

平成27年 9月11日  
国立研究開発法人  
日本原子力研究開発機構  
敦賀事業本部

「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」の  
国際レビュー及び国内レビューの結果について  
(お知らせ)

当機構は、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故、及び新規制基準の施行を踏まえ、「もんじゅ」に関する重大事故を含む安全確保への取り組み方針を定めるため、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、安全上の要求事項を報告書「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」(以下「安全確保の考え方」という。)として取りまとめ、平成26年7月31日、原子力規制委員会に提出、公表しました。  
【平成26年7月31日 お知らせ済み】

その後、「安全確保の考え方」の妥当性の確認を目的として、より広く専門家の判断を仰ぐため、海外の高速炉安全性の専門家による国際的な安全の考え方に基づく評価(国際レビュー)、及び国内の高速炉安全性の専門家による客観的かつ公正な評価(国内レビュー)を受けました。

今般、その結果を報告書として取りまとめ、本日、日本原子力学会2015年秋の大会で発表しましたので、お知らせします。

なお、国際レビュー及び国内レビューの報告書につきましては、当機構ホームページにおいて全文を掲載しています。

当機構は、引き続き「もんじゅ」のさらなる安全性の向上に努めてまいります。

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」の国際レビュー及び国内レビューの結果について
- 2) 「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」の国際レビューの概要(参考資料①)
- 3) 「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」の国内レビューの概要(参考資料②)
- 4) 「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」の概要(参考資料③)

以上

[\(レビュー報告書\)](#)

## 「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」の 国際レビュー及び国内レビューの結果について

### 1. 国際レビューと国内レビューの経緯

原子力機構は、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故（以下「東京電力福島事故」という。）を踏まえ、「もんじゅ」の安全確保に関する取り組み方針を定めるため、平成 25 年 12 月に「もんじゅ安全対策ピアレビュー委員会」を設置した。当委員会は平成 26 年 7 月に報告書「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」（以下「安全確保の考え方」という。）としてまとめ、この中で安全上の要求事項を整理した。

原子力機構は、「もんじゅ」のさらなる安全性向上を図るために「安全確保の考え方」を十二分に斟酌する上で、「安全確保の考え方」について国際的、国内的に広く専門家の判断を仰ぎ、その妥当性について確認することとした。

このため国際的な高速炉安全性の考え方との比較や、各国の安全確保の考え方に基づいた検討を海外の専門家に依頼した（国際レビュー）。「国際レビュー」のメンバーは、米国、仏国、露国、中国、韓国、及び欧州連合から 9 名選任しており、いずれも各国の高速炉開発計画において安全設計・評価に責任ある立場、あるいは国際的組織を代表する高速炉安全性の専門家である。今年 5 月には、東京で国際レビュー会合を、文部科学省と共同で開催した。

一方、「安全確保の考え方」を国内の専門家により第三者の視点から客観的かつ公正に評価してもらうために、公益財団法人原子力安全研究協会にレビューを委託した（国内レビュー）。同協会は、国内の高速炉の安全性専門家 5 名による委員会を設置して検討を行った。

レビュー結果が報告書としてまとめ、日本原子力学会 2015 年秋の大会で発表したの、今般、報告書を公開するものである。

### 2. 国際レビューと国内レビューの結果

「国際レビュー」と「国内レビュー」の主要な結果は、下記の通りである。

- (1) 「安全確保の考え方」で述べられている安全上の要求事項は、東京電力福島事故の教訓と、ナトリウム冷却高速炉の特徴を十分に考慮されたものであり、妥当である（国際、国内）。
- (2) 事故時に制御棒が挿入できないことにより原子炉を停止できずに炉心の燃料が溶ける重大事故が発生した場合でも、溶けた燃料は原子炉容器の中に安定して保持されることは、高速炉の最新の国際的な考え方とも一致している（国際）。このような事故が発生しても、溶けた燃料を原子炉容器の中で長期的に冷却して、留めようとする考え方は妥当である（国内）。

