

## 2次主冷却系ナトリウム漏えい事故後の プラント管理運用面における改善策について

1. 運転手順、教育訓練の改善
2. 事故時対応体制の改善
3. 品質保証活動の強化

平成 13 年 10 月 27 日

核燃料サイクル開発機構

## 2次主冷却系ナトリウム漏えい事故後のプラント管理運用面における改善策について

高速増殖原型炉もんじゅ 2次主冷却系ナトリウム漏えい事故の原因究明の過程や結果から得られた教訓、反省事項を踏まえ、「もんじゅ」の安全性、信頼性のより一層の向上を図るため、安全総点検を実施した。2次主冷却系ナトリウム漏えい事故後の経緯を図1に、安全総点検と主要摘出課題を表1に示す。

その結果、数々の改善策が抽出されたが、その内、運転手順、教育訓練の改善、事故時の対応体制の改善、品質保証活動の強化といった「もんじゅ」のプラント管理運用面に係る改善策について述べる。

### 1. 運転手順、教育訓練の改善

ナトリウム漏えい時の運転手順として、従来、小規模漏えい時には、原子炉を通常停止し、温度低下を待ってドレン、換気系は運転継続としていた。また、漏えい規模の判断基準が不明瞭で、プラント停止にあたっては当直長はプラント第一課長に了解を得ることになっていた等、ナトリウムの漏えいと発生したナトリウムエアロゾルの拡散を出来る限り早期に収束させるという観点からは不適切なところがあった。このため、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。また、保安規定における当直長とプラント第一課長の役割を見直し、当直長は異常時の応急措置に関する現場責任者であることを明確にし、特にナトリウム漏えい時の原子炉停止を当直長の判断で行うようにした。2次主冷却系ナトリウム漏えい事故時の運転対応面での問題点と改善策を図2に、2次主冷却系ナトリウム漏えい時のプラント運用の改善を図3に示す。

安全総点検では、2次主冷却系ナトリウム漏えい事故の反省を踏まえ、異常時の確実な対応を含め、原子炉施設を運転していくために必要な規定類や運転手順書などの内容が適切であるかどうか点検した。異常時及び故障時運転手順書の判断基準を明確にするとともに、操作や状態確認のためのチェックシートを追加する、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、制定・改訂にあたっては、必要に応じて大洗工学センタやふげん発電所に意見を求めること等の改善を行うこととし、改訂作業を実施中である。運転手順書の改善を表2に、異常時及び故障時運転手順書の構成、様式の改善を図4に示す。

運転員教育訓練についても、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していた等の問題があり、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する、もんじゅの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。また、安

全総点検においては、電力関係等外部専門家の意見も反映し、事故事例等の繰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。運転員教育訓練の改善を図5に示す。

## 2. 事故時対応体制の改善

2次主冷却系ナトリウム漏えい事故では、最初の警報である「IHX C 2次系出口 Na 温度高」が発報してから、福井県に通報するまで48分を要した。これは、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、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ためである。加えて、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関わらず本社～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。これらを改善するため、連絡責任者を24時間サイトに常駐させ、外部関係機関への第一報を連絡責任者の判断で直ちに行うこととした。連絡責任者は、当直長からの連絡で第一報を作成し、一斉同報 Fax を使用し、関係箇所へ通報連絡するようにした。事故対応体制についても、対応を現地主導型・本社支援型となるように関係規定類にも明確にし、加えて、異常時対応をとる対象となる事象を、参考事例を充実することでより明確にし、事故等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がとれるようにした。また、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全社相互支援体制を整備した。更に、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。事故時対応体制の改善を図6に、改善後の事故対応体制を図7に示す。

事故対応訓練や設備・機材の面からは、事故時の管理職全員への連絡が確実でなかった、ナトリウム漏えいを想定した総合防災訓練を試運転開始後は行っていなかった、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機材等（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という問題点があった。このため、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、関係管理職全員への携帯電話の配備等の通信設備の強化、空気呼吸器等の現場への設置等の器材整備を行った。事故時対応訓練として、通報連絡責任者からの毎日の通報連絡訓練、毎月の一斉呼出・応答訓練を導入するとともに、毎年総合防災訓練には関係機関との一斉同報通報連絡訓練を入れることとした。また、自衛消防隊員全員を対象としてナトリウム取扱・消火訓練を毎年実施している。事故時対応設備の整備、訓練の改善を図8にまとめて示す。

また、事故・トラブル発生時の対応を迅速かつ適切に遂行するため、日頃か

ら、サイクル機構全体の危機管理体制の整備を行うため、本社に危機管理推進室を設置し、危機管理教育の推進、緊急対策所整備の指導、防災訓練の指導、事故対策規程等の改訂・整備、全社的テレビ会議システム、通信連絡システム等の緊急時対応設備の整備等を行ってきている。敦賀本部には安全推進室を設置し、「もんじゅ」、「ふげん」と連携し、迅速かつ正確な情報伝達のための対応、事故・トラブル時対応機材の充実を図ってきている。

