

# BWR-ECCSストレーナ 下流側炉内影響について

2022年10月11日

東 北 電 力 株 式 会 社

東京電力ホールディングス株式会社


中 部 電 力 株 式 会 社

北 陸 電 力 株 式 会 社

中 国 電 力 株 式 会 社

日 本 原 子 力 発 電 株 式 会 社

電 源 開 発 株 式 会 社

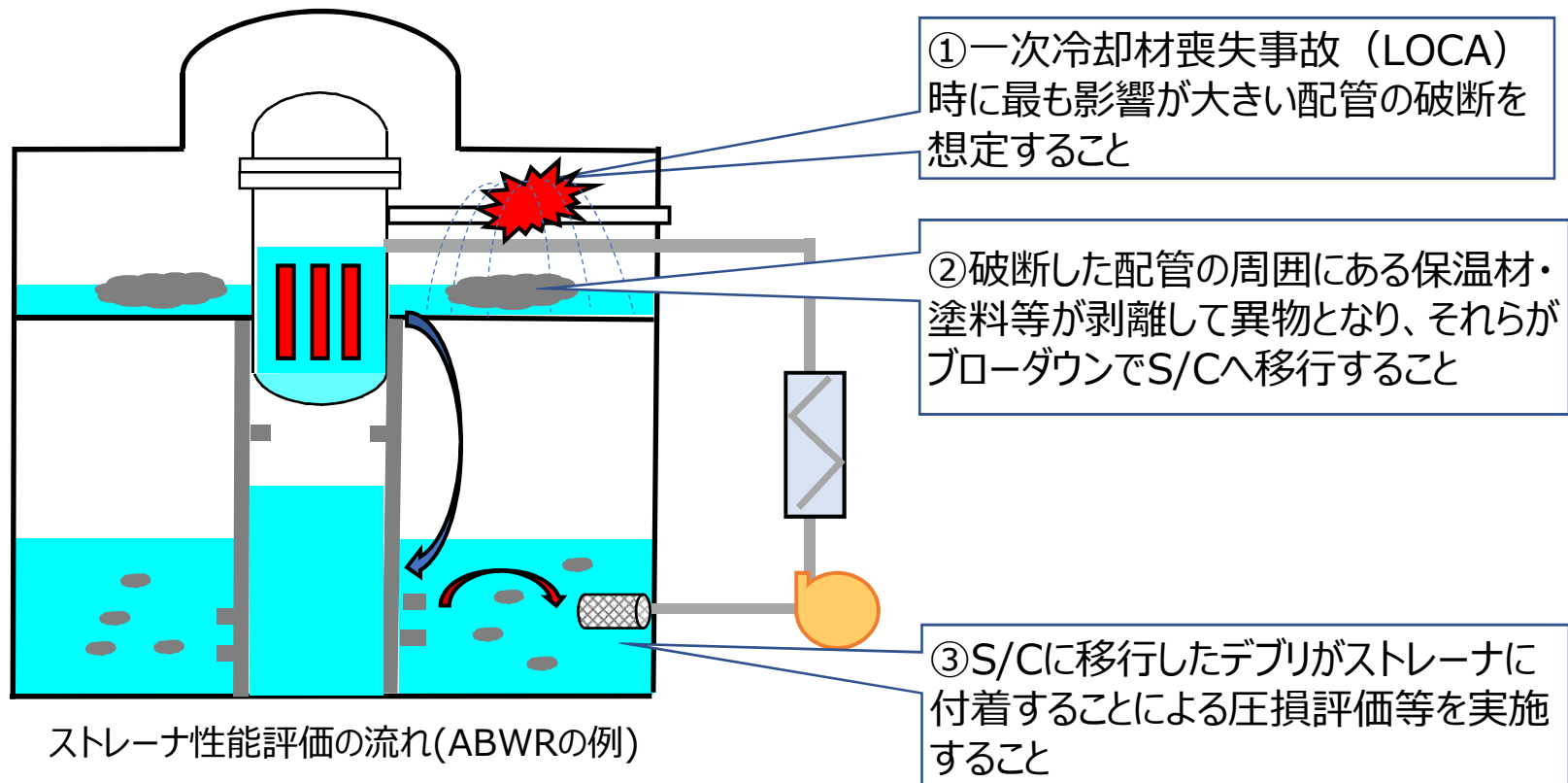
 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(公開の場での説明用に一部技術情報を附番しております。 例：技-①)

# BWRプラントにおけるストレーナ等の閉塞事象の概要

- ストレーナ等の閉塞事象については、内規※の要求を踏まえ、主に以下の事象を想定してストレーナの性能評価を実施している

※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）



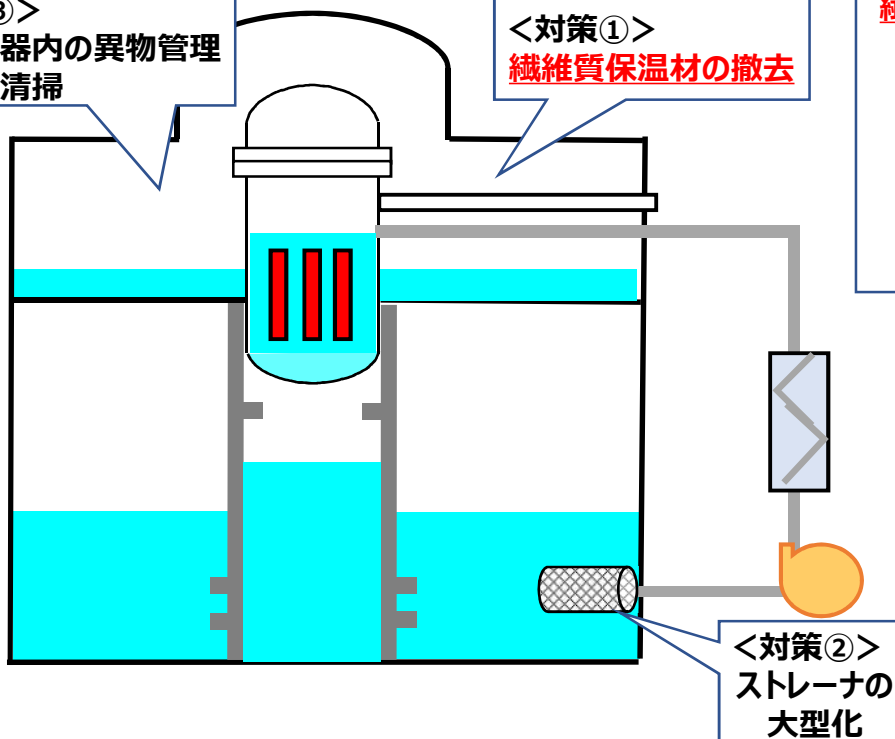
## 規制に対するBWR事業者の取り組み

- BWRにおいては、デブリによるろ過装置への影響を低減するため、**繊維質保温材の撤去**※やストレーナの大型化、格納容器内の異物管理及び定期的な清掃等を実施
- 内規に従ったストレーナの圧損試験等を実施し、健全性を確認済み

