

2 主な県民意見と委員会での審議結果

2 - 1 「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故

(1) 主な県民意見

1) ナトリウム漏えい事故の事実関係

- ・ 直ちに運転を停止しなかった
- ・ 換気系の送風を止めなかった
- ・ 火災現場にテレビカメラもなかった（安全感覚の欠如である）
- ・ 漏えい量が発表の度、変わった
- ・ 事故の通報が 12 時間後だった

2) ナトリウム漏えい事故後の安全性総点検

- ・ 調査は中立な第三者機関で行われず、技術的にも真相の徹底究明から遠く離れている
- ・ 全ての部品や装置を総点検し、安全を確認すべき
- ・ 設計段階にかえて、改めて設計のやり直しをすることが必要である
- ・ 運転マニュアルが曖昧である
- ・ 事故は単なる技術的判断ミスだけでなく、基礎研究の成果が設計に反映されなかった点に基本的な問題があった

(2) 委員会での審議結果

1) ナトリウム漏えい事故の事実関係

事故発生時は、室内の火災検知器が発報したことから、ナトリウム漏えいの規模は、2次系配管の外装板を越えて室内に漏えいする中規模漏えいに該当したが、運転員は、オーバーフロータンクナトリウム液位等に有意な変化が認められなかったため、漏えい規模は小さい（小規模漏えい）と判断し、運転手順に従い通常停止操作を決定した。

換気系については、小規模漏えい時の対応として停止操作は行わなかった。また、原子炉の停止操作については、当時の運転手順書に従って、当直長はプラント第1課長に状況を連絡し、通常停止する了解を得てから操作を開始した。

現場にはテレビカメラ等、現場の状況を連続して監視するシステムは設置していなかったが、運転員が事故直後に配管室内を確認している。

ナトリウムの漏えい量については、最初は、漏えい後の堆積物量を目測して評価していたが、その後、水流動試験や解析による詳細な評価が行われるなど評価の進展にともない、漏えい量の発表値も変わることとなった。

なお、事故発生時の関係箇所への連絡は、福井県が 48 分後、敦賀市が 61 分後、科学技術庁（当時）が 56 分後であった。

（委員会の意見）

ナトリウム漏えいが発生した時の対応として、漏えい規模の判断など現場の確認は極めて重要である。また、ヒューマンエラーが重なった場合に事態を悪化させる可能性もあり、異常や故障時の運転対応において、最新の知見やソフトウェア技術等を導入して、ヒューマンエラーの防止を図るとともに、手順書の整備と徹底した教育訓練により、運転管理に万全を期すことが重要である。

今回の事故では、対外機関への通報の遅れや、いわゆるビデオ隠しが指摘されている。異常や故障発生時の対応として、対外機関への通報連絡の重要性と信頼性について教育を徹底することが重要である。したがって、異常や故障発生時の対応を強化するため、通報連絡責任者の職務内容やその活用方を十分に検討する必要がある。

なお、異常や故障が発生すると、その後の状況が時々刻々変化するため、通報連絡の迅速さを求めると、正確さが十分でない場合があることを、発信者と受け手側において、認識しておく必要がある。

異常や故障発生時の情報を、県民に対して適切に公開することは、原子力に対する信頼を確保する上で不可欠であり、常に積極的な情報の公開に努めることが重要である。

2) ナトリウム漏えい事故後の安全性総点検

事故後、サイクル機構は原因究明を行うとともに、科学技術庁（当時）は「もんじゅナトリウム漏えい事故調査・検討タスクフォース」を設置し、また原子力安全委員会は「高速増殖炉もんじゅナトリウム漏えいワーキンググループ」を設置し、事故の徹底した原因究明が行われた。これらのタスクフォース、ワーキンググループの委員には、大学、研究所等、第三者機関の有識者が多数含まれている。

国およびサイクル機構では、ナトリウム漏えい事故の教訓を踏まえ、設備・システム全体について安全性総点検を実施した。点検の対象は、現状の設備、機器の健全性評価、安全性研究や新しい知見の反映だけでなく、品質保証や運転管理、さらにはそれらの体制等についても点検を行っている。

点検の結果、様々な改善策が示されており、サイクル機構は、今後、設備面の改善を進めるとともに、体制や管理等のソフト面について、改善を進める計画である。

(委員会の意見)

「もんじゅ」における今後の運転経験は、運転性能や運転管理、保守管理等に関して、発電設備を有する原型炉としての貴重な技術の蓄積が得られると考える。また、「もんじゅ」で働く職員の資質向上のため、様々な教育・訓練を継続して進めていくことが必要である。

「もんじゅ」は、電気出力 40%の試運転段階でナトリウム漏えい事故が発生した。安全性総点検で示されている設備改善事例では、水・蒸気系での改善策が多く提案されている。これらの改善策の多くは、原子炉の安全性の根幹に関わるものではないが、発電設備を有する原型炉としての課題であり、今後、試運転を進めれば、さらに新たな改善が必要となる可能性があり、これらに適切に対応することが重要である。

2 - 2 ナトリウム漏えい対策

(1) 主な県民意見

1) 漏えいナトリウムの影響

- ・ 事故と再現実験では違う結果が出ている
ナトリウムの基礎研究が十分でなかったのではないか
- ・ ナトリウム火災の可能性を過小評価していた
- ・ 床ライナの腐食について、設置許可当時、知見がないのは不思議である

2) 改造工事の意義

- ・ 事故が起こることを前提とした改造工事では心配が大きくなる
- ・ ナトリウムをきちんと封じ込めることが大事である

(2) 委員会での審議結果

1) 漏えいナトリウムの影響

(委員会の意見)

2次冷却系でのナトリウム漏えいを評価する場合、漏えいする高温のナトリウムが空気と接触し燃焼反応が生じることを考える必要がある。

ナトリウムが漏えいした場合の評価では、漏えい部の直下(空間中)で燃焼する状況や、床ライナ上で燃焼する状況など、漏えい規模による様々な燃焼反応形態を想定する必要がある。特に、床ライナの腐食については、燃焼による床ライナの温度とその継続時間が腐食量に影響し、さらに雰囲気中の水分による腐食反応の加速を考慮する必要がある。

