

伊方3号機 燃料漏えいに係る状況について

1. 事象

通常運転中の伊方発電所3号機の1次冷却材系統（管理区域内）において、令和4年3月18日17時43分、1次冷却材中のよう素131濃度が通常より上昇していることを確認した。その後、監視を強化し、保安規定に定める運転上の制限値を十分下回っていることを確認しながら運転を継続し、令和5年2月23日に運転を停止するまでの間、安全上の問題はなかった。

本事象は、燃料集合体からのよう素131の漏えいによるものと考えられたことから、同日開始した第16回定期検査において、原子炉容器より燃料集合体を取り出し、全数（157体）について漏えい燃料を特定するための調査を実施した結果、燃料集合体2体に漏えいが認められた。

その後、当該燃料集合体2体について、全ての燃料棒を調査した結果、各燃料集合体において、それぞれ漏えい燃料棒1本を特定した。

また、本事象に伴う環境への放射能の影響はなかった。

2. 原因

今回の漏えい燃料集合体2体は、従来から使用しているタイプ（従来A型燃料[※]）であり、原子炉内の燃料の長期使用による燃料棒保持部品（支持板、ばね板）の保持力低下、従来A型と構造等が異なる燃料との隣接などの条件が重なり、燃料棒と支持板およびばね板の接触が離れ、水流によって燃料棒が微小に振動し、保持部品と擦れ合うことにより、燃料被覆管が摩耗し、微小孔（ピンホール）が生じたものと推定した。

※ 従来から使用している17×17A型ステップ2高燃焼度燃料の略。当社では設計改良を施した新しいタイプ（改良A型燃料）への取替を順次進めている。

3. 対策

現在当社が保有する再使用可能な従来A型燃料（40体）については、過去にも漏えいがあったこと、また、累計で3体の燃料で漏えいが発生したことを踏まえ、今後、使用しない。