### 3. 品質保証活動の強化

2次主冷却系ナトリウム漏えい事故の原因となった2次系温度計については、流力振動に関するASME基準を反映していなかった、ナトリウム機器としての設計審査を行わなかった、さや段付部に丸み指定がなかった等の設計、製作管理上の問題が指摘された。安全総点検においては、設計管理、製作管理などのポイントを中心に品質保証体系・活動全般の点検、最新技術情報等の反映に係る実施体制の点検を行い、改善事項を抽出した。図9に安全総点検状況を示す。

抽出された品質保証に関連する事項は、

- (1) 品質保証体制、体系の見直し
- (2) 品質保証活動の改善

の2つの項目に大きく分類することができる。

これら、品質保証に関連する事項は、設備改善、運転手順書の改善等種々の改善を具体的に進めていくうえで活動の根幹をなす重要な事項との認識のもと、鋭意その改善に努めてきている。現在までに体制の強化、体系の見直し及び品質保証関連の活動の仕組みに係る改善を完了している。以下に現在までの主な改善結果及び実施状況について示す。

#### (1) 品質保証体制、体系の見直し

##### 品質保証体制の強化

事故当時は、兼務の管理職1名、その他の兼務者5名の体制であった品質保証推進体制を、図10に示すように専任の管理職2名、担当1名の計3名並びに各課兼務者6名で構成する業務品質管理グループをもんじゅ建設所に設置し、また、品質保証委員会規則の見直しにより品質保証関連規則の制改定に関する事項の審議を行うこととするなど、品質保証活動に関するもんじゅ建設所全体の活動の強化とその確実な推進を図っている。

##### 品質保証体系の見直し、整備

事故当時は、品質保証関連図書のなかには規則、要領、手順書等が混在し、それらの相互関係が明確に判断できない運用が認められたことから、施設品質保証計画書と関連規則類の体系化を行い、規則類の相互関係及び上下関係を明確にした。

## (2) 品質保証活動の改善

### 設計審査の充実

温度計さやが健全性確保の観点からは不適切な設計であり、そのことを設計審査時に指摘できなかったとの反省から、確実な設計審査が行えるようにすることを目的として、設計審査の体制及び系統設計段階、機器設計段階、製作設計段階での審査項目を明確にした「設計審査要領」を策定した。

### 最新技術情報の反映機能の強化

安全総点検では図 1 1 に示すように研究開発成果や運転経験等を収集、整理し、もんじゅへの反映状況の点検を行った。継続して様々な技術情報がもんじゅに反映できるよう「最新技術情報の反映に係る管理要領」を策定し、図 1 2 に示すような仕組みを構築した。

国内外トラブル事例の水平展開については、品質保証活動及び運転管理に係るものも含めて継続して実施中であり、研究開発成果の反映に係る検討については、運用を開始した。また、保安上重要な事項であって高速炉の知見を結集する必要がある場合には、もんじゅ建設所内の原子炉等安全審査委員会に大洗工学センターの専門家を加えて審議することとした。

もんじゅに適用された規格・基準類の改訂情報は、技術課で情報の収集及び管理を行っている。

### 品質保証関連事項等の教育の充実

教育計画の妥当性についての十分な審議がもんじゅ建設所内で行われておらず、また、実績を評価する仕組みが確立していなかったことから、教育委員会の開催頻度及び役割を見直すとともに適切なフォロー、フィードバックを行うための指導・助言を行う教育担当を設置し、教育計画への実績の反映、実績評価の仕組みを構築した。

もんじゅに特有なナトリウムの取扱い及び保守技術力の一層の向上を目的として、ナトリウム取扱研修施設及び保守研修施設を建設し、机上及び実務研修の充実を図った。

### 保守票発行基準の明確化

保守票発行基準、保守票回付方法等を明確化し、重要機器類の故障に関する情報が担当課内に留まらず確実にもんじゅ建設所レベルの管理に上がるような運用が図られるものとした。

### 不適合管理の適正化

不適合管理適用基準を明確にし、不適合と判断した場合には、業務品質管理グループが不適合の是正処置、再発防止対策実施の結果を確認する仕組みに改善し、機器の故障等の背景にある品質管理上の必要な是正が図られるものとした。

