

改訂資料1

「柏崎刈羽原子力発電所第6号機及び第7号機 9×9燃料（A型）異物フィルタの変更について」へのコメント回答について （一部改訂）

平成24年8月  
原子力安全・保安院

注)第6回燃料意見聴取会(平成24年8月8日開催)で委員から頂いたコメントを踏まえ、資料を平成24年9月7日に一部改訂しました。

第5回燃料意見聴取会 「9×9燃料(A型)異物フィルタの変更について」  
コメント回答

No	コメント	回答ページ
1	Defender に到達すると想定される異物を整理するとともに、それによる閉塞を設計上どの程度考慮するのか整理すること【更田委員、三島委員、山口委員】	1 頁目参照
2	燃料体に装着されたチャンネルボックスが別の燃料体で再度装着されるか確認すること【天谷委員】	17 頁目参照

コメント No. 1

Defender に到達すると想定される異物を整理するとともに、それによる閉塞を設計上どの程度考慮するのか整理すること【更田委員、三島委員、山口委員】

(回答)

Defender の採用に伴い、異物捕捉性能が向上する一方で、異物による冷却材流路閉塞が考えられることから、考慮すべき異物の種類及び影響について、原子炉設置者に確認した。原子炉設置者による異物に対する全般的な評価及び管理は以下のとおりである。

#### 1. 異物の種類及び混入経路とその影響について

異物は発生箇所、性状、混入経路、原因が多様であるが、これまでの経験を踏まえた異物の種類と影響を表 1 に示す。

- ・ 種類：代表的なものを列挙した。発生が本質的に避けられないもの（クラッド等）と作業等で混入してしまうもの（金属デブリ等）に分けられる。
- ・ 性状：マイクロメートルオーダーの微粒子から、工具のような比較的大きなものまで多様なものが考えられる。金属等で比較的重い異物は自重により発生箇所に滞留（沈降）する可能性が高いが、小さなものは冷却材等の流れに従い移動する可能性がある。
- ・ 影響
  - ① 噛みこみ：異物が隙間を有する機械的動作部又は摺動部に噛みこむことによって、動作機能、シール機能等に生じる影響。噛みこみを考慮すべき機器（例えば制御棒駆動機構）は元々フィルタ等が設けられ対策が施されていることから問題はない。また、定期検査や運転中の定例試験で動作・機能確認を行うため、仮にかみこみが発生しても早期に影響を発見することができる。
  - ② 閉塞：異物が流れを閉塞することによって、通水機能、冷却機能等に影響を及ぼすもの。炉内の構造物及び各機器が対象として挙げられるが、系統への異物混入防止（後述）やフィルタ設計において異物サイズを考慮するなどの対策が施されていることから問題はない。燃料集合体の冷却機能確保は特に重要であり、燃料集合体異物フィルタにおいて、金属デブリ、サプレッションプール内の異物の影響を考慮し設計を行っている。
  - ③ フレッシング：異物が流体振動によって構造物を摩耗することによって、機械的強度等に影響を及ぼすもの。特に燃料被覆管でフレッシングが発生すると放射性物質の漏洩につながるため、集合体内における異物捕捉性、流体振動を起こす形状を特定し、燃料フレッシングの発生を防止することが重要である。

表1 異物の種類と影響

異物の種類	性状	発生源	混入経路・原因	影響及び対策 (機器のかみ込み・流路閉塞)	影響(燃料フレッシング)	
					評価	内容
クラッド	微粒子	給水中に元々あるもの及び系統配管内面から剥離したもの	冷却材浄化系で除去しきれないものが系統内に存在	<ul style="list-style-type: none"> <li>付着した場合流路面積が低下するが、最大でも数十<math>\mu\text{m}</math>程度で影響は小さい</li> <li>燃料フィルタ部も同上</li> </ul>	×	微粒子であることから影響はない
イオン交換樹脂	粒状	原子炉冷却材浄化系	イオン交換樹脂層下流のストレーナ(0.3 mm)を通過	<ul style="list-style-type: none"> <li>ストレーナを通過した粒径以下の場所には可能性がある</li> <li>微小のため燃料は通過する</li> </ul>	×	粒状であることから影響はない
金属デブリ (グラインダ切削粉)	粒状	定検工事・作業	原子炉開口部及び作業時の養生不備等により炉内につながる配管から混入		×	粒状であることから影響はない
金属デブリ (針金、切削屑等)	線状，板状				○	フレッシングの要因と考えられる
金属デブリ (損傷した炉内部材)	形状多種，比較的大的	炉内の各設備	運転中に損傷等で分離	<ul style="list-style-type: none"> <li>大きさによっては可能性あり</li> <li>異物混入防止の運用を徹底</li> <li>燃料は閉塞の影響を考慮して設計</li> </ul>	○	形状次第でフレッシングの要因となる
工事に伴う工具類(養生シート，テープなど)	形状多種，比較的大的	定検工事・作業	作業時の養生不備等により，原子炉開口部及び炉内につながる配管から混入	<ul style="list-style-type: none"> <li>合成化学製品は炉内で形状を維持することは少ないと考えられる</li> <li>異物混入防止の運用を徹底</li> </ul>	×	硬くないことから影響はない
酸化皮膜剥離片	薄板状	燃料被覆管，チャンネルボックス，その他炉内構造物	運転中に母材から剥離	<ul style="list-style-type: none"> <li>薄く脆いため，可能性は小さい</li> </ul>	×	脆いため影響はない
サブレッションプール(圧力抑制室)内異物	形状多種	<ul style="list-style-type: none"> <li>定検工事・作業</li> <li>配管保温材</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業時の養生不備等により混入</li> <li>LOCA時に配管からの蒸気で保温材が分離，落下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ストレーナを通過した粒径以下の場合には可能性がある</li> <li>燃料は閉塞の影響を考慮して設計</li> </ul>	×	粒子であれば影響はない