4. 添付資料

- － 1. 漏えい燃料について
- － 2. 伊方発電所3号機 1次冷却材中のよう素濃度の上昇について

以 上

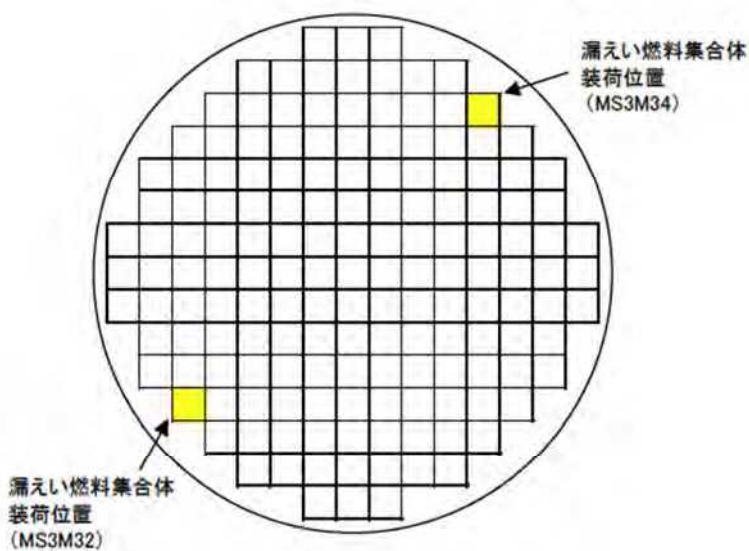


図1 漏えい燃料集合体の装荷位置図

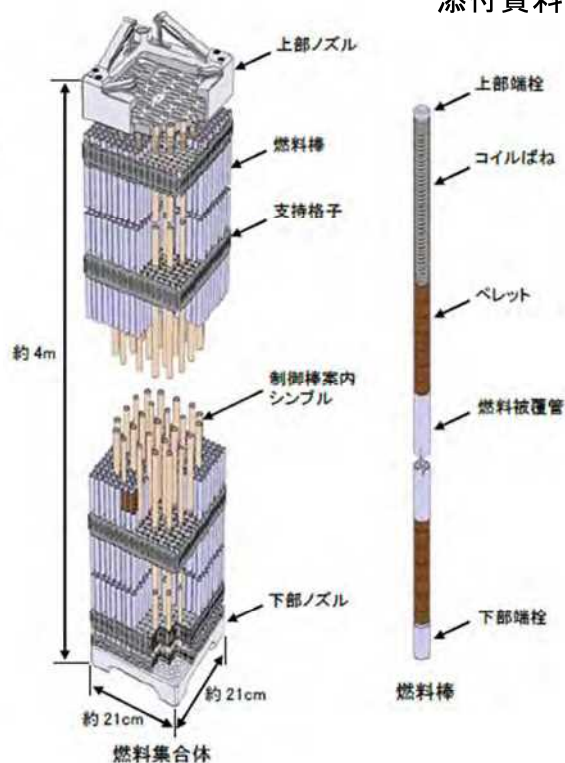


図2 燃料集合体概略図

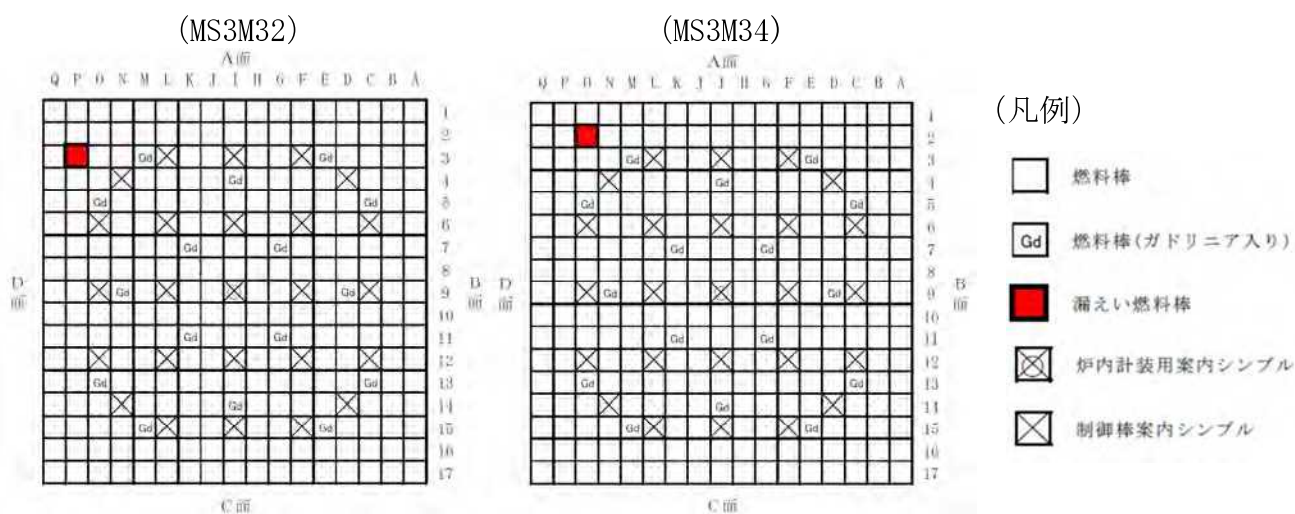


図3 漏えい燃料棒の位置

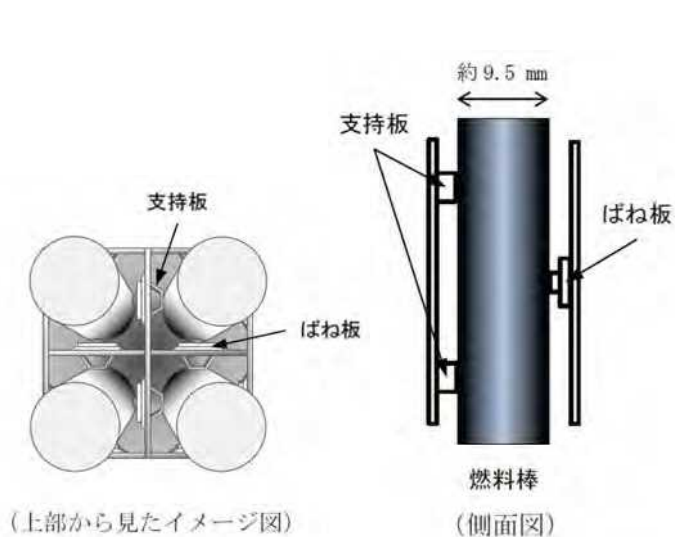


図4 燃料棒保持イメージ図

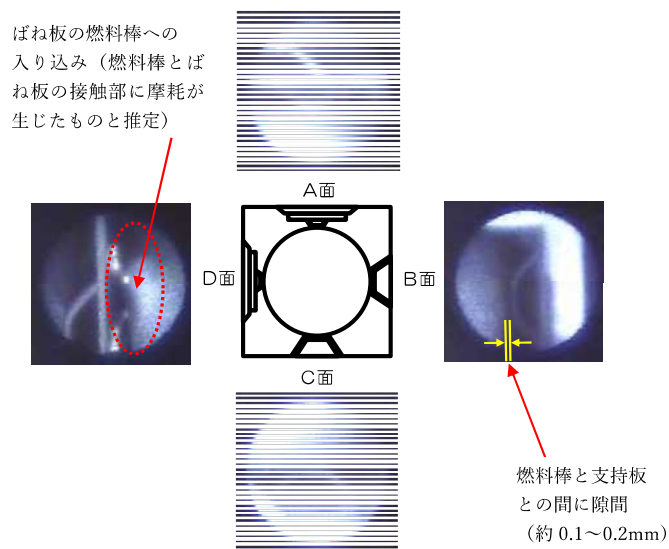


図5 燃料棒保持状況調査結果例 (MS3M32 の場合)

伊方発電所3号機 1次冷却材中のよう素濃度の上昇について

1. 事象発生の日時
令和4年3月18日 17時43分（確認）
2. 事象発生の設備
3号機 原子炉本体 燃料集合体
3. 事象発生時の運転状況
3号機 通常運転中（電気出力923MW）

4. 事象発生の状況

伊方発電所3号機は通常運転中のところ、令和4年3月18日17時43分、定例の1次冷却材中のよう素 ^{131}I 濃度の測定において、測定値が通常値（ 0.085 Bq/cm^3 ）の約3倍（ 0.25 Bq/cm^3 ）に上昇していることを確認したことから、監視を強化し、伊方発電所原子炉施設保安規定^{*2}（以下、「保安規定」という。）に定める運転上の制限値（ $32,000\text{ Bq/cm}^3$ ）を十分下回っていることを確認しながら運転を継続した。

その後、令和4年9月18日に1次冷却材中のよう素 ^{131}I 濃度が 0.39 Bq/cm^3 に上昇したが、第16回定期事業者検査（以下、「定期検査」という。）のために令和5年2月23日に運転を停止するまでの間の最大値は 0.92 Bq/cm^3 であり、保安規定に定める運転上の制限値を十分下回っており、安全上の問題はなかった。