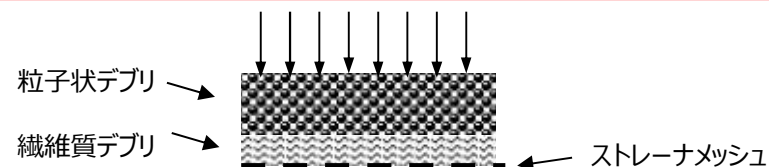
※繊維質保温材から主に金属保温材へ取り替えるため、ストレーナの閉塞に支配的である薄膜形成にほとんど寄与しない。

**<対策③>**  
 ・格納容器内の異物管理  
 ・起動前清掃

**<対策①>**  
**繊維質保温材の撤去**



**繊維質保温材を撤去し、薄膜形成効果（流路閉塞）を防止**



薄膜形成による粒子状デブリの捕捉効果のイメージ



ストレーナ大型化（例）

ディスクを積層させることで表面積を増加させ、閉塞に関する裕度を上げる

ECCSストレーナを通過したデブリによる下流側への影響について説明

## 格納容器内で発生するデブリの整理

- LOCA（設計基準事故）時に格納容器内で発生するデブリを下表の通り整理
  - ECCSストレナを通過したデブリによる各機器への影響はないと評価  
 （LOCA（設計基準事故）時の安全評価結果に影響なし）

対象機器：ポンプ、弁、熱交換器、炉心（燃料）

| デブリ種類   | 影響 | 理由  |
|---|----|---|
| 繊維質   | なし | 影響項目として閉塞が考えられるが、繊維質保温材を撤去しているため  |
| 粒子／固形物<br>・ケイ酸カルシウム<br>・金属<br>・塗装片<br>・スラッジ<br>・錆片<br>・塵土 | なし | 影響項目として閉塞、摩耗が考えられるが、薄膜効果の要因となる繊維質保温材を撤去しているため、閉塞の影響は小さい<br><br>➤ 閉塞、摩耗について次頁以降で詳細を説明  |
| 化学析出物   | なし | 影響項目として閉塞や燃料表面の冷却性能低下が考えられるが、BWR冷却材は設計基準事故の環境では純水であり、格納容器内の機器・構造物、デブリ等と反応する可能性のある薬品等を添加していないことから、化学影響を考慮する必要はない（ストレナの圧損評価においても考慮不要） |
| ウレタン  | なし | 影響項目として閉塞が考えられるが、ウレタン保温材はS/P水面に浮遊し、水中のストレナに到達しないため（ストレナの圧損評価においても考慮不要）  |

