

**「もんじゅ」の安全性にかかる要請
(中間とりまとめ) に対する回答(案)**

平成14年10月22日

核燃料サイクル開発機構

	(1) もんじゅ事故について
1)	品質管理の向上へ向け、全員参加で安全を重視する体制を構築すること
委員会への説明	<p>品質保証活動の強化として、現在までに以下の改善を完了している。</p> <p>(1)品質保証体制、体系の見直し【図 1-1-1】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・もんじゅ建設所に品質保証推進の専任グループを設置した。 ・施設品質保証計画書と関連規則類の体系化を行った。 <p>(2)品質保証活動の改善</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設計審査要領を作成し、確実な設計審査を行う仕組みを構築した。 ・最新技術情報の反映に係る管理要領を作成し、研究開発成果や運転経験等の情報を収集し、もんじゅに反映できるよう仕組みを構築した。 ・教育委員会の開催頻度及び役割を見直すとともに、教育担当を設置し、教育実績を評価し、教育計画へ反映する仕組みを構築した。等 <p style="text-align: right;">【第3回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>温度計が折れた問題に係る県民の意見は、品質管理に問題があったのではないかという意味のご意見ではないか。 【第3回質疑】</p> </div> <p>1) 品質管理は重要との認識の下で、体制の整備・強化、個々の活動の改善に取り組んできている。</p> <p>具体的には、専任者を配置するなど品質保証体制を整備し、上記の設計審査や最新技術情報の反映の仕組みの他、内部での品質保証の仕組みやその活動状況をチェックする内部監査の仕組み、品質保証活動を推進していく上で必要な種々の判断基準の明確化、諸手続きの確実な遂行等のための手順を明確化するなどの改善を行っている。</p> <p style="text-align: right;">【第3回質疑】</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>一般に品質向上を図っていく上では、全員参加で安全性重視の体制をつくるという考え方を出して頂きたい。 【第3回質疑】</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>現場からの意見が上がってくるという体制が必要である。【第3回質疑】</p> </div> <p>2) 品質保証に係る改善を日常業務に反映させながら一層の改善に向けた取り組みを継続するとの観点から、業務品質活動としてP D C A(プラン-ドウ-チェック-アクション)サイクルを取り入れ、トップの方針をもんじゅ建設所各職員個々の業務目標につなげている。【図 1-1-2】</p> <p>3) 品質保証活動の向上の観点から「指導会」【図 1-1-3】や「品質監査」【図 1-1-4】に外部の専門家を入れ、問題解決に向けた指導や、品質保証活動の有効性の確認を受けている。</p> <p>4) 現場からの改善の提案は重視している。毎年2回、一人一件を目標に、業務改善提案を募集しており、順次具体化に向けた取り組みを展開している。 【第3回質疑】</p>

<p>委員会での審議を踏まえた説明</p>	<p>これらの品質保証体系・活動に係る諸改善については、具体的な対応を完了しており、現在、「安全性総点検指摘事項に係る対処及び報告」の中で、国による確認を受けている。</p>
<p>今後の対応</p>	<p>改善された品質保証体系・活動の仕組みの下で、ナトリウム漏えい対策設備の工事等を行い、もんじゅの一層の安全性確保につなげていく。また、品質保証の体制、活動の改善には、常に心がけ、今後とも継続的な改善に努めていく。</p>

	(1) もんじゅ事故について
	2) 事故発生時の対応において、ヒューマンエラーを確実に防止するため、手順書の整備と徹底した教育訓練を行うこと。
委員会への説明	<p>1) 安全総点検で、異常時の確実な対応を含め必要な規定類や運転手順書などの内容が適切であるか検討した。</p> <p>2) 運転手順書の使い易さ・分かり易さの観点から、異常時及び故障時運転手順書の判断基準を明確にし、操作や状態確認のためのチェックシートを追加するなどの改善を行うこととした。</p> <p>3) 運転手順書の制定、改訂等の審査及び承認手続きを見直した。</p> <p>4) 運転手順書の制定、改訂にあたっては、必要に応じて大洗工学センターやふげん発電所の意見を反映すること等の改善を行い、改定作業を実施中である。【表 1-2-1 図、図 1-2-1】</p> <p>5) 異常時の運転員の実技訓練に、実際の現場での操作対応を含めたナトリウム漏えい時の基本動作訓練を導入する等の改善を行った。</p> <p>6) 電力関係等外部専門家の意見も反映し、事故事例等の繰り返し訓練等の訓練内容の更なる充実、シミュレータ設備機能の充実等の環境整備を推進してきている。【図 1-2-2～図 1-2-11】</p> <p style="text-align: right;">【第3回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>運転手順書の審査体制の強化ということで、違った部署で審査ということだが、同じ組織内のことである。外部の人にも入ってもらおうということは考えているのか。</p> <p style="text-align: right;">【第3回質疑】</p> </div> <p>1) 安全総点検の時に、電力の方に入ってもらい、手順書のつくり方、中身について意見をいただいた。運転手順の外部でのチェックとしてはWANOグループに入り、海外との運転経験情報の交換をしている。例えば、フランスについては、運転手順についても情報交換している。 【第3回質疑】</p> <p>2) ヒューマンエラーの防止のため、高速増殖炉もんじゅ建設所の教育委員会の下にヒューマンファクター分科会を設け、他プラントを含めた事例検討を行い、建設所全員の教育課程に取入れている。</p>

<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">今後の対応</p>	<p>事故発生時の対応手順書の整備にあたっては、トラブル事例の検討や WANO（世界原子力発電事業者協会（World Association of Nuclear Operators））の情報交換を踏まえ、ヒューマンファクタを十分考慮するとともに整備した手順書に基づく徹底した教育訓練を実施して行き、運転再開前までに確実に完了させていく。</p> <p>1) 運転手順書の改善は、現在のプラント状態で必要なものから、順次、実施している。設備・機器の改善を行うものについては、改善工事実施時期にあわせて改善効果を確認したうえで、それらを適切に反映させて整備していく。</p> <p>2) 運転員教育については、各運転員の個人教育プログラムを作成して体系的に実施していく。</p> <p>3) 運転体制を充実させるため、また、教育・訓練の時間を十分確保するため、今後、現行の5班3交替制を6班3交替制に移行するよう計画している。</p>
--	--

	(1) もんじゅ事故について
	3) 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
委員会への説明	<p>1) 事故時、現場の状況を正確に把握し、関係機関に正しく報告することが基本であるにも係わらず、本社、事業所間等における情報ルートが円滑に機能せず、関係機関への正確・迅速な情報提供ができなかった。そのため、以下の改善を行った。【図 1-3-1】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・連絡責任者を 24 時間「もんじゅ」に常駐させ、外部関係機関への第 1 報を連絡責任者の判断で直ちに行うこととした。 ・情報専任者を新たに置き、関係箇所への事故情報を一括管理することにより、情報の内容に齟齬が生じないよう情報処理体制の充実を図った。 <p>2) 事故時の管理職全員への連絡が確実でなかったという問題があった。そのため、以下の改善を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一斉呼び出しコールバックシステムの導入、一斉同報 FAX 回線の増設、管理職全員への携帯電話の配備等通信設備の強化を行った。 ・事故時対応訓練として、毎日の通報連絡訓練、毎月の一斉通報連絡訓練を導入した。【図 1-3-2】 <p style="text-align: right;">【第 3 回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>情報は早く、どんどん流すことが必要。</p> <p style="text-align: right;">【第 3 回質疑】</p> </div> <p>1) 事故時の迅速な通報連絡の実施など、危機管理意識の高揚を図るため、危機管理教育・訓練を実施している。</p> <p>2) 安全管理体制の充実及び安全の確保、強化の観点から、外部より危機管理・緊急時対応等の専門家を招聘し、サイクル機構の風土にとらわれない視点での指導、助言を受けている。</p> <p>3) 更なる通報連絡改善の活動としては、電力会社での通報連絡改善取組事例の講演会開催、現場の第一線から敦賀本部役員まで意識を統一するための役員懇談会の開催及び問題点の摘出と検討のために実施したアンケートをベースにしたグループ討議等を実施し、協力会社従業員を含め一人一人が発生事象や外部情勢等への感受性を高め、通報連絡の重要性について改めて認識するための、意識喚起を図った。</p> <p style="text-align: right;">【図 1-3-3】</p>
今後の対応	<p>迅速かつ正確な通報連絡を行えるよう、危機管理教育、毎日の通報連絡訓練等を継続して行く。</p>

(1) もんじゅ事故について	
4) 事故時における対応強化を図るため、通報連絡責任者の職務やその活用方策を十分検討すること	
委員会への説明	<p>1) 連絡責任者を24時間「もんじゅ」に常駐させ、外部関係機関への第1報を連絡責任者の判断で直ちに行うこととした。</p> <p>2) 情報専任者を新たに起き、関係箇所への事故情報を一括管理することにより、情報の内容に齟齬が生じないよう情報処理体制の充実を図った。</p> <p style="text-align: right;">【図1-3-1】 【第3回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<p>1) 連絡責任者は技術系の課長クラスの者が当たる。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>技術系の課長クラスの者が24時間常駐するなら、トラブルに係る当直長の判断の補助を行うようにすべきである。</p> </div> <p>2) 「もんじゅ」の試運転体制の強化の一環で、当直長への助言等を考えて行きたい。</p> <p style="text-align: right;">【第3回質疑】</p>
今後の対応	<p>「もんじゅ」が試運転に入る段階までに、当直長への助言体制等を含めて試運転時の運転支援体制の検討を行う。</p>

(1) もんじゅ事故について	
5) 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すること	
委員会への説明	<p>1) 「常陽」メンテナンス建家での火災の「もんじゅ」への反映として、ナトリウムを大気開放下で扱うときはナトリウムの「脱落を想定した対策*1」「散逸を想定した対策*2」「廃棄物への混入を想定した対策*3」などの安全対策を行う。【表 1-5-1、図 1-5-1】 【第 9 回委員会】</p> <p>*1：ナトリウムが脱落しても安全に回収ができるよう、金属製キャッチパンなどを作業場所の下部に設置する。</p> <p>*2：金属製キャッチパンに脱落したナトリウムは、金属製容器に回収する。また、ナトリウムが付着している可能性のある工具、作業服などは、水などで濡れたウエス類で拭き取る。</p> <p>*3：ナトリウムが付着している可能性のある工具、作業服などを拭き取ったウエス類は、全て金属製容器に保管してから処理する。また、作業に使用したゴム手袋など、ナトリウムが付着している可能性のある廃棄物は、全て金属製容器に保管してから処理する。</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<p>1) 作業で脱落したナトリウムが可燃性廃棄物のカートンボックス（紙製）に混入した。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>「常陽」では紙製のカートンボックスを使用しているが「もんじゅ」でも同じか 【第 9 回質疑】</p> </div> <p>2) 「もんじゅ」では紙製の箱は使用しておらず、ナトリウム取扱作業での廃棄物は金属製バットにしばらく置き、危険性が無いことを確認後ドラム缶に詰めている。 【第 9 回質疑】</p> <p>3) ナトリウムを大気開放下で扱うときはナトリウムの「脱落を想定した対策」「散逸を想定した対策」「廃棄物への混入を想定した対策」などの安全対策を行うこととし、これらを事業所規則として徹底する。【図 1-5-2】</p> <p>4) ナトリウムバウンダリーの開放を伴う改造工事については、フェニックス（フランス）及び常陽の経験を参考にし、大気隔離治具を用いてナトリウム系統内への空気混入を防止する工法を採用する。【図 1-5-3】</p>
今後の対応	<p>規則に則り、工事着手までに教育・訓練を行い、安全管理の徹底を行う。 【図 1-2-3～図 1-2-4】【図 1-5-4～図 1-5-11】</p>

(2) ナトリウム漏えい対策について	
1) ナトリウム漏えい燃焼に伴う床ライナの腐食評価については、事故後の知見を十分踏まえて厳しく評価すること（事故時と実験との関係、腐食量評価における温度・漏えい時間・漏えい率との関係やコンクリートからの水分放出の影響、窒素注入による効果、腐食形態の考え方等）	
委員会への説明	<p>1) ナトリウム漏えい率をパラメータとして床ライナ温度を保守的に評価する解析結果に基づき、腐食速度が最も厳しい溶融塩型腐食を仮定して床ライナの減肉量を評価した。その結果、床ライナの最高温度は約 870 、最大減肉量は約 2.6 mm と評価された。【第 3 回委員会】、【第 4 回委員会】</p> <p style="text-align: right;">【図 2-1-1～図 2-1-4、表 2-1-1】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>現実にこの前事故が起こった時のデータと、実験結果のデータとの一致性はあったか。 【第 3 回質疑】</p> </div> <p>1) 事故のときの床ライナは最大 1.5 mm 薄くなっていたが、実験結果による評価方法では 6 mm を超えると評価されることから、非常に過大な評価をしていると言える。 【第 3 回質疑】</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>均一型でなく、腐食が局在化する問題が重要である。 【第 3 回質疑】</p> </div> <p>2) 原因究明の過程で選択腐食、孔食についても検討したが、今回の腐食は全面腐食という腐食形態をとることから、選択腐食、孔食までは考えなくてよいと考えている。 【第 3 回質疑】</p> <p>3) ナトリウム燃焼解析とライナの腐食の評価についてまとめた公開報告書を、ナトリウム漏えい対策の設置変更許可申請書の参考文献とした。</p>

(2) ナトリウムの漏えい対策について	
2) 設備改造を踏まえたナトリウム漏えい時の運転手順書について、想定される漏えいが全てカバーされるかを確認すること	
委員会への説明	<p>1) ナトリウム漏えい対策関連設備の改善にあわせて、ナトリウムの漏えいが発生した場合は直ちに原子炉を停止し、ナトリウムを系統から抜き取るように運転手順を改善する。</p> <p>2) 今後実施するナトリウム漏えい対策設備の改善を踏まえ、種々の漏えい形態に応じた対応手順書を整備する。【図 2-2-1】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p>事故前に比べて、漏えい規模の判断が分かりやすくなったと評価しておきたいが、漏えいの規模が「(ナトリウムが) 保温材の内部にたまる」などの具体例で示されているが、他にも具体例があるのか。</p> <p style="text-align: right;">【第 3 回質疑】</p> </div> <p>1) 漏えいの規模は、実際には、漏えいを検出する検出器の種類で分けている。配管と保温材のすき間にガス系のサンプリングを設けており、そこに(ナトリウムが)漏れてくるとガスサンプリング型の漏えい検出器がヒット(検出)する。</p> <p>2) それから外側に漏れてくると火災検知器やセルモニタが作動するので、それが鳴動した場合にこうするという事で、できるだけ検出器(が鳴った場合こうするという事)で、明確に分けるようにしている。</p> <p>3) 漏えい場所についても、セルモニタがどこでヒットしたかでわかるようにする。 【第 3 回質疑】</p> <p>4) ナトリウム漏えい時の運転手順書については、今後実施するナトリウム漏えい対策設備の総合漏えい監視システムなどからの情報を基に、漏えい発生時の徴候、並びに漏えいの同定のための判断要素をマトリックス表にまとめ、漏えいの判断を容易にすると共に、漏えい場所の同定を行えるよう基本的な運用方法を定めた。</p> <p>5) 更に、漏えいの想定箇所を主たる系統だけでなく、ナトリウム補助系等からのナトリウム漏えいに対する対応手順についても、同様に基本的な運用方法を定めた。</p>

今後の対応	<p>1) ナトリウム漏えい時の運転手順書については、漏えい規模、漏えい場所と漏えい検出の関係において、想定される漏えいが全てカバーするよう、整備する。</p> <p>2) ナトリウム漏えい対策設備の改善に合わせて、シミュレータ設備への反映を図るとともに、種々のナトリウム漏えいに対応したシミュレータ訓練を実施していく。</p>
-------	--

(2) ナトリウムの漏えい対策について	
3) 緊急ドレンに伴うタンク等の健全性評価（熱衝撃）を確実に行うこと	
委員会への説明	1) ナトリウム漏えい対策設備の改善の中で、ナトリウムが漏えいした時には、原子炉を停止し、直ちに漏えいループのナトリウムを抜き取るよう設備改善を行う。
委員会での審議を踏まえた説明	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p>ダンプタンクには熱いナトリウムがドレンされ、またオーバーフロータンクにはホットレグとコールドレグのナトリウムが同時に入るように読み取れるが、タンクの熱衝撃はどうか。</p> <p style="text-align: right;">【第2回質疑】</p> </div>
	<p>1) 以前はなるべく熱衝撃を与えたくないという考え方であったが、その後解析評価して、熱衝撃に対する構造健全性に問題はないことを確認した。</p> <p style="text-align: right;">【第2回質疑】</p> <p>2) 緊急ドレン時の熱衝撃を低減する対策として、高温のホットレグ配管のナトリウムと低温のコールドレグ配管のナトリウムを別々の配管を用いてドレンして大きな温度変化が加わらないようにする等設計上の配慮を行い、配管やタンクノズル等への影響を低減した。その上で熱過渡条件を設定して構造健全性評価を行い、タンクノズル等の健全性に問題がないことを確認した。</p> <p style="text-align: right;">【図 2-3-1～図 2-3-5】</p>
今後の対応	これらの評価結果を踏まえ、ナトリウム漏えい時のドレン運用に反映する

(2) ナトリウムの漏えい対策について	
4) 改造工事計画について、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検討すること	
委員会への説明	<p>1) もんじゅではナトリウム漏えい対策設備設計を進める上で必要となる以下のような確認試験を実施している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・セルモニタの設置（煙感知器の感度確認試験） ・ドレン系の改造（実機ドレン時間測定試験） ・換気空調設備の改造（ダクト、ダンパの耐熱性能確認試験など） ・窒素注入設備の追加及び区画（窒素ガス注入による燃焼抑制効果確認試験、窒素ガス混合率確認試験など）【図 2-4-1～図 2-4-9】 <p style="text-align: right;">【第 4 回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<p>1) ナトリウム漏えい対策の改善方策の妥当性を調べるためには、総合的な実験ではなく、項目ごとに要素実験で確認してきた。 【第 4 回質疑】</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>要素試験は重要ではあるが、各要素の試験をやっても総合的な効果というものをチェックしておかないと、要素のインタラクションを見落とすということがあり得るので、総合的な試験を行うことは重要。【第 4 回質疑】</p> </div> <p>2) 総合的な実験については、今後検討していく。 【第 4 回質疑】</p>
今後の対応	<p>ナトリウム漏えい対策設備の改善工事終了後に、工事確認試験の一環として対策設備の機能を確認することを検討中。</p>

(3) 温度計の破損と交換について	
1) 新しく採用する温度計は流力振動評価を確実に行うこと	
委員会への説明	<p>1) 温度計は、日本機会学会が定めた「配管内円柱状構造物の流力振動評価指針」に基づき、温度計さやの突き出し長さを短くし、剛性を増すなど、同期振動を回避、抑制することで流力振動を防止するとともに、さやをテーパ状とすることにより応力が集中しない形状に改良する。</p> <p>【図 3-1-1～図 3-1-3】</p> <p style="text-align: right;">【第 3 回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<p>1) 水流動試験でも温度計は振動しないことを確認している。【第 4 回質疑】</p> <p>2) 改良温度計については、設計及び工事の方法の変更認可申請を行い、日本機会学会が定めた「配管内円柱状構造物の流力振動評価指針」に基づいて行った流力振動に対する健全性評価等について審査され、平成 14 年 6 月 28 日に経済産業大臣から認可を受領した。</p>

(3) 温度計の破損と交換について	
2) 新方式の温度計開発にも努力すること	
委員会への説明	<p>1) 2次主冷却系温度計の改良とは別に、配管外からナトリウム温度を計測できる超音波温度計を開発し、「もんじゅ」への適用性検討を行っている。</p> <p style="text-align: right;">【図 3-2-1】 【第 3 回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>超音波温度計は、現在どの位の精度がえられているか 【第 3 回質疑】</p> </div> <p>1) 従来使っている温度計との比較でみると、わずかな誤差で測れているという実験結果が得られている。 【第 3 回質疑】</p> <p>2) 超音波温度計は、ナトリウム中の音速が温度により変化することを利用して温度計測を行うものであり、「もんじゅ」の2次主冷却系ナトリウム漏えい事故の議論を踏まえ配管内への挿入を必要としない温度計として開発を行った。超音波温度計の有効性については、茨城県大洗工学センターにあるナトリウム試験ループを用いて試験を実施し、熱電対を用いた温度計と同等の計測精度と温度応答性を有することを確認した。</p>
今後の対応	<p>「もんじゅ」の2次主冷却系配管に試験的に超音波温度計を設置し、実機への適用性を確認していく。</p>

(3) 温度計の破損と交換について	
3) 国の審査対象外の装置や機器について、品質保証とその健全性を十分確認すること	
委員会への説明	
委員会での審議を踏まえた説明	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p style="text-align: center;">一般の産業にいくらかでも使われている汎用品の健全性確認をどう検討しているかが重要。 【第3回質疑】</p> </div> <p>1) 安全総点検にて、中間熱交換器、過熱器・蒸発器、空気冷却器等の熱交換器伝熱管について、約 23350 箇所、原子炉容器、1 次冷却系設備、2 次冷却系設備、メンテナンス冷却系設備、炉外燃料貯蔵設備の内部構造物、約 5130 部品について、健全性の確認を行った。また、「もんじゅ」の設計から試運転に至るまでの品質保証体系とその具体的な活動状況を点検した。</p> <p>2) 以上のように国の審査対象外の設備・機器も含めて安全総点検でその健全性を確認したが、今後実施する改造工事においても、国の審査対象外の機器について、健全性確認をきちんと行うよう品質保証のあり方を改善した。</p> <p>3) 具体的には、「設計審査要領」を事業所規則として制定し、設計審査の着眼点、審査にあたっての視点を明確にした。この中で、ナトリウム内包壁の健全性、対象部品が破損した場合の影響評価も含めて確実にチェックするようにした（2 次系温度計については実施済み）。</p> <p style="text-align: right;">【図 3-3-1】</p>
今後の対応	ナトリウム漏えい対策工事に係る詳細設計、製作設計等をはじめ、もんじゅでの改造について、上記「設計審査要領」に基づき確実に設計審査を行っていく。

(4) 蒸気発生器の安全性について	
1) ナトリウム・水反応の研究成果を明確にし、伝熱管の高温ラブチャ発生の有無について十分確認すること(ナトリウム・水反応の最高温度、破損評価の考え方等)	
委員会への説明	<p>1) 「もんじゅ」の蒸気発生器を対象に、ナトリウム・水反応試験施設 SWAT を用いて、小リーク試験、大リーク試験、破損伝播試験、検出系の開発等を実施し、想定しうる最大規模の水リークに対してもシステムの健全性を損ねることなく事故は安全に終息することを実験と解析により確認した。</p> <p style="text-align: right;">【図 4-1-1】 【第 4 回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<p>1) 大洗での実験結果に基づいてナトリウム・水反応による伝熱管外面の加熱条件を厳しく設定し、かつ、軽水炉の研究成果に基づいて伝熱管内面の水・蒸気による除熱条件を厳しく設定して解析した場合でも、周辺の伝熱管に高温ラブチャ型の破損伝播は生じないことを確認した。</p> <p>2) 前項で用いた解析手法の詳細、検証結果、もんじゅへの適用解析結果等をまとめた公開報告書を平成 13 年 6 月 6 日に提出した原子炉設置変更許可申請の設置変更許可申請書の参考文献とした。</p>

(4) 蒸気発生器の安全性について	
2) 伝熱管漏えいの検知とその後のプラント対応について、信頼性確保の観点から十分確認すること（漏えい規模と検出までの時間、水素計など漏えい検出器の特性と位置付け、ブローダウンの時間的挙動他）	
委員会への説明	<p>1) 蒸気発生器伝熱管破損時には、原理の異なった検出設備（水素計、カバーガス圧力計、圧力開放板開放検出器）により確実にそれを検出する。その検出信号により蒸気発生器を隔離するとともに原子炉を停止し、蒸気発生器から水・蒸気を排出して、ナトリウム・水反応を止める手順としている。</p> <p style="text-align: right;">【図 4-2-1～図 4-2-6】 【第 5 回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<p>1) 伝熱管が破損した場合、漏えいした水・蒸気がナトリウムと反応して水素が発生、カバーガス圧力が上昇する。以下の方法を用いて、これを検出する。</p> <p>(1) 水素計 ナトリウムまたはカバーガス中の水素濃度の異常な上昇を水素計により検出する。水素計により、0.02mm 程度の太さの孔（漏えい率で 5×10^{-5}kg/s）からの漏えいの場合でも 10 分程度以内で検出することが可能である。</p> <p>(2) カバーガス圧力計 通常運転時の蒸気発生器カバーガス圧力は約 98kPa [gage] であるが、水素発生により約 150kPa[gage]まで上昇すると水漏えい信号が発信する。カバーガス圧力計により、高温ラプチャ評価上最も厳しい 1.5kg/s 程度の漏えい時において、約 15 秒以内で検出することが可能である。</p> <p>(3) 圧力開放板（ラプチャディスク）及び開放検出器 カバーガス圧力がさらに上昇した場合に過度の圧力上昇を抑制するため、カバーガス部に圧力開放板を設置している。圧力開放板は、所定の圧力（約 300kPa [gage]）になると破裂し、この破裂を開放検出器により検出する。約 50kg/s の大漏えい時には、約 1 秒で開放する。</p> <p>2) 蒸気発生器伝熱管破損時は、漏えい発生信号により、原子炉を停止するとともに、当該ループでは以下の措置が講じられる。</p> <p>(1) 2 次主冷却系 蒸気発生器出入口止め弁を閉め、蒸気発生器を隔離する。このことにより、中間熱交換器その他の機器の健全性に影響を及ぼすことを防止する。</p> <p>(2) 水・蒸気系 水漏えいが継続すると、隣接する伝熱管に影響が及ぶ可能性がある。この影響を抑制するため、蒸気発生器前後の止め弁を閉め、放出弁を開き、蒸気発生器内の水・蒸気を急速に排出する。排出した後は伝熱管内に窒素ガスを充填し、ナトリウム・水反応を終息させる。水・蒸気の排出（ブローダウン）に必要な時間は約 100 秒以内である。</p>

委員会での審議を踏まえた説明

3) 前項で用いた解析手法の詳細、検証結果、もんじゅへの適用解析結果等をまとめた公開報告書を平成13年6月6日に提出した原子炉設置変更許可申請の設置変更許可申請書の参考文献とした。安全審査(2次審査)において、伝熱管破損時の蒸気発生器の安全性について審査されている。

(4) 蒸気発生器の安全性について	
3) 50MWの蒸気発生器モデルでの実験結果や海外炉での事故原因等を詳細に検討して安全確認を行うこと	
委員会への説明	<p>1) 1987年に英国の高速原型炉 PFR の過熱器で定格出力運転中に伝熱管 40 本が破損する事故が発生した。これは、ナトリウム中水素計が故障していたこと及び水・蒸気の高速放出系が設置されていなかったことに起因して高温ラプチャ型の破損伝播が生じたものである。これに対し、「もんじゅ」では、微小な水漏れいでも検出できる高感度の水素計を設置して水漏れいを監視しており、水素濃度が監視できない状況での運転は行わないこと、さらに蒸発器、過熱器ともに高速減圧系を備えており、これにより伝熱管内の水・蒸気を急速に放出することとしている。</p> <p style="text-align: right;">【第5回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>もんじゅの伝熱管はヘリカルコイルであり、縦型に支持されているという他にない構造になっているが、フレットィングが起らないようにするなどの研究をやっているのか。</p> <p style="text-align: right;">【第5回質疑】</p> </div> <p>1) 50MWの蒸気発生器試験施設を作り、フレットィングが起きないかなどもについても実際に確認している。</p> <p style="text-align: right;">【第5回質疑】</p> <p>2) 50MW 蒸気発生器は「もんじゅ」のプロトタイプとして設計、製作及び運転試験を行い、製作技術の確立、構造健全性及び性能の実証等、各種の知見を蓄積してきた。50MW 蒸気発生器は約 35000 時間の運転経験を積んでおり、その間、伝熱管の水漏れいは発生していない。</p> <p style="text-align: right;">【図 4-3-1～図 4-3-6】</p> <p>3) 「もんじゅ」実機の蒸気発生器の設計、製作には、スケールアップ効果を考慮しつつ、上記の知見が十分に反映されている。</p>