本事象は、燃料集合体からのよう素 ^{131}I の漏えいによるものと考えられることから、原子炉容器からの燃料取出後、燃料集合体全数（157体）について SHIPPING 検査を実施した結果、燃料集合体2体に漏えいが認められ、当該燃料集合体（以下、「漏えい燃料」という。）2体に係る調査を実施した。

また、本事象に伴い、定期検査時の機器開放作業等において燃料集合体から漏えいした放射性物質が大気中に放出されたが、伊方発電所では平常時から適切に管理したうえで放射性物質の放出を行っており、今回の放出量についても保安規定や安全協定の目標値を十分下回っていることから、環境への放射能の影響はなかった。

※1 よう素131

燃料の核分裂に伴い発生する放射性物質の一つ。

※2 原子炉施設保安規定

原子力発電所の運転中および停止中において事業者が実施すべき事項や従業員等への保安教育の実施方針など原子力発電所の保安のために必要な事項を定めているもの。

5. 事象の時系列

令和4年

3月18日

17時43分 1次冷却材中のよう素131濃度が通常値(0.085 Bq/cm³)の約3倍(0.25 Bq/cm³)に上昇していることを確認したため、監視を強化し、運転を継続

9月18日

1次冷却材中のよう素131濃度が0.39 Bq/cm³に上昇していることを確認

令和5年

2月22日

20時20分 負荷降下開始

2月23日

0時20分 発電機解列

2時20分 原子炉停止

3月13日

0時18分 燃料取出開始

3月15日

19時18分 燃料取出終了

3月18日

9時22分 シッピング検査開始

3月23日

11時40分 シッピング検査終了

燃料集合体2体に漏えいを確認

(燃料集合体番号: MS3M32、MS3M34)

