

「もんじゅ」シミュレータ体験コーステキスト

2003年9月

核燃料サイクル開発機構
敦賀本部 国際技術センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構 技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2003

「もんじゅ」シミュレータ体験コース

核燃料サイクル開発機構
国際技術センター

「もんじゅ」シミュレータ体験コース

1. 「もんじゅ」運転担当者教育訓練体系

別表-1 「もんじゅ」運転担当者教育訓練体系

養成モデル	訓練運転員	初級運転員	中級運転員	上級運転員	当直長補佐	当直長	
高卒	運転経験1年未満	運転経験1年～4年未満	運転経験4年～7年未満	運転経験7年以上	運転経験9年以上	運転経験10年以上	
短大卒		運転経験1年～3年未満	運転経験3年～5年未満	運転経験5年以上	運転経験7年以上	運転経験8年以上	
大卒		運転経験1年～2年未満	運転経験2年～3年未満	運転経験3年以上	運転経験5年以上 (修士 運転経験3年以上)	運転経験6年以上 (修士 運転経験4年以上)	
機構内教育訓練	知識	(所内教育)					
		導入教育					
			保安規定反復教育				
			放射線業務従事者再教育				
		(限内教育)					
	系統教育						
	安全評価教育						
	事業所規則教育						
	法令教育						
	運転管理者教育						
基礎教育							
直内研鑽会 (原子炉物理・確率管理、設備許可・竣工設の概要、etc.)							
(社内教育)							
FBRサイクル総合研修知識講座 (同種技術センター)							
人形部、技能研修講座							
技能	(シミュレータ訓練)						
	初級コース						
	中級コース						
	上級コース						
	当直長補佐コース						
	運転責任者コース						
	直内連携コース						
	直間連携コース						
	リフレッシュ操作訓練						
	実技訓練						
運転担当者階層別実習							
機構外教育訓練	知識	(原研研修)					
		原子力入門講座					
		原子炉工学基礎課程					
	原子炉工学課程						
	原子炉工学特別講座						
セミナー、講習会、研修会							
技能							
	N.T.C. 初期訓練コース フェーズ (II)、(III)						
	技能講習会、技能研修会						

運転員の教育訓練一覧

<階層別教育>

種別	教育名称	実施時間
机上教育	導入教育	5日間
	系統教育	7日間
	初級コース（机上）	3日間
	安全評価教育	2日間
	FBR基礎講座	5日間
	事業所規則教育	2日間
	法令教育	2日間
	初級コース（シミュレータ）	13日間
訓練 シミュレータ	中級コース	10日間
	上級コース	5日間
	当直長補佐コース	3日間
	運転責任者コース	1日間
	直間連携コース	1日間
その他	巡視点検実習	2日間
	大洗工学センター研修	3日間

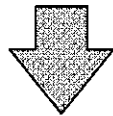
<反復教育（年間）>

種別	教育名称	実施時間		
机上教育	保安規定等反復教育	5時間		
	放射線業務従事者再教育	1時間		
	運転管理者教育	2時間		
	Gr内研鑽会 ・ 事故事例教育 ・ 原子力関係法規教育 ・ 労働安全教育 ・ 事業所規則教育 ・ 水化学教育 ・ 危険物取扱教育 ・ 消火設備教育 ・ 系統設備勉強会 ・ 原子炉物理，臨界管理 ・ 設置許可，設工認の概要 ・ 巡視点検，定期的試験1 ・ 巡視点検，定期的試験2 ・ 異常時対応（現場機器対応） ・ 運転管理 ・ その他 課長，当直長が決定する事項	1回／2ヶ月 1回／年 1回／年 規定の制定改訂時 1回／年 1回／年 1回／年 計画的に実施 1時間 1時間 3時間 1時間 1時間 1時間 その都度		合計 21時間 以上
	訓練 シミュレータ	直内連携コース	2回／年以上	合計 17時間 以上
		リフレッシュ操作訓練	4時間	
	その他	現場実技訓練	2回／年	合計 12時間 以上
		ナトリウム消火訓練	1日間	
		異常時模擬訓練	30分間	
		巡視点検直内実習	1時間	

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で徹底されていない面があった。

教育訓練内容
の見直し実施



安全総点検
(電力関係等外部専門
家の意見の反映)



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。)

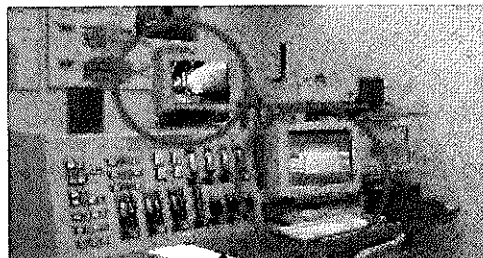
さらに改善すべき事項がないか点検

総点検結果に基づく改善策

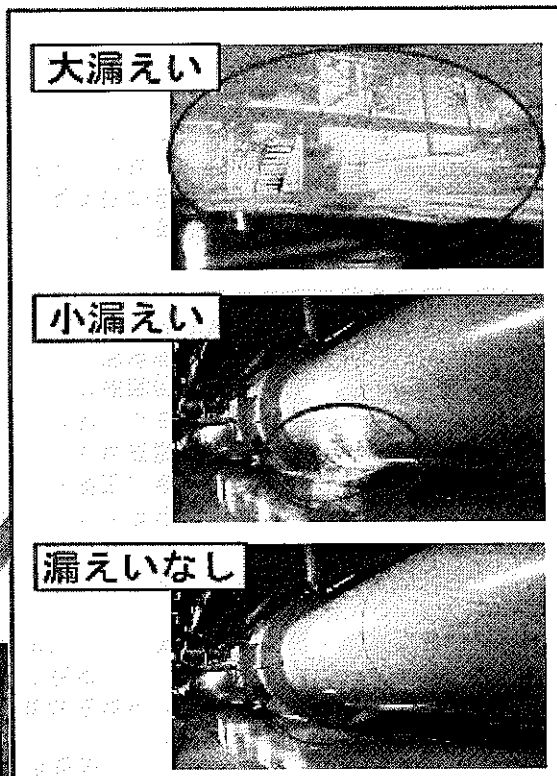
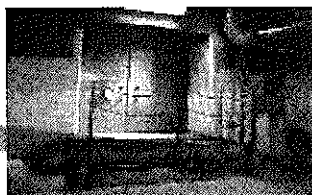
- <教育訓練内容の更なる強化> (平成10年4月より実施)
 - 基礎知識教育の充実
 - ・新卒の初級運転員を対象とした機械・電気・計測制御の基礎訓練
 - ・新卒の訓練運転員を対象とした電気・計装の基礎・保全のパソコン利用のCAI (コンピュータ支援) 教育
 - 繰返し教育訓練すべき項目の充実
 - ・運転心得、保安規定、事故事例教育などを繰返し実施
 - 連絡責任者に対する教育訓練の明確化
 - ・連絡責任者を対象、シミュレータを用いたプラント挙動の理解や運転直との連携の訓練
- <教育訓練充実のための環境整備>
 - 運転員に対する十分な教育訓練期間の確保
 - 6班3交替制の導入について、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)

