

高速増殖原型炉もんじゅ安全総点検の
対応状況について

- ・ 信頼性向上等を目的とした設備改善
（ナトリウム漏えい対策以外）
- ・ 安全性研究等の反映
（燃料温度評価の高度化）
（制御棒の長寿命化）

平成14年9月3日

核燃料サイクル開発機構

1. 経緯

1.1 安全総点検

「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故後、事故の徹底した原因究明と共に、原因調査の過程や結果から明らかとなった反省点をはじめ、「もんじゅ」が実用化に向けての研究開発段階炉であること、冷却材として金属ナトリウムを使用していること等の特徴を踏まえ、「もんじゅ」の総てにわたって再度、安全を確認することを目的とし、もんじゅ安全総点検を平成 8 年 12 月から実施した。平成 10 年 5 月にはその結果をとりまとめ、安全協定に基づく異常時状況連絡書として、地元自治体に報告した。

一方、科学技術庁（当時）は、平成 8 年 11 月に「もんじゅ安全性総点検チーム」を設置し、点検すべき内容と点検の手法を定めて安全性総点検を進め、その結果を平成 10 年 3 月に報告書としてとりまとめた。

安全総点検では、温度計の流力振動やナトリウム漏えい対策だけでなく、「もんじゅ」システム・設備全体、運転手順書や品質保証のしくみや活動などについて点検を進め、安全性、信頼性向上の観点から改善すべき課題を摘出し、改善策を検討してきた。

1.2 安全性総点検に係る対処及び報告について

科学技術庁の「もんじゅ安全性総点検チーム」の報告書「動力炉・核燃料開発事業団高速増殖炉もんじゅ安全性総点検結果について」において改善が必要との指摘があった種々の事項に対して、安全性総点検直後から対応計画を定めて改善を鋭意進めてきているが、平成 13 年 6 月 18 日に経済産業省 原子力安全・保安院より、上記報告書中の指摘を踏まえた対応計画を定め、またこれを実施したときはその内容を報告することとの指示を受け、平成 13 年 6 月 29 日に対応計画及び取り組み状況を、同年 7 月 27 日と平成 14 年 6 月 19 日に個々の指摘事項への対応結果について報告してきている。

ここでは設備改善としてナトリウム漏えい対策設備への改善、信頼性向上等を目的とした設備改善（ナトリウム漏えい対策以外の設備の改善）、品質保証体系・活動の改善、運転手順書、運転管理体制等の改善、安全性研究等の反映に分けて対応計画と対応が完了したものについてその実績を説明している。

このうち、ナトリウム漏えい対策設備の改善については国による安全審査が進んでおり、第 8 回のもんじゅ安全性調査検討専門委員会でも説明したところである。また、蒸気発生器伝熱管破損対策についても、現在、安全審査が進んでいるところである。（図 1.2.1 参照及び図 1.2.2 参照）

そこで、今回の委員会では、技術的検討項目として、信頼性向上等を目的とした設備改善、燃料温度評価の高度化及び制御棒の長寿命化について説明する。

2. 信頼性向上等を目的とした設備改善

2.1 改善項目の抽出と対応

本設備改善は前述の「もんじゅ」の総てにわたって再度、安全を確認することを目的として安全総点検におけるもんじゅ設備の設計から運用に至るまでの点検、研究開発成果、技術情報の反映の点検等の結果から抽出された設備改善である。(図 2.1.1 参照)

2.1.1 もんじゅ設備の設計から運用に至るまでの点検結果から抽出された設備改善

もんじゅ設備の設計から運用に至るまでの点検は、システムの点検、設備機器の点検に分けて実施し、異常事象の発生防止、早期検出、拡大防止の観点から、設計に遡り安全設計上の要求事項を整理し、設計、製作、検査の各段階で適切に具体化、継承されているかどうかを関連する設置許可申請書、設工認申請書、設計図書類、試験検査成績書等を照合することにより点検した。

その結果、試運転時の経験から過熱器ウォーミングアップ時の湿分流入があったこと等が抽出され、必要な設備改善を実施することとした。

2.1.2 研究開発成果、技術情報の反映の点検結果から抽出された設備改善

研究開発成果、技術情報の反映の点検では、「もんじゅ」の設計以降に規定された流力振動についての A S M E 基準に追加されている技術情報が、温度計の流力振動評価に反映されなかったことを踏まえ、高速増殖炉に係る研究開発の成果、「常陽」の運転経験、国内外プラントの運転経験、規格、基準類の改訂等に係る技術情報等を収集、整理し、「もんじゅ」への反映状況を点検した。特に「もんじゅ」の試運転経験として、試運転段階の経験を踏まえてサイクル機構職員から出された設備に係る改善提案のうち、未実施となっていた案件の中からプラントの計画外停止の防止、プラント信頼性の向上、作業安全性の向上等の観点から処置方針について点検し順次改善することが望ましい案件、今後の運転実績を踏まえて要否を判断する案件等の処置方針にそった分類整理を行った。さらに、試験実施当時の不具合事項、懸案事項等を漏れなく拾い出すことを目的に当時の試験担当者等からの聞き取り調査を行った。

その結果、国内外プラントの運転経験からは配管合流部の温度ゆらぎに対する改善等を実施することとなった。「もんじゅ」の試運転経験からは、微調整棒駆動の駆動荷重増加、フラッシュタンク圧力調節弁の振動・騒音低減、気水分離器ドレン弁容量の裕度アップ等の設備改善項目を抽出し対応を実施することになった。

これらの抽出した設備改善は合計 58 件となり、プラント停止中においても有効な改善から優先的に改善工事を順次実施し、24 件の工事を既に完了させている。また、58 件中 5 件については、設備運用の見直しや他の改善工事により所期の目的が達成されたことから改善工事は不要と判断した。

なお、これらの設備改善項目（図 2.1.2 参照）は目的別に信頼性向上、プラント機能向上、運転操作性向上、保守性向上、作業安全性向上に区分し、さらに、もんじゅの特殊性であるナトリウムを使用していることを考慮し、下記の設備区分に応じて分類したうえで計画的に対応を実施している。

ナトリウム設備の改善（アルゴンガス設備を含む）

	（表 2.1.1 及び図 2.1.3 参照）
水蒸気・タービン設備の改善	（表 2.1.2 及び図 2.1.4 参照）
燃料取扱設備の改善	（表 2.1.3 及び図 2.1.5 参照）
その他設備の改善	（表 2.1.4 参照）

次項に代表的な設備改善（6 件）について詳しく記述する。

尚、安全総点検の実施期間中に「もんじゅ」において幾つかのトラブルが発生したこと、また、東海事業所におけるアスファルト固化処理施設火災爆発事故、さらには同事業所ウラン廃棄物貯蔵設備における管理上の問題があったことを踏まえて、新たな視点を追加して点検を実施した。その結果、保守点検内容、点検周期等についての見直し、指揮命令系統の明確化等の改善を実施した。また、上記の設備改善（58 件）とは別に塩害に対する腐食対策、港湾（取水口付近を含む）砂の堆積対応、仮設浄化槽周辺フェンスの保守等を抽出し対応を実施している。

2.2 純化系プラグング計戻り合流部温度差低減対策

2.2.1 背景・経緯等

フランスのフェニックス高速増殖原型炉において、2次冷却系主配管の水素検出用戻り配管^{*1}合流部近傍下流側の溶接部でサーマルストライピング^{*2}によると考えられる破損の報告があった。(図2.2.1参照)

そこで、「もんじゅ」の配管合流部について点検した結果、サーマルストライピングに対する裕度の少ない配管合流部が、5箇所(2次ナトリウム純化系プラグング計^{*3}戻り配管合流部(3ループ分:計3箇所)、炉外燃料貯蔵設備1次補助ナトリウム系及び炉外燃料貯蔵設備2次補助ナトリウム系のプラグング計ユニット内合流部(各1箇所:計2箇所))摘出された。(図2.2.2参照)

- *1 水素検出用戻り配管 : 高速増殖炉では、蒸気発生器伝熱管リークの早期発見のために、2次系ナトリウム内の水素濃度(蒸気(水)の微少リーク時に上昇する)を監視している。
ナトリウム中の水素検出装置は、薄肉ニッケル膜を水素のみが透過する現象を用いた検出器で、2次冷却系主配管から分岐させた一部のナトリウムを検出装置に導き、主配管に戻すというループを構成している。
- *2 サーマルストライピング: 温度差のある流体の合流によって生じる温度ゆらぎにより、流体に接する構造材表面は不規則な熱サイクルを受ける。この現象をサーマルストライピングという。
- *3 プラッグング計 : ナトリウム中に溶け込んでいる不純物が、特定の温度を下回ると析出する現象を利用したナトリウムの不純物濃度を測定する計測器である。

2.2.2 改善内容

- (1) 2次ナトリウム純化系プラグング計戻り配管合流部(3ループ分:計3箇所)

図2.2.3に2次ナトリウム純化系の系統構成を示す。

プラグング計戻り配管合流部に温度差が生じる原因は、サンプリング配管部での放熱によりナトリウム温度が低下するためであった。この放熱によるナトリウム温度の低下を、従来から設置されている予熱ヒータの制御

方式を変更することにより防止する。

プラグング計戻り配管合流部の主流におけるナトリウム温度は、系統の運転モードによって 200 ～330 に変化する。そこで、戻り配管の予熱制御方式を設定温度固定方式（200 一定）から、可変設定温度方式（200 ～330 ）に変更して、配管合流部の温度差を低減する計画である。

