

## 「県民の意見」に対するサイクル機構の見解について

3. 「もんじゅ」事故
4. ナトリウム漏えい対策
5. 温度計の破損と交換
8. 蒸気発生器の検査装置

平成 13 年 10 月 27 日

核燃料サイクル開発機構

### 3章 もんじゅ事故

いただいた意見：

もんじゅ事故調査は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。事故は単なる技術的判断ミスによるだけでなく、基礎研究の成果が最新機器の設計に反映されなかった点に基本的な問題があった。

論点	< 1 > もんじゅ事故調査は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。
「もんじゅ」での対応	<p>1 原因究明体制</p> <p>(1) 核燃料サイクル開発機構は全社を挙げて徹底的な原因究明を行った。その結果については、安全協定に基き関係自治体に報告した。</p> <p>(2) 科学技術庁は「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、原因究明を行った。（科学技術庁による事故調査報告書）</p> <p>(3) 原子力安全委員会は、「高速増殖原型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、原因究明を行った。（原子力安全委員会による事故調査報告書）</p>

論点	< 2 > 事故は単なる技術的判断ミスによるものだけでない。
「もんじゅ」での対応	<p>1 ナトリウム漏えい事故時における問題点（技術的判断ミス）</p> <p>(1) ナトリウム漏えいの原因となった2次主冷却系温度計に対し、流力振動に対する評価が不十分であった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 温度計が設計された後、米国機械学会(ASME)の新しい基準が温度計の振動評価に適用されなかった。</li> </ul> <p>(2) ナトリウム漏えい事故時の運転手順書の記載に不適切な部分があった。また、運転員の教育訓練が不十分であった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ナトリウム漏えいの規模を過小に評価し、事故時の運転操作を行った。</li> <li>・ 種々の現場状況を想定した運転員の訓練が不足していたため、漏えいの規模が拡大していることを示す現場の状況を、早期に認識できなかった。</li> </ul>

論 点	< 3 > 事故は基礎研究の成果が最新機器の設計に反映されなかった点に基本的な問題があった。
「もんじゅ」での対応	<p>1 「もんじゅ」のための基礎研究</p> <p>(1) 「もんじゅ」のために、以下のような試験・研究開発が実施され、安全審査や設計にその成果が反映されている。</p> <p>(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・英国高速臨界実験装置による「もんじゅ」フルサイズ模擬臨界実験 (昭和46年～昭和48年)</li> <li>・原研の高速臨界実験装置による「もんじゅ」を対象としたFBR模擬臨界実験 (昭和46年～昭和55年)</li> <li>・サイクル機構大洗工学センター蒸気発生器試験施設における蒸気発生器の伝熱流動試験、性能・信頼性評価試験 (昭和46年～昭和61年)</li> <li>・サイクル機構大洗工学センターにおけるナトリウム漏えい、燃焼に係る研究開発 (昭和45年～平成2年、平成8年～)</li> </ul>
	<p>2 「もんじゅ」への最新知見の反映</p> <p>(1) 「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故の反省から「もんじゅ」安全総点検を実施し、その中の「研究開発成果、技術情報の反映の点検」において、「もんじゅ」へ最新知見が反映されているか点検した。</p> <p>「もんじゅ」安全総点検の実施内容</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ナトリウム漏えい関連設備を中心とした点検 <ul style="list-style-type: none"> <li>流力振動に対する健全性点検</li> <li>ナトリウム内包壁の健全性点検</li> <li>漏えいの早期検出、拡大防止及び影響緩和に関する点検</li> </ul> </li> <li>2) 「もんじゅ」設備の設計から運用に至るまでの点検</li> <li>3) 運転手順書等の点検</li> <li>4) 研究開発成果、技術情報の反映の点検</li> <li>5) 品質保証体系・活動の点検</li> </ol> <p>(2) 「もんじゅ」安全総点検後、「もんじゅ」へ最新知見を反映する仕組みを構築した。</p> <p style="text-align: right;">【資料 2 - 2 参照】</p>

いただいた意見：

「もんじゅ」は建設費削減のため当初設計を大幅に変更した。  
建設前の段階でどのように設計が変更され、そのために今回の火災が早期に収束されなかったのではないか。

論点	< 4 > 「もんじゅ」は建設費削減のため当初設計を大幅に変更した。「もんじゅ」は建設前の段階で設計が変更された。そのために火災が早期に収束されなかったのではないか。					
「もんじゅ」での対応	<p>1 「もんじゅ」基本設計の変更</p> <p>(1) 「もんじゅ」は以下のような設計変更を行った。</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1) 昭和60年2月 設置変更許可申請<ul style="list-style-type: none"><li>・ 2次主冷却系配管引き回しの短縮化により、2主冷却系循環ポンプの揚程を低減化。</li><li>・ 1次アルゴンガス系放射性希ガス除去回収設備の削除と、それに代えて常温活性炭吸着塔の減衰容量の増強</li><li>・ 1次ナトリウム補助系ナトリウム弁位置の見直し等を行い、また、コンクリート強度に関する研究成果を反映し、コンクリート冷却系設備を削除。</li><li>・ 固体廃棄物処理設備をアスファルト固化方式からプラスチック固化方式に変更。</li></ul></li><li>2) 昭和61年9月 設置変更許可申請<ul style="list-style-type: none"><li>・ ドライクリーニングの導入による洗濯廃液蒸発濃縮装置の削除</li><li>・ 直流非常灯の給電形式の変更に伴う非常用電源設備蓄電池の主要負荷の一部変更</li></ul></li><li>3) 平成2年7月 設置変更許可申請<ul style="list-style-type: none"><li>・ 出力分布測定(性能試験)に使用する試験用集合体の設置</li></ul></li></ol> <p>(2)これらの設計変更は、今回の2次主冷却系ナトリウム漏えい事故の原因や対応措置とは関係していない。</p>					
	<p>2 建設費の推移とその理由</p> <p>(1)「もんじゅ」の建設費の推移</p> <table border="0"><tr><td>3220億円 (昭和55年12月)</td><td>設置許可申請書記載)</td></tr><tr><td>4330億円 (昭和60年 2月)</td><td>設置変更許可申請書記載)</td></tr><tr><td>約5900億円 (平成 9年12月)</td><td>原子力委員会高速増殖炉懇談会報告書記載)</td></tr></table> <p>(2)内訳</p> <p>3220億円</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 土地、建物、原子炉設備等の建設費(敷地造成費、燃料費を除く)</li><li>・ 建設工期：昭和57年着工、昭和62年臨界</li></ul> <p>4330億円</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 土地、建物、原子炉設備等の建設費(敷地造成費、燃料費を除く)</li><li>・ 建設工期の変更等(建設工期：昭和61年着工、昭和67年臨界)</li></ul> <p>約5900億円</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 敷地造成などの建設準備費、燃料費も含めた「もんじゅ」建設費の総額</li></ul>	3220億円 (昭和55年12月)	設置許可申請書記載)	4330億円 (昭和60年 2月)	設置変更許可申請書記載)	約5900億円 (平成 9年12月)
3220億円 (昭和55年12月)	設置許可申請書記載)					
4330億円 (昭和60年 2月)	設置変更許可申請書記載)					
約5900億円 (平成 9年12月)	原子力委員会高速増殖炉懇談会報告書記載)					