○：影響あり，×：影響なし

## 2. 異物混入防止対策について（ハード）

設備設計上の異物混入防止対策としてストレーナやフィルタを各部に設置している他、漏えい燃料の対策としては「燃料集合体異物フィルタ」の導入を進めている。

## 3. 異物混入防止対策について（ソフト）

定検中の作業・工事について、設備設計上の異物混入防止対策を行うことは困難であることから、以下のような運用上の異物混入防止策を行っている（工事・委託仕様書等に記載）。また、異物による漏えい燃料が発生しているプラントは定期的に炉内清掃を行い異物を除去している。

### ○使用済燃料プールや原子炉ウェル等の開口部での作業

- ・物品持ち込みの管理強化（持ち込み物品，持ち出し物品の記録照合等）
- ・異物混入防止のための専任監視員の配置
- ・紛失，落下防止のための整理整頓（回収を容易にする観点から，透明シートの使用禁止，水に浮くシートの使用）

### ○原子炉圧力容器に接続された配管，ポンプ，弁等の点検手入れ時

- ・治工具の使用制限（金属ワイヤブラシ・ワイヤバフの使用の原則禁止，代替品使用）
- ・点検手入れ時の開口部への養生
- ・点検手入れ終了後の清掃実施

上記の対策には、作業に従事する作業員の協力が欠かせない。「極めて小さな異物の存在が漏えい燃料の発生につながる」との認識を作業員に浸透させることが課題であると考えており、教育・周知の方法を様々に工夫している。