(4) 蒸気発生器の安全性について	
4) 伝熱管漏えい後の対応措置(補修方法等)について、信頼性向上のための事前検討を十分行うこと	
委員会への説明	<p>1) 伝熱管からの水漏えい後の対応措置(補修方法等)に関わる基本的対応方針は既に検討しており、基本的な補修方法として、プラント停止後、破損した伝熱管を同定して管束部を引き抜くか、もしくは伝熱管の施栓を実施するかを考えている</p> <p style="text-align: right;">【第6回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>伝熱管漏えい後の原因究明、補修はどのような手順か 【第5回質疑】</p> </div> <p>伝熱管からの水漏えい後の対応方針は、下記のとおりである。</p> <p style="text-align: right;">【図4-4-1、図4-4-2】</p> <p>1) 伝熱管破損が発生した場合、プラント停止後に体積検査、漏えい試験等での伝熱管で破損が生じたのかを確認し、その後伝熱管に栓をする。</p> <p>2) 周囲伝熱管への影響が大きい場合、管束部を引き抜いた後に管束部の部分補修又は交換する。</p> <p>蒸気発生器伝熱管破損時の具体的な対応措置は、漏えい規模、破損箇所によって異なるため、原因究明、補修の詳細な方法、手順は、破損状況により定める。</p>
今後の対応	<p>万一蒸気発生器伝熱管破損に備えて伝熱管の施栓や管束を引き抜くための装置の検討を行う。</p>

(5) 蒸気発生器の検査装置について	
1) 蒸気発生器製作時の品質管理や構造的特徴を十分配慮すること	
委員会への説明	<p>検査装置は蒸気発生器の特徴であるヘリカルコイル型の形状や長尺、材質を考慮して開発されており、モックアップ設備（実物大模擬試験装置）において性能を確認している。【図 5-1-1】</p> <p>また、蒸気発生器伝熱管に想定される欠陥は設計製作段階で発生原因を取り除くよう検査等により対策を講じている。 【図 5-1-2】</p> <p style="text-align: right;">【第 3 回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<p>「もんじゅ」の蒸気発生器伝熱管の検査装置は、以下に示すように製作時の品質管理や構造的特徴を考慮している。</p> <p>1) 製作時の品質管理</p> <p>蒸気発生器伝熱管は、プローブ（検査装置）の挿入性を考慮し、製作時の放射線透過試験（RT）による溶接部の形状（裏なみ形状）の把握や玉通しによる内径管理を行っている。</p> <p>伝熱管のUベンドの扁平率を計測して設定値以下であることを管理することによりプローブ（検査装置）の挿入が可能であることを確認している。</p> <p>【第 3 回委員会】【図 5-1-2】</p> <p>2) 構造的特徴</p> <p>伝熱管に影響のない不活性ガス（窒素ガス）での圧送方式を採用した。蒸気発生器の特徴であるヘリカルコイル型長尺、細径（約 24mm）伝熱管の全長を検査できるようプローブ形状・センサを設定した。【図 5-1-3】</p> <p>軽水炉の蒸気発生器伝熱管検査に実績があり、検査時間等に優れている渦流探傷検査（ECT）を選定した。【図 5-1-4】</p>
今後の対応	今後、検査性能の向上や運転を考慮して検査装置の開発を継続する。

(5) 蒸気発生器の検査装置について	
2) 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すること	
委員会への説明	<p>1) 蒸気発生器伝熱管の耐圧漏えい検査は、法令に基づく使用前検査である。 【図 5-2-1】</p> <p>また、渦電流探傷検査は、原子炉設置許可申請書添付資料八追補で供用期間中検査の体積検査と位置づけられている。 【第 3 回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<p>1) 蒸気発生器の伝熱管は、製作据付段階で耐圧漏えい検査を行い健全であることを確認している。また、試運転段階では、渦電流探傷検査装置の実証と合わせて全数の伝熱管に異常のないことを確認している。</p> <p>2) 蒸気発生器は、原子炉冷却材バウンダリを構成する機器ではなく、原子炉の崩壊熱除去機能を有する機器でもないが、伝熱管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伝熱管の供用期間中検査の体積検査として渦電流探傷検査を実施する。 【図 5-2-2】</p>
今後の対応	<p>渦電流探傷検査は、供用期間中検査として定期検査期間中に実施する方向で、詳細な計画を詰めていく。</p>

(5) 蒸気発生器の検査装置について	
3) 渦流探傷装置での信号検出性能等を十分検証すること（信号の再現性、信号位置の同定方法、一般産業での実績等）	
委員会への説明	<p>1) 現有装置の信号検出性能等を第3回委員会で説明 現有装置でも支持部などの信号を検出し、センサ位置を正確に把握できる。 【表5-3-1、図5-3-1】</p> <p>2) 渦電流探傷の適用例 ・火力発電所や石油プラントにおける熱交換器の伝熱管、ガス埋設管の検査に適用している例がある。製造工程での素材検査、製品、保守検査など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。 【表5-3-2】 【第3回委員会】</p> <p>3) 信号検出性能（信号の再現性、信号位置の同定） 従来より一層欠陥検出性に優れた検査装置を目指し、 (1) センサー技術：欠陥検出性能の向上 (2) プローブ技術：ノイズレベルの低減、伝熱管円滑挿入 (3) データ解析技術：リアルタイムでの判定 を中心に技術開発を進めている。組合せ試験、総合機能試験で信号検出性能等を十分検証していく。【図5-3-2】 【第6回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>ひび割れの検出性は。 溶接をしている（継手部の）ところの欠陥について、なにか特別の対策をとられているのか。 ナトリウムの純度をあげると外面からの腐食はほとんどないはず。むしろ、起こるとしたら内面の水の方からのはずである。管の外面が検査しにくいクロモリ（クロムモリブデン鋼）でも外面より内面に対する（検査）精度あげた方がよいのではという気もする。【第3回質疑】</p> </div> <p>(1) クロモリ鋼外面スリット状欠陥は、0.5mm幅、10mm長さのノッチ状欠陥では75%深さまで検出できる。内面の検出性能は高く50%まで検出できる。 【第3回委員会 表5-3-3】</p> <p>(2) 溶接部については、外面においても現状20%減肉の検出が可能である。溶接部の欠陥検出性能の向上のため、溶接の影響を取り除き欠陥信号を取り出す手法の検討を行っている。</p> <p>(3) 内面の検出性能向上とスリット状欠陥の検出も可能なように軽水炉用に開発された最新のECTセンサの導入を検討している。【図5-3-2】 【第6回委員会】</p>

今後の対応	<p>1) 渦流探傷装置での信号検出性能等の検証</p> <p>技術開発を進め、開発した検査装置について ISI 校正試験施設を用いて、組合せ試験、総合機能試験を実施し、信号の再現性能、欠陥位置の同定性能を確認していく計画である。【 図 5-3-2、図 5-3-3】</p> <p style="text-align: right;">【第 6 回委員会】</p>
-------	--

	(5) 蒸気発生器の検査装置について
	4) 欠陥検出の精度向上に向け、今後とも開発に努めること
委員会への説明	<p>センサ改良等の実績 【表 5-4-1】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 実機データのノイズ除去検討 ・ 大洗で検討したノイズ対策プローブの試作 ・ 最新センサ技術の採用と試験 <p>検査装置の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 電磁場解析によるプローブ開発 ・ ノイズレベル低減 ・ 検査データのオンライン処理化 <p>伝熱管の実物大模擬試験装置の設置</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 伝熱管検査装置の改良試験および訓練のために実物大模擬試験装置（校正試験設備）を設置した。 <p style="text-align: right;">【3回委員会】【第6回委員会】</p> <p>2) 蒸気発生器伝熱管検査装置の検査精度の更なる向上</p> <p>割れ状欠陥の検出も含め従来より一層欠陥検出性に優れた検査装置を目指し、「センサ技術、プローブ技術、データ解析技術」を中心に技術開発を進めている。</p> <p style="text-align: right;">【第6回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>渦電流探傷試験は、減肉に対しては有効だが、溶接線で割れるようなものについては非常に検出しにくいのではないかと。新しい技術はどんどん進んでいくだろうが、その点（新しい検査）について、現在どのように努力しておられるのか。 【第5回質疑】</p> <p>計画的に研究開発が進められているが、この開発を早く進めることは可能か。 【第6回質疑】</p> </div> <p>(1) 割れ状欠陥の検出も含め従来より一層欠陥検出性に優れた検査装置を目指し、「欠陥検出性能の向上、ノイズレベルの低減、伝熱管への円滑挿入、検査データのリアルタイムでの判定」を中心に技術開発を進める。</p> <p>【図5-4-1】【図5-4-2】</p> <p>(2) 開発はなるべく早くしたいと考えている。遅くとも「もんじゅ」の第1回定検に使用できるよう開発する。</p>

今後の対応	<p>1) 蒸気発生器伝熱管検査装置の開発</p> <p>ISI 校正試験施設を用いて、開発した検査装置の実機適用性を確認していく計画である。</p> <p style="text-align: right;">【第6回委員会】</p>
-------	--

(6) 放射線管理について	
1) 放射化ナトリウムによる被ばく低減を図るため、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すること	
委員会への説明	<p>1) ナトリウムの純度管理は、構造材の腐食量抑制の観点から保安規定にも管理目標値（酸素：3ppm以下）を記載した管理を行っている。 【第4回委員会】</p> <p>2) ナトリウムは、コールドトラップ（浄化装置）で常に純化（不純物除去）しながら運転しており、実験炉「常陽」等の運転実績からも、放射化ナトリウムによる被ばくが十分低く抑えられることが出来ることが示されている。 【第4回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>ナトリウムの純化による構造材の腐食量低減策は理解するが、枝管等のナトリウムの流れがよどむ箇所は心配である。【第4回委員会質疑】</p> </div> <p>1) 高速炉の1次冷却系における主要な線源は、放射化ナトリウムと放射性腐食生成物（CP）である。</p> <p>2) ナトリウムの純度は、1次ナトリウム純化系（不純物除去）のコールドトラップ（浄化装置）で浄化し、プラグング計（純度測定装置）で監視している。 【図6-1-1】【図6-1-2】【図6-1-3】</p> <p>2) 実験炉「常陽」等の運転実績からは、よどむ箇所での腐食が進むようなことはない。</p> <p>3) 実際の定期点検に際しては、放射化ナトリウム（^{22}Na・^{24}Na）が最も強い線源となるが、被ばく低減を目的に、1次系のナトリウムは全て（よどむ箇所を含む）貯蔵タンクに排出し、作業現場雰囲気線の線量率を下げた後から実施するため、被ばくへの寄与はほとんど無い。</p> <p>4) 実験炉「常陽」の運転実績からは、放射化ナトリウムよりも機器配管に付着した放射性腐食生成物（^{54}Mn・^{60}Co）による被ばくへの寄与が大きい。 【図6-1-4】</p>
今後の対応	<p>「常陽」での運転実績、「もんじゅ」での知見を基に、運転開始以降にあっても常に被ばく低減に努め、改善策を進めていく。</p>

(6) 放射線管理について	
2) 常陽の放射線管理の実績を評価し、被ばく低減に努めること	
委員会への説明	<p>1) 「もんじゅ」の1次冷却系において放射性腐食生成物（CP）の挙動については、実験炉「常陽」での実測データ、及びその他海外炉の知見を基に解析評価されている。 【第4回委員会】</p> <p>2) 「もんじゅ」では、建設初期から「常陽」の知見、及びその解析結果に基づき、材料、機器構造、設備配置の改善、保守点検の自動化等、被ばく低減に係る種々の施策を実施しており、今後も被ばく低減に努める。 【第4回委員会】</p>
委員会での審議を踏まえた説明	<p>1) 一層の被ばく低減を目的として、被ばく予測評価手法の高度化（線源の生成、系統内分布、放射線量の予測評価）を進めている。</p> <p>2) 実験炉「常陽」での実測データ等を基に「もんじゅ」の1次冷却系の機器配管の線量率を解析評価した結果、「常陽」の実績と同じ程度（約1mSv/h）であり、軽水炉と比べても同程度と予想できる。 【図6-2-1】【図6-2-2】</p> <p>3) 将来的な被ばく低減化を目的とした追加遮へい体の設置、作業の遠隔化を目的とした監視カメラ（ITV）の設置等を進めている。</p>
今後の対応	<p>「常陽」での運転実績、「もんじゅ」での知見を基に、運転開始以降にあっても常に被ばく低減に努め、改善策を進めていく。</p>

(6) 放射線管理について	
3) 放射性廃棄物や放射線モニターの情報公開取り組むこと	
委員会への説明	1) 「もんじゅ」では、電気出力の他、排気筒モニタ、排水モニタ、モニタリングポスト、モニタリングステーションの放射線情報をインターネット上で既に公開している。 【第4回委員会】
委員会での審議を踏まえた説明	1) 従来から環境放射能測定結果については、「福井県環境放射能測定技術会議」に報告し、「福井県原子力環境安全管理協議会」等の場で公表している。 2) 福井県のテレメータ（原子力環境情報ネットワークシステム）へデータ送信し、公表されている。
今後の対応	上記の公表を継続して行っていく。

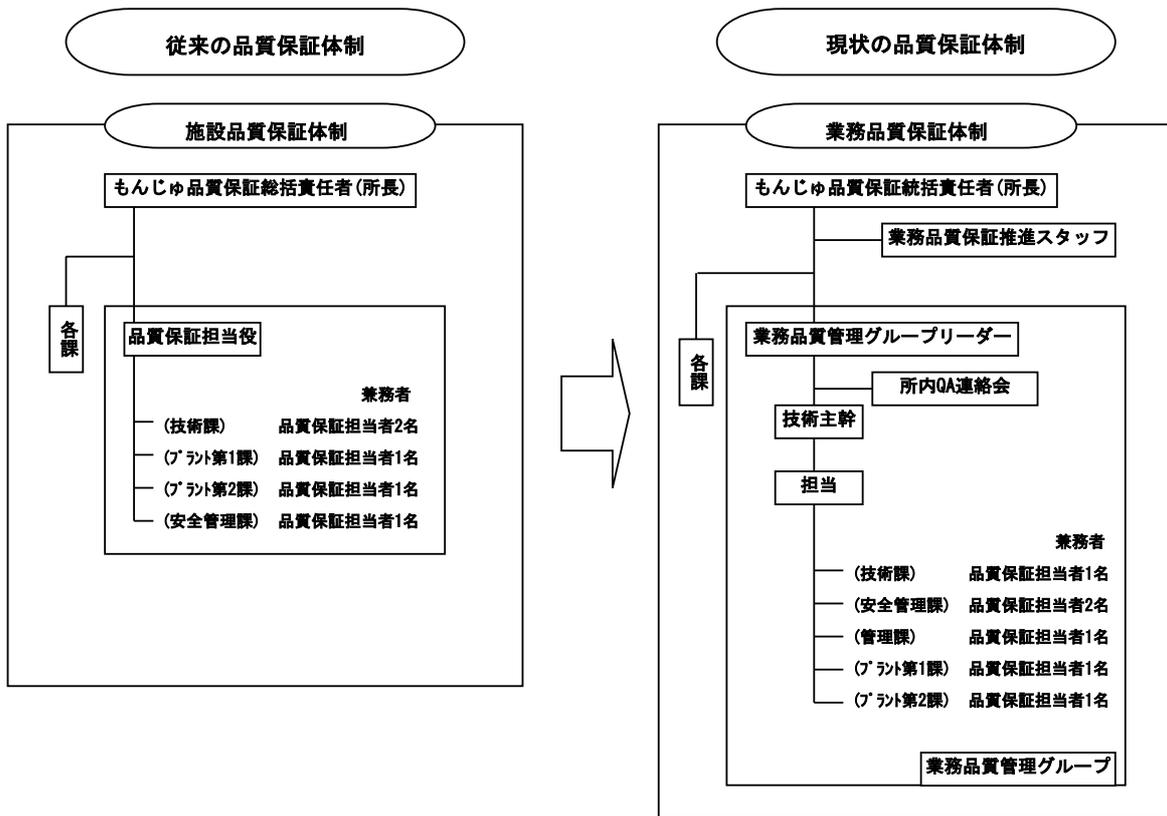


図1-1-1 品質保証活動体制の強化

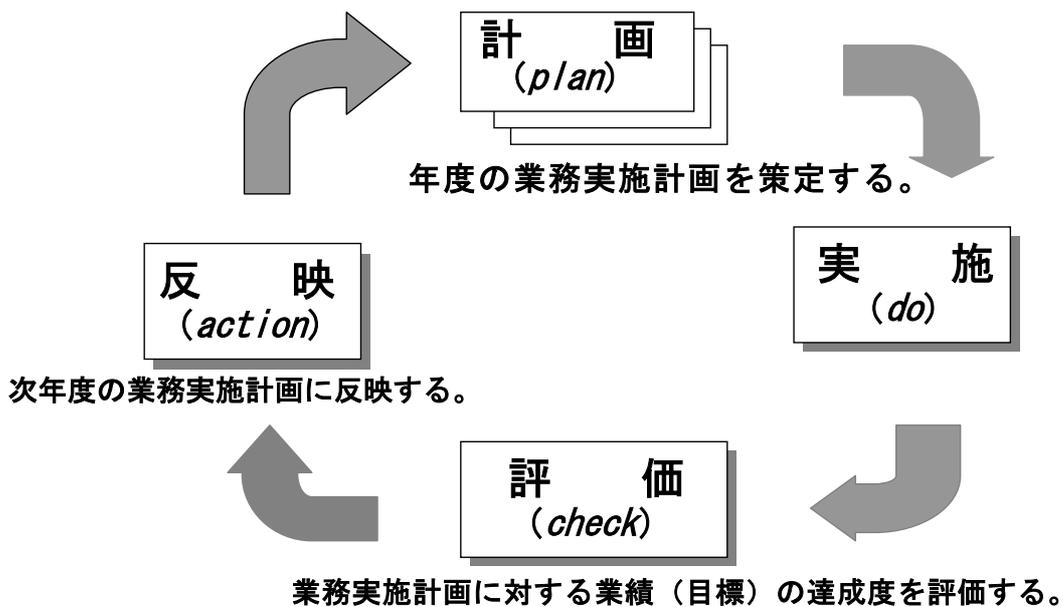


図1-1-2 PDCAの管理サイクル

指 導 会

- 目 的**：重要な個別の問題について外部有識者の指導・助言を得ながら解決し、合わせて問題解決手法を修得する。
- 実施体制**：テーマ毎に管理職を含む検討チームを編成して実施
- 頻 度**：指導会は4回／年開催
- 実 績**：平成13年度もんじゅの実績
『保修員の資格制度の導入検討』
- 報 告 会**：毎年、成果報告会を本社で開催
平成13年度：7事業所、11テーマを発表

図1-1-3 指導会

品質監査

- 目 的**：業務品質保証活動の実施状況及びその有効性を確認する。
- 監 査 員**：監査の職にあるもの（理事長が任命）が経験、専門能力等を考慮して監査員を指名する。尚、監査員に外部のISO主任審査員を加えている。
- 監査の計画**：品質保証推進部長が年度監査計画を策定し、理事長の承認を得る。
- 監査の実施**：監査の計画に従い毎年定期的に品質監査を実施する。

図1-1-4 品質監査

表1-2-1 運転手順書の改善

<p><運転手順書の構成、様式などの変更></p> <p>○異常時及び故障時運転手順書の構成、様式などの変更</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「概要」、「フローチャート」、「細目」としての手順書構成を、「細目」の運転手順をベースに整理、統合、運転操作及びプラント状態確認のためのチェックシートを追加。 ・設備別運転手順書を参照することなく運転可能なように記載を充実。 ・当直長が行う通報連絡に関し、連絡先、連絡内容等をわかり易く記載。 ・ナトリウム漏えいや放射性物質の漏えい事象については、巡視点検、現場確認及びパラメータの変化により異常の発生が確認された場合の取るべき措置についても具体的に記載。 ・原子炉格納容器隔離復旧手順など、安全保護系動作後の復旧手順を整備。 ・記載文字を大きい文字にして見やすくすると共に、重要な箇所は目立つ記載。 <p>○プラント起動・停止手順書、定期・定例試験手順書は、チェックシート方式を採用。</p> <p>○設備別運転手順書のうち運転操作に必要な部分以外は、教育資料として分離・整備。</p>
<p><異常時及び故障時運転手順書の体系見直し></p> <p>○現在故障時運転手順書等で定められている機器からのナトリウム漏えいに係わるものは、すべて異常時運転手順書として再整備。</p> <p>○事象の進展、程度が同様なものを対象としている異常時運転手順書と故障時運転手順書については、手順書の重複化を避け、異常時運転手順書に含めて一本化。</p>
<p><異常時の対応手順の更なる強化></p> <p>○今後実施するナトリウム漏えい対策設備の改善を踏まえ、種々の漏えい形態に応じた対応手順書を整備。</p> <p>○原子炉施設内の一般火災に対して、火災発生場所・状況に応じ、プラント停止を含む運転上の対応手順を具体的手順として定める。</p> <p>○徴候ベースの運転手順書について、本格運転開始時期を目標に整備・導入。</p>
<p><手順書審査体制の強化></p> <p>○ナトリウム内包設備及び燃料破損に係る事項は大洗工学センター、水・蒸気系、タービン発電機に係る事項はふげん発電所の意見を求めることとした。</p>

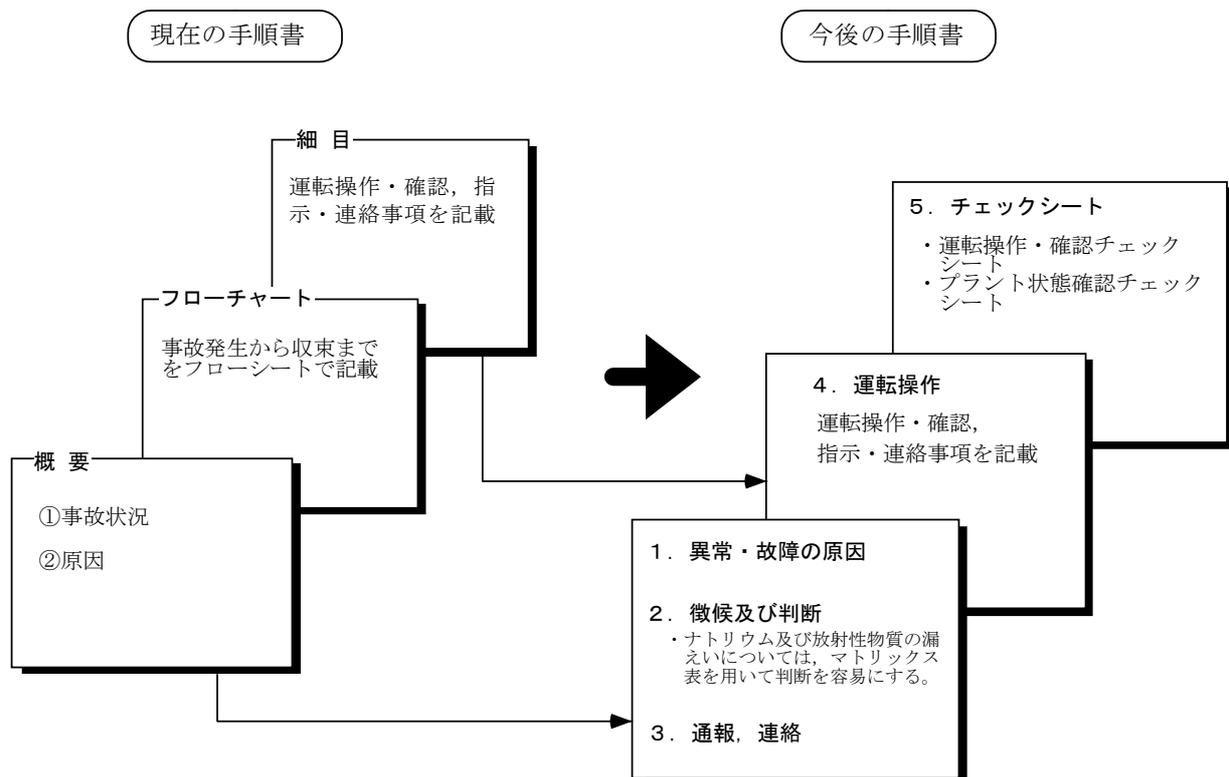


図1-2-1 異常時及び故障時運転手順書の構成・様式の変更

事故の問題点

- シミュレータを中心とした中央制御室内の運転操作訓練が主体であり、種々の現場状況を想定した訓練が不足。
- 設計時の考え方についての教育が十分でなかった。
- 運転員の基本動作訓練についても異常の早期収束の観点が徹底されていない面があった。



- 事故後に追加・変更した教育訓練内容（平成8年4月以降導入）
- <机上教育>
 - 設計時の考え方、運転員が遵守すべき規定類などに関する設置許可申請書教育、所内規定教育及び法令教育の強化
 - <シミュレータ訓練>
 - シミュレータ訓練においても、ナトリウム漏えい事故での現場の白煙発生状況を模擬映像で確認できるよう、シミュレータの改造を実施し、平成10年度から訓練に導入
 - <実技訓練>
 - ナトリウム取扱・消火訓練（運転員全員を対象に1回/年実施）
 - 現場実技訓練（運転員全員を対象に2回/年実施）
 - 異常時模擬訓練（実プラントでのナトリウム漏えい時の基本動作模擬訓練を追加。）

さらに改善すべき事項がないか点検

- 総点検結果に基づく改善策
- <教育訓練内容の更なる強化>（平成10年4月より実施）
 - 基礎知識教育の充実
 - ・新卒の初級運転員を対象とした機械・電気・計測制御の基礎訓練
 - ・新卒の訓練運転員を対象とした電気・計装の基礎・保全のパソコン利用のCAI（コンピュータ支援）教育
 - 繰返し教育訓練すべき項目の充実
 - ・運転心得、保安規定、事故事例教育などを繰返し実施
 - 連絡責任者に対する教育訓練の明確化
 - ・連絡責任者を対象、シミュレータを用いたプラント挙動の理解や運転直との連携の訓練
 - <教育訓練充実のための環境整備>
 - 運転員に対する十分な教育訓練期間の確保
 - 6班3交替制の導入について、運転再開時期を目途に検討を進める。
 - 教育訓練のガイドラインを整備・充実（平成10年度実施）
 - シミュレータ設備機能の更なる充実
 - ・ナトリウム漏えい対策に伴う設備改善の反映
 - ・模擬能力・範囲の拡大の検討
 - ・実機運転データのシミュレータ設備への反映（平成9年度にプラント出力40%までの実機運転データを反映済み）

図1-2-2 運転員教育訓練の改善



運転訓練シミュレータ

- ◆通常操作訓練（起動停止操作訓練等）
- ◆異常時対応訓練
- ◆特性試験等手順書の妥当性確認



FBRサイクル総合研修施設

- ◆ナトリウム取扱研修
- ◆保守研修
 - 「もんじゅ」固有設備機器の保守技術
 - 一般汎用保守技術

図1-2-3 運転訓練シミュレータ & FBRサイクル総合研修施設

研修の種類	研修目標	研修項目
運転員研修	もんじゅ運転員として、通常運転技能、異常時対応スキルの習得	シミュレータ研修 ナトリウム研修 保守研修
保守員研修	通常保守及び緊急時の保守対応スキルの習得	保守研修 ナトリウム研修
FBR技術者研修	経験年数に応じてFBRに関する設計の根拠や手法等の技術情報の習得	FBR基礎講座 FBR応用講座
特別研修	「もんじゅ」開発の歴史、仏国特別ナトリウム研修、他	公開講座 講演会