このため、ナトリウム漏えい事故後の知見も踏まえ、ナトリウム漏えい燃焼に伴う床ライナの腐食評価を適切に行うことが重要である。

腐食の形態は2つに大別でき、ナトリウム・鉄複合酸化型腐食と、ナトリウムに対して酸素や水蒸気の供給量が多い場合に起こる熔融塩型腐食がある。

最大腐食速度をもつ熔融塩型腐食を想定した上で、様々な規模の漏えいを考慮し、床ライナ損傷の深さを推定すると、設備改造後の2次主冷却系配管室、蒸気発生器室も含めて、最大腐食量は床ライナ厚さ(6mm)の約半分程度であり、床ライナの健全性は保たれると判断できる。

ナトリウム漏えい部の構造や配置を模擬した試験体による総合的な現象の把握を目的としてナトリウム漏えい事故後に実施したナトリウム燃焼実験のうち、第2回目の実験では、熔融塩型腐食により床ライナに穴があくという「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故とは異なる現象が生じたが、このことについては、

- ・ ナトリウム燃焼反応で発生するエアロゾルにより、実験の様子を観察する力

メラの視界が悪くなることから、このカメラの視界を保つため、大量の空気を実験室内に送り込んだ。

- ・ 実験装置の大きさの制限から、周囲を構成するコンクリート壁の温度が高温となり、コンクリートから多量の湿分が供給された。
- ・ この結果、ナトリウムと空気中の酸素や水分などが反応し、新たな知見である溶融塩型の腐食メカニズムを加速する特殊な実験環境となった。

ことが明らかにされている。

しかしながら、「もんじゅ」においては、2次系ナトリウムが漏えいした場合に、上記の実験のような特殊な環境にはならないため、溶融塩型腐食が起きたとしても、腐食量は床ライナ厚さの半分程度に抑えられることから、床ライナに穴があくことはないと判断する。

2) 改造工事の意義

(委員会の意見)

ナトリウムを漏えいさせないように設計、製作、維持することが最も重要であるが、これに加えて、万一、漏えいした場合をも想定し、その影響を抑制する対策を講じることが必要である。

今回の改造工事では、漏えいを早期に発見し、配管内のナトリウムを直ちに抜き取ることで、漏えい量を少なく抑え燃焼反応の継続時間を短くするとともに、壁や天井からの水分放出を防ぐ対策も行う計画である。これらの対策により、腐食を抑制するとともに、床ライナの板厚の損傷を十分小さくできることから、改善策は有効であると考えられる。

なお、原子力安全委員会は、床ライナの健全性に加えて、ドレン所要時間等が、ナトリウム漏えいの影響緩和の観点から重要であるとし、平成14年12月、設置変更許可後の段階で所管行政庁が確認すべき重要事項として原子力安全・保安院へ報告を求めている。

また、ナトリウム漏えい事故後の安全性総点検のなかで、ナトリウムを内包している機器を中心に、設計段階に遡り、ナトリウム漏えい関連設備の健全性点検が行われている。

今回のナトリウム漏えい事故発生時には運転手順書および、この手順書に基づく判断基準に不明確さがあった。

ナトリウム漏えい時の運転手順書については、今回計画している設備改造を踏まえて改善されるが、漏えい箇所の素早い特定や、明確な運転対応になっているか、想定される漏えいが全てカバーされているかなどを確認することが重要である。また、シミュレータを有効に活用した教育訓練に努め、運転員の技能習熟を図ることが重要である。

2次系でナトリウムが漏えいした場合、漏えいしている系統のナトリウムをオーバーフロータンクとダンプタンクに抜き取る(ドレンする)こととしてい

る。運転中は、系統内のナトリウム温度が高いことから、ドレンに際しては、タンク入り口部での熱衝撃を緩和するため、従来は、ナトリウム温度がある程度下がるのを待って操作するとしていた。このため、抜き取るまでに時間がかかり、結果として漏えい量が多くなる操作手順であった。

今後は、どのような規模の漏えいであっても、漏えいを検知したら、原子炉停止とともに直ちにドレンすることとし、ドレンに要する時間を大幅に短縮させるため、抜き取る配管の口径を大きくし、ドレンの際に開く弁は2重化して信頼性を高め、かつ遠隔で操作できるように改造する計画となっている。

このような改造計画を踏まえると、緊急ドレンに伴うタンクノズルやドレン配管の健全性評価（熱衝撃に対する健全性評価）を確実に行うことが重要である。

これまでの評価では、各系統で7回の緊急ドレンを想定しても、構造強度の評価では許容値を満足する結果となっているが、今後、緊急ドレンを行った場合には、実機での運転履歴を踏まえて、適宜、再評価を行うことが重要である。

漏えい後の燃焼抑制のため、各室内に窒素を供給する設備を設置する計画となっているが、実際の運用にあたっては、室内に人のいないことを確実に確認することが必要である。

これら改造工事計画については、その改善効果を総合的に確認する方策を、将来的な視点も含めて検討することが必要である。

2 - 3 温度計の破損と交換

(1) 主な県民意見

1) 破損温度計

- ・ 運転して3ヶ月、40%出力で破損した
- ・ さや管形状は素人でも問題とわかる、なぜチェックできなかったのか
- ・ さや管の設計で破損メカニズムが全く考慮されていない
- ・ 「常陽」の技術蓄積はどこへいったのか
- ・ さや管の設計、審査体制の責任が明らかにされていない

2) 温度計改良

- ・ 温度計が折れてもナトリウムが外部に漏れないよう考慮すること
- ・ 新方式の温度計測法を開発すべき

3) 設計管理

- ・ いい加減な設計で作られ、ずさんな技術で運転されていた
- ・ 汎用品に対し事故を未然に防ぐ意識をもち図面等を精査すべき

(2) 委員会での審議結果

1) 破損温度計

科学技術庁もんじゅナトリウム漏えい事故調査検討タスクフォースは、温度計の設計について、メーカーの設計ミスサイクル機構（当時：動燃）がチェックできなかったことを確認し、公表している。