図1 金属ワイヤバフ



図2 金属ワイヤブラシ



図3 金属加工による切粉

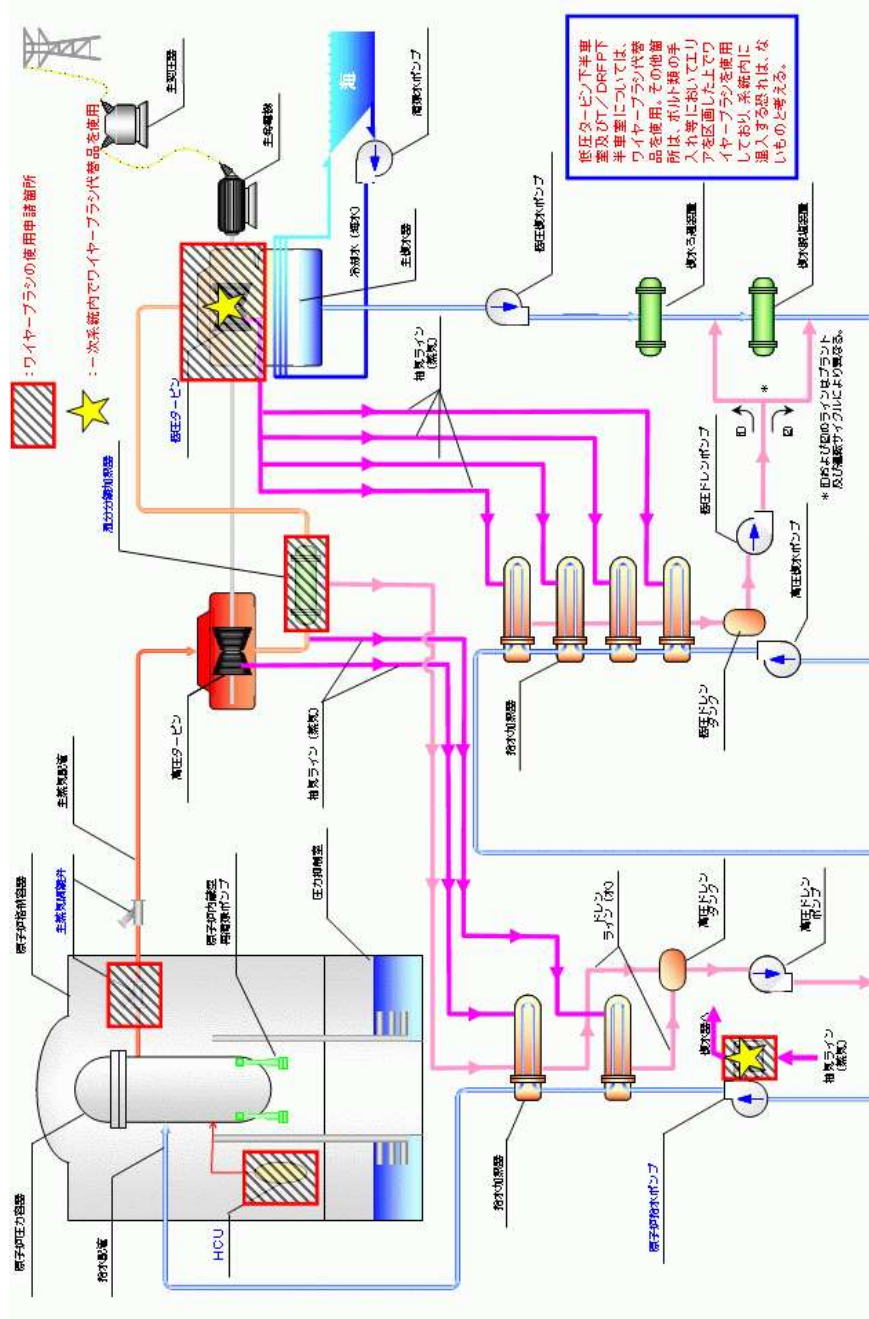


図4 ワイヤープラン使用制限エリアの例※

## ※図4の解説

図4は、柏崎刈羽7号機第9回定検（平成22年4月22日～7月23日）において、実際にワイヤブラシが使用申請された場所を例として示したものである。使用制限エリアは、ワイヤ素線が原子炉内部に混入する可能性が否定できないことから、下記系統図中の全てのライン（一次系ではない循環水系統は除く）で原則使用禁止となっている。ただし、作業上代替品（ナイロンブラシ等）を使用することが困難な場合は、異物飛散防止対策（下記1.b.）を講じた上でワイヤブラシ等を使用可としている。

ワイヤブラシ使用に係わる社内規定として、「工事共通仕様書」の記載は以下の通りである。原則使用禁止を明示している。

1. ワイヤを使用した工具の使用制限
  - a. ワイヤを使用した工具の使用禁止
    - ・給水加熱器室水室内の点検手入れについてはワイヤバフ等の使用を禁止する。
    - ・原子炉本体に直接接続されている機器の分解点検において、ワイヤバフおよびワイヤブラシ（以下「ワイヤバフ等」という。）を機器内部ならびに原子炉オペフロにおいて使用することを原則禁止する。
    - ・機器内部に組み込むポンプの回転体等の内蔵物を手入れする場合もワイヤバフ等の使用を原則禁止とする。ただし、開口部から離れた場所で実施する等、異物混入防止管理の容易なボルト類の手入等についてはこの限りではない。
  - b. ワイヤを使用した工具の使用を認める場合の措置
    - やむを得ずワイヤバフ等を機器内部や原子炉オペフロで使用する場合は、作業状況に応じたワイヤ（素線）の飛散防止・養生および回収策等について「工事施行要領書」に記載し、工事監理箇所の確認を得る。
  - c. 類似箇所への適用
    - 主蒸気系や抽気系等、一次冷却材の循環する系統を構成している機器内部でワイヤバフ等を使用する場合も上記a.b.と同様とする。
2. 掃除機、粘着テープ等による確実な異物の除去
  - ワイヤバフ等を使用する作業においては、「掃除機（吸引装置）」「粘着性のあるテープ」等による清掃を実施し、確実に異物を除去する。

なお、その後代替品の普及をすすめ、現在は上記のような実績のある場合も含めてワイヤバフ等を使用禁止としている。

注)第6回燃料意見聴取会(平成24年8月8日開催)で委員から頂いたコメントを踏まえ、本頁を平成24年9月7日に追加しました。

以上のとおり、異物による流路閉塞の要因となり得るものとして、定期検査中の工事で発生する針金、切削屑等及び機器損傷によって発生するルースパーツといった金属デブリのほか、サプレッションプール内の異物が選定されている。これらの異物について申請者及び原子炉設置者は以下のように評価している。