6. よう素濃度上昇に係る調査（漏えい燃料の調査）

（1） SHIPPING 検査

1次冷却材中のよう素131濃度の上昇は、燃料集合体からの漏えいによるものと考えられることから、漏えい燃料を特定するため、原子炉容器から取り出した燃料集合体全数（157体）についてSHIPPING検査を実施した。

その結果、2体（燃料集合体番号：MS3M32、MS3M34）に漏えいが認められた。また、その他の燃料集合体（155体）に漏えいは認められなかった。

なお、漏えい燃料2体の燃料タイプは17×17A型ステップ2高燃焼度燃料^{※3}（以下、「従来A型燃料」という。）であり、第11～13、16サイクル^{※4}において使用したガドリニア濃度6wt%のガドリニア入り燃料集合体^{※5}であった。

※3 ステップ2高燃焼度燃料

燃料中の燃えるウラン（ウラン235）の濃縮度を高め、高い燃焼度（1トンのウランがどれくらいの熱量を出したかを示す指標）まで使用できるように開発された燃料であり、伊方発電所3号機においては、第9サイクルより使用している。

※4 サイクル

定期検査から次の定期検査までの運転期間のことであり、第15回定期検査終了後の運転期間が第16サイクルとなる。

※5 ガドリニア入り燃料集合体

中性子をよく吸収するガドリニアをウランに添加することにより、燃料の燃え方を調整できるようにしたガドリニア入り燃料棒と、ウラン燃料棒を組み合わせた燃料集合体。伊方発電所3号機ではガドリニアの濃度が6wt%のものと10wt%のもの2種類を使用している。

（2）外観検査

漏えい燃料2体について、水中テレビカメラを用いて外観を検査した結果、燃料棒等に損傷および変形は認められなかった。

7. 詳細調査

漏えいが発生した原因を究明するため、詳細調査を要因分析図に従い実施した。
(添付資料)

(1) 設計に係る過去の知見等の調査

バッフルジェット^{※6}等の燃料漏えいに係る過去の知見の燃料設計等への反映を調査した結果、いずれも適切に反映されていることを確認した。

※6 バッフルジェット

バッフル板（原子炉容器内で燃料集合体を囲む枠板）の接合部に面する位置に装荷された燃料集合体が、接合部からの1次冷却材のジェット流に直接さらされ燃料棒が振動し、バッフル板と燃料棒または燃料棒同士が擦れて燃料被覆管が摩耗することにより、場合によって漏えいに至る事象。

(2) 製造履歴、取扱履歴および運転履歴の調査

a. 製造履歴調査

漏えい燃料2体の製造履歴を製造時記録等により確認した結果、各々の構成部品毎に定められている検査の結果は全て判定基準を満足しており、異常は認められなかった。

なお、第16サイクル開始時点で使用可能であった、漏えい燃料2体と同時期に製造した従来A型燃料（6体）、漏えい燃料2体と製造時期が異なる従来A型燃料（56体）についても確認した結果、異常は認められなかった。

b. 取扱履歴調査

漏えい燃料2体について、発電所受入後の取扱状況を新燃料受入検査記録、新燃料装荷前検査記録、燃料集合体外観検査記録および燃料装荷・取出時の荷重記録により確認した結果、異常は認められなかった。

c. 運転履歴調査

漏えい燃料2体が装荷されていた第11～13、16サイクルの出力履歴および1次冷却材水質履歴について確認した結果、全て保安規定に定める運転上の制限値または基準値を満足しており、異常は認められなかった。

(3) 超音波、ファイバースコープによる調査

a. 超音波調査（漏えい燃料棒の特定）

漏えい燃料2体について、漏えい燃料棒を特定するため、燃料集合体内の全ての燃料棒（燃料集合体1体あたり264本）に対して超音波調査を実施した結果、各漏えい燃料において、それぞれ漏えい燃料棒1本を特定した。当該燃料棒の位置は、燃料集合体の外周に近いコーナー部であった。