### 内部監査等の充実

品質保証活動の活性化を図るため、監査実施の都度重点項目を絞り込んだ効

果的な監査を行うこととした。また、品質保証計画書に"経営者による見直し"事項について定め、経営者として品質保証活動全般についての確認を行っている。

メーカー品質保証監査の実施

メーカーに対して定期的な品質保証監査を行っている。

確実な保守の実施

主要な設備・機器についての運転状態の記録や機器ベースでの予防保全のためデータベース化を進めている。

文書合議基準等の見なおし

関係主任技術者等に回付する文書類、規則類の扱いについての考え方を整理し、関係主任技術者等の回付基準を明確にした。

以上

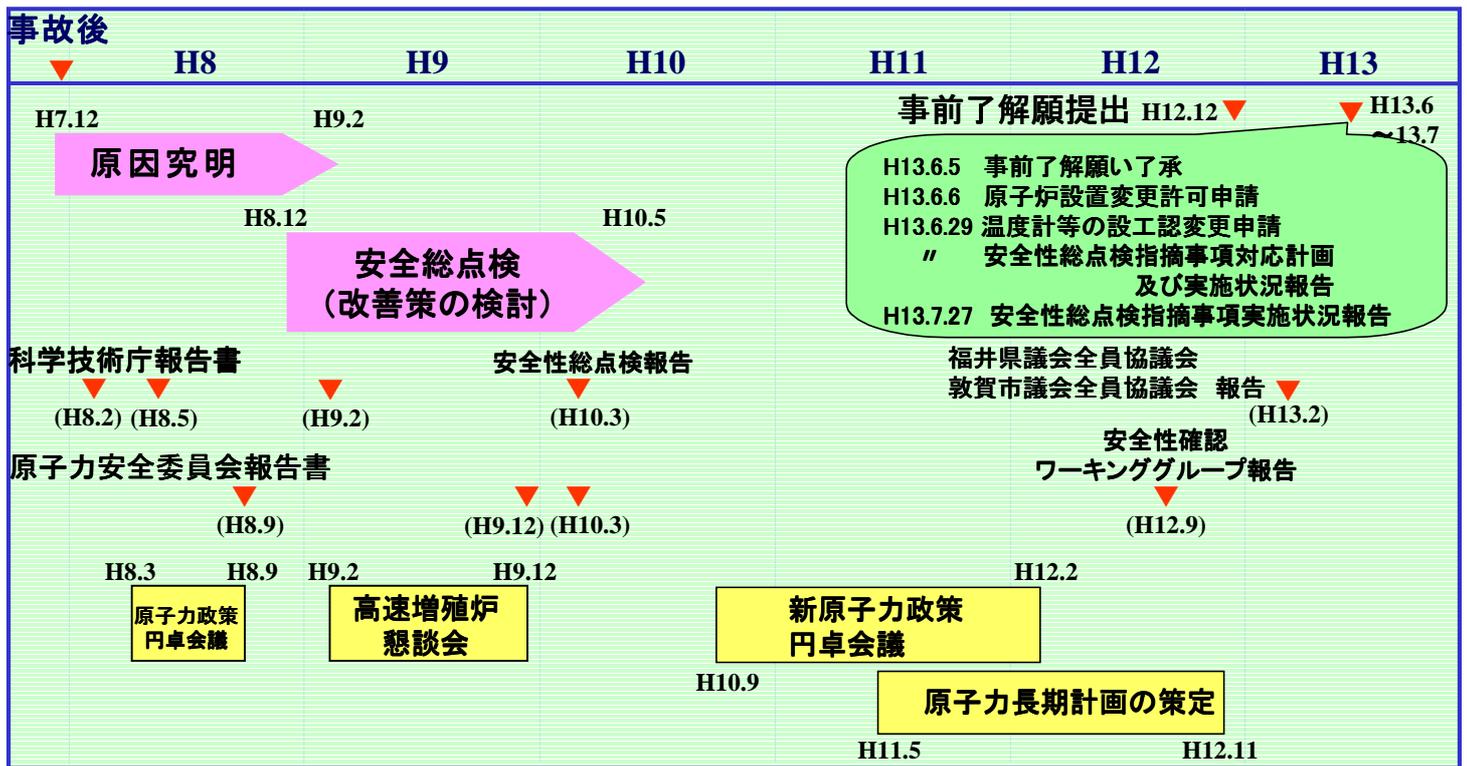


図 1 . 2 次主冷却系ナトリウム漏えい事故後の経緯

表 1 . 安全総点検と主要抽出課題

原因究明の結果を踏まえ、もんじゅ全体の安全について再確認することを目的に安全総点検を実施

実施項目	主要抽出課題
1 . ナトリウム漏えい関連設備を中心とした点検 流力振動に対する健全性点検 ナトリウム内包壁の健全性点検 漏えいの早期検出、拡大防止及び影響緩和に関する点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2次冷却系温度計の交換・撤去</li> <li>・ 配管合流部での温度差低減策を行う箇所を抽出</li> <li>・ ナトリウム漏えいに対する設備改善策を策定（早期検出、漏えい量抑制、燃焼抑制）等</li> </ul>
2 . もんじゅ設備の設計から運用に至るまでの点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運転手順書の改善点を抽出 等</li> </ul>
3 . 運転手順書等の点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 異常時・事故時の手順書の明確化</li> <li>・ 運転員教育訓練の改善 等</li> </ul>
4 . 研究開発成果、技術情報の反映の点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 蒸気発生器伝熱管破損時の評価手法整備と裕度向上のための設備改善検討</li> <li>・ 燃料物性の見直し等による燃料温度評価手法改良</li> <li>・ 制御棒の長寿命化</li> <li>・ 信頼性向上のための設備改善（1次Argo系圧力損失増加対策、微調整棒駆動機構荷重増加対策）等</li> </ul>
5 . 品質保証体系・活動の点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 品質保証活動の強化（設計審査、最新知見反映等）</li> <li>・ 技術的能力の強化と継承</li> </ul>