#### ○針金、切削屑等

設置者において、ストレーナ及びフィルタを設置するほか、異物管理を徹底することにより、異物混入試験で投入されたような大量の金属ワイヤが一つの燃料体に運び込まれる可能性は小さいとしている。

#### ○機器の損傷による異物

これまでの運転実績からして機器の損傷による金属デブリが大量に発生することはなく、仮にそのような金属デブリが Defender に持ち込まれたとしても閉塞率が  までであれば冷却は保たれるとしている。

#### ○サプレッションプール内の異物

定期検査工事・作業時の養生不備等により混入した形状多様な異物、原子炉冷却材喪失事故(LOCA)の際、配管破断時に噴出するジェットの影響で破損した配管の保温材がある。これらの異物の大半は、非常用炉心冷却系ストレーナ(ECCS ストレーナ)で捕捉されると考えられるが、微細な粒子状の異物(粒子径約2mm未満の塗装片やPCV内の塵等)がECCS ストレーナを通過してDefenderに到達することが考えられる。

このような異物による影響について、原子力安全・保安院の「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について(内規)」では、「ストレーナの網目の粗さは、ECCS ポンプ下流のスプレイノズル、ECCS ポンプシール部等、下流側機器の機能を損なうことのない設計であること。」としており、ストレーナのメッシュは冷却材流路のうち最も狭隘となる部分よりも細くなるように設計されている。本内規を制定する際に参考とされた米国規制指針 Regulatory Guide 1.82 Revision 3 “Water Sources for Long-term Recirculation Cooling Following a Loss-of-Coolant Accident” (以下「R.G. 1.82」と



いう。)では、燃料体の異物フィルタを含む ECCS ストレーナの下流側の機器において異物が蓄積されることを考慮すべきとしており、Defender を先行して導入している米国では、この R. G. 1. 82 に基づき、下部支持板での流路閉塞は LOCA 時の燃料冷却に影響を及ぼさないことが試験等により評価されている。

Defender の異物閉塞試験の概要、R. G. 1. 82 への適合性及び繊維状異物の影響と完全閉塞時の評価については以下のとおりである。

【Defender 付下部支持板で行われた異物閉塞試験の概要】

米国 10×10 燃料の Defender 付下部支持板について、繊維状異物の堆積の影響を調査するため、LOCA 発生後の状況を模擬した試験を行った。試験ループ及び試験体の模式図を図5、6 に示す。冷却材が単一集合体を循環するループにおいて、写真1に示すような繊維状異物を混入して循環させ、冷却材流量及び図6の①～④に対応する箇所での圧力損失を測定した。なお、異物混入前の初期流量は [ ] とし、水温約 20℃、大気圧の下で試験を行った。

[ ] の繊維状異物が堆積したケースの試験結果を図7、試験後の下部支持板の外観を写真2に示す。図6の①と④での圧損が同様に上がり、②と③における圧損はほとんど変化がないことから、混入した異物のほとんどは下部支持板で捕捉されたことがわかる。

また、図7より、混入した繊維状異物のほとんどが下部支持板に堆積された状態でも、[ ] の冷却材流量が確保されている。この結果より、[ ] の繊維状異物が蓄積した場合でも、長期間の冷却を妨げるものではないと評価している。

また、過去に米国 10×10 燃料の鋳物一体型異物フィルタ付下部支持板(以下、DFLTP)でも同様の試験が実施され、[ ] の繊維状異物が下部支持板に堆積しても、流路閉塞のない場合の流量の [ ] 以上が確保され、長期間の冷却を妨げるものではないと評価している。

注) 第6回燃料意見聴取会(平成24年8月8日開催)で委員から頂いたコメントを踏まえ、下線部分を平成24年9月7日に改訂しました。 [ ] 商業機密に属するため公開できない事項。

【GNF-A における Defender の R. G. 1. 82 への適合性検討の概要】

LOCA 時の配管破断により、配管の保温材が剥がれてサブプレッションプール水に混入し、その後の ECCS システムの作動により、保温材の材料である繊維が燃料集合体に到達し、この繊維状の異物が下部支持板で捕捉されることが想定される。