図1-2-4 研修全体計画の枠組み

- (1) 運転技術習得コース
 - ・ 初級コース／系統教育（28日間）
 - ・ 中級コース／安全評価教育（13日）
 - ・ 上級コース／事業所規則教育（8日間）
 - ・ 当直長補佐コース／法令教育（6日間）
 - ・ 運転責任者コース（1日間）
- (2) 運転技術向上コース
 - ・ 直内連携コース
 - ・ 直間連携コース
 - ・ リフレッシュコース

図1-2-5 シミュレータによる運転員訓練コース



系統教育



シミュレータ訓練

図1-2-6 系統教育・初級シミュレータ訓練

- ・ シミュレータを中心とした中央制御室内の運転操作が主体であり、種々の現場状況を想定した訓練が不足。
- ・ 設計時の考え方についての教育が十分でなかった。
- ・ 運転員の基本動作訓練についても異常の早期収束の観点が徹底されていない面があった。

図1-2-7 事故の反省事項

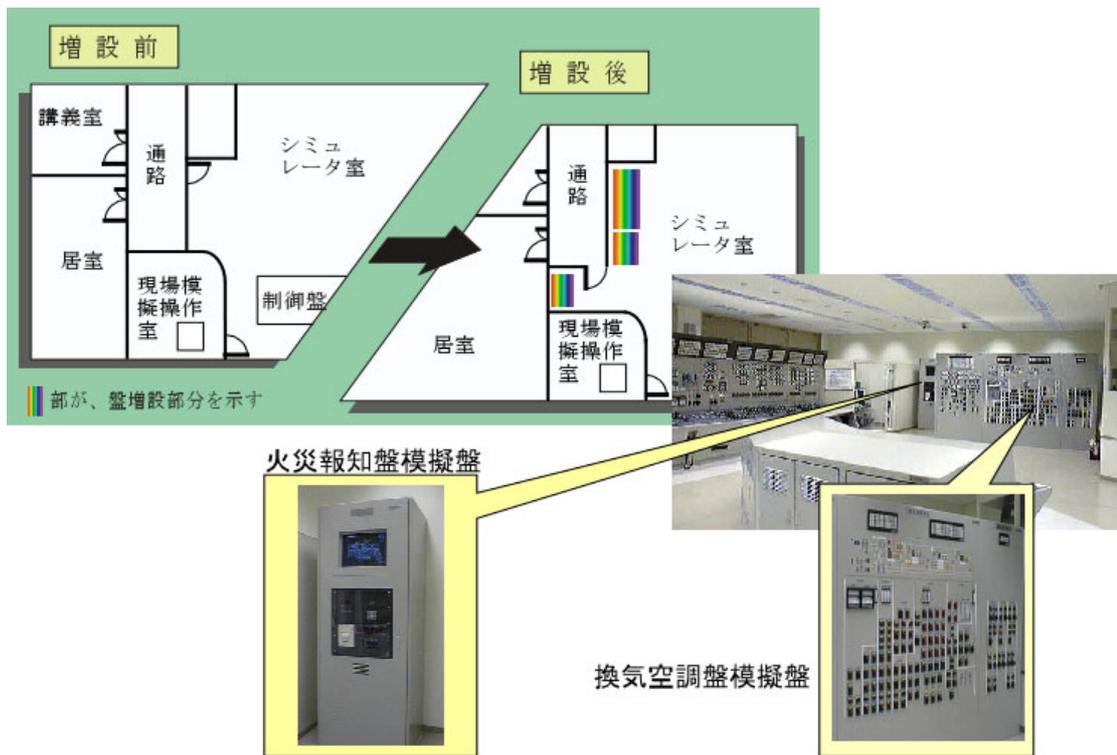


図1-2-8 シミュレータ改造～火災報知盤・換気空調盤の追加～

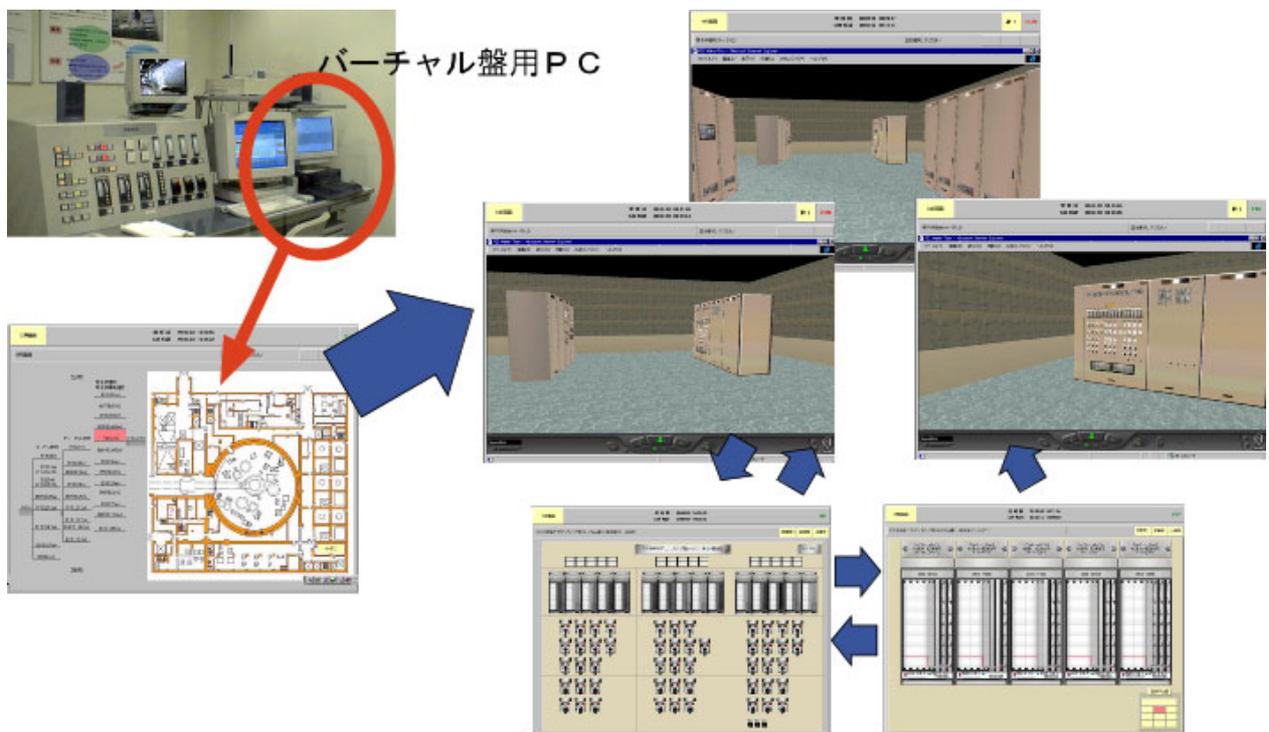


図1-2-9 シミュレータ改造～ナトリウム漏えい監視盤のバーチャル化～

Na漏えい模擬映像表示装置



シミュレータから
故障模擬を設定

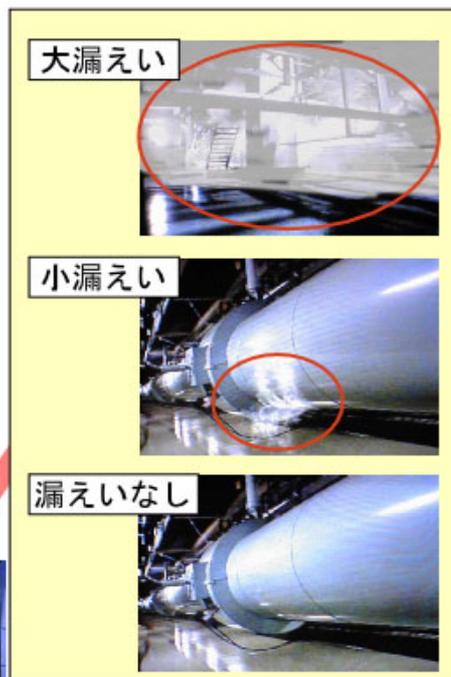


図1-2-10 シミュレータ改造～ナトリウム漏えい現場確認映像～

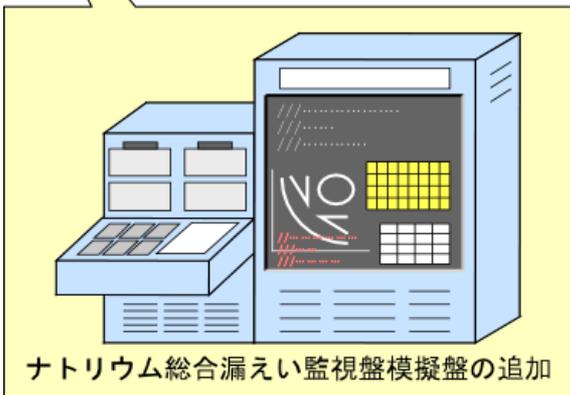
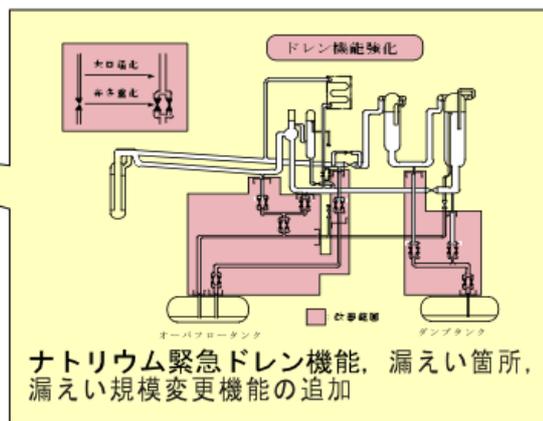


図1-2-11 今後のシミュレータ改造計画

事故の問題点

- 通報連絡体制は、本社に報告し、事業団(当時)内で事実関係を確認した上で、国及び地方自治体の双方に対して同時に通報連絡を行うことになっていた。その結果、事故発生時の第1報については、迅速さにかけることになった。
- 事故が夜間に発生したこともあり、事業所関係者及び本社への連絡に時間を要した。
- 現場の状況を正確に把握し、関係機関に正しく報告する基本に対し、本社～事業所間等における情報ルートが円滑に機能せず、関係機関への正確・迅速な情報提供ができなかった。



改善策

- 連絡責任者判断による第一報
外部関係機関への第1報を、連絡責任者(24時間サイト常駐)の判断で直ちに通報連絡することとした。
・連絡責任者は、当直長からの連絡→内容確認→第1報作成→一斉同報FAX・電話等で関係箇所へ直ちに通報連絡
- 事故対応体制の機能強化
・事故等の対応を現地主導型・本社支援型となるように明確にする。
・異常時対応体制をとる対象となる事象を、参考事例を充実させることで、より明確にするとともに、事故に至る恐れのある前兆が現れた場合に、必要に応じて異常時対応に準じた体制をとれるようにする。
- 全社相互支援体制の確立
事故時の初動体制等、速やかな事故対応体制の確立と強化を図るため、予め他事業所の職員を指定した相互支援体制を整備
- 情報専任者の設置
情報専任者を新たに置き、関係箇所への事故情報を一括管理することにより、それぞれの情報の内容に齟齬が生じないよう情報処理体制の充実を図った。

図1-3-1 事故時対応体制の改善

事故の問題点

- 総合防災訓練は定期的には実施していたが、ナトリウム漏えいを想定した訓練が試運転業務に入ってからでは実施していなかった。
- もんじゅ建設所管理職全員に対する連絡が確実でなかった。
- 自衛消防隊員の中にナトリウム取扱の経験者が少なかった。
- 非常時に具備すべき器材等(空気呼吸器、耐熱防火服)が手近な場所に設置されていなかった。

通信設備等の強化

- 一斉同報FAXの回線数増設及び休日・夜間の対応強化として関係管理職の自宅にFAXを設置
- 一斉呼び出しコールバックシステムの導入(携帯電話の自動呼び出し)
- 携帯電話配備充実(主任技術者及び関係管理職、自衛消防隊員全員に携帯電話を配備)
- 空気呼吸器、耐熱防火服の増加配備及び現場各階への設置

教育訓練の改善

- 通報連絡訓練(連絡方法徹底のため、連絡責任者から連絡補助者、関係者への電話・一斉同報FAXによる通報連絡訓練を1回/日実施)
- 一斉呼び出し訓練(呼出、応答確認訓練を1回/月実施)
- 異常時通報連絡訓練(勤務時間外での異常時対応強化のため、要員の呼出・招集を行い、関係機関への通報連絡訓練を1回/年実施)
- 一斉同報FAX通報連絡訓練(関係機関との連絡体制確認のための通報連絡訓練を1回/年実施)
- ナトリウム取扱・消火訓練(自衛消防隊全隊員を対象として、1回/年実施)

図1-3-2 事故時対応設備の整備・訓練の改善

危機管理教育

- 管理監督者研修
 - ・リスクの存在
 - ・サイクル機構の危機管理
 - ・危機管理の応用
- 一般職研修
 - ・サイクル作成のVTR等使用
 - ・「もんじゅ」事故を再認識
 - ・危機管理の重要性を研修
- VTR研修
 - ・全職員を対象
 - ・危機管理教育用VTR使用
- 危機管理マネージャー研修
 - ・実戦的危機管理のリーダー養成

外部専門家からの指導助言

- 労働安全
 - ・全社講演
 - ・事業所での安全教育・指導・助言
 - ・安全診断士による現場の確認・評価
- 消防
 - ・現場の視察
 - ・消防設備、防火体制等についての点検・確認・指導
- プラント安全
 - ・化学物資の安全管理
- 一般安全
 - ・技術士による技術者の倫理教育

通報連絡の重要性の意識喚起

- 電力会社での通報連絡改善取組事例講演
- 役員/職員の通報連絡に関する懇談
- 通報連絡に関する意識調査と改善のためのグループ討議の実施

図1-3-3 危機管理教育等の実施

第9回委員会資料

表1-5-1 ナトリウム取扱にかかる火災防止対策

「常陽」の問題点	「もんじゅ」の対応
脱落ナトリウム対策が不十分 作業中、ナトリウムが脱落した場合の対策を行っていない。	(1) 脱落ナトリウムの対策 ナトリウムが脱落しても安全に回収ができるよう、金属製キャッチパンなどをナトリウムを作業場所の下部に設置する。
付着ナトリウムの見逃し ナトリウムを拭き取ったウエスにナトリウムが残っていないか、目視確認を行っていたが、見逃した可能性がある。	(2) ナトリウムの散逸対策 1) 金属製キャッチパンなどに脱落したナトリウムは、金属製容器に回収する。 2) ナトリウムが付着している可能性のある工具、作業服などは、水などで濡れたウエス類で拭き取る。 (3) ナトリウムが廃棄物に混入した場合の対策 1) ナトリウムが付着している可能性のある工具、作業服などを拭き取ったウエス類は全て金属製容器に保管してから処理する。 2) 作業に使用したゴム手袋など、ナトリウムが付着している可能性のある廃棄物は、全て金属製容器に保管してから処理する。
可燃物で火災が拡大 作業場所であるグリーンハウス ^{注)} 内に多くの可燃物が残されていた。また、グリーンハウスを構成するシートの一部に可燃物が用いられていた。	(4) 作業場所から可燃物を排除 作業場所には不要な可燃物の持ち込みを行わないことを徹底する。また、グリーンハウスを設置する場合は、壁、天井及び床には全て防災シートを用いる。

注) グリーンハウス：放射性物質で汚染している機器を取り扱う場合に、放射性物質の汚染が広がることを防止するために設置する仮設のビニールハウス

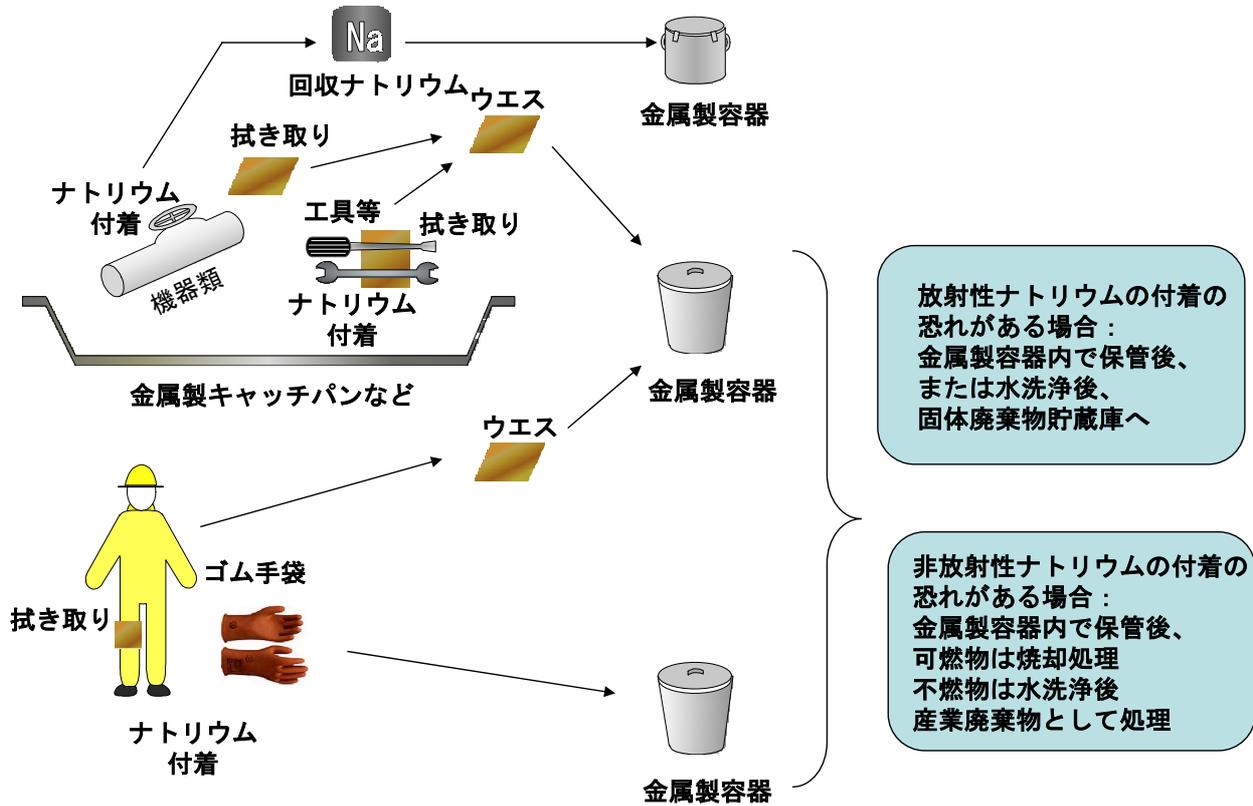


図1-5-1 ナトリウム付着ウエスなどの処理

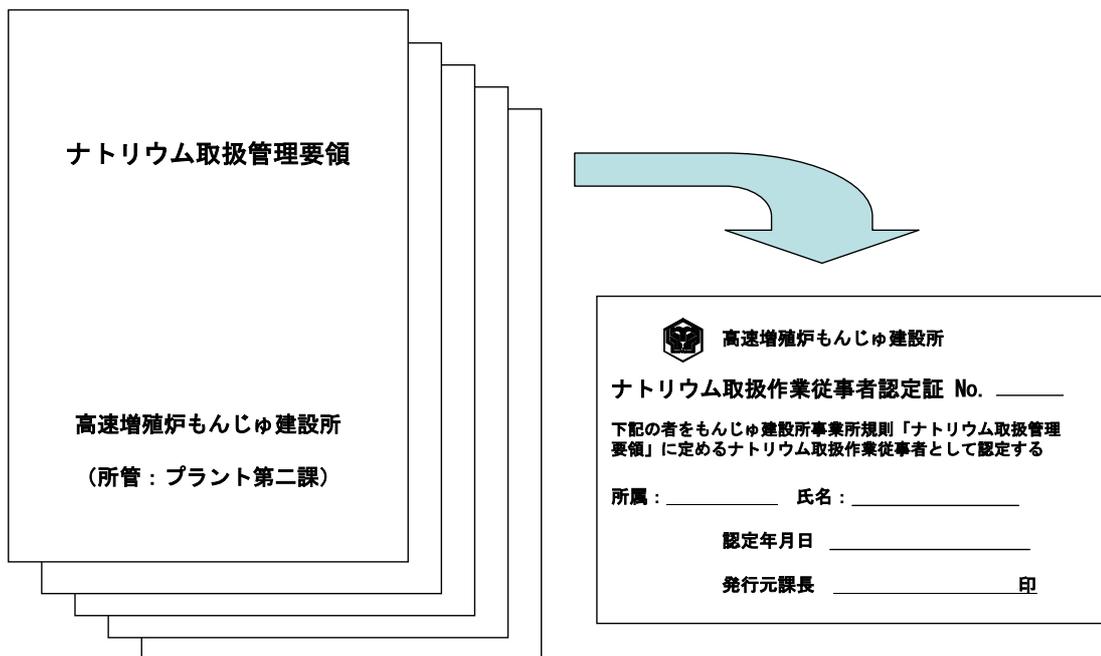


図1-5-2 制定したナトリウム管理要領と認定証

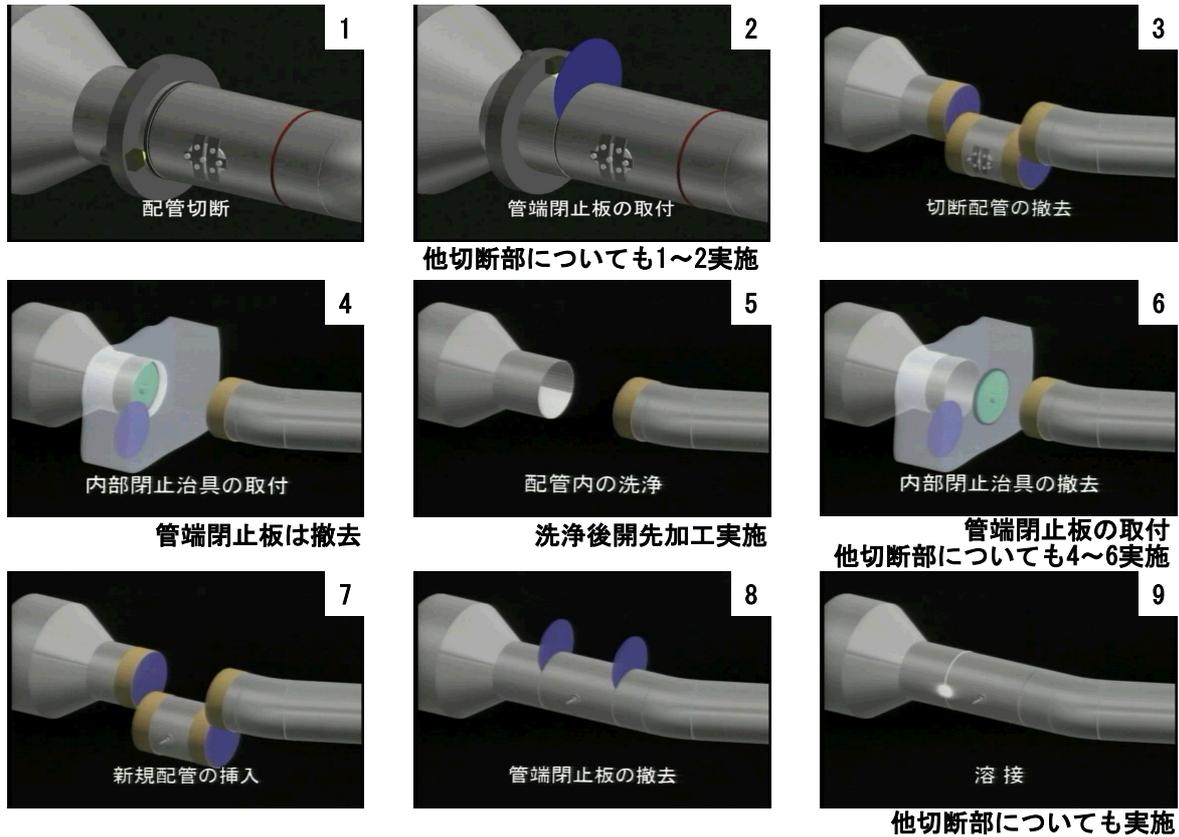


図1-5-3 2次冷却系統改造工事作業ステップ

1. ナトリウム特性学習コース（階層別）

- ①ナトリウム入門コース (3回／年／1日間)
- ②ナトリウム一般コース (2回／年／1日間)
- ③ナトリウム専門コース (2回／年／2日間)

2. ナトリウムループ運転技術コース

- ④ナトリウムループ純化系運転コース (2回／年／2日間)
- ⑤ナトリウムループ供給系運転コース (2回／年／2日間)

3. ナトリウム取扱コース

- ⑥ナトリウム消火訓練コース (10回／年／1日間)
- ⑦ナトリウム配管漏えい対応訓練コース (2回／年／2日間)
- ⑧ナトリウム取扱技能認定コース (7回／年／1日間)

図1-5-4 ナトリウム取扱研修コース

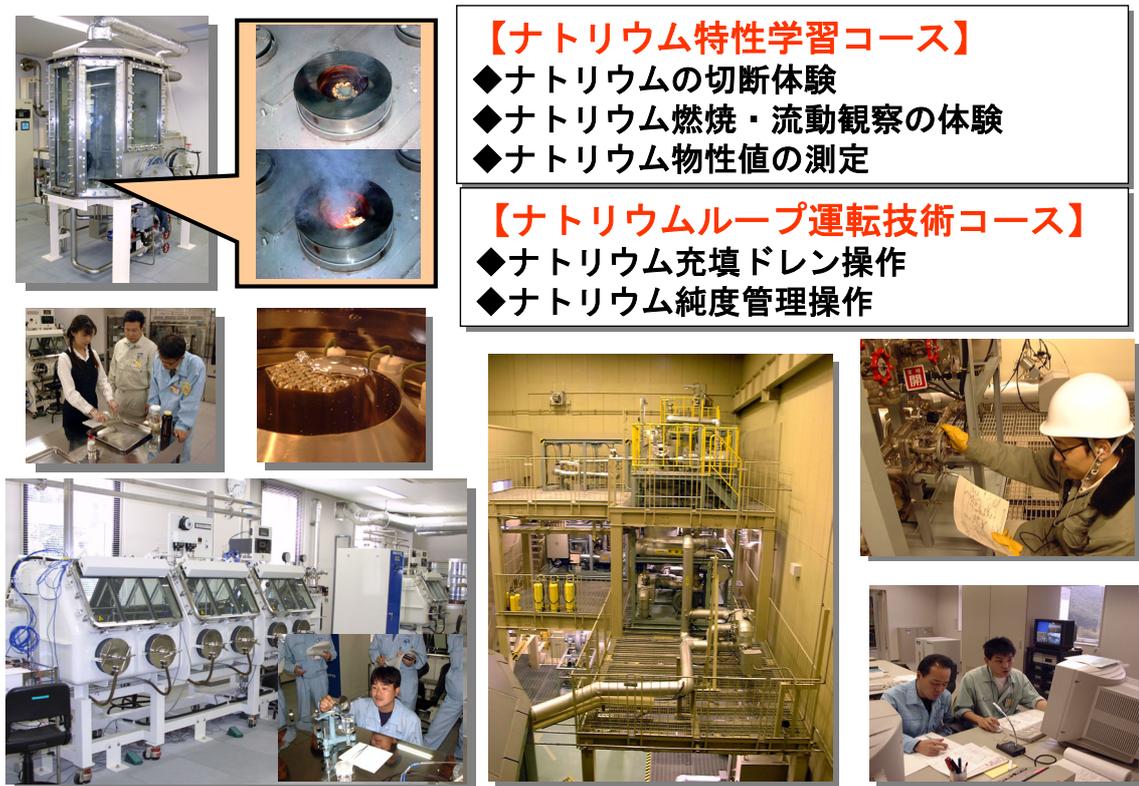


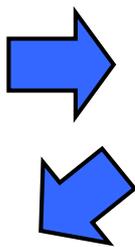
図1-5-5 ナトリウム特性学習コース&ナトリウムループ運転技術コース



「もんじゅ」運転員及び自衛消防隊員は年1回必須で訓練



図1-5-6 ナトリウム取扱コース (ナトリウム消火訓練)



