大を防止するため、必要な対応策が講じられていることを確認すること。対応が不十分である場合にはさらなる対応策を講じること。

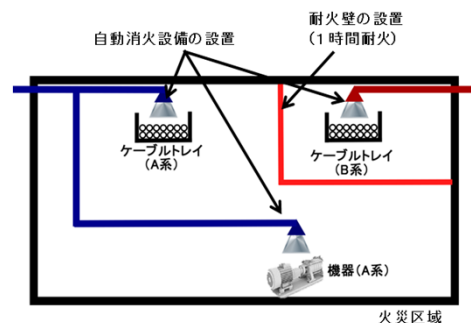
#### <内部火災対策>

ナトリウム冷却高速炉として重要な安全機能について、安全機能の独立性、多重性の確保を確実にするため、火災の発生防止と発生した場合の速やかな検知、消火対策、火災の影響軽減の対策を講じる。

区画化、系統分離による火災の影響軽減対策



区画化(例)



耐火壁+自動消火による系統分離(例)

#### <内部溢水対策>

ナトリウム冷却高速炉として重要な安全機能について、防護対象設備を抽出するとともに、没水、被水、蒸気の観点から影響評価を行い、溢水影響が及ばないことを確認する。

評価項目	判定基準
没水	<ul style="list-style-type: none"> <li>「溢水水位」&lt;「機能喪失高さ」であること</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>管理区域外へ漏えいしないこと(管理区域内で溢水発生の場合)</li> </ul>
被水	<ul style="list-style-type: none"> <li>被水対策が施されていること</li> </ul>
蒸気	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐環境性を有していること</li> <li>物理的な影響を受けないこと</li> </ul>

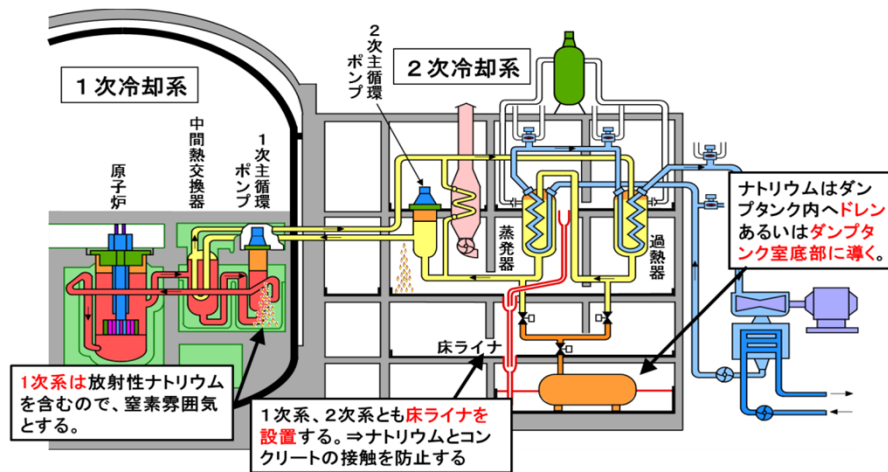
# 16項目の要求事項

## II. 設計基準ベースの考え方

(要求5)ナトリウム冷却高速炉に特有な事象

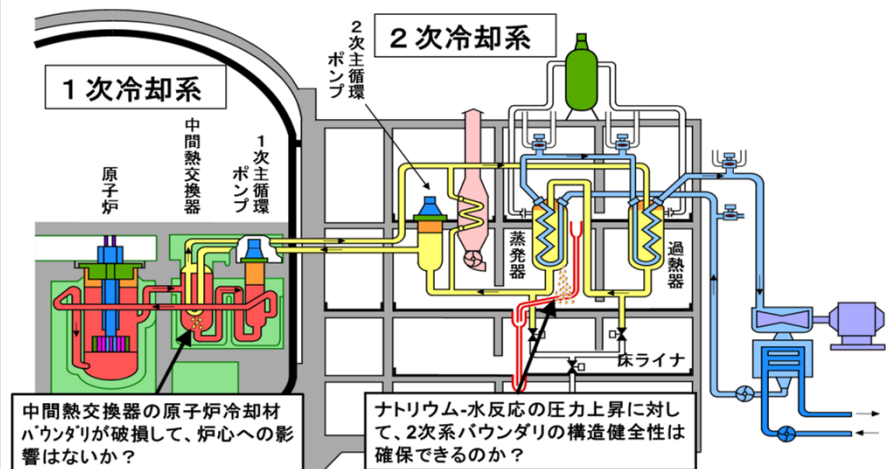
ナトリウム漏えい、ナトリウム・水反応に関する十分な対応策を講ずること。2次系のナトリウム漏えい及び蒸気発生器の水漏えいに対し、従来の設備対応の妥当性、並びに設計基準を超える重大事故への進展のおそれについて検討し、必要に応じて設備対応等を適切に実施すること。