これに対し、ECCS ストレーナを通過する繊維状異物の量、及びその異物が下部支持板へ堆積することによる冷却材の流れへの影響の調査を目的とした試験を行った。

ECCS ストレーナを通過する異物量については BWR オーナーズグループの試験に基づいたいくつかのモデルを用い、繊維状異物の質量として、保守側の [ ] (※1) と仮定している。さらに、ECCS ストレーナを通過した繊維状異物が全て炉心に到達し、 [ ] (異物フィルタが導入される取替バッチの最小単位) に異物が分配されると仮定し、1体の下部支持板に [ ] の異物が堆積すると評価している。この異物量の仮定は、LOCA 発生後の長期的な冷却を行うため必要な冷却材流量 (※2) が確保されると評価された前述の試験条件に比べて少なく、繊維状異物による閉塞によって長期間の冷却を妨げられることは無いと言えることから、R. G. 1. 82 の要求に適合すると評価している。

(※1) ECCS ストレーナを通過する繊維状異物の総量はストレーナの表面積に比例すると仮定し、ストレーナ (表面積 18ft<sup>2</sup>) に 8 lb の繊維状異物を投入したときの通過割合が約 0. 4% という試験結果 (出典 1) に基づき、式①で評価されると仮定している。

[通過する繊維状異物の量 (lb)] ~ [ ] …①

米国 BWR プラントの中で ECCS ストレーナの表面積が広いものは [ ] であり、この値を式①に当てはめれば [ ] となる。(lb: ポンド、ft<sup>2</sup>: 平方フィート)

式①に基づく繊維状異物量評価手法の柏崎刈羽6号機及び7号機への適用性は別紙1のとおり。

(出典1) NEDO-32686-A「Utility Resolution Guide for ECCS Suction Strainer Blockage Vol. 2」

(※2) LOCA 発生後の崩壊熱を、冷却材の潜熱によって長期的に冷却するために必要な流量はおおよそ [ ] 以下となる。

### 【Defender における繊維状異物閉塞の影響及び完全閉塞時の評価】

通常運転時においては、繊維状異物が大量に到達することは考えられないが、大量の繊維状異物の堆積による影響については、前述のように LOCA 後の冷却特性の観点から試験し、確認している。

Defender は [ ] 以上の粒子状異物が通過することができないのに対し、米国 10×10 燃料の DFLTP の異物フィルタ部の流路孔は [ ] である。これらの下部支持板について、大量の繊維状異物を堆積させて試験した結果によると、前述のように冷却材流量への影響は両者で大きな相違はなく、燃料の冷却機能を損なうものではないことを確認している(別紙2)。Defender の設計は 9×9 燃料と米国 10×10 燃料で同じであることから、9×9 燃料においても繊維状異物による流路閉塞が Defender 特有の課題になる可能性はないと考える。

さらに、BWR のチャンネルボックスと下部支持板は嵌め合い構造となっており、通常運転時はその隙間を通り、燃料集合体内からチャンネルボックス外側へ冷却材が流出する。LOCA 時には、再循環ポンプによる強制循環力が喪失するため、チャンネルボックス外側(単相)と燃料集合体内(二相)の水頭差により、チャンネルボックス外側の圧力が燃料集合体内より高くなる。このため、おおよその事故期間中、チャンネルボックスと下部支持板の隙間を通り、チャンネルボックス外側から燃料集合体内へ冷却材が供給され、燃料冷却に寄与する。したがって、万一、Defender が異物により完全閉塞した場合でも、チャンネルボックスと下部支持板の隙間の流れにより、燃料集合体内への冷却材の供給は確保され、燃料冷却は継続されたと考える。