いただいた意見：

ナトリウム漏れの原因は温度計さや管の設計に際して破損メカニズムが全く考慮されていない。

折れた温度計のさや管は、素人が見ても問題とわかる形状で、動かし始めて3ヵ月、出力40%で折れた。

実験炉「常陽」での技術蓄積はどこへいったのか。

温度計さや管の設計や審査体制の責任について明かにされていない。

論 点	< 5 > ナトリウム漏れの原因は温度計さや管の設計に際して破損メカニズムが全く考慮されていなかったためである。
「 もんじゅ 」 での 対 応	1 温度計さや管の設計に際して検討した構造強度  (1) 強度評価：ナトリウムの圧力や流体抗力により、さや管の座屈強度や1次応力を評価し、材料の許容値を満足することを確認  (2) 構造評価：応力の最も厳しい管台と配管の接合部について、過渡時に発生する熱応力に対する疲労強度の評価を行い、許容値を満足することを確認  (3) 共振評価：温度計の固有振動数を「はりモデル有限要素法」で算定し、ナトリウムの流れにより発生するカルマン渦と共振しないことを確認
論 点	< 6 > 折れた温度計のさや管は、素人が見ても問題とわかる形状である。
「 もんじゅ 」 での 対 応	1 温度計さや管の形状の選定  (1) プラント過渡時におけるナトリウムの温度変化に対する計測応答性向上を重視し、以下のような形状とした。  ・ 計測応答性を高めるため、さや管を細径化及び薄肉化した。 ・ 配管中心のナトリウム温度を測定するため、温度計を配管中心に向かって深く挿入する形状とした。 ・ 過渡時のナトリウムの温度変化により発生する熱応力を低減するため、さや管の厚みを一定とした。 ・ さや管の厚みを一定としたため、細径部と太径部との移行部分は段付き構造となった。（ただし、細径部付け根部に丸みがつけられていなかった。）

論 点	< 7 > 動かして始めて3ヵ月、出力40%で折れた。
「おこし」への対応	<p>1 破損した温度計が設置されていた2次主冷却系Cループの運転履歴、運転時間</p> <p>(1) 運転履歴</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平成4年4月にナトリウム充填</li> <li>・平成4年～平成5年：温度 200 ～ 325 流量 約7%、100%</li> <li>・平成5年：温度 200 、 325 、 約400 流量 約7%、100%</li> <li>・平成5年～平成6年：温度 200 、 325 、 約400 流量 約7%、100%</li> <li>・平成6年：温度 200 流量 約7%</li> <li>・平成6年～平成7年：温度 200 ～ 325 流量 約7%～約40%</li> <li>・平成7年：温度 200 ～ 485 流量 約7%～約40%</li> </ul> <p style="text-align: right;">注) 流量は定格流量に対する割合</p> <p>(2) 累計運転時間</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・100%の流量条件で 約 720時間</li> <li>・40%の流量条件で 約 4,900時間</li> <li>・7%の流量条件で 約23,000時間</li> <li>・流量増減時間 約 180時間</li> </ul> <p style="text-align: center;">合計 約29,000時間(約40ヶ月)</p>

論 点	< 8 > 実験炉「常陽」での技術蓄積はどこへいったのか。
「 もんじゅ 」 で の 対 応	<p>1 「常陽」の温度計の特徴</p> <p>(1)配管内へさや管をさし込む構造。  (2)配管中心まで温度計先端部が到達するようにさや管長さを設定。  (3)さや管はテーパ形状で、段つき部なし。さや管の厚さは一定ではない。</p>
	<p>2 「常陽」の運転実績</p> <p>(1)昭和52年4月臨界  (2)原子炉積算運転時間 6万時間達成（平成12年5月）  (3)原子炉積算熱出力 50億kwh達成（平成12年5月）</p>
	<p>3 実験炉「常陽」の技術の「もんじゅ」への反映</p> <p>(1)プラント一般、炉心・燃料、機器・システム、計測制御、運転保守経験の分野で、「常陽」で確認した技術が「もんじゅ」に反映されている。</p> <p>(2)温度計について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「もんじゅ」は「常陽」と同様に直径3.2mmの熱電対を採用。</li> <li>・配管内に、さや管を差込む構造であることも同様。</li> <li>・さや管厚さ：「常陽」 一定でない  「もんじゅ」 一定（プラント過渡時のナトリウム温度変化による熱応力低減のため）</li> <li>・さや管形状：「常陽」 テーパ状  「もんじゅ」 段付き構造（さや管厚さを一定とするため）</li> </ul>

論 点	<p>&lt; 9 &gt; 温度計さや管の設計や審査体制の責任について明らかにされていない。</p>
「せんじゅ」での対応	<p>1 温度計さや管の位置付け</p> <p>(1)温度計さや管は計測機器と位置付けられており機器種別の区分外であった。</p> <p>(2)構造が単純であり汎用品の延長で設計できると考えていた。</p>
	<p>2 温度計さや管の設計責任</p> <p>(1) 温度計の基本的仕様は動燃(当時)が定め、温度計さや管の具体的形状はメーカーが設計し、動燃が承認した。</p> <p>(2) 温度計さや管の設計責任はメーカーにあった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・動燃(当時)は、第3種機器(構造等の技術基準)については、健全性を確認するための計算書をメーカーから提出させ、設計審査を行っていた。</li> <li>・温度計さや管は機器区分外であったため、動燃はさや管の設計をメーカーに任せていた。</li> <li>・動燃は温度計さやについては、2次主冷却系配管図の承認の過程で、図面による審査を行った。</li> </ul> <p>(2) 温度計のさや管がナトリウムバウンダリを構成していることを考えれば、この設計審査は他の配管部と同様に行うべきであった。</p>

いただいた意見：

「もんじゅ」事故の再現実験では、床の鉄板が溶けて穴が空いたが、ナトリウム漏えいに関する周到な実験が行われておらず、組織の開発実態が示されている。

ナトリウム漏えい事故再現実験の結果は、事故時と違った結果が出ており、同じ条件でも同じ結果が出ない等、もんじゅは技術的に難しいという証拠である。

安全審査ではライナーに穴はあかず水素爆発は避けられるとしていたが、事故や再現実験の結果から言えばナトリウム火災の可能性を過小評価していた。

ナトリウムによる鉄板の腐食、穴あきについて、「当時としては知見がなかった」とのことだが、動燃は「ナトリウム技術については永年の研究の蓄積がある」と豪語しており、あまりにもお粗末。

<p>論点</p>	<p>&lt; 10 &gt; 「もんじゅ」事故の再現実験では、床の鉄板が溶けて穴が空いた。 ナトリウム漏えい事故再現実験の結果は、事故時と違った結果が出ており、同じ条件でも同じ結果が出ない等、「もんじゅ」は技術的に難しいという証拠である。</p>
<p>「もんじゅ」での対応</p>	<p>1 「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故後に実施したナトリウム漏えい燃焼実験の目的、内容、結果</p> <p>(1)大洗工学センターで、「もんじゅ」のナトリウム機器を実寸大で模擬した実験を実施。</p> <p>(2)目的</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ナトリウム漏えい速度・漏えい形態の確認</li> <li>・ナトリウム漏えい燃焼の確認</li> <li>・ナトリウム漏えい箇所周辺機器の破損挙動の確認</li> </ul> <p>(3)実験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ナトリウム漏えい速度・漏えい形態の確認実験 温度計と配管外装板の一部模擬</li> <li>・燃焼実験 鋼鉄製セル内での漏えい燃焼実験</li> <li>・燃焼実験 コンクリートセル内での漏えい燃焼実験</li> </ul> <p>(4)結果</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ナトリウム漏えい速度・漏えい形態の確認実験 ..... 温度計の熱電対信号推移は「もんじゅ」での傾向と類似</li> <li>・燃焼実験 ..... 「もんじゅ」とほぼ同様の状況</li> <li>・燃焼実験 ..... 床ライナーが破損、「もんじゅ」と異なる現象</li> </ul>
	<p>2 「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故とナトリウム漏えい燃焼実験の比較</p> <p>(1)「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故及び燃焼実験 では、鉄と酸化ナトリウムが高温で反応するNaFe複合酸化型腐食が生じていた。</p> <p>(2)燃焼実験 では、熔融塩型腐食が生じていた。</p> <p>(3)熔融塩型腐食の発生</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃焼実験 では実験を行った部屋の容積が小さかった。</li> <li>・そのため部屋の温度が上昇し、部屋のコンクリート部から多量の水分が発生。</li> <li>・水分の存在により水酸化ナトリウムが生成。</li> <li>・水酸化ナトリウムに溶け込んだ過酸化ナトリウムからの過酸化物質イオンにより熔融塩型腐食が発生。</li> </ul>