- (3) 「もんじゅ」は、電源がなくなりポンプが動かなくても、ナトリウムの温度差によって生じる密度の違いにより、冷却材が原子炉や配管の中を流れ（自然循環と言う）、最終的に大気に熱を放出することにより炉心燃料の崩壊熱を冷やせるしくみになっている。この冷却手段を有していることから、万一、全ての電力供給がなくなっても、燃料は溶けることなく原子炉容器の中で保持できるとする考えは十分受け入れられる（国際、国内）。
- (4) 自然現象（地震、津波、竜巻、火山、森林火災等）など外部からの様々な脅威に対し、個別の脅威について講じなければならない対策を明らかにしていく手法は妥当である（国際、国内）。また、規制側の安全要求を満たすだけでなく、事業者として自ら継続的にリスクを低減させていくことも重要である（国内）。

### 3. 安全上の要求事項（平成 26 年 7 月）

「安全確保の考え方」で述べられている主たる安全上の要求事項は、以下の通りである。

- (1) 事故時に制御棒が挿入されず原子炉が停止できないため、炉心燃料が溶けるような重大事故が発生した場合でも、溶けた炉心燃料は原子炉容器の中で長期的に留まり、原子炉容器自体の破損を防ぐ対策を、最新の知見も取り入れ講じること。
- (2) 事故時に原子炉は停止したものの、その後、通常の方法では崩壊熱の除去ができない恐れのある重大事故に進展した場合に対しては、冷却材のナトリウムが温度差で原子炉や配管内を自然に流れて崩壊熱を取り去る特性など、「もんじゅ」の特徴を適切に考慮した対策の検討を行うこと。これにより、崩壊熱で炉心燃料が溶ける前に、事故を終息できるようにすること。
- (3) 事故の進展を防止するためには、設備の増設・強化（ハード面）だけでなく、事故時の組織的な体制や人的な対応手段（ソフト面）も重要である。これらを整備するとともに教育、訓練を常に実施し、想定していない事態が発生しても、その発展を防止できる対策（アクシデントマネジメント策）の有効性を継続的に向上させること。
- (4) 地震、津波、竜巻、火山、森林火災などの自然現象、及びテロリズムに対しても、重要となる事象や設備の耐性を把握し、適切なアクシデントマネジメント策を整備すること。
- (5) ナトリウムは水や空気と化学反応することから、想定を大きく超えた事故が発生しても、対応できるようにしておくこと。

以上

## 「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」の国際レビューの概要

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

### 国際レビューの経緯

公開報告書「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」（以下「安全確保の考え方」という。）について、国際的な高速炉安全性の考え方や各国の安全確保の考え方との比較、及び外国の高速炉の開発経緯に基づいた検討を、5 か国及び1 国際機関の高速炉安全性に関する専門家にレビューを依頼した。まず、報告書の主要な各小節についてレビュー者から個々に評価結果を提出して貰いこれらを収集・整理した。これに基づいてレビュー会議で討議して貰い、その結果をレビュー者に戻し個別のやりとりを経て、最終的な結果をレビュー者全員で確認し報告書としてまとめた。

### レビュー方法

国際レビューは、各国の高速炉安全性に関する主導的な専門家に依頼して実施した。レビュー者は、米国、仏国、露国、中国、韓国、及び欧州連合から計9名を選任しており、いずれも各国の高速炉計画において高速炉安全設計・評価に責任ある立場、あるいは国際的組織を代表する専門家である。全員が、第4世代原子力システム国際フォーラム（GIF）や国際原子力機関（IAEA）等の国際協力プログラムにおける重要メンバーとして活躍している。

「安全確保の考え方」（日本語版）は、全270ページあり、国際レビューを効果的、且つ効率的に進めるため、特にレビューの観点から重要な第4章（重大事故の防止と影響緩和に関する考え方）と第7章（安全確保の考え方）を評価の対象とした。

レビュー者には、「安全確保の考え方」の個々の内容につき、各節または小節毎に評価を依頼した。また、レビュー者には、評価の理由と、より重要な点として、自らの経験や専門性に基づく科学的、技術的コメントを記載するよう依頼し、評価結果を集約した。

### レビュー会議

レビュー会議は、日本で開催された国際会議に合わせて参加可能なレビュー者の出席の下、平成27年5月13日に文部科学省と共同で東京で開催した。全てのレビュー結果は総体的見解として整理し、詳細な討議に付した。その討議結果や個別のやりとりに基づき、報告書案を作成し、レビュー者に確認を求めた。全レビュー者が合意に達した最終版の概要を次に示す。