運転員教育訓練の改善

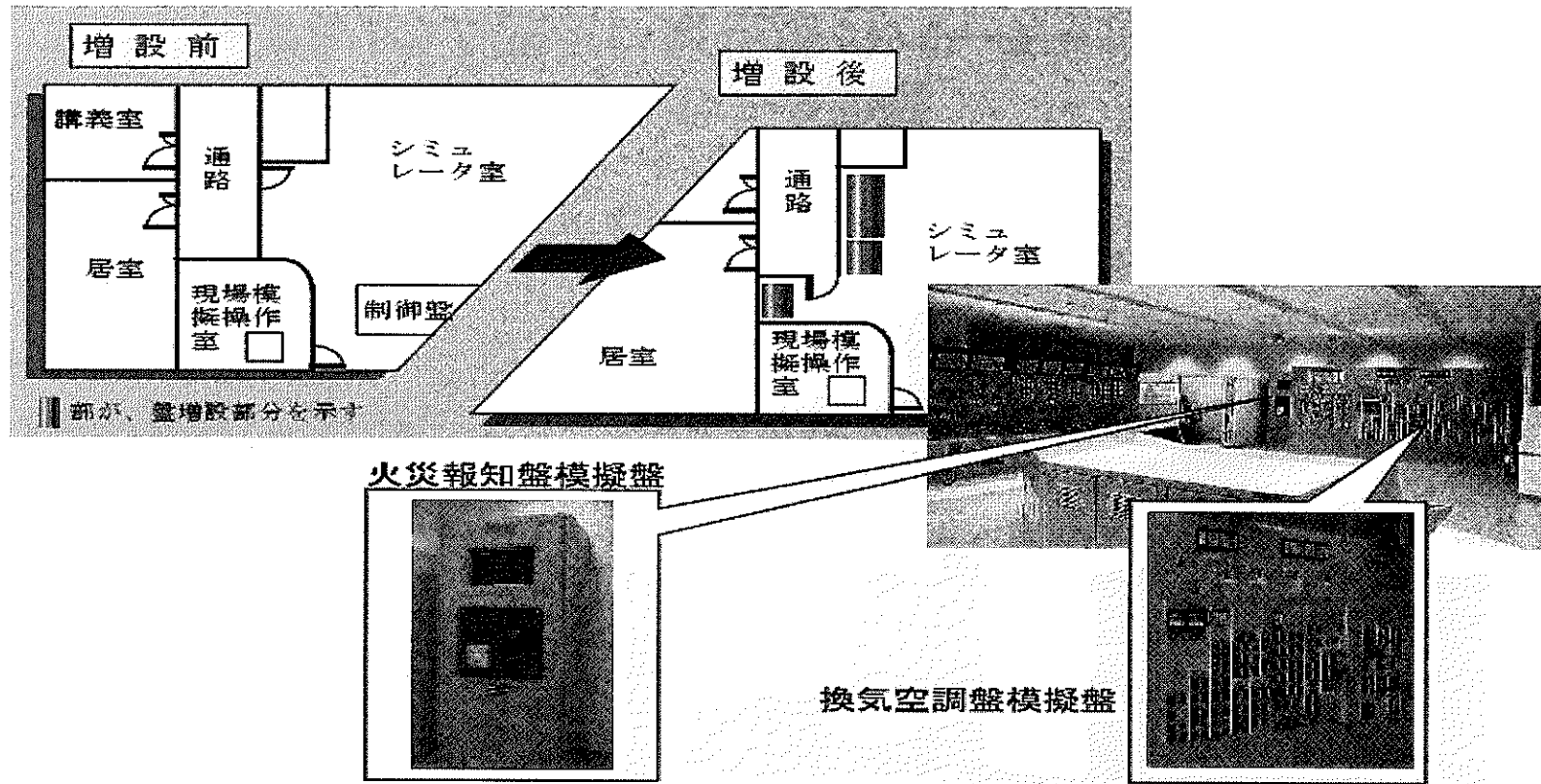
Na 漏えい模擬映像表示装置



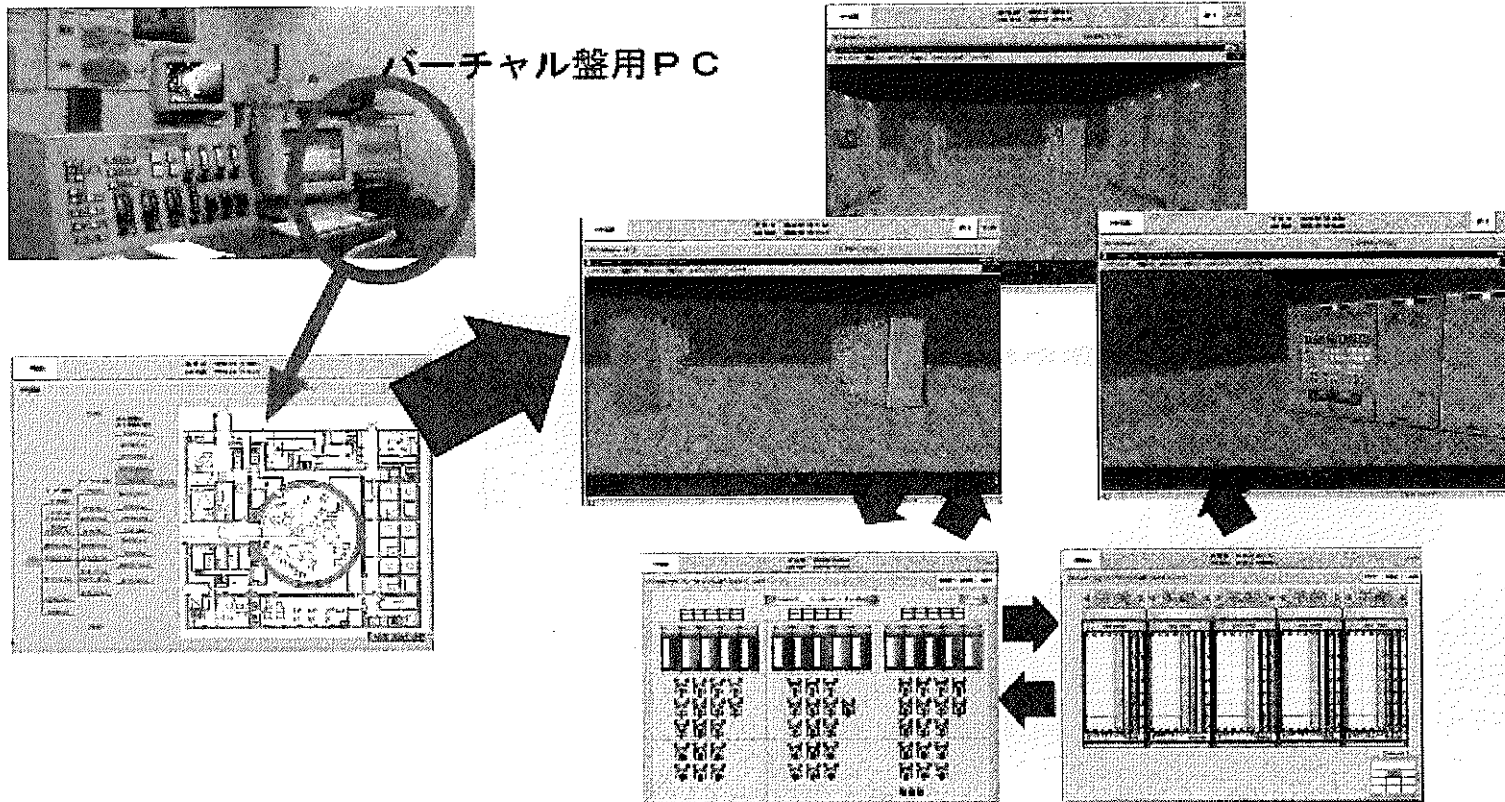
シミュレータから
故障模擬を設定



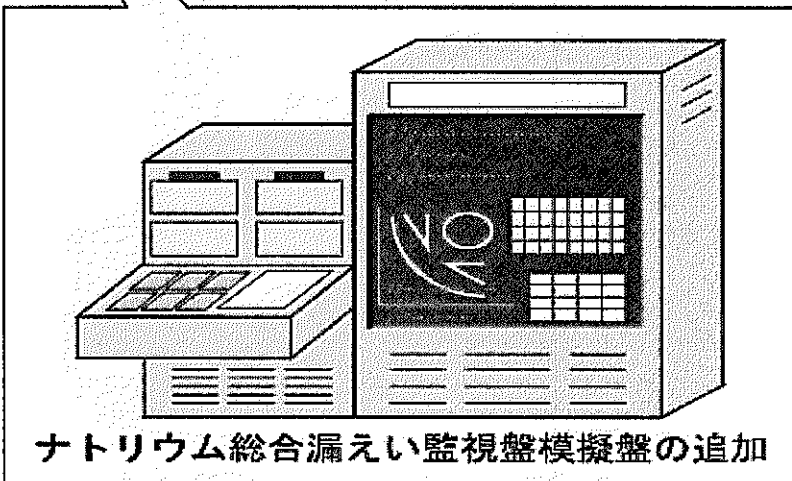
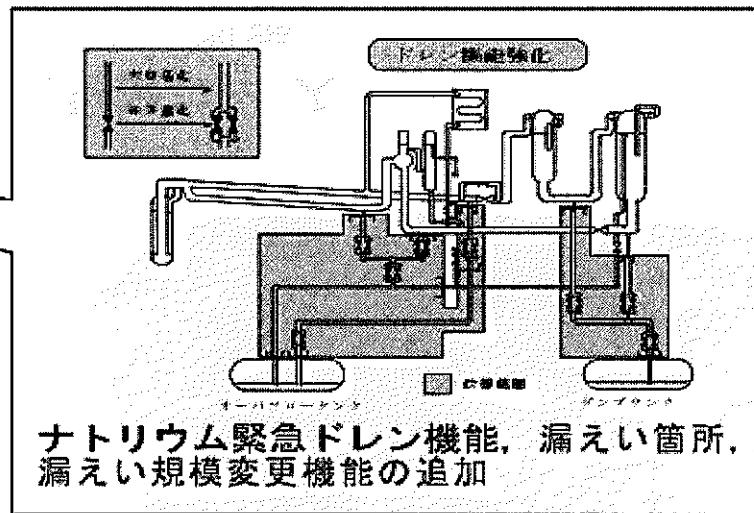
シミュレータ改造 ～ナトリウム漏えい現場確認映像～



シミュレータ改造
 ～火災報知盤・換気空調盤の追加～

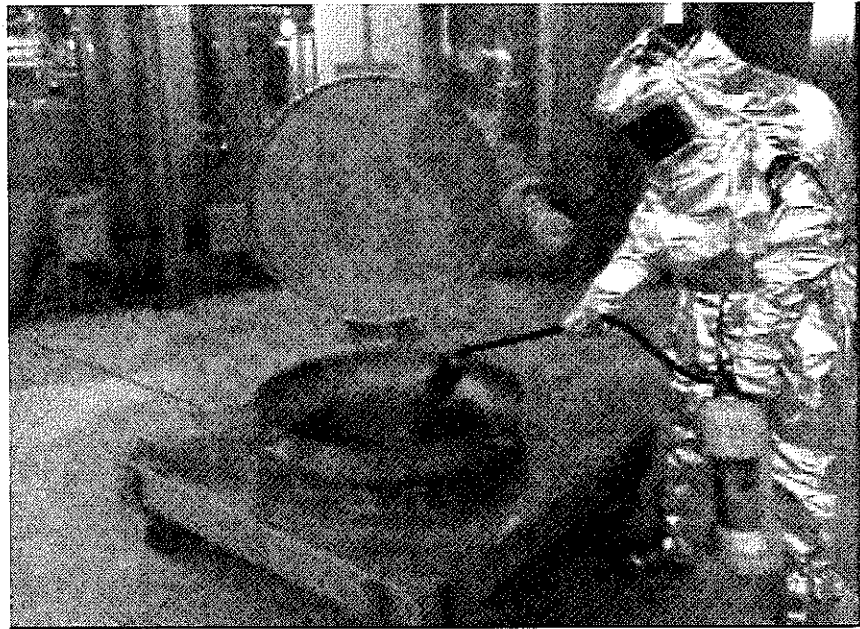


シミュレータ改造 ～ナトリウム漏えい監視盤のバーチャル化～



今後のシミュレータ改造計画

「もんじゅ」運転員及び自衛消防隊員
は年1回必須で訓練を受ける。



ナトリウム取扱コース
(ナトリウム消火訓練)

「もんじゅ」シミュレータ体験コース

2. 臨界操作

臨界とは

燃料に、中性子が当たると核分裂が発生します。核分裂が発生すると、2～3個の中性子が飛び出し、その中性子が、また燃料に当たり、中性子を生み出していきます。