燃料集合体番号	漏えい燃料棒	漏えい燃料棒位置
MS 3M3 2	1本：ウラン燃料棒	P-03
MS 3M3 4	1本：ウラン燃料棒	O-02

b. ファイバースコープ調査（特定された漏えい燃料棒の外観確認）

漏えい燃料棒2本について、燃料棒表面および支持格子部の異常の有無を確認するため、漏えい燃料棒の全長（支持格子内部含む）に亘り、ファイバースコープによる調査を実施した結果、漏えい燃料棒2本とも、燃料棒表面および第2～9支持格子部において異常は確認されなかったが、第1支持格子^{※7}内において支持板やばね板と燃料棒の間に隙間や入り込み（以下、「隙間等」という。）が認められた。

また、漏えい燃料2体の中で、それぞれ漏えいが認められた燃料棒1本以外の全ての燃料棒について、第1支持格子内をファイバースコープにより調査した結果、漏えい燃料棒以外に隙間等の異常は認められなかった。

※7 第1支持格子

燃料集合体は9個の支持格子で燃料棒を支持しており、そのうち最下部を支持している支持格子。

(4) 伊方発電所における過去の漏えい事例の調査

伊方発電所3号機における過去の漏えい事例を調査した結果、第12回定期検査において、従来A型燃料でガドリニア濃度10wt%のガドリニア入り燃料集合体1体に漏えい（以下、「前回の漏えい燃料」という。）が発生しており、今回の漏えい燃料2体と同様、第1支持格子内において隙間等が認められた。また、前回の漏えい燃料の漏えい発生メカニズムに対する検討結果は、以下のとおりであった。

- ・第1支持格子内の支持板やばね板と燃料棒の接触が一部離れる事象が発生した場合には、1次冷却材の横流れによる燃料棒の微小な振動により、燃料被覆管の摩耗が発生する可能性が考えられる。

なお、伊方発電所1, 2号機においても、過去に8体の漏えいが発生しているが、いずれも燃料タイプは14×14型燃料集合体であり、燃料集合体の設計、構造等が異なることから、今回の漏えいと類似性はない。

(5) 従来A型燃料の漏えい要因調査

今回の漏えい燃料2体および前回の漏えい燃料がいずれも従来A型燃料であることを踏まえ、従来A型燃料の漏えい要因調査を実施した。

a. 従来A型燃料に係る知見

従来A型燃料については、過去に起こった第1支持格子における燃料棒の微小な振動に伴う燃料被覆管の摩耗による漏えい事例（他プラントを含む）を踏まえた知見として、以下のことが分かっている。（以下、「従来A型燃料に係る知見」という。）

- ・下部ノズルの構造により、第1支持格子内において1次冷却材の流れによる燃料棒の振動が大きくなる可能性のある位置があること
- ・下部ノズルや第1支持格子等の構造により、圧損^{※8}や構造の異なる燃料との隣接に伴い更に振動が大きくなる可能性があること
- ・燃焼が進むことにより第1支持格子内の支持板やばね板と燃料棒の接触が一部離れる事象が発生しやすくなること、および燃料被覆管の摩耗がある程度進行する可能性があること

なお、ガドリニア入り燃料棒については、第1支持格子内の支持板やばね板と燃料棒の接触が一部離れる事象の発生に加え、ウラン燃料棒と比較して外径減少が大きいことにより、第2支持格子等で僅かに隙間が発生することで燃料棒の振動が大きくなる可能性があること

※8 圧損

流体が流路を流れる際の圧力損失のこと。

b. 従来A型燃料の漏えい対策の実施状況

当社は、従来A型燃料の漏えい対策として、従来A型燃料に係る知見を踏まえ、下部ノズルや第1支持格子等の構造を改良したA型燃料（以下、「改良A型燃料」という。）を採用している。現在、従来A型燃料から改良A型燃料への置き換えを順次進めているが、これまでの使用において、改良A型燃料の漏えいは発生していない。

また、第13サイクル以降、従来A型燃料の使用にあたっては、

- ・従来A型燃料に係る知見を踏まえた炉心配置上の配慮
- ・原子炉への装荷前のファイバースコープによる第1支持格子内隙間等の確認（以下、「隙間等の確認」という。）を抜き取りで実施