「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故の原因となった2次系の温度計は、「常陽」の2次系の温度計と同じ太さの熱電対を採用しており、配管内にさや管をさし込むタイプであることも同様であった。しかし、温度計さや管については、「常陽」がテーパ状（なだらかな傾斜）で、厚さが一定でないのに対し、「もんじゅ」はプラント緊急停止時などのナトリウム温度変化による熱応力を低減するよう、さや管厚さを一定とした。このため、「もんじゅ」の温度計は段付き構造となった。また、段付き部の隅の丸みも小さく、振動した場合に応力が集中しやすい構造になっていた。

2) 温度計改良

新しく採用する改良温度計は、流力振動の評価を確実に行うことが重要である。

サイクル機構は、水中での流動実験も行うなど、流力振動について健全性の確認を行った。改良温度計に関しては、平成13年6月に「設計及び工事の方法の変更に係る認可申請」を行い、平成14年6月に認可されている。

この認可の過程で、原子力安全・保安院は、流力振動評価についても検討を

行い、サイクル機構の評価が妥当であることを確認している。

また、原子力安全委員会は、この認可について、温度計の健全性が適切に確保されていること等適切な安全確保対策が講じられていることを確認するため、規制調査として詳細な調査を実施し、妥当であるとの結論を出した。

(委員会の意見)

改良温度計は、流力振動に関する計算が行われ評価もされていることから、十分に安全に配慮して設計されていると考える。

今後の技術開発として、配管外からの温度を測定するなど、新方式の温度計開発にも努力することが重要である。

3) 設計管理

(委員会の意見)

今回破損した温度計については、サイクル機構として十分な設計審査や強度確認を行っていなかったことから、サイクル機構は、国の審査対象外の装置や機器についても、品質保証とその健全性を十分確認する方策を確立することが重要である。

サイクル機構は、設計審査について、「設計審査要領」を事業者規則として策定し、設計審査の着眼点や設計審査の体制等を明記するなど、改善策を図った。

今後は、所内全体の品質管理の向上に向け、全員参加で安全を重視する体制を構築することが重要である。

また、破損した温度計に限らず、シール機能を持つ部品など、ナトリウム漏えいを起こす可能性のある部分については、設計・施工上の抜け落ちがないようシステムとしてフォローアップしていくことが重要である。

2 - 4 高速増殖炉の安全性

(1) 主な県民意見

1) 高速増殖炉の安全性

- ・直ちに運転を停止しなかった
- ・「もんじゅ」は未成熟な技術であり安全性はまだ確立していない
- ・軽水炉と異なる点を中心に安全性を議論すべき
- ・海外も技術的に未確立で、経済的にも見通しが立たず撤退した
- ・研究開発炉として運転することは危険きわまりない

2) ナトリウムの安全性

- ・ナトリウムを使うことが最大のネックである
- ・一次系ナトリウムは放射化しており、ここで事故が起これば補修に相当な時間がかかるなど困難性は明らかである

3) プルトニウム

- ・プルトニウムを使うところに一抹の不安がある。
- ・ウランと比べどの程度厳しい取扱いや管理が要求されるのか
- ・核物質防護は万全か

4) 燃料

- ・燃料の安全性を再検討すべき
- ・燃料破損の備えが英国・仏国方式であるか確認すべき
- ・独国では破損燃料への備えが不備で廃炉に至ったのではないか
- ・燃料検査が目視でできない

5) 制御棒

- ・炉の停止が制御棒のみである
- ・制御棒がナトリウムの固化により動作不良となったのは想定外

6) 原子炉の安全性

- ・炉心内側は反応度が正である
- ・ナトリウムは沸騰しないと仮定しているが、気泡が炉心を通じた時の出力上昇に非常に不安を感じる

7) 炉心崩壊事故評価

- ・炉心崩壊事故を起こす危険性が軽水炉と比べ格段に高い
- ・米国や独国を超える安全解析をしていない

(2) 委員会での審議結果

1) 高速増殖炉の安全性

高速増殖炉も軽水炉と同様、出力が上昇すると燃えにくいウラン 238 が中性子を吸収し、自然に出力が低下する特性（固有の安全性）を持っている。

(委員会の意見)

高速中性子を利用した原子炉は、海外の高速増殖炉での運転実績があるとともに、実験炉「常陽」での運転経験も十分蓄積されていると考える。

2) ナトリウムの安全性

(委員会の意見)

ナトリウムによる金属材料の腐食を考慮すると、ナトリウム中の不純物の管理が重要であり、ナトリウムの純度管理や、ナトリウムの流れがよどむ所について、十分配慮した保守管理に努めることが必要である。

ナトリウム機器の分解点検や改善工事にあたっては、徹底した品質管理はもとより、工事の安全管理として、「常陽」で発生した火災や海外炉での改造工事における教訓を適切に反映して、万全の体制で実施することが必要である。

3) プルトニウム

(委員会の意見)

「もんじゅ」においては、プルトニウム燃料を使用していることから、核物質防護については国際的な基準で厳しく管理されている。

プルトニウムについては、その化学的な性質、放射能の危険性や特性等を十分認識して、適切に管理し、取り扱うことが重要である。

4) 燃料

燃料集合体で破損が発生すると、燃料被覆管から放射性ガスがナトリウム中に漏れ出ることから、このガスをいち早く検知する方法(カバーガス法)と、核燃料物質の一部がナトリウム中に漏れ出たことを検知する方法(遅発中性子法)とがある。

さらに、炉心燃料の被覆管内にはあらかじめ組成の異なるガスを封入しており、漏れ出るこのガスを分析し、破損している燃料をできるだけ早く同定する方法(タギング法)も採用している。

この「もんじゅ」の破損燃料検査方法は、仏国のフェニックスで行われている方式とは異なるが、「もんじゅ」では原子炉運転中でも、198体の燃料集合体のどの燃料集合体が破損したかを同定できるように設計されている。

(委員会の意見)

