

平成22年4月28日
原子力安全対策課
(22-14)
<13時記者発表>

大飯発電所1号機の燃料集合体漏えいに係る原因と対策

このことについて、関西電力株式会社から下記のとおり連絡を受けた。

記

大飯発電所1号機（加圧水型軽水炉；定格電気出力117.5万kW）は、定格熱出力一定運転中の平成22年2月1日、1次冷却材中のヨウ素（I-131）濃度および希ガス濃度（Xe-133）が、前回の測定値を上回っていたため、1次冷却材中の放射能濃度の監視強化していたが、漏えいが疑われる燃料集合体（以下、「燃料」という。）を特定するため、2月6日1時に発電を停止し、同日1時47分に原子炉を手動停止した。なお、この期間中、一次冷却材中のヨウ素濃度は、保安規定で定めている運転上の制限値（63,000Bq/cm³）に比べて十分低い値であった。

停止後、原子炉に装荷されていた燃料（193体）を全て取り出し、 SHIPPING 検査^{*1}を実施した結果、2体の燃料（KCHC51、KCHC55）で漏えいが確認された。

*1：燃料集合体から漏れ出てくる核分裂生成物の量を確認し、漏えい燃料集合体かどうか判断する。

[平成22年2月1、5日、3月23日 記者発表済]

1. 漏えい燃料の調査結果等

- ・ SHIPPING 検査の結果、上記2体以外に漏えいは確認されなかった。
- ・ 漏えいが認められた燃料2体について、水中カメラによる外観目視検査を実施したところ、特に異常は認められなかった。
- ・ 漏えいが認められた燃料2体は、同一メーカーで、同一時期に製造された燃料（高燃焼度17×17A型燃料）であった。
- ・ この燃料2体の燃料棒全数（264本/体）について、超音波による調査^{*2}を実施した結果、漏えいしている燃料棒がそれぞれ1本確認された。
- ・ 漏えいした燃料棒2本について、ファイバースコープにて点検したところ、KCHC51の燃料棒（1本）では、燃料棒を保持している第9支持格子^{*3}内部で、燃料棒を支持する支持板部に隙間が、またバネ板が棒側に入り込んでいるのが認められた。KCHC55の燃料棒（1本）では、異常等は認められなかった。
- ・ 漏えい燃料（2体）の他の燃料棒についても、第9支持格子内部をファイバースコープにより点検したところ、KCHC55の燃料棒1本で、支持板部での隙間やバネ板の入り込みが認められた。

*2：漏えいした燃料棒に水が入ると、燃料被覆管を伝播する超音波が減衰することで特定する。

*3：支持格子は燃料棒1本ごとに保持するための支持板とバネ板で構成されている。

2. 最近の大飯発電所で発生している燃料漏えい事象を踏まえた原因調査

大飯発電所（4ループタイプ）では、平成20年大飯4号機で1体、平成21年大飯2号機で2体、今回大飯1号機で2体の計5体（漏えいが判明している燃料棒では7本）で漏えいが発生している。漏えいした燃料は、平成16年以降採用している高燃焼度燃料（17×17A型最高燃焼度55,000MWd/t）で、すべてが同一メーカーの燃料であったことから、漏えいしていた燃料の特徴等を整理し、漏えい発生に至った要因を推定した。

（1）漏えい燃料を含む製造等の履歴調査

- ・大飯1号機で今回漏えいした燃料と同じメーカーで同時期に製造された燃料は12体（漏えい2体を含む）使用しており、これらの製造データや原子炉への装荷履歴・取扱等を調査した結果、特に問題は認められなかった。
- ・大飯2号機および4号機で漏えいした燃料と同じメーカーで同時期に製造された燃料（80体）の製造データを調査した結果、特に問題はなかった。
- ・大飯発電所全体では、17×17A型高燃焼燃料をこれまでに448体使用しており、そのうち、燃焼の進んだ燃料の使用履歴についても調査を行った結果、特に問題は認められなかったが、漏えいした燃料については、次の特徴が認められた。