## 事故の問題点

### プラント運用の問題

- ・小規模漏えい時は原子炉通常停止
- ・小規模漏えい時はナトリウム温度が400 まで低下後ドレン
- ・小規模漏えい時は換気系運転継続

### 運転手順書の問題

- ・手順書で小・中規模漏えいの判断基準が不明瞭（火災検知器、白煙についての認識の不統一）
- ・プラント停止はプラント第一課長の了解を得ることとなっている
- ・漏えい確認後の現場を継続監視すべきとの記載なし

### 運転員の操作の問題

- ・原子炉主導トリップ操作を決定したが、発電機解列、タービン停止を優先させた

## 改善策

ナトリウム漏えいを確認した時点で即時に原子炉手動トリップ  
 早期に漏えい量を抑制し、漏えい影響の緩和ができるような設備・運転手順の改善（ナトリウムドレン、換気系等）  
 ナトリウム漏えい早期検知のための設備改善

### ナトリウム漏えい対策

異常時運転手順書について、先行炉の経験等を十分反映し、適切な判断・操作を行い、異常の早期収束が確実にいえるよう手順書を見直す。

設計の考え方及び異常の早期収束の観点からの基本動作の教育を充実  
 漏えいナトリウムの挙動・影響について現場に即した状況の変化が正しく把握できるような教育を実施

図 2 . 2 次主冷却系ナトリウム漏えい事故の運転対応面での問題点と改善策

事故前					改善後				
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	漏えいループのドレン	漏えい状況	原子炉の停止	換気装置の停止	漏えいループのドレン	窒素注入
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	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 <sub>2</sub> 注入
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（雰囲気へのエアロゾル漏えい）	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）	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 <sub>2</sub> 注入
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）	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及び室内に及ぶ程度（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 「蒸発器液位低低」警報が発報する状況
- ・漏えい状況 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 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 3 . 2 次主冷却系ナトリウム漏えい時のプラント運用