- ◆リーク量：約2kg（配管口径：2B）
- ◆供給Na温度：505℃
- ◆リーク率：約100kg/h（もんじゅ170kg/h）

- ◆配管漏えい状況の観察
- ◆配管内付着状況の観察
- ◆漏えいナトリウムの処理体験

図1-5-7 ナトリウム取扱コース（ナトリウム漏えい対応訓練コース）



「常陽」建物火災事故を教訓としてナトリウム取扱技能認定コースを平成14年度研修より導入

- ◆ナトリウム一般知識、自然発火メカニズム
- ◆ナトリウム処理体験
- ◆ナトリウム自然発火現象の観察体験



研修終了証書の発行
《学科試験70点以上&実習終了》

図1-5-8 ナトリウム取扱コース（ナトリウム取扱技能認定コース）

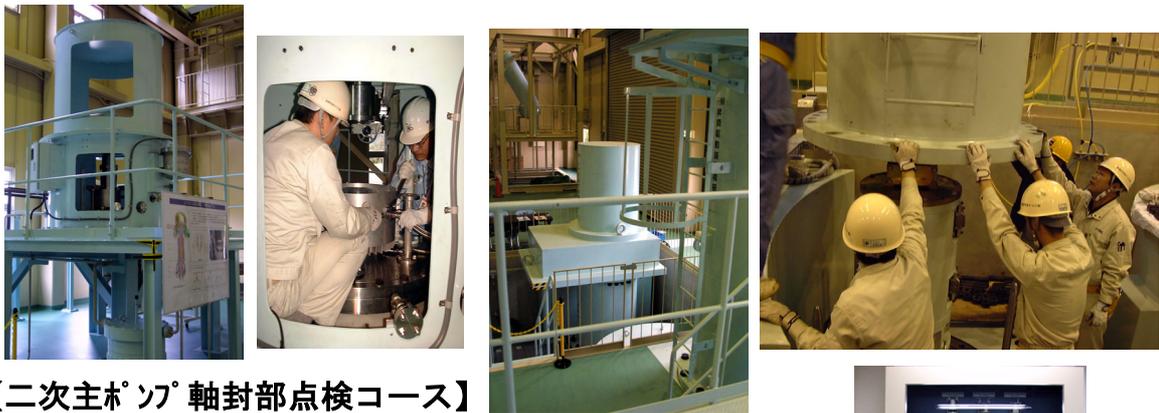
1. 「もんじゅ」固有設備・機器保守コース

- ①二次主ポンプ軸封部分解点検コース (1回／年／2日間)
- ②燃料取扱及び貯蔵設備コース (4回／年／1日間)
- ③制御棒駆動機構コース (1回／年／1日間)
- ④燃料交換準備作業コース (1回／年／4日間)
- ⑤もんじゅ系統学習コース (1回／年／10日間)

2. 一般汎用保守コース

- ⑥電源盤点検コース (2回／年／2日間)
- ⑦計測制御コース (2回／年／1日間)
- ⑧非破壊検査コース (3回／年／3日間)
- ⑨水系機器運転保守コース (1回／年／2日間)
- ⑩保守汎用入門コース (2回／年／3日間)

図1-5-9 保守研修コース

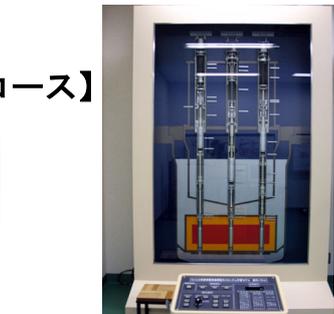


【二次主ポンプ 軸封部点検コース】



【燃料取扱及び貯蔵設備コース】

【燃料交換準備作業コース】



【制御棒駆動機構コース】

図1-5-10 「もんじゅ」固有設備・機器保守コース



【電源盤点検コース】



【水系機器運転保守コース】



【計測制御コース】



【非破壊検査コース】

図1-5-11 一般汎用保守コース

考慮すべき事項

- ①漏えい規模をパラメータとした系統的な解析を実施し影響評価を実施
- ②床ライナ温度を保守的に評価するように解析条件を設定
- ③鉄、ナトリウム及び酸素が関与する界面反応による鋼材の腐食について考慮

床ライナ温度に着目した時の
主要な解析条件

- ・漏えい率をパラメータ (1/4Dt規模から小漏えい規模)
- ・緊急ドレン考慮 (漏えい継続時間短縮)
- ・換気空調設備の停止時刻 (漏えい発生2分後)
- ・断熱材の敷設割合 (全面敷設)
- ・区画外との通気 (大きめに設定)

最も厳しい腐食速度を示す
熔融塩型腐食を仮定

評価の流れ

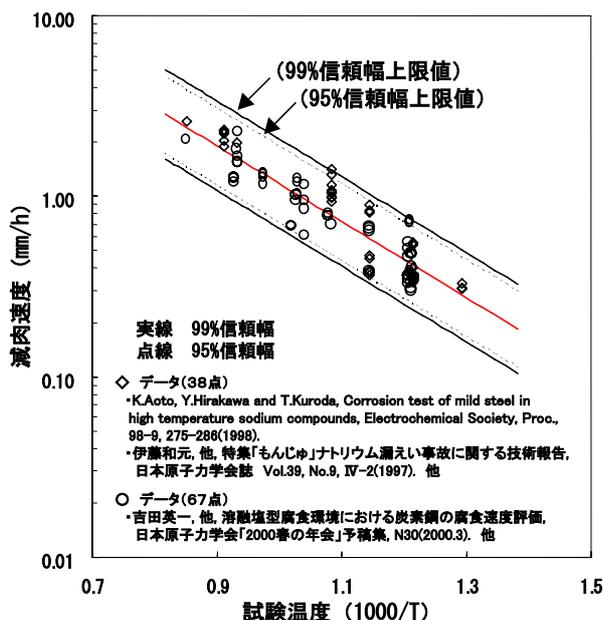
Gグループの

- ・ 2次主冷却系配管室 (A446)
- ・ 蒸発器室 (A438)
- ・ 過熱器室 (A439) を対象

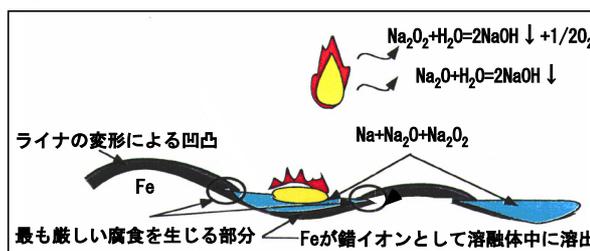
ナトリウム燃焼解析コード
ASSCOPSによる床ライナ温度解析

床ライナ温度及び腐食速度式
より床ライナの減肉量を算出

図2-1-1 2次冷却材漏えい時の床ライナ温度及び床ライナ減肉量の解析 (漏えい率をパラメータにした影響評価)

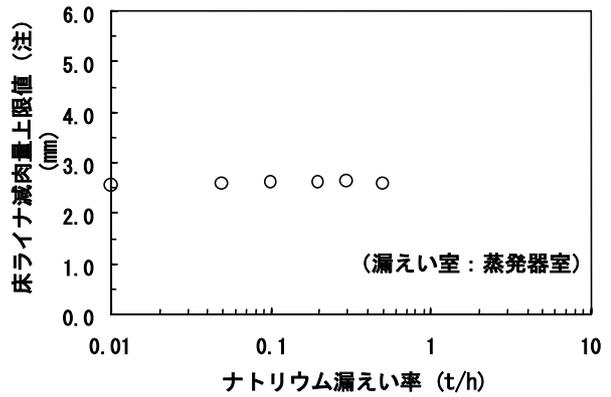
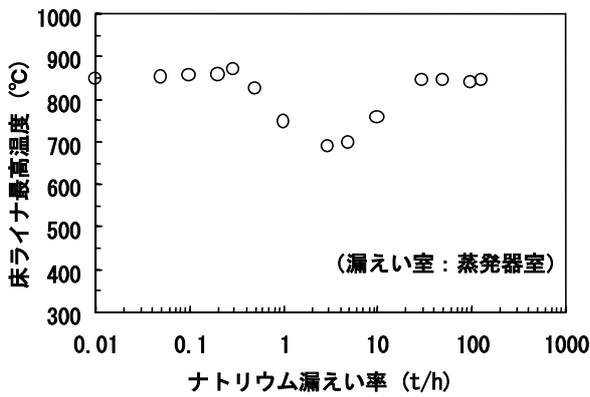


熔融塩型腐食



ナトリウムが漏れだし、燃焼した時に生成する化合物 (過酸化ナトリウムと水酸化ナトリウム) が熔融状態となり、急速に鉄を溶かす腐食。この状態では、過酸化ナトリウムNa₂O₂から生じる過酸化化物イオンが強力な酸化剤となって床ライナ(鉄)を腐食させ、かつ腐食生成物は直接熔融体環境に溶け出し、保護膜の形成も期待できないため、急速に腐食が進行することになる。

図2-1-2 熔融塩型腐食の減肉速度の温度依存性(NaOH-Na₂O₂系環境)



(注) 床ライナ温度が300°C以上の場合に最も厳しい腐食速度を示す熔融塩型腐食を仮定し、腐食減肉速度データの99%信頼幅上限値と床ライナ温度計算値の時間変化から減肉量を算出した。

図2-1-3a 床ライナ温度解析の結果 図2-1-3b 床ライナ減肉量評価の結果

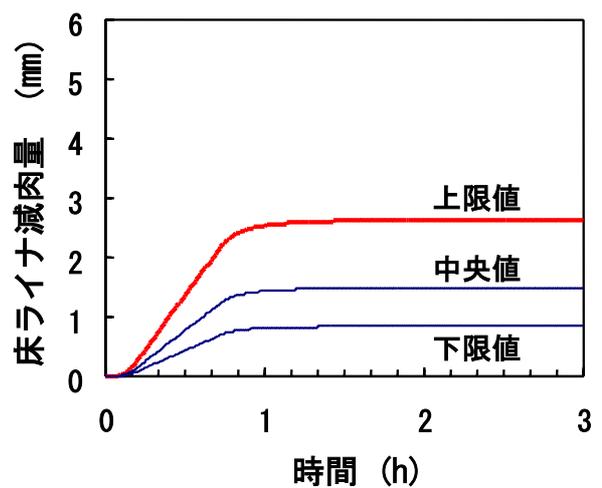
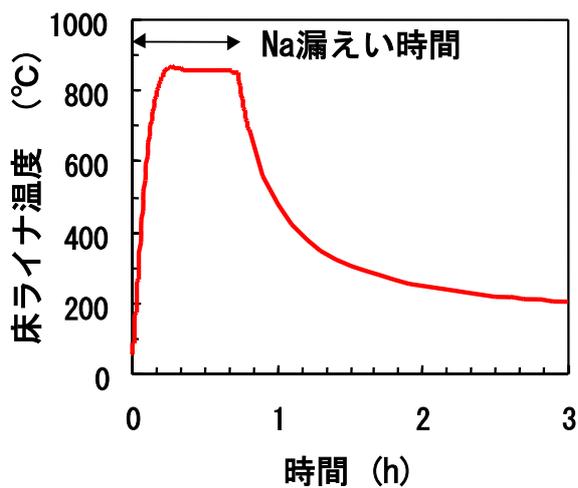


図2-1-4 解析結果の時間変化(蒸発器室の漏えい率0.3t/hの例)

表2-1-1 評価結果（漏えい率パラメータ） 表2-1-2 評価結果（大漏えい時）

漏えい室	床ライナ 最高温度	床ライナ 最大減肉量	漏えい率
2次主冷却系配管室 (A446)	約 860℃	約 2.6mm	0.7t/h
蒸発器室 (A438)	約 870℃	約 2.6mm	0.3t/h
過熱器室 (A439)	約 860℃	約 2.6mm	0.4t/h

漏えい室	床ライナ 最高温度
2次主冷却系配管室 (A446)	約 630℃
蒸発器室 (A438)	約 840℃
過熱器室 (A439)	約 810℃

床ライナの最高温度 約 870℃
床ライナの最大減肉量 約 2.6mm

事故前

漏えい規模	漏えい規模の判定	原子炉の停止	換気装置の停止	漏えいルーブのドレン
大規模	「蒸発器液位低低」のインタロック信号により2次主冷却系循環ポンプトリップ	自動トリップ	自動停止	緊急ドレン
中規模	オーバーフロータンクナトリウム液位等のプロセス量に変化がある場合 ナトリウム漏えい検出器警報及び火災検知器警報（セルモニタ）若しくは現場での白煙の確認（雰囲気へのエアゾル漏えい）	手動トリップ	緊急ドレンに必要な弁操作後に手動停止	緊急ドレン（温度降下を待って行う）
小規模	ナトリウム漏えい検出器警報及びフィルタ分析による確認	通常停止	しない	しない（通常停止後に実施）

改善後

漏えい状況	原子炉の停止	換気装置の停止	漏えいルーブのドレン	窒素注入
Ⅲ 大規模なナトリウム漏えいにより、原子炉が自動的に停止する状況	自動トリップ	自動停止	ドレン	ドレン後 N ₂ 注入
Ⅱ 漏えいナトリウムまたはエアロゾルが保温構造等から部屋へ漏れ出る状況	手動トリップ	自動停止又は手動停止	ドレン	ドレン後 N ₂ 注入
Ⅰ 漏えいナトリウム及びエアロゾルが保温構造等の内部に留まる状況	手動トリップ	しない	ドレン	しない

- ・大規模漏えい⇒「蒸発器液位低低」のインタロック信号が発信される程度
- ・中規模漏えい⇒オーバーフロータンク液位等が変化する、あるいは漏えい燃焼の影響が室内雰囲気へ及ぶ程度（白煙の発生、火災検知器が検知）
- ・小規模漏えい⇒ナトリウム漏えい検出器によって検出されフィルタ分析によって確認される程度

- ・漏えい状況Ⅲ⇒「蒸発器液位低低」警報が発報する状況
- ・漏えい状況Ⅱ⇒ナトリウム漏えいに伴う燃焼またはエアロゾルを空気雰囲気セルモニタ、火災感知器が検出する状況
- ・漏えい状況Ⅰ⇒保温構造内の漏えい検出器のみが漏えいを検出する状況

図2-2-1 2次主冷却系ナトリウム漏えい時のプラント運用

- ・配管の大口径化とドレンライン（配管）の増設、ドレン操作の簡単化により、所要時間の短縮を図る（従来約50分→約20分）
- ・弁を多重化して確実にドレンできるようにする

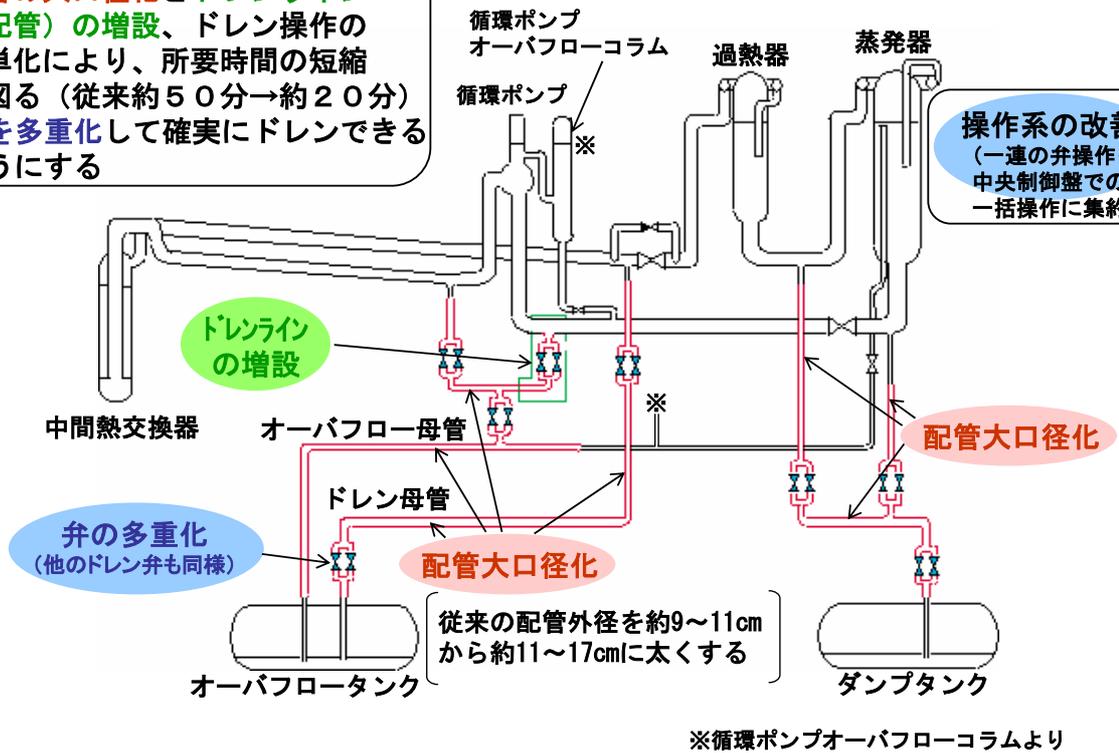
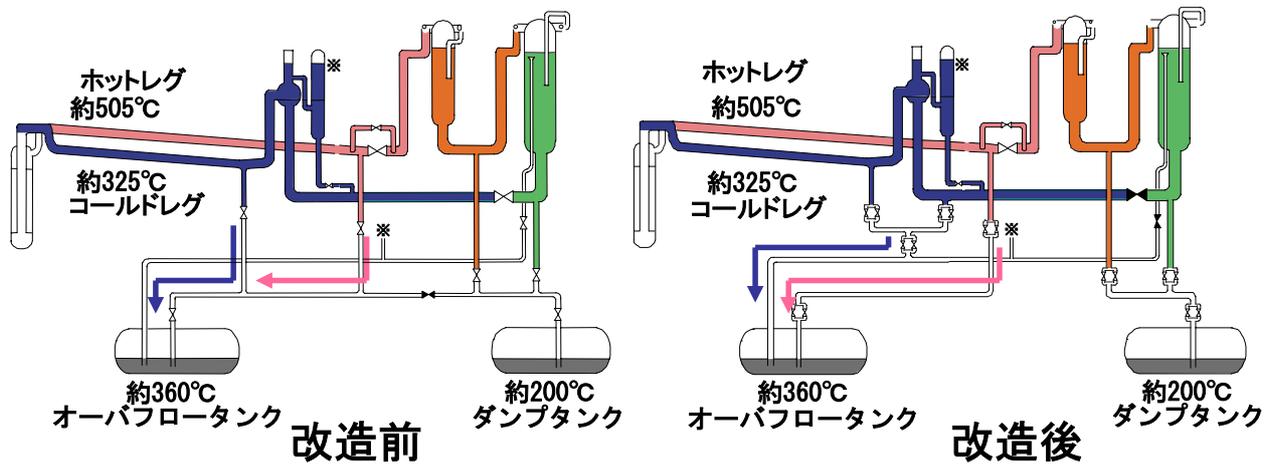


図2-3-1 2次系ドレン設備の改造



- ホットレグナトリウムとコールドレグナトリウムが同じ配管を通りドレンされる
- オーバーフロータンク
 - ・ホットレグのナトリウムをドレンした時、ホットショックを受ける（温度が急に上昇して大きな応力が発生）
 - ・コールドレグのナトリウムをドレンした時、コールドショックを受ける（温度が急に低下して大きな応力が発生）



- ホットレグのナトリウムとコールドレグのナトリウムを別々の配管で同時にドレンし、オーバーフロータンクの中で混合 → 温度変化がゆるやかになる

図2-3-2 緊急ドレンによる熱衝撃

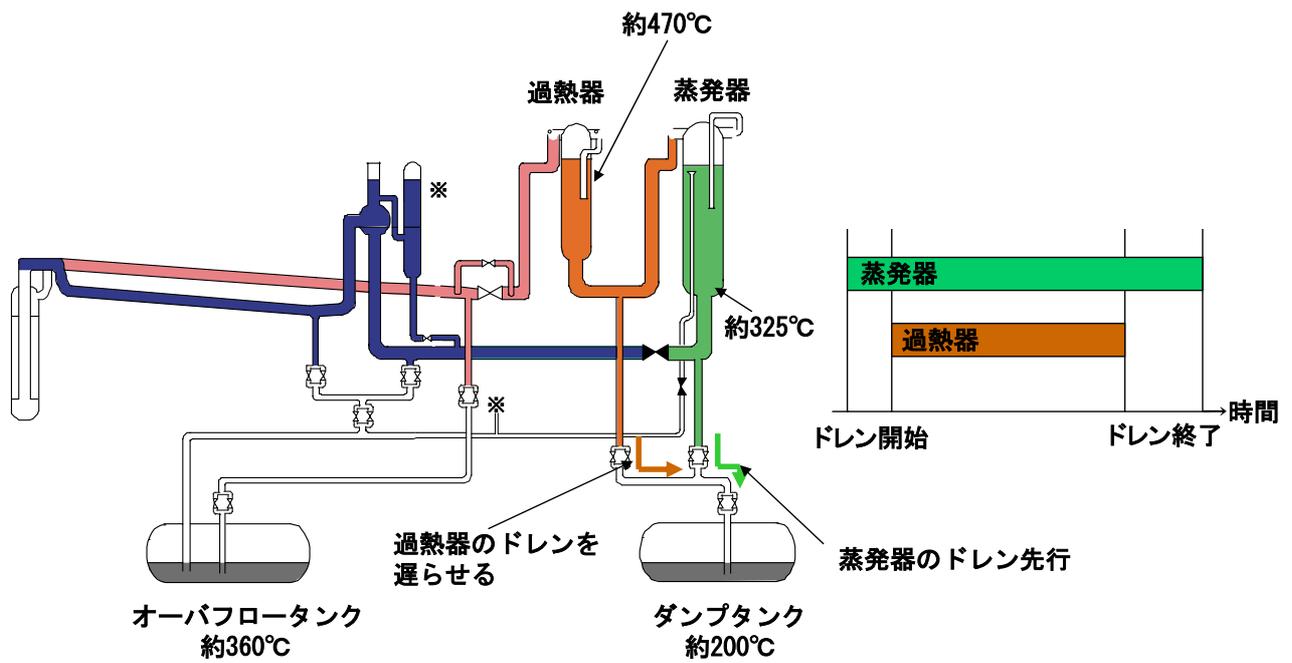


図2-3-3 熱衝撃低減対策

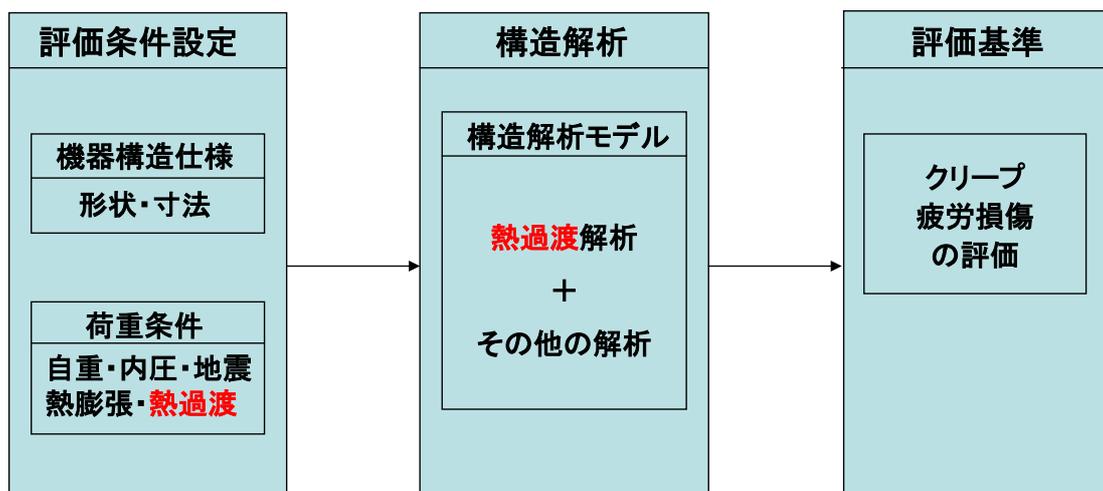
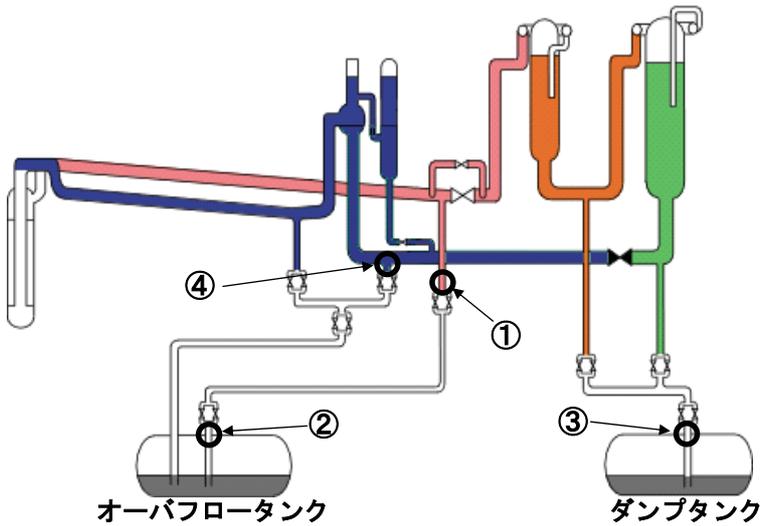


図2-3-4 構造強度評価手順



評価箇所	クリープ疲労損傷の評価概略値	緊急ドレンによる損傷
① ホットレグ ドレン配管	約0.4 * (約0.6)	約0.06 *
② オーバーフロー タンクノズル	約0.1 * (約0.9)	約0.01 *
③ ダンプタンク ノズル	約0.1 * (約0.8)	約0.04 *
④ ポンプ入口 ドレンノズル (新規)	約0.1 * (約0.9)	約0.00 *