## 格納容器内で発生するデブリの影響整理

ストレーナ径より小さなデブリ（粒子／固形物）は、ストレーナを通過し、下流側へ移行する。

①下流機器（ポンプ、弁、熱交換器）への影響

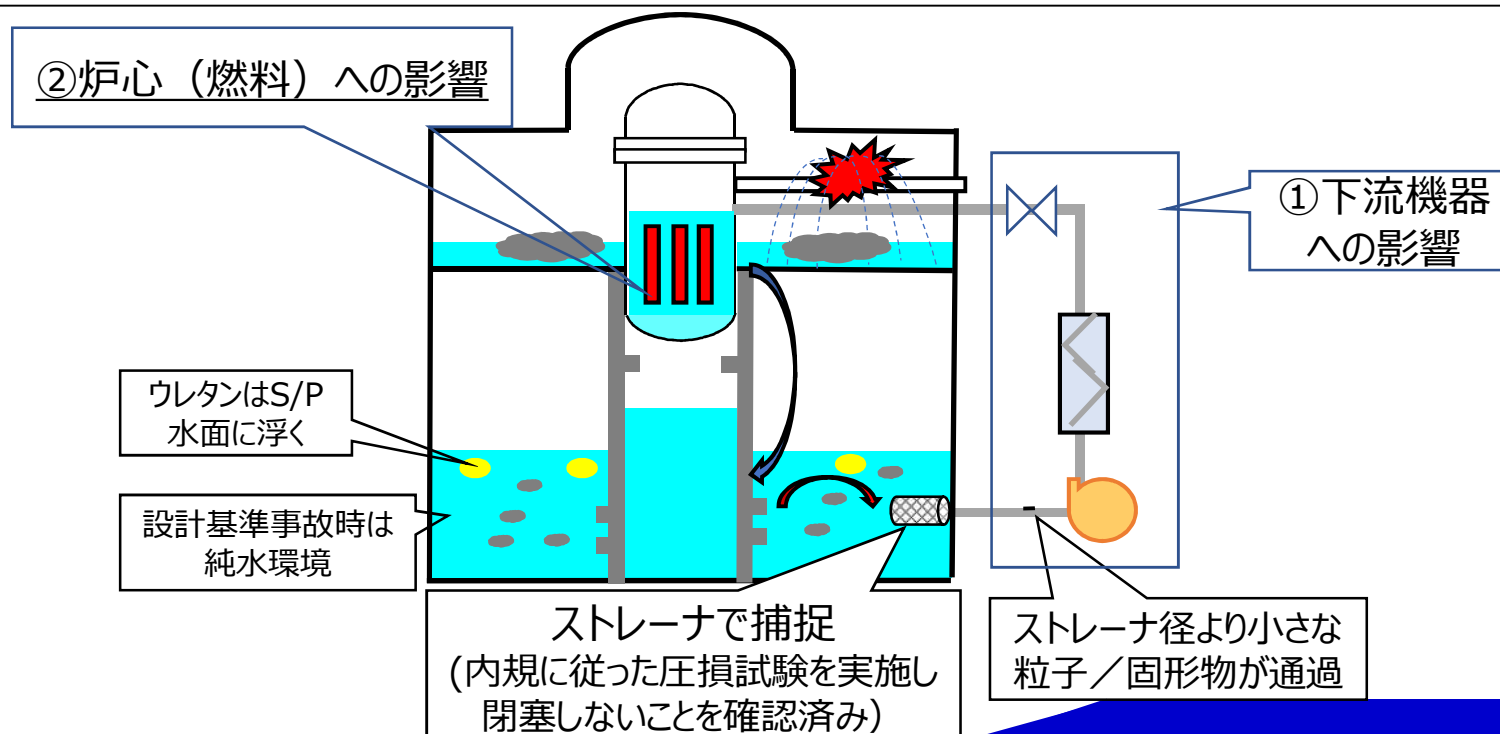
➤ 閉塞、摩耗：影響が小さいことを確認（29頁参照）

②炉心（燃料）への影響

➤ 閉塞：（i）燃料上部／（ii）燃料下部に閉塞の影響がないことを確認

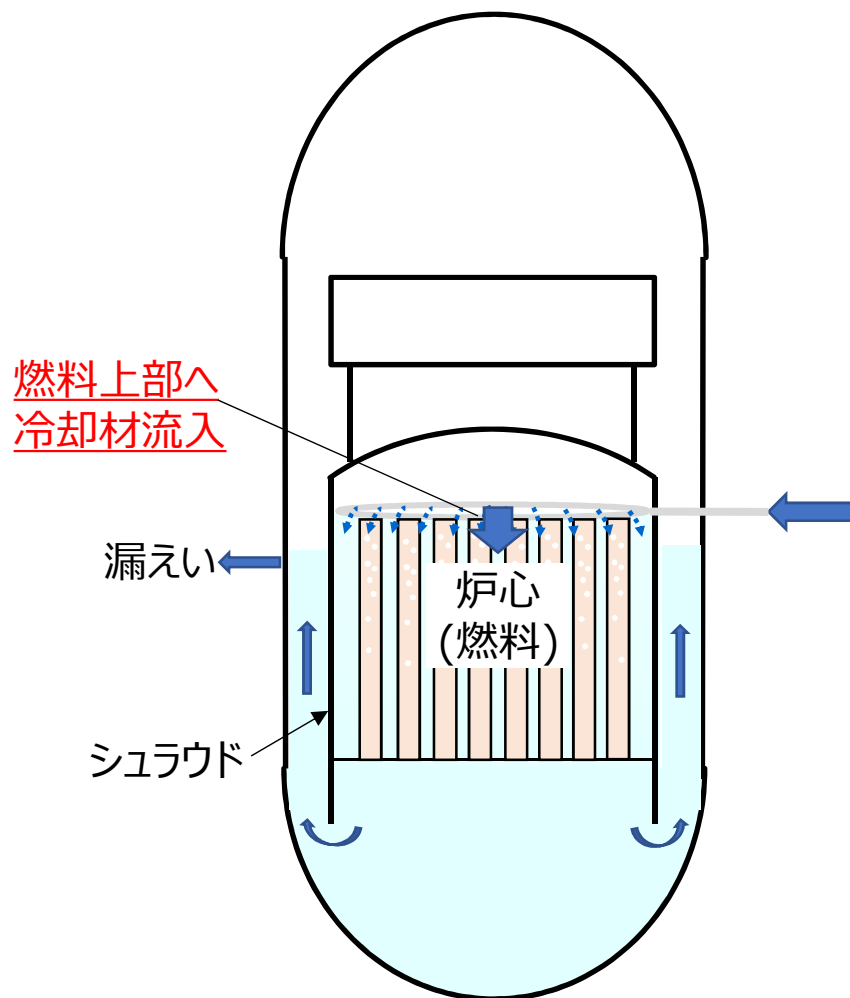
（次頁以降詳細）

➤ 摩耗：影響が小さいことを確認（28頁参照）



## ( i ) 燃料上部の閉塞の影響整理 ( 1 / 2 )

## LOCA時 燃料上部へ冷却材が流入する際のイメージ



【燃料上部 (炉心内) への注水例】

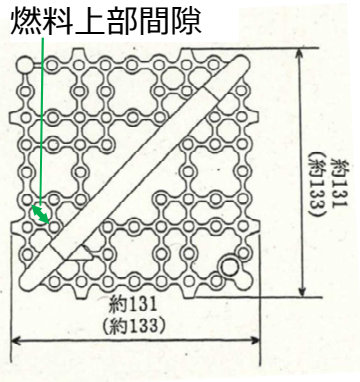
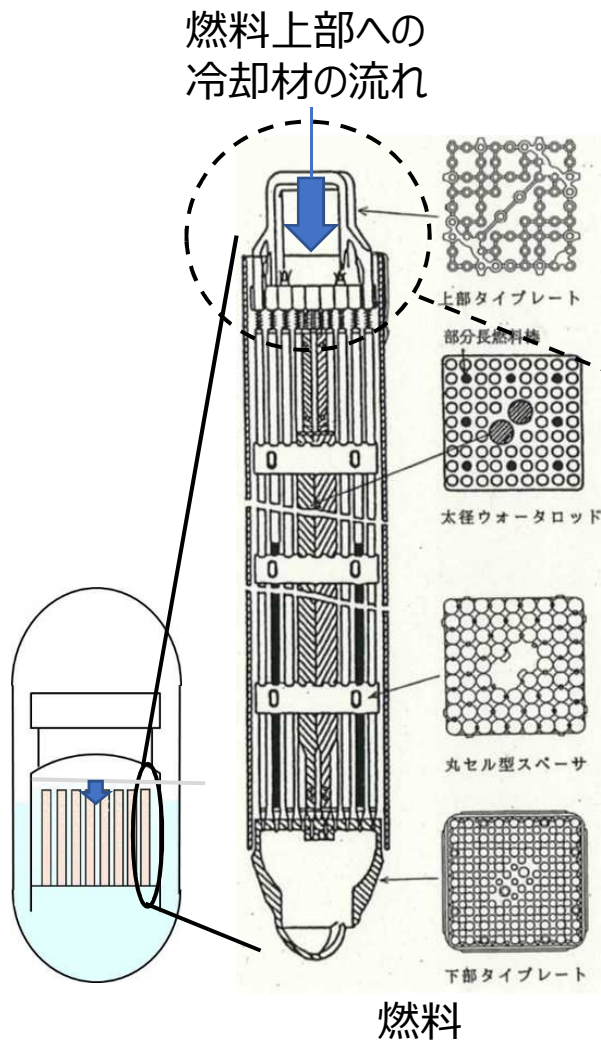
ABWR : 高圧炉心注水系