### <ナトリウム冷却材の漏えい対策>



2次主冷却系でナトリウムが漏えいしても「2次主冷却系の系統分離が確実であり、重要な安全機能に影響を及ぼさないこと」を確認する。

### <ナトリウム-水反応対策>



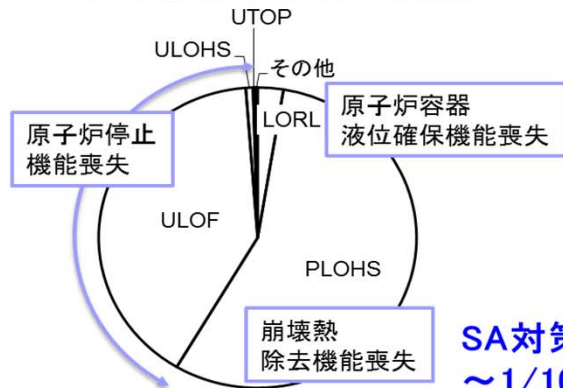
蒸気発生器伝熱管の設計基準を超える水漏えいが生じても、ナトリウム-水反応により「重要な安全機能に影響を与えないこと」を確認する。

# 16項目の要求事項

## III. 重大事故の防止と影響緩和に関する考え方

(要求6~8) 著しい炉心損傷の防止  
 炉心損傷事故に至る可能性のある原子炉停止失敗に起因する事象と除熱失敗に起因する事象について、安全機能の喪失状態及び事象進展をPRA等も参考にして適切に考慮し、必要な設備対応(ハード)及び操作・管理・体制面(ソフト)での対応から成る適切なアクシデントマネジメント(AM)策を講じること。