（2）漏えい燃料に見られた共通的な特徴

漏えいした燃料（5体）について調査した結果、以下の特徴が認められた。

- ① 漏えいが発生した時期は、4サイクル^{*5}運転時のものが3体、3サイクルおよび2サイクル運転時のものが各1体あった。これを燃料の燃焼度で整理すると、ウラン燃料では約40,000MWd/t以上で、ガドリニア入りウラン燃料^{*6}では約37,000MWd/t以上で漏えいが発生していた。

*5：サイクルとは、運転期間のこと。

*6：ガドリニア入りウラン燃料とは、燃料の核分裂をコントロールする役目として、中性子吸収効果のあるガドリニアをウランに混合した燃料。

- ② 漏えいが発生した際の燃料の装荷位置（原子炉内での配置）を見ると、炉心の中心に近い位置（中心から4列目以内）に装荷されていた。
- ③ 漏えいしていた燃料棒は、燃料の外周に近いコーナー部であった。
- ④ 漏えいしていた燃料棒（7本）のうち4本^{*7}では、第9支持格子部で支持板の隙間やバネ板と燃料棒との間で隙間や入り込みが認められた。

*7：大飯発電所4号機の漏えい燃料集合体については現在照射後試験を実施しているが、発電所での外観検査では明確な隙間や入り込みは認められなかったが、照射後試験で燃料棒引抜時に引っ掛かりが確認されており、わずかな入り込み等が発生しているものと推定されている。

また、過去の漏えい調査の事例調査したところ、支持格子部に隙間が認められた場合の漏えい原因については、1次冷却材の流れによる微小な振動により、燃料棒と支持板またはばね板がこすれることで燃料棒が摩耗して微小孔（ピンホール）が発生するフレッティング摩耗であった。

以上のことから、今回燃料棒で漏えいが発生した要因として、同一型式の燃料のコーナー部の燃料棒の第9支持格子部におけるフレッティング摩耗が考えられる。

(3) 燃料棒漏えいの発生要因の推定

今回の漏えいは、第9支持格子におけるフレッティング摩耗が考えられることから、燃料内の1次冷却材の流れについて流動解析等を行い、漏えい発生に至った要因の推定を行った。

①燃料の種類による相違点

大飯発電所では従来使用していた燃料（最高燃焼度48,000MWd/t）に加え、平成16年から高燃焼度燃料（最高燃焼度55,000MWd/t）を使用している。燃料製造メーカーは2社あり、それぞれ独自の設計（型式）であり、原子炉内ではこれら2社の型式の燃料が共存して使用されている。

- ・漏えいした燃料と他社の燃料とでは、特に、第9支持格子の位置にズレ（約1cm：一方の下端と他方の上端との隙間）があった。
- ・燃料下部にある下部ノズルの形状（流路孔）にも違いがあることから、下部ノズルを流れる流速について評価したところ、漏えいした燃料の流速が大きい（約7%）ことがわかった。

②原子炉内の一次冷却材の流れ

- ・燃料内を流れる一次冷却材は、下部炉心支持板の流路孔を通過した後、燃料を保持している下部炉心板の流路孔から燃料の下部ノズルを通過して燃料棒の間を上昇流として流れる。
- ・下部炉心支持板にある流路孔は、中央部のみ大きくなっているため、この影響について流動解析で評価したところ、平均的な流速に比べて、炉心中央部を流れる流速は約10%、炉心中心を流れる流速は約20%速いことが確認された。

③燃料内の流れ（隣接燃料による影響）

- ・下部炉心板の流路孔から燃料下部ノズルに入った冷却材は、その殆どが燃料棒に沿って上向き（軸方向）に流れるが、一部は燃料棒を横切る方向（横方向：隣接燃料側）に流れる。
- ・この横流れは、同一型式の燃料が隣接する場合は小さいが、型式が異なる燃料が周囲にある場合は大きくなる可能性があるため流動解析で評価したところ、漏えい燃料が型式の異なる燃料で囲まれた場合は、第9支持格子のコーナー部で、最大約1.8倍の横流れが生じている可能性があることがわかった。

④摩耗の発生

- ・これまでの知見から、フレッティング摩耗は振動の大きさと振動している時間の長さに応じて大きくなることがわかっている。
- ・上記①から③の状況から、漏えいした燃料棒では、その周りの1次冷却材の上昇流や横流れが大きくなっていたことから、振動が大きくなって