注)第 6 回燃料意見聴取会(平成 24 年 8 月 8 日開催)で委員から頂いたコメントを踏まえ、下線部分を平成 24 年 9 月 7 日に追記しました。

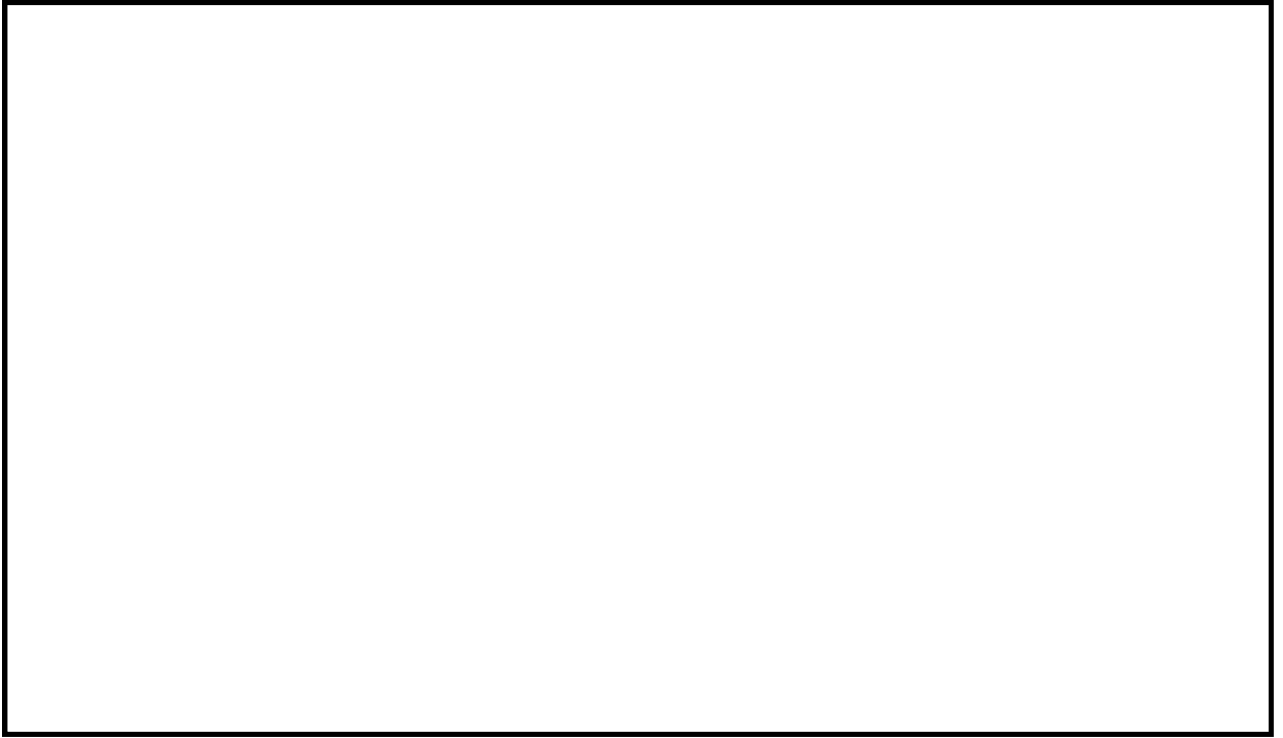


図5 試験ループの模式図



図6 模擬燃料体模式図


 商業機密に属するため公開できない事項。



図7 Defender 付下部支持板の異物閉塞試験結果



写真1 試験に用いた繊維状異物

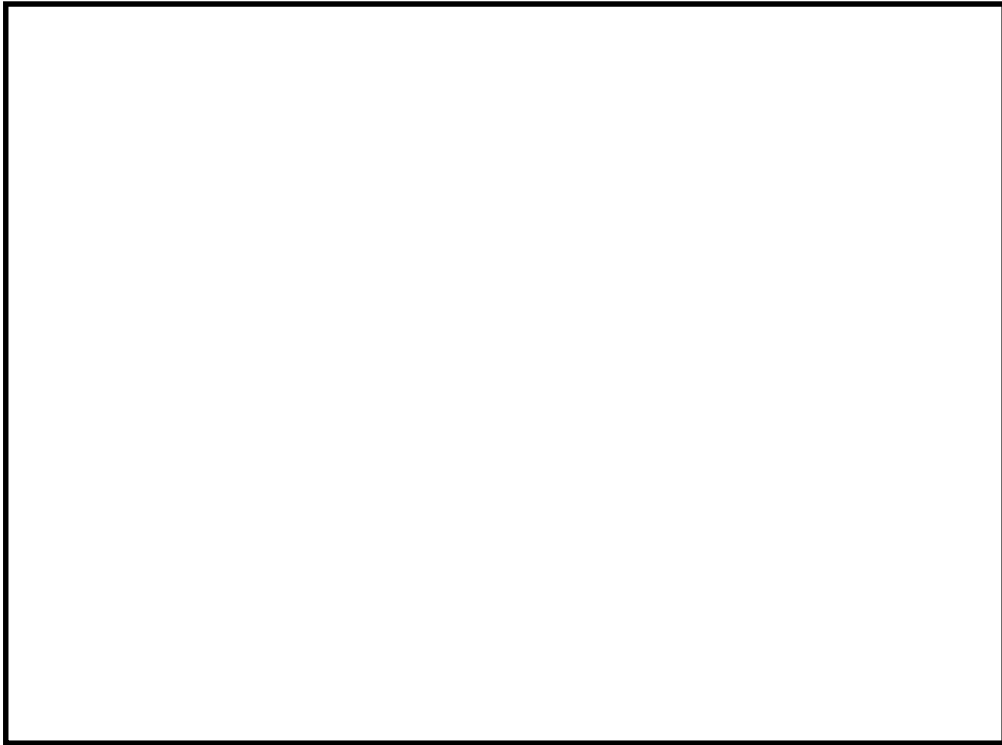



写真2 試験後の下部支持板の外観

 商業機密に属するため公開できない事項。

異物閉塞試験の結果から、繊維状異物の閉塞によっても燃料体の冷却は確保されるが、柏崎刈羽原子力発電所第6号機及び第7号機では、ECCS ストレーナ閉塞への対策として、サブプレッションプールに落下するおそれがある繊維質保温材は現在までにすべて撤去したとしており、繊維状異物を考慮する必要はないとしている。

