

# もんじゅ安全性の国際レビュー

## (3)国内レビュー

東海大学  
可児 吉男

# 1. はじめに

---

- 「安全確保の考え方」<sup>[1]</sup>について、より客観的な立場からの公正な評価を実施するために、原子力機構以外の第三者機関(原子力安全研究協会)にて国内の専門家によるレビューを実施した。
- 本報告は、国内レビューの概要について報告する。

[1] (編)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」、JAEA-Evaluation 2014-005

## 2. 実施方法

---

- レビューの実施機関

公益財団法人 原子力安全研究協会

- レビューの実施体制

5名の国内の専門家で構成される「もんじゅ安全性レビュー専門委員会」が設置され実施した。(括弧内はレビュー当時の所属)

主査：可児 吉男 特任教授（東海大学）

委員：守田 幸路 教授（九州大学）

齊藤 泰司 教授（京都大学）

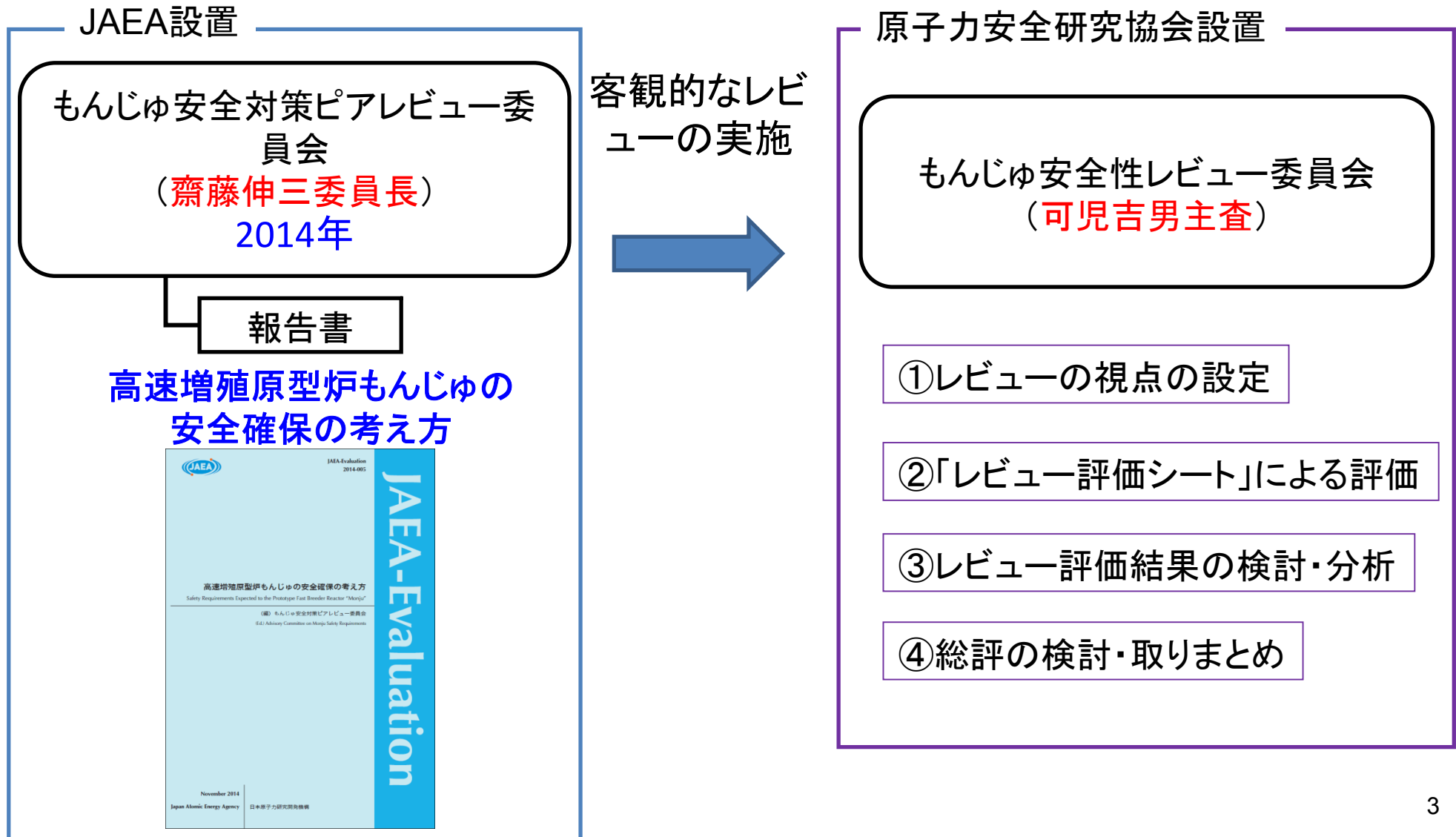
高田 孝 准教授（大阪大学）

遠藤 寛 研究アドバイザー（電力中央研究所）

- レビュー方法

レビュー方針(後述)にしたがって、「レビュー評価シート」に評価とコメントを記入後、評価結果について委員全員にて検討し、「総評」をとりまとめた。

## 2. 実施方法：原子力安全研究協会設置の「もんじゅ安全性レビュー専門委員会」におけるレビュー内容



## 2. 実施方法:レビューの方針(視点)

---

- 高速増殖炉の安全性に関する技術的専門家個人としてのレビューを行い、評価結果を取りまとめた。
- 原子力学会新型炉部会の「研究開発段階発電用原子炉安全設計方針検討会報告書」に示された論点を参照した。
- ナトリウム冷却炉の安全上の特徴を適切に考慮した上で、福島第一原子力発電所事故(1F事故)の教訓を反映させつつ、設計基準事故対応策の強化及び設計基準を超える重大事故等の防止と影響緩和を図る考え方及び方針(「安全確保の考え方」)の妥当性をレビューすることとした。
- もんじゅの具体的対策の内容及びその評価例は、上記「安全確保の考え方」の実現可能性を見るための参考とするが、その妥当性評価等の直接の評価はしないこととした。
- 検討や記述の不足している点について重要と考えられるものは意見・指摘を行うが、字句や表現ぶり、編集上の構成等についての指摘は特に行っていない。