いた可能性がある。

- ・また、漏えいは燃焼の進んだ燃料で発生していることから、振動が大きくなった状態が継続したため、摩耗が進展し、漏えいに至ったものと考えられる。

3. 推定原因

これまでに実施した原因調査の結果から、第9支持格子内での燃料棒と支持板またはばね板の接触する面で、燃料の種類による相違点、原子炉内の1次冷却材の流れ、燃料集合体内の流れ（隣接燃料による影響）などの影響が重なったことにより、1次冷却材の流れによる燃料棒の振動が大きくなり、その状態で燃焼が進んだことから、摩耗が進展して微小孔（ピンホール）が生じて、漏えいしたものと推定された。

4. 対策

(1) 対策の検討

これまでに実施した原因調査の結果から、対策の検討を行った。

①燃料の種類による相違点

燃料の種類による相違点による影響は、設計の違いに起因していることから、漏えいした燃料の設計を変更することにより、その影響を緩和することができると考えられる。

②原子炉内の1次冷却材の流れ

原子炉内の1次冷却材の流れによる影響は、下部炉心支持板の構造に起因しているが、この構造を変更することは困難である。ただし、中心位置においては流速が特に速いことから、その位置に漏えい燃料と同じ型式の燃料を装荷することを避けることにより、漏えい発生の可能性を低減させることができると考えられる。

③燃料集合体内の流れ（隣接燃料による影響）

燃料集合体内の流れによる影響は、型式の違う燃料が隣接することに起因していることから、漏えいした燃料の設計を変更することにより、その影響を緩和することができると考えられる。

④摩耗の発生

摩耗は振動が大きくなった状態が継続することにより進展するため、振動している時間を抑制することにより、進展を抑制することができる。このため、燃焼度を抑制することにより振動時間を抑制し、漏えい発生の可能性を低減させることができると考えられる。

(2) 対策

①今回の漏えい燃料の調査結果に基づく対策

- ・漏えいが確認された燃料集合体2体については取り出し、今後使用しない。
- ・今回漏えいした2体の燃料と同じ型式で同時期に製造された燃料について

は、現在実施中の照射後試験等を踏まえた漏えい原因が判明するまでは再使用しない。

②最近の燃料漏えい事象を踏まえた追加対策

- ・燃料集合体漏えい発生の可能性を低減させるために、漏えい原因が判明するまでは、漏えい燃料集合体と同じ型式の燃料について、
 - 1) これまでに漏えいが発生した燃焼度以上にならないよう燃焼度を管理する。(ウラン燃料は38,000MWd/t未満、ガドリニア入り燃料は36,000MWd/t未満)
 - 2) 炉心中心には装荷しない
- こととし、運転中は、1次冷却材中の放射能濃度の監視を強化する。
- ・今後、漏えい発生に対する1次冷却材の流れの影響を緩和するために、燃料設計の一部変更について検討を行う。

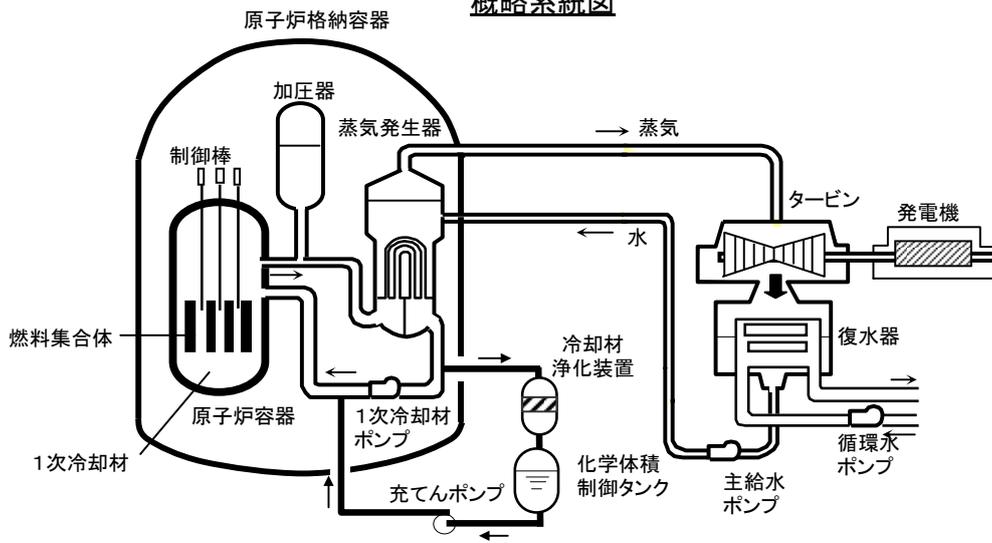
大飯発電所1号機については、漏えい燃料集合体2体を含む同一メーカー、同一時期に製造された燃料集合体8体と、燃焼度を管理するために取り替える燃料集合体28体の合計36体について取り替えた後、5月中旬に原子炉を起動する予定である。