BWR5 : 高圧炉心スプレイ系  
低圧炉心スプレイ系  
低圧注水系〔 BWR5:燃料上部 (炉心内) へ  
複数手段により注水 〕

# ( i ) 燃料上部の閉塞の影響整理 ( 2 / 2 )

枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

燃料上部はECCSストレーナより間隙が大きいため  
 ストレーナを通過したデブリによる閉塞の影響はない  
 ⇒ LOCA後の炉心の再冠水 (BWR5)、冠水の維持 (ABWR)、炉心の冷却に影響はない



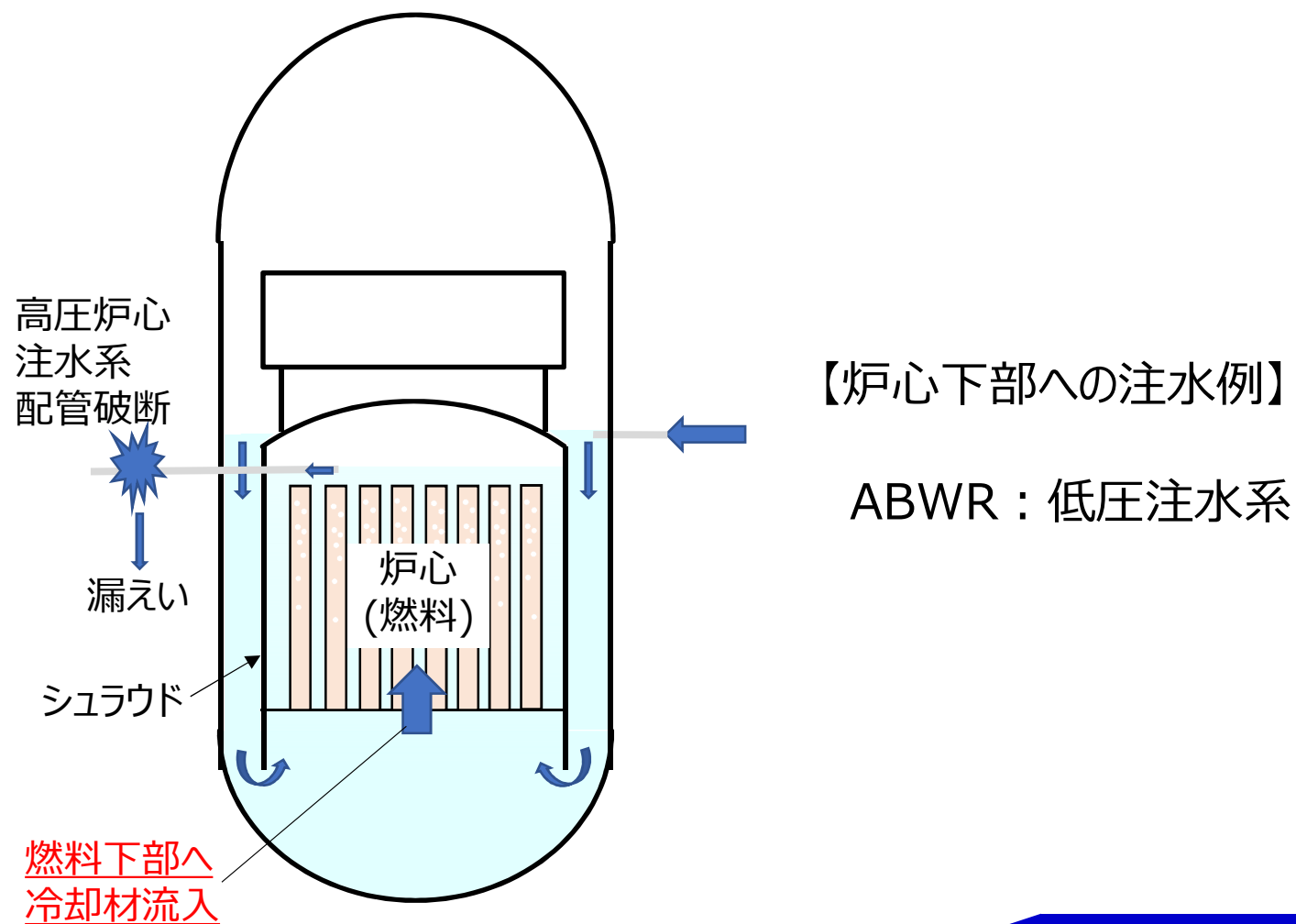
【メッシュサイズ】  
 ECCSストレーナ < 燃料上部間隙

【メッシュサイズの例 (KK7、9×9A型燃料)】

| ECCSストレーナ | 燃料棒間隙     | 燃料上部間隙 |
|-----------|-----------|--------|
| 技-①       | 約3mm (隣接) | 技-②    |