といった対策（以下、「運用上の対策」という。）を講じることで、従来A型燃料の漏えい発生の可能性の低減に努めてきた。

こうした運用上の対策を実施した結果、第13～15サイクルで従来A型燃料の漏えいは発生しなかったが、第16サイクルにおいて2体の漏えいが発生したことから、漏えいにつながる可能性のある要因について、c. 共通要因調査を実施した。

c. 共通要因調査

今回確認された漏えい燃料2体および前回の漏えい燃料を比較し、共通要因の有無について改めて調査したところ、以下の共通要因が認められた。

- ① ガドリニア入り燃料集合体で発生したこと
- ② 燃焼が進んだ高燃焼度域で発生したこと（4サイクル使用）
- ③ 4サイクル目で炉心最外周に装荷されていたこと
- ④ B型燃料（圧損や構造の異なる燃料）1体と隣接していたこと

これらのうち、共通要因①については、ガドリニア入り燃料集合体であることは共通しているものの、以下のことから、漏えいにつながる共通要因となる可能性は低いと考えられる。

- ・ガドリニア入り燃料棒とウラン燃料棒の双方で漏えいが発生していること
- ・過去に他プラントでは、ウラン燃料集合体でも今回の漏えいと同様に燃料集合体の外周に近いコーナー部で漏えいが発生しており、ガドリニア入り燃料集合体特有の事象ではないこと

(6) 追加調査

(5) 従来A型燃料の漏えい要因調査で得られた共通要因②～④について、漏えいにつながる可能性を確認するため、追加調査を実施した。

a. 高燃焼度域における使用実績調査

これまで伊方発電所3号機において使用した従来A型燃料のうち、3サイクル以上使用し、燃焼の進んだ150体の実績について調査した結果、共通要因②～④全てに該当するものが23体あり、そのうち3体（今回の漏えい燃料2体および前回の漏えい燃料1体）で漏えいが確認されている。なお、共通要因②～④のうち、2つ、または1つに該当するものは111体あったが、いずれも漏えいは確認されていない。

b. 同じ使用履歴の燃料集合体に対するファイバースコープ調査

更に、共通要因②～④全てに該当した場合の漏えいにつながる可能性を詳細に確認するため、第16サイクルで装荷されており、漏えい燃料2体と製造時期および使用履歴が同じで共通要因②～④全てに該当する燃料集合体全数（6体）を追加調査の対象として選定し、従来A型燃料に係る知見から燃料棒の振動が大きくなる可能性がある」と評価されている位置をファイバースコープにより確認した結果、漏えい燃料棒に見られたような隙間等の異常は認められなかった。

c. まとめ

使用実績調査の結果、共通要因②～④全てに該当する23体のうち漏えいが確認されたのが3体であること、また、ファイバースコープ調査を実施した6体には漏えい燃料棒に見られたような隙間等の異常は認められなかったことから、共通要因②～④全てに該当した場合でも、必ずしも漏えいにつながるものではないことが分かった。

また、共通要因②～④のいずれかの要因が該当しない場合では漏えいが確認されていないことから、共通要因②～④の重畳を避けることで、漏えいの発生を完全に防ぐことは難しいものの、漏えいの発生を低減できる可能性があると考えられる。

(7) これまでの従来A型燃料の運用上の対策の有効性確認

従来A型燃料の運用上の対策としては、これまで共通要因②～④の重畳を避けるような配慮はしていなかった。

また、今回の漏えい燃料2体は、漏えいが発生した第16サイクルの原子炉への装荷前（第15回定期検査）において隙間等の確認の対象とはなっていなかった。

以上のことから、共通要因②～④の重畳を避けるような炉心配置上の配慮や漏えい燃料2体を対象に原子炉装荷前の隙間等の確認を実施していれば、漏えいの発生を完全に防ぐことは難しいものの、今回の漏えい燃料2体の発生を防ぐことができた可能性があると考えられる。

(8) 他の燃料タイプの調査

伊方発電所3号機では他の燃料タイプとして、改良A型燃料、B型燃料、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料（以下、「MOX燃料」という。）を使用している。

このうち、改良A型燃料は、従来A型燃料に係る知見を踏まえ、下部ノズルや第1支持格子等の構造を改良した燃料集合体であり問題ない。

また、B型燃料、MOX燃料は、従来A型燃料と下部ノズルの構造が異なり、第1支持格子内における1次冷却材の流れによる燃料棒の振動が起こる可能性は小さいことから、問題はない。