また、現在定格熱出力一定運転中の大飯発電所3号機については、上記の対策を踏まえ、4月29日に原子炉を停止して、燃料取替を行い、6月上旬に原子炉を再起動する予定である。

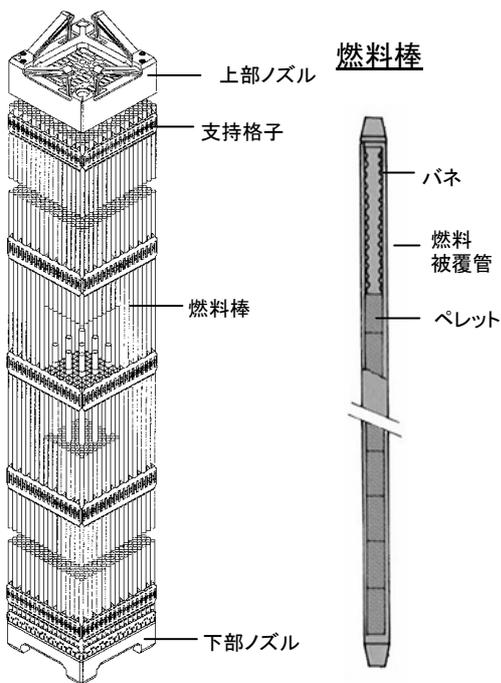
問い合わせ先(担当：内園) 内線2353・直通0776(20)0314
--

大飯発電所1号機の燃料集合体漏えいに係る原因と対策について

概略系統図

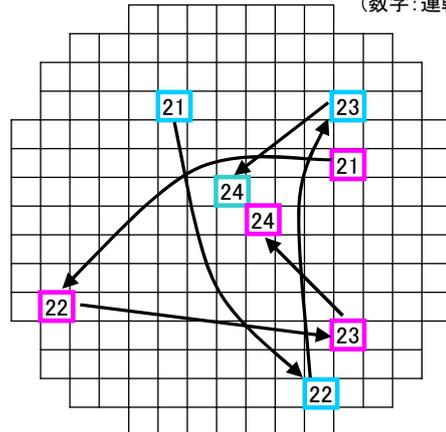


燃料集合体概略図



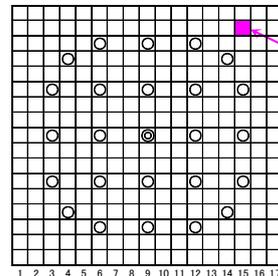
漏えい燃料集合体の装荷位置

漏えい燃料集合体が原子炉内で装荷されていた位置
 □ : 漏えい燃料集合体 KCHC51
 □ : 漏えい燃料集合体 KCHC55
 (数字: 運転サイクル数)