## 表 2 . 運転手順書の改善

### < 運転手順書の構成、様式などの変更 >

異常時及び故障時運転手順書の構成、様式などの変更

- ・「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。

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。

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。

### < 異常時及び故障時運転手順書の体系見直し >

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。

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。

### < 異常時の対応手順の更なる強化 >

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。

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。

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。

### < 手順書審査体制の強化 >

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。

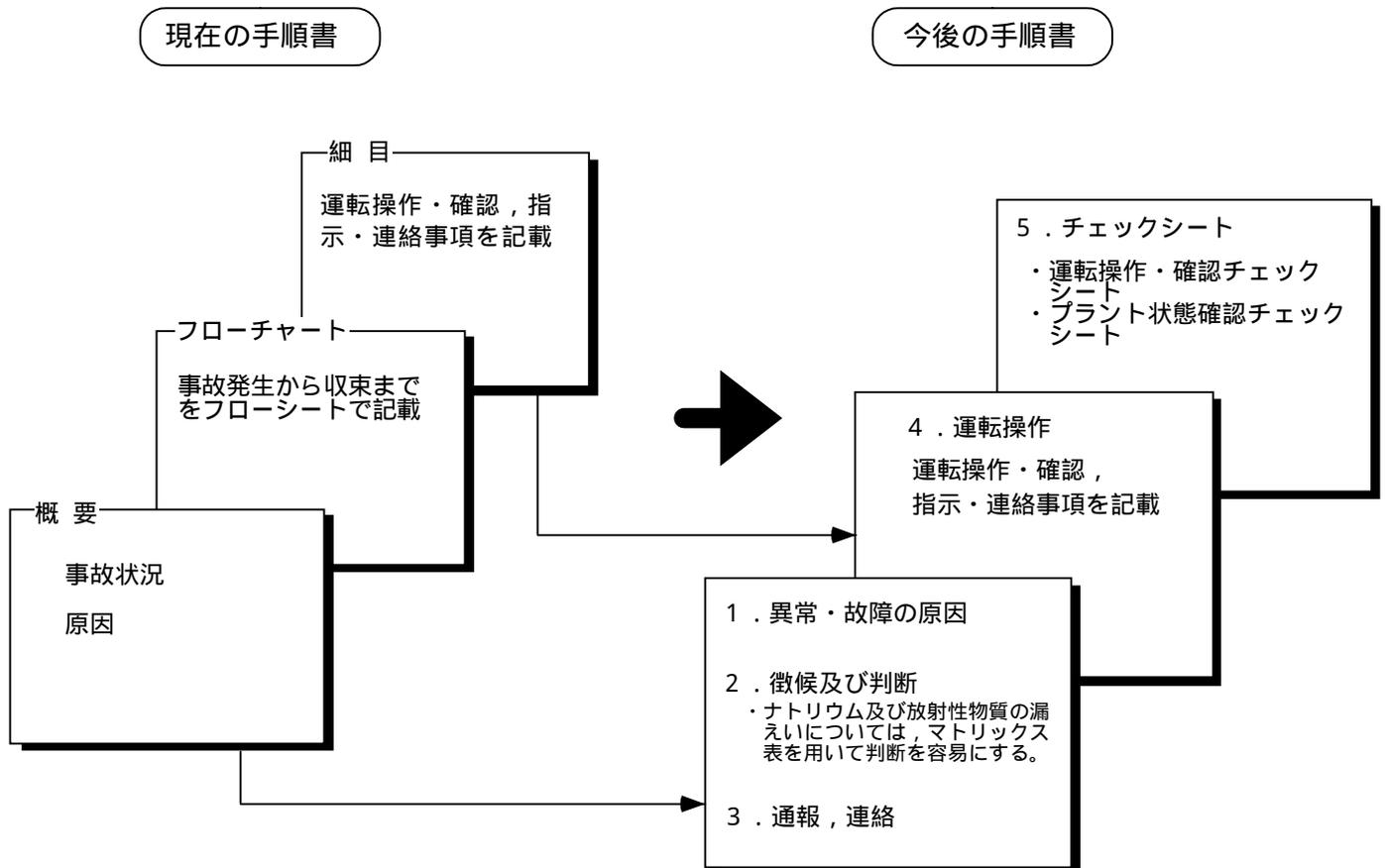


図 4 . 異常時及び故障時運転手順書の構成・様式の変更

## 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。

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C A I (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5 . 運転員教育訓練の改善

## 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F A X・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6 . 事故時対応体制の改善

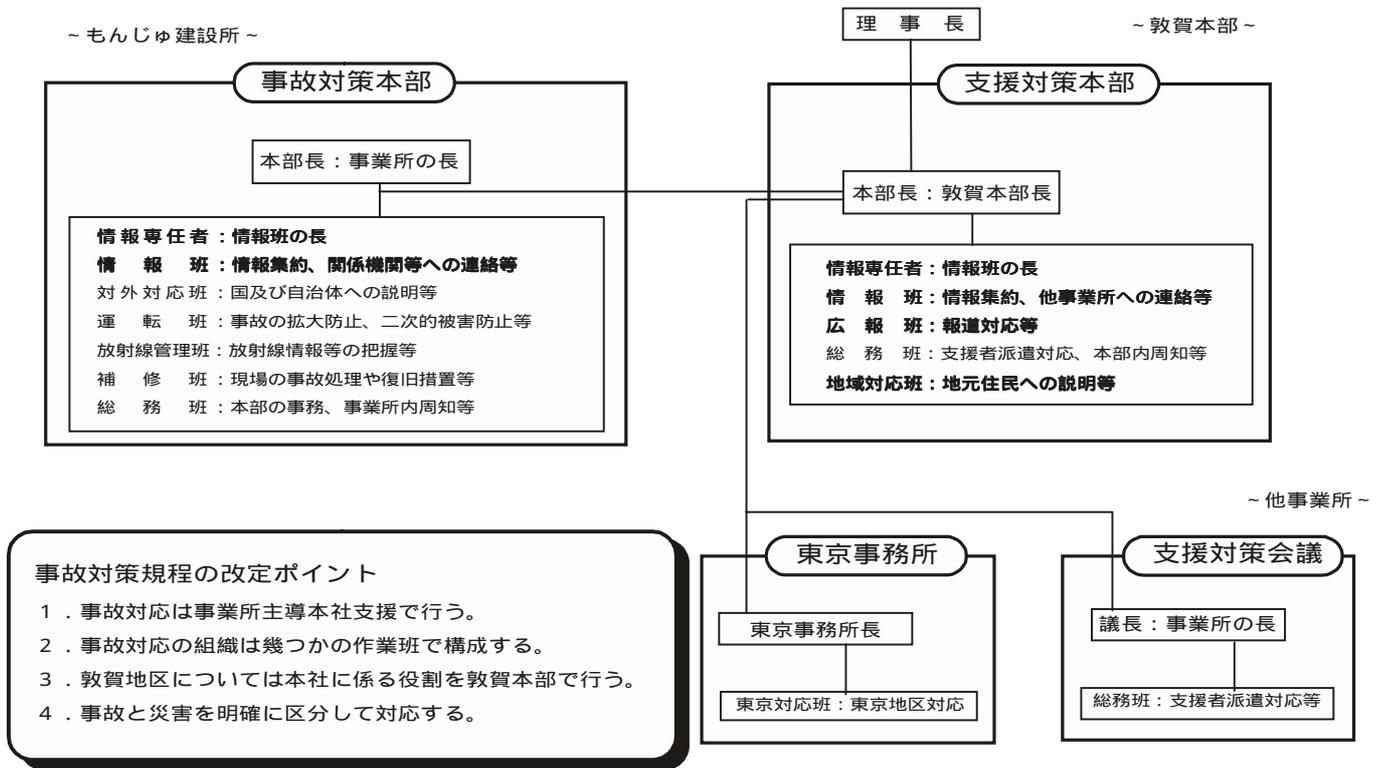


図7 . 事故対応体制（改善後）

### 事故の問題点

総合防災訓練は定期的実施していたが、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8 . 事故時対応設備の整備・訓練の改善