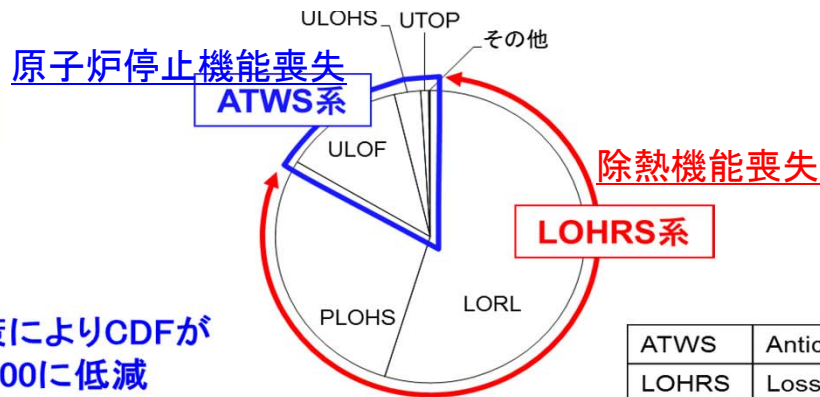
設計基準事故に対する対策のみの場合の炉心損傷頻度評価



炉心損傷頻度(CDF)  
 約  $2 \times 10^{-4}$  / 炉年

SA対策によりCDFが  
 ~1/1000に低減

既存のシビアアクシデント(SA)対策を考慮した場合の炉心損傷頻度評価

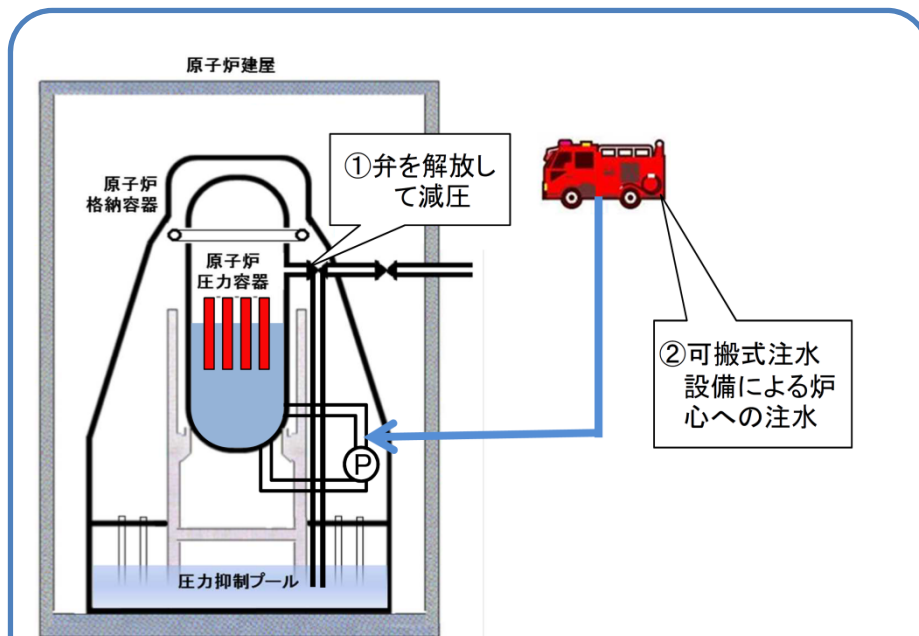


炉心損傷頻度  
 約  $2 \times 10^{-7}$  / 炉年

ATWS	Anticipated Transient Without Scram
LOHRS	Loss Of Heat Removal Systems
ULOF	Unprotected Loss Of Flow
UTOP	Unprotected Transient Over Power
ULOHS	Unprotected Loss Of Heat Sink
LORL	Loss of Reactor Level
PLOHS	Protected Loss Of Heat Sink

# 著しい炉心損傷防止対策の軽水炉、高速炉の相違

## 軽水炉

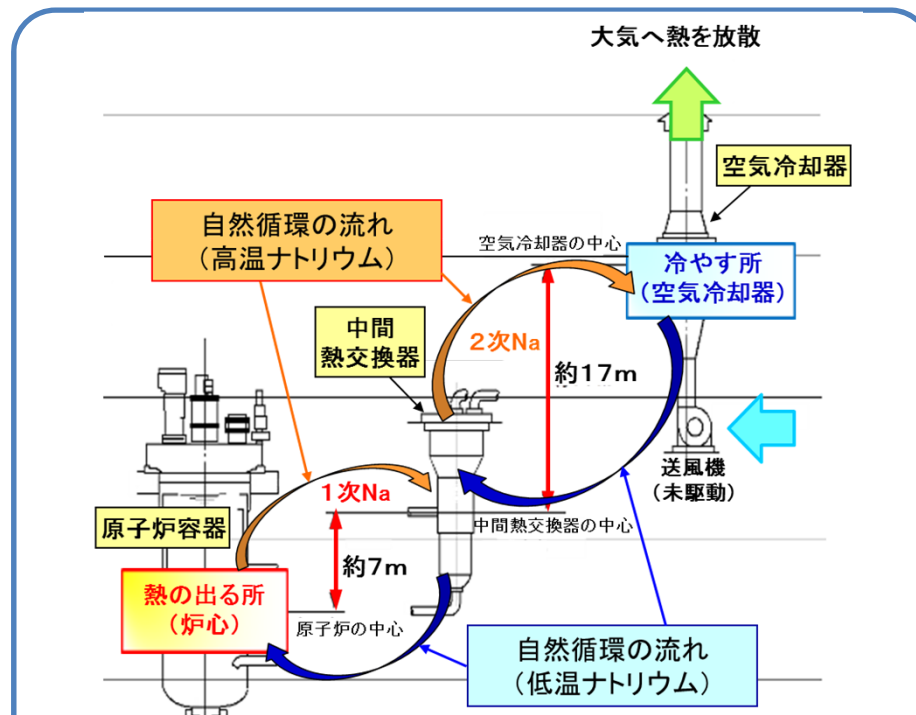


(原子力規制委員会資料を加工して作成)