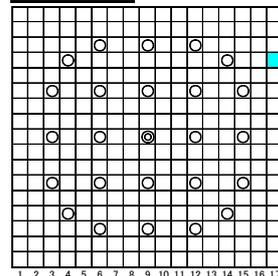
超音波による漏えい燃料棒の調査結果

KCHC51



- B-15 : 漏えい燃料棒
- : 燃料棒
- : 制御棒案内管
- ◎ : 炉内計装用案内管

KCHC55



- D-17 : 漏えい燃料棒
- : 燃料棒
- : 制御棒案内管
- ◎ : 炉内計装用案内管

【燃料集合体の仕様】

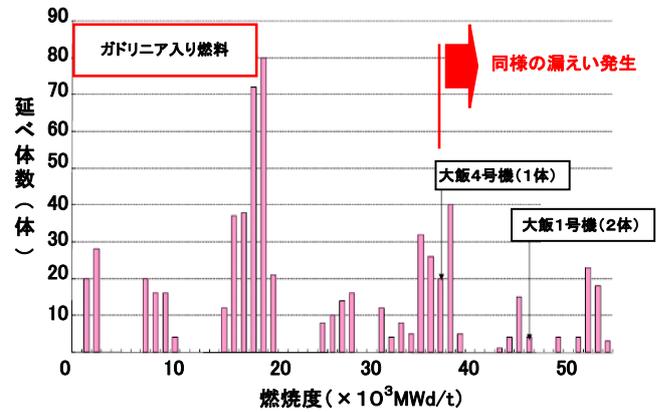
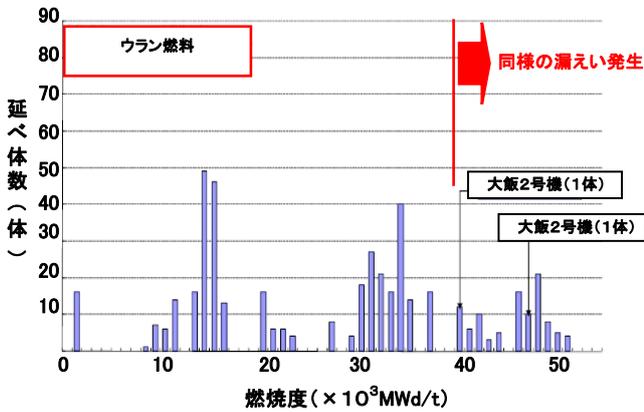
燃料タイプ: 17×17型
 全長: 約4m
 全幅: 約20cm
 支持格子数: 9個
 最高燃焼度: 55,000MWd/tの燃料
 燃料被覆管材質: ジルコニウム基合金
 燃料被覆管外径: 約10mm
 燃料被覆管肉厚: 約0.6mm
 燃料棒の本数: 264本

最近発生した漏えい燃料共通の特徴

最近の大飯発電所で発生した高燃焼度17×17A型漏えい燃料の共通的特徴を調査した。

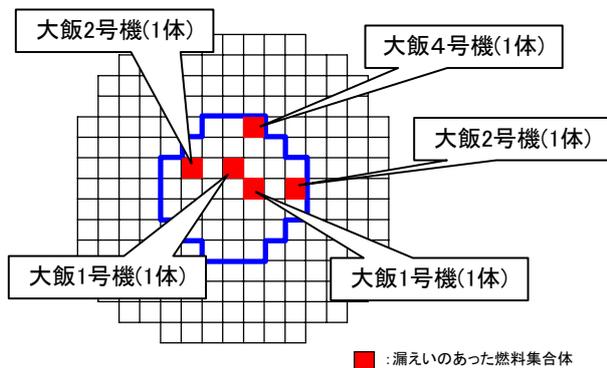
①漏えい燃料集合体の燃焼度

・漏えいの発生した燃料は燃焼が進んだ燃料で認められている。
(ウラン燃料は約40,000MWd/t以上、ガドリニア入り燃料は約37,000MWd/t以上)