論 点	< 1 1 > 動燃はナトリウムによる鉄板の腐食、穴あきについて、「当時としては知見がなかった」としている。
「 もんじゅ 」での 対応	<p>1 ナトリウムによる腐食に係る「もんじゅ」の安全審査時の知見の状況</p> <p>(1) 「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故後に実施したナトリウム漏えい燃焼実験で、ライナの穴あきの原因となった激しい腐食に関する知見は、「もんじゅ」の安全審査が行われていた時の高速炉開発の関係者及び高速炉の安全審査関係者には知られていなかった。</p>

論 点	< 1 2 > 動燃は、安全審査ではライナーに穴はあかず水素爆発は避けられるとしていた。
「 もんじゅ 」での 対応	<p>1 安全審査でのライナ健全性の確認</p> <p>(1) ライナは、ナトリウム漏えい時に漏えいナトリウムと建物コンクリートの直接接触を防止する機能が要求されている。</p> <p>(2) ライナは、ナトリウム漏えい時の熱膨張による破損を防ぐため、熱膨張を拘束しない取り付け構造となっている一方、大きな熱膨張があると建物壁面と干渉し破損する可能性がある。 ライナ全体としての熱膨張が最大になるのは、全面一様加熱、すなわち、大規模な漏えい時にナトリウムが床全面に広がった状態でのプール燃焼の場合である。</p> <p>(3) 安全審査時は、大規模な漏えい時のライナ温度を評価し、熱膨張による建物との干渉が生じないことを確認していた。</p> <hr/> <p>2 「もんじゅ」事故のライナの健全性</p> <p>(1) 事故後、現場確認にてライナに熱膨張に伴う変形が認められた。</p> <p>(2) ライナのごく一部で板厚減少(約1.5mm)が認められたが、構造健全性は確保されていた。</p>

論 点	< 1 3 > 「もんじゅ」事故や再現実験の結果から言えば、サイクル機構はナトリウム火災の可能性を過小評価していた。
「もんじゅ」での対応	<p>1 ナトリウム火災への対策</p> <p>(1)ナトリウム火災の可能性に対し、次のような設計上の考慮を行っていた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ナトリウムとコンクリートが直接接触することを防止するため、鋼製のライナを設置する。</li> <li>・漏えいしたナトリウムを、連通管により建物最下部の貯留室に導く。漏えいしたナトリウムは貯留室に貯留し、燃焼を抑制する。</li> <li>・ナトリウム用の消火器を備える。</li> <li>・ナトリウムと反応しやすい物質を可能な限り隔離する。</li> </ul>

論 点	< 1 4 > 「もんじゅ」事故や再現実験を踏まえると、ナトリウム漏えいに関する周到な実験が行われておらず、組織の開発実態が示されている。
「もんじゅ」での対応	<p>1 ナトリウム漏えい実験に対する動燃の取り組み</p> <p>(1) 大洗工学センターで、昭和45年からナトリウム漏えいに係わる研究開発を実施し、段階を踏んで周到な研究開発を実施してきた。</p> <p>(2) 研究開発の初期においては、燃焼に伴う燃焼速度、エアロゾル挙動などナトリウム燃焼について現象論的側面から、次のような点に着目した研究を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃焼速度</li> <li>・発熱量</li> <li>・雰囲気圧力、温度</li> <li>・エアロゾルの挙動</li> </ul> <p>(3) 昭和50年代後半からは、開発した技術を背景に、実機規模の試験方法の開発を行い、ナトリウム燃焼の熱的、化学的影響に関する評価手法の検証を進めた。</p>

論 点	< 1 5 > ナトリウム技術については永年の研究の蓄積がある。
「 も ん じ ゅ 」 で の 対 応	<p>1 サイクル機構におけるナトリウム技術開発</p> <p>(1)大洗工学センターにて、昭和40年代初期から30年以上に亘って、ナトリウム技術に係る研究開発を実施してきた。</p> <p>(2)大洗工学センターでのナトリウム技術開発例</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ナトリウム取扱技術開発</li> <li>・高温ナトリウム中における高速増殖炉機器の動作性能を実証する試験</li> <li>・ナトリウム流動伝熱試験</li> <li>・ナトリウム・水反応試験</li> <li>・ナトリウム漏えいに係わる研究開発 など</li> </ul> <p>(3)昭和40年代後半は主に「常陽」の建設、運転を対象として、昭和50年代は「もんじゅ」の安全審査や設計、運転を対象として、ナトリウム技術開発を実施。</p>

いただいた意見：

火災現場にテレビカメラもなかった。

論点	< 16 > 火災現場に、テレビカメラもなかった
「もんじゅ」での対応	1 テレビカメラの設置  (1) 漏えいした2次主配管室には現場の状況を連続して監視できるシステム(遠隔監視装置)は無かった。  (2) 改善策として、運転員が事故現場の状況をより正確かつ迅速に把握できるよう、ナトリウム内包機器が設置されている空気雰囲気内にテレビカメラを設置する。

いただいた意見：

ナトリウム火災用に窒素ポンベが備え付けられていたが、使っていない。なぜか。

論 点	< 17 > ナトリウム火災用に窒素ポンベが備え付けられていたが、使っていない。
「 もんじゅ 」での 対応	<p>1 窒素ポンベの設置の目的、位置付け、設置状況</p> <p>(1) 建物最下部の貯留室に窒素を供給するため、窒素ガスポンベ12本×2系統を設置。</p> <p>(2) 大規模にナトリウムが漏れた場合、漏れたナトリウムは連通管を通り、建物最下部の貯留室に導かれ、そこで窒息消火される。</p> <p>(3) 窒素ガスポンベは、この貯留室へ窒素ガスを注入するために設置している。</p> <p>(4) 「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故ではナトリウムの漏えい量が少なく、漏えい箇所下部にとどまり、貯留室までナトリウムがこなかったことから、窒素ガスの注入は実施していない。</p> <p>2 ナトリウム用消火設備</p> <p>(1) ナトリウム火災の消火に対しては、2次系の各室入口近傍に、ナトリウム用消火器としてナトレックス消火器が配置されている。</p> <p>(2) ナトレックス消火器は、ナトリウム火災が発生している部屋に運転員が入室できるような小規模のナトリウム火災に対して使用することとしていた。</p>