## 2. 実施方法：評価項目（1）

| 「安全確保の考え方」報告書<br>(もんじゅ安全対策ピアレビュー委員会作成) |   |
|--|---|
| 章番号                                    | 評価項目  |
| 2                                      | 「もんじゅ」の安全確保の考え方に関する検討の視点<br>・深層防護に基づく安全確保, ・深層防護第1～第3レベルと第4レベルの強化, ・安全確保上のナトリウム冷却高速炉の特性の考慮, ・既設炉に対する安全確保対策に関する考慮, ・第4レベルの2段階の対策, ・アクシデントマネジメントの強化に関する考慮, ・もんじゅの重大事故に対する従来規則について, ・リスク情報の利用の考え方について, ・1F事故後「もんじゅ」における安全対策, ・1F事故の教訓の反映 |
| 3                                      | 設計基準事故対応策の強化に関する考え方   |
| 3.2                                    | 外部ハザード対策の考え方  |
| 3.3                                    | 地震  |
| 3.4                                    | 津波  |
| 3.5                                    | 内部火災  |
| 3.6                                    | 内部溢水  |
| 3.7                                    | 「もんじゅ」における静的機器の単一故障の考え方   |
| 3.8                                    | 原子炉停止系 (DBA+BDBA要求事項)   |
| 3.9                                    | 崩壊熱除去系 (DBA+BDBA要求事項)   |
| 3.10                                   | 蒸気発生器の水漏えいに対する考え方   |
| 3.10                                   | 2次系のナトリウム漏えいに対する考え方   |