なお、この改善は、現有の予熱ヒータ容量にて対応可能であり、温度差低減対策として有効であることを性能試験期間中に確認済である。

(2) 炉外燃料貯蔵設備 1次及び2次補助ナトリウム系プラグング計内合流部（各1箇所：計2箇所）

図 2.2.4 に炉外燃料貯蔵設備 1次補助ナトリウム系に使用しているプラグング計の系統構成を示す。このタイプのプラグング計は、高速実験炉「常陽」の2次補助冷却系プラグング計と同じである。

「常陽」のプラグング計は、MK- 改造において交換したときに材料試験を行い、プラグング計内の配管合流部において欠陥がないことを確認している。

もんじゅのプラグング計の使用条件（合流部の温度差 110 ）が、「常陽」の使用条件（同部の温度差 120 ～251 ）に比べて厳しくないこと、及び「常陽」のプラグング計の約 10 年間の使用実績を考慮して、早急に改造する必要がないと判断し、当面設備改造は行わないこととした。

なお、炉外燃料貯蔵設備 2次補助ナトリウム系プラグング計においても、合流部の温度差が 80 であり、その構造も 1次補助ナトリウム系プラグング計と同一のため、当面設備改造は行わないこととした。

2.3 1次アルゴンガス系の圧力損失増加対策

2.3.1 背景・経緯等

1次アルゴンガス系は、原子炉容器等のナトリウム液面を覆うカバーガスを回収、浄化し、再び各系統に清浄なアルゴンガスを供給する設備である。原子炉容器から流出したアルゴンガスは、原子炉容器ミストトラップ（以下、M/T）及び原子炉容器ベーパートラップ（以下、V/T）でナトリウム分を除去された後、常温活性炭吸着塔に流入する。常温活性炭吸着塔を通り抜けたアルゴンガスは圧縮機で加圧され、減衰タンクで放射性アルゴン（ ^{41}Ar ）が減衰した後再び原子炉容器に流入する。

この1次アルゴンガス系において、平成7年10月の原子炉起動後のプラント起動試験（性能試験）中、V/T出口と圧縮機サージタンクとの間の圧力差（ガス流路の圧力損失）が増加していることが確認された。平成10年に分解調査した結果、V/T出口配管から常温活性炭吸着塔入口までの弁シート部（弁内の流路開閉部）等の狭隘部にナトリウム粒子が付着していた（付着量推定約8.5g）。特に、活性炭吸着塔入口の金網部にナトリウム粒子が付着し、アルゴンガスの流路を狭めていたことが圧力差増加の原因であった。（図2.3.1参照）

2.3.2 改善内容

M/T、V/Tで捕獲されずに流出する微量のナトリウム粒子を捕獲するために、V/T出口に焼結金属フィルタを組み込んだV/T出口第1フィルタ（以下、第1フィルタ）2基（並列設置）とナトリウム粒子をほぼ100%除去できる高性能フィルタを組み込んだV/T出口第2フィルタ（以下、第2フィルタ）1基を設置した。

第1フィルタは、第2フィルタへのナトリウム粒子持込みを極力防止するために、上流側（原子炉容器側）に設置したもので、逆洗（フィルタ部のアルゴンガスを逆流させて目詰まりを除去する）が可能なタイプとした。これに併せて、当該フィルタの詰まり具合を監視できる圧力計及びナトリウム溶融用ヒータ、フィルタ内アルゴンガスブロー量調整弁を設置した。

フィルタは、プラントの寿命中交換不要な設計としているが、第1フィルタ、第2フィルタともに、閉塞が起きた場合でも交換が容易な構造としている。なお、設備改善以降、1次アルゴンガス系の差圧上昇はない。

2.4 過熱器蒸気出口水室凝縮水対策

2.4.1 背景・経緯等

過熱器は、ナトリウムと蒸気との熱交換器であり、蒸発器で発生した蒸気をさらに加熱し過熱蒸気を作る役割を持っている。

試運転のプラント起動過程において、補助ボイラーからの補助蒸気（補助蒸気）を用いて過熱器入口配管を暖めるウォーミング時に過熱器蒸気出口管板の温度が低下する事象があった。これは、過熱器蒸気出口水室部の温度が低く（出口水室部：約 130、2次系ナトリウム温度：約 200）、過熱器内に流入した補助蒸気の一部が過熱器蒸気出口水室部で凝縮したものと推定された（図 2.4.1 参照）。過熱器伝熱管はオーステナイト系ステンレス鋼を使用しており、応力腐食割れ防止の観点から極力過熱器内への湿分流入を抑制することが望ましい。

この事象に対して、運転手順を変更し（蒸気供給量を制限しウォーミング時間を長くする等）、蒸気の凝縮を防ぐ改善ができることを確認している。しかしながら、運転手順による改善では、運転員の操作に期待するところが大きく、また、プラント起動過程の過熱器廻りの運転操作は煩雑である。このため、過熱器蒸気出口水室部に電気ヒータを設置し、当該部における蒸気凝縮を防ぐこととした。

2.4.2 改善内容

図 2.4.1 に示すように過熱器蒸気出口水室部に電気ヒータを設置して、補助蒸気によるウォーミングの前に予熱しておくことにより蒸気凝縮を防ぎ、プラント運転操作性を改善する計画である。

2.5 安全保護系動作表示器の設置

2.5.1 背景・経緯等

安全保護系設備は、プラントの異常又は事故発生時に、原子炉を安全に停止するための重要な設備であり、原子炉出力運転中において定期試験(1回/月)を行うよう保安規定により定められている。この定期試験のうち、原子炉トリップの模擬信号入力により、トリップしゃ断器を動作させる試験は、トリップしゃ断器が動作しても実際に原子炉がトリップしないように模擬信号入力前にバイパスしゃ断器を投入しておくことが重要である。しかし、バイパスしゃ断器の実際の動作を確認する場所(しゃ断器盤:A-401、411室)と、原子炉トリップ模擬信号を入力する操作場所(安全保護系継電器盤:A-305室)が離れており、両者間の連絡は、通話設備による口頭連絡のみであった。また、トリップ模擬信号を入力する操作場所(安全保護系継電器盤:A-305室)は高騒音環境にあり、通話設備による口頭連絡が聞き取りにくい状況であった。このような状況では、誤認によるヒューマンエラーにより、原子炉トリップを引き起こす可能性がある。(図2.5.1参照)

2.5.2 改善内容

従来、試験員間の連絡は通話設備による口頭連絡のみであったが、トリップ模擬信号を入力する試験員の操作場所に、バイパストリップ遮断器の状態表示パネルを設置した(安全保護系継電器盤:A-305室)。これにより、トリップ模擬信号を入力する試験員が、確実に原子炉トリップ回路の状態を目視にて把握することが可能となり、誤認によるヒューマンエラーを防止できるようになった。

なお、表示は表示灯のみでなく、試験構成回路を含む表示とし、視覚性の良いものとした。

2.6 局部しゃへい体の設置（1次ナトリウム純化系）

2.6.1 背景・経緯等

1次ナトリウム純化系は、1次ナトリウムオーバフロー系のオーバフロータンクから汲み上げられたナトリウムを、エコノマイザ^{*1}及びコールドトラップ^{*2}で冷却し、溶けきれなくなった不純物をコールドトラップ内の金属メッシュで捕獲し、また、ナトリウムのサンプリング及び純度測定を行うための系統である。1次ナトリウム純化系は1次主冷却系に比べ温度が低くなることから、機器や配管の内部に放射性の不純物や腐食生成物が付着しやすく、不純物や腐食生成物の付着する機器の廻りは、運転開始以降放射線の線量率が高くなる。（図2.6.1参照）

一方、1次ナトリウム純化系室は、機器や配管等の点検で作業員がナトリウムドレン、雰囲気置換後に立ち入る必要がある。このため、作業員の被ばく低減対策が必要であり、当初から遮へい体の設置（追設）が計画されていた（ただし、コールドトラップ本体については、遮へい体の追設が困難であるため据付時に設置している）。

2.6.2 改善内容

平成12年度に、1次ナトリウム純化系室のエコノマイザ付近及び点検通路部等に板厚12～22mmの鋼製の局部遮へい体を設置した。

この局部遮へい体の設置により、26%～60%程度の放射線線量当量率の低減が期待できる。

*1 エコノマイザ

コールドトラップに流入するナトリウムと流出するナトリウムの熱交換を行う熱交換器

*2 コールドトラップ

ナトリウム中の不純物の溶解度が、温度の低下とともに減少することを利用して、ナトリウムの温度を低下させてナトリウム中の不純物を除去する装置

2.7 燃料洗浄設備の脱湿運転の改善

2.7.1 背景・経緯等

燃料洗浄設備は、燃料取扱設備の一部を構成するもので、燃料出入機から使用済み燃料等を受け入れ、これに付着したナトリウムを取り除く設備である（図 2.7.1 参照）。使用済み燃料等の洗浄は、洗浄槽内に被洗浄体を収容し、湿分を含んだガスや水を循環して行う。

燃料洗浄設備は、平成 7 年の模擬体洗浄運転において、洗浄後に洗浄槽内を乾燥させる脱湿運転（高温アルゴンガスの循環）を行ったところ、枝管部及び弁のたまり部に水が残留し、それがその後のガス置換時に槽内に拡散して湿度が十分に下がらないことが確認された。これは、枝管部及び弁のたまり部に流路が形成されておらず、高温アルゴンガスが十分にゆきわたらないことによるものと考えられた。