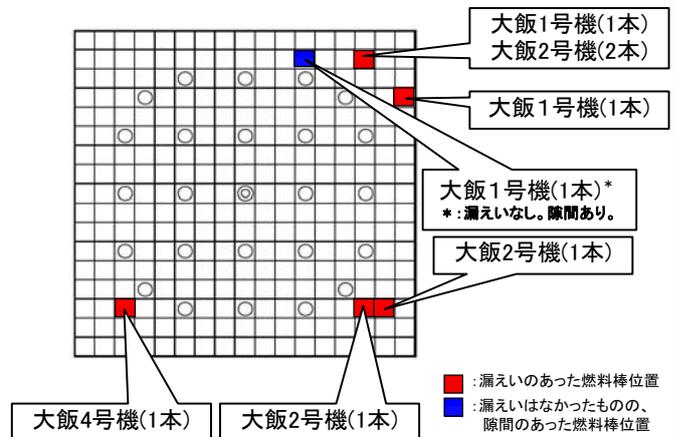
②原子炉内の燃料集合体の漏えい配置

・炉心中心から4列目までに装荷された際に漏えいが発生している。



③燃料集合体内の漏えい燃料棒の位置

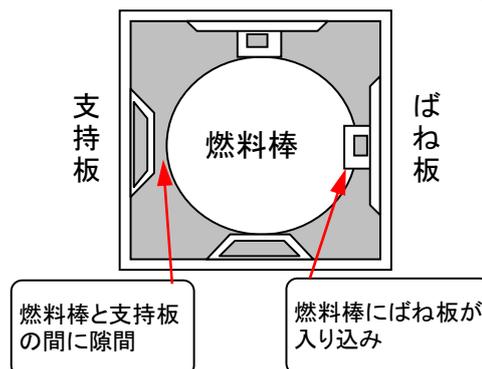
・第9支持格子のコーナー部で漏えいが発生している。



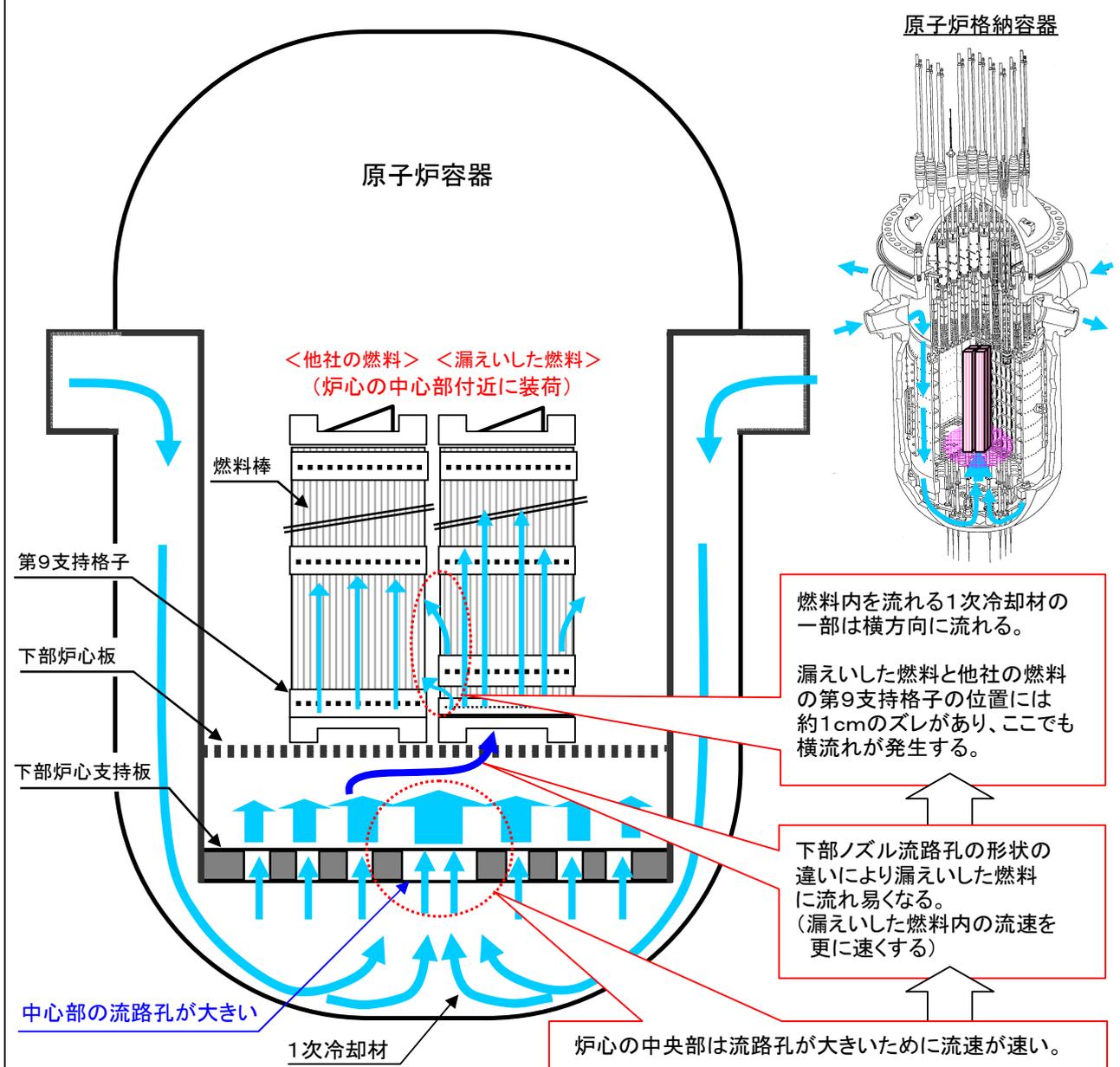
④第9支持格子での隙間や入り込み