## 2. 実施方法：評価項目(2)

|       |                                      |
|-------|--------------------------------------|
| 4     | 深層防護の第4レベルの重大事故等に対する考え方              |
| 4.1   | 基本的考え方                               |
| 4.2.1 | 炉心の著しい損傷防止に関する事故シーケンスグループ            |
| 4.2.2 | 使用済燃料貯蔵槽内の燃料損傷防止の事故シーケンスグループ         |
| 4.2.3 | 運転停止中の事故シーケンスグループ                    |
| 4.2.4 | 格納機能確保の有効性評価の事故シーケンスグループ             |
| 4.2.4 | ATWS(原子炉停止機能喪失)事象の代表事故シーケンスグループ      |
| 4.2.4 | LOHRS(除熱機能喪失)事象の代表事故シーケンスグループ        |
| 4.3.1 | 炉心の著しい損傷防止の考え方(プリベンション)              |
| 4.3.2 | 使用済燃料貯蔵槽内の燃料損傷防止の考え方                 |
| 4.3.3 | 運転停止中原子炉内の燃料損傷防止の考え方                 |
| 4.4.1 | ATWS事象に対する格納機能の確保策の基本的な考え方(ミティゲーション) |
| 4.4.2 | LOHRS事象に対する基本的な考え方                   |
| 4.4.2 | ナトリウム冷却高速炉における格納機能確保の考え方の整理          |
| 4.4.2 | 重大事故時における計装の考え方                      |
| 4.5   | 重大事故時における構造健全性についての基本的な考え方           |
| 4.5   | 重大事故時におけるバウンダリ健全性確保の考え方              |
| 4.5   | 原子炉容器内終息(IVR)の評価の考え方                 |
| 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        |
| 4.7   | 従来の(5)項事象の取り扱いについて                   |

## 2. 実施方法：評価項目(3)

|     |  |
|-----|--|
| 5   | 外部ハザード対策の考え方   |
| 5.1 | 著しい自然現象への評価の考え方(竜巻、森林火災、火山等)                         |
| 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)                           |
| 5.3 | 航空機衝突等のテロリズム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(1F事故を踏まえた地震・津波等の自然現象への対策) |
| 7   | 安全確保の考え方   |
| 7   | 要求1 安全目標/深層防護により受容されるリスクに制限                          |
| 7   | 要求2 原子炉停止系   |
| 7   | 要求3 確実な崩壊熱除去   |
| 7   | 要求4 共通原因故障の回避の対策                                     |
| 7   | 要求5 ナトリウム冷却高速炉特有な事象に対する対策の実施                         |
| 7   | 要求6 原子炉停止/除熱機能喪失対策のための適切なAM策(ハード+ソフト)                |
| 7   | 要求7 原子炉停止機能喪失対策のための適切なAM策(ハード+ソフト)                   |
| 7   | 要求8 除熱機能喪失対策のための適切なAM策(ハード+ソフト)                      |
| 7   | 要求9 格納機能喪失事象の評価とRV破損の実質上の排除のためのAM策                   |
| 7   | 要求10 自然現象に対する適切なAM策の整備                               |
| 7   | 要求11 テロ対策  |
| 7   | 要求12 水素爆発防止の適切なAM策                                   |
| 7   | 要求13 使用済燃料貯蔵槽の適切なAM策                                 |
| 7   | 要求14 重大事故時の中央制御室及び緊急時対策所の居住性評価の確保                    |
| 7   | 要求15 重大事故時の状態監視の措置                                   |
| 7   | 要求16 的確なAM対策の実施措置                                    |