この湿分の残留は、燃料出入機からの燃料受け入れ時に、ナトリウム付着機器である燃料出入機グリッパ^{*1}が直接洗浄槽内の湿分雰囲気さらされたり、燃料出入機内へ湿分が移行することにより、付着ナトリウムと水の反応生成物を生成させることによるものである。（図 2.7.2 参照）。この化合物は、燃料出入機の作動機器であるグリッパ、ドアバルブ^{*2}等の動作不良を引き起こす原因となり、実際にグリッパの動作不良（図 2.7.3 参照）が発生した。プラント運転時にこれらの動作不良が生じれば、燃料洗浄工程に影響を及ぼし、プラント全体の工程にも影響することが想定される。このため、脱湿運転による洗浄槽内の乾燥が十分に行えるよう、改善を行う必要がある。

*1 グリッパ：燃料等をつかむ治具

*2 ドアバルブ：燃料等が通過する部分の弁体開閉装置

2.7.2 改善内容

水が残留しやすい燃料洗浄槽下部、枝管部及び洗浄槽まわりの弁にヒータを設置するとともに（図 2.7.4 参照）、運転手順に真空ポンプを利用した減圧乾燥^{*3}工程を追加し、脱湿性能の向上を図る。

*3 減圧乾燥：圧力を下げ、より低い温度で残留水を蒸発させる

表2.1.1 ナトリウム設備の改善(1/3)

(太枠項目は代表例)

1次ナトリウム系設備の改善

(信頼性向上)

No.	項目	概要	実施状況又は実施方針
	微調整棒駆動機構の荷重増加対応*	制御棒は原子炉の出力を調整する装置で、もんじゅでは、3種類の制御棒を持っている。このうち、原子炉出力の微調整を行う制御棒の動作部には隙間の狭い部分があり、ここにナトリウム化合物が付着し動作の抵抗となった。この隙間の狭い部分へのナトリウム化合物付着防止を目的とした構造変更を行う。	対策検討終了 今後実施予定
	遅発中性子法破損燃料検出器の設定値変更	遅発中性子法破損燃料検出装置は、原子炉に装荷された燃料の破損を燃料から放出される遅発性中性子先行核種が1次ナトリウム中で中性子を放出する、中性子レベルの変動で検出する装置である。通常運転時の中性子レベルと比較してどの程度レベルが上昇するかを監視し、警報発報、原子炉トリップ信号を発信する。試運転の結果、通常運転時のレベルが低く、それに合わせた低めの警報等の設定を行っているが、誤警報発報、又は、原子炉誤トリップを引き起こす可能性がある。このため試運転結果を反映し、本来の設置目的を満足させること、誤警報の発報防止することを考慮して適切な警報設定値、原子炉トリップ設定値に変更する。	今後実施予定

(プラント機能向上)

	1次アルゴンガス系の圧力損失増加対策(フィルタ追設)	1次アルゴンガス系は原子炉等で使用したアルゴンガスを回収、清浄化し、再び原子炉等へ送る設備である。ガス回収の際、原子炉側から1次アルゴンガス系下流側へのナトリウム蒸気の移行を防止するため原子炉出口近くにナトリウム蒸気除去装置(V/Tベーパートラップ、M/Tミストトラップ)が設置されているが、微量のナトリウム蒸気が本装置下流側へ移行した形跡が認められた。この改善策としてフィルタを追加設置した。	実施済 (H11年度)
	1次系ダンプタンク予熱ヒータシーケンス改造(常時入)	1次系ダンプタンクは系統のナトリウムをドレンする際、ナトリウムを受け入れるタンクであり、プラント運転中には使用されない。このため、このタンクの予熱は、プラント起動停止時にヒータの入、プラント運転時にヒータの切の運用となっている。ヒータの入、切に伴いタンク内圧が変動し、運転員による圧力調整操作が必要となる。この運転員の操作を軽減するため、予熱ヒータが常時通電状態となるよう制御回路を変更する。	今後実施予定

* 第9回報告済み

表2.1.1 ナトリウム設備の改善(2/3)

(太枠項目は代表例)

(プラントの運転操作性向上)

No.	項目	概要	実施状況又は 実施方針
	1次アルゴンガス系 ベータトラップ 出口メッシュ 温度制御の 手動から自動 への変更	1次アルゴンガス系ベータトラップは原子炉から1次アルゴンガス系下流部へ流れるカバーガス中のナトリウム蒸気を捕獲するフィルタであり、空気を外面に吹き付け温度を低く保つことでナトリウム蒸気を捕獲している。空気風量の調整は、現場にてダンパー開度を手動調整して行っているが操作が煩雑である。この運転員の負担を軽減するため、ダンパ開度を自動制御出来るよう改善する。	検討中
	ダンプタンク ガスフロー調節弁 の遠隔操作化	1次系ダンプタンクは、系統のナトリウムをドレンする際ナトリウムを受け入れるタンクである。ドレン操作にあわせて、ダンプタンク圧力を調整する必要があるが、現場で手動弁の開度調整を行っている。この操作が煩雑であるため、遠隔操作弁の設置を検討した。しかし、ナトリウム漏えい対策の一環として主要なドレン弁が遠隔操作化され、ドレン操作全体の運転員の負担が軽減されたこと及び操作頻度が少ないことから改善は不要とした。	改善不要

(保守性向上)

	局部しゃへい体 の設置 (1次ナトリウム 純化系)	1次ナトリウム純化系室は、プラント運転開始後、高線量となることが予想される。また、定検時には室内に設置される装置、配管等を点検するため、作業員が立ち入る必要がある。室内には局部的に高い線源部が存在するため、作業員の被ばく低減を目的とし、当該部位に局部遮へい体を設置した。	実施済 (H12年度)
	小型監視点検装置 の設置	1次系オーバフロータンク室は、プラント運転開始後、高線量となることが予想される。また、定検時には室内に設置される装置、配管等を点検するため、作業員の被ばく低減を目的とし、遠隔監視、点検が可能な小型カメラ及び小型カメラ移動レールを設置する。	改善中

表2.1.1 ナトリウム設備の改善(3/3)

(太枠項目は代表例)

2次ナトリウム系設備の改善

(信頼性向上)

No.	項目	概要	実施状況又は 実施方針
	純化系プラグング計 戻り合流部 サーマルストライ ピング対策 (ヒータ可変 制御)	プラグング計は、ナトリウム純度を測定する装置である。系統ナトリウムを主流路から分岐させてナトリウムを取り込み、測定後再び主流路にナトリウムを戻す。いったん主流路から分岐したナトリウムは温度が低下し、主流路に戻る際、高温の系統ナトリウムと合流する。この合流部位で温度が変化するため、配管に熱サイクルを加えダメージを与える可能性がある。この影響を緩和するため、主流路に戻る分岐配管をヒーターにより加温する。	一部 今後実施予定
	2次系純化系他 予熱ヒータソフト の改造	蒸発器のオーバフロー配管内は、通常運転中、常時高温のナトリウムがオーバフローしており、予熱ヒータを切としている。この状態でプラントがトリップすると、当該部の高温ナトリウムのオーバフローがなくなり配管温度が低下して、ナトリウムを凍結させる可能性がある。このため、オーバフロー配管温度により、自動でヒーターが入、切されるよう制御回路を変更する。	今後実施予定
	2次予熱温度警報を 中央制御室へ追設	配管等の温度は、予熱ヒータを入、切し、一定の温度を保つよう自動制御されている。現在は中央制御室内のCRT画面への警報表示、及びタイプライターへの印字にて予熱温度の異常の有無を確認している。これらは、運転員が定期的に監視しなければ分からないため、予熱ヒータの異常を見逃す可能性がある。このため、中央制御室に予熱ヒータの異常を確実に監視できる一括警報(表示窓点滅、動作音)を追加する。	今後実施予定

(プラントの運転操作性向上)

No.	項目	概要	実施状況又は 実施方針
	換気系制御回路改善 (2次主冷却系統 通常ドレン時に おける換気系 停止を防止する)	ナトリウム漏えい事故時、蒸発器内のナトリウム液位が低下すると「蒸発器液位低低」の信号が発信される。このとき、漏えいしたナトリウムと空気との反応を抑制するため、空気を供給する換気系が自動停止する回路となっている。この信号は通常の運転操作でナトリウムをドレンした際も発生する。通常ドレン時は、換気系を停止させる理由はなく、室温上昇防止のため運転継続を要するが、現状は信号を受けて換気系が停止してしまう。これを防止するため、換気系停止回路にバイパススイッチを設置する。	今後実施予定

表2.1.2 水蒸気・タービン設備の改善(1/6) (太枠項目は代表例)

水蒸気系及びタービン設備の改善

(信頼性向上)

No.	項目	概要	実施状況又は実施方針
	フラッシュタンク 圧力調節弁の 振動、騒音抑制 対策 (低騒音弁 の採用他)	フラッシュタンクは、プラントで発生した熱を有効に再利用するため、主蒸気系統からのドレン水や抽出蒸気を流入させ、復水系統へ蒸気を送り熱回収する設備である。フラッシュタンクの蒸気は出口圧力調節弁で、適正な圧力に調節して復水系統に送るが、試運転の結果、弁下流側に超音速の流れが生じ、フラッシュタンク出口圧力調節弁の振動、騒音が大きくなることが確認された。この対策として、圧力調整弁を低騒音弁に交換するとともに、フラッシュタンク出口配管を2系列にし、1弁当たりの蒸気の流れを少なくする。	基本設計終了 今後実施予定
	水・蒸気系温度計 交換・撤去	2次系温度計さやが、ナトリウムの流体力による振動のため、さや段付部において高サイクル疲労により破損したことから、水・蒸気系温度計についても、最新知見を反映した設計方針*1を定め評価した。この評価の結果、設計方針を満足しない温度計さや等(予備さや含む)を交換又は撤去(代替監視が可能なもの等について)する。	今後実施予定
	給水加熱器 加熱蒸気管の サポート方式変更	給水加熱器は、蒸気発生器に送る給水を蒸気により暖める設備である。給水加熱器へ蒸気を取り入れる配管は、サポートで支えられている。試運転時、配管とサポートを溶接した部分に割れが生じ、微量の蒸気漏れが発生した。割れの原因は、サポートが固定方式であることに起因するものであった。この対策としてサポートを可動方式に変更する。(割れの生じた部分は新しいものに交換する)	今後実施予定
	主給水ポンプ ミニマムフロー弁 への徐閉機能 追加	主給水ポンプミニマムフロー弁は、主給水ポンプの保護として締め切り運転防止のため設けられた弁であり、ポンプ入口で測定している給水流量が増加し、設定値に達すると自動的に全閉となる。試運転時、給水流量増加に伴い弁が全閉となった際、ミニマムフロー流量の減少に伴い給水流量が大きく変動した。給水流量20%変動により原子炉トリップのインターロックがあり、これが働く可能性があるため、弁が徐々に閉まる機能を追加する。	今後実施予定