以上の申請者及び原子炉設置者による検討結果から、本件申請に係る Defender を採用した燃料体については、異物閉塞によって燃料の冷却が損なわれることはないと考えられる。

なお、異物が ECCS ストレーナの下流側の機器に与える影響について、現在我が国を含め各国で PWR を対象に検討が進められているところであるが、BWR では PWR のような化学的影響を伴う下流側機器への影響は確認されていない。このため BWR では今後得られる PWR の知見に応じて、必要な対応をとるべきものと考えられる。

米国における試験結果に基づく繊維状異物量評価手法の柏崎刈羽6号機及び7号機への適用性について

ECCS ストレーナを通過する繊維状異物の総量の評価式①を導出する際に用いた試験(出典1)の条件、柏崎刈羽6号機及び7号機における ECCS ストレーナのメッシュ径、表面積及び通過する繊維状異物量を比較したものを表1に示す。

[通過する繊維状異物の量(lb)] ~  …①

表1 ECCS ストレーナの諸元と繊維状異物通過量の比較

	資料中の評価条件	柏崎刈羽 6号機	柏崎刈羽 7号機
ECCS ストレーナ メッシュ径	約 3mm (1/8 インチ)	約 2mm	約 2mm
ECCS ストレーナ 表面積	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span> (*1)	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span> (残留熱除去系)	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span> (残留熱除去系)
		<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span> (高圧炉心注水系)	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span> (高圧炉心注水系)
通過する繊維状異 物量 (*2)	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span>	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span> (残留熱除去系)	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span> (残留熱除去系)
		<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span> (高圧炉心注水系)	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 1.2em; vertical-align: middle;"></span> (高圧炉心注水系)

柏崎刈羽6号機及び7号機では、式①の導出に用いた試験に比べて ECCS ストレーナのメッシュ径が小さいことから、相対的に ECCS ストレーナを通過する繊維状異物は少なくなり、式①を適用する場合は保守側の評価となる。

また、異物性状や系統流量などの条件が異なる点については定量的に評価できないが、米国で実施された異物閉塞試験で投入された繊維状異物量は米国 BWR プラントの中で ECCS ストレーナの表面積が広いものを基に算出した値を上回るものであり、柏崎刈羽6号機及び7号機における ECCS ストレーナの表面積よりも厳しい条件となっている。

(出典1) NEDO-32686-A Vol.2「Utility Resolution Guide for ECCS Suction Strainer Blockage」

(\*1) ft<sup>2</sup> : 平方フィート

(\*2)式①を適用した場合の評価値

注)第6回燃料意見聴取会(平成24年8月8日開催)で委員から頂いたコメントを踏まえ、本頁を平成24年9月7日に追加しました。



下部支持板に大量の繊維状異物が入り込んだ状態での冷却水の流れについて

異物閉塞試験に用いられた異物が全て下部支持板内部(Defender より上流側)に収まったと仮定すると、繊維状異物の体積占有率は約[ ](\*1)となっており、試験結果のように下部支持板の中が異物で全て満たされた場合でも、目視できない空隙は存在し、完全閉塞に近い状態にはならない。このため、ある程度の圧力損失増加の範囲内で、流量が確保されていると考えられる。なお、異物閉塞試験に用いられた模擬燃料体下部には下部支持板以外の流路は無く、全流量が下部支持板を通過している。

また、Defender異物閉塞試験で測定された局所圧力損失 $dP_{\text{局所}}$ (例えば全異物投入後[ ])と質量流量 $W$ (例えば全異物投入後[ ])を用いて、閉塞前後の局所圧損係数 $K/A^2$ を評価すると表1の結果となる。

次に、得られた全異物投入後の局所圧損係数[ ]を用いてLOCA 発生後を模擬した評価条件(自然循環状態)での冷却材流量を評価した結果、下部支持板の異物閉塞による局所圧損の増加分と流量が減少してボイド率が増大することによる位置圧損(静水頭)の減少分が相殺されることにより、流量が著しく減少することはなく、閉塞前は[ ]であった冷却材流量は[ ]程度となり、LOCA発生後の長期的な冷却を行うため必要な冷却材流量は確保されることである。(\*3)