・漏えい燃料棒7本のうち4本で、第9支持格子内部で燃料棒と支持板やばね板との間で隙間や入り込みを確認している。

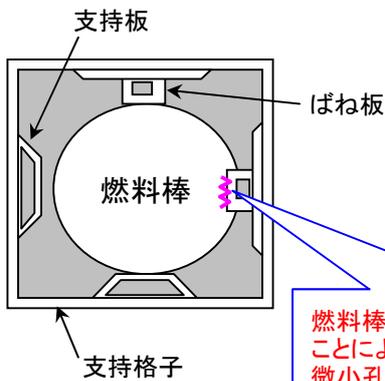
(KCHC51の漏えい燃料棒(B-15)の例)



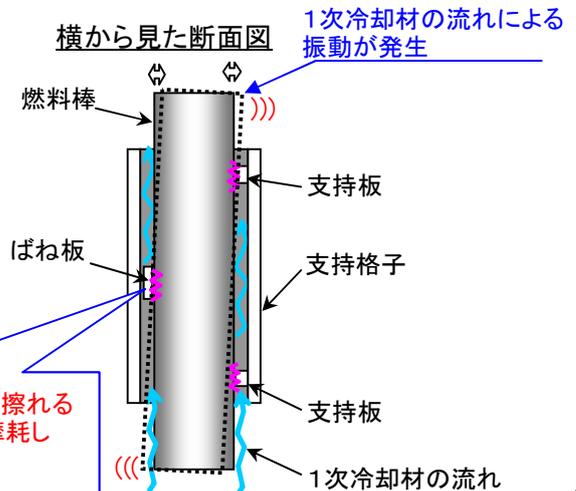
燃料棒から漏えいが発生した推定原因



【第9支持格子内部】 上から見た断面図



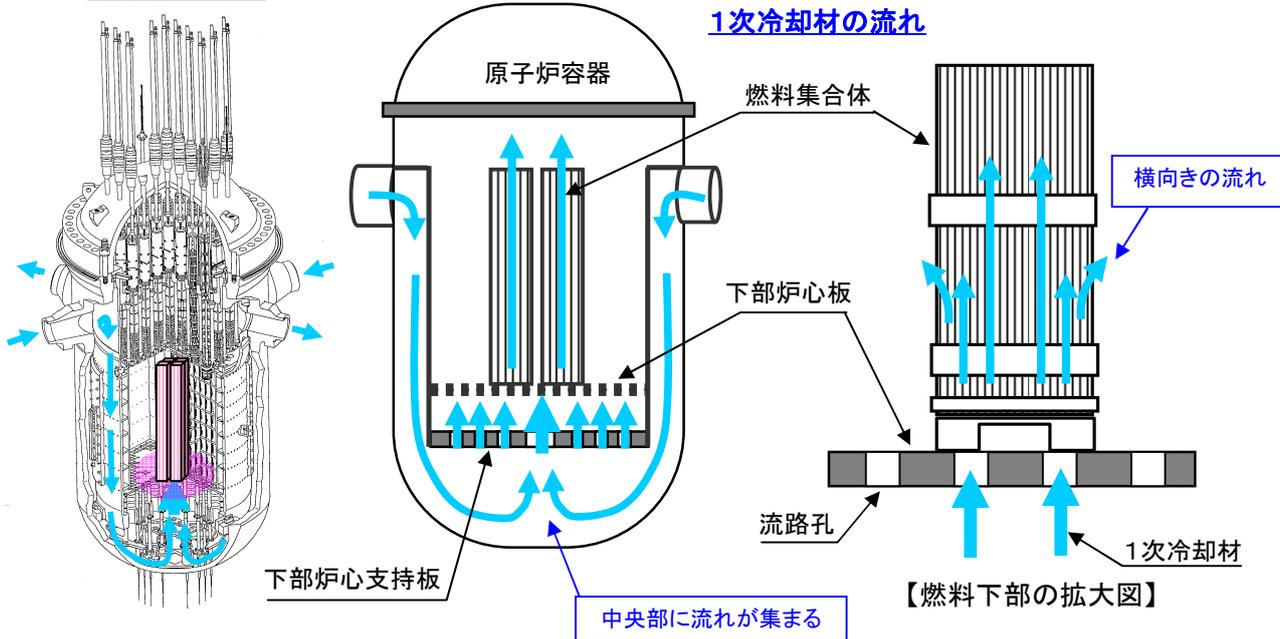
燃料棒と支持板またはばね板が擦れることにより、燃料棒の接触部が摩耗し微小孔が発生