*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」

にて示された方針

表2.1.2 水蒸気・タービン設備の改善(2/6) (太枠項目は代表例)

(運転操作性向上)

No.	項目	概要	実施状況又は 実施方針
	気水分離器ドレン弁 ストローク増加 (プラント起動時の 系統圧力制御容量 増加)	気水分離器は、蒸発器出口蒸気の湿分を除去するための設備であり、プラント起動時には気水分離器ドレン弁にて蒸発器出口の水・蒸気圧力を制御する。圧力制御は、蒸発器出口の水・蒸気を給水側にドレンすることにより行うが、試運転のプラント起動時、弁が全開付近まで開き、圧力制御のための容量不足が懸念された。この対策として、気水分離器ドレン弁のストロークを変更し容量を増加させる。	基本設計終了 今後実施予定
	過熱器 蒸気出口水室 凝縮水抑制 (ヒータ設置)	過熱器は、蒸発器で発生した蒸気に更に熱を加えてより条件の良い過熱蒸気とする設備である。プラント起動時は、蒸発器で発生した高温の蒸気を通す前に、補助蒸気を供給し過熱器入口配管を徐々に加熱する操作(ウォーミング)を行う。この際、過熱器内部に補助蒸気が流入し過熱器出口付近で凝縮することが判明した。このため、当該部に電気ヒータを設置し、蒸気凝縮の防止を図る。	対策検討終了 今後実施予定
	蒸発器 給水管凝縮水抑制 (ヒータ設置)	蒸発器は、給水を加熱し蒸気を発生する設備である。プラント起動時は、高温の給水を通す前に、補助蒸気を供給し蒸発器入口配管を徐々に加熱する操作(ウォーミング)が必要である。この際、蒸発器内部に流入した補助蒸気の温度が低下し、入口近傍で凝縮することが判明した。このため、当該部に電気ヒータを設置し、蒸気凝縮の防止を図る。	対策検討終了 今後実施予定
	蒸気発生器 補助蒸気供給弁の 小口径化 (操作性改善)	補助蒸気供給弁は、プラント起動時、蒸発器廻り配管等に蒸気を供給し、徐々に加熱させるために開閉操作する弁である。この操作は、配管等への熱影響緩和のため、温度を監視しながら弁を細かく調整して行っている。このため、弁を口径の小さいタイプに変更し、調整の容易化を図る。	今後実施予定

表2.1.2 水蒸気・タービン設備の改善(3/6) (太枠項目は代表例)

(プラント機能向上)

No.	項目	概要	実施状況又は 実施方針
	復水脱塩装置 中和排水ポンプ シール水 供給弁の自動化 (電磁弁により ポンプ運転と連 動)	復水脱塩装置中和排水ポンプは、中和排水タンクの排水を汲み上げ、タンクレベルを一定範囲に保つため自動的に運転、停止する設備である。運転時、ポンプ軸シール部冷却のためにシール水を供給する必要があるが、手動弁のため常時開としている。このため、ポンプ運転、停止にかかわらず、常時シール水が供給され中和排水タンクに流れ込み、廃液の発生源となっている。この対策として、シール水供給弁を、ポンプ運転に連動して開閉する電磁弁に変更し、ポンプ停止中はシール水が供給されないよう改善した。	実施済 (H12年度)
	所内補助蒸気設備 ブロータンク ベント管出口の 移設(放出蒸気 の影響防止)	所内補助蒸気設備ブロータンクは、補助ボイラの水質維持等のためにボイラ水を入れ替えする際、排出先となる容器である。高温の排出水の蒸気分は、ブロータンクのベント管より大気へ放出される。大気放出先付近には、他設備の計装品が設置されており、放出蒸気の影響が考えられることから、ブロータンクベント管を延長し、これら計装品から離れた場所へ大気放出口を移設した。	実施済 (H10年度)

(作業安全性向上)

	薬液注入装置 洗浄用純水ライン 追設(ポンプ 分解点検時 洗浄用)	薬液注入装置は、給・復水系統の水質維持のために、薬品をポンプで注入する設備である。薬品ポンプを点検する際、分解した部品に付着した薬品を純水で洗浄する必要があるが、付近に純水供給設備がないため、洗浄用純水ラインを追設した。	実施済 (H12年度)
--	---	--	----------------

(その他)

	軸受冷却水系 スタンドパイプ 補給純水量 確認用積算計 の設置	軸受冷却水は、タービン潤滑油系統など補機類の冷却水であり、一定量の水が系統内を循環している。系統水質を維持するために定期的に系統水の入替え(排出による自動補給)と薬品注入を行っている。水質を基準値内に維持するためには、入れ替えた水の量(排出量)に見合った量の薬品を注入する必要がある。現在は、排出弁の開度と時間で排出量を算出しているが、排出量を正確に把握し、薬品量を設定することは難しい。このため、排出の際自動的に補給される補給ラインに、純水流量積算計を設置した。	実施済 (H13年度)
--	---	--	----------------

表2.1.2 水蒸気・タービン設備の改善(4/6) (太枠項目は代表例)

	<p>タービントリップ時における起動用空気抽出器の自動起動インターロックの追設</p>	<p>起動用空気抽出器は、タービン起動・停止時、復水器に滞留する不凝縮ガスを大気に放出する設備であり、起動するためには、補助蒸気弁を開ける等の操作が必要である。タービントリップ時には10分以内に起動用空気抽出器を起動することになっているが、この時には、運転員の対応操作が非常に多く、起動用空気抽出器の起動操作が遅れる可能性が考えられるため、自動起動させるインターロックを追設する。</p>	<p>今後実施予定</p>
	<p>脱気器及び給水加熱器補助蒸気供給弁の不具合発生時の対策</p>	<p>脱気器及び給水加熱器への補助蒸気供給弁は、プラント起動時等、当該機器をあらかじめ加温しておくために、補助蒸気を供給する弁である。この蒸気供給弁の不具合発生時には、弁を系統から隔離して作業を行う必要があるが、現在は隔離弁がないため、弁を追加する。</p>	<p>検討中</p>
	<p>水蒸気系薬液注入装置ヒドラジン自動希釈装置の追設</p>	<p>水蒸気系薬液注入装置は、給水水質を維持するため薬品（ヒドラジン等）を注入する設備である。ヒドラジンは、水で薄めて使用するが、薄め作業の頻度が多く（1回/日）運転員への負担が大きい。この対策として、ヒドラジンを薄める作業が自動で行われるよう自動希釈装置を追設する。</p>	<p>今後実施予定</p>
	<p>蒸発器出口蒸気温度制御装置の改良</p>	<p>蒸発器は、給水を加熱し蒸気を発生させる設備である。蒸発器の出口温度は、制御装置で制御されるが、プラント起動時の出力上昇過程で制御器の制御定数（命令に対し反応する度合い）を変更する必要があることが試運転時に分った。この変更操作は、現場盤内の多数の電子回路基板の交換にて行うが、高度な知識要する作業であるとともに、作業性が悪いため、ヒューマンエラー防止の観点から中央制御室に制御定数選択スイッチを設け、変更操作を単純、確実に実施できるようにした。。</p>	<p>実施済 (H13年度)</p>
	<p>主給水ポンプステーション速度ロック時の操作性改善</p>	<p>主給水ポンプステーションは給水流量の制御器であり、中央制御室に設置されている。プラントの状態等により適切な制御モードを選択する必要があるが、速度設定ロック解除操作の順序によっては、モード切替が不能となる。このため、モード切替回路を変更し、確実にモード切替が実施できるよう改善する。</p>	<p>今後実施予定</p>

表2.1.2 水蒸気・タービン設備の改善(5/6) (太枠項目は代表例)