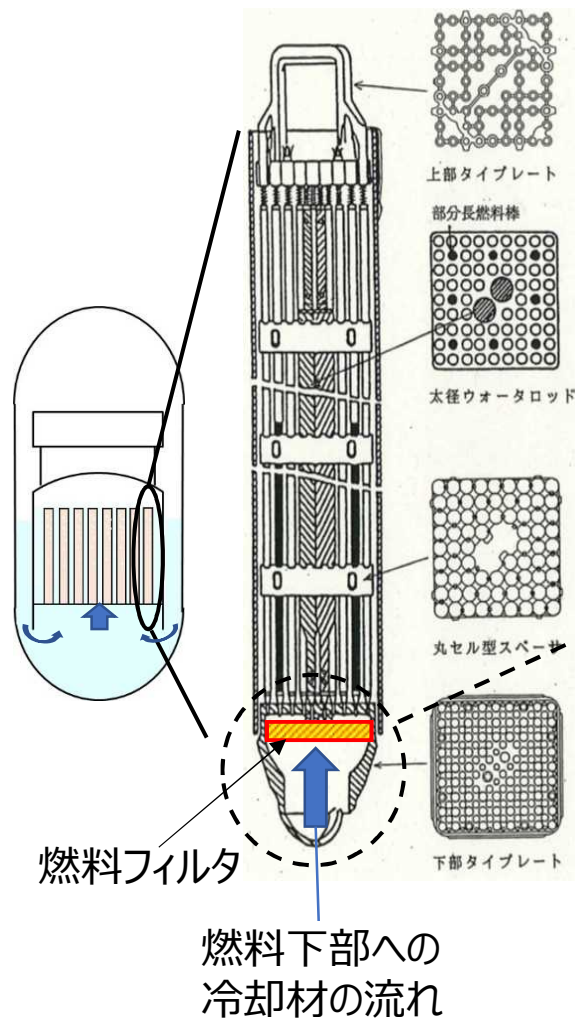
## (ii) 燃料下部の閉塞の影響整理 (1 / 2)

### LOCA時 燃料下部へ冷却材が流入する際のイメージ



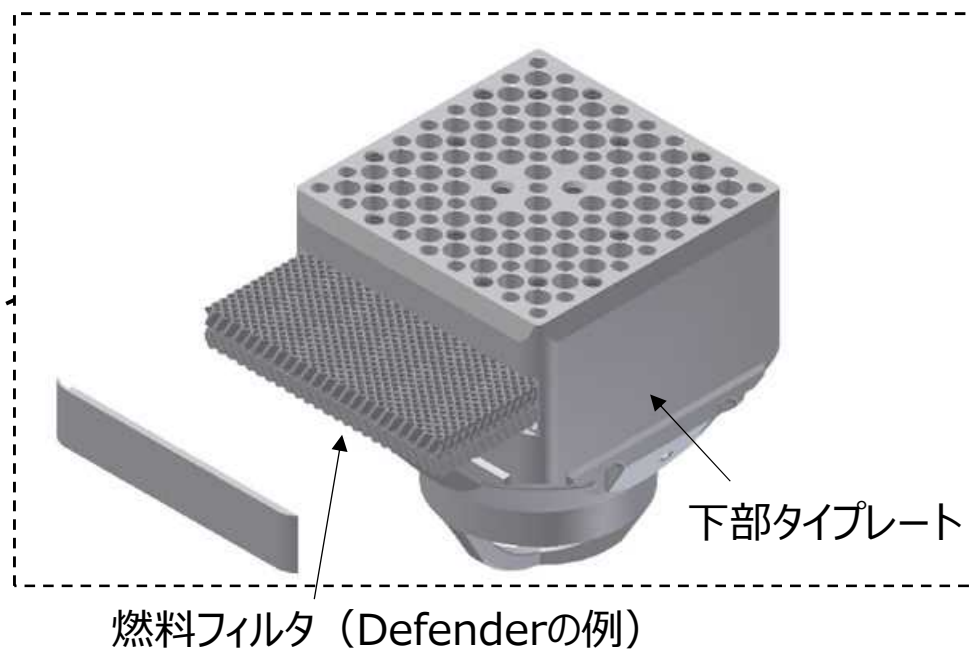


## (ii) 燃料下部の閉塞の影響整理 (2 / 2)



燃料下部についても、薄膜効果の要因となる繊維質保温材を撤去していることから、ストレーナを通過したデブリによる閉塞の影響はないと評価

⇒ LOCA後の冷却に影響はない



〔燃料下部には、ECCSストレーナよりメッシュサイズの小さな燃料フィルタ (Defender) を設置するプラントも有り〕

## 【参考】燃料フィルタに対する圧損試験（1 / 2）

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

- 燃料下部についても、薄膜効果の要因となる繊維質保温材を撤去していることから、閉塞の影響はないと評価しているが、念のため、デブリが燃料フィルタに到達したと仮定し試験を実施
- デブリが燃料フィルタに到達したと仮定した圧損試験の結果からも、LOCA後の長期冷却に必要な流量が確保できることを確認

- 試験①：繊維質デブリを投入した燃料フィルタの圧損試験の結果から、燃料下部へも必要な流量が確保できることを確認（19～22頁参照）
- 試験②：繊維質デブリ及び粒子／固形物の代表としてケイ酸カルシウムを投入した燃料フィルタの圧損試験を実施し、試験①の範囲内であることを確認（23～27頁参照）

[薄膜効果確認のため繊維質デブリも投入しているが、国内BWRは繊維質保温材を撤去しており、実機を包含した保守的な条件で試験実施]

- 燃料フィルタメッシュサイズ  
Defender < ECCSストレーナ < 他タイプ燃料フィルタ
- 燃料フィルタメッシュサイズの例（KK7、9×9A型燃料※）

| Defender | ECCSストレーナ | 従来型フィルタ |
|----------|-----------|---------|
| 技-③      | 技-①       | 技-④     |



ECCSストレーナよりメッシュサイズの小さいDefenderで試験実施

※9×9B型燃料の燃料フィルタメッシュサイズは

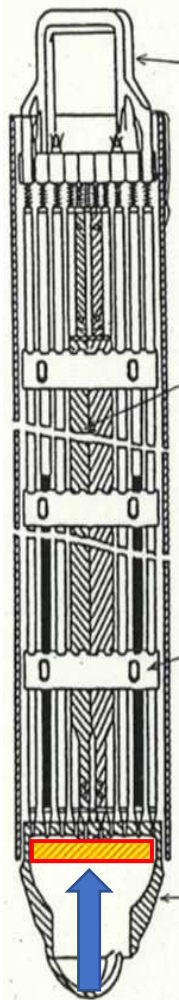
技-⑤

以上

## 【参考】燃料フィルタに対する圧損試験（2 / 2）

（平成24年8月意見聴取会資料 P8,15,16）

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



デブリが燃料フィルタに到達したと仮定した圧損試験の結果からも、LOCA後の長期冷却に必要な流量が確保できることを確認

試験①の結果から、局所圧力損失係数を算出：技-⑥  $\square$   $\text{cm}^{-4}$ （19～22頁参照）



試験①の局所圧力損失係数を用いて実機冷却材流量を評価：技-⑦  $\square$   $\text{kg/s}$



LOCA後の長期的な冷却を行うために必要な流量 技-⑧  $\square$   $\text{kg/s}$  以下を上回る

なお、試験②についても、局所圧力損失係数が試験①の範囲内であることを確認（23～27頁参照）

（試験①、②ともに、繊維質デブリを投入（試験②ではケイ酸カルシウムも投入）  
 実際は繊維質保温材を撤去するため、本評価よりもさらに安全裕度が高くなる  
 （本評価は、条件を厳しく設定して実施したもの）