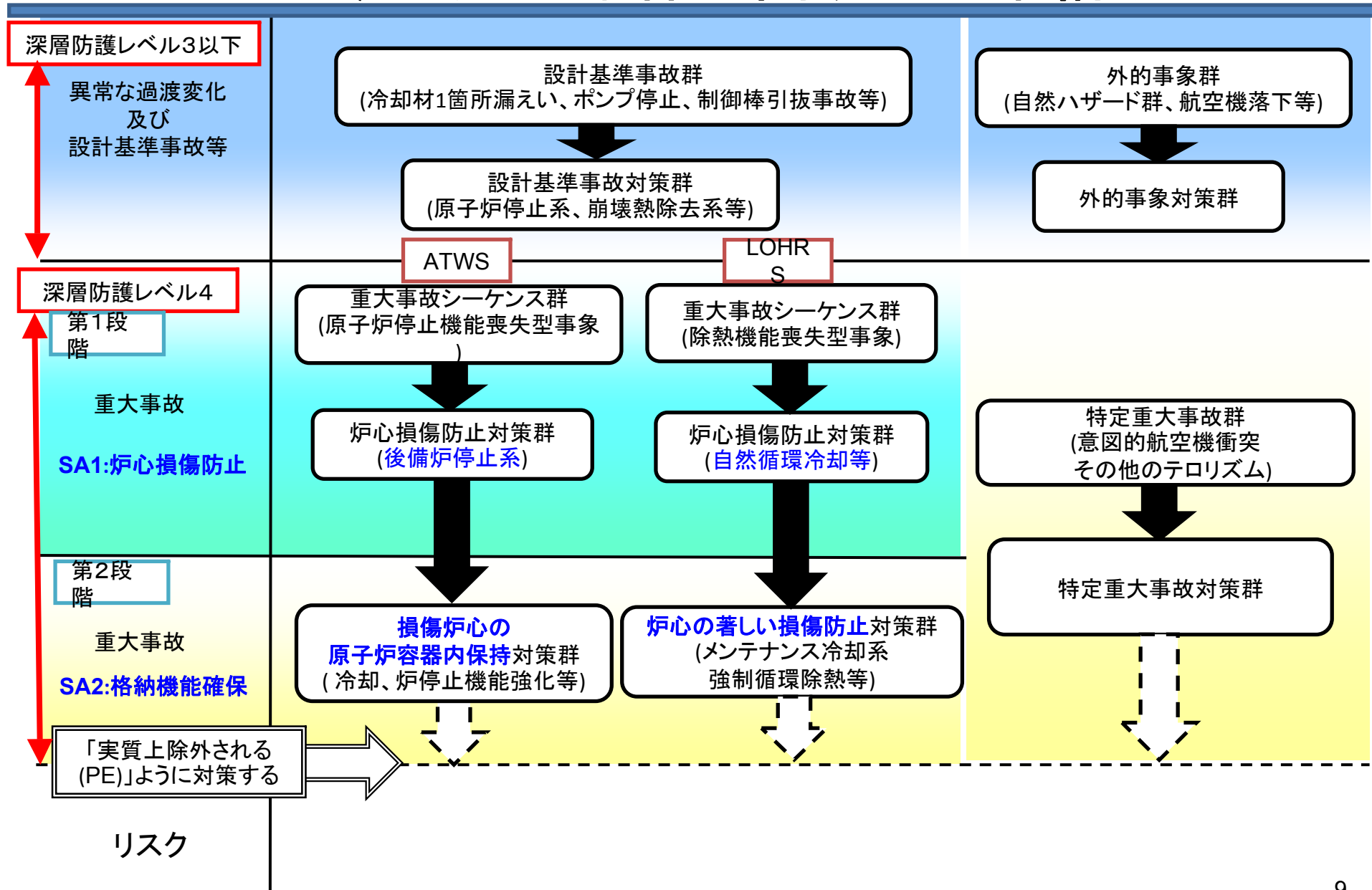
### 3. 評価結果：主要な論点

---

主要な論点は以下の通り。

- 深層防護の徹底等の基本的な考え方
- 既設炉及び研究開発段階炉であることの考慮
- 深層防護第4レベルの対策の考え方
- 設計基準としての事象想定と対策に係る方針
- 使用済み燃料貯蔵槽内での燃料損傷防止及び通常停止中原子炉内の燃料損傷防止
- 外部事象に対する安全確保の考え方
- 人為事象(故意、テロ)に対する安全確保の考え方

# もんじゅの安全確保に関する基本構成



### 3. 評価結果：主要な論点に対するレビュー結果 1

---

否定的な評価となる項目は無く、基本的に妥当であることを確認した。

主要な論点に対するレビュー結果を以下に示す。

#### (深層防護の徹底等の基本的な考え方)

- 深層防護第4レベルの対策は、設計基準を超えた条件において直ちに重大な炉心損傷等に至る事象が発生しないように第1段階のAM策による著しい炉心損傷防止策を講じた後、更に頻度は低いがそれらのAM策に失敗した場合に格納機能の確保に関する第2段階のAM策を講じることとしており、このような2段階の対策を講じるとは国際的にみても一般的なアプローチであり妥当である。
- 確率論的リスク評価(PRA)を実施しリスク情報を活用することや合理的に達成し得る最高の安全水準を継続的に追求すべきである。