	<p>給・復水系及び水・蒸気系調節弁「ロック」時のANN設置</p>	<p>給・復水系及び水・蒸気系調節弁は、系統の水や蒸気の流れ等を制御する弁である。これらのうち、重要な弁は、異常発生時、影響が拡大しないよう弁開度を維持する安全機能を持っている。弁がこの状態になると中央制御盤上の制御器に「ロック」表示が点灯するが、運転員へのより確実な注意喚起のため、中央制御盤に「ロック」状態警報（表示点滅、作動音）を設置する。</p>	<p>今後実施予定</p>
	<p>蒸発器、過熱器補助蒸気供給配管サンプリングライン等の設置</p>	<p>プラント起動時、蒸発器及び過熱器への蒸気供給配管清浄化を目的とし、蒸気を供給しながら排出する操作（フラッシング）を行う。現在は、清浄化の度合いを把握できないため、適宜、排出蒸気水質を確認できるサンプリングラインを設置する。</p>	<p>今後実施予定</p>
	<p>循環水配管ドレン方法の改善</p>	<p>循環水は、タービンで使用した蒸気を水に戻すために使用する冷却海水である。循環水系の点検時には、系統内にある大量の海水を一時受けタンクにドレンする。このタンクに排出された海水はポンプで海へ排出されるが、ポンプの容量が小さいため、系統からタンクへのドレン量を弁で微量に調整し、ポンプ排出量とバランスさせて対応している。循環水系点検工程の短縮化を図るため、タンクを経由せず直接ドレンを海へ排出できるポンプを設置する。</p>	<p>今後実施予定</p>
<p>21</p>	<p>補助ボイラー設備改造（給水タンク給水方法の変更）</p>	<p>補助ボイラーは、プラント起動時等に系統に蒸気を送る設備である。プラントの状態等により蒸気の所要量が変動するため、ボイラの給水タンクにもそれに合わせた量を供給する必要がある。プラント停止中、給水タンクの水位が低下すると2系統ある補給ラインのうち、プラント停止中専用の系統（小口径）の補給弁が自動的に開き純水が供給されるが、特定の運転状態において補給量が不足する場合がある。このため、プラント運転時用の補給水ライン（大口径）を併用する運用とした。</p>	<p>実施済 (H12年度)</p>

表2.1.2 水蒸気・タービン設備の改善(6/6) (太枠項目は代表例)

22	取水口 防塵ネットの設置	取水口は、タービンで使用した蒸気等を冷却するために使用する海水を汲み上げる場所である。プラントが通常運転状態になると、冷却する海水が取水口から大量に汲み上げられる。このため、流木等の浮遊物が取水口付近に集まって来ることが予想されている。循環水ポンプによる海水の取水に支障がないよう、既設の除塵設備に加え、取水口部に防塵ネットを設置する。	検討中
23	化学分析室排水配管等の腐食防止対策	化学分析室では、さまざまな薬品を使用して分析を行う。当初は、使用した薬品のうち濃度の低いものは、化学分析室から排水管を通して排出する計画であったため、薬品による排水用配管の腐食が懸念されるのでその対策を検討していた。しかし、現在は薬品を使用するごとに排水を容器に回収する運用方法を変更しており、特に問題は生じていない。	改善不要 (運用により改善済)
24	取水設備系統 取水フィルタ 清掃架台等の設置	取水設備は、もんじゅで使用する水を水源(湧き水)から屋外の水路にて構内へ導く設備である。水路に入り込む落ち葉等のごみを取り除くため、水路には取水フィルタが取り付けられており、ごみが貯まると清掃を行っている。しかし清掃用の作業架台がなく、作業姿勢が不安定であるので、作業員の安全確保の観点から、架台及び昇降用梯子を新設した。	実施済 (H11年度)
25	コンデミ薬品 (塩酸、苛性 ソーダ)タンク 廻りに洗浄設備 の設置	コンデミは、タービンで使用した蒸気が復水器で冷却され水になった復水を、給水として再利用できるように清浄化する設備である。この設備は、一定期間使用すると清浄化能力が低下するため、薬品を使用して清浄化能力を回復させる。作業員が薬品を取り扱う際、薬品(劇物)に触れることが考えられるので、手洗い場を設けた。	実施済 (H9年度)
26	薬液注入装置廻りに 洗浄設備の設置	薬液注入装置は、水・蒸気系設備で使用する給水に、系統として利用できるよう薬液を注入し、給水の水質を維持する設備である。作業員がこの薬液を取り扱う際、薬液(劇物)に触れることが考えられるので、手洗い場を設けた。	実施済 (H9年度)
27	補助ボイラ設備改造 (ボイラ室の 手洗い場の設置)	補助ボイラーは、水質維持のため、薬液(劇物)を注入する。作業員がこの薬液を取り扱う際、薬液(劇物)に触れることが考えられるので、手洗い場を設けた。	実施済 (H9年度)

燃料取扱設備の改善

(プラント機能向上)

No.	項目	概要	実施状況又は 実施方針
	炉外燃料貯蔵設備 予熱制御システム の改善(予備 計算機設置、 ヒータ電源 非常用化)	<p>炉外燃料貯蔵設備は、新燃料及び使用済み燃料をナトリウム中で一時的に貯蔵する設備である。この設備は、ナトリウムを使用していることから予熱ヒータを有している。過去に、予熱を制御している燃取系計算機の異常停止や停電時に常用電源^{*1}につながっている予熱ヒータが切れて、一部の配管内ナトリウムを凍結させた経験がある。この復旧作業は容易ではない。このため、バックアップ計算機を新設し、予熱制御機能が失われないようにするとともに、当該部の予熱ヒータを非常用電源^{*2}につなぐこととし、配管内でのナトリウム凍結防止を図った。</p> <p>*1常用電源：外部から供給される一般電源 *2非常用電源：一般電源が停電した際、非常用ディーゼル発電機から供給される電源</p>	実施済 (H11年度)

(プラントの運転操作性向上)

	炉外燃料貯蔵設備 ナトリウム サンプリング 装置操作盤の 制御室への 追加	ナトリウムサンプリング装置は、炉外燃料貯蔵槽内のナトリウムを分析するための試料を採取する装置である。この装置は、サンプリング時にのみ一時的に運転されることから、サンプリングラインの異常を示す警報は現場盤のみに発報するようになっていた。しかし、異常時の対応を速やかに行うため、運転員が常駐する燃料取扱設備操作室に一括警報を追加設置し、運転員に確実な情報を提供する。	実施済 (H13年度)
	炉外燃料貯蔵設備 ナトリウム・ アルゴン サンプリング 装置部品の 取付け方法 改良 (操作性向上)	ナトリウム及びアルゴンサンプリング装置は、炉外燃料貯蔵槽内のナトリウム及びアルゴンを分析するための試料を採取する装置である。運転員は、炉外燃料貯蔵槽内の純度管理のため、手作業で定期的にナトリウム・アルゴンサンプリングを行っている。このサンプリング作業は、冷却ジャケット、サンプリングポットの着脱に多くの時間を要している。このため、冷却ジャケット、サンプリングポットの取り付け構造を簡易な方式に変更する等により、作業の効率化、作業員の被曝線量低減を図る。	今後実施予定

表2.1.3 燃料取扱設備の改善(2/3)

(太枠項目は代表例)

(プラント機能向上)

No.	項目	概要	実施状況又は 実施方針
	燃料洗浄設備 の脱湿運転工程の 乾燥機能向上	<p>燃料洗浄設備は、使用済み燃料等に付着したナトリウムを洗浄し取り除く設備である。使用済み燃料等の洗浄は、燃料洗浄槽内にて湿分を含んだガス等により行うが、これまでの模擬試験体の洗浄経験から、燃料洗浄槽内に残留した湿分と、燃料出入機内に付着したナトリウムとの反応生成物により、燃料出入機グリッパ^{*1}の動作不良が発生した。通常の運転では、被洗浄体を燃料洗浄槽に受け入れる前に、燃料洗浄槽内の乾燥運転を行うが、この工程での湿分除去が十分出来なかったことが主な原因であった。このため、湿分が残留しやすい燃料洗浄槽廻り配管部にヒータを設置するとともに、燃料洗浄の手順に、真空ポンプを利用した減圧乾燥^{*2}工程を追加し、燃料洗浄槽の脱湿性能向上を図る。</p> <p>*1グリッパ：燃料等をつかむ治具 *2減圧乾燥：圧力を下げ、より低い温度で残留水を蒸発させる</p>	改善中

(運転操作性向上)

	燃料出入機 グリッパヒータ 警報回路の改善	<p>燃料出入機グリッパは、燃料等をつかむ治具であり、燃料等の移送・受渡しを行うために昇降及び着脱を行う。</p> <p>グリッパヒータは、駆動装置内にナトリウムが付着し凝固するとグリッパの動作不良の原因となることから、付着ナトリウムを溶解するために設置されている。このヒータが健全であることの確認は現場に設置されている温度指示計で確認できるが、ヒータ異常時の対応を速やかに行うため、ヒータ異常を示す警報を燃料取扱設備操作室へ追加設置した。</p>	実施済 (H13年度)
--	-----------------------------	--	----------------

(信頼性向上)

	新燃料取扱設備の 方位調整装置 故障時の単独 運転機能追加	<p>新燃料方位調整装置は、炉心内での照射方向を把握する観点から、新燃料にあらかじめマーキングされた基準面を一定方向にするために設置されている。新燃料方位調整はすべて自動で行われるが、途中のステップで不具合が発生し自動運転が停止すると、復旧するために制御盤内の回路を調整する必要があり作業が困難である。このため、ステップ毎に動作を進行させる手動モードを追加し、復旧作業を容易化した。また不具合を発生させる部位は、燃料の方位を検知するセンサであることが多かったため、新燃料方位調整操作前に、センサの状態をチェックできる機能を追加した。</p>	実施済 (H13年度)
--	--	--	----------------

表2.1.3 燃料取扱設備の改善(3/3)

(太枠項目は代表例)

(作業安全性向上)

No.	項目	概要	実施状況又は 実施方針
	燃料缶詰室 開口部の足場設置	燃料缶詰設備は、使用済みの燃料等を水が封入された缶詰缶(容器)に収納するための設備である。燃料缶詰室には梯子を設置して入室しているが、この梯子を設置する床面近辺には大きな開口部があり、危険であったため、作業安全性向上の観点から、本開口部に常設の足場を設置した。	実施済 (H12年度)