1つの中性子で、2個の中性子が生み出されるとして、中性子の数は、初めは、中性子1個×2個＝2個 2個の中性子が核分裂に使われると、次は、中性子2個×2個＝4個

4個の中性子が核分裂に使われると、中性子4個×2個＝8個というふうに、どんどん増えていってしまいます。

しかし、中性子は、必ず次の燃料に当たり、核分裂が起こるとは限りません。

例えば、2つの中性子の内、1つしか核分裂に使われなかったとすると、中性子1個の核分裂で生み出される中性子の数は、中性子1個×2個＝2個となります。この2つの中性子の内、また、1つしか核分裂に使われないと、生み出される中性子の数は、2個となり、前回と同じ中性子の数しか出てきません。

臨界とは、核分裂に使った中性子の数と、核分裂によって発生する中性子の数が同じ数、つまり、核分裂を繰り返しても中性子の数が変わらない「状態」を言います。

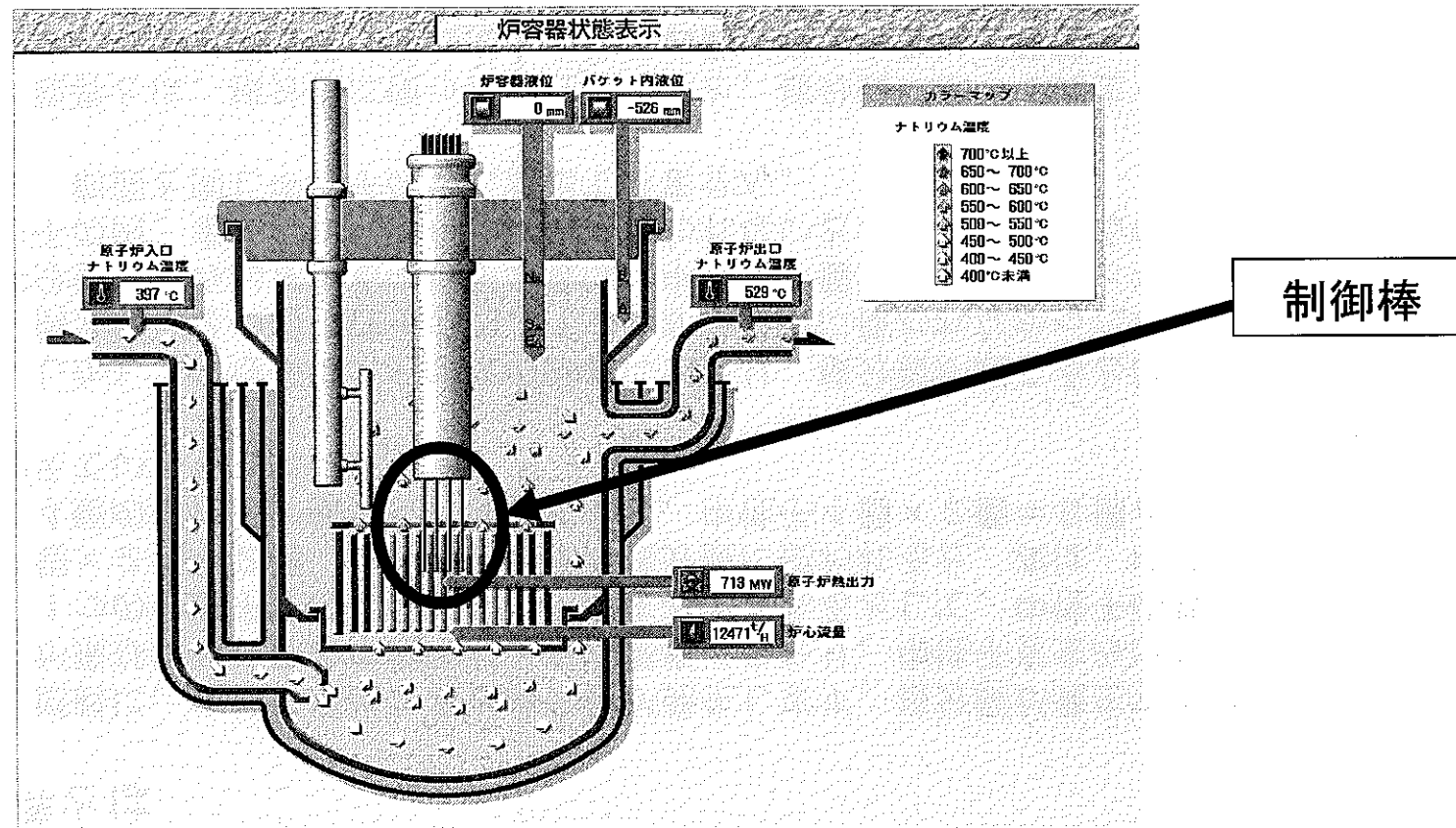
超臨界とは、臨界状態を超えた状態で、使った中性子より生み出される中性子の数が多くなっていく「状態」です。