## 3. 評価結果：主要な論点に対するレビュー結果 2

---

### (既設炉及び研究開発段階炉であることの考慮)

●既設炉に対する安全確保対策に関する考慮として、ナトリウム冷却高速炉の特性及び設計思想を十分に踏まえた柔軟な対策によりリスクを低減し、合理的に達成可能な最高水準の安全性を目指すべきとし、ALARPのアプローチをとるとするのは、方針として妥当と考えられる。また、安全向上策は、実機データ等に基づき実力による評価を実施し、原型の設計思想に基づく設備を補う形でAdd-onすることが適切としていることも首肯できる。

●炉心損傷事象を含め設計基準事故を超える事象の評価がいわゆる(5)項事象として従来取り扱われてきたが、深層防護の第4レベルである重大事故の防止・影響緩和が系統的に取り扱われること等により、研究開発段階炉であるが故に付加的に定めるべき安全要件は特には見いだされていない。ナトリウム冷却高速炉の設計、建設及び運転の経験が少ないことに十分留意し、様々な不確かさとリスクを慎重に分析し、継続的に実効的なリスク低減策を図っていくことが望まれる。

### 3. 評価結果：主要な論点に対するレビュー結果 3

---

#### ( 深層防護第4レベルの対策の考え方)(第1段階の対策)

- 第1段階の対策について、原子炉停止機能喪失(ATWS)系事象に関しては、設計基準を超えて重大事故に至るおそれのある事故として主炉停止系が失敗する事象を想定し、それへの主たる対策として後備炉停止系を位置付けている。軽水炉のホウ酸水注入設備等と同様に、第1段階の対策として後備炉停止系の機能に期待し評価することは妥当である。
- 第1段階の対策について、崩壊熱除去機能喪失(PLOHS)系事象に関しては、設計基準を超えて重大事故に至るおそれのある事故として補助冷却系による強制循環除熱に失敗する事象を想定し、それへの対策として補助冷却系による自然循環冷却を位置づけ、それを達成するため適切なAM策を講じるとする方針は、ナトリウム冷却高速炉に備わる特性を活用した合理的な方策であり、妥当である。

### 3. 評価結果：主要な論点に対するレビュー結果 4

---

#### (深層防護第4レベルの対策の考え方)(第2段階の対策 1/2)

- 第2段階の対策としての格納機能確保の考え方については、深層防護の考え方として各層が独立して有効に機能することが肝要であることから、第3層までの対策及び第4層第1段階の対策とは独立かつ多様な対策、すなわち、前段までの方策の機能が失われたとしても機能し得る方策を備えることを前提として、原子炉容器内で恒久的に炉心を冷却保持し(炉心損傷防止又は原子炉容器内終息(IVR))、主たる格納機能を原子炉容器に期待するアプローチが示されている。
- ナトリウム冷却高速炉の特徴、リスク低減効果、対策の実現可能性等に照らしてみると、このアプローチは、より信頼性・確実性が高いリスク抑制方策になり得ると考えられ、追求すべき妥当なアプローチである。
- ATWS系事象、特に炉心流量喪失時原子炉停止機能喪失(ULOF)における炉心損傷後のIVR達成について、設計上の対策や事象推移に係る安全研究の成果を十分に踏まえて慎重に吟味・検討して根拠を積み上げていき、その確実性を更に高める努力が望まれる。