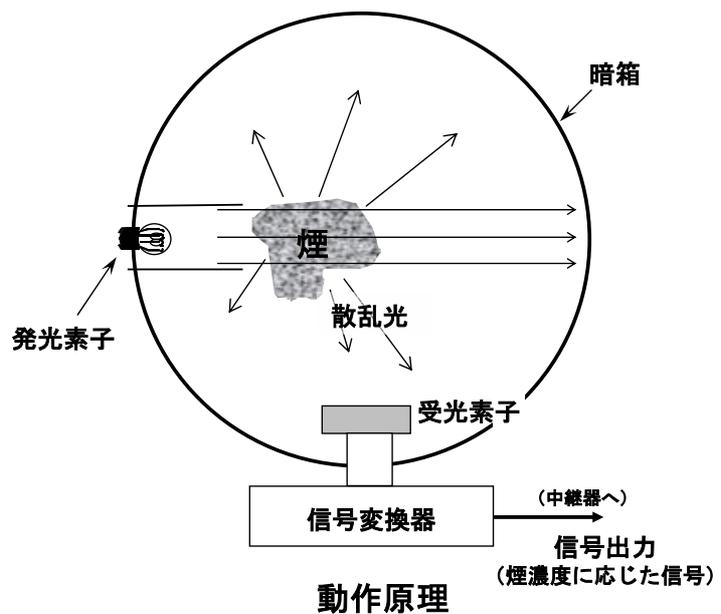
*: 評価結果は今後の設計進捗によって変わる可能性が有る。

緊急ドレン7回の熱衝撃に対し、
構造健全性が確保されることが確認された

図2-3-5 構造健全性評価

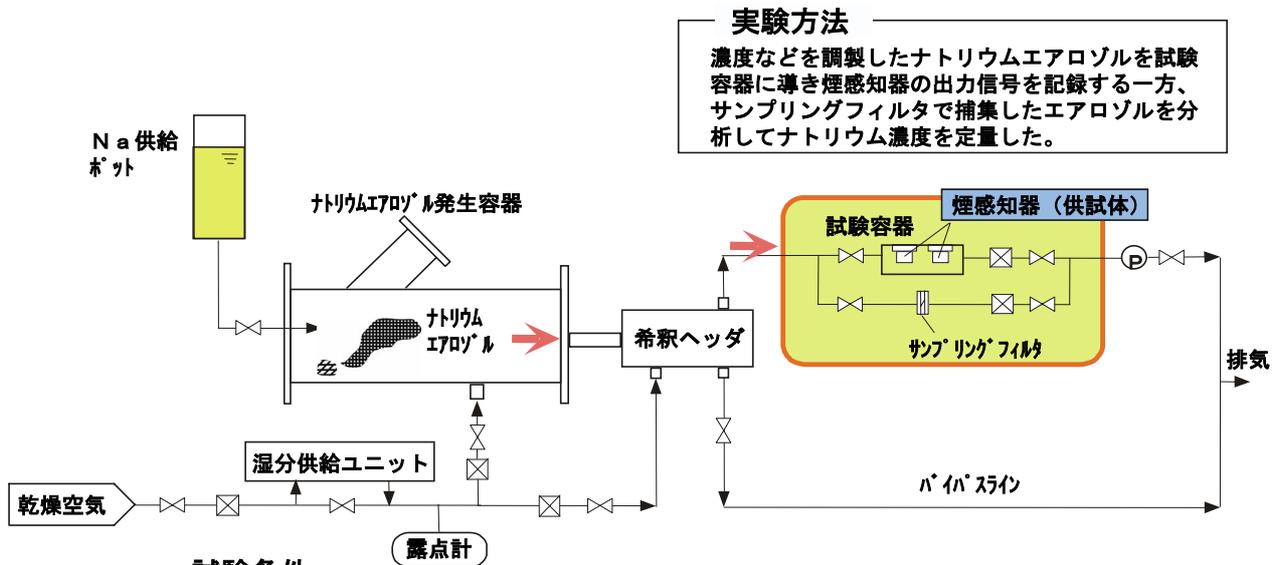


感知器外観



通常は発光素子の光は受光素子に届かないが、火災時に暗箱（あんばこ）に煙が進入すると、散乱光の一部が受光部に達するため検知される。

図2-4-1 煙感知器(光電対向式球型感知器)の原理



試験条件

雰囲気条件	酸素濃度 (%)	21
	湿分濃度 (ppm)	0、6000および20000
	ナトリウムエアロゾル濃度 (mg/m ³)	1~1000
サンプリングガス流量 (l/min)		1~20
試験容器の形状		形状の異なる3種類で実施

- Ⓟ ポンプ
- ⊗ 流量計
- ⊗ 弁

図2-4-2 試験概要

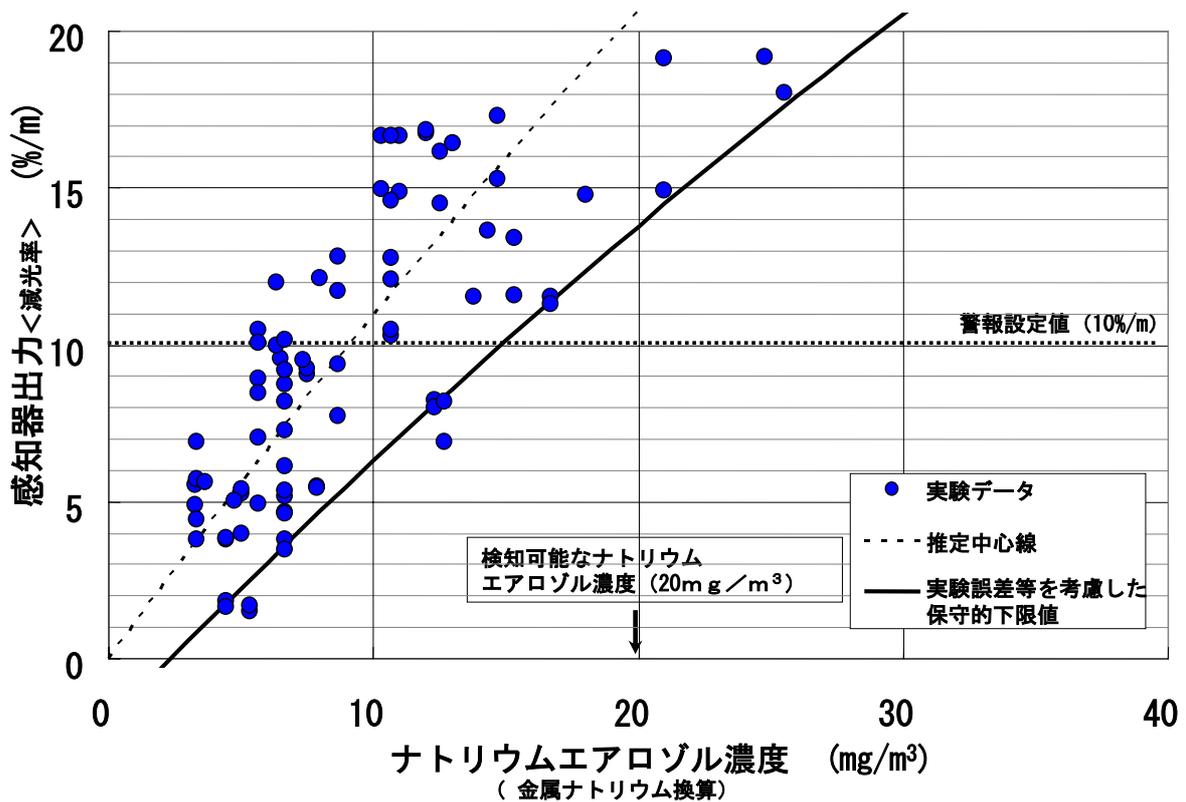


図2-4-3 エアロゾル濃度と感知器出力の関係

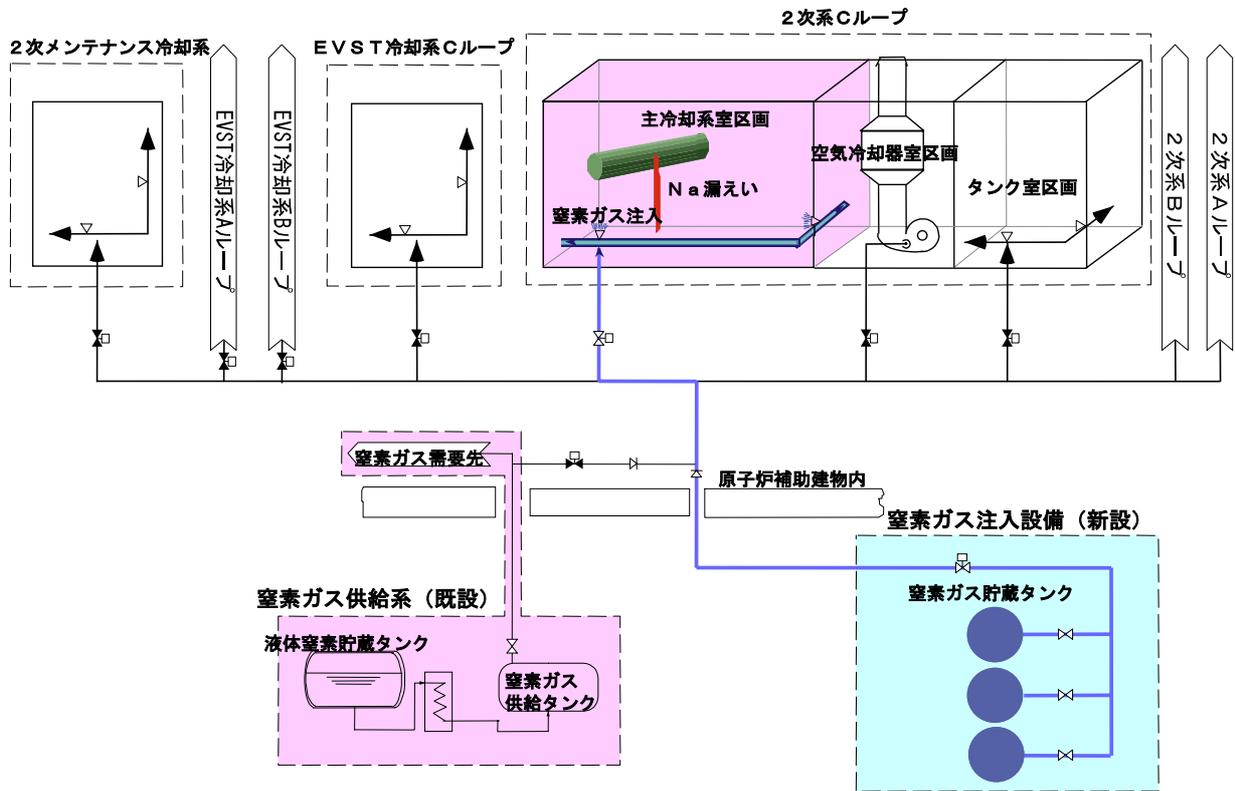
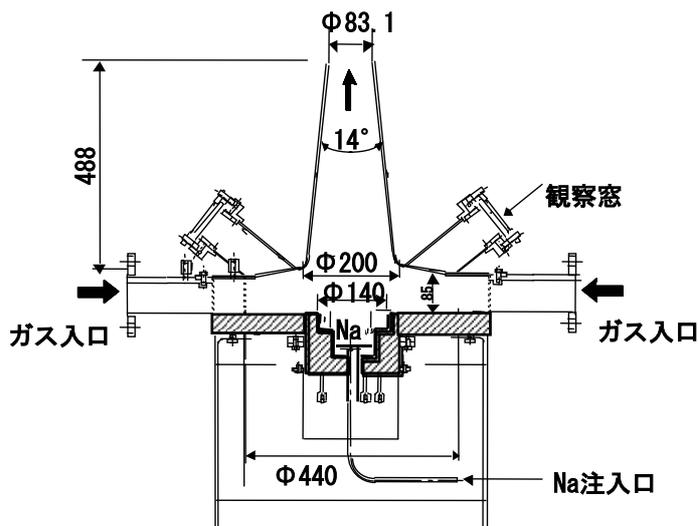


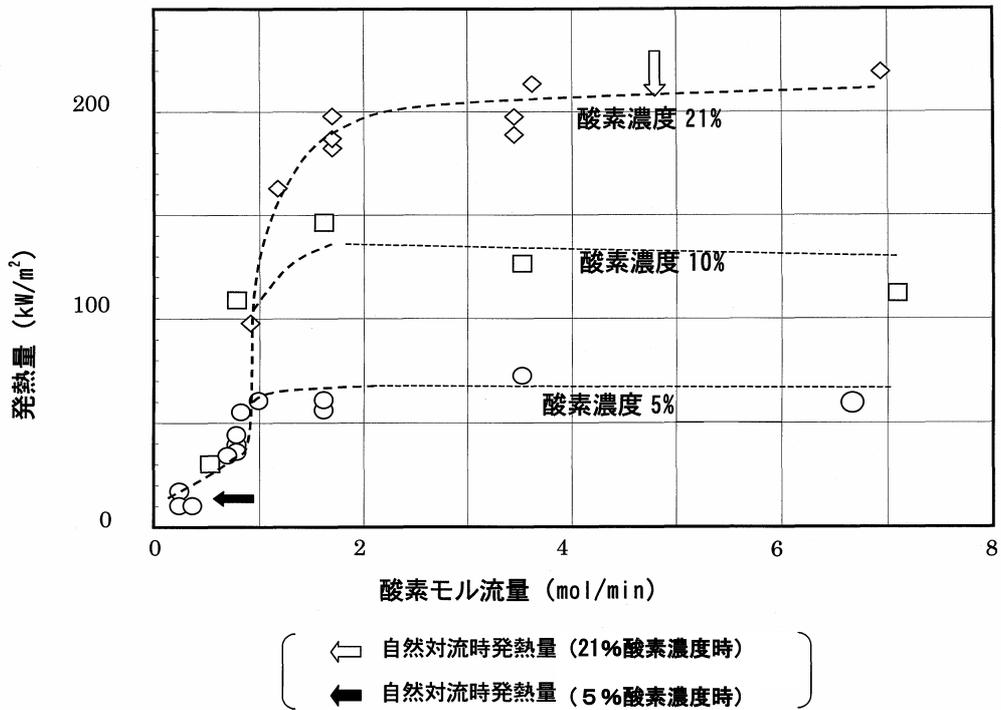
図2-4-4 窒素ガス注入設備構成図

本系統図は、2次主冷却系Cグループ主冷却系室区画に窒素ガスを注入している状態を示す。



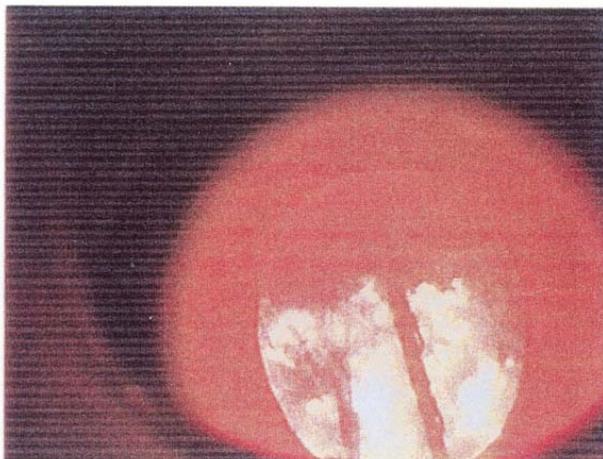
実験条件	
初期Na温度	: 500°C
供給ガス流量	: 0.14~0.8m ³ /min
酸素濃度	: 2~30%
燃焼皿径	: φ140mm
燃焼皿表面積	: 15400mm ²
燃焼皿容積	: 約900g
(Na保有量)	

図2-4-5 小型ナトリウム燃焼実験装置



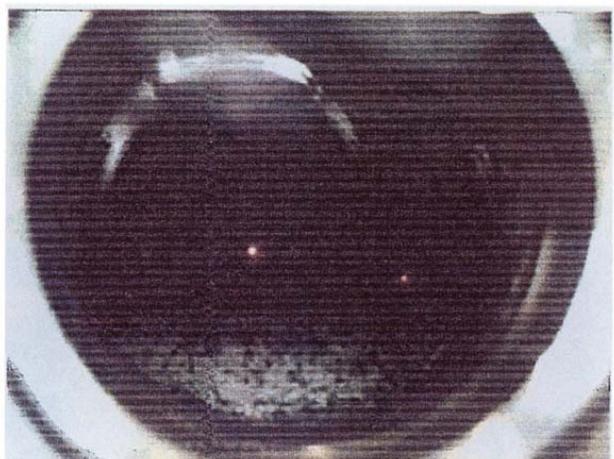
実際の燃焼では酸素は自然対流により供給される。この場合の発熱量は、
 酸素濃度 21%では、約 200kW/m² であるが、
 酸素濃度 5%では、約 15kW/m² (放熱量が発熱量を上回るレベル) まで低下している。

図2-4-6 酸素供給量と発熱量の関係



酸素濃度21%

ナトリウムは火炎を伴って燃焼



酸素濃度5%

火炎を伴った燃焼は見られない

図2-4-7 目視確認結果

2次系Cループ配管室及び隣接するポンプ室を
1/10スケールで模擬

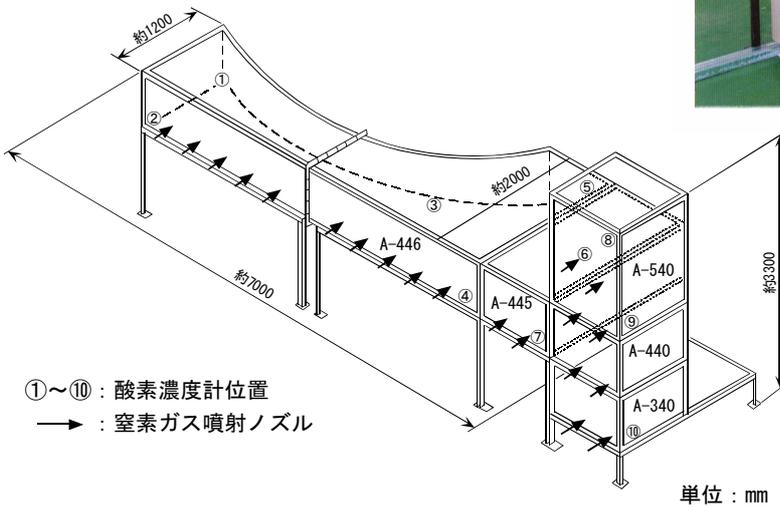
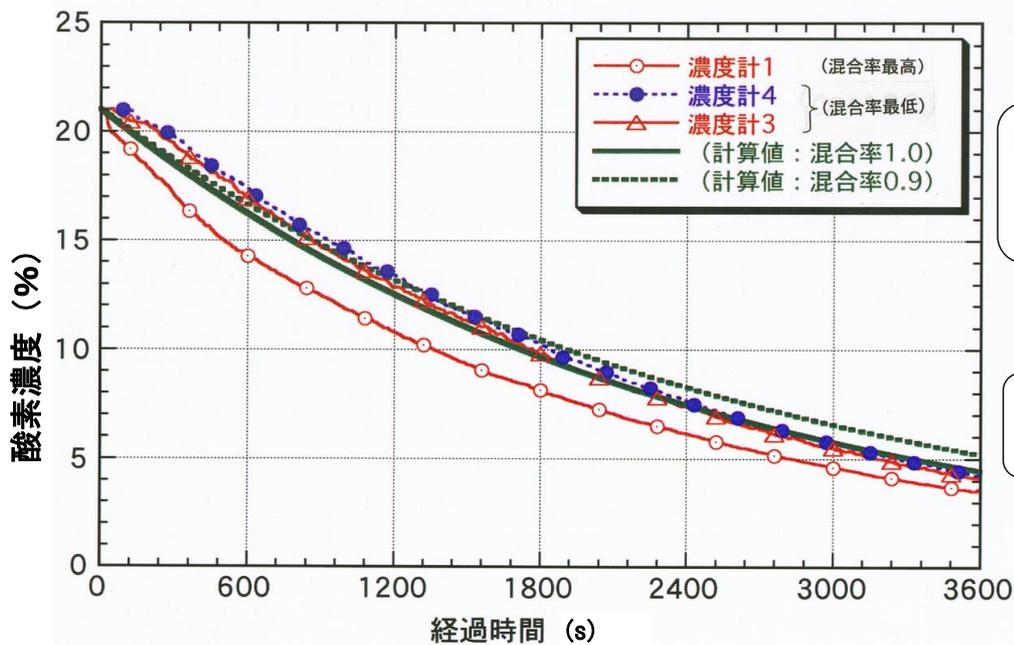


図2-4-8 1/10スケール混合率実験装置外観



酸素濃度低下が最も遅い場所でも、混合率0.9の計算値よりも早く低下している。



混合率は0.9を見込めば十分。

図2-4-9 酸素濃度低下挙動 (1/10スケールモデル実験)

温度計が破損した原因

改良方策

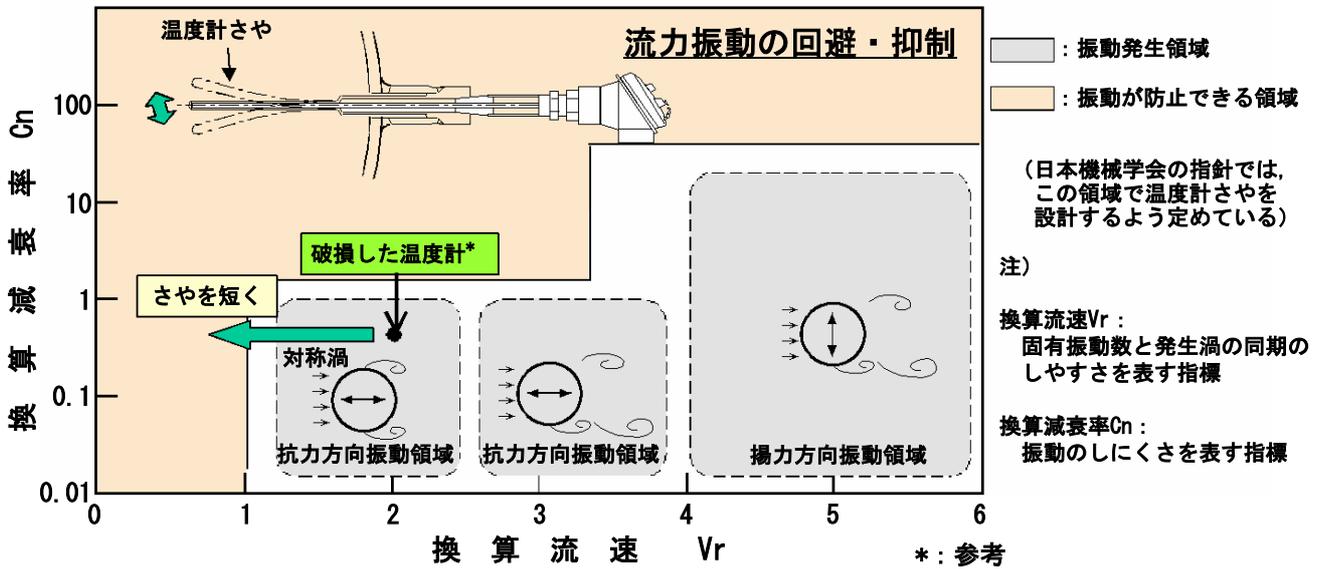
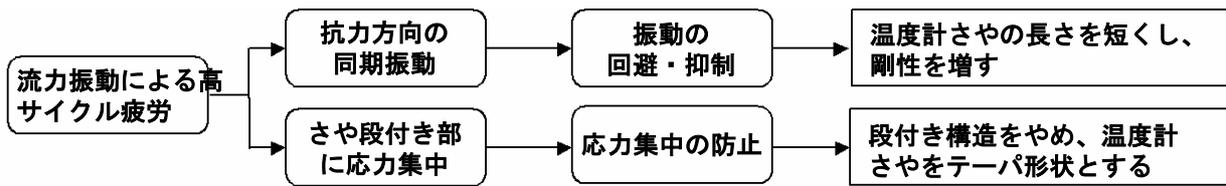


図3-1-1 温度計改良の考え方

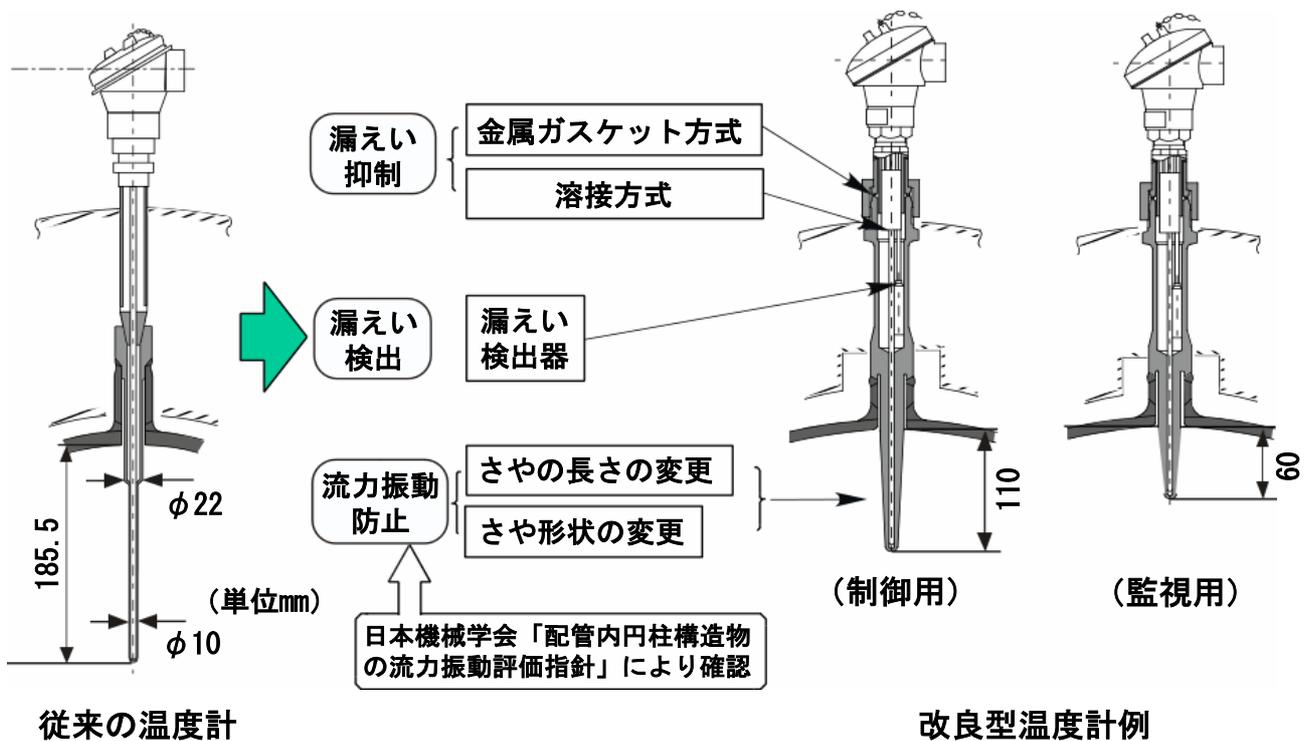
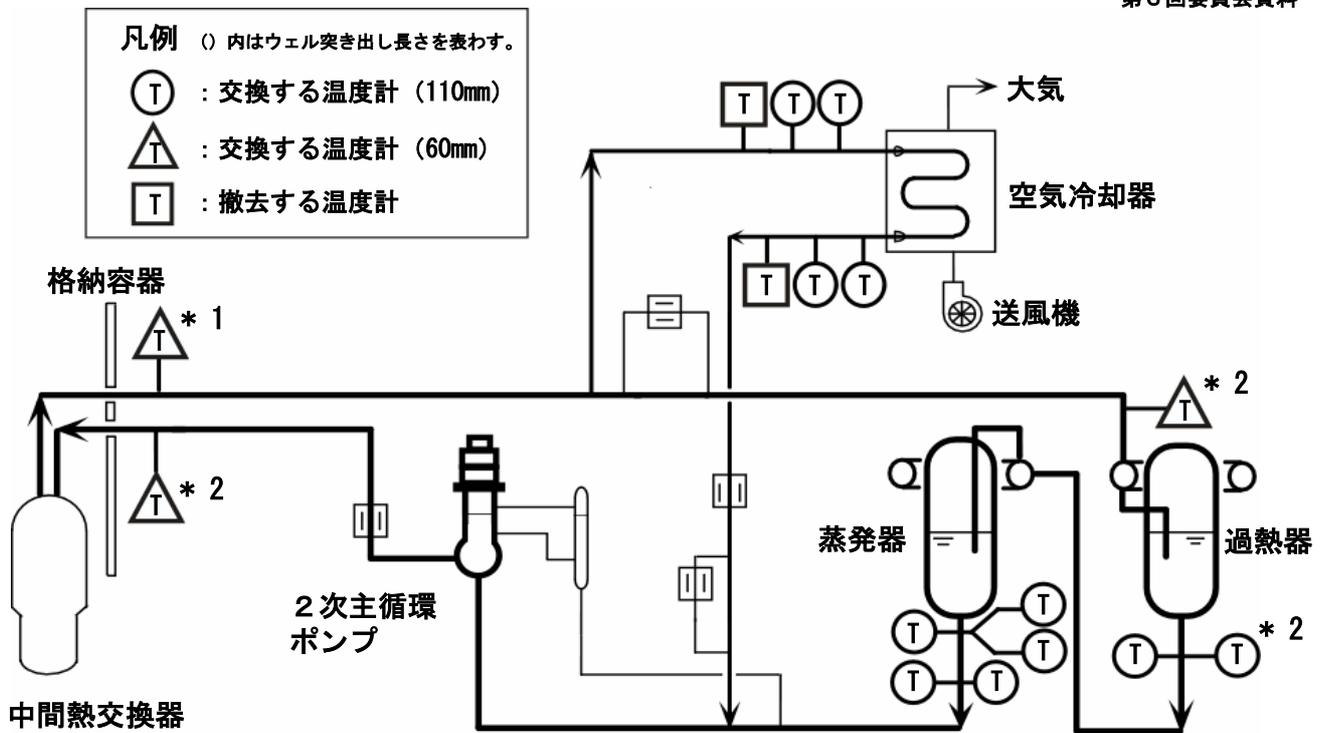