表2.1.4 その他の改善(1/3)

(太枠項目は代表例)

No.	項目	概要	実施状況又は実施方針
	安全保護系 動作表示器の設置	安全保護系設備は、プラントの異常又は事故発生時に原子炉を安全に停止する重要な設備であり、プラント運転中においても、定期的に機能確認試験を行う。この定期試験は、原子炉トリップの模擬信号によりトリップしゃ断器を動作させる手順で行うが、模擬信号を入力する場所と確認する場所が異なることから、試験員の誤認識により誤った操作をする(ヒューマンエラー)可能性がある。試験員の誤操作を防止するため、試験用信号を入力する場所に試験条件が成立しているか否かが目視確認できる表示盤を追加した。	実施済 (H11年度)
	ディーゼル発電機 清水及び潤滑油 冷却器管束部 の交換	ディーゼル発電機は、所内が停電した際自動運転され、電気を供給する設備である。発電機はディーゼル機関により駆動され、機関を冷却する清水用及び潤滑油用の冷却器が設置されている。冷却器には海水が流れるU字型の細い管が多数設置され、保守点検時にはその細管内の清掃・点検を行う。しかしU字型の部分の清掃及び点検が困難なため、U字管型の冷却器から直管型の冷却器に交換し、保守・点検性を向上させた。	実施済 (H10年度)
	電源系統 母線回路の改造	2次メンテナンス冷却系は、プラントの点検時に、電磁ポンプにてナトリウムを循環させ原子炉の冷却を行う設備である。この電磁ポンプの電源は1系統から受電しているため、当該電源が故障するとメンテナンス冷却系を用いた原子炉の冷却が継続できなくなる(ただし、別の冷却システムを用いた原子炉の冷却は可能)。このため、2次メンテナンス冷却系ポンプの電源を他系統からも供給できるよう電源連絡回路を追設し、2次メンテナンス冷却系の信頼性を向上させた。	実施済 (H13年度)
	コンデンサの 計画的な交換	コンデンサーは、機器の制御盤に数多く取り付けられている電気部品である。コンデンサーは、一定期間使用すると寿命となり、長期間使用した制御盤では、制御器の故障原因となる。コンデンサー不良が原因の故障を防止するため、一定期間使用したコンデンサーは交換することとした。プラント全体では膨大な数のコンデンサーが使用されていることから、安全上重要な機器から順次計画的に交換を行っている。	継続中

表2.1.4 その他の改善(2/3)

(太枠項目は代表例)

No.	項目	概要	実施状況又は 実施方針
	バキュームブレーカ 作動防止のためのCV (原子炉格納容器) 換気系ファン トリップ機能追 加	バキュームブレーカーは、原子炉格納容器に過剰な外圧が加わることを防止するため、一定の負圧値に達すると自動的に外気を取り込む真空破壊弁（真空にならないようにする弁）である。原子炉格納容器の換気設備は、給気ファンにて外気を取り込みながら、排気ファンで空気を排出し原子炉格納容器内の圧力を保つ設計となっている。この状態で給気ファンのみがトリップすると、排気ファンの運転継続により原子炉格納容器内圧が低下し、バキュームブレーカーが作動する。この作動を防止するため、原子炉格納容器換気設備の給気ファンが停止すると排気ファンを自動停止するインターロックを追加した。	実施済 (H13年度)
	CV内床ドレン隔離弁 「全閉」時の配管 ドレ検知器の設置	原子炉格納容器内の床ドレン排水配管は、原子炉格納容器内の空調設備から発生する凝縮水を排水処理設備へ移送するものである。原子炉格納容器内床ドレン配管の弁が「閉」の場合（原子炉運転中）、空調設備からの凝縮水が床ドレン排水口から溢れる可能性がある。この対策として、排水配管内のドレン量を把握するため検知器を設置することを検討した。しかし、原子炉格納容器換気設備側で除湿する抜本的な凝縮水抑制対策を施したことから、検知器を設置する改善は不要とした。	改善不要 (抜本的改善 を実施済)
	気密扉開閉用 把手の取付	気密扉は、もんじゅの各建物内に設置される閉止時に気密性を保つことができる扉である。この扉には扉を閉止位置でロックするためのハンドルが取り付けられているが、扉を開閉する際にこのハンドルを引っ張ると故障することが考えられる。このため、扉開閉専用の把手を追設し、ロックハンドルの故障を防止した。	実施済 (H11年度)
	メンテナンス クレーン操作の 遠隔化	メンテナンスクレーン（プラントの保守点検時に重量物を取扱う設備）の運転席は高所にあり、クレーンの位置によっては床面の状況が確認しにくい所があった。重量物取扱作業時のクレーン運転者と床上の合図者との連携改善及び死角排除による作業安全性向上のため、本クレーンを床上の操作器で無線操作できるよう改善を行った。	実施済 (H12年度)

表2.1.4 その他の改善(3/3)

(太枠項目は代表例)

No.	項目	概要	実施状況又は 実施方針
	メンテナンス建物 ハッチ置場の設置	メンテナンス建物の床面には、階下に物品を移動する目的でいくつかの開口部が設けられており、通常はふた（ハッチ）で閉止されている。設備の保守点検時にはこれらのハッチを外し床面に仮置きするが、他の点検用資材の仮置きも多く発生し、床面スペースが不足していた。この状況を改善するため、資材仮置用として使用しにくい空スペースにハッチ専用置き場を設置し、エリアを有効に活用できるようにした。	実施済 (H12年度)
	メンテナンス建物 資材搬出入用 ジブクレーンの設置	もんじゅにおいて、建物内に物品を搬入する際は、メンテナンス建物の大物搬入口を使用する。物品の取扱いは、大型のメンテナンスクレーンを使用する必要があるが、このクレーンは小物物品の取扱いに適していないため、小物物品取扱専用のジブクレーンを設置する。	検討中
	共通保修設備 水循環系への 電導度計取付	共通保修設備は、燃料取扱機器等（燃料を除く）に付着したナトリウムを洗浄、除去する設備である。機器へのナトリウム付着量が多い場合、洗浄が不十分となる場合があるため対策を検討していた。しかし、ナトリウム付着機器（燃料交換機等）の構造を変更することでナトリウムの付着量を低減できたため、改善不要となった。	改善不要 (代替改善済)
	定検用 主建物出入り口 の新設	主建物とはもんじゅの現場の主要な建物の総称である。定検時には主建物に出入りする作業員が多くなることが予想されることから、現在の出入り口に加え、定検専用の出入り口の新設を検討した。しかし、これまでの作業員出入り実績数から定検時の作業員数を詳細に検討した結果、現状設備で問題はないことが確認できたので、改善は不要となった。	改善不要

3. 安全性研究等の反映

3.1 燃料温度評価の高度化

「もんじゅ」の燃料温度評価手法の設定に使用した燃料の融点（評価値）を一部、低く見直す研究報告等が「もんじゅ」の安全審査以降にあった。

「もんじゅ」は原子炉の安全を確保するために、通常運転時や原子炉に異常が発生した時に、燃料温度がその融点未満であるように原子炉を設計している。念のため、「もんじゅ」の安全審査以降に得られた燃料温度の評価に係る新しい知見を反映し、「もんじゅ」の燃料温度の評価を行った。

3.1.1 燃料の概要

燃料は図 3.1.1 に示すように、原子炉容器内の炉心部に燃料集合体として設置されている。「もんじゅ」の炉心には、炉心燃料集合体が 198 体、ブランケット燃料集合体が 172 体、設置されている。炉心燃料はプルトニウムの酸化物とウラン酸化物を混合した燃料(以下、MOX 燃料という。)であり、核分裂連鎖反応を維持し、エネルギーを発生させる。

図 3.1.2 炉心燃料集合体の構造を示す。炉心燃料の燃料ペレットは MOX 燃料を小さい円柱状(茶筒状)に焼結したものである。この燃料ペレットをステンレス製の円管(被覆管)内に数十個入れ、上部端栓と下部端栓で密封する。これを燃料要素という。炉心燃料集合体は燃料要素を 169 本束ね、ラッパ管と呼ばれる断面が六角形をしたステンレス製の管に収納したものである。図 3.1.2 には燃料要素の断面図も示す。燃料ペレット外面と被覆管内面には間隙があり、これを被覆管ギャップという。被覆管ギャップの熱の伝わりやすさを示す数値をギャップ熱伝達率という。

核分裂連鎖反応は燃料ペレットで発生し、燃料ペレットが発熱する。燃料ペレットの単位長さ当たりの発熱率を線出力という。例えば、燃料ペレットの 1 センチメートル当たり 100 ワットの発熱があれば、その線出力は 100 W/cm である。燃料ペレットは発熱に伴い高温になるが、燃料ペレットの中心部の温度のことを普通、燃料温度と言う。

燃料ペレットは発熱し温度が上昇すると、中心に中心空孔と呼ばれる孔が開く。従って厳密には燃料ペレットの中心部とは中心空孔の内面であり、燃料温度とは中心空孔の内面の温度である。(図 3.1.3)