未臨界とは、使った中性子の数より、生み出される中性子の数が少なくなっている「状態」で、この状態が続くと核分裂に使われる中性子がなくなり、核分裂自体が行われなくなります。

臨界とは、状態を表しているもので、中性子10個で数が変わらない「臨界」状態もあれば、中性子100個での「臨界」状態もあります。

臨界のコントロール

「もんじゅ」では、「**制御棒**」によって、原子炉の中の核分裂をコントロールし、臨界状態や超臨界状態、未臨界状態を自由に作り出す事が出来ます。



制御棒

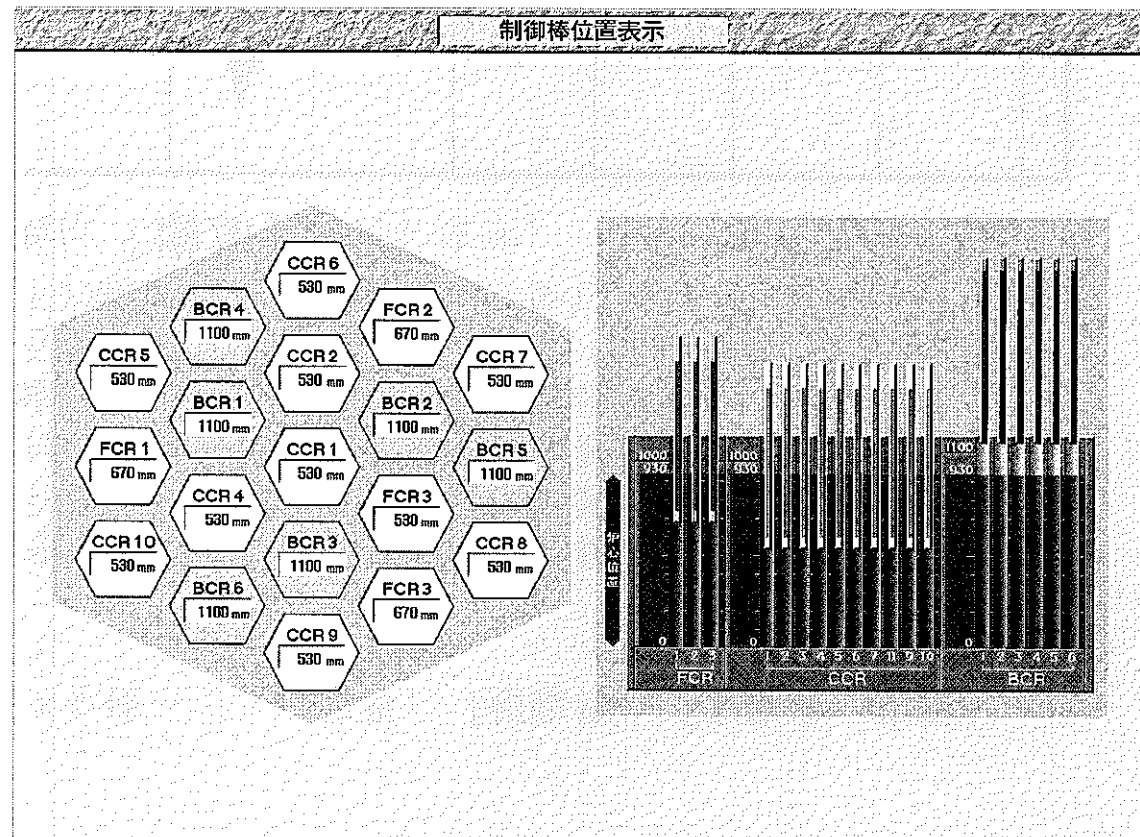
「もんじゅ」では、19本の制御棒があり、「引抜」と中性子の数が増え、「挿入」と中性子の数が減っていきます。

「もんじゅ」の制御棒は、タイプが3つあり、

FCR (微調整棒) × 3本
 CCR (粗調整棒) × 10本
 BCR (後備炉停止棒) × 6本

となっています。

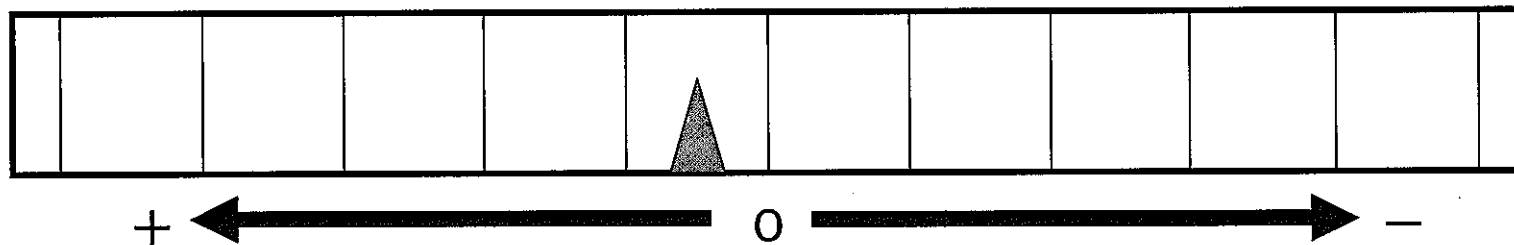
違うタイプの制御棒を複数本用意することで、制御棒が故障した場合にも、原子炉をコントロールすることができます。