いただいた意見：

事故当時、ナトリウムの漏洩量が発表の度毎に変わったが、どうしてか。

論点	< 1 8 > ナトリウムの漏洩量が発表の度毎に変わった。				
「もんじゅ」での対応	<p>1 ナトリウム漏えい量発表の経緯</p> <p>(1) 動燃は、ナトリウム漏えい箇所下部に堆積したナトリウムの量について、プレス発表した。その後は、堆積物の除去回収量について、プレス発表した。</p> <p>(2) 動燃のプレス発表とそれに対応する新聞記事内容を以下に示す。</p> <table border="0"><tr><td data-bbox="261 757 702 952"><p>&lt; 動燃プレス発表 &gt;</p><p>平成7年12月9日 ナトリウム漏えい堆積量 約1 m<sup>3</sup>、多く見積もっても 2～3倍と思われる。</p></td><td data-bbox="734 757 1350 974"><p>&lt; 新聞記事 &gt;</p><p>平成7年12月10日 見出し：ナトリウム漏出量2～3トン 記事：固まったナトリウムだけで、約1トンあり、漏れた量は全部で2～3トン前後になりそう</p></td></tr><tr><td data-bbox="261 1008 702 1108"><p>平成7年12月16日 堆積物の除去・回収作業終了 合計で約235kg</p></td><td data-bbox="734 1008 1350 1187"><p>平成7年12月17日 見だし：たい積物除去完了 漏出量下方修正か 記事：約235kg全量の回収を終えた。 事故当初に拡散分と合わせ2～3トンとされたナトリウム漏出量は少なめに 見直される可能性が出てきた。</p></td></tr></table> <p>(3) 尚、ナトリウムの漏えい量については、様々な方法で評価し、安全協定に基づき関係自治体に報告している。</p> <p>1) 第1報（平成7年12月19日）</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・漏えい箇所の現場確認から、漏えいしたナトリウムが約1 m<sup>3</sup>程度のかたまりとなって堆積しているの見積り。</li><li>・事故後の2次系ナトリウムの保有量をタンクレベル計にて算出し、ナトリウム受け入れ時に計測した値と比較すると約1 tの差が生じていた。</li></ul> <p>2) 第3報（平成8年3月26日）</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・2次冷却系のナトリウム液面の変化を比較する方法により漏えい率を推定し、漏えい継続時間を考慮することにより、漏えい量や約680±60kgと評価。</li><li>・ナトリウム漏えい流路の流量抵抗と漏えい部の圧力から解析的に求めると、漏えい量は700kg程度。</li><li>・水流動試験による評価では730±100kg。</li><li>・これらを総合して、漏えい量を0.7トン前後と推定。</li></ul> <p>3) 第4報（平成8年9月20日）</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・事故ループと健全ループの液面変化を比較・解析し、漏えい率の変化をドレン開始前後に分けて求め、漏えい継続時間で積分することにより、漏えい量を640±42kgと評価。</li></ul>	<p>&lt; 動燃プレス発表 &gt;</p> <p>平成7年12月9日 ナトリウム漏えい堆積量 約1 m<sup>3</sup>、多く見積もっても 2～3倍と思われる。</p>	<p>&lt; 新聞記事 &gt;</p> <p>平成7年12月10日 見出し：ナトリウム漏出量2～3トン 記事：固まったナトリウムだけで、約1トンあり、漏れた量は全部で2～3トン前後になりそう</p>	<p>平成7年12月16日 堆積物の除去・回収作業終了 合計で約235kg</p>	<p>平成7年12月17日 見だし：たい積物除去完了 漏出量下方修正か 記事：約235kg全量の回収を終えた。 事故当初に拡散分と合わせ2～3トンとされたナトリウム漏出量は少なめに 見直される可能性が出てきた。</p>
<p>&lt; 動燃プレス発表 &gt;</p> <p>平成7年12月9日 ナトリウム漏えい堆積量 約1 m<sup>3</sup>、多く見積もっても 2～3倍と思われる。</p>	<p>&lt; 新聞記事 &gt;</p> <p>平成7年12月10日 見出し：ナトリウム漏出量2～3トン 記事：固まったナトリウムだけで、約1トンあり、漏れた量は全部で2～3トン前後になりそう</p>				
<p>平成7年12月16日 堆積物の除去・回収作業終了 合計で約235kg</p>	<p>平成7年12月17日 見だし：たい積物除去完了 漏出量下方修正か 記事：約235kg全量の回収を終えた。 事故当初に拡散分と合わせ2～3トンとされたナトリウム漏出量は少なめに 見直される可能性が出てきた。</p>				

いただいた意見：

「事故があったら直ちに運転を停止する」と云っていたが直ちに運転を止めなかった。停止の権限が現場になかったとのことだが、これは市・県、住民との契約違反行為。これからは現場に停止権限を与えるらしいが、他社の原発はどうなっているのか。

論 点	< 19 > 「事故があったら直ちに運転を停止する」と云っていたが直ちに運転を止めなかったとのことだが、これは市・県、住民との契約違反行為。
「 も ん じ ゆ 」 で の 対 応	<p>1 事故時の発生時の状況</p> <p>19：47 「2次側出口Na温度高」警報発報及び火災報知器発報 19：48 「C2次主冷却系Na漏えい」警報発報 20：00 出力降下操作開始 21：15 発電機解列 21：20 原子炉手動トリップ</p> <p>2 ナトリウム漏えい事故の時の運転停止までの判断</p> <p>(1) 当直長は、火災報知器及びナトリウム漏えい検出器の発報及び現場確認によりナトリウム漏えいが発生したと認識したが、蒸発器ナトリウム液位及びオーバーフロータンクナトリウム液位に有意な変化が認められないことから、漏えい規模は小さいと考えた。</p> <p>(2) 当直長は、漏えい規模が小さい場合の運転手順書により、原子炉を通常停止する操作をプラント第1課長の了解を得て行った。</p> <p>(3) プラント第1課長及び当直長は、火災報知器警報の増加、配管室の白煙の増加、及び新たなナトリウム漏えい検出器の指示値の増加をもってナトリウムの漏えい規模の拡大が懸念されると判断して、原子炉を手動で緊急停止した。</p>

論 点	< 2 0 > 従来、停止の権限が現場になかったのか。これからは、現場にプラント停止の権限を与えるのか。
「 もんじゅ 」 で の 対 応	<p>1 ナトリウム漏えい事故時のプラント停止の権限</p> <p>(1) 当時の保安規定では、原子炉の異常時においては「当直長が直ちに拡大防止に必要な応急措置を講じる」とされていた。また、プラント1課長はナトリウム漏えいが生じた場合は「状況に応じ適切な措置を講じる」とされていた。</p> <p>(2) 当時の運転手順書では、原子炉を停止する前に「プラント1課長に報告しプラント通常停止する旨の了解を得る」と記載されていたため、当直長はプラント1課長に状況を報告し、プラントを通常停止する旨の了解を得てから操作を開始した。</p> <p>(3) 改善策として、保安規定の趣旨を運転手順書に的確に反映させることとし、当直長の権限で原子炉を停止するよう、運転手順書を見直した。また、保安規定においても、ナトリウム漏えい時には当直長の判断で原子炉を停止することを明記した。</p> <p style="text-align: right;">【資料 2 - 2 参照】</p>

いただいた意見：

ナトリウムに空気は禁物。  
換気用ダクトに穴があき直ちに送風を止めるべきだが長時間止めずナトリウムが燃え続けた。  
設計の問題か、運転マニュアルの問題か。

論点	< 2 1 > ナトリウムに空気は禁物。
「もんじゅ」での対応	1 ナトリウムの燃焼  (1) ナトリウムは化学的に極めて活性であり、高温のナトリウムは空気中の酸素と反応し、ナトリウム酸化物の白煙を発生して燃焼する。  (2) ナトリウムと空気が接触しないよう、ナトリウムの上部には不活性のガスを封入するなど、設計上の考慮をしている。

論点	< 2 2 > 換気用ダクトに穴があき直ちに送風を止めるべきだが長時間止めずナトリウムが燃え続けた。設計の問題か、運転マニュアルの問題か。
「もんじゅ」での対応	1 換気系の運転・停止の考え方  (1) 運転手順書では、漏えい燃焼の影響が室内雰囲気には及ばない小規模な漏えいについては、換気系は停止しないこととしていた。  (2) また、運転手順書では、換気系の停止はナトリウムのドレン後に行うこととしていた。  (3) 大規模な漏えいの時は、換気系は「蒸発器液位低低」信号により自動停止させる設計である。
	2 換気系停止の改善策  (1) 改善策として、中小規模の漏えい時にも早期に漏えいの影響を抑制するため、新たにセルモニタを設置し、その信号で換気系を自動停止させることとする。

いただいた意見：

もんじゅ事故の際、事故がおきてから県庁に届け出るのに12時間もかかっている。なぜ遅らせているのか。  
大きな事故の場合はどうなるのか。

論点	< 2 3 > 「もんじゅ」事故の際、事故がおきてから県庁に届け出るのに12時間もかかっている。
「もんじゅ」での対応	<p>1 事故時の時系列と通報連絡</p> <p>(1)時系列</p> <p>19：47 「IHX C 2次側出口Na温度高」警報及び火災報知器発報（事故発生） 19：48 「C 2次主冷却系Na漏えい」警報発報 20：00 出力降下操作開始 20：35 福井県原子力安全対策課へ第1報（事故発生から48分後） 20：48 敦賀市原子力安全対策課へ第1報 21：15 発電機解列 21：20 原子炉手動トリップ 事故発生報告（第1報）FAX 22：10 プレス発表</p> <p>(2)外部機関への通報連絡</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 当時、本社に報告し事実関係を確認した上で、国及び自治体に同時に通報連絡を行うこととしていた。</li><li>・ 「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故の時も、社内連絡に時間を要したため、地元自治体への通報連絡までに時間がかかった。</li></ul> <p>(3) 通報連絡に時間を要したことの反省として、外部機関へ通報連絡を行う連絡責任者については「もんじゅ」構内に常駐させ、第1報を連絡責任者の判断で直ちに行うこととした。</p> <p style="text-align: right;">【資料 2 - 2 参照】</p>
	<p>2 大きな事故の場合はどうなるのか。</p> <p>(1) 原子力災害特別措置法に基づき、原子力災害に至る可能性がある場合は、法第十条の規定により、原子力防災管理者は直ちに(15分以内に)その旨を主務大臣、所在都道府県知事、所在市町村長などに通報することが定められている。</p>