3.1.2 燃料温度の評価

燃料温度を評価するためには、ギャップ熱伝達率を設定する必要がある。そして、設定したギャップ熱伝達率を用いて目的とする原子炉の燃料温度を計算する。

(1) ギャップ熱伝達率の設定

ギャップ熱伝達率を設定する方法の一つに、溶融限界線出力試験を用いた方法がある。溶融限界線出力試験は、燃料ペレットの中心部が試験中に溶融するように設計した試験用の燃料要素を原子炉に装荷し、照射する試験である。照射試験後、試験用の燃料要素を詳細に調べ、燃料要素の軸方向のどの位置で燃料の溶融が始まっているかを確認する。線出力は炉心の位置により異なり、炉心解析計算により把握できるので、試験用の燃料要素が炉心のどこに装荷されていたか、試験用の燃料要素の軸方向のどの位置で燃料の溶融が始まっているかが分れば、燃料の溶融が始まっているところの線出力を知ることができる。燃料の溶融が始まっているところの線出力を溶融限界線出力という。また、燃料の溶融が始まっているところの温度は燃料の融点であり、燃料の融点は後述するように別途測定された値である。(図 3.1.4)

図 3.1.5 にギャップ熱伝達率の設定の概要を示す。燃料の熱伝導率は物性値として既知であるので、溶融限界線出力、燃料の融点及び燃料の熱伝導率から、試験用の燃料ペレットの表面温度を計算で求める。

一方、燃料の溶融が始まっているところの被覆管外面温度はその部分の冷却材ナトリウムから求め、冷却材ナトリウムの温度は別途行われる熱流計算により把握できる。被覆管の熱伝導率は物性値として既知であることから、溶融限界線出力、被覆管外面温度及び被覆管の熱伝導率から、被覆管内面温度を計算で求める。

燃料ペレットの表面温度と被覆管内面温度が求まったところで、溶融限界線出力を用いれば、ギャップ熱伝達率を求めることができる。

(2) 燃料温度の評価

燃料温度の評価の流れを図 3.1.6 に示す。まず、目的とする燃料ペレットの線出力を炉心解析により求める。また、冷却材ナトリウムの温度を熱流計算で求める。被覆管外面温度は冷却材ナトリウム温度から求めることができる。

線出力が求まっているので、被覆管外面温度と被覆管の熱伝導率から被覆管内面温度が分り、被覆管内面温度とギャップ熱伝達率から燃料ペレットの表面温度が分る。更に、燃料ペレットの表面温度と燃料の熱伝導率から燃料温度(燃料中心温度)が分る。

被覆管の熱伝導率と燃料の熱伝導率は物性値として既知であり、ギャップ熱伝達率は(1)に示した方法で設定された値を用いる。

目的とする原子炉の燃料最高温度を求めるためには、その原子炉の最大

の線出力を出している燃料ペレットについて上記の計算を行う。

3.1.3 燃料温度の評価に係る新しい知見

燃料温度評価に係る新しい知見には、燃料の融点に係る知見と燃料の溶融と線出力の関係に係る知見がある。

(1) 燃料の融点

1) 「もんじゅ」安全審査時点での知見

「もんじゅ」の安全審査時点で得られていた MOX 燃料の融点に関する測定値には、米国の研究者であるエイトケンとエバンス (Aitken & Evans) による報告値等があった。このエイトケン・エバンス報告値は図 3.1.7 に示すようにプルトニウム濃度、酸素対金属比^{注1)} (以下、O/M 比という。) を広範囲に変動させ測定したものであり、燃料の照射初期には O/M 比は低くなる傾向があるので、比較的低い O/M 比まで網羅する必要がある「もんじゅ」炉心燃料の融点を検討するにあたり適切であった。

その他にも報告値があったが、測定の範囲が限られており、「もんじゅ」炉心燃料の融点を検討するのは困難であった。従って、安全審査時点では、エイトケン・エバンス報告値だけが信頼できる統一的な融点測定値であった。

注 1) 酸素対金属比：

MOX 燃料全体の中にあるウラン及びプルトニウムの金属原子の数に対する酸素原子の数の比。

MOX 燃料はプルトニウム原子 1 個に酸素原子が 2 個結合したプルトニウム酸化物とウラン原子 1 個に酸素原子が 2 個結合したウラン酸化物を混合したものであるため、MOX 燃料全体の中にあるウラン及びプルトニウムの金属原子の数に対する酸素原子の数の比をとってみると 2 になるはずであるが、実際の MOX 燃料では必ずしも 2 にならない。

2) 新しい知見とその評価

MOX 燃料の融点に関して、安全審査以後に得た知見としては、上述のエイトケンとエバンス報告値のうち一部を見直した報告値 (以下、修正エイトケン・エバンス報告値という。) とサイクル機構 (旧動燃事業団) による測定値 (以下、JNC 測定値という。) の 2 種類がある。

修正エイトケン・エバンス報告値は、従来の報告値のうち O/M 比が 2.00 のものについて融点を約 25 低めに見直したもので、1985 年に公開された。(図 3.1.8)

一方、サイクル機構は独自の燃料融点測定データを取得すべく 1980 年

代初頭から計画を進め、1988年頃から精度のよい測定が可能となった。その結果、図 3.1.9 に示す測定データが 1988 年から 1992 年にかけて得られた。これらの JNC 測定値は、測定試料のプルトニウム濃度、O/M 比の範囲は限られるものの、測定技術の信頼性も十分把握できており、比較的信頼度が高いと判断される。JNC 測定値とエイトケン・エバンス報告値、修正エイトケン・エバンス報告値を比較して図 3.1.10 に示す。この図から、修正エイトケン・エバンス報告値は、JNC 測定値と良い一致を示していることがわかる。

尚、エイトケンからは O/M 比が 2.00 の以外の融点情報がサイクル機構に提示されており、その情報のうち O/M 比 2.00 の融点が 1985 年の公開文献に掲載されたことから、上記再検討中の融点情報が確定値であると判断できた。この情報に基づいた融点の状態図を図 3.1.11 に示す。

以上より、修正エイトケン・エバンス報告値および再検討中のものとしてサイクル機構に提示されていた融点情報は、比較的信頼性のある情報であると判断できる。ただし、O/M 比 2.00 以外の融点については、国内の最新データを取得し確認・評価していくことが適切と考えている。

(2) 燃料の溶融と線出力の関係に係る知見

1) 「もんじゅ」安全審査時点での知見

「もんじゅ」の安全審査には、ギャップ熱伝達率は $0.5678\text{W}/\text{cm}^2\text{K}$ と設定したが、これは米国の実験炉 EBR-II にて実施された溶融限界線出力試験である P19/P20 試験結果によるものであった。

2) 新しい知見とその評価

「もんじゅ」安全審査以後の知見には、以下の 4 つがある。

DEA2 試験結果

米国の実験炉 FFTF にて実施された溶融限界線出力試験の結果

P19/P20 再評価結果

FFTF の 溶融限界線出力試験結果評価を実施した際に、当時の最新手法で P19/P20 試験の線出力の再評価を行った結果。(試験線出力が従来値より約 12%低い値に見直された。)

INTA-1, INTA-2 試験結果

「もんじゅ」型燃料を対象に計測線付照射装置という原子炉の中の燃料の温度を直接測定する装置により、燃料中心温度を実測した結果 (INTA-1)。また、大型炉仕様の燃料を対象に計測線付照射装置にて燃

料中心温度を実測した結果 (INTA-2)。

尚、INTA-1, INTA-2 は燃料を溶融させていない試験であるが、燃料の中心温度と線出力の関係を見るとという観点では溶融限界出力試験と同等に扱うことができる。

B5D 試験結果

「常陽」にて大型炉仕様の燃料を対象に実施した溶融限界線出力試験結果。

以上の照射試験燃料の特徴を表 3.1.1 にまとめて示した。図 3.1.12 には、これらのうち P19/P20 再評価結果、DEA2、B5D-1、B5D-2 試験結果から得られた溶融限界線出力を示す。また、「もんじゅ」の安全審査時点の P19/P20 試験結果と B5D-1、B5D-2 試験結果を比べて図 3.1.13 に示す。

図 3.1.12 から、溶融限界線出力は米国の P19/P20, DEA2 試験で 400W/cm ~ 600W/cm 程度、「常陽」の B5D-1, B5D-2 試験ではそれより大きい 600W/cm ~ 670W/cm 程度となっていることが分かる。尚、「もんじゅ」の安全審査時点の P19/P20 試験結果では溶融限界線出力は 470W/cm ~ 650W/cm である。

3) 「常陽」での照射試験と米国での照射試験の相違の検討

2) に示した照射試験に供せられた燃料要素について、3.1.2 に示した方法でギャップ熱伝達率を評価したところ、米国での照射試験に供せられた燃料要素ではギャップ熱伝達率が「もんじゅ」設計ギャップ熱伝達率である $0.5678\text{W}/\text{cm}^2\text{K}$ より小さいものが多いが、「常陽」での照射試験に供せられた燃料要素では線出力が大きくなるとギャップ熱伝達率も大きくなり、300W/cm 程度を超える線出力では「もんじゅ」設計ギャップ熱伝達率 ($0.5678\text{W}/\text{cm}^2\text{K}$) を上回るものが多いことが分った。

B5D、P19/P20 及び DEA2 の燃料要素について照射による被覆管ギャップ幅の縮小を図 3.1.14 に示す。B5D では P19/P20, DEA2 とは異なって照射中に被覆管ギャップ幅が縮小しており、「常陽」での照射試験に供せられた燃料要素の方が、ギャップ熱伝達率が高いことと整合している。

両者の燃料ペレットの違いに着目すると、米国の試験燃料ペレットは端に窪みを付けたディッシュ付ペレットであるが、「常陽」の試験燃料ペレットでは窪みは付けておらず、かつ高さ/直径比が大きいことが特徴的な違いである。窪みを付けず、かつ高さ/直径比が大きいと照射開始時に燃料ペレットが軸方向に少しつぶれて横方向に大きくなり易くなり、被覆管ギャップ幅が小さくなると推定でき、これが原因となって「常陽」での照射試験に供せられた燃料要素では、ギャップ熱伝達率が高くなったと考えられ