タギング法については、できるだけ短時間で同定できるよう、分析方法の研究開発を進めることが重要である。

燃料被覆管にピンホールなどの微小破損が生じた時は、カバーガス法で検出

し、タギング法で破損燃料を同定した後、原子炉を通常停止する。燃料に遅発中性子法で検出できるような比較的大きな破損が生じた時は、検出と同時に原子炉は自動停止し、その後、破損燃料を同定することになっている。

したがって、「もんじゅ」では、設備ならびに運転手順とともに諸外国の先行炉と遜色ない燃料破損への備えがあると考えられる。

燃料検査については、「もんじゅ」では、冷却材に不透明なナトリウムを用いていることから、目視確認を行うことはできない。しかし、炉内において、破損燃料が発生したときそれを検出することができることから、燃料検査が目視で出来ないことに、特段の支障が生じることはない。

5) 制御棒

原子炉内での核分裂を制御し、停止させる役割は制御棒が担っている。特に原子炉を停止する機能については、通常停止用の制御棒（13本）とは別に、バックアップ停止用の制御棒（6本）を設置し多重化している。

また、制御棒は電磁石で保持されており、電源が喪失した場合には、電磁石は磁力を失うため、制御棒は自重で落下するとともに、ガス圧やスプリング力により加速され炉心内に挿入される。

通常停止用の制御棒について、駆動荷重が増加する事象が平成4年から平成7年にかけて発生したが、その原因は、ナトリウムを初期充填した時の配管内等に付着していた不純物が、制御棒駆動機構の狭隘部に移行したためと推定されている。

対策として、制御棒駆動機構のナトリウム接液部にナトリウムの流動孔を設け、ナトリウム不純物の滞留を防止するとともに、狭隘部を広げることとしている。

(委員会の意見)

ナトリウムを内包する機器の工事を行う場合には、このトラブルを十分に踏まえた対応（不純物の持ち込み低減、純度維持管理）を行う必要がある。

6) 原子炉の安全性

原子炉の特性として、「もんじゅ」も軽水炉と同様に固有の安全性を持っているが、原子炉の炉心内を大気泡が通過すると、一時的に正の反応度が加わって核分裂反応が急激に増加することが分かっている。

冷却材中に気泡が通過することがありえるとすれば、ナトリウムの上部にあるカバーガスの巻き込みによるものであるため、機器の設計にあたっては、カバーガスがナトリウム中に巻き込まれないように考慮されている。

「もんじゅ」を設置する際に行った国の安全審査では、このような設計上の考慮を無視し、気泡が炉心を通じた場合に、どの程度出力が急上昇するかについて解析・評価をしている。

その結果、「もんじゅ」は出力の上昇を直ちに検出して、自動的に原子炉を緊急停止するので、核分裂の増加による発生エネルギーは小さく原子炉の安全性が確保されることが確認されている。

7) 炉心崩壊事故評価

炉心崩壊事故評価にあたっては、何らかの理由で「もんじゅ」の1次系、2次系の独立した3系統のナトリウムを循環させるポンプ（主循環ポンプ）全数が完全に停止し、かつ、その状態で全ての制御棒が挿入されないという仮想的な条件を前提とする必要がある。

この仮想条件を発端として、敢えて炉心燃料に損傷が及ぶ事態に進むと仮定すると、炉心にある燃料棒は大きな損傷を受けるが、原子炉容器、原子炉格納容器は、十分に頑丈にできているため、破損しない。すなわち、仮に炉心崩壊事故が起こったとしても、炉心で発生するエネルギーにより、原子炉容器に圧力荷重が加わり、原子炉容器と1次主冷却系配管・機器にひずみが生じるが、破損することはない。また、この圧力荷重により原子炉容器と原子炉容器上蓋（しゃへいプラグ）の隙間から一時的にナトリウムが噴出して、空気と燃焼することにより原子炉格納容器内の圧力が上昇するが、設計圧力に対して十分に小さいことから、原子炉格納容器も破損しない。

したがって、放射能が周辺に異常に放出されることはなく、周辺住民の安全が脅かされることはない。

炉心崩壊事故評価については、ドイツ、アメリカ、日本などの国際協力の中で、解析コードや得られた知見等の情報が共有されている。また、炉心崩壊事故を仮定して発生するエネルギーは、炉心の出力の大きさにおおよそ比例するため、諸外国の計算例と比較して特に大きな矛盾はない。

（委員会の意見）

制御棒は多重化されており、制御棒の作動は非常に信頼性の高いものである。炉心崩壊事故は工学的には起こりえないものとする。なお、原子炉が停止した状態で、ナトリウムを循環させる補助モータが停止して、冷却材を強制循環できない場合でも、自然循環により炉心の冷却が行われるため、炉心溶融には至らない。

「もんじゅ」で炉心崩壊事故が起こると敢えて仮定するのは、原子炉容器や格納容器が、事故に対してどのぐらいの安全余裕があるかを確認するためである。

このような仮想事故の解析では、サイクル機構と他研究機関が実施している様々な分野での安全性研究の成果が反映されている。これらの成果として新たな知見が得られた場合には、必要に応じて解析手法や解析結果の見直しを行い、安全性や安全裕度の再確認に努めることが重要で、これら安全性研究については、今後とも継続するとともに、積極的な情報の公開に努めていく必要がある。

「もんじゅ」は、現在、性能試験段階であり、各機器や設備の性能、機能が

設計どおり発揮されるかどうかの確認が残されている。今後は、性能試験段階でそれらを十分確認することが重要である。

サイクル機構では、様々な事態を想定して異常や故障時などの運転手順書等を作成し、それに基づき運転管理にあたるが、このような異常や故障などが発生した場合、単純な原因による判断ミスや機器の誤操作等のヒューマンエラーが発生する場合があります。その点も考慮して、運転管理に万全を期すことが重要である。

また、「常陽」や「もんじゅ」の経験を反映して機器の信頼性を高めることや、運転での安全管理、リスク管理の向上に向けて、確率論的安全評価の研究を行っているが、今後は、これらの成果についても積極的に公開し、外部評価を受けることも必要である。