## 主なレビュー結果

レビュー者からは、「安全確保の考え方」の内容について、総じて肯定的評価（支持）を得た。主なレビュー結果は、以下の通りである。

- (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。
- (2) 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、In-Vessel Retention）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。この 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な考え方にも一致する。
- (3) 「もんじゅ」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、自然循環可能な設計となっており、崩壊熱の除去が可能である。また高速炉では系統圧力が低いいため、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、炉心損傷に至らしめない多重な対策を施す時間的余裕は十分であると評価される。これらのことから、「もんじゅ」の格納機能確保を炉心損傷防止により達成すると言う考え方は妥当である。
- (4) 東京電力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、外的事象に対する要求事項は妥当なものである。

## 国際レビュー者一覧表

氏名	国名	所属1	所属2	肩書
Ammirabile Luca	EU	EC 共同研究センター (EC/JRC)	原子炉安全評価ユニット	プロジェクトリーダー、科学官
Tsige Tamirat Haileyesus	EU	EC 共同研究センター (EC/JRC)	原子炉安全評価ユニット	主席責任者、科学官
Liu Yizhe	中国	中国原子能科学研究院 (CIAE)	高速炉研究設計部設計課	次長
Ren Lixia	中国	中国原子能科学研究院 (CIAE)	高速炉研究設計部	部長
Dufour Philippe	仏国	原子力・代替エネルギー庁 (CEA)	原子力エネルギー部門、研究炉部、革新的設備研究領域	ナトリウム冷却高速炉の科学アドバイザー
Kang Seok-Hun	韓国	韓国原子力研究所 (KAERI)	ナトリウム冷却高速炉炉心設計部	主任研究員
Lee Tae-Ho	韓国	韓国原子力研究所 (KAERI)		主幹研究員
Ashurko Yury	露国	物理エネルギー研究所 (IPPE)	原子炉・熱物理研究所	所長
Sofu Tanju	米国	アルゴンヌ国立研究所 (ANL)	原子力工学局、工学解析部	部長

## 「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」の国内レビューの概要

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

### 国内レビューの経緯

原子力機構は、「もんじゅ安全対策ピアレビュー委員会（齋藤伸三委員長）」にて「高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方」（以下「安全確保の考え方」という。）を策定し、平成26年7月に原子力規制委員長へ報告した。

「安全確保の考え方」について、独立した客観的な立場からの公正な評価を得るべく、第三者機関（公益財団法人原子力安全研究協会）に評価を委託した。原子力安全研究協会により組織された国内の専門家による委員会によってレビューが実施され、その結果がまとめられ報告を受けた。

### レビュー方法

本レビューは、原子力安全研究協会が設置した5名の国内の高速炉安全性に関する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（可児吉男主査、東海大学）」において実施された。いずれも高速炉の安全設計・評価に深い造詣を有する専門家である。会合は4回持たれ、まず「安全確保の考え方」について、レビューの視点が議論され、設定された視点に基づいて各委員は上記報告書の各節ごとに自らの経験や専門性に基づく科学的、技術的評価、コメントを提出し、その後、全員で詳細な議論を行った上で委員会として報告書がまとめられた。