る。INTA-1、2 を含む他の「常陽」照射燃料のペレットも窪みを付けず、かつ高さ/直径比が大きいので、ギャップ幅は縮小し易いと思われる。実際に、このような燃料ペレットを使って「常陽」で照射した「もんじゅ」型燃料ではギャップ幅の縮小が観察されている。

4) ギャップ熱伝達率関係式の検討

上述した検討に基づけば「常陽」の照射試験結果 (INTA-1, 2 および B5D) によるギャップ熱伝達率は米国の照射試験結果 (P19/P20 および DEA2) と弁別して整理するのが適切である。そこで、「常陽」の照射試験結果よりギャップ熱伝達率関係式を作成した。

作成した関係式により B5D 試験のギャップ熱伝達値を計算した値と実験により得られた値を比較して図 3.9.15 に示す。また、作成した関係式を用いて B5D 試験について燃料温度評価を行った。算出した燃料中心温度と燃料融点評価値とを図 3.9.16 に示す。本ギャップ熱伝達率関係式を用いれば、「常陽」照射試験の燃料中心温度を適切に表現できることが分かる。

3.1.4 「もんじゅ」燃料温度の評価

「もんじゅ」燃料については上述の「常陽」照射試験燃料のギャップ熱伝達率関係式を適用することが適切と考えられる。そこで、ここでは新しく評価したギャップ熱伝達率関係式を用いて「もんじゅ」燃料の温度評価を行った。

ギャップ熱伝達率の公称値は $0.6264 \text{ W/cm}^2\text{K}$ となり、「もんじゅ」安全審査時点の値よりも約 1 割高い値となった。

以上を用いて「もんじゅ」燃料の最高温度を評価すると以下の結果が得られた。

	新知見を反映した* 評価値	従来評価値
定格出力時の 燃料最高温度	約 2320	約 2350
過出力時の** 燃料最高温度	約 2570	約 2600

燃料の溶融を防止する観点から設定した燃料温度の制限値：2350

* 評価誤差の見直しも含む

** 116%出力

定格時及び過出力時の燃料中心温度の評価値は、いずれも従来の評価値より約 30 低い値が得られた。

3.2 制御棒の長寿命化

3.2.1 制御棒の概要

制御棒は原子炉容器内の炉心部に制御棒集合体として設置されている（図 3.2.1）。制御棒は図 3.2.2 に示すように制御棒駆動機構により炉心部で引き抜き、挿入されることにより、原子炉の出力を調整する。

図 3.2.3 に「もんじゅ」の炉心を上部から見た図を示す。「もんじゅ」の炉心には、微調整棒集合体 3 体、粗調整棒集合体 10 体、後備炉停止棒集合体 6 体の 3 種類の制御棒集合体が設置されている。微調整棒は原子炉出力が変化した時の反応度変化を制御するための制御棒であり、自動的に引き抜き、挿入される。粗調整棒は原子炉を起動させ、定格出力まで出力を上昇させるための制御棒である。後備炉停止棒は、万一、調整棒による原子炉停止ができない場合、代わって原子炉を安全に停止する機能を有している。

図 3.2.4 に 3 種類の制御棒集合体の外形を示す。3 種類の制御棒集合体は基本的な構造に変わりはない。図 3.2.5 に粗調整棒集合体を例にとり、制御棒集合体の構造を示す。また、表 3.2.1 に制御棒集合体の主要仕様を示す。中性子を吸収する吸収材ペレットは炭化ホウ素を小さい円柱状（茶筒状）に焼結したものである。この吸収材ペレットを被覆管内に数十個入れ、上部端栓と下部端栓により密封する。これを制御要素という。制御棒は、制御要素を 19 本束ね、保護管に収納したものである。制御棒を制御棒案内管に収納し、制御棒集合体として炉心の所定の位置に装荷する。制御棒は制御棒案内管の内部で上下に自由に動くことができる。

図 3.2.6 に軽水炉の制御棒を示す。軽水炉の制御棒も吸収材として炭化ホウ素を用いているが、「もんじゅ」のようにペレットとして焼結させておらず、炭化ホウ素の粉を被覆管のなかに充填した制御要素を用いている。軽水炉は炭化ホウ素の他に、板状のカドミウムやハフニウムも使用されているが、高速増殖炉は高速の中性子に対し、他と比較して吸収しやすいホウ素を炭化物とした炭化ホウ素を使用する。

3.2.2 制御棒の寿命設計

炭化ホウ素を焼結した吸収材ペレットは、中性子を吸収すると膨れて大きくなる。これはホウ素が中性子を吸収するとヘリウムとリチウムが生成し、生成したヘリウムが吸収材ペレットの内部に蓄積することによるものである（図 3.2.7）。吸収材ペレットの膨れは中性子を吸収すればするほど大きくなるので、制御棒を長く使用すればそれだけ吸収材ペレットの膨れは大きくなるということができる。

図 3.2.8 に制御要素の断面図を示す。吸収材ペレットと被覆管の間隙を被

覆管ギャップというが、中性子を吸収することによる吸収材ペレットの膨れを考慮し、被覆管ギャップを適切に設定する必要がある。

ホウ素が中性子を吸収しヘリウムとリチウムが生成する時、同時にエネルギーが発生する。即ち、吸収材ペレットは中性子を吸収して膨れると同時に発熱する。被覆管ギャップが小さいと、制御棒の長期間の使用に従い吸収材ペレットの膨れが大きくなり、ついには被覆管を押し広げようになる。この場合、被覆管に亀裂が発生することも考えられる。この観点では、制御棒の寿命を長くするためには、被覆管ギャップを大きくする方が有利である。しかし、被覆管ギャップを過度に大きくすると、被覆管ギャップの伝熱性が低下するため、発熱する吸収材ペレットの冷却性が悪くなり、吸収材ペレットの温度が過度に高くなることになる。吸収材ペレットの温度が高くないようにするためには、被覆管ギャップは小さいほうが有利である。従って、制御棒の寿命設計では吸収材ペレットの膨れ代と吸収材ペレットの冷却性との両方の観点から被覆管ギャップを適切に設定する必要がある。吸収材ペレットの冷却性を考慮しながら、寿命期間中に吸収材ペレットと被覆管が機械的に接触しないように設計する。(図 3.2.9)

尚、高速炉の場合は、一般に核的寿命(中性子吸収性能の低下)は寿命の制限因子にはならない。

3.2.3 「常陽」の経験

「常陽」MK- (マーク)の制御棒は、「もんじゅ」と同様な形状を有するが、制御棒の照射後試験(使用した制御棒の外観検査や、一部解体して詳細に検査を行うこと)により、一部の制御棒で、制御要素の外径増加が確認された。しかし、この外径増加は吸収材ペレットが膨れる割合と被覆管ギャップから予想される吸収材ペレットと被覆管の接触時期より前に開始しており、また、被覆管の変形は均等ではなく、制御要素の周方向で局所的に変形している傾向があった。また、使用済制御棒の制御要素の径方向断面の金属写真によると、吸収材ペレットには割れが多数発生しており、特に局所的に変形している場所は、被覆管と吸収材ペレットの間に吸収材ペレットの破片が挟まっていた。

このようなことから、制御要素の外径増加は、吸収材ペレット破片の移動により被覆管ギャップが制御棒の寿命期間内にもかかわらず閉塞してしまったことによるものであると判断された(図 3.2.10)。

このことから、吸収材ペレットの破片の移動により、吸収材ペレット破片が被覆管ギャップに詰まり、吸収材ペレットと被覆管とが機械的に接触する時期を早める、即ち、制御棒の寿命に影響を及ぼすことが確認された。

3.2.4 長寿命制御棒の開発

フランスでは早くから、制御棒の寿命に対して吸収材ペレット破片の移動現象をもたらす影響が認識されており、吸収材ペレットにさや管（以下、シュラウド管と言う）を被せ吸収材ペレットの移動を防止するとともに、制御要素内へナトリウムを導入し被覆管ギャップの伝熱性を改善することにより被覆管ギャップを大きくとり、長寿命化を図る設計を行っていた。（図 3.2.11）

「常陽」の経験からは、制御棒の長寿命化に対し、吸収材ペレットにさや管を被せ、制御要素内にナトリウムを導入する型式の制御棒へ改良することが必要であることが結論づけられた。「もんじゅ」においてもプラント運転費削減の観点から制御棒の長寿命化は重要な課題であり、長寿命制御棒の開発に取り組むこととした。

3.2.5 検討課題と開発目標

長寿命制御棒の開発のうち、制御要素内にナトリウムを導入する方策としては図 3.2.12 に示すような 2 つの型式が考えられる。その一つはダブルポラスプラグ型で制御要素の上部端栓と下部端栓に多孔質の焼結金属（ナトリウムを通すフィルター状のもの）を設置し、制御棒集合体を炉心に装荷するためにナトリウム中に入れた時、制御要素の下部からナトリウムを導入する型式である。一方、ダブルベント上部流入管型は制御要素の上部に孔（ベント孔）を 2 箇所設け、制御棒集合体を炉心に装荷するためにナトリウム中に入れた時、その孔を通してナトリウムを制御要素内に導入する方式である。

現在、制御要素内にナトリウムが確実にはいるかどうかが、シュラウド管が吸収材ペレット破片の移動を確実に抑制できるかどうか、使用済制御棒の制御要素内のナトリウムが洗浄できるかどうかについての検討を行っており、現在、「もんじゅ」の制御棒の使用期間が 1 運転サイクル期間となっているところ、4 サイクル運転期間以上に相当する使用期間を目標として開発を行っている。

以上