表1 閉塞試験における圧損と流量の関係例(\*2)

	局所圧力損失 $dP_{\text{局所}}$ [kPa]	質量流量 $W$ [kg/s]	局所圧損係数 $K/A^2$ [cm <sup>-4</sup> ]
試験開始直後			(基準)
全異物投入後			[ ]

(\*1)

繊維状異物の量: 約[ ]

繊維状異物の密度: 2.5 g/cm<sup>3</sup> (仮定)

下部支持板のDefender より上流側の体積: 約[ ]

体積占有率: [ ]

注) 第6回燃料意見聴取会(平成24年8月8日開催)で委員から頂いたコメントを踏まえ、本頁を平成24年9月7日に追記しました。

(\*2)

測定された局所圧力損失と質量流量を用い、 $dP_{\text{局所}} = W^2 \times (K/A^2) / 2 \rho_f$  の関係式から局所圧損係数を評価した ( $\rho_f$ : 液相密度 ( $1 \times 10^3 [\text{kg/m}^3]$ ))

Defender 異物閉塞試験では、単体の短尺模擬集合体を用い、試験体が発熱しない条件下で、下部支持板付近の圧力損失だけを測定している。試験中は、冷却材ポンプ容量の範囲内で冷却材流量が  一定となるよう調整されているが、閉塞率が進み圧力損失がある程度高くなると、ポンプ容量が上限に達するため流量が低下し、上記試験例では最終的な流量が  になっている。

(\*3)

LOCA 発生後の状況を模擬する場合は、上記で求められた局所圧損係数  $K/A^2$  を用い、閉塞前の冷却材流量を  として、閉塞前後の炉心入口オリフィスから集合体出口までの圧力損失(全圧力損失)  $dP_{\text{全体}}$  が等しくなるよう、閉塞後の冷却材流量を評価する。すなわち、閉塞前の冷却材流量を  として全圧力損失を求め、次にその全圧力損失になるように閉塞後の冷却材流量を求める。

評価にあたって、全圧力損失  $dP_{\text{全体}}$  は以下の式で与えられる。

$$dP_{\text{全体}} = dP_{\text{水頭}} + dP_{\text{局所, 入口}} + dP_{\text{局所, バンドル}} + dP_{\text{摩擦}} + dP_{\text{加速}}$$

$dP_{\text{全体}}$	: 炉心入口オリフィスから集合体出口までの圧力損失
$dP_{\text{水頭}}$	: 位置圧力損失(静水頭)
$dP_{\text{局所, 入口}}$	: 下部支持板など入口部の局所圧力損失
$dP_{\text{局所, バンドル}}$	: スペーサなどの圧力損失
$dP_{\text{摩擦}}$	: 摩擦圧力損失
$dP_{\text{加速}}$	: 加速圧力損失

閉塞前の状態では、右辺の項のうち、水頭の項がほとんど全てを占めており、残りの4項はほぼ無視できる。

一方、下部支持板が閉塞すると、入口部の局所圧力損失の項が顕著に増大する。しかし、同時に冷却材流量が減少するために燃料集合体発熱部のボイド率が増大し、水頭が減少して、全圧力損失は変化しない。

注) 第6回燃料意見聴取会(平成24年8月8日開催)で委員から頂いたコメントを踏まえ、本頁を平成24年9月7日に追記しました。

商業機密に属するため公開できない事項。

コメントNo. 2

燃料体に装着されたチャンネルボックスが別の燃料体で再度装着されるか確認すること【天谷委員】

(回答)

現在、設置者において、燃料集合体とチャンネルボックス（以下、「CB」という。）は照射前から使用済燃料として取り出されるまでの間、一体のものとして取り扱うこととしており、CB は別の燃料体に再度装着されていない。燃料集合体外観検査等で一時的にCB を燃料集合体から取り外す場合でも、検査後は同一のCB が装着されている。

なお、過去においては使用済燃料からCB を取り外し、再利用する運用が行われていたが、以下の理由により現在は行われていない。

- ・燃料集合体の高燃焼度化が進んだことから、CB を再使用した場合に使用期間が長期に及び、曲がり等の影響が大きくなること。
- ・日本原燃六ヶ所再処理施設では、使用済燃料をCB と一体での受け入れを基本としていること。
- ・CB の価格低下に伴い、CB を再利用する場合のコストダウン効果が小さくなったこと。

注)第6回燃料意見聴取会(平成24年8月8日開催)で委員から頂いたコメントを踏まえ、下線部分を平成24年9月7日に改訂しました。