(対策例) 電源喪失時にも可搬式電源等により逃がし安全弁を解放し、可搬式注水設備等による注水が可能となるまで原子炉を減圧(BWR)

冷却水の注入のために減圧が必要であり、減圧時に液位が低下して炉心が露出/損傷するおそれがあり、それらを防止する。

## ナトリウム冷却高速炉



(対策例) 電源喪失時にもポンプが不要な自然循環冷却が可能。

冷却系は大気圧近傍のため減圧は不要であるとともに、1次冷却系は、ガードベッセル等により原子炉容器内の冷却材液位が低下するおそれはなく炉心が露出することはない。



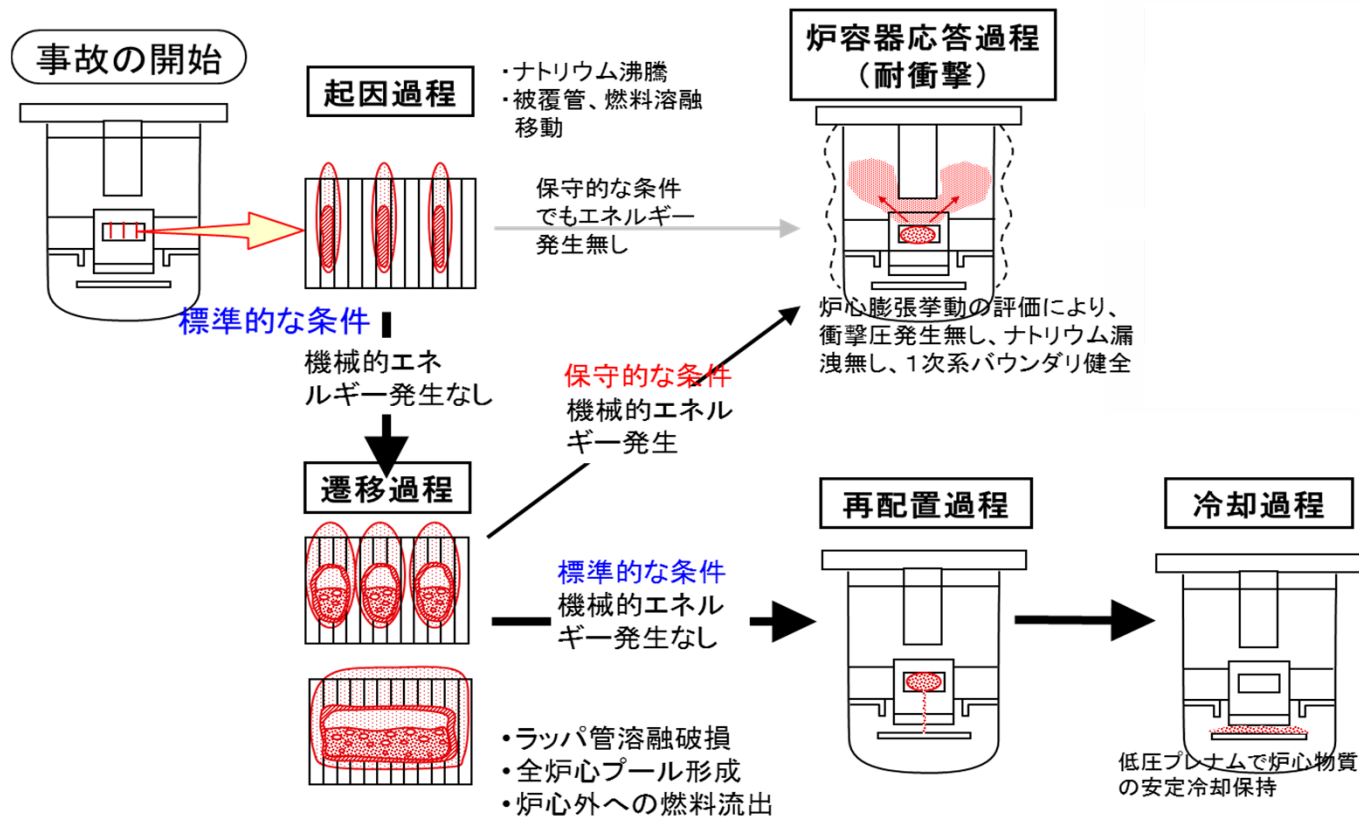
# 16項目の要求事項

## III.重大事故の防止と影響緩和に関する考え方

### (要求9) 格納機能喪失の防止

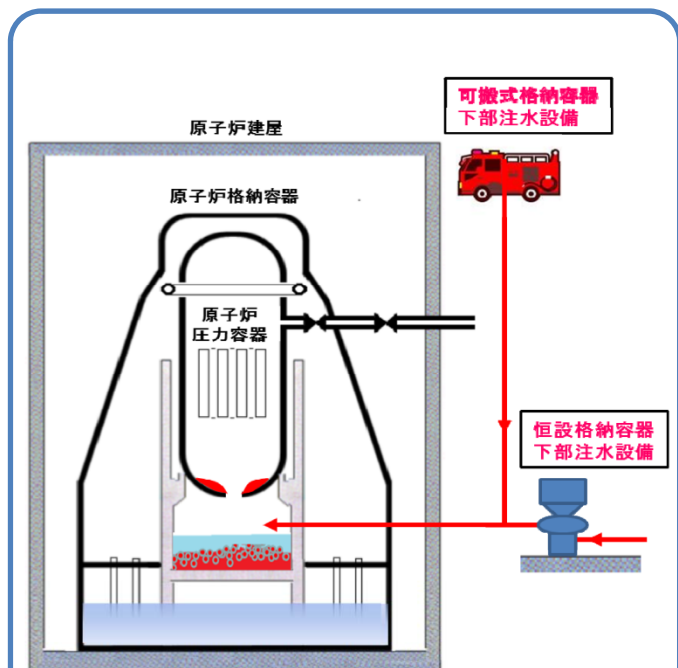