2 - 5 蒸気発生器の安全性

(1) 主な県民意見

- ・ 伝熱管損傷事故は軽水炉以上に避けがたい
- ・ 伝熱管破断による急激な圧力上昇を逃がす「圧力開放板」の実証試験を行うことが必要である
- ・ 英国の高速炉で起きた事故はどのように反映されているのか
- ・ 伝熱管から水が漏れれば、ナトリウムと反応し、その影響は中間熱交換器におよび原子炉の暴走という事故につながる可能性がある

(2) 委員会での審議結果

「もんじゅ」の蒸気発生器は、伝熱管の外側にある高温のナトリウムにより、らせん形状をした伝熱管の中を流れる高圧の水（蒸気）を加熱して過熱蒸気をつくり蒸気タービンを回している。

伝熱管にピンホール等の損傷が発生すると、伝熱管の中から高圧の水（蒸気）がナトリウム中に漏れ出し、ナトリウムと水との激しい化学反応（ナトリウム・水反応）が生じる。

この化学反応により、蒸気発生器内では水素の発生やそれによる圧力上昇が生じる。漏れ出し状況（漏れ出し量等）によっては、周囲の健全な伝熱管をも損傷させることが考えられる。

「もんじゅ」では、伝熱管からの水漏れを検知するシステムとして、微小漏れを検知する水素計、水素による圧力の上昇を検知するカバーガス圧力計と、圧力開放板開放検出器があり、漏れを検出すると直ちに、蒸気発生器への給水弁が「閉」、放出弁が「開」になって内部圧力が下がり始め、これとほぼ同時に自動的に制御棒が挿入され原子炉は停止する。また、蒸気発生器から水が抜き取られることにより、水の漏れが止まり、一方で蒸気発生器内のナトリウムはダンプタンク、それ以外のナトリウムはオーバーフロータンクに抜き取られて事態は収束する。

なお、サイクル機構では、実物と同一設計の圧力開放板を製作し、実際に圧力をかけて作動させる試験を実施し、設計通りの圧力で作動することを確認している。

海外の高速増殖炉では、蒸気発生器伝熱管破損事故がいくつか起こっている。その1つ英国 PFR では、伝熱管の破損で発生したナトリウム・水反応により、漏れ出し部周辺が高温状態になり、漏れ出し伝熱管周囲の他の伝熱管が、管自体の材料強度の低下と、管内の水（蒸気）の高い圧力により大きく膨らみ破損する、いわゆる高温ラプチャ現象も発生している。

しかし、この事故ではその影響が炉心にまで及ぶことなく、原子炉は安全に停止し、その後、改善策を講じることにより、約半年後に運転を再開してい

る。

PFRの蒸気発生器伝熱管破損の原因は、蒸気発生器内の内筒から管束部へのナトリウムのバイパス流によるものと推定されている。また、高温ラプチャが発生した要因としては、水素検出器が故障したまま運転していたことと、水・蒸気系に高速減圧系が設置されていなかったことが挙げられる。

しかし、「もんじゅ」では、内筒は全て溶接構造であることから、このようなナトリウムのバイパス流は起こらないと考えられる。

高温ラプチャの防止には、水の微小漏えいの段階で早期に検出し、伝熱管内の圧力を短時間のうちに下げることが重要である。

今回の改造では、蒸気発生器に設置しているカバーガス圧力計を増設するとともに、水・蒸気を大気に放出する弁も増設する計画になっており、高温ラプチャの発生は、改造工事により一層確実に防止できるようになる。

蒸気発生器伝熱管破損の影響に関しては、仮に1本の伝熱管が破断すると、高圧の水・蒸気がナトリウム中に急激に噴出するため瞬間的に大きな圧力（初期スパイク圧）が発生するが、そのような状態を想定しても、材料が破損する圧力よりも十分低く時間も短いため、蒸気発生器本体を損傷させるようなことは考えられない。また、その圧力上昇が2次系配管を通じて中間熱交換器まで伝播するが、その大きさは、約半分に減衰するため、中間熱交換器が損傷することも考えられない。

さらに、初期スパイク圧発生後のナトリウム・水反応による緩やかな圧力上昇（準定常圧）によっても、蒸気発生器や中間熱交換器が損傷しないことは明白である。

（委員会の意見）

伝熱管漏えいの検知とその後のプラント対応については、信頼性確保の観点から、運転手順書の明確化や改造設備の機能等について十分確認することが重要である。

「もんじゅ」の蒸気発生器開発にあたっては、サイクル機構大洗工学センターにおいて、50MWの蒸気発生器モデル等で様々な実験を実施してきたが、これらの研究成果や結果、さらには海外炉での蒸気発生器伝熱管破損の原因等の情報を詳細に検討して、今後とも安全の確認を行うことが重要である。

伝熱管漏えい後の対応措置（補修方法等）について、できるだけ長期間のプラント停止を避けるため、あらかじめ十分に検討しておくことが必要である。この対応措置に従い補修が迅速に行われることにより、住民の理解が得られることができるものとする。

「もんじゅ」においても、蒸気発生器内でのナトリウム・水反応に関する研究成果については、学会等のレビューを受けるなど、情報の公開と客観性の確保に努めていく必要がある。

2 - 6 蒸気発生器の検査装置

(1) 主な県民意見

1) 検査の意義

- ・ 伝熱管にできる傷の検査方法が未だ確立していない
- ・ 小さな割れが生じれば直ちに検知し停止できるとの説明で納得されるのか
- ・ ひび割れ段階でいち早く検知してこそ事前に事故を防止できる

2) 開発経緯と検査能力

- ・ 検査装置を開発してきた会社は開発からおりたのか
- ・ 現在は新しい装置で検査しているのか
- ・ 現在の検査装置ではピンホール、ひび割れは検知できない
- ・ 接続部では欠陥信号の識別ができない
- ・ 軽水炉でも検査精度がいい加減である

(2) 委員会での審議結果

1) 検査の意義

非破壊検査は原子力ばかりでなく、一般の工業分野においても多く利用されており、対象機器の状態を把握するのに非常に有効な手段ではあるが、X線検査や超音波探傷検査など、その検査装置によって特徴や制約がある。