図3-1-2 改良型温度計の構造



- *1: 現状仮の当て板 (Cループのみ)
- *2: 現状仮の栓 (Cループのみ)

図3-1-3 温度計の交換・撤去

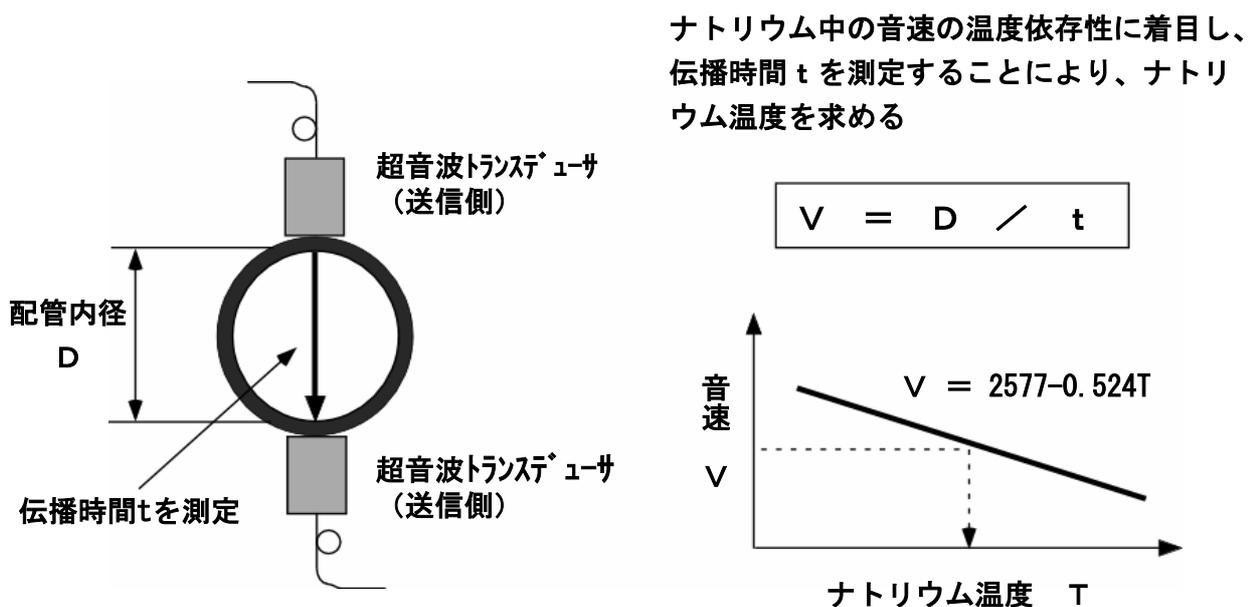


図3-2-1 超音波温度計の原理

安全総点検での確認

- 中間熱交換器、過熱器・蒸発器、空気冷却器等の熱交換器伝熱管
約23350箇所の健全性確認
- 原子炉容器、1次冷却系設備、2次冷却系設備、メンテナンス冷却系設備
炉外燃料貯蔵設備の約5130部品の健全性確認
- 品質保証体系とその活動状況の確認



「安全総点検に係る対処及び報告について」で確認

- 設計審査要領の制定

設計審査の体制

系統設計段階、機器設計段階、製作設計段階での審査項目

} 明確化

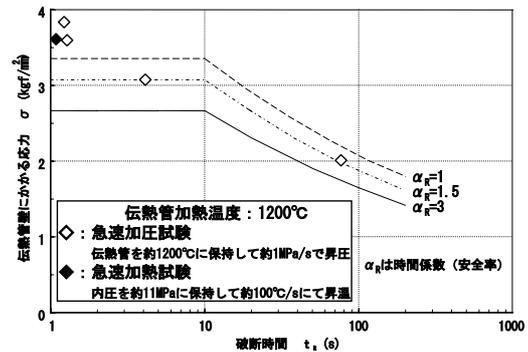
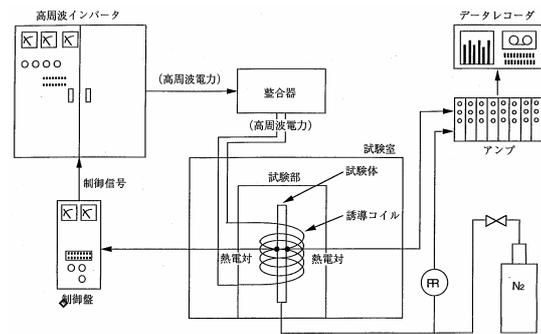
図3-3-1 国の審査対象外の装置や機器についての
品質保証と健全性の確認

目的： FBR特有の現象である蒸気発生器でのナトリウム-水反応の影響を評価

高温ラプチャ評価のための基礎試験と解析手法整備

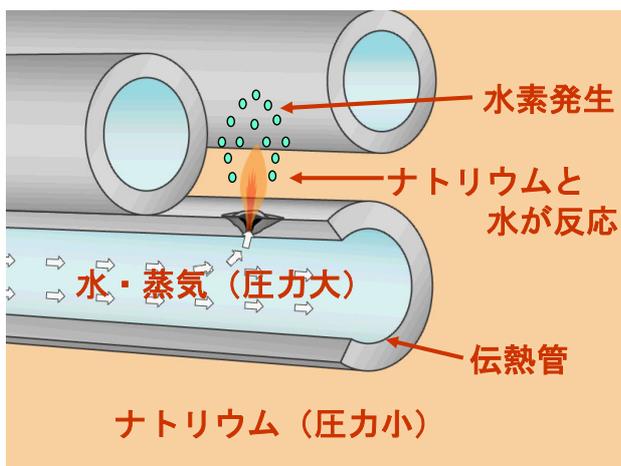
- ・ 伝熱管材料について高温引張/クリープ試験による、高温材料強度基準値の整備
- ・ 伝熱管破損模擬試験 (TRUST-2) を実施して、高温ラプチャ評価モデルの検証

「もんじゅ」安全性
総点検へ反映し、安全裕度確認



TRUST-2試験結果と材料基準値の比較 (1200°C)

図4-1-1 ナトリウムに関する安全研究～ナトリウム-水反応に関する研究～



ナトリウムと水が
反応して水素と熱が発生

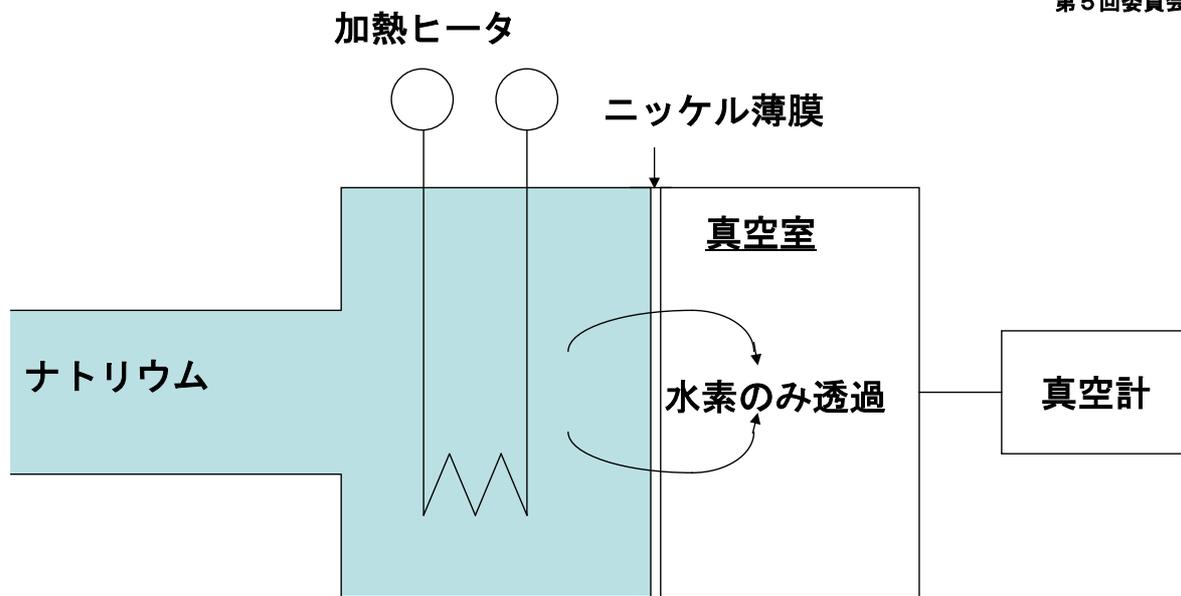
・ 水素濃度が上昇
…水素計で検出

水漏えい量が増加すると

蒸気発生器内に水素ガスが蓄積

・ カバーガス圧力が上昇
…カバーガス圧力計で検出
…圧力開放板開放で検出

図4-2-1 伝熱管破損による水素の発生と検出



検出原理

- ・ナトリウム中に発生した水素はニッケル薄膜を透過し真空室に移行する。
- ・真空室の圧力変化を測定することにより、ナトリウム中への水漏えいを検出する。
- ・ナトリウム中の水素濃度と真空室の圧力の関係は定期的に校正する。

図4-2-2 水素計の原理

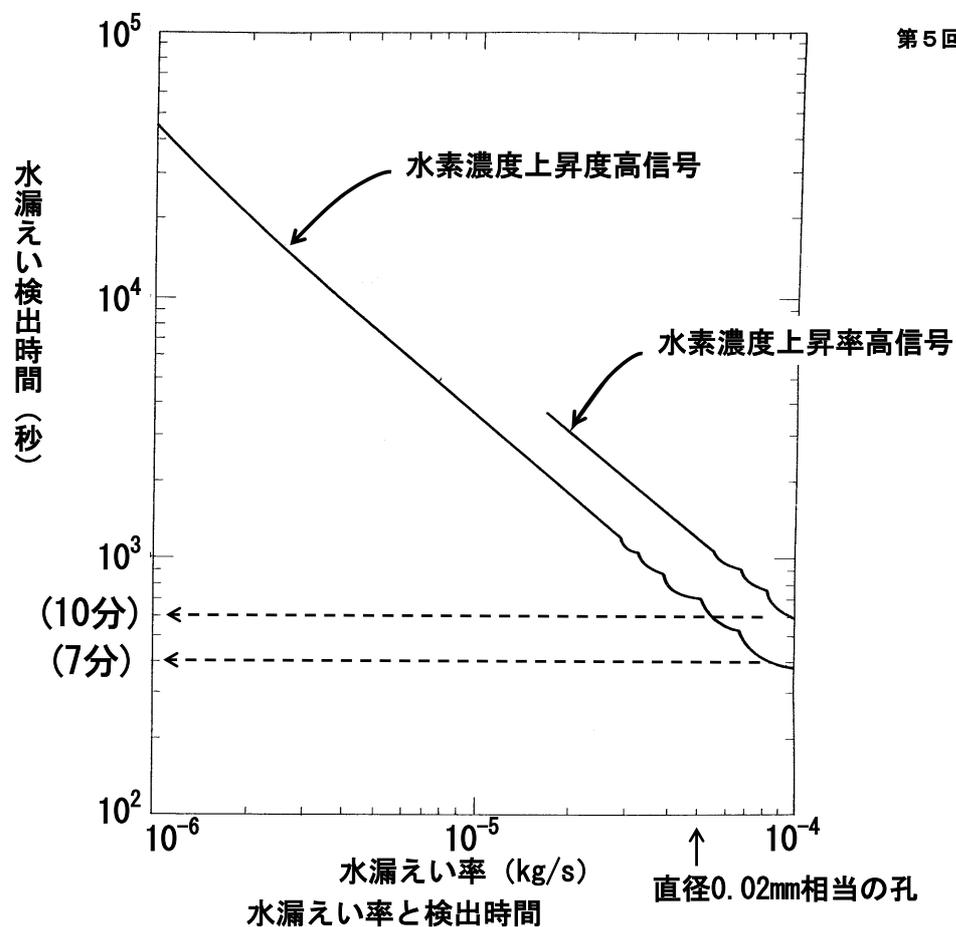
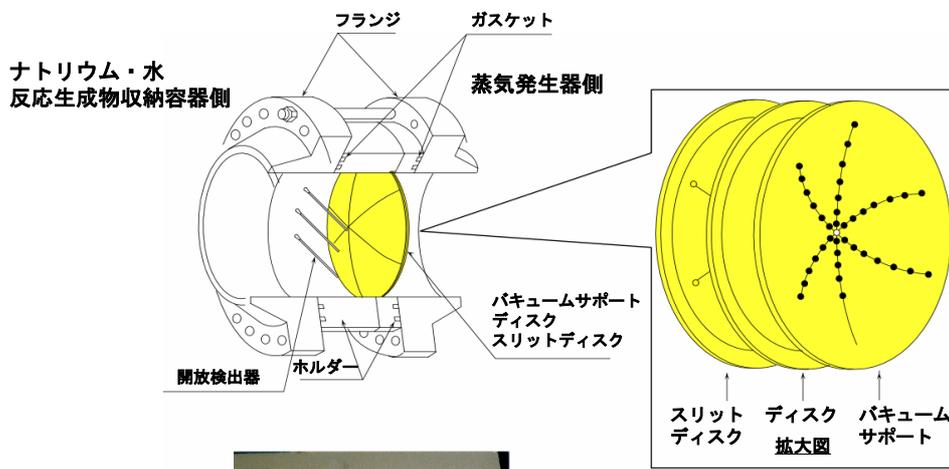


図4-2-3 水素計の検出特性

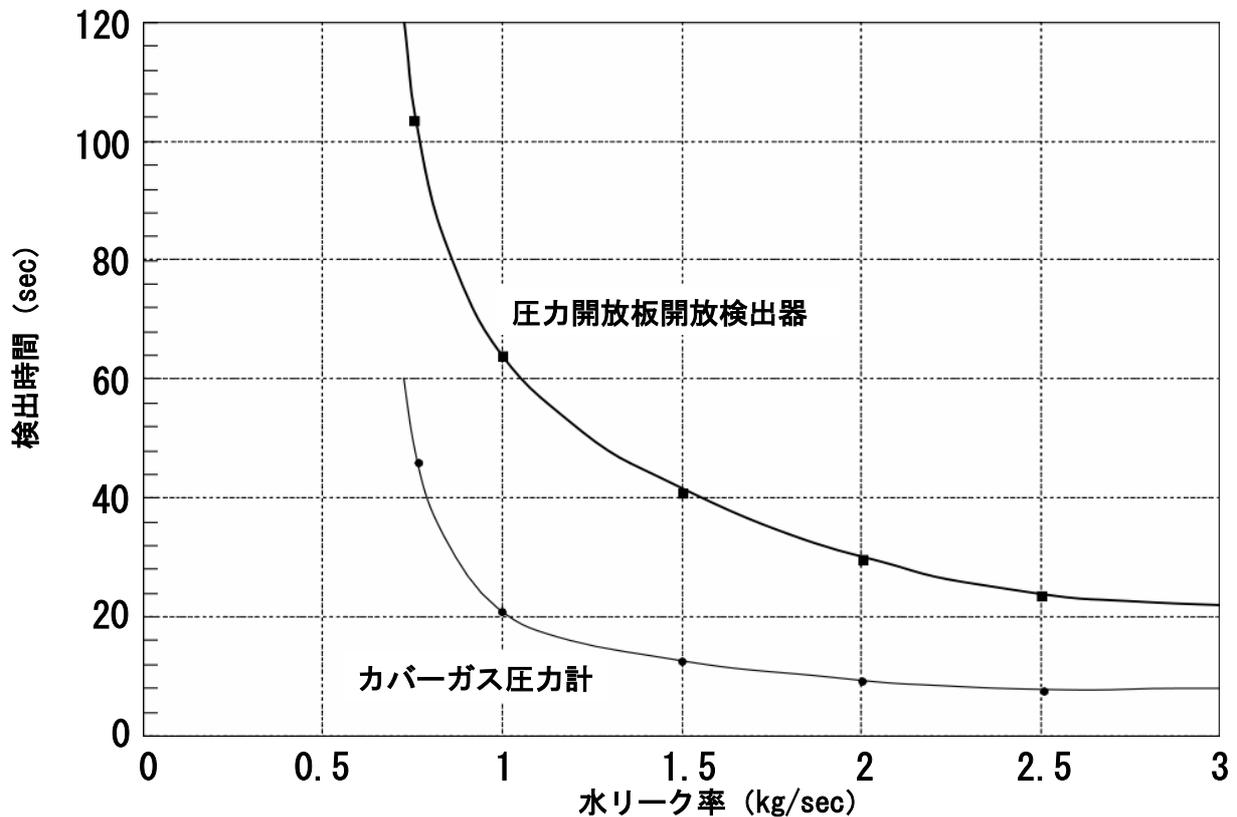


作動前



作動後

図4-2-4 圧力開放板の構造



カバーガス圧力計及び蒸発器圧力開放板の水リーク検出特性図 (定格条件)