格納機能の喪失に至る事象を詳細に評価し、原子炉停止機能喪失事象及び除熱機能喪失事象について溶融燃料による原子炉容器破損の可能性は実質上除外されるように適切なAM策を講じること。

### (例) 原子炉停止機能喪失事象(ATWS系)の評価フロー



# 格納機能確保に関する高速炉と軽水炉の相違

## 軽水炉

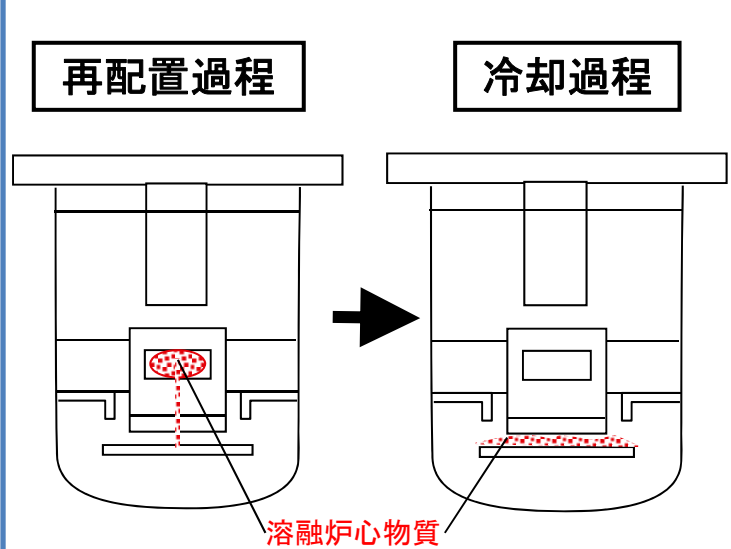


(原子力規制委員会資料を加工して作成)

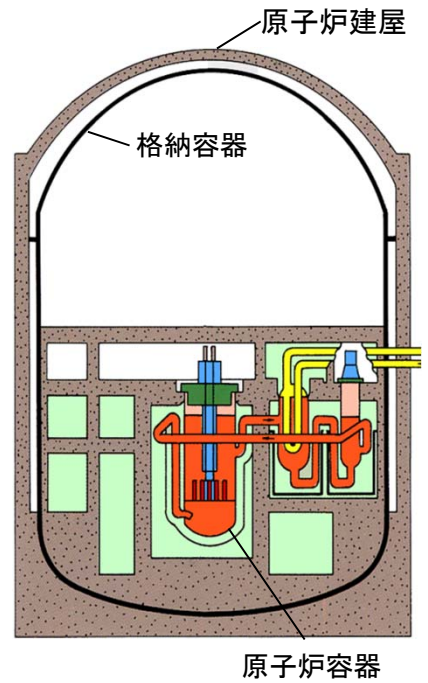
溶融炉心物質は原子炉容器を溶融貫通し、下部の格納容器内に落下する。注水により溶融炉心物質を冷却する