燃料棒から漏えいが発生した推定原因

共通的な特徴をもとに流動解析などを行い、漏えい発生に影響を与える要因の推定を行う

原子炉格納容器

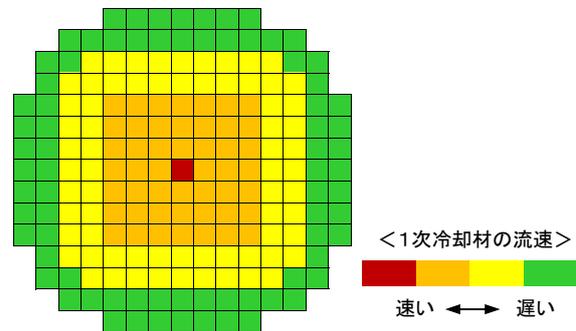
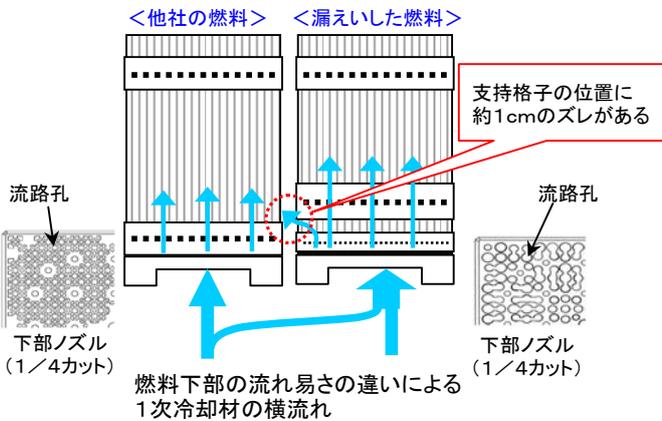


要因-① : 燃料の種類による相違点

・構造の違う燃料が隣接すると、片方の燃料を流れる1次冷却材の流速が速い。

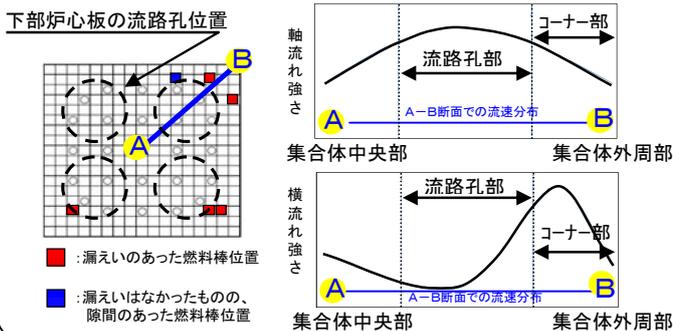
要因-② : 原子炉内の1次冷却材の流れ

・炉心中央部を流れる1次冷却材は平均的な流速に比べて速い。



要因-③ : 燃料集合体内の流れ(隣接燃料による影響)

・型式の異なる燃料が周辺にある場合には、集合体コーナー部の横流れが強くなる。



要因-④ : 摩耗の発生

・過去の漏えい事象でも1次冷却材の流れによる振動により燃料棒のフレット磨耗が確認されている。