図4-2-5 カバーガス圧力計・圧力開放板検出器の検出特性

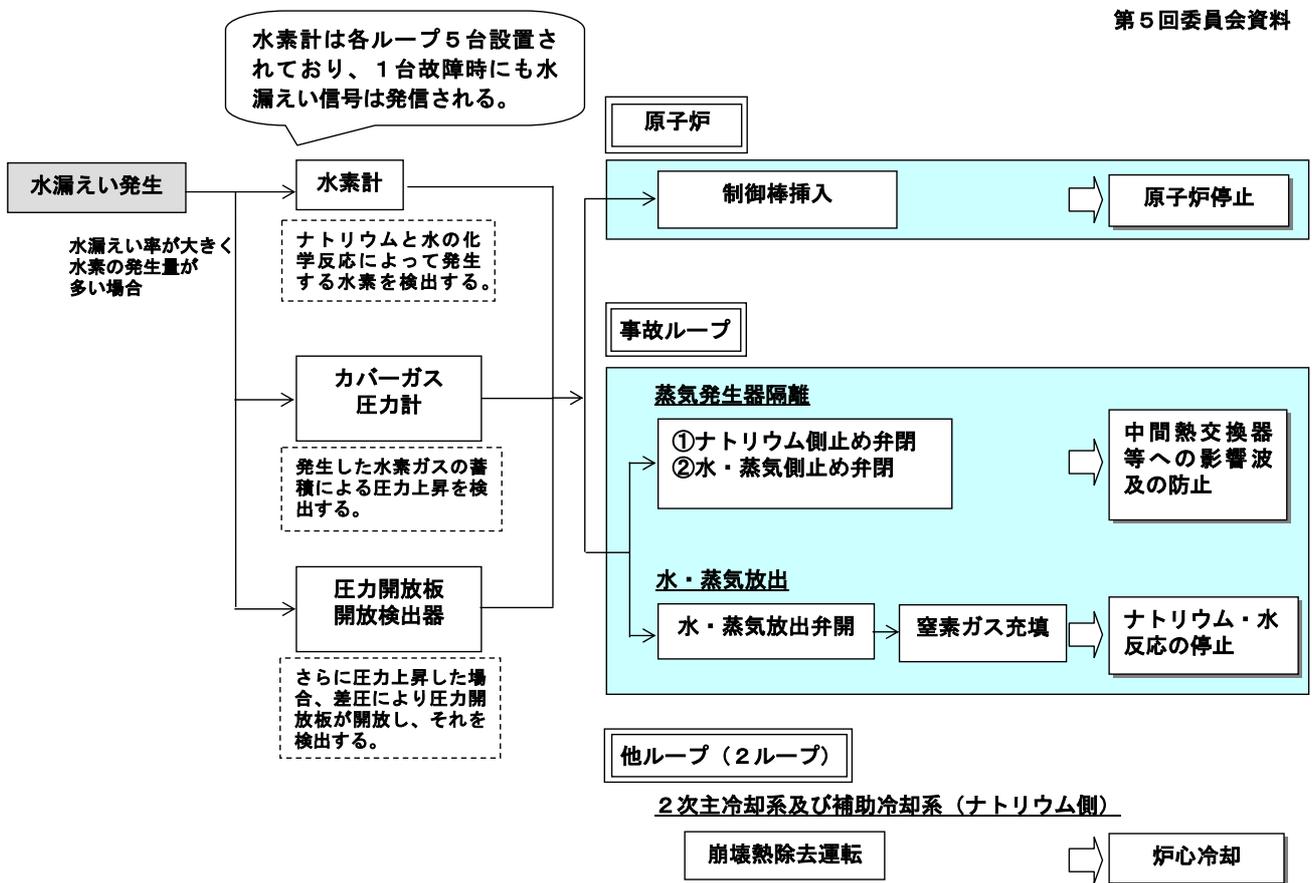


図4-2-6 蒸気発生器伝熱管破損時の対応

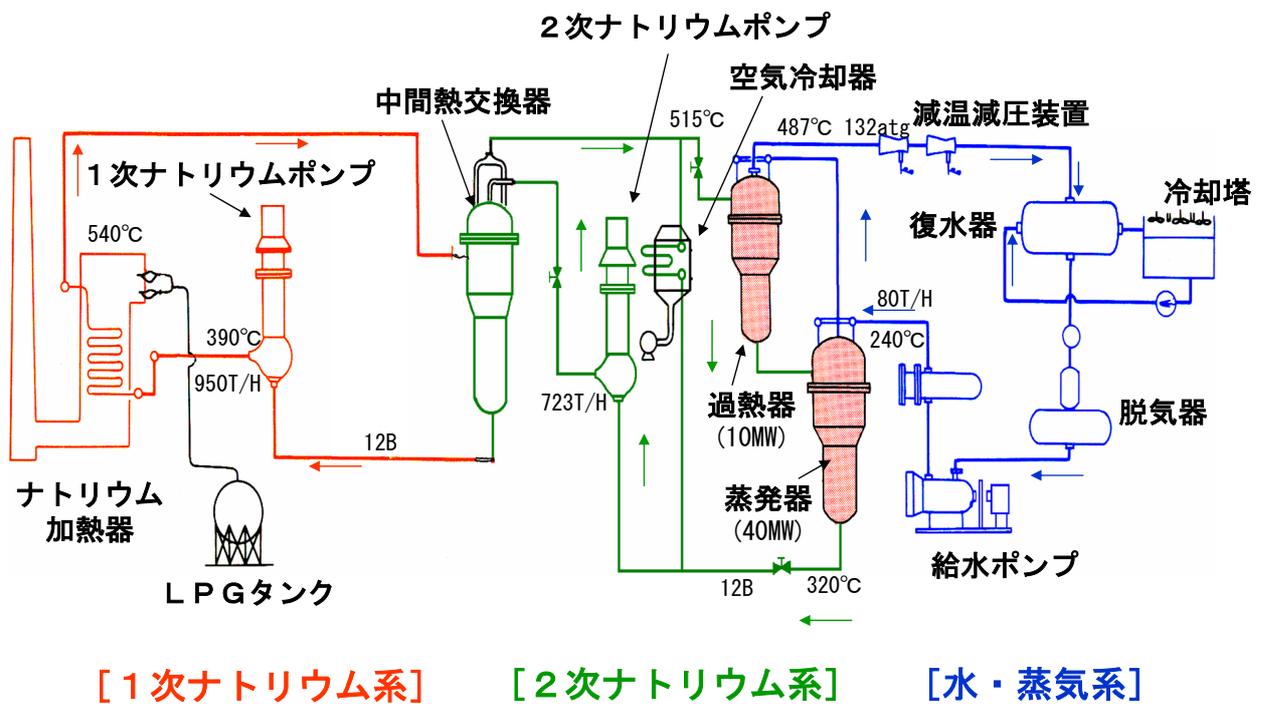


図4-3-1 50MW蒸気発生器試験施設系統図

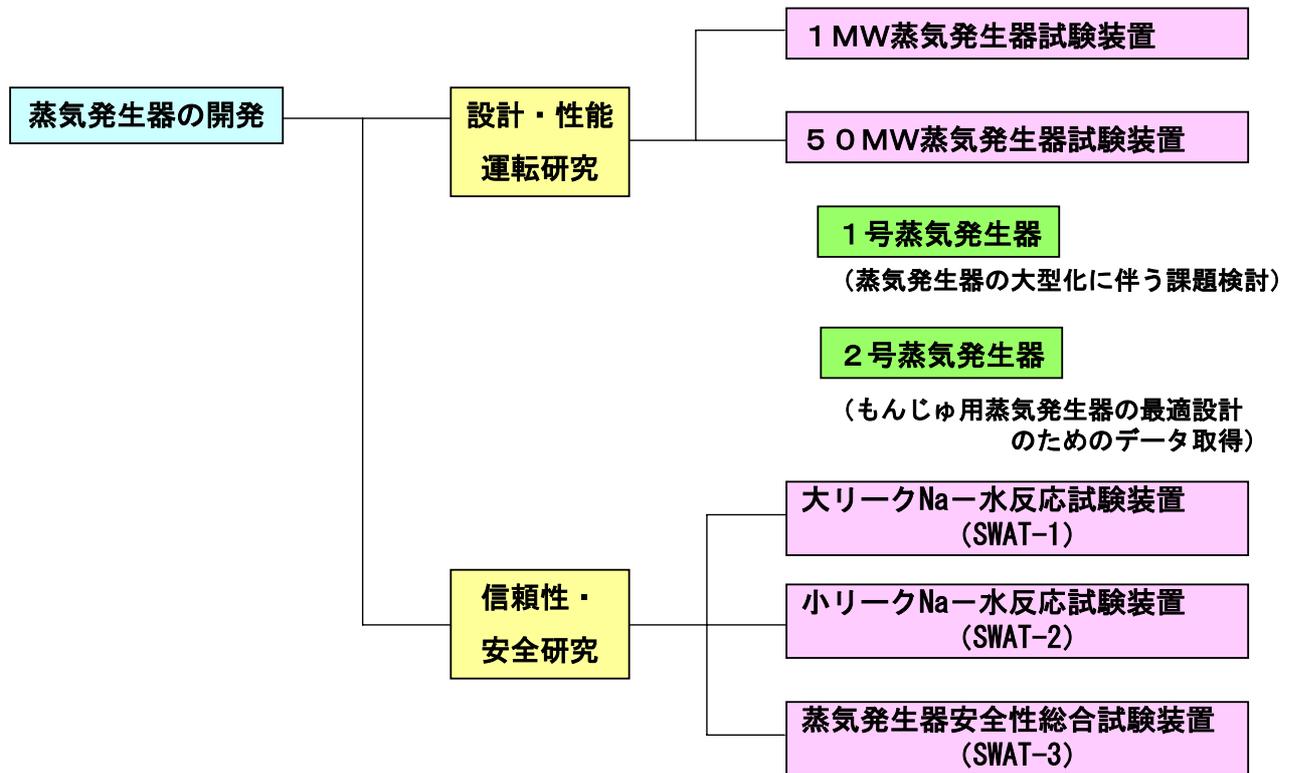


図4-3-2 蒸気発生器の開発概要

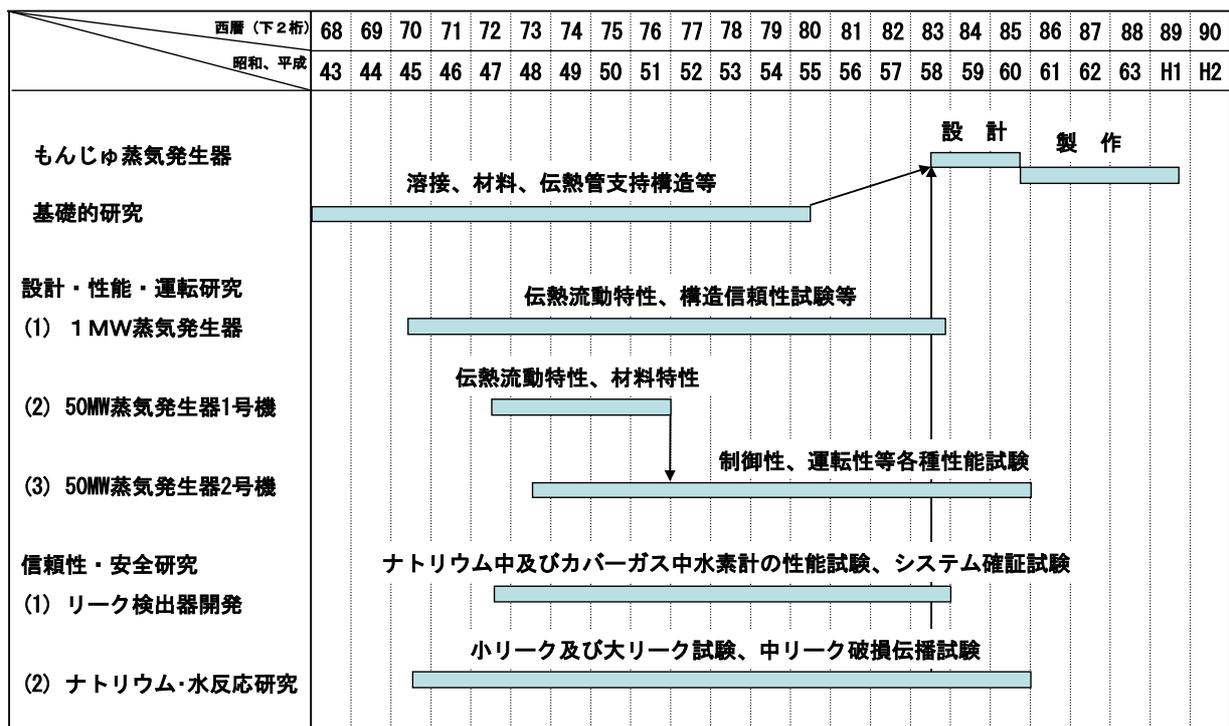


図4-3-3 蒸気発生器の研究開発経緯

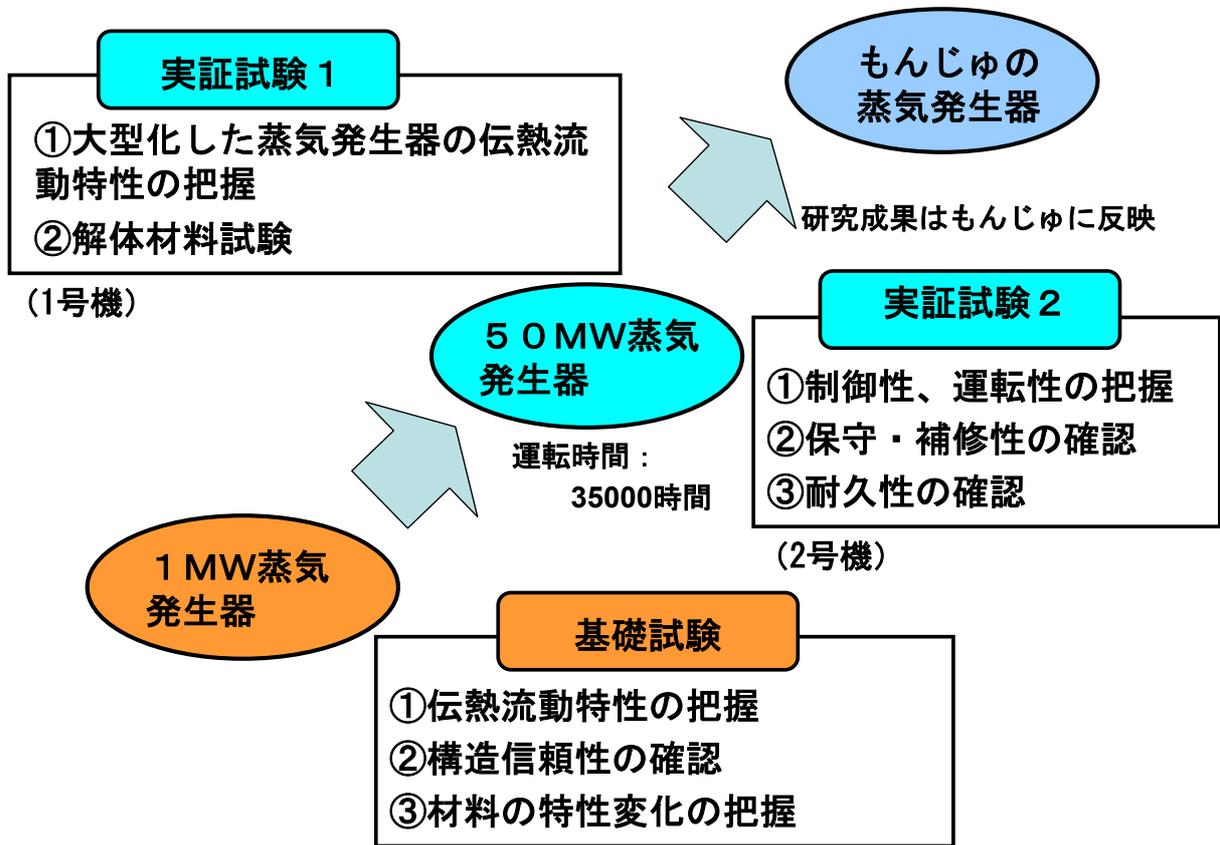


図4-3-4 蒸気発生器の開発試験内容

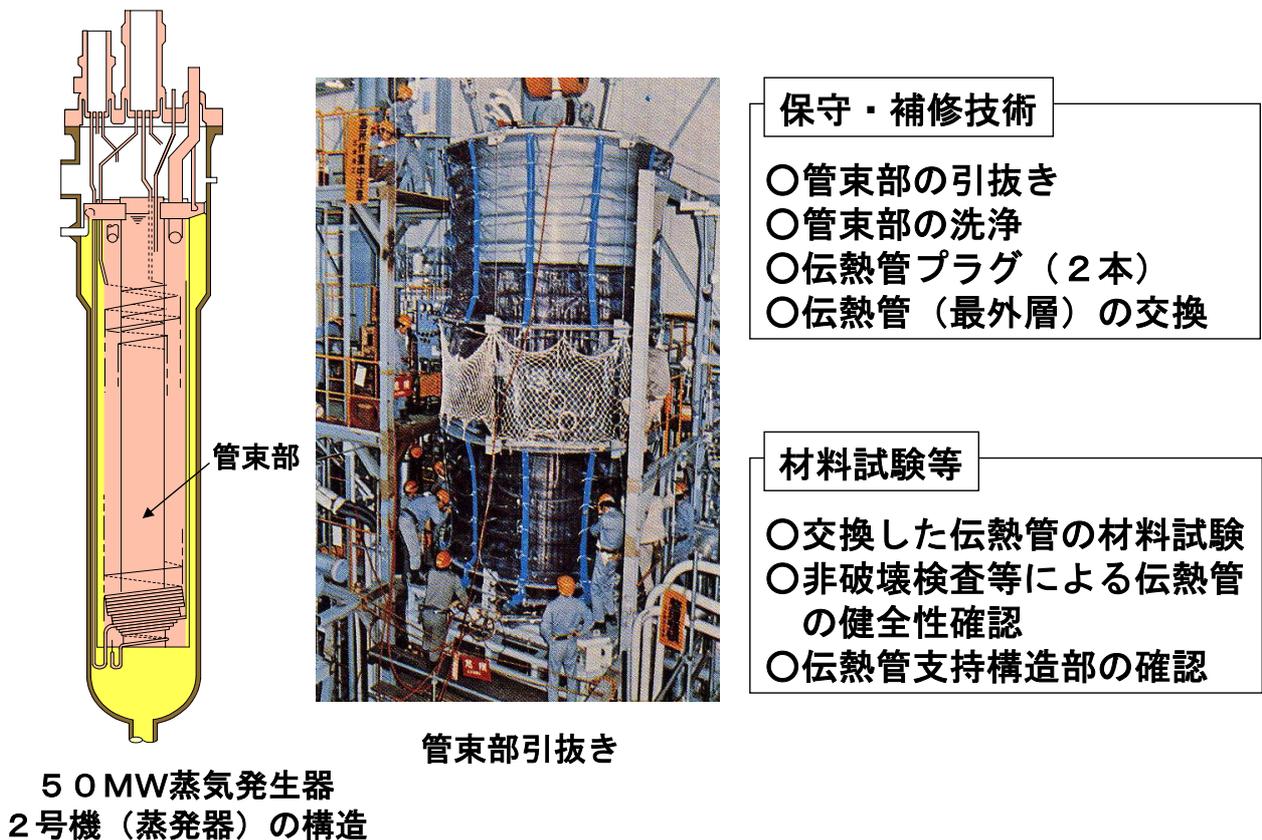
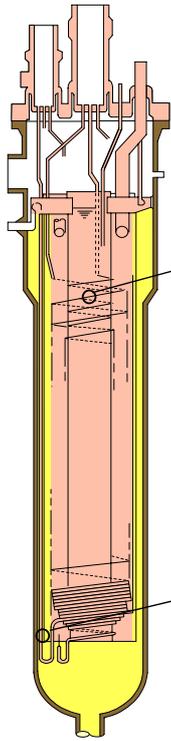


図4-3-5 保守・補修技術の開発



伝熱管は支持構造に固定されており、振れを防止している。

ヘリカルコイル部の支持構造



下降管の支持構造

管束部を引抜き
伝熱管支持の磨耗状況を調整し、問題ないことを確認

50 MW蒸気発生器
2号機（蒸発器）の構造

図4-3-6 伝熱管支持構造

第6回委員会資料

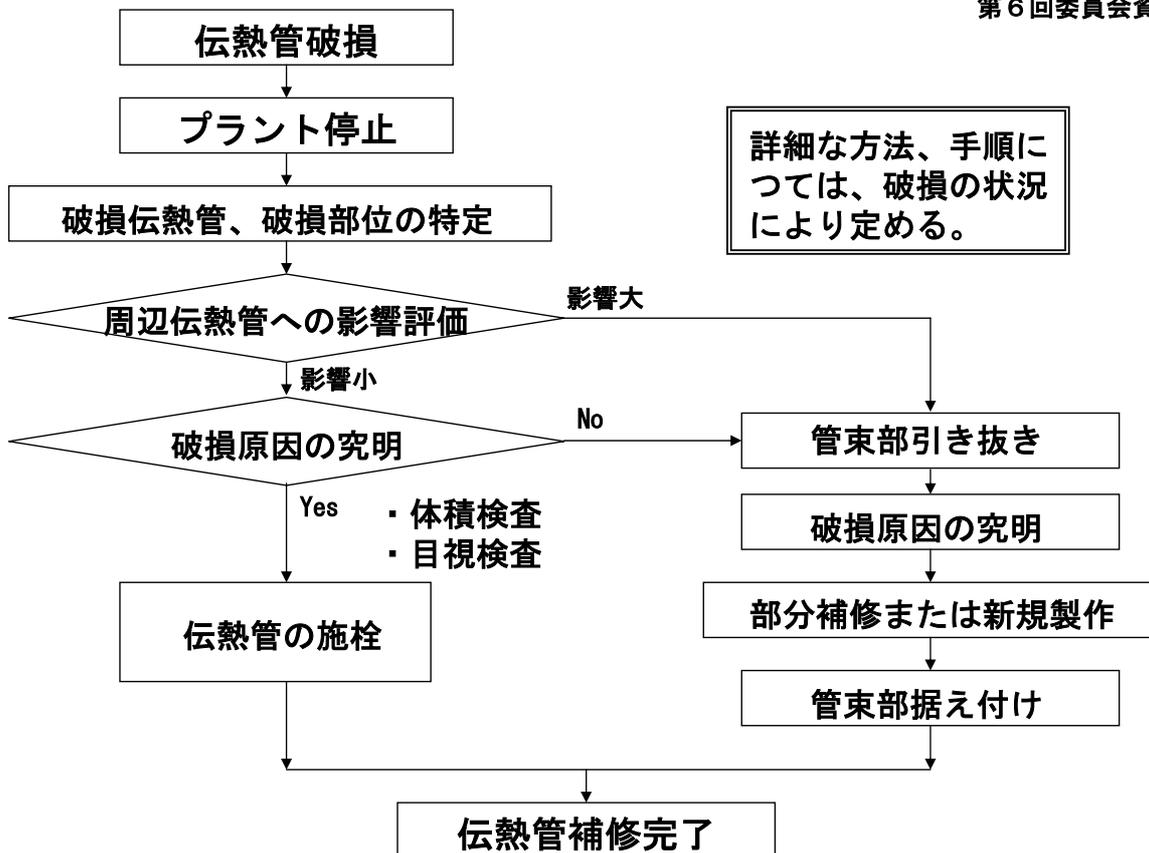


図4-4-1 蒸気発生器伝熱管破損時の原因究明、補修の流れ

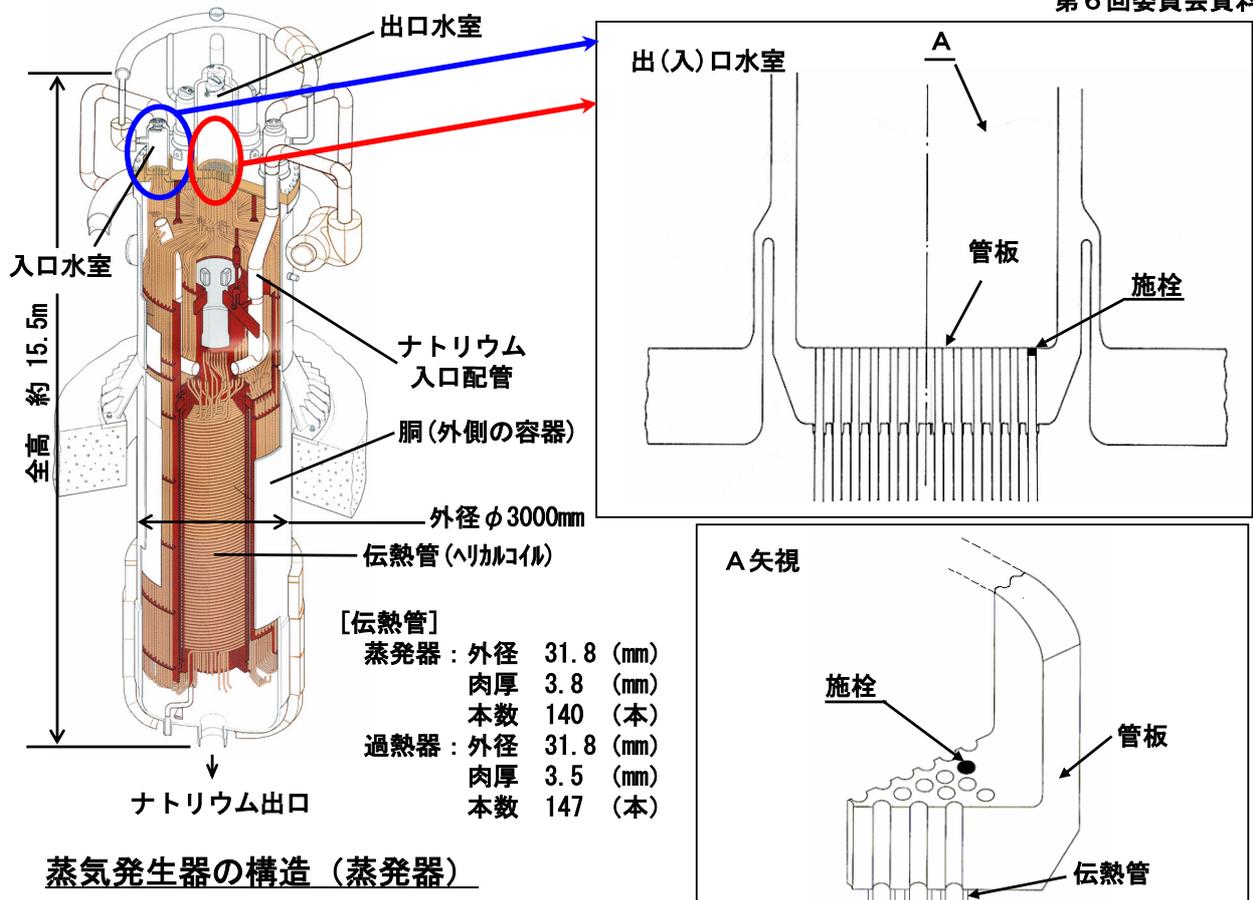


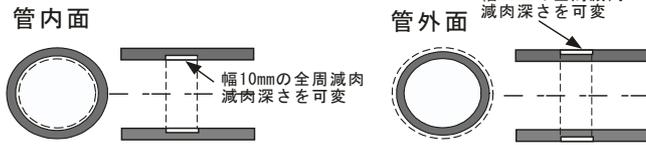
図4-4-2 蒸気発生器伝熱管の施栓方法の例

- (1) 実施時期：平成2年～3年
 (2) 試験内容
 ①装置の取扱作業性 ②管位置決め性
 ③検査プローブの挿入・引抜き性 ④欠陥検出性能

(3) 検出可能な欠陥の大きさ (肉厚減肉割合%) *初期の伝熱管肉厚を100%とした場合の減肉量

測定部位	蒸発器				過熱器			
	伝熱管の一般部位	特殊部位			伝熱管の一般部位	特殊部位		
		支持部	溶接部	バンド部		支持部	溶接部	バンド部
管内面	2.5	2.5	(2.5) 注1	2.5	1	1	(-) 測定せず 注2	1
管外面	5	5 1.0 注3	(5) 注1	5	2	2	(-) 測定せず 注2	2

(4) 試験に使用した人工欠陥形状



- 注1) プローブ単体での結果
 注2) 最近のプローブ単体の結果では、20%以下。
 注3) 下降管支持部は5%、ヘリカルコイル支持部は10%。

図5-1-1 実物大模擬試験装置による検査装置機能

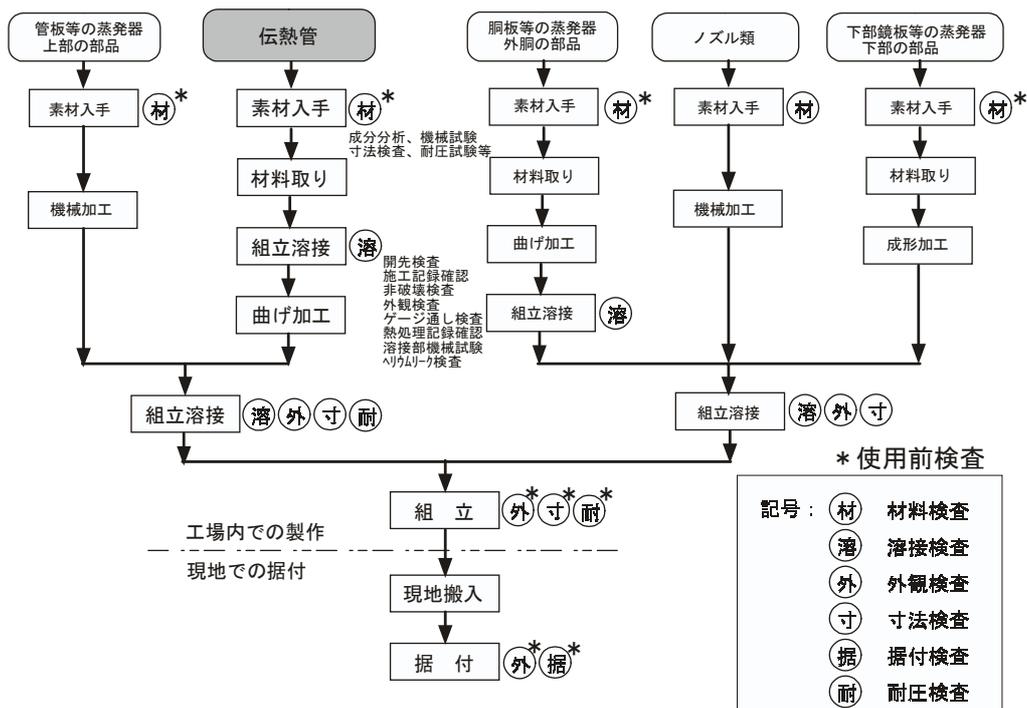


図5-1-2 蒸気発生器の製作・検査の流れ

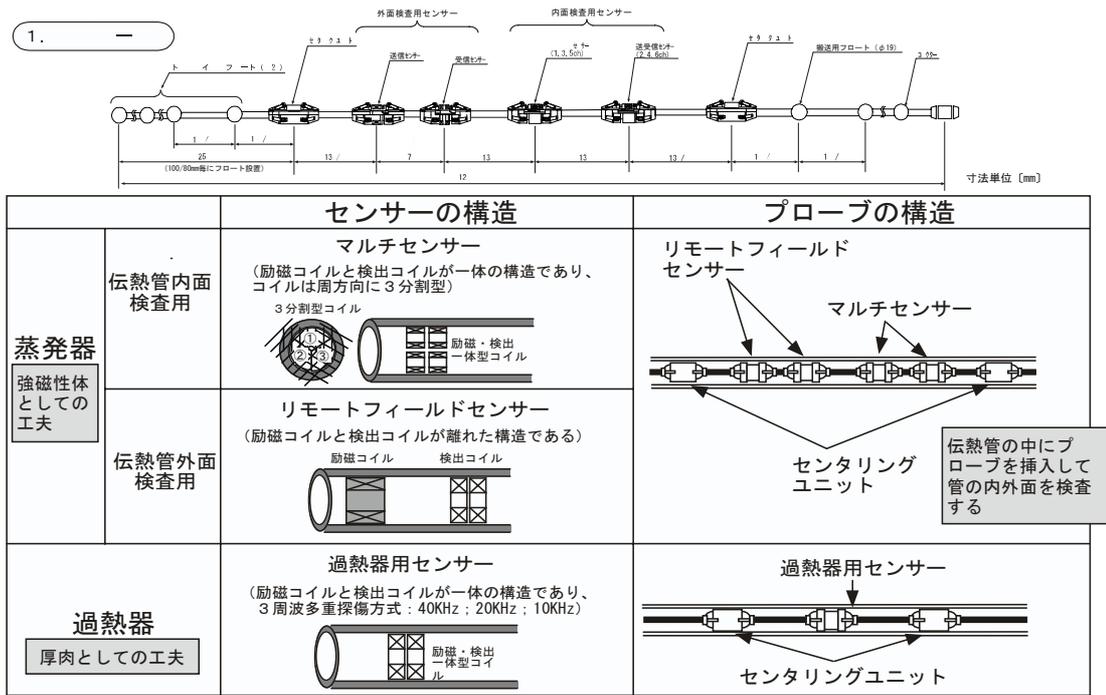


図5-1-3 伝熱管検査装置のセンサ

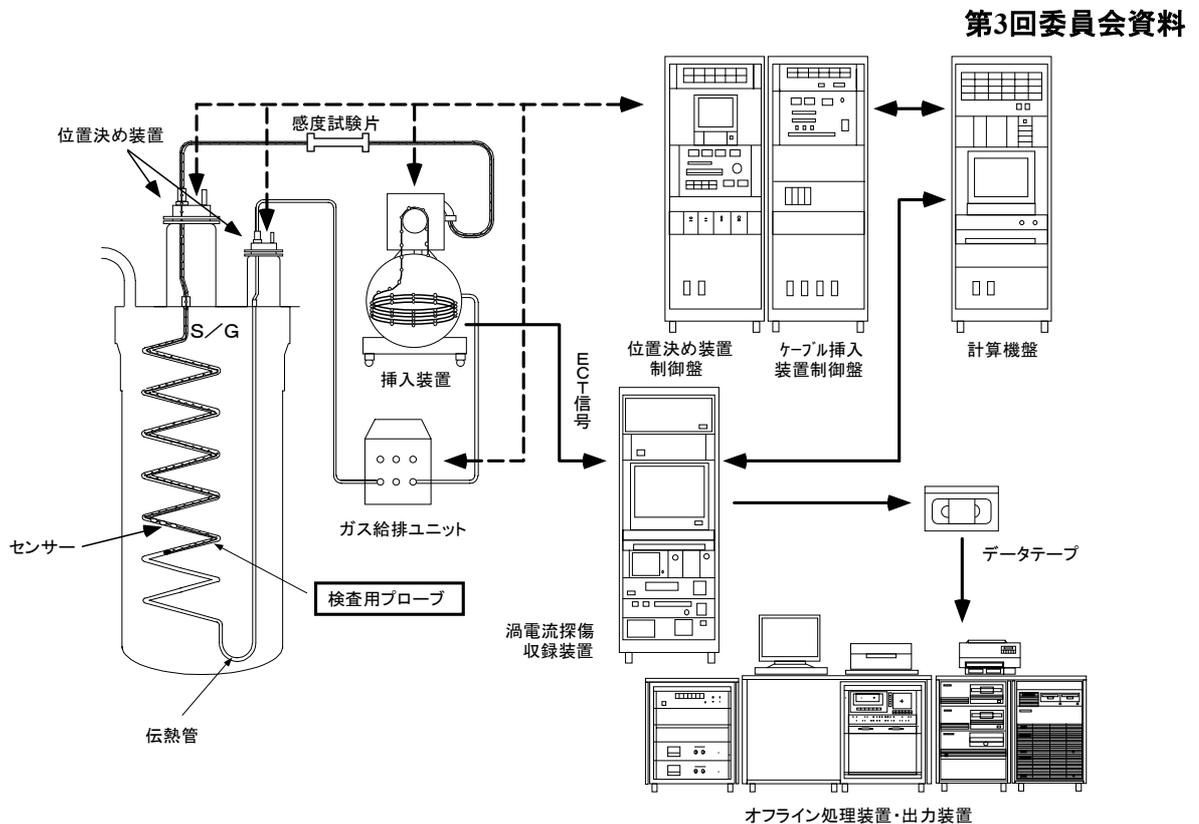


図5-1-4 伝熱管検査装置の概要

使用前検査

国の技術基準に適合していることや許認可申請書に記載した機能と合致していることをプラント使用前（運転前）に確認する法令に基づいた検査です。

供用期間中検査

供用期間中検査（ISI）は、もんじゅ機器に要求される安全上の機能を確認することや破損防止対策を補完することを目的に供用期間中に実施する検査です。

図5-2-1 使用前検査と供用期間中検査

第3回委員会資料

供用期間中検査（ISI）の目的

「もんじゅ」の蒸気発生器は、原子炉冷却材バウンダリを構成する機器でなく、また原子炉の停止時に崩壊熱除去機能を有する機器ではありません。しかし、伝熱管壁を隔てて水とナトリウムが存在するもんじゅ特有の機器であり、運転実績が少ないことを鑑み、事故・トラブルを未然に防止して、信頼性の高いプラントを目指して、供用期間中検査を実施するものです。