# 安全総点検における点検

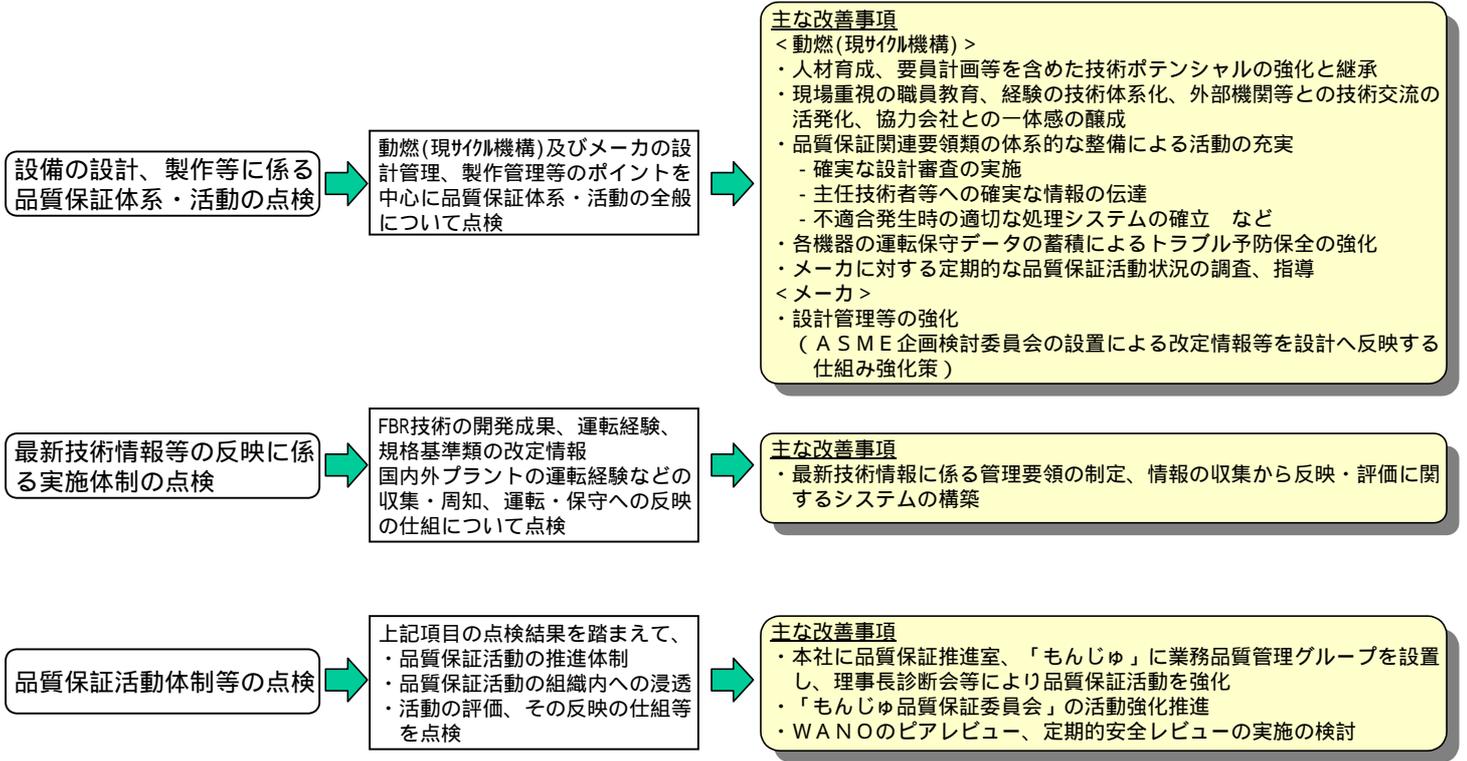


図 9 . 品質保証活動の強化