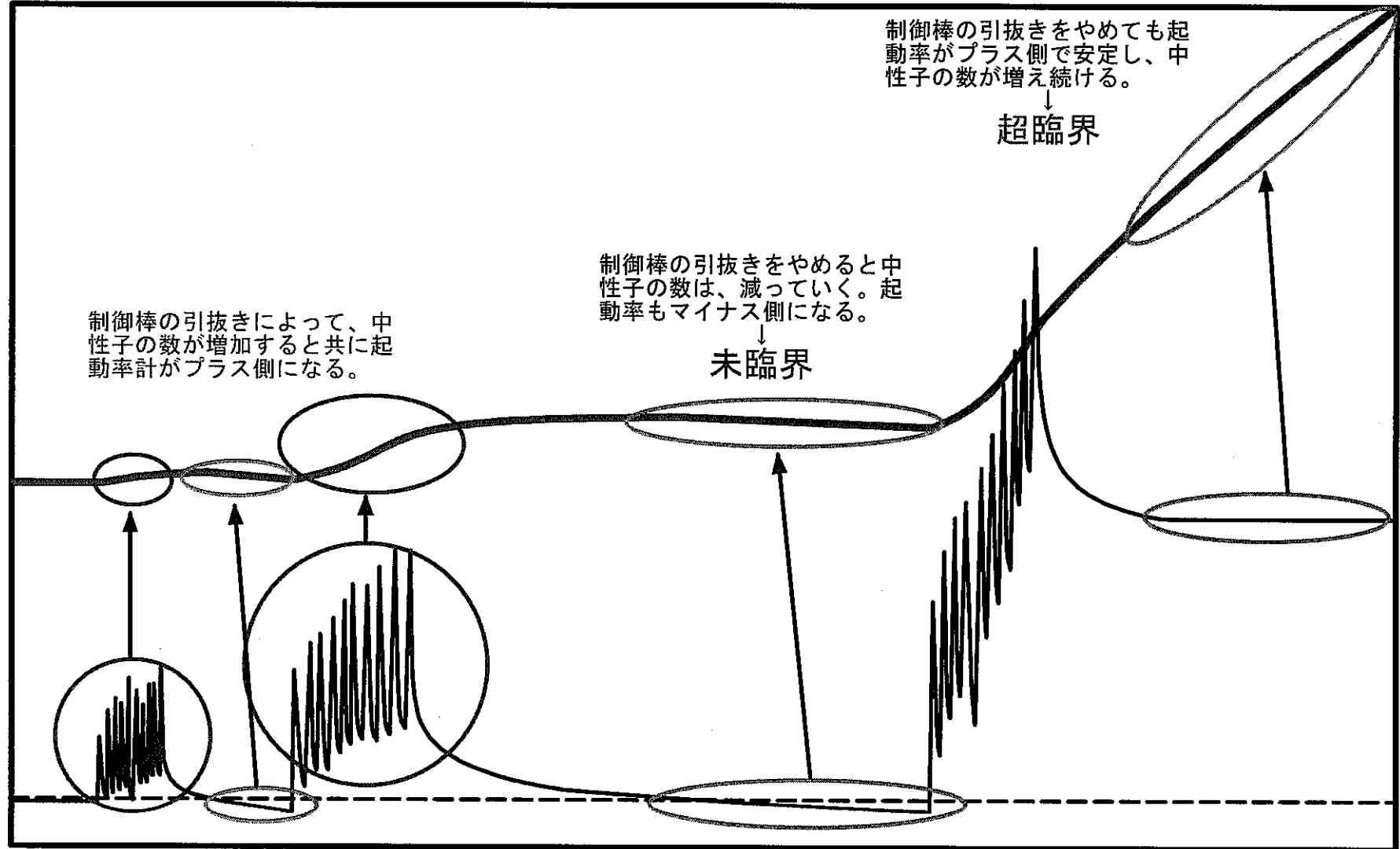
臨界状態を見てみよう

「もんじゅ」のシミュレータを使って、「臨界」「超臨界」「未臨界」状態を作ってみましょう。

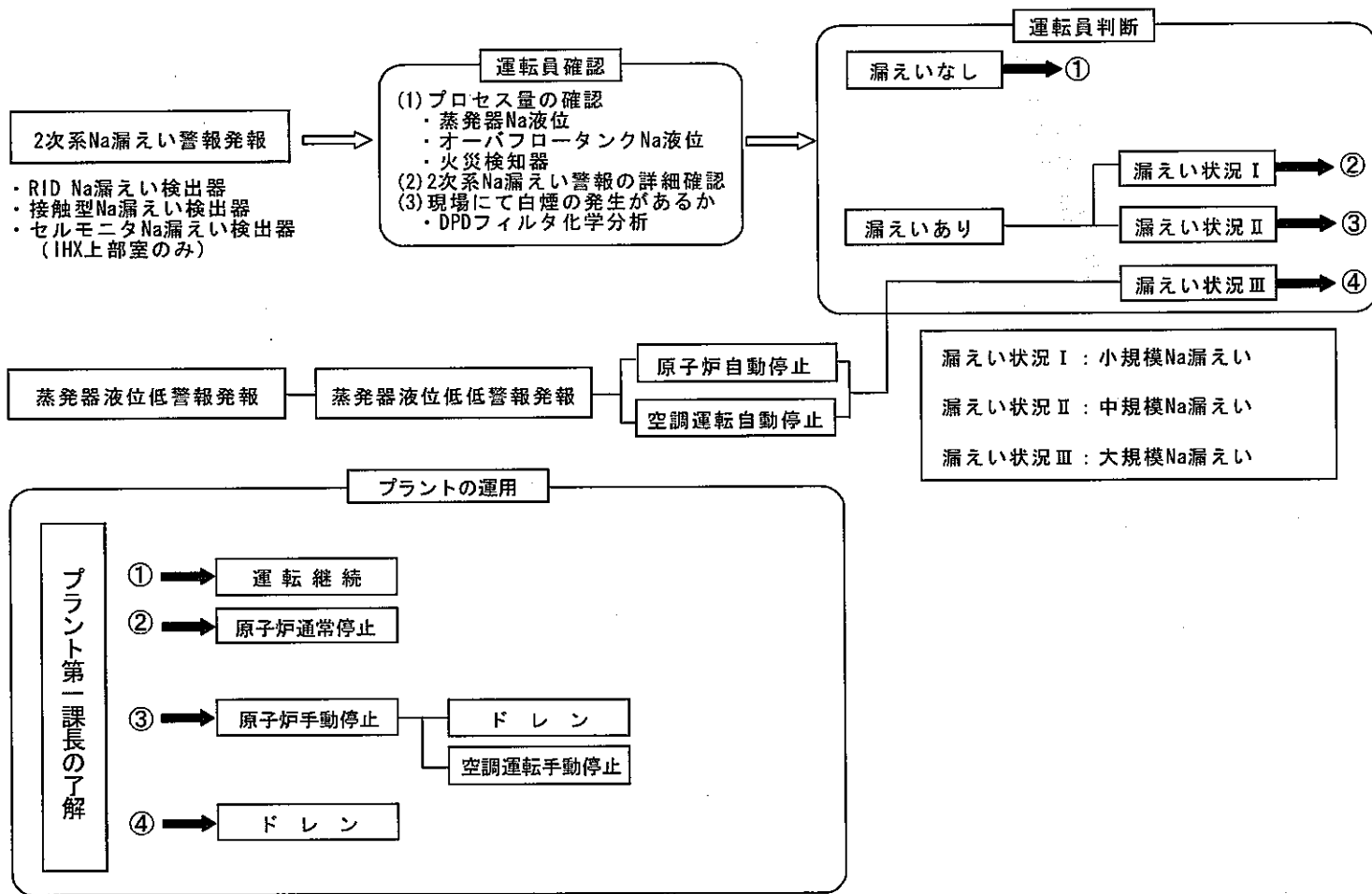
- ステップ1：中性子の数を増やすために「制御棒」を引き抜きます。制御棒を引き抜いたら、中性子の数が増えるので注意しながら行ってください。
- ステップ2：臨界状態であれば、中性子の数は変わらず、超臨界ならば増えてゆき、未臨界ならば、減っていきます。中性子の数が増えているのか減っているのかを確認するために、「もんじゅ」では「起動率計」という計器が付いています。下の絵では、針は、0より少し大きいところにありますので、中性子の数は「増加」しています。