### 主なレビュー結果

「安全確保の考え方」について否定的な評価はなく、国内専門家から妥当であるとの評価（支持）を得た。主なレビュー結果は、以下の通りである。

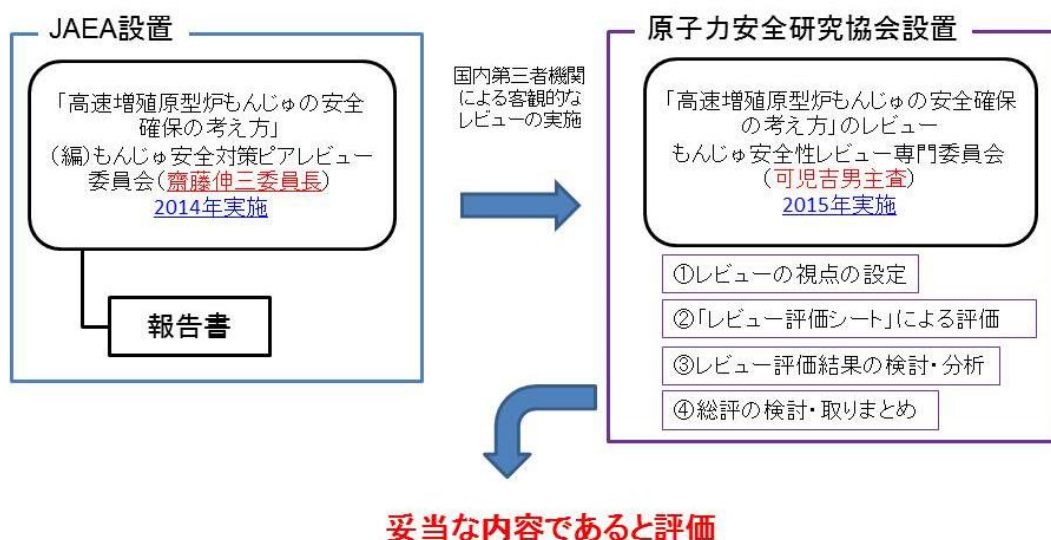
(1) 東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえた高速増殖原型炉もんじゅの安全確保の考え方について、ナトリウム冷却高速炉の安全上の特徴を十分に考慮しつつ適切な整理がなされており、ナトリウム冷却高速炉であるもんじゅに対する安全確保の方針及び要求事項は妥当なものと考えられる。

(2) 従来の原子力発電所の安全確保の考え方では、設計の妥当性を判断するために設計基準事故を想定してきたが、東京電力福島事故を教訓として、更に、それを超える事故に対しても対策を取る必要がある。

このような設計基準事故を超える事故に対しても、まず、原子炉施設の地震、津波等に対する対策の強化や電源車等を配備することにより重大事故の発生を防止する。さらに、万一、重大事故等に至った場合にも放射性物質の拡散を抑制するため格納機能を確保するとすることとしており、このような2段階の対策を講じるこ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。

- (3) 格納機能確保の考え方については、原子炉容器の損傷や溶融貫通が生じないように、原子炉容器内で溶融炉心を冷却、保持すると言う考えが示されている。これは、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。
- (4) 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。確率的リスク評価（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。

### 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



#### 国内レビュー者（もんじゅ安全性レビュー専門委員会）の構成

平成 25～26 年度に日本原子力学会の新型炉部会にて設置された「研究開発段階発電用原子炉安全設計方針検討会」のメンバーを中心として、「もんじゅ」の安全性に関して十分な知見を有する以下の 5 名の有識者が、原子力安全研究協会によって専門委員として委嘱された。

- 主査：可児 吉男（東海大学）  
 委員：守田 幸路（九州大学）  
 高田 孝（大阪大学）  
 齊藤 泰司（京都大学）  
 遠藤 寛（電力中央研究所）

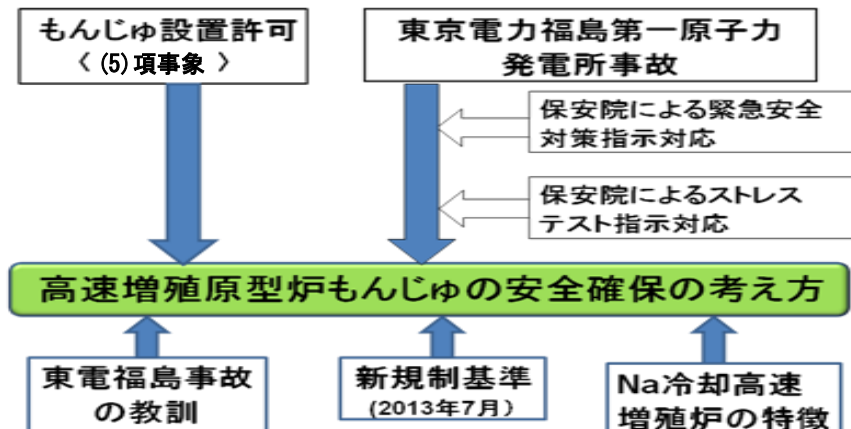
以上



「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るべきとした。**

上記のような観点から、安全確保の要求事項として以下の16項目をまとめた。

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。
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。

以上