いただいた意見：

6年近くの停止による燃料や炉心部の劣化も心配。  
この最重要な指摘、警告について県と検討委員会に徹底究明を望む。

論点	< 2 4 > 「もんじゅ」は6年近く停止しており、燃料や炉心部の劣化も心配である。
「もんじゅ」での対応	1 停止中のプラント状態  (1) 1次系ナトリウム温度：約200 (2) 1次系ナトリウム流量：定格流量の約10% (3) 1次系ナトリウム中酸素濃度：10ppm以下
	2 停止中の維持管理  (1) ナトリウムを200 で循環させるとともに、ナトリウム純度、カバーガス純度を定期的に確認し、不純物による機器への影響がないように管理している。  (2) 設備維持点検を年度計画を定めて実施している。
	3 燃料や炉心の劣化  (1) 現在炉心に装荷されている燃料集合体については、燃料集合体の材料であるステンレス鋼にとって共存性の良い(腐食が発生しにくい)ナトリウム中にあることからその健全性に問題はないと考えている。 (2) 炉心については、長期停止に伴いPu241が減衰し、炉心反応度は減少。

#### 4章 ナトリウム漏えい対策

いただいた意見：

高速増殖炉は、熱交換に液体ナトリウムを使うのが最大のネックで、ナトリウムの配管外への漏えいが避けられないため、熱交換媒体等にもうひと工夫が不可欠。

論 点	< 1 > F B Rは熱交換に液体ナトリウムを使うのが最大のネックである。
「 も ん じ ゆ 」 で の 対 応	<p>1 「もんじゆ」でナトリウムを使用する理由</p> <p>(1)ナトリウムを用いることに対しては以下の利点がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1)水に比べ中性子減速能が低く、高速中性子の利用が可能となり増殖性が高い。</li> <li>2)水に比べ熱伝導率が高い。</li> <li>3)他の金属に比べ密度が小さい。</li> <li>4)水に比べ沸点が高く、加圧する必要が無く低圧設計が可能。</li> <li>5)構造材料との共存性が良い。</li> </ol> <p>(2)ただし、以下の欠点がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1)化学的に活性であり、水や酸素などと活発に反応する。</li> <li>2)室温では固体であり、予熱が必要。</li> </ol>
	<p>2 ナトリウムに対する設計上の考慮</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 内部にナトリウムの液面を有する機器では、その液面上を不活性ガス雰囲気として空気との接触防止を図っている。</li> <li>(2) 1次主冷却系の配管・機器は、原子炉格納容器内部の窒素雰囲気中に設置して万一のナトリウム漏えい時にも漏えいナトリウムの燃焼を抑制する設計としている。</li> <li>(3) 原子炉容器や1次主冷却系設備の機器は、ガードベッセルで取り囲むことにより、ナトリウム漏えい時にも確実に冷却材を確保している。</li> <li>(4) ナトリウム機器を収納する部屋には鋼製のライナ等を設置し、ナトリウム漏えい時のナトリウムとコンクリートとの直接接触を防止している。</li> <li>(5) ナトリウム漏えい検出器を設置し、機器、配管からの漏えいを速やかに検知できるようにしている。</li> <li>(6) ナトリウムが循環する機器は予熱ヒータや保温材によりナトリウムの凍結防止を図っている。</li> <li>(7) 蒸気発生器における伝熱管水漏えいに備えて、水漏えい検出器、反応生成物収納容器、水蒸気系のブロー設備を設け、ナトリウム・水反応の影響を抑制している。</li> </ol>

論点	< 2 > ナトリウムの配管外への漏えいは避けられない。
	<p>1 ナトリウム機器・配管の健全性確保          高速炉は軽水炉に比べ、運転温度が高温であること、原子炉の出入口温度差が大きいことが特徴である。従って、ナトリウム配管・機器においては、以下の観点において、健全性を確保できるよう考慮している。</p> <p>(1)材料          高温強度に優れるオーステナイト系ステンレス鋼などの材料を選定している。</p> <p>(2)設計          使用条件を考慮し、考えられる荷重に対応した設計としている。特に、機器・配管の熱膨張や熱応力を考慮した設計を行っている。</p> <p>(3)製作時の検査          工場及び据付後において、材料検査、溶接検査、耐圧漏えい試験などを行い、機器、配管の健全性を確認している。</p> <p>(4)運転          1)ナトリウムの純度管理を行い腐食を防止している。          2)ナトリウム漏えい検出器を設置し、漏えいの無いことを監視している。          3)設計条件を超えないように、インタロック及び運転上の制限を設けている。</p> <p>2 安全総点検において、以下を実施している。</p> <p>(1) 系統内で流力振動を受ける可能性のある機器を摘出し、振動に対する健全性を評価した。</p> <p>(2) 冷却系統内でナトリウムを内包している機器・配管の健全性について、設計荷重（圧力、自重、熱膨張、熱過渡、地震荷重など）が適切に考慮されているか確認した。</p>
論点	< 3 > 熱交換媒体等にもうひと工夫が必要である。
「もんじゅ」での対応	<p>1 ナトリウム以外の冷却材の検討</p> <p>(1) 将来の実用化に対しては、実用化戦略調査研究において、ナトリウム冷却型以外の高速増殖炉の可能性を検討している。          括弧内は冷却材を示す。          1)重金属炉（Pb-Bi合金）          2)ガス炉（炭酸ガス、ヘリウム）          3)水炉（重水、超臨界圧軽水）</p>

いただいた意見：

今回の改造計画はナトリウムが漏れた場合の対応だが、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り、ナトリウムを完全に封じ込めることがきちっとされなければならない。  
拙速に改造すれば事故、トラブルが起こり、環境にナトリウムが出ることになったら大変なことで運転はやめるべき。

論点	< 4 > 今回の改造計画はナトリウムを完全に封じ込めることがきちっとされなければならない。
「もんじゅ」での対応	1 ナトリウム機器・配管の健全性確保 < 既出 >

論点	< 5 > 拙速に改造すれば事故、トラブルが起こる。
「もんじゅ」での対応	1 改造に関する安全確認 (1) 今回の改造計画については、国による厳正な安全審査を受けているところである。 (2) 改造計画に係る設計に当たっては、改造により既設設備へ影響を及ぼすかどうかを確認している。

論 点	< 6 > 環境にナトリウムが出ることになったら大変なことである。
「 も ん じ ゆ 」 で の 対 応	<p>1 漏えいナトリウムによる環境への影響を緩和する設計 (1次系)</p> <p>(1) 放射能を含む1次系ではナトリウム配管、機器を窒素雰囲気にした部屋に設置し、漏えい時の燃焼を抑制し、ナトリウムが部屋外に出ない設計としている。</p> <p>(2) さらに、1次系のナトリウム配管、機器を原子炉格納容器内に設置するとともに、アニュラス循環排気装置を設置し、放射能を閉じ込める設計としている。</p> <p>(2次系)</p> <p>(3) 放射能を含まない2次系ナトリウム漏えい時は、空気との反応により発生するナトリウムエアロゾルが環境に放出される可能性がある。</p> <p>(4) エアロゾルは、環境に放出された場合でも、大気中の湿分及び炭酸ガスと反応し、最終的には無害な炭酸化合物となる。</p> <p>(5) 今回の漏えい事故時に外部に放出されたエアロゾル量は、およそ230kg（金属ナトリウム換算）と評価されている。エアロゾルの3次元大気拡散解析を行った結果によれば、ナトリウムが全て水酸化ナトリウム（NaOH）であった場合を仮定しても、その敷地境界での濃度は<math>0.05\text{mg}/\text{m}^3</math>程度であり、各国で採用されている作業環境許容濃度基準*（<math>2\text{mg}/\text{m}^3</math>）を充分下回るものであった。</p> <p>(6) ナトリウム漏えい対策では、漏えい時に換気空調設備を自動停止させ、エアロゾルの環境への放出を抑制する計画である。</p>