「もんじゅ」の蒸気発生器についても、伝熱管の製作・加工の際には、X線検査や表面探傷検査などを行っており、現在は、使用期間中に伝熱管の検査を行う渦電流探傷検査装置の性能確証試験等を行っている。

渦電流探傷検査とは、金属材料の電磁氣的性質を利用し、伝熱管内に小型の検出器を挿入していき、欠陥の存在による微小な電磁氣的性質の変化を検出して管の状態を把握する装置である。

機器の健全性確保は、非破壊検査の結果だけで担保されるものではなく、製造時の厳重な品質管理、さらには使用中の継続的な監視や機能確認、適切な保守管理等によって維持され非破壊検査の併用により更なる信頼性の向上を図ることができる。

(委員会の意見)

「もんじゅ」の蒸気発生器では、仮に運転中に伝熱管からの水漏えいが発生した場合、漏えいを検知するシステムにより、漏えいを早期に検出して各種安全装置が作動するため、蒸気発生器を含め、2次主冷却系の機器・配管の安全性に影響を及ぼすことはないことは前項でも確認している。

しかしながら、欠陥検出の精度向上に向け、今後とも研究開発に努めていくことが更なる信頼性向上の上で重要である。

蒸気発生器の伝熱管は、製作段階において耐圧漏えい検査を実施し、運転中においては、伝熱管からの微小な水漏えいを検知できる水素計を設置し監視することとしているが、伝熱管の耐圧漏えい検査や渦電流探傷検査の位置付けを明確にしつつ、運転開始後の健全性確保に万全を期することが重要である。

2) 開発経緯と検査能力

「もんじゅ」の蒸気発生器伝熱管は、らせん状で長い等の特徴がある。検査装置を開発するためには、従来の渦電流探傷技術のみならず、蒸気発生器全体の設計・製作に関する経験等を必要とすることから、サイクル機構は、開発協力を継続している。

「もんじゅ」の総合機能試験に使用した第1世代検査装置については、現在も改良を継続している。また、検査装置の特性、性能など改良試験及び取扱訓練を行える蒸気発生器伝熱管検査装置用校正試験設備（実物大模擬試験装置）を、もんじゅ建設所内に設置し、第2世代の検査装置の開発が進められている。

（委員会の意見）

「もんじゅ」では、蒸気発生器伝熱管の減肉型の損傷については、渦電流探傷検査により伝熱管肉厚の20%の減肉であれば検出できる。しかし、ピンホール型や細かいクラック型の損傷については、現状の技術では正確に検出することはできない。

運転開始前は、伝熱管にピンホールやクラック型の貫通した損傷がないことを、漏えい検査で確認できる。

運転中にピンホールやクラック型の貫通した損傷が生じた場合には、非常に小さなリークとなるが、この配管系（2次主冷却系）には、このリークを検出するため、水素計や圧力計が装備されており、これにより早く検出して適切な措置を行うシステムになっている。

「もんじゅ」の蒸気発生器は蒸発器と過熱器の2つがあり、それぞれで伝熱管の材料が異なることから、材料の電磁気的特性に応じた検出器の開発、さらには伝熱管の形状がヘリカルコイル（らせん）状であることから、その構造的な特徴を考慮した検査装置の開発が必要である。

伝熱管での損傷箇所として最も可能性の大きい部位としては、溶接部や伝熱管を支持する部分などが考えられ、これらの箇所は材料性質の変化や構造的な不連続部が生じていることから、検査精度への影響も考えられる。このような特徴を十分考慮し、蒸気発生器製作時の品質管理や構造的な特徴等を十分配慮した検査装置の性能向上に努めるとともに、大型模擬試験装置を有効に活用して、渦流探傷装置での信号検出性能等を十分検証することが重要である。

2 - 7 放射線管理

(1) 主な県民意見

1) 放射線管理

- ・ 1次系ナトリウムは放射化しており被ばくや検査体制が万全か疑問である

2) 安全審査での被ばく評価

- ・ 国が定める放射線被ばくに関する審査基準を認めることはできない

(2) 委員会での審議結果

1) 放射線管理

「もんじゅ」の1次冷却系における主要な放射線源としては、1次冷却材であるナトリウムが原子炉内で中性子照射により放射化したナトリウムと、ナトリウム中の不純物が同じく放射化して1次系を流動し、配管機器に沈着する「放射性腐食生成物」がある。

定期点検など1次冷却系の機器室への立ち入りに際しては、放射化ナトリウムが最も強い線源となるが、サイクル機構は、被ばく低減を目的に1次系のナトリウムは全て専用の貯蔵タンクに排出し、作業現場雰囲気の線量率を下げてから実施（原子炉停止後約2週間後）するため、被ばくへの寄与はほとんど無いとしている。

(委員会の意見)

従事者の被ばく低減や放射性廃棄物の放出低減については、これまでに蓄積された軽水炉での経験や技術開発の成果、さらには「常陽」での放射線管理の実績を評価し、被ばく低減に努めることが必要である。

特に一次系ナトリウム中の放射性腐食生成物や放射化ナトリウムによる被ばく低減については、「常陽」だけでなく、海外先行炉の情報等を積極的に入手し、機器の特性や使用条件、環境等も十分考慮して、各種データの採取や評価を着実に積み重ね、将来的な対応に努めていくことが必要である。

ナトリウムと接している機器、配管などの点検にあたっては、まず、ナトリウムを抜き取ったことを確認した後に点検を行うことにしているが、「常陽」での実績等を踏まえ、作業管理や品質管理の徹底に努めることが必要である。

原子力施設における放射性廃棄物の放出や放射線モニターの情報については積極的に公開するとともに、放射線や放射能について正しく理解されるよう努力することが必要である。

2) 安全審査での被ばく評価

法令に定める周辺監視区域外の実効線量限度（1mSv / 年）は、専門家の立場から放射線防護に関する勧告を行う国際組織である国際放射線防護委員会（ICRP）の勧告に基づき、定められている。