- ステップ3：制御棒の引抜きをやめても、中性子の数が増え続けていれば（起動率計がプラス側）、超臨界。起動率がマイナス側では未臨界。起動率がゼロなら臨界状態です。臨界状態を確認したら、臨界宣言をしてください。



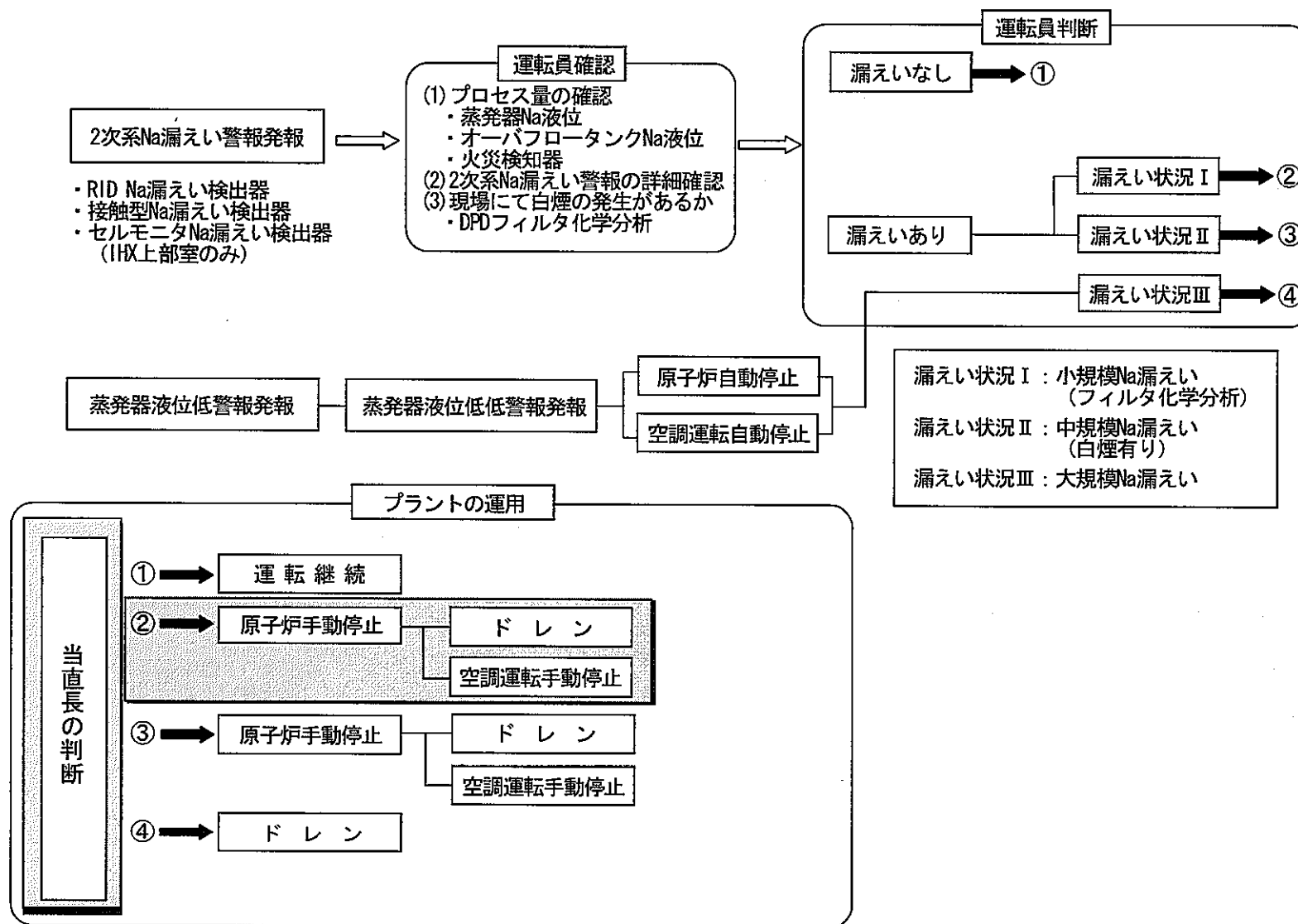
ナトリウム漏えい事故前



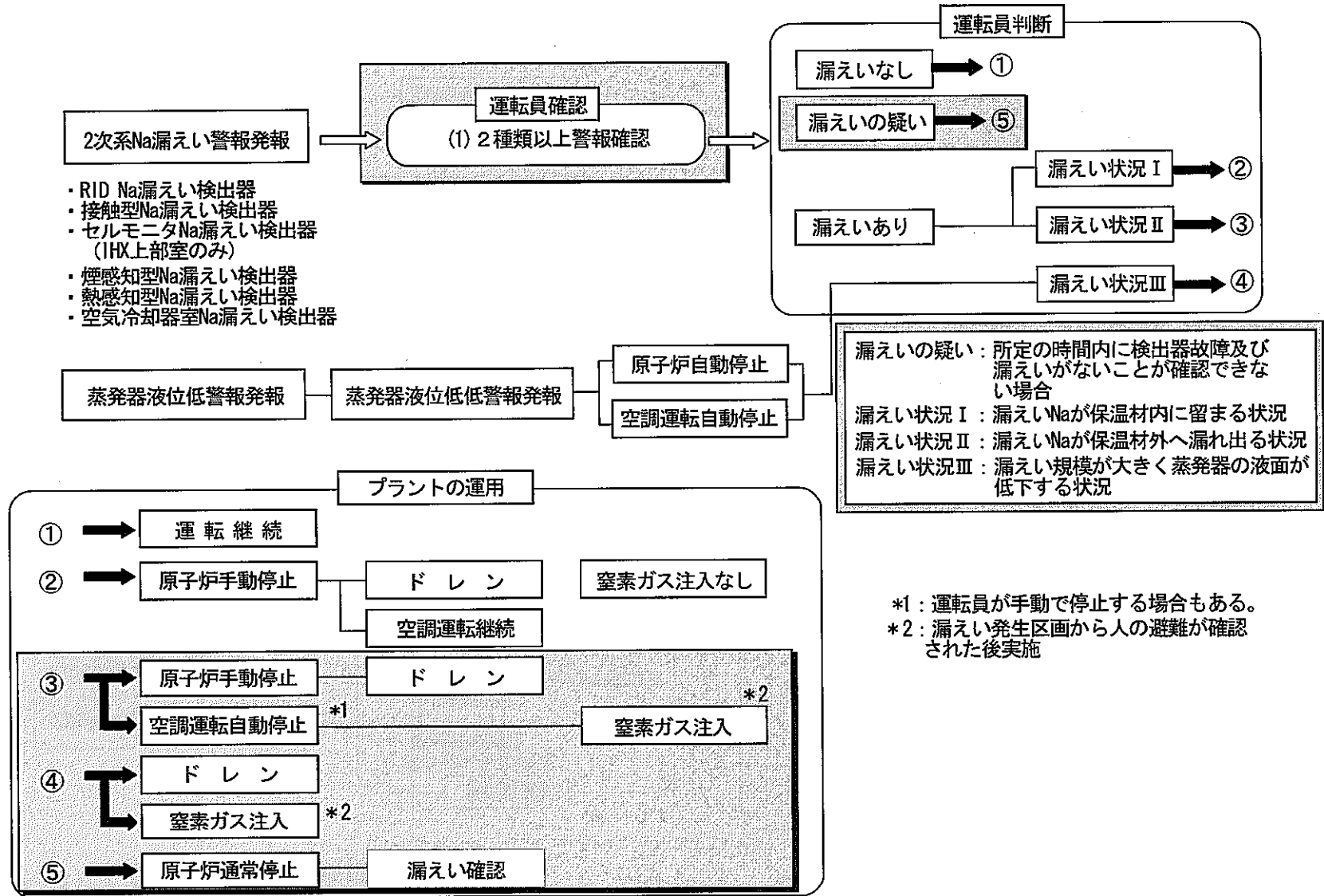
「もんじゅ」シミュレータ体験コース

3. 2次系ナトリウム漏えい対応操作