## ナトリウム冷却高速炉

### 著しい炉心損傷後の対策



\* 溶融炉心物質は、原子炉容器内のナトリウム冷却材により冷却可能であり、原子炉容器を溶融貫通する可能性は極めて小さい  
 \* ナトリウムは液体領域が極めて広く、軽水炉の冷却水のように短時間で蒸発喪失せず、外部からの補給を必要としない



大型格納容器により温度、圧力の上昇は小さく、気体の放射性物質は十分格納される

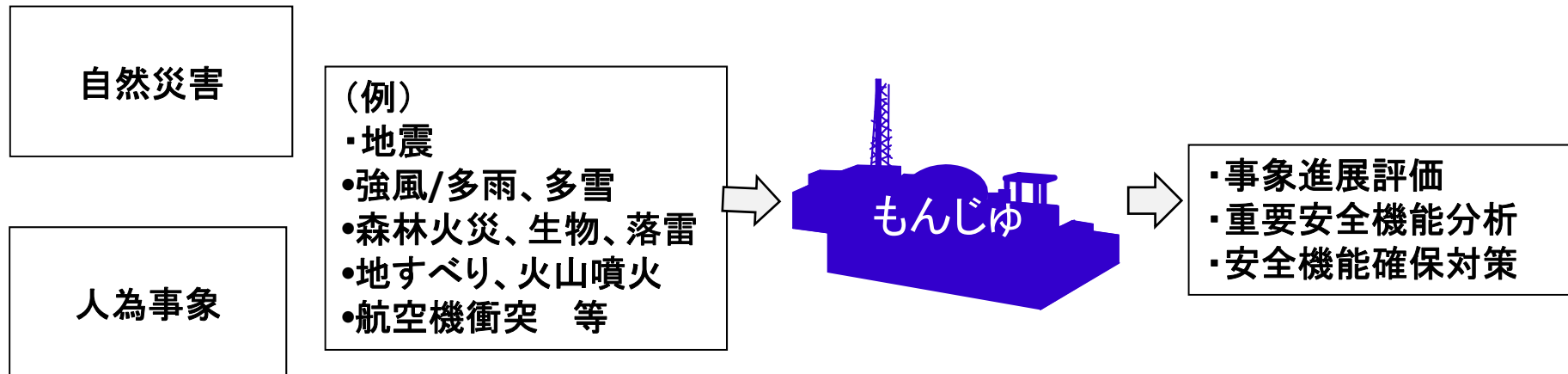
# 16項目の要求事項

## III.重大事故の防止と影響緩和に関する考え方

### (要求10~11)外部ハザード対策

原子炉施設は、地震、津波、及びそれ以外の自然現象に対して、確率論的評価手法等に基づきリスクを評価し、適切な余裕をもって安全が確保されるように設計による対応策を施すこと。また、故意による大型航空機の衝突及びその他のテロリズムについて対応策を講じること。

### 外部事象



地震、津波、及びそれ以外の幅広い外部ハザードについて重要な検討対象を抽出し、事象の進展を評価するとともに、重要な安全機能の確保方策を検討する。

# 16項目の要求事項

## III. 重大事故の防止と影響緩和に関する考え方

### (要求12) 水素対策

ナトリウム冷却高速炉では、軽水炉のような燃料被覆管のジルコニウムと水との反応等による原子炉内の大量の水素発生の懸念はない。設計基準を超える事象に対する合理的な安全対策の観点から水素爆発を防止するため、水素濃度の測定、水素の外部への排出、意図的な小規模な水素燃焼等の適切な対応策を、既存設備等を活用し講じること。