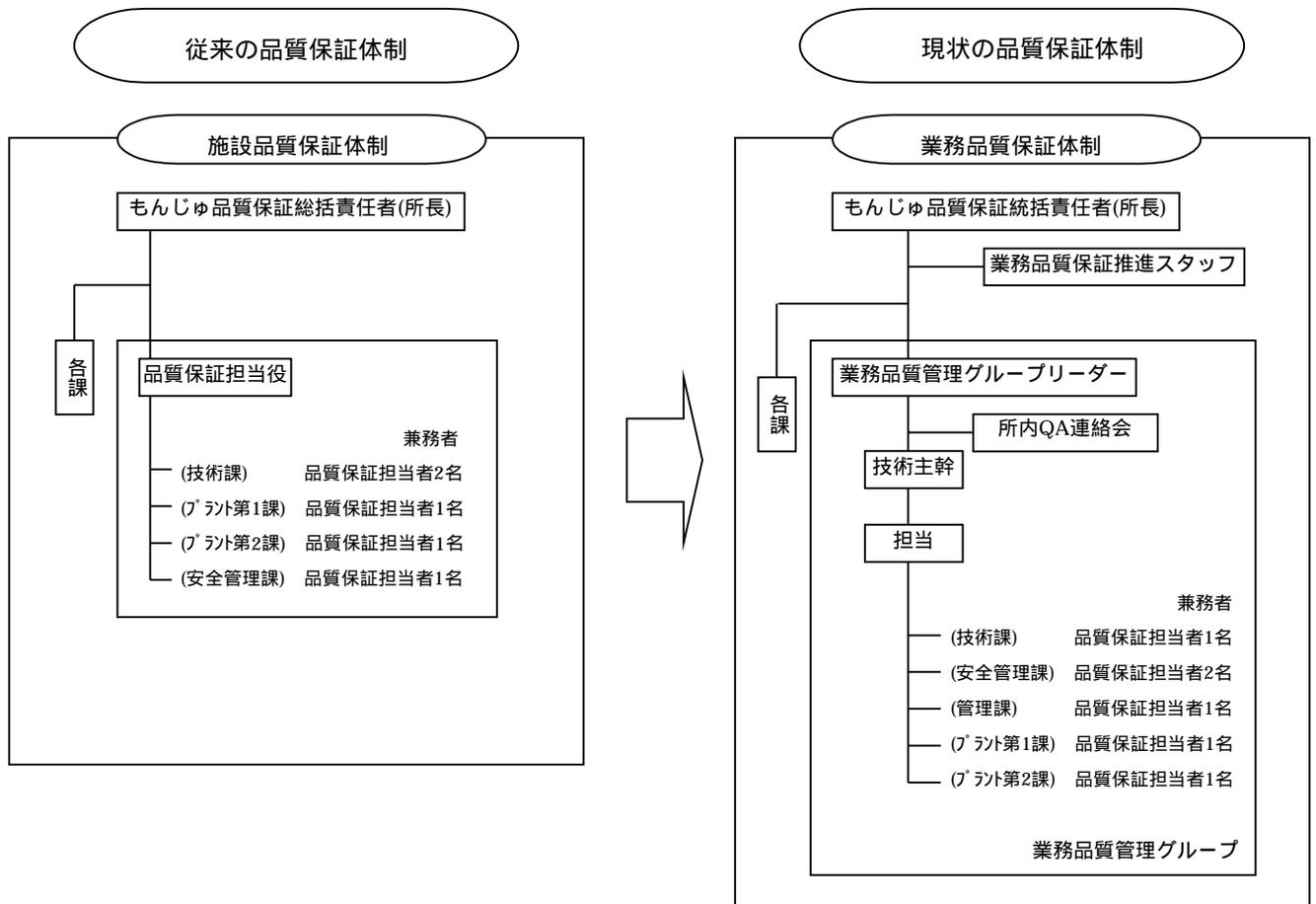


図 1 0 . 品質保証活動体制の強化

# 安全総点検での点検

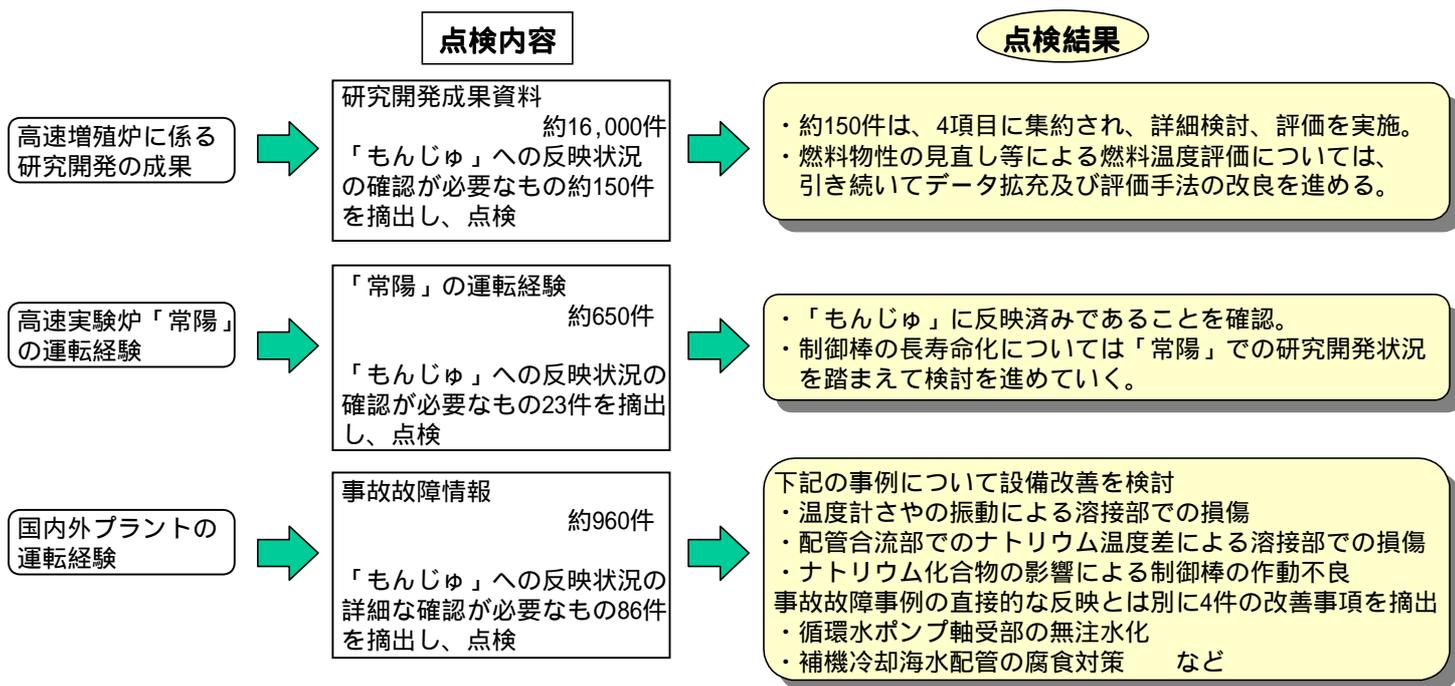