ナトリウム漏えい事故後

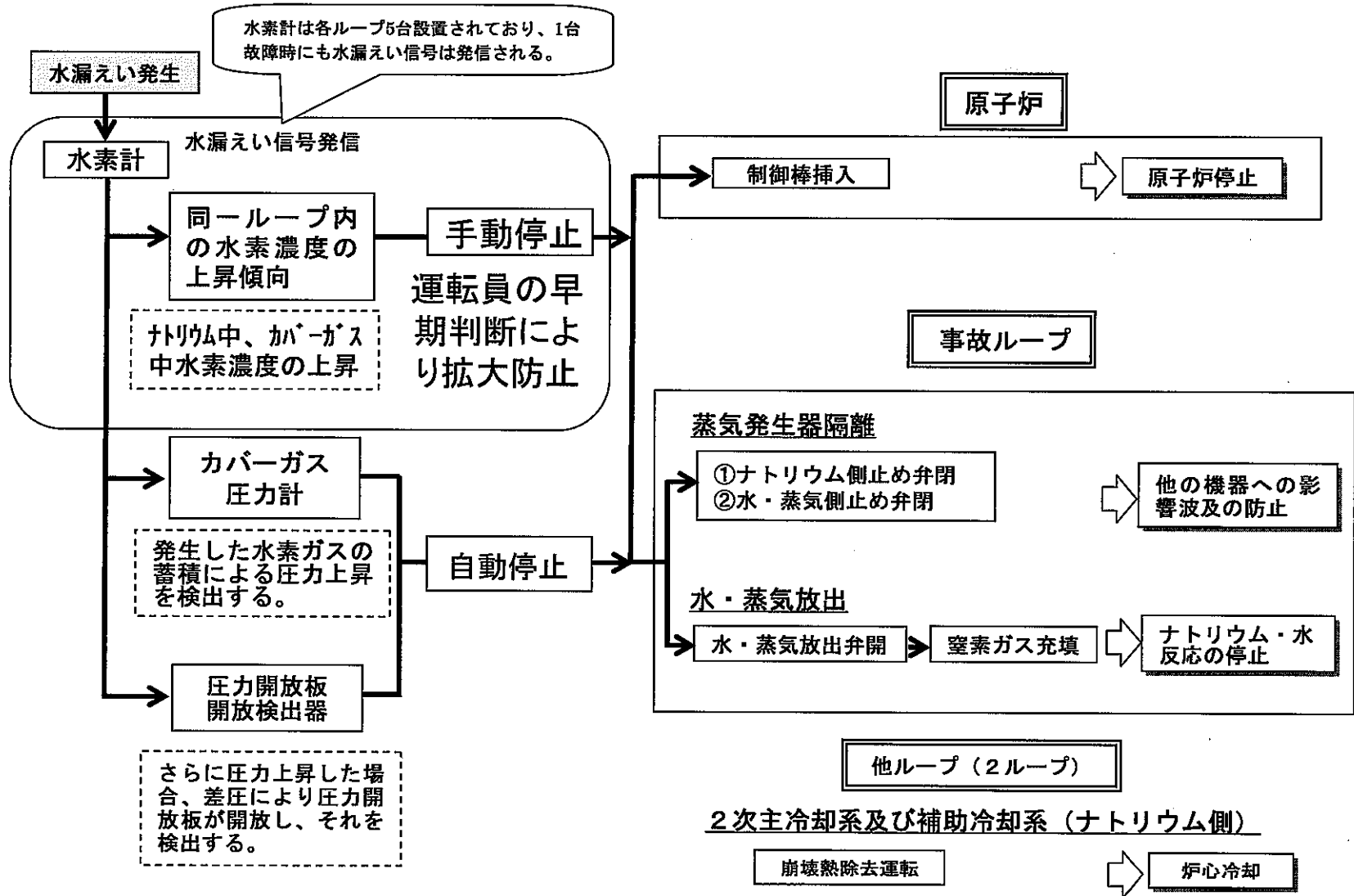


漏えい対策工事完了後

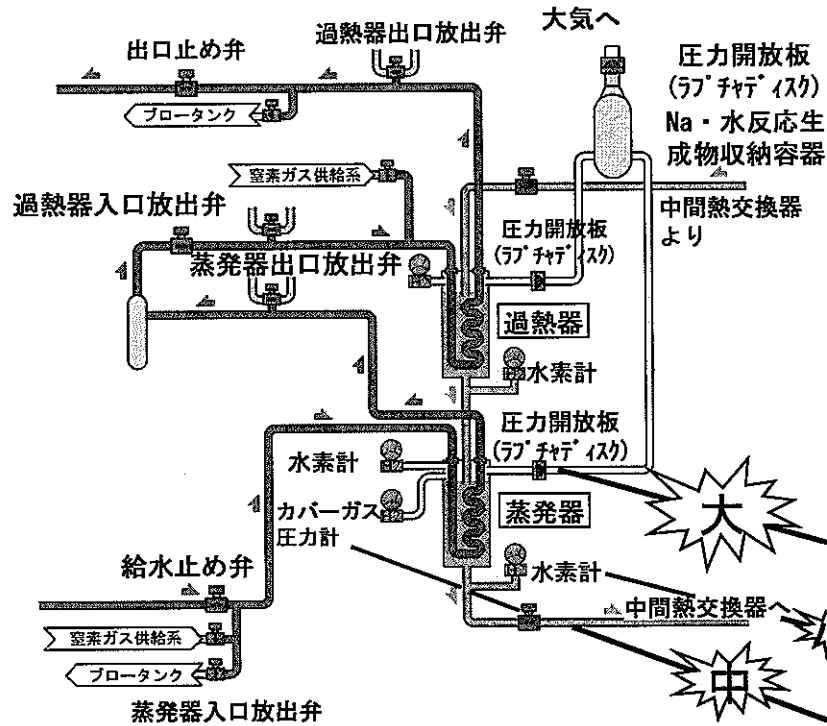


「もんじゅ」シミュレータ体験コース

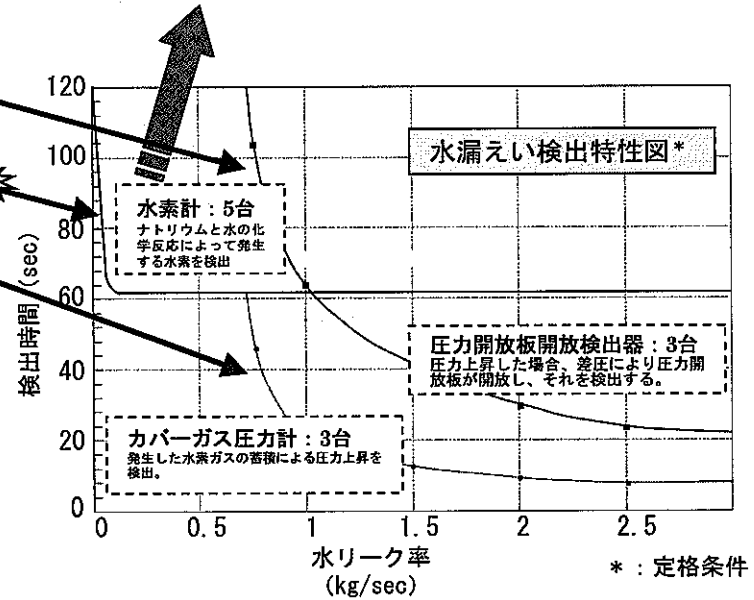
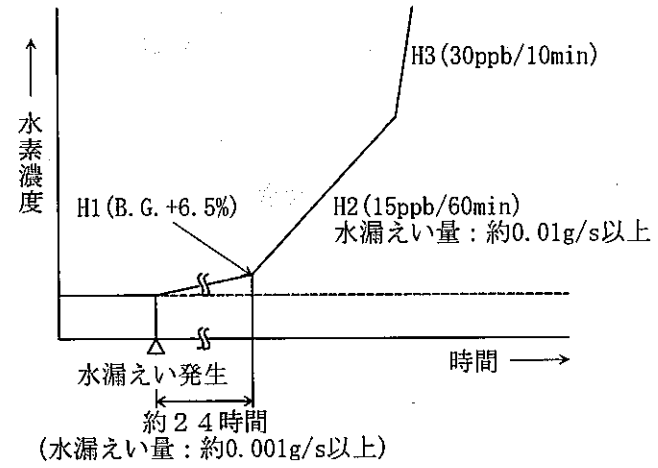
4. 伝熱管破損(水漏えい)対応操作