燃料フィルタにデブリを投入  
 燃料下部への流量を評価

## まとめ

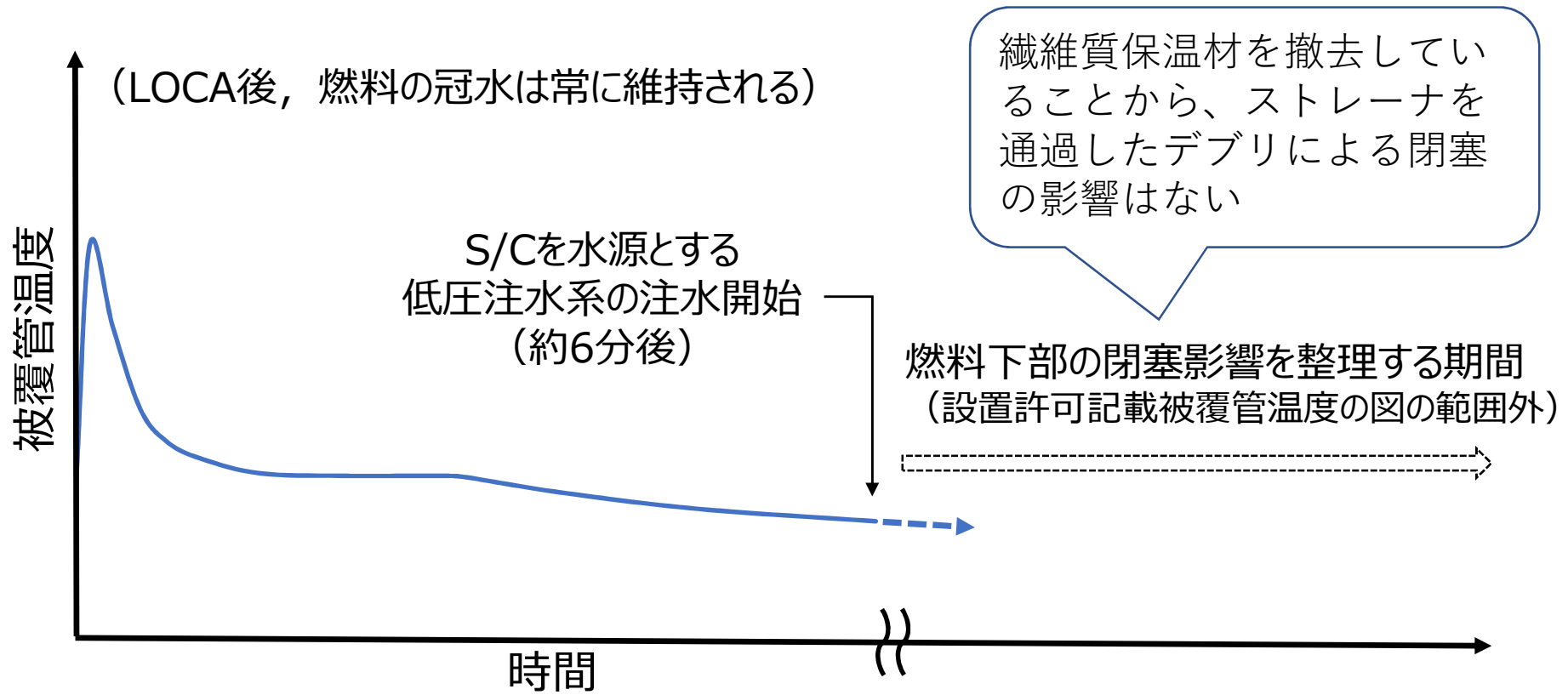
- 国内BWRプラントは、繊維質保温材の撤去※やストレナの大型化、格納容器内の清掃等を実施しており、デブリによるストレナ閉塞事象に対して裕度を向上させる取り組みを実施している
  - 〔※新規規制基準対応の設工認においてSA時のECCSストレナ圧損評価が審査対象となるため、繊維質保温材の撤去計画を反映した条件にて評価を実施している。プラント再稼働までに繊維質保温材を撤去予定〕
- ストレナを通過したデブリによる炉心への影響に関しては、燃料上部に閉塞の影響はないこと、燃料下部についても薄膜効果の要因となる繊維質保温材を撤去していることから、LOCA後の冷却に影響のないことを確認している（LOCA（設計基準事故）時の安全評価結果に影響なし）
- 現状得られている知見から、安全上問題はないと考えているが、引き続き最新知見の収集を行い安全性の向上に関する取り組みを進めていく

---

## 参考

---

# 【参考】LOCA（設計基準事故）時 被覆管温度の推移例（ABWR※）



※ ここでは、ECCS（高圧炉心注水系を除く）の注水箇所がシュラウド外であり、ECCSによる注水がRPV下部を經由して燃料下部から供給されるABWRについて記載する。6頁及び8頁のとおり、燃料上部及び下部いずれもECCSストレーナを通過したデブリによる影響はないものの、仮に繊維質保温材が撤去されていない状況を仮定すると、燃料下部から冷却材が供給される場合には燃料下部の閉塞影響を整理する必要がある。なお、BWR5ではECCSはシュラウド内の炉心上部から注水される。

【参考】流量関連 参考例 (KK6/7)