8. 推定原因

今回の漏えい燃料2体は従来A型燃料であり、支持格子の燃料棒保持力が低下する高燃焼度域において、炉心最外周で使用したことや従来A型燃料とは圧損や構造の異なる燃料と隣接するなどの条件が重畳したことで、燃料棒と支持板およびばね板の接触が一部離れ、1次冷却材の流れにより燃料棒の微小な振動が発生し、燃料被覆管の摩耗によって微小孔（ピンホール）が生じたものであると推定した。

また、従来A型燃料に対する運用上の対策は、漏えい発生の可能性を低減させることを目的に、過去の漏えい事例の知見を踏まえて策定したものであり、不確実性があることから、漏えい発生を防ぐことはできなかった。

9. 対策

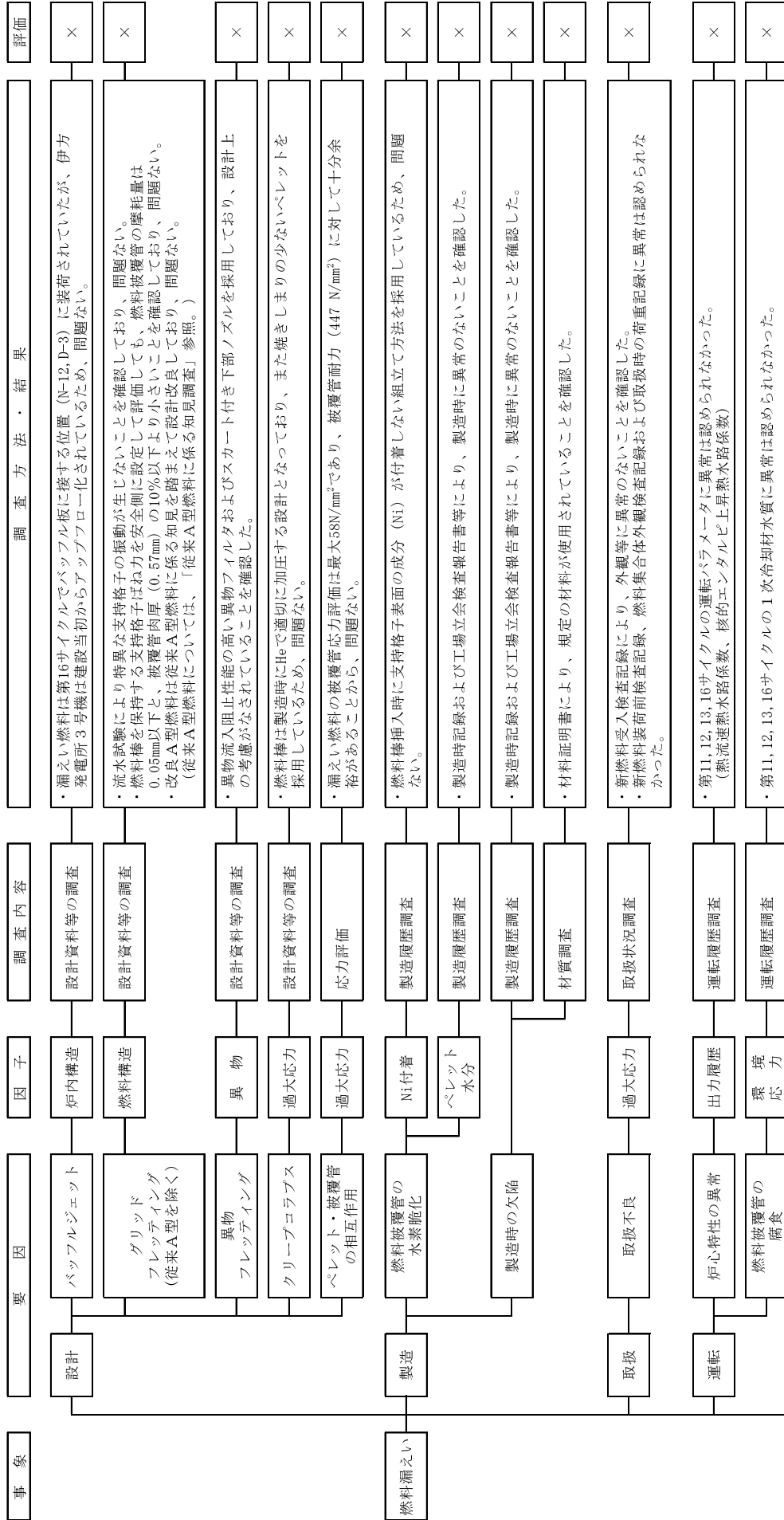
現在当社が保有する再使用可能な従来A型燃料（40体）については、更なる対策を講じて使用することも考えられるが、従来A型燃料の漏えいが再度発生したこと、また合計3体の漏えいが発生したことを踏まえ、伊方発電所3号機での漏えい発生を可能な限り低減させるため、今後、使用しないこととする。