いただいた意見：

今回の改造工事は、事故の原因究明から再び事故を起こさないための工事であるはずだが、ナトリウムの抜き取り作業を早めるための工事では、事故が起きることが前提となっており、改造工事そのものが事故対応のための改造であると考えられる。  
これでは、県民の安全性に対する心配は大きくなる一方で問題ではないか。

論点	< 7 > 今回の改造工事は、事故の原因究明から再び事故を起こさないための工事であるはずだ。ナトリウムの抜き取り作業を早めるための工事で、事故が起きることが前提となっている。改造工事そのものが事故対応のための工事である。
「もんじゅ」での対応	1 今回の改造工事の基本的考え方 (1) ナトリウムを漏えいをさせないように設備を設計、製作、維持することが最も重要である。 (2) 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が必要である。今回の改善工事は、従来からの対策に加え、漏えい時の影響をさらに低減させるために実施するものである。
	2 ナトリウムを漏えいさせない対策 【資料 2 - 5 参照】 (1) 漏えい事故の直接原因となった2次冷却系温度計と同形状の温度計は、改良型温度計に交換あるいは撤去し、ナトリウム漏えい防止対策を施す。 (2) 事故後のもんじゅの安全総点検において、2次系以外の温度計などについても流力振動に対する健全性を点検した。その結果、評価基準に適合しなかった水・蒸気系の温度計についても、基準を満足するものに交換する計画である。
	3 漏えい時の影響を抑制するための改善工事 今回の漏えい事故の教訓を反映し、漏えいを早期に停止させ、ナトリウム漏えい燃焼による施設への影響を緩和させるため、以下の改善工事を行う。 (1) ナトリウム漏えいを早期に検知する。 1) 煙感知器、熱感知器の設置 2) 総合漏えい監視システムの設置 (2) 漏えいを早期に停止させ、漏えいナトリウム量を抑制する。 1) ドレンシステムの改造 (3) ナトリウムの漏えい燃焼による影響を緩和する。 1) 換気空調設備の改造（漏えい時の自動停止など） 2) 建物の区画化 3) 窒素ガス注入機能の追加
	4 今回のナトリウム漏えい対策の効果 【資料 2 - 3、2 - 4 参照】 (1) 2次冷却材漏えい時の部屋の内圧、建物コンクリート温度をナトリウム燃焼解析により評価し、建物健全性を確認した。 (2) ナトリウム漏えい時に床ライナの熱変形と溶融塩型腐食による減肉が重畳した場合でも、床ライナに貫通性の亀裂が生じることはなく、その機械的健全性が確保されることを確認した。

いただいた意見：

「もんじゅ」内にあるナトリウム（1700t）を全て抜きとり保管するタンク設備がない。

論点	< 8 > もんじゅ内にあるナトリウム（1700t）を全て抜きとり保管するタンク設備がない。
「もんじゅ」での対応	<p>1 ナトリウム量とナトリウム抜き取り設備概要</p> <p>(1)もんじゅのナトリウム量は以下の通り、</p> <ul style="list-style-type: none"><li>1) 1次系（原子炉容器を含む） 約760 t</li><li>2) 2次系 約760 t</li></ul> <p>(2)その他に炉外燃料貯蔵槽及び冷却系があり、総量で約1700 tとなる。</p> <p>一方、ナトリウムを貯蔵するタンク容量は、</p> <ul style="list-style-type: none"><li>1) 1次系タンク総容量 約540 t</li><li>2) 原子炉容器 約360 t</li><li>3) 2次系タンク総容量 約690 t</li></ul> <p>である。2次系についてはナトリウム全量を受け入れるタンク容量はない。</p> <p>2 全ドレンできない設備となっている理由</p> <p>通常はナトリウムを内包する系統は原子炉の停止時においても崩壊熱を除去して炉心を冷却するため、すべてのナトリウムを同時に抜き取ることはない。従って、全量のナトリウムを収容するタンクは設置していない。</p>

5章 温度計の破損と交換

いただいた意見：

水より比重の重いナトリウムの流れの中で、直角に挿入した温度計が折れるのは当然である。

論点	1 . 水より比重の重いナトリウムの流れの中で、直角に挿入した温度計が折れるのは当然である。
「もんじゅ」での対応	<p>1 ナトリウムの比重</p> <p>ナトリウムの比重は、水よりやや小さい。          ナトリウムの比重： 低温停止状態（約200 ）で約0.90          定格運転状態（約529 ）で約0.83</p>
	<p>2 破損した温度計の設計</p> <p>(1) 軽水炉や火力発電で十分に実績のある温度計の設計手法を参考に強度、計測性、応答性を考慮し、温度計さやの設計を行った。          （温度計の製作は1985年から開始された。）          ・温度計測に対する応答性を重視し、さやの肉厚を3mmとした。          ・過渡変化時における応力の発生を小さくするため、さやの肉厚は均一とした。</p> <p>(2) 温度計さやの主要寸法、仕様          ・配管内の差込深さ：約185mm（配管中心の温度を測定する計測性の観点から）          ・細管部外径：10mm（熱電対寸法より決定）          ・さやは配管の管台に溶接（さや取付部の熱応力緩和を優先する観点から）</p>
	<p>3 温度計破損原因 <span style="float: right;">【資料 2 - 5 参照】</span></p> <p>(1) 温度計さやの破損は、流れに対する抗力によるものではなく、流れと構造物の相互作用による流力振動で生じた高サイクル疲労が原因。          (2) 原因である流力振動は、設計で考慮していた交互に渦が放出されるカルマン渦によるものでなく、設計では考慮していなかった対称渦の放出を伴う流れ方向に作用する力による振動であった。</p>
	<p>4 温度計の設計不備</p> <p>(1) 温度計さや管の共振発生防止の目安として、当時の米国機械学会（ASME）の基準（1974基準）を参考にしていた。その規定はテーパ状の構造に適用できるものであったが、段付き構造に適用する判断ミスをした。          (2) ASMEの新しい基準（1991基準）では、破損の原因となった流れの方向に作用する力による振動の回避条件が示されているが、この基準に照らし合わせた温度計の設計見直しを行わなかった。</p>

いただいた意見：

改良温度計は再度破壊するだろう。

温度計の本体が折れても、ナトリウムが外部へ漏洩しないよう配管の外側から温度計の取り付け部全体を覆う安全装置を必ず取り付けること。

論 点	2 . 改良温度計は再度破壊するだろう。
「 も ん じ ゆ 」 で の 対 応	1 改良温度計の健全性確保 <span style="float: right;">【資料 2 - 5 参照】</span>  温度計のさや管は、以下の方策により健全性を確保する。 (1) 日本機械学会が定める流力振動の評価指針に基づき、流力振動を防止する設計とする。 (2) 局所に応力が集中しない形状とする。
論 点	3 . ナトリウムが外部へ漏洩しないよう配管の外側から温度計の取り付け部全体を覆う安全装置を必ず取り付けること。
「 も ん じ ゆ 」 で の 対 応	1 シール構造の採用 <span style="float: right;">【資料 2 - 5 参照】</span>  交換する2次冷却系の温度計は、万一さや管が破損した場合でも、ナトリウムの管外へ漏えいを抑制できるシール構造を採用する。