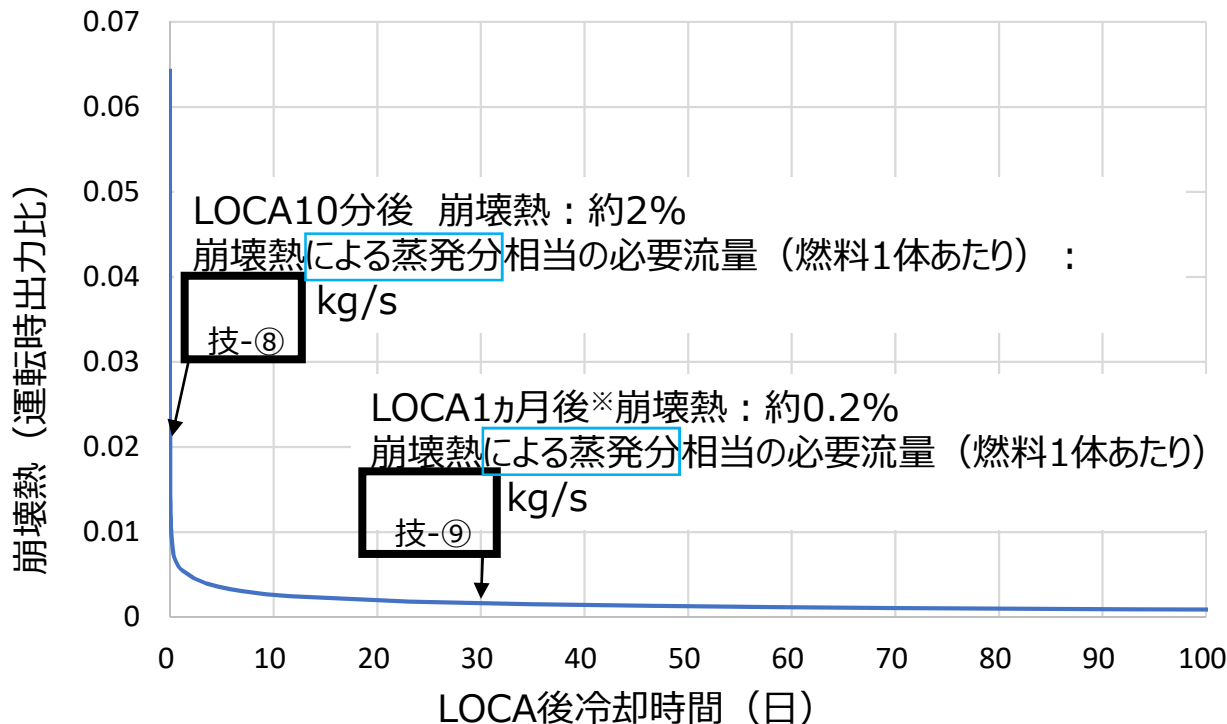
枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

【運転中／LOCA直後 燃料集合体内流量 (目安)】

- ・運転中：17 kg/s程度 (定格炉心流量52200t/h÷872体=16.6kg/s (バイパス流量無し))
- ・LOCA直後：7 kg/s程度 (定格炉心流量52200t/h×0.4÷872体=6.7kg/s (バイパス流量無し))
  - LOCA (DBA) では外電喪失を仮定しており、RIPが全台トリップし、自然循環により炉心流量は定格比約0.4まで低下

【LOCA後長期冷却 必要流量】

【参考 注水流量】



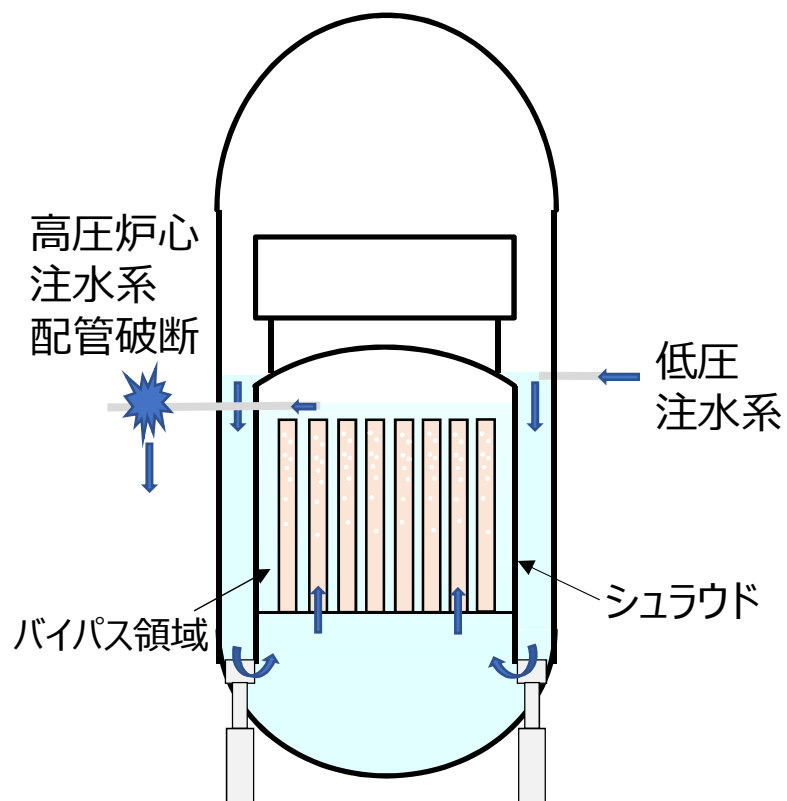
【低圧注水系1系統 定格流量】  
 ・954m<sup>3</sup>/h  
 ➢燃料1体あたり約0.3kg/s  
 (954m<sup>3</sup>/h÷872体×1000÷3600)

【LOCA後低圧注水系】  
 ・LOCA約6分後に低圧注水系2系統注水開始  
 ・LOCA約15分後に低圧注水系1系統で注水  
 (1系統はPCVスプレーに切替え)