国際放射線防護委員会が出す勧告は、世界各国の放射線障害防止に関する法令の基礎にされている。

2 - 8 耐震安全性

(1) 主な県民意見

1) 「もんじゅ」の耐震設計

- ・耐震設計と熱応力設計という相反する条件の妥協の上に設計されており軽水炉より地震に弱い
(配管の厚みが薄い、曲がりくねっている、原子炉は吊り下げ型である)
- ・建築基準法は改正されており、「もんじゅ」はその基準を満足していない

2) 地震活動

- ・立地場所近くには活断層があり地震の空白域で地震の危険性がある
- ・古文書では美浜町で3m以上も隆起した地震があり大丈夫か

3) 耐震設計審査指針

- ・国は耐震安全規制の指針を見直している
- ・最新の科学知見に基づき見直すべき
- ・指針に基づく地震動は過小との批判がでている
- ・地下10km以下の活断層は分からない
- ・直下型地震の場合岩盤に立っている原発の方が危ない

4) 耐震データ公開

- ・耐震関係のデータが公表されていない

(2) 委員会での審議結果

1) 「もんじゅ」の耐震設計

「もんじゅ」は、ナトリウムを冷却材としていることから、冷却材の圧力はほぼ大気圧であるが、温度が高いため、これらの特徴も十分考慮して、機器の耐震設計を行っている。

主冷却系配管は、冷却材流量が大きいくことに対応し大口径であるが、冷却材の圧力が低いため、厚みを薄くできる。主冷却系配管は、この薄肉構造(1次主冷却系配管で直径約810mm、厚さ約11mm)であっても十分な強度を有している。また、冷却材の温度が高いくことから、熱膨張による配管の伸びを逃がすために配管系に曲がり部を多く設置している。

曲がりが多い分、配管系全体として柔らかくなるので、通常時に配管系の自重を支える支持部に加えて、原子炉起動時など、配管の温度上昇で発生する熱膨張による緩やかな変位は拘束せず、地震のように、振動による急激な力が加わった場合に対しては、配管を拘束する支持器具の特性により、配管に過大な応力が発生しないようにしている。

原子炉容器については、上部のフランジ部は原子炉建物に基礎ボルトで固定しており、地震時には、水平上下方向に発生する力も支持する。また、原子炉容器下部には、地震時の水平方向の揺れを拘束する構造物を設置している。

「もんじゅ」は、軽水炉施設と同様に、原子力安全委員会が定めた「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に基づき、施設の耐震設計が行われている。

なお、「もんじゅ」は、昭和 60 年 10 月に建築基準法の規定に基づき、その構造の個々の規定に対する適合性が同法施行令の規定によるものと同等以上の建築物として当時の建設大臣から認定を受けている。

2) 地震活動

地震は身近な自然現象であり、その発生メカニズム、揺れ、頻度や活断層との関係、あるいは歴史上の地震の理解など、非常に多角的な視点から研究されている。また、平成 7 年の兵庫県南部地震以降、地震による災害防止や地震予知の観点から、地震や地震動、活断層についての調査研究が幅広く進められている。

耐震設計で重要なことは、「現実に地震が起こっていない」、「地震観測記録がない」といった地震空白地域の有無に関わらず、万一地震が発生した時の地震規模を原子炉周辺の活断層等から推測することである。

したがって、原子炉施設の建設用地を決める際には、建設予定地点の周辺について文献調査、地形・リニアメント調査、地質調査などを行ない、活断層の有無や活動性を調べる。また、敷地では原子炉設置位置を中心にボーリング調査、試掘抗調査、弾性波探査、トレンチ調査など各種の調査により、活断層が無いことを確認するとともに、敷地内の地盤の状態を詳細に把握することになっている。

「もんじゅ」の設置位置では、約 150 本程度のボーリング調査や、基礎岩盤にトンネルを掘り岩盤を直接観察する等の調査を実施し、活断層が存在しないことを確認している。

これに対し、鳥取県西部地震は、活断層が認知されていなかった地域で地震が発生したと言われているが、反対に原子力施設の建設用地を決める際に実施する詳細調査を実施していれば、活断層の存在は認知できたとする研究報告もある。

1662 年に発生した「寛文の地震」については、非常に大きな地震で、地表の活断層がいくつも関与したが、その 1 つが三方断層であった。この地震で、三方断層の片側は隆起、もう一方は沈降し、活断層面でズレが起こったものがそのまま地表に表れた。

この活断層のズレによる遠方への波及は小さいため、原子炉施設の真下に活断層がなければ問題となるものではない。

3) 耐震設計審査指針

原子力発電所を設置する場合には、国の耐震設計に関する指針類に基づき、立地場所周辺において、地表踏査や空中写真判読、音波探査、ボーリング等、

詳細な調査を実施するほか、過去の歴史地震についても調査した上で、これらの結果を十分検討し、工学的な判断のもとに、設計上の最大の地震動を設定し、この地震動に基づき機器の重要度に応じた耐震設計を行っている。

耐震設計に関する指針類については、平成7年の兵庫県南部地震での知見を踏まえても指針の妥当性が損なわれないことが確認されている。また、耐震設計については、十分な裕度を保有していることが、香川県多度津町にある大型高性能振動台を用いた実証試験などで確かめられている。

原子力安全委員会では、原子力施設の耐震安全性に対する国民の信頼を向上させるため、平成8年から耐震設計に関する新しい知見や技術の情報収集を行っており、その成果を踏まえ、平成13年から耐震設計に関する指針類の検討を進めている。

(委員会の意見)

原子力安全委員会では、現在、耐震設計に関する指針類の検討を進めていることから、これらの検討結果が出された段階で、それらも十分踏まえ、耐震安全性の確保に努めることが必要である。

4) 耐震データ公開

国が実施する安全審査を経て認可された「もんじゅ」の基本設計を反映し、設計と工事の方法について、具体的に記載されている「設計及び工事の方法の認可申請書」は、メーカーのノウハウに関わる部分を除き、全て公開されている。

非公開部分は、一部の機器の固有振動数など全体の1%未満となっている。なお、非公開部分は、サイクル機構および国にて検討し、総合的に確認している。

(委員会の意見)