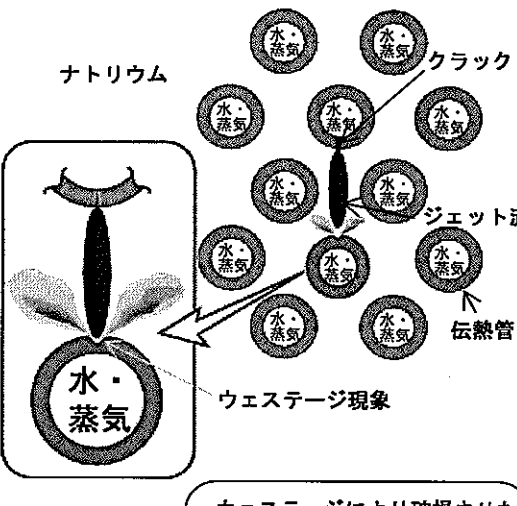
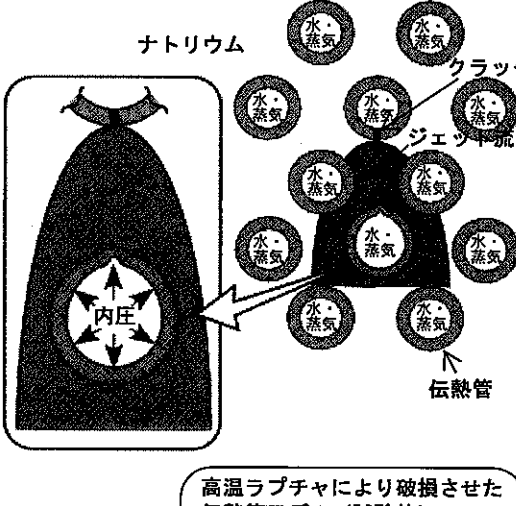
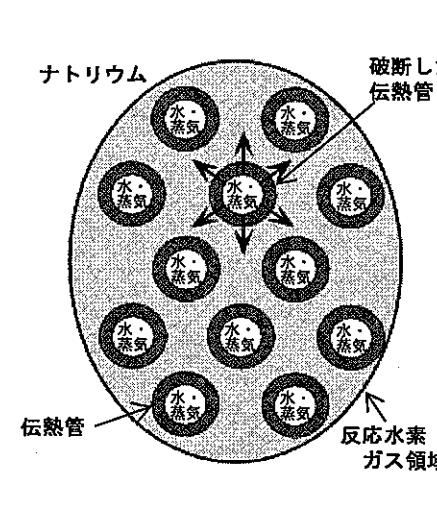
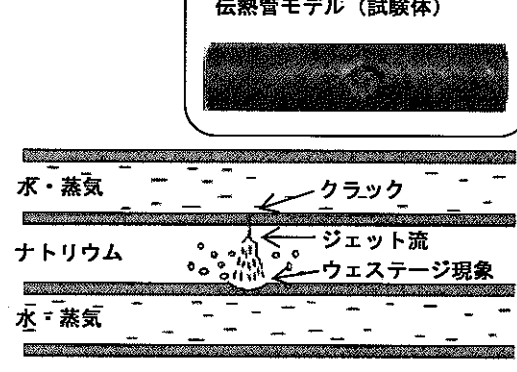
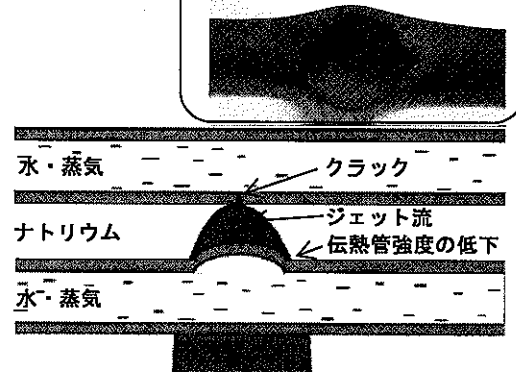
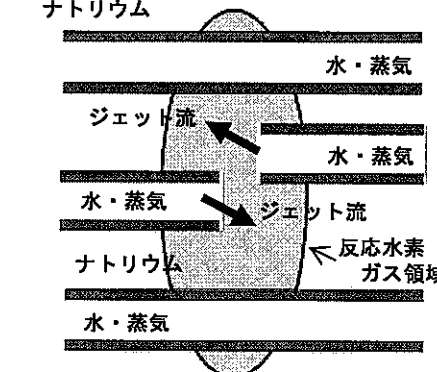
蒸気発生器伝熱管破損時の運転員の対応



3種類の検出器(水素計、カバーガス圧力計、圧力開放板開放検出器)により、非常に小さなものから大きな水漏えいまでを検出できる。



伝熱管水漏えい検出器の水リーク検出範囲

<p>小漏えい (水漏えい率: ~数十g/s)</p>	<p>中漏えい (水漏えい率: 数十g/s~数kg/s)</p>	<p>大漏えい (水漏えい率: 数kg/s~)</p>
<p>ナトリウム・水反応によって生じた高温で侵食性のあるジェット流が、隣接する伝熱管に当たり、伝熱管壁が損耗する現象（ウェステージ）というが問題となる。</p>	<p>ナトリウム・水反応によって生じた高温で侵食性のあるジェット流が、隣接する伝熱管を加熱することで伝熱管の機械的強度が低下し、内圧により破裂する現象（「高温ラプチャ」という）に注意する必要がある。</p>	<p>ウェステージや高温ラプチャによる破損伝播は発生しないが、多量の水素ガスが発生するため、圧力の上昇が2次系設備の健全性に影響を与えないか注意する必要がある。</p>
 <p>ナトリウム</p> <p>クラック</p> <p>ジェット流</p> <p>伝熱管</p> <p>水・蒸気</p> <p>ウェステージ現象</p> <p>ウェステージにより破損させた伝熱管モデル (試験体)</p>	 <p>ナトリウム</p> <p>クラック</p> <p>ジェット流</p> <p>伝熱管</p> <p>内圧</p> <p>高温ラプチャにより破損させた伝熱管モデル (試験体)</p>	 <p>ナトリウム</p> <p>クラック</p> <p>伝熱管</p> <p>反応水素ガス領域</p>
 <p>水・蒸気</p> <p>クラック</p> <p>ジェット流</p> <p>ナトリウム</p> <p>ウェステージ現象</p> <p>水・蒸気</p>	 <p>水・蒸気</p> <p>クラック</p> <p>ジェット流</p> <p>ナトリウム</p> <p>伝熱管強度の低下</p> <p>水・蒸気</p>	 <p>ナトリウム</p> <p>クラック</p> <p>伝熱管</p> <p>反応水素ガス領域</p>

蒸気発生器伝熱管破損時の水漏えい率と主要な現象