### 3. 評価結果：主要な論点に対するレビュー結果 5

---

#### (深層防護第4レベルの対策の考え方)(第2段階の対策 2/2)

●除熱機能喪失(LOHRS)系事象に係る第2段階の対策について、メンテナンス冷却系を含めた現有設備を最大限活用するとの考え方について、これらを用いた対策(AM策)が緊急時対応手順等のソフト面も含め有効性・信頼性が十分確保されていることの評価確認が極めて重要である。メンテナンス冷却系は自然循環が期待できないことに十分留意し、電磁ポンプの電源や機器冷却等のサポート系も含めて、外部ハザードの影響も考慮して、この対策の信頼性・頑健性を評価確認することが肝要である。また、AM策は常にPDCAサイクルによって向上を図ることが重要であり、継続的にその信頼性・頑健性を高めていくことが望まれる。

### 3. 評価結果：主要な論点に対するレビュー結果 6

#### (設計基準としての事象想定と対策に係る方針)

- 設計基準を構成する各要件について、特に自然災害による外部ハザードについて考慮し、原子炉施設の敷地において想定される最大規模を適切に評価し、原子炉施設の安全性確保策を講じなければならないとする基本方針は至極妥当である。
- 設計基準を構成する各要件について全般的な再確認が必要であるとしていることから、安全機能の重要度分類と信頼性要求、耐震の重要度分類等についての見直しの必要性ないし検討方針についても明らかにすることが望まれる。

#### (使用済み燃料貯蔵槽内での燃料損傷防止及び通常停止中原子炉内の燃料損傷防止)

- 炉外燃料貯蔵槽において、冷却材ナトリウムによる自然循環による崩壊熱除去に期待できるとしている。また、燃料貯蔵容器の貫通部配管の破損を仮定しても、冷却に必要な液位が十分に確保されるようにすべきであるという方針は妥当である。
- 運転停止中原子炉内燃料の損傷防止策に関する方針は妥当と考えられる。なお、メンテナンス冷却系自体が供用状態にない場合についても十分検討を行い、然るべき対策を講じておく必要がある。



### 3. 評価結果：主要な論点に対するレビュー結果 7

---

#### (外部事象に対する安全確保の考え方)

- 自然現象に関して、継続的な安全性の向上を目指して設計ベースでのハザードの明確化を図るとともに、さらなる裕度・頑健性の確保によって炉心損傷の発生を防止し、AM策を充実させるという考え方は妥当である。
- 想定を超える自然現象の可能性に対するAM策のあり方について、系統的に吟味検討し、具体化・明確化を図ることが望まれる。

#### (人為事象(故意、テロ)に対する安全確保の考え方)

- 意図的な人為事象への対応策として、原子炉容器から離隔した位置までナトリウム配管を延長することを伴うような対策は必ずしも現実的ではなく、それに代わる位置的、方角的分散による崩壊熱除去のための冷却パスの有効性を評価し、それらを利用するAM策を確立するというアプローチは十分許容し得る。

## 4. 総評（まとめ）

- 東京電力福島第一原子力発電所事故（1F事故）の教訓を踏まえての高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方について、ナトリウム冷却高速炉の安全上の特徴を十分に考慮しつつ適切な整理がなされており、**ナトリウム冷却高速炉であるもんじゅに対する安全確保の方針及び要求事項は妥当なものと考えられる。**
- もんじゅの安全確保の考え方、特に**設計基準事故対応策の強化及び設計基準を超える重大事故等の防止と影響緩和**に関する検討・考察を系統的・包括的にとりまとめ、それらを踏まえて**特に重要な16項目の要求**として適切に整理されており、**妥当な要求事項が提示**されている。
- 報告書において、安全確保の考え方についてPRAや対策の有効性評価等により定量的な検討を行い、深層防護の充足性の根拠を整理していくとしているように、**PRA等を活用することにより深層防護の各防護ラインの厚みがバランスよく整合性をもって配備されていることを示し、全体としての防護の確実性・頑健性を確認することが重要**である。
- 規制要求レベルへの対応に留まらず、**継続的なリスク低減努力が重要**である。PRA等を活用し、**外的事象を含め様々な事象（シーケンス）の発生可能性について幅広く検討分析**を行い、リスクプロファイルを包括的に把握しつつ、**合理的に達成可能なリスク低減方策を不断に追求**していくことが求められる。