図 1 1 . 研究開発成果・運転経験の反映

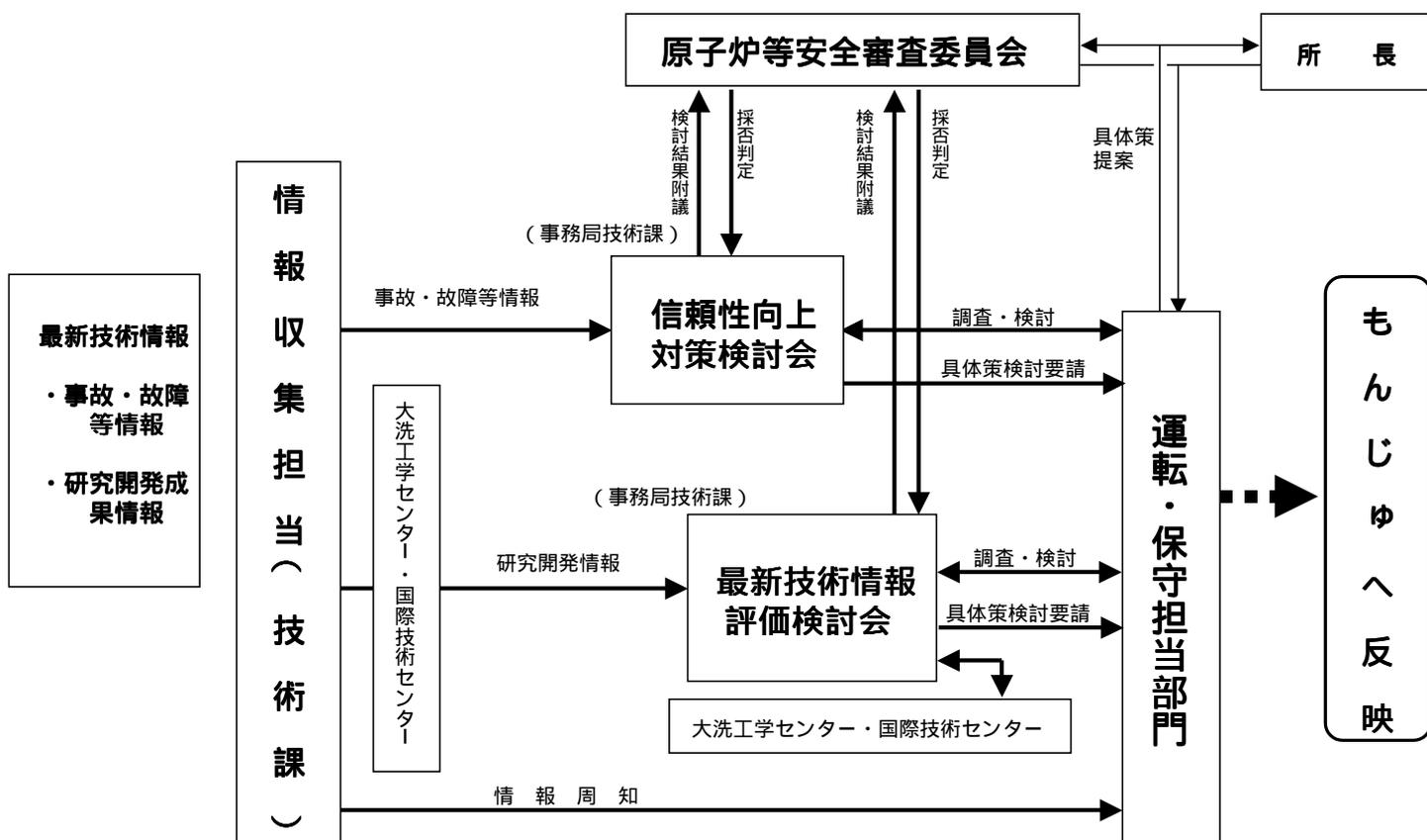


図 1 2 . 最新技術情報の反映システム体系