情報の透明性の観点からは、特に問題ないものとする。

2 - 9 その他

(1) 主な県民意見

1) 原子力総論

- ・チェルノブイリ事故以降、イタリアは全廃完了、オーストリア、デンマークなどは開発を中止しており、日本は世界と逆方向に進んでいる

2) 高速増殖炉総論

- ・高速増殖炉に固執している国は日本だけである

3) 委員会に対する意見

- ・委員会は、国の安全審査との関係では、どのような位置づけなのか

4) 福井県に対する意見

- ・行政の手で確認や測定したデータは行政の責任で公表すべき。

5) サイクル機構に対する意見

- ・意識改革並びに、情報公開により透明性を図る事が最重要課題である

県民意見のうち、「その他」の意見としては、上記5項目に分類されるが、このうち、「原子力総論」、「高速増殖炉総論」については、委員会として、特に高速増殖炉について、各国がどのような状況にあり、また、国際的なプロジェクトとして、どのようなものがあるのか等を紹介した。

また、「委員会に対する意見」については、委員会としての見解を示すとともに、「県に対する意見」、「サイクル機構に対する意見」についても、それぞれの立場から回答を受け、委員会としては、その内容について妥当であるとの見解を示した。

1) 原子力総論

2) 高速増殖炉総論

世界的に見れば、高速炉の開発は、日本のほか、アメリカ、フランス、ロシア、インド、中国等で行われている。

暫くこの分野にて研究投資の低調であったアメリカでも、第4世代原子力システムという開発プロジェクトを掲げ、エネルギーの技術の国際協力の推進とこれを通しての技術開発の効率化、アカウンタビリティ（説明責任）の向上を目指している。この研究開発には、日本やアメリカ、フランス、イギリスなどの9カ国が参加している。

研究開発には幾つかの開発目標があるが、その3分の1が、高速炉に関する研究開発である。

世界的に見ても高速炉の開発は着実に進められている。

3) 委員会に対する意見

委員会は、「もんじゅ」全体の安全性について、県民の視点に立ち技術的、

専門的な立場から調査検討を行うことを目的としており、「もんじゅ」の安全性に対する疑問や不安についての意見募集を行うとともに、「県民の意見を聴く会」を開催した。また、得られた県民意見を 13 項目に分類し、技術的な課題を中心に審議を進めてきた。

委員会に対する意見の中には、委員会の方針、役割に関するものもあるが、第 1 回委員会での各委員からの抱負や「県民の意見を聴く会」等でも回答している。

4) 福井県に対する意見（県からの回答）

福井県の原子力行政は、第一に「原子力発電所の安全が確保されること」、第二に「住民の理解と同意が得られること」、第三に「地域に恒久的福祉がもたらされること」の三原則を基本に、これまで様々な課題に対して慎重に取り組んでいる。

原子力発電所に関しては、現行法令上、国が一元的責任を有しているが、県としては、地域住民の健康と安全を守る立場から、立地市町とともに原子力施設設置者と安全協定を締結し、通報連絡体制の確立、環境放射能（線）の監視および温排水の影響調査などを行い、絶えず周辺環境の安全確保に努めながら運転・建設状況を確認している。

原子力施設設置者からの安全協定に基づく連絡については、県（原子力安全対策課）としてその内容を把握し、報道発表を行うなど、積極的な情報公開に努めている。

県の環境放射能（線）モニタリングは、昭和 39 年から開始しており、現在、「原子力環境監視センター」では、原子力発電所周辺に設置した観測局で、リアルタイムで空間線量率や空気中の放射能濃度、気象状況を常時監視している。また、「原子力環境監視センター 福井分析室」では、積算線量の測定や様々な環境試料中の放射能濃度を分析測定している。これらの部署には、放射線取扱主任者の免許等を有する職員がおり、専門的に環境放射能（線）の測定、分析、監視にあたっている。

県が行っている安全確認の内容については、「原子力発電所の運転・建設状況」や、「原子力発電所周辺の環境放射能調査報告」、「温排水の調査結果」として四半期毎に報告書が取りまとめられ、県、県議会議員、立地・周辺市町村、各種団体で組織されている「福井県原子力環境安全管理協議会」に報告され、公表されている。

原子力の広報については、（財）福井原子力センターが行っており、県内原子力行政の話題や発電所の運転状況、地域情報等を掲載した広報誌「あっとほうむ」を年 4 回発行し、嶺南地域全家庭や県下の学校、公民館等へ配布している。また、本県の原子力の現状等を取りまとめた「福井県の原子力」や、「やさしい原子力」等の冊子の発行、原子力施設の見学をサポートする「アトムバス」や児童向けの科学体験を柱とした「サイエンスワールド」等の開催、CATV による情報番組の放映などの事業を行っている。

5) サイクル機構に対する意見(サイクル機構からの回答)

「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故の原因究明の過程や結果から得られた教訓、反省事項を踏まえ、「もんじゅ」の安全性、信頼性のより一層の向上を図るため、サイクル機構では、事故時の対応体制の改善、品質保証活動の強化など、プラント管理運用面に係る改善を実施している。

特に、ナトリウム漏えい事故のビデオ隠し問題をはじめとする不適切な対応や、関係自治体等への通報連絡が遅れ、その後の連絡に適切さを欠いたことは、危機管理に対する意識に問題があったと認識し、「安全第一の行動」、「誤りは勇気を持って正す」などのサイクル機構行動憲章を定め、意識改革を推進している。また、社会との意識の乖離があったという認識のもと、社会的視点を十分に踏まえた事業運営が徹底できるよう、地元との新しいコミュニケーションの確立に向け、理解促進活動などに取り組んでいる。

さらに、「もんじゅ」に対する県民の理解と信頼を得るためには、技術情報から経営情報に至るまで、積極的に情報を公開していくことが重要と考え、そのための情報公開体制の充実、情報公開の場の充実、情報公開用機器の高度化、わかりやすい情報の速やかな提供などを実施している。

平成13年のサイクル機構の予算管理や定員管理問題については、文部科学省から21項目の改善項目を含む業務改善の指示を受けるとともに、理事長を委員長とする業務改革推進委員会を設置し、これらの指示に従い、業務改善に取り組んでいる。