いただいた意見：

棒状の温度計でなく、配管の内側に張り付くような温度計や、色、光、電気、光線、電波等による温度計を開発すべき。

論点	4 . 配管の内側に張り付くような温度計や、色、光、電気、光線、電波等による温度計を開発すべき。
「もんじゅ」での対応	1 超音波温度計の開発 <span style="float: right;">【資料 2 - 5 参照】</span>  超音波式温度計について「もんじゅ」への適用性検討を行っており、試運転時には試験用装置を用いた性能調査を実施する計画である。
	2 超音波温度計の原理 <span style="float: right;">【資料 2 - 5 参照】</span>  (1) ナトリウム中を伝わる超音波の伝播速度が温度に応じて変化する特性を利用する。 (2) 配管外面の上下に対向するかたちで超音波センサを設置し、超音波の伝播時間からナトリウム温度を求める。

いただいた意見：

一次冷却材のナトリウムが、二次冷却材の水と接触すれば激しく反応するにも関わらず、それを遮る細管にできる傷や腐食を検査する方法が未だ確立していない。

水とナトリウムが接触する一番危険な箇所の検査能力が問われている。現在のECTの検出精度では蒸気発生器の安全性を保証できない。

蒸発器伝熱管検査装置は亀裂状の傷（ピンホールやひび割れ）は検知できないとサイクル機構も認めている。

軽水炉で蒸気発生器に係る事故が多発しており、もんじゅでの細管検査装置も不十分であったため平成11年に改良され、新しい渦電流探傷装置で現在検査されているが、20%以下のピンホール、ひび割れは発見することが出来ないとのこと。

「もんじゅ」の蒸気発生器細管は管を溶接して繋ぎ、ループ状に曲げて束ねているが、ナトリウム中に溶接箇所がこないような作り方が細管設計の常識であり、いかに危険かが窺える。

細管のECTでは、細管接続部に亀裂が存在する場合、接続部の信号と亀裂の信号とを識別できないということが報告されている。これでは最も危険な部分の細管診断ができない。

ECT装置がうまくできていないとの告発があり、開発を担当してきた三菱とサイクル機構との契約は終わり、三菱はこの開発から下りたのか。

小さな傷でも発見できる新しいECT装置が開発されるか、それに変わるものが開発されるなど、安全が確認できなければ運転再開すべきでない。

サイクル機構は「ECT検査は法律上の義務ではないとか、蒸気発生器は一次冷却系ではない」と言っているが、委員会がそれをうのみにすれば、県民の信頼を失う。

もんじゅ事故で原子力安全委員会は、事故原因となった温度計サヤ管は安全審査の対象にしていなかったが、ECT検査装置の不備な点についても問題にしないのか。

ピンホールやひび割れでナトリウムが冷却水に漏れてもすぐわかり原子炉を止めるので問題はないということだが、大事故につながりかねないナトリウム漏れが「起きてみないと傷がわからない」では本当に安全と言えないのではないか。

<p>論 点</p>	<p>&lt; 1 &gt; サイクル機構は「E C T検査は法律上の義務ではないとか、蒸気発生器は一次冷却系ではない」と言っている。 ナトリウム漏れが「起きてみないと傷がわからない」では本当に安全と言えないのではないか。</p>
<p>「 もんじゅ 」 で の 対 応</p>	<p>1 蒸気発生器の機器区分（機器区分の考え方）</p> <p>(1) 「もんじゅ」の蒸気発生器は、2次主冷却系に位置している。 炉心で発生した熱を1次主冷却系、中間熱交換器を介して2次主冷却系に伝え、蒸気発生器で熱交換し、蒸気を発生する。</p> <p>(2) 蒸気発生器は、その機能が喪失した場合でも一般公衆及び従事者に放射線被ばくを及ぼす恐れがなく、原子炉冷却材バウンダリを構成しない。さらに、原子炉停止時の崩壊熱除去の機能を期待しない機器である。 なお、「もんじゅ」の蒸気発生器は、「ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子炉施設に関する構造等の技術基準において、第3種機器としている。</p> <p>2 蒸気発生器伝熱管の検査の位置づけ</p> <p>(1) 「もんじゅ」機器の供用期間中検査は、原子炉設置許可申請書添付資料八追補「供用期間中検査について」に記載された「基本計画」を基に、詳細な検査計画を策定し、これに基づき検査を実施して行く計画である。 なお、上記の「3.基本計画」に以下の記載がある。 「その他については、安全性確保上の必要性に応じて試験等を行う。」としており、「表1 供用期間中検査の概要」で「伝熱管」は、試験等の方法を「体積」としている。</p> <p>(2) 「もんじゅ」の蒸気発生器は、伝熱管壁を隔てて水とナトリウムが存在する高速増殖炉特有の機器であり、運転実績が少ないことに鑑み、原子力発電所の信頼性向上を図る観点から蒸気発生器伝熱管の供用期間中検査を実施することとしている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・もんじゅ発電所の供用期間中検査：原子炉施設の安全上重要な機器に対して計画的に試験あるいは監視を行うことにより、供用期間中を通じて原子炉施設の安全性を確保することを目的とする。</li> <li>・安全上重要な機器：その機能喪失により一般公衆及び従事者に過度の放射線被ばくを及ぼす恐れのある機器並びに事故時に一般公衆及び従事者に及ぼす恐れのある過度の放射線被ばくを緩和するために設けられた機器をいう。</li> </ul>

論 点	<p>&lt; 2 &gt; ナトリウムと水を遮る細管にできる傷や腐食を検査する方法が未だ確立していない。  「もんじゅ」の蒸気発生器細管は管を溶接して繋ぎ、ループ状に曲げて束ねているが、ナトリウム中に溶接箇所がこないような作り方が細管設計の常識である。</p>
「もんじゅ」での対応	<p>1 蒸気発生器の特徴</p> <p>(1) 「もんじゅ」の1、2次主冷却系統は3ループあり、2次主冷却系の各ループに設置した蒸気発生器は、炉心で発生する高温のナトリウムを有効に活用するため、蒸発器、過熱器を有している。</p> <p>(2) 伝熱管形状は、伝熱特性が良好であり、機器の小型化が図れることからヘリカルコイル形状(らせん状の伝熱管)を採用した。</p> <p>(3) 伝熱管は、約84m(蒸発器)と長く、20mの素管を継ぎ製作し、素材検査、溶接検査、耐圧検査を行い、品質を確保している。</p> <p>(4) 伝熱管材質は各々の使用環境を考慮した仕様としている。  ・蒸発器伝熱管：応力腐食割れが起きにくく、また火力ボイラで実績のあるクロムモリブデン鋼(2*1/4Cr1Mo鋼)を使用。  ・過熱器伝熱管：高温強度、耐食性に優れたステンレス鋼(SUS321鋼)を使用。</p> <p>(5) 伝熱管寸法  ・蒸発器 外径31.8mm、板厚3.8mm、本数140本、長さ約84m  ・過熱器 外径31.8mm、板厚3.5mm、本数147本、長さ約46m</p>
	<p>2 伝熱管の検査手法</p> <p>(1) 「もんじゅ」蒸気発生器伝熱管の供用期間中検査手法としては、軽水炉の技術を踏まえ、プラント運転中の蒸気発生器伝熱管において発生が予想される欠陥の種類及び検査時間より判断して渦電流探傷法(ECT)を採用した。</p> <p>(2) 検査装置の開発目標  ・伝熱管全長に亘り均一速度で検査する。  ・伝熱管板厚の20%深さの減肉を検出する。</p>
	<p>3 渦電流探傷の適用例</p> <p>(1) 一般産業界における渦電流探傷の適用例  渦電流探傷の主な適用事例としては、火力発電所や石油プラントにおける熱交換器の伝熱管、ガス埋設管の検査がある。  ・製造工程にける素材の検査  ・製品検査及び保守検査  それぞれ検査対象物の特徴を考慮し、渦電流探傷用プローブを開発して検査を行っている。</p>