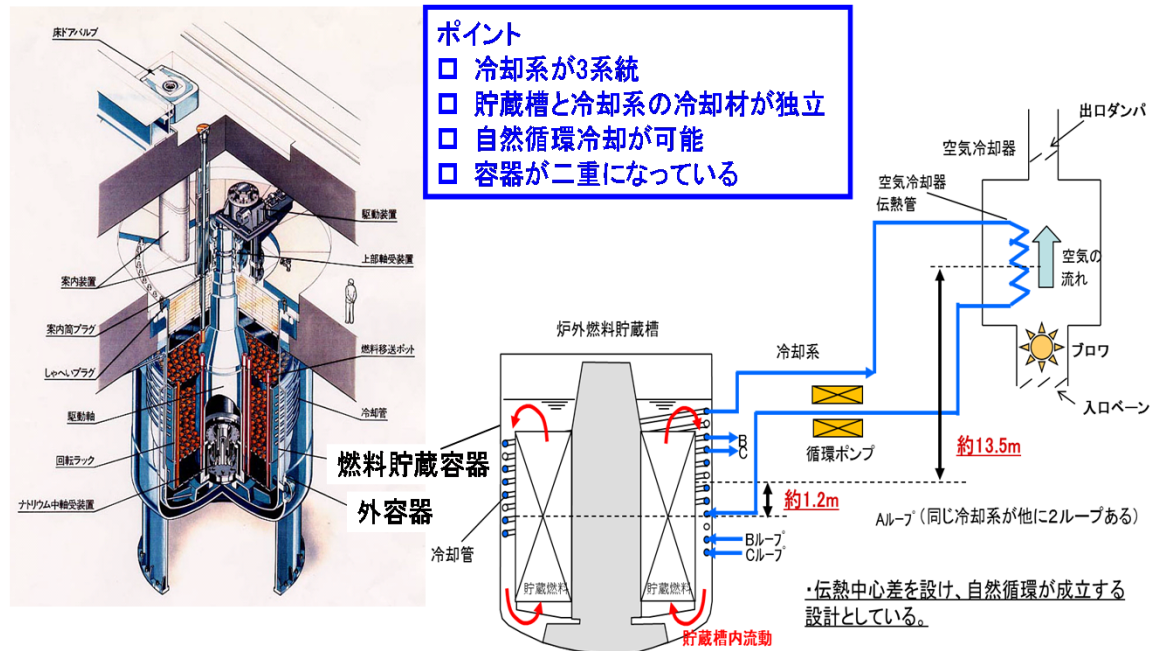
### 水素爆発防止策

- 水素濃度の測定
- 水素の排出
- 水素燃焼策 等

### (要求13) 使用済燃料貯蔵槽

炉外燃料貯蔵槽及び燃料池における燃料破損を防止するため、設備の特徴を踏まえた適切なAM策を講じること。

炉外燃料貯蔵槽については、ナトリウム冷却高速炉固有の設備であり、容器が二重であること及び自然循環冷却が可能であるという特徴を踏まえた対策を考慮する。



# 16項目の要求事項

## III.重大事故の防止と影響緩和に関する考え方

### (要求14)中央制御室、緊急時対策所

重大事故等発生時の中央制御室及び緊急時対策所の居住性を、ナトリウム冷却高速炉における事故の特徴に鑑みた適切なソースタームを想定し、運転員あるいは要員の被ばくの観点から遮蔽、換気等の設備を設計し、確保すること。

### (要求15)状態監視

重大事故時において必要とする原子炉及びプラントの状態を監視できる措置を講じること。重大事故等が発生した場合に監視するパラメータは、ナトリウム冷却高速炉の特徴及び想定される重要事故シーケンス等の事象進展と環境条件に鑑みて適切に選定すること。また、監視パラメータの重要性によって計測機器を分類し、耐震性を確保すること。

# 16項目の要求事項

## III. 重大事故の防止と影響緩和に関する考え方

### (要求16) アクシデントマネジメント(AM)

重大事故発生時に的確なAM対策を実施できるように必要な措置を講じること。重大事故に的確かつ柔軟に対処できるよう、体制、手順、書類、資機材等を整備するとともに、教育、訓練を行うこと。さらに、訓練等で評価されたAM策の有効性を適切にPRAに反映するとともに、PRA等の結果を用いて、継続的にAM策の有効性を向上させること。