供用期間中検査（ISI）の方法

- (1) 水素計による水漏えい監視
- (2) 定期検査期間中における渦電流探傷（ECT）による伝熱管検査

図5-2-2 「もんじゅ」蒸気発生器の供用期間中検査（ISI）

表5-3-1 総合機能試験及び供用期間前検査の概要

1. 実施時期
 ○平成3年5月～平成3年10月

2. 試験概要

(1) 総合機能試験

- ・位置決め性能確認試験
- ・検査用プローブの挿入・引抜き性能確認試験
- ・探傷データの採取機能試験

(2) 供用期間前検査

- ・探傷データ採取及び収録

3. 試験及び検査結果

(1) 全ての伝熱管に対して、位置決めが可能。

(2) 全ての伝熱管に対して、検査用プローブの挿入及び引戻しが可能。

(3) 伝熱管全長にわたり検査データの収録が可能。

(4) 試験期間内に課題を解決し、ほぼ予定された期間内に終了。

(5) 収録したデータは、その後約1年かけてデータ評価を行い、支持部、溶接部、バンド部に特異な信号を識別して整理。

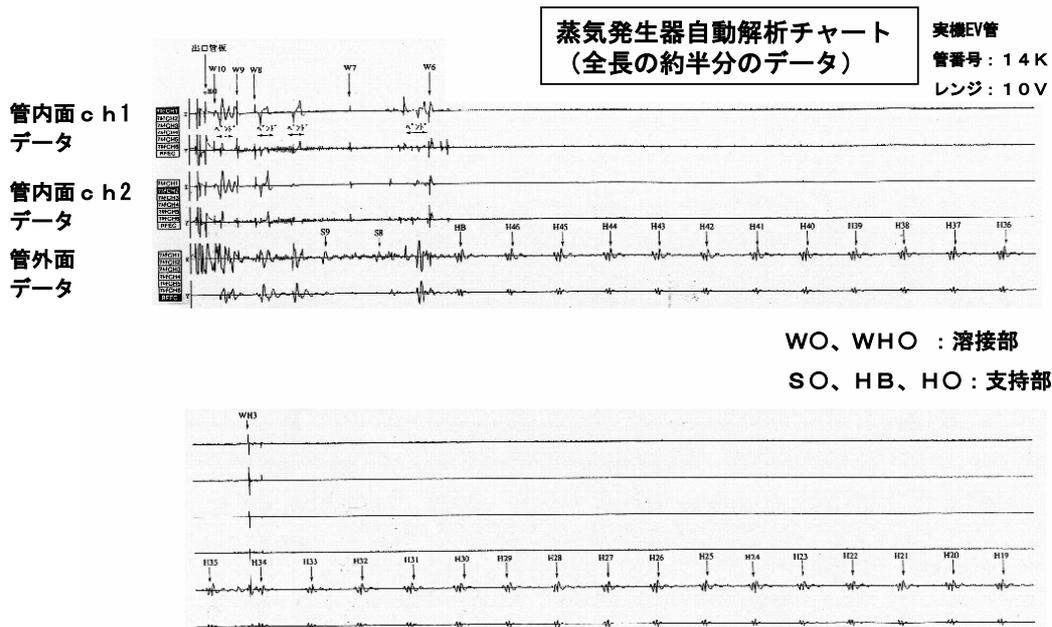


図5-3-1 支持部、溶接部の信号例

表5-3-2 一般産業での使用例

区分	目的	具体例	基準欠陥等
素材検査	製造工程中の最終工程で試験を行い製品の良、不良を判別する	<ul style="list-style-type: none"> 銅管 貫通方式のコイルを用いて製造時の欠陥検出に適用 材質: 磁性体(低合金鋼管) 非磁性体(ステンズ鋼管) 管外径: 10~180mm、肉厚: 1~20mm その他丸棒鋼など 貫通方式のコイルによる探傷が適用されている 材質: 磁性体、棒径: 2~100mm 	<ul style="list-style-type: none"> 銅管(JIS) 種類: 角みぞ、やすりみぞ、貫通穴 深さ: 肉厚の10%~50% その他丸棒鋼など(JIS) 種類: 角みぞ、貫通穴 深さ: 肉厚の5%~50%
保守検査	配管・機器などについて保守管理のため検査を行う	<ul style="list-style-type: none"> タービン復水器伝熱管 内挿方式のコイルを用いて保守検査に適用 材質: 非磁性体(Ti管、黄銅管)、管外径: 25mm 肉厚: 1mm ガス埋設管 内挿方式のコイルを用いて腐食検査に適用 材質: 磁性体(炭素鋼管)、管外径: 50~80mm 肉厚: 3.8~4.2mm その他 火力プラント等の機器(熱交換器伝熱管) 内挿方式のコイルを用いて保守検査に適用 材質: 非磁性体(真ちゅう管、ステンズ鋼管、黄銅管) 磁性体(炭素鋼管、低合金鋼管) 	<ul style="list-style-type: none"> タービン復水器伝熱管(自主) 種類: 全周スリット、貫通穴 深さ例: 20%t~80%t ガス埋設管(自主) 種類: 部分減肉 深さ例: 50%t~90%t 火力プラント給水加熱器(自主) 種類: 全周角みぞ、部分みぞ 深さ例: 50%t

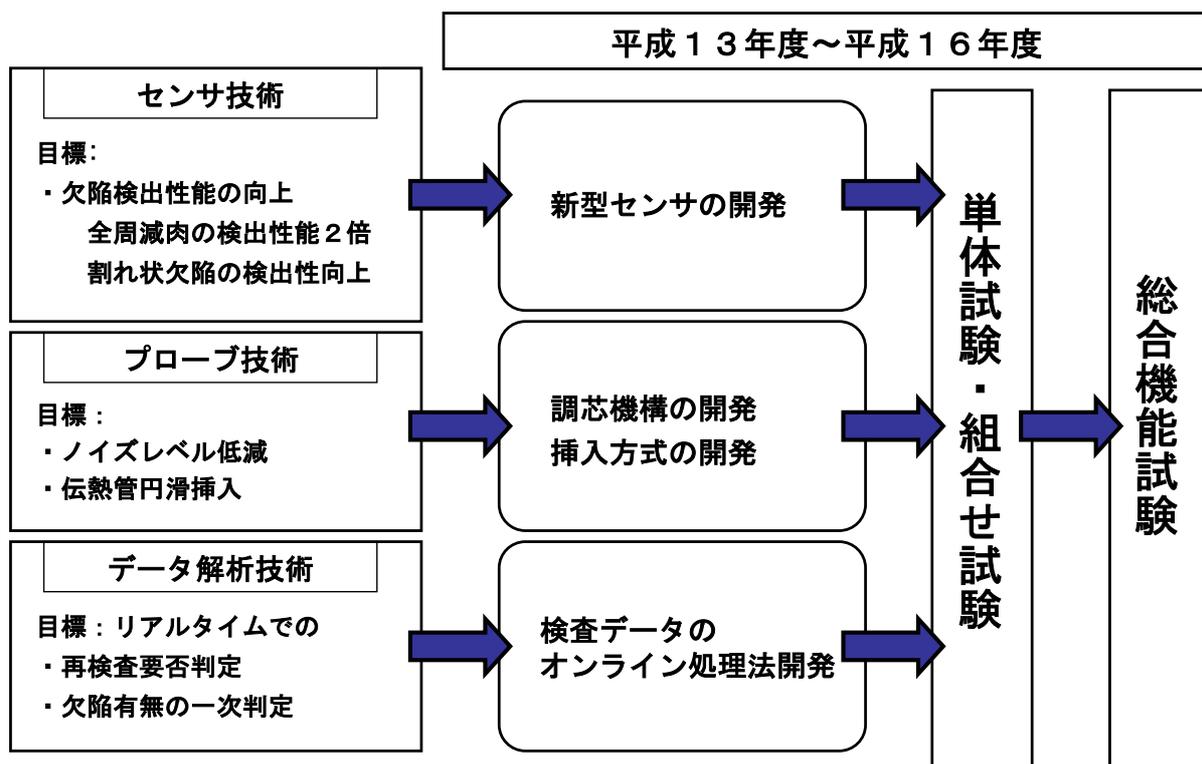
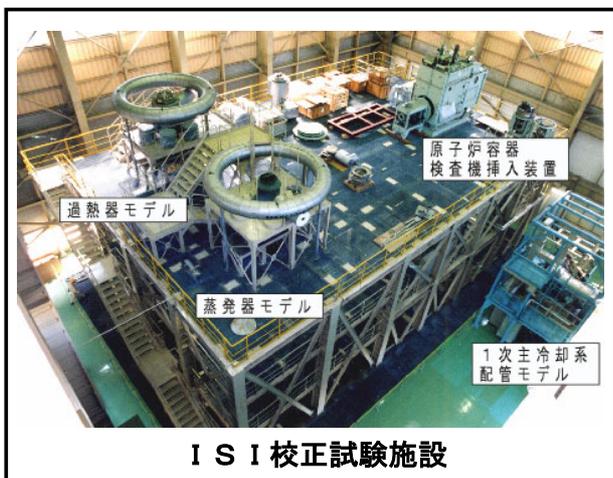


図5-3-2 蒸気発生器伝熱管の検査装置開発計画

表5-3-3 検査装置の検出性

1	<p>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"> ・全周減肉欠陥 板厚の 2%減肉 ・局部減肉欠陥 板厚の 20%減肉 ・周方向ノッチ状欠陥 板厚の 75%深さ ・軸方向ノッチ状欠陥 板厚の 75%深さ ・ピンホール状欠陥 3mmΦの板厚比95%深さの穴
2	<p>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"> ・伝熱管板厚の 20%深さ減肉の検出。 <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"> ・蒸発器 内面；2.5%深さ相当、外面；5~10%深さ相当 ・過熱器 内面；1%深さ相当、 外面；2%深さ相当

- ・現状：必要な性能を確保
- ・開発目標：欠陥検出性の更なる向上



ISI：供用期間中検査

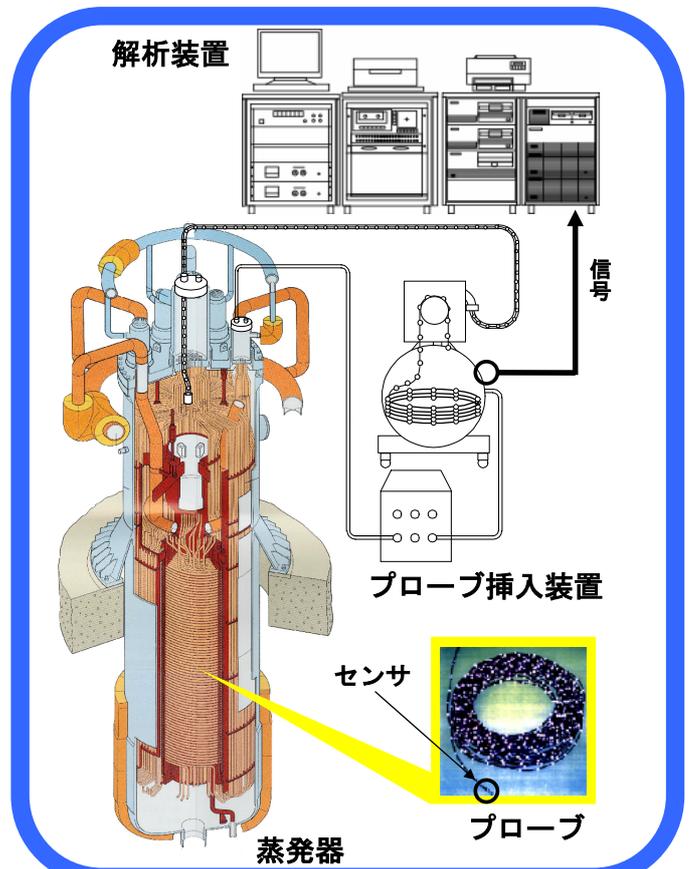


図5-3-3 「もんじゅ」蒸気発生器伝熱管の検査装置開発

表5-4-1 総合機能試験終了後のセンサ改良等の実績

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。

- ① 実機データのノイズ除去の検討（平成8年度、平成12年度）
 - ・ ECT信号の解析作業
- ② 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）
 - ・ ECT装置探傷プローブ（ゴムハーフィンプローブ製作）
- ③ 最新センサ技術の採用と試験（平成11、12年度）
 - ・ ノイズ低減センサ
 - ・ 高感度センサ
 - ・ 試験用内面探傷ECTプローブ
- ④ 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。

EV外面用

リモートフィールドセンサ



改善効果

- ・ 検出感度の向上
- ・ ベントの影響抑制

EV内面・SH内外面用

インテリジェントセンサ



改善効果

- ・ センサ傾きの影響抑制
- ・ 軸、周欠陥の識別

図5-4-1 新型センサの開発

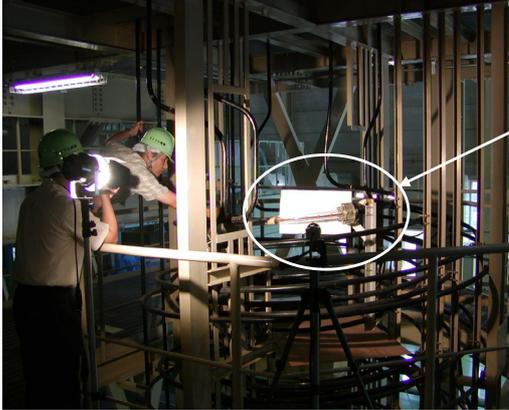
ノイズ要因分析



ノイズ低減対策

- ・プローブ挙動の観察・分析
- ・センサ振動と発生ノイズの解析
- ・摩擦磁励振動の分析

- ・センサの振動低減
(プローブ摩擦抵抗、彫芯機構)



モックアップ試験装置によるプローブ振動試験



高速度カメラによるプローブ振動の観察



高速度カメラシステム

図5-4-2 ノイズ低減プローブの開発

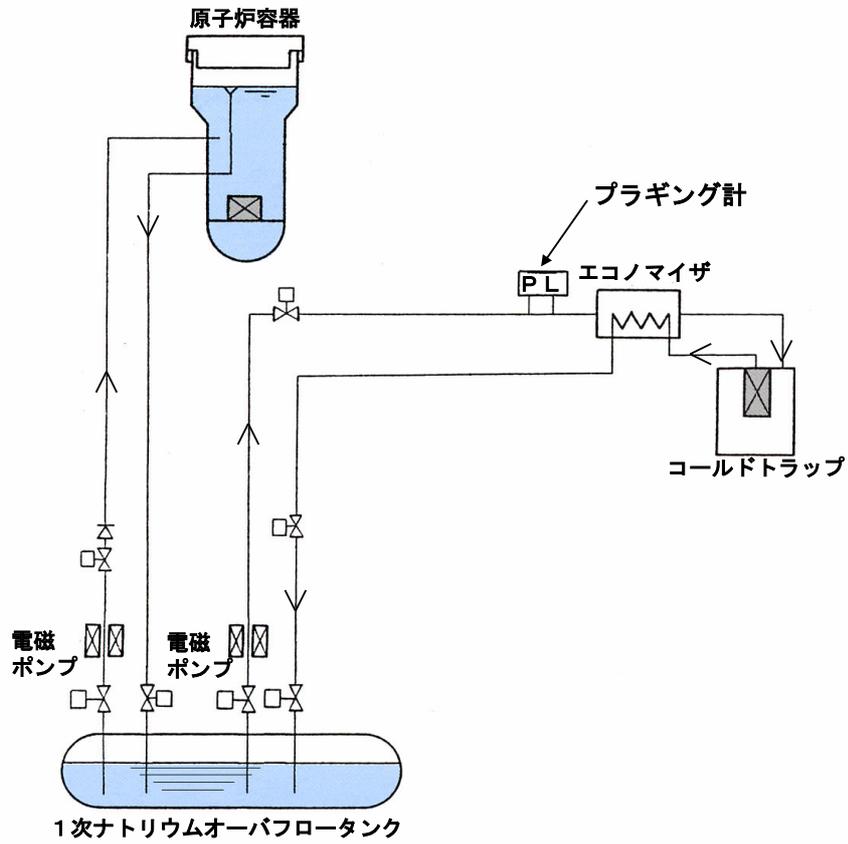


図6-1-1 1次ナトリウム補助設備系統

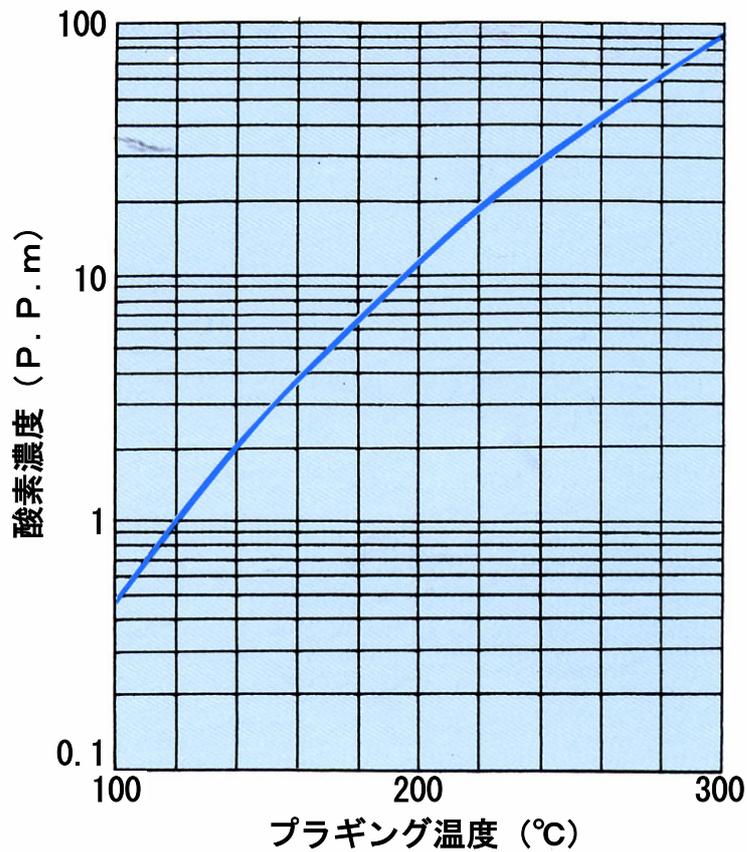


図6-1-2 ナトリウム中酸素の飽和溶解度

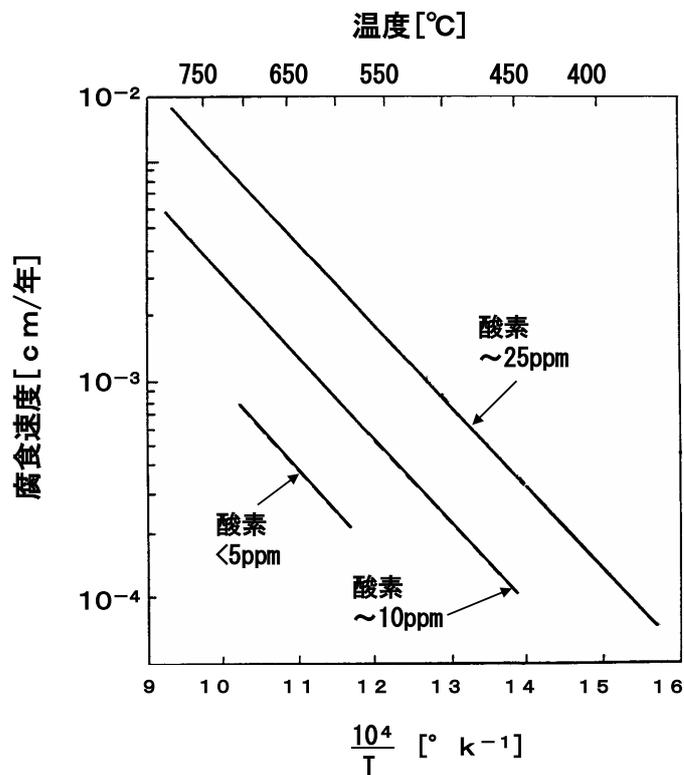


図6-1-3 材料のナトリウム中の腐食速度

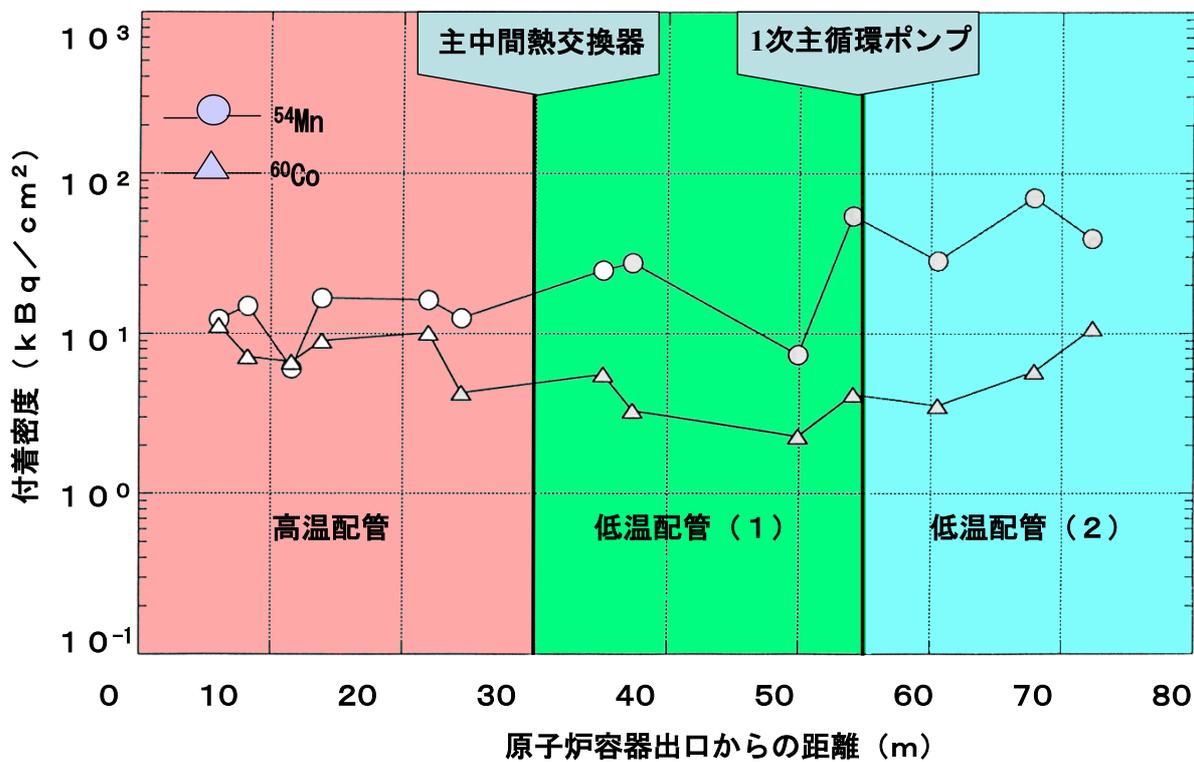


図6-1-4 常陽における放射性腐食生成物の付着量

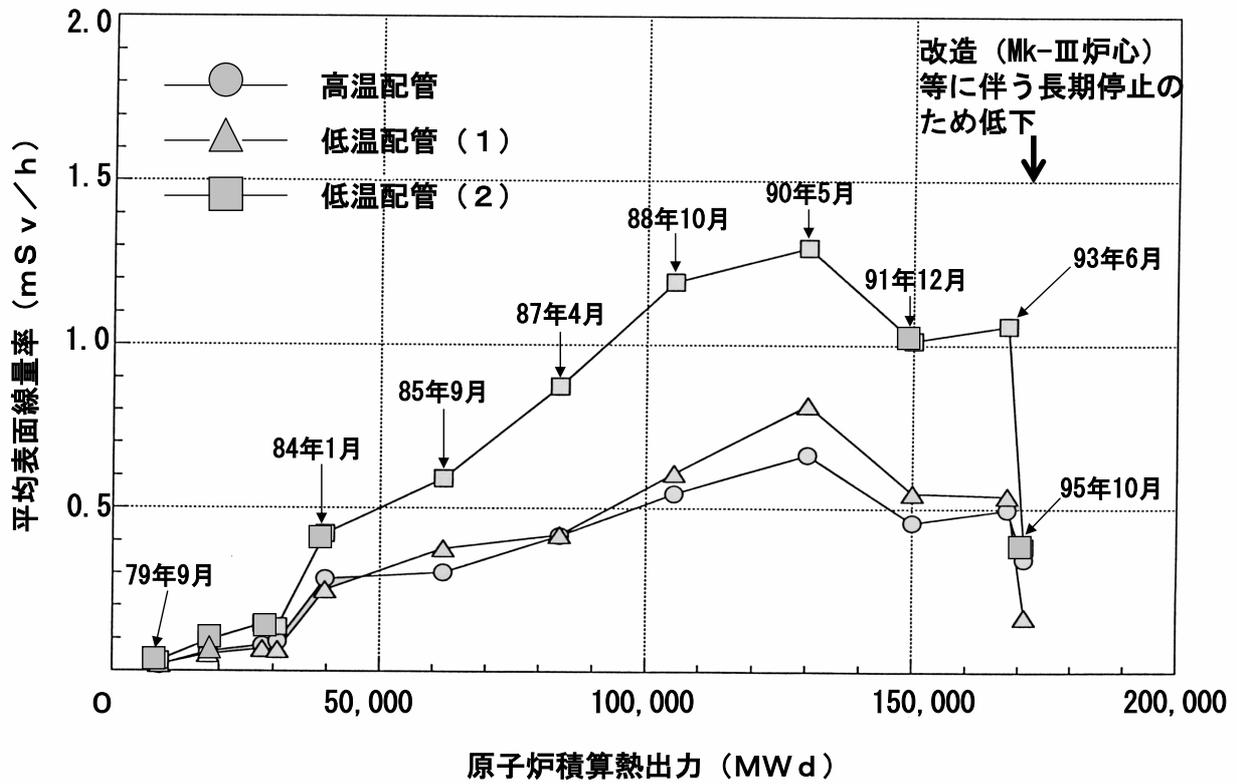


図6-2-1 「常陽」1次主冷却系配管の平均表面線量率の推移

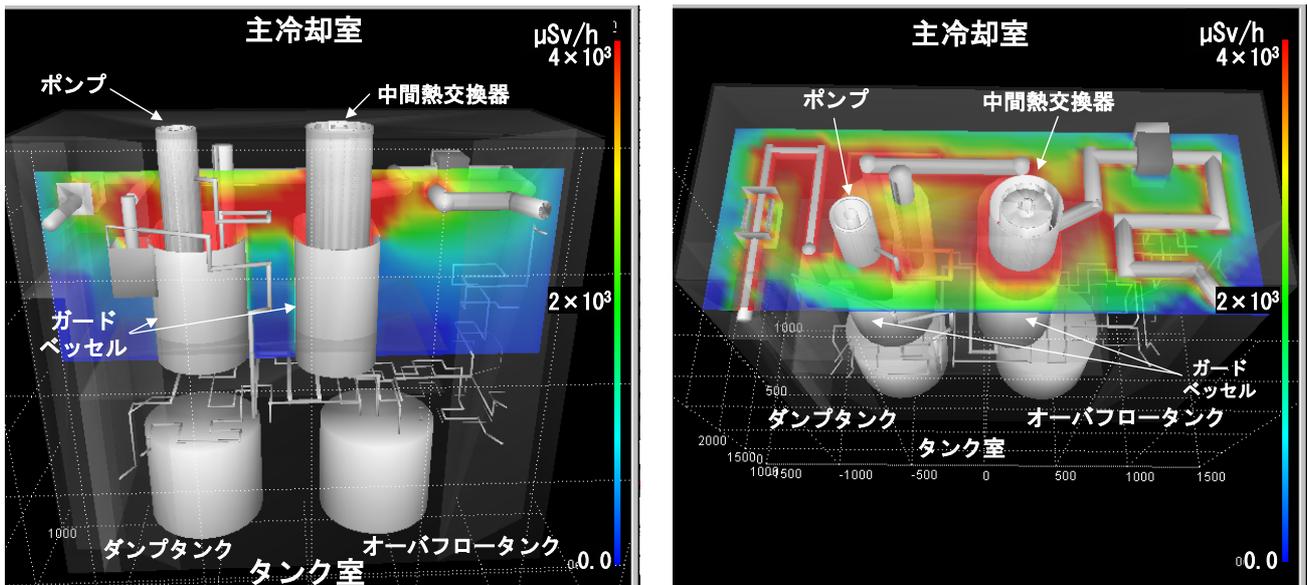


図6-2-2 「もんじゅ」1次主冷却系室線量当量率マップ可視化例(運転30年後)