また、当社は、従来A型燃料の漏えい対策として設計を改良した改良A型燃料を既に採用しており、引き続き、改良A型燃料を使用する。

なお、漏えい燃料の保管中に使用済燃料ピット水へ漏れ出る放射性物質はごくわずかと考えられ、また、使用済燃料ピット水を適宜浄化するとともに定期的に放射能を測定しており、適切に管理できることから、漏えい燃料2体は、他の使用済燃料と同様に、再処理施設へ搬出されるまでの間、使用済燃料ピットに保管する。

以 上

燃料漏えいに係る要因分析図 (1 / 2)



【評価】○：可能性あり △：可能性を否定できない ×：可能性なし

※次項へ

燃料漏えいに係る要因分析図 (2 / 2)

事象	要因	因子	調査内容	調査方法・結果	評価
※前項より その他			外観調査	<ul style="list-style-type: none"> ・ファイバースコープ調査において、第1支持格子内の支持板やばね板と燃料棒の間に隙間や入り込みが認められたことから、第1支持格子内の支持板やばね板と燃料棒の間に燃料棒の微小な振動による燃料被覆管の摩耗が発生する可能性があると考えられる。 	△
			従来A型燃料に係る知見調査	<p>「高燃焼度17行17列型燃料集合体を使用するに当たったのの評価結果の国への報告について」(原燃発第10-147号 平成22年6月11日 四国電力) から得た知見は以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・過去に他プラントで連続して発生した第1支持格子における燃料棒の微小な振動に伴う燃料被覆管の摩耗による漏えいは、下記4つの要因の重量により燃料棒の振動が大きくなり、燃料被覆管の摩耗が進展して微小孔が生じたものと推定されている。 <ol style="list-style-type: none"> (1)燃料集合体下部構造により、燃料集合体の第1支持格子内のコーナ一部(16箇所)において、1次冷却材の流れが大きくなる (2)圧損や構造の異なる燃料との隣接により、燃料集合体下部での1次冷却材の流れが大きくなる (3)炉心中央領域の1次冷却材の流れが大きい位置への装荷 (4)燃焼が進むことにより第1支持格子内の支持板やばね板と燃料棒の接触が一部離れる事象が発生しやすくなること、および燃料被覆管の摩耗があること ・なお、ガドリニア入り燃料棒については、第1支持格子内の支持板やばね板と燃料棒の接触が一部離れる事象が発生に加え、ウラン燃料棒と比較して外径減少が大ききことにより、第2支持格子等で僅かに隙間が発生することで燃料棒の振動が大きくなる可能性があること ・伊方発電所3号機を含む3ルーブプラントにおいては、(1)、(2)、(4)の要因は4ルーブプラントと共通しているものの、(3)に対応する1次冷却材の流れが4ルーブプラントに比べて小さいいため、同様のメカニズムで漏えいが発生する可能性は低いと評価している。 	△
			共通要因調査	<ul style="list-style-type: none"> ・ガドリニア入り燃料集合体で漏えいが発生したことが共通しているが、 <ul style="list-style-type: none"> ーガドリニア入り燃料棒とウラン燃料棒双方に漏えいが発生している ー過去に他プラントでは、ウラン燃料集合体でも今回の漏えいと同様に燃料集合体の外周に近いコーナ一部で漏えいが発生しており、ガドリニア入り燃料集合体特有の事象ではないことから、漏えいにつながる共通要因となる可能性は低いと考えられる。 ・漏えいが高燃焼領域(4サイクル使用)の時点で発生していることが共通している。 ・4サイクル目で炉心最外周に装荷されていたことが共通している。 ・B型燃料1体と隣接していることが共通している。 	×
				△	△
				△	△
				△	△

【評価】 ○：可能性あり △：可能性を否定できない ×：可能性なし