論点	<p>&lt; 3 &gt; 蒸気発生器は、水とナトリウムが接触する一番危険な箇所であり、E C T装置は、検査能力が問われている。 現在のE C Tの検出精度では、蒸気発生器の安全性を保証できない。 蒸気器伝熱管検査装置は亀裂状の傷（ピンホールやひび割れ）は検知できない。</p>
「もんじゅ」での対応	<p>1 プローブ単体での欠陥の検出性能</p> <p>検査装置のプローブ単体の欠陥検出性能は、クロムモリブデン鋼など強磁性体材料よりステンレス鋼などの非磁性体材料の方が、また外面欠陥より内面欠陥の方が良好である。最も検出が難しい強磁性体材料の外面での検出性は現状で以下の程度である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・全周減肉欠陥 板厚の 2 %減肉</li> <li>・局部減肉欠陥 板厚の 2 0 %減肉</li> <li>・周方向ノッチ状欠陥 板厚の 7 5 %深さ</li> <li>・軸方向ノッチ状欠陥 板厚の 7 5 %深さ</li> <li>・ピンホール状欠陥 3 mm の板厚比95%深さの穴</li> </ul> <p>2 検査装置での減肉欠陥の検出性能</p> <p>(1) 検査目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・伝熱管板厚の 2 0 %深さ減肉の検出。</li> </ul> <p>(2) 検出可能な減肉欠陥（実物大の模擬試験装置による検査装置機能試験）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・蒸気器 内面；2.5%深さ相当、外面；5～10%深さ相当</li> <li>・過熱器 内面；1%深さ相当、 外面；2%深さ相当</li> </ul> <p>3 「もんじゅ」伝熱管検査</p> <p>1、2 の性能を持つ検査装置を用いて平成 3 年に「もんじゅ」の検査を実施し、実機への適用性が確認された。</p>

論点	<p>&lt; 4 &gt; 細管接続部に亀裂が存在する場合、接続部の信号と亀裂の信号とを識別できず、これでは最も危険な部分の細管診断ができない。 E C T 検査装置の不備な点についても問題にしないのか。</p>
「もんじゅ」での対応	<p>1 「もんじゅ」伝熱管検査の実績</p> <p>(1) 「もんじゅ」蒸気発生器伝熱管の検査実績</p> <p>大洗工学センターで開発した検査装置を「もんじゅ」蒸気発生器に適用し、その機能及び取扱い性を確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実施時期：平成 3 年 5 月～平成 3 年 1 0 月</li> <li>・実施内容：伝熱管全数（861本）に対する位置決め性能確認試験</li> <li>・探傷プローブの挿入・引き抜き性能確認試験</li> <li>・探傷データの採取・機能試験</li> </ul> <p>(2) 「もんじゅ」蒸気発生器伝熱管の検査結果</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「もんじゅ」蒸気発生器への適用性が確認され、蒸気器及び過熱器の全伝熱管の検査データを採取した。</li> <li>・一部の伝熱管検査データにノイズの大きいものがあったが、検査目標である伝熱管板厚の約20%を超える欠陥（減肉）を検出できる水準にあり、検査装置は、必要な性能を確保している。</li> </ul> <p>(3) 溶接部</p> <p>「もんじゅ」蒸気発生器伝熱管の溶接部についても欠陥を生じないように設計、製作、検査を実施している。</p> <p>「もんじゅ」蒸気発生器伝熱管の支持部は、溶接部をさけて母材部に設けているため、溶接部での減肉欠陥は生じにくい。</p> <p>プローブ単体は、強磁性体材料の外面減肉欠陥で伝熱管板厚 5 %深さを検出しており、必要な性能を確保している。</p> <p>より小さな欠陥の検出技術については、今後の開発事項である。</p>

論 点	<p>&lt; 5 &gt; ECT装置がうまくできていないとの告発があり、開発を担当してきた三菱とサイクル機構との契約は終わり、三菱はこの開発から下りた。</p>
「も ん じ ゅ」 で の 対 応	<p>1 三菱重工業(株)との契約実績</p> <p>(1) 平成4年までの三菱重工業(株)との契約実績</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 蒸気発生器の設計、昭和59年1月～昭和64年3月</li> <li>・ 蒸気発生器の製作、昭和61年3月～平成2年3月</li> <li>・ 蒸気発生器の据付、昭和63年9月～平成3年4月</li> <li>・ 蒸気発生器用渦電流試験装置の開発、平成元年3月～平成2年7月</li> <li>・ 総合機能試験、平成2年12月～平成4年12月</li> <li>・ 総合機能試験(蒸気発生器伝熱管ISI機器(ECT)作動試験) 平成2年12月～平成3年11月</li> <li>・ 蒸気発生器供用期間前作業(ECT)、平成3年4月～平成4年12月</li> </ul> <p>(2) 最近の三菱重工業(株)との契約は以下のとおりであり、継続して検査装置の開発を行っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 平成11,12年度 : 実物大模擬試験装置の輸送・据付</li> <li>・ 平成11,12年度 : ECTの改良設計(新型センサーの試作試験)インテリジェントプローブ</li> <li>・ 平成13年度 : もんじゅ蒸気発生器伝熱管ISI装置の高度化検討</li> </ul>
	<p>2 現在の開発と三菱重工業(株)の関り</p> <p>(1) 「もんじゅ」蒸気発生器用渦電流試験装置開発での位置づけ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ サイクル機構の行う研究開発では、海外機関・企業・研究者の活用も含め、一般には、競争的環境の下で、効率的に研究開発を進めることが求められているが、「もんじゅ」の蒸気発生器伝熱管は、全長が長く、形状がヘリカイルコイル状である等の特徴があることから、その検査装置を開発するためには、従来の渦電流探傷技術だけでなく、蒸気発生器全体の設計・製作に関する十分な知識と経験を持つことが必要となる。</li> </ul> <p>このため、サイクル機構としては従来から蒸気器の設計製作を担当し、検査装置の開発を進めてきた三菱重工業(株)と今後とも協力して検査装置の開発を進めていく計画である。</p>

論点	<p>&lt; 6 &gt; もんじゅでの細管検査装置も不十分であったため、平成11年に改良され、新しい渦電流探傷装置で現在検査されているが、20%以下のピンホール、ひび割れは発見することが出来ない。</p>
「もんじゅ」での対応	<p>1 総合機能試験終了後のセンサ改良等の実績</p> <p>平成3年5月から平成3年10月にかけて実施した「もんじゅ」蒸気発生器の伝熱管探傷データ取得後、以下の改良等を実施した。</p> <p>実機データのノイズ除去の検討（平成8年度、平成12年度）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ECT信号の解析作業</li> <li>大洗で検討したノイズ対策を施したプローブの試作（平成9年度）</li> <li>・ ECT装置探傷プローブ（コンピュータ制御プローブ）製作</li> <li>最新センサ技術の採用と試験（平成11、12年度）</li> <li>・ ノイズ低減センサ</li> <li>・ 高感度センサ</li> <li>・ 試験用内面探傷ECTプローブ</li> </ul> <p>伝熱管検査装置の改良試験（特性、性能把握）及び取扱訓練のため蒸気発生器の検査装置用校正試験設備（実物大模擬試験装置）を設置した。</p>

論点	<p>&lt; 7 &gt; 小さな傷でも発見できる新しいECT装置が開発されるか、それに変わるものが開発される。</p>
「もんじゅ」での対応	<p>1 検査装置の開発</p> <p>「もんじゅ」蒸気発生器伝熱管の渦電流探傷検査装置の開発は、以下の方向で進めていく。</p> <p>渦電流探傷プローブの高度化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電磁場解析によるプローブ開発</li> <li>「もんじゅ」蒸気発生器の伝熱管検査システムの高度化</li> <li>・ ノイズレベルの低減（プローブ挿入方式の検討）</li> <li>・ 検査データのオンライン処理化</li> </ul> <p>電磁気現象の数値解析を用いたプローブ開発、検査システム、データ解析システム等の改良により、検査装置の欠陥検出性及び検査性能の向上を図る。</p>