※LOCA解析 (DBA) では、格納容器内圧力・温度・水素濃度等をLOCA1ヵ月後まで確認している

# 【参考】LOCA（設計基準事故）時の炉心への注水状況例

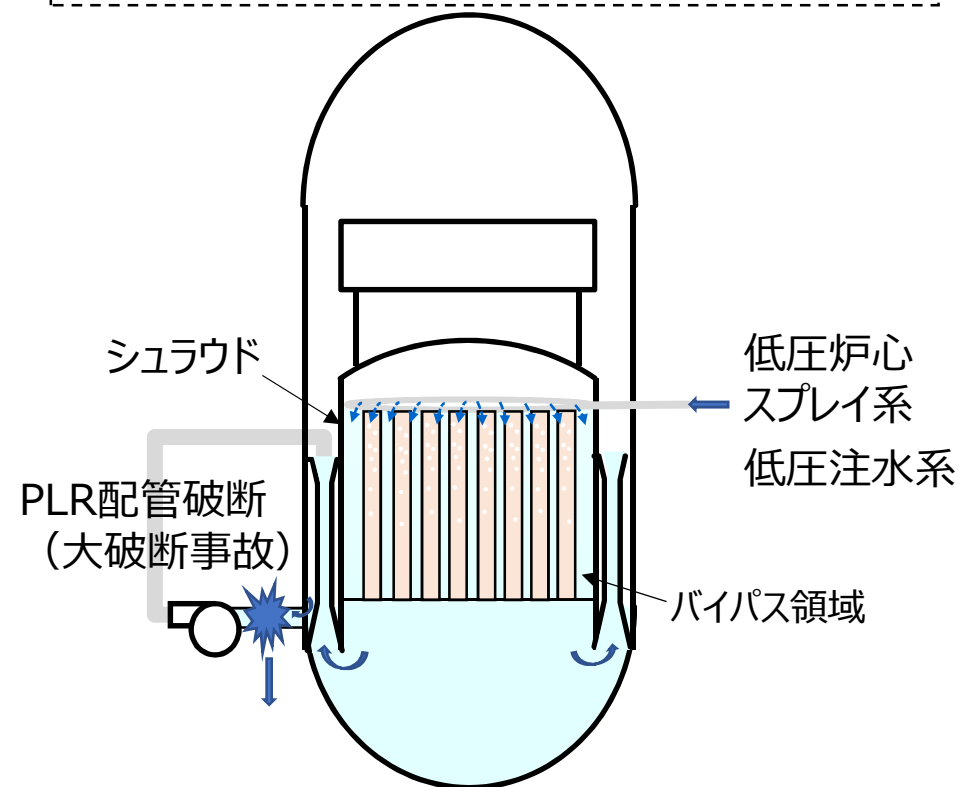
LOCA後、冠水維持



低圧注水系にてシュラウド外に注水

ABWR

LOCA後、一時燃料露出するが、スプレイ水の一部燃料内流入、燃料外側（バイパス領域）水位上昇後に燃料上部への冷却材流入（まわり込み）により、再冠水

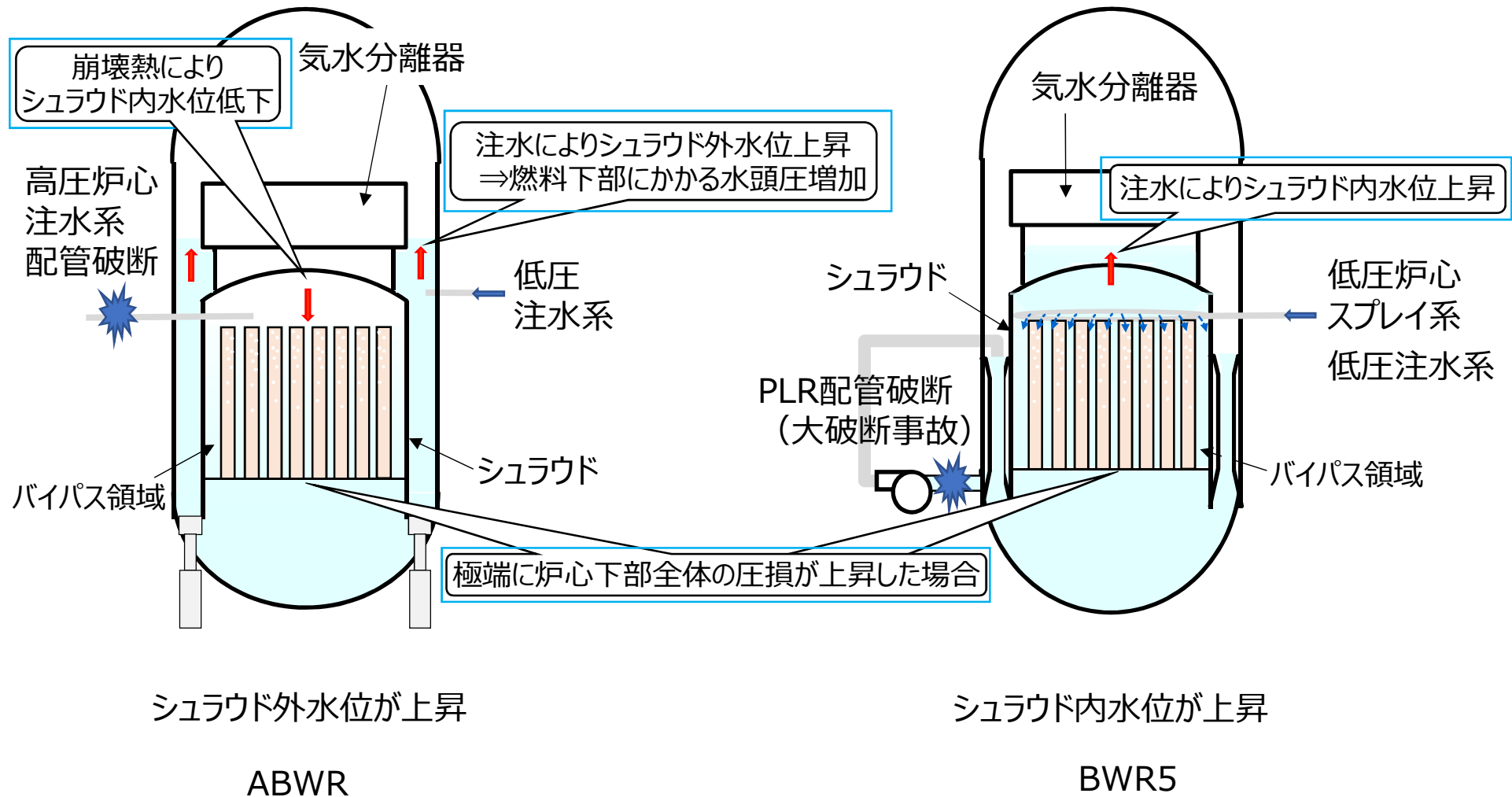


低圧炉心スプレイ系及び低圧注水系にてシュラウド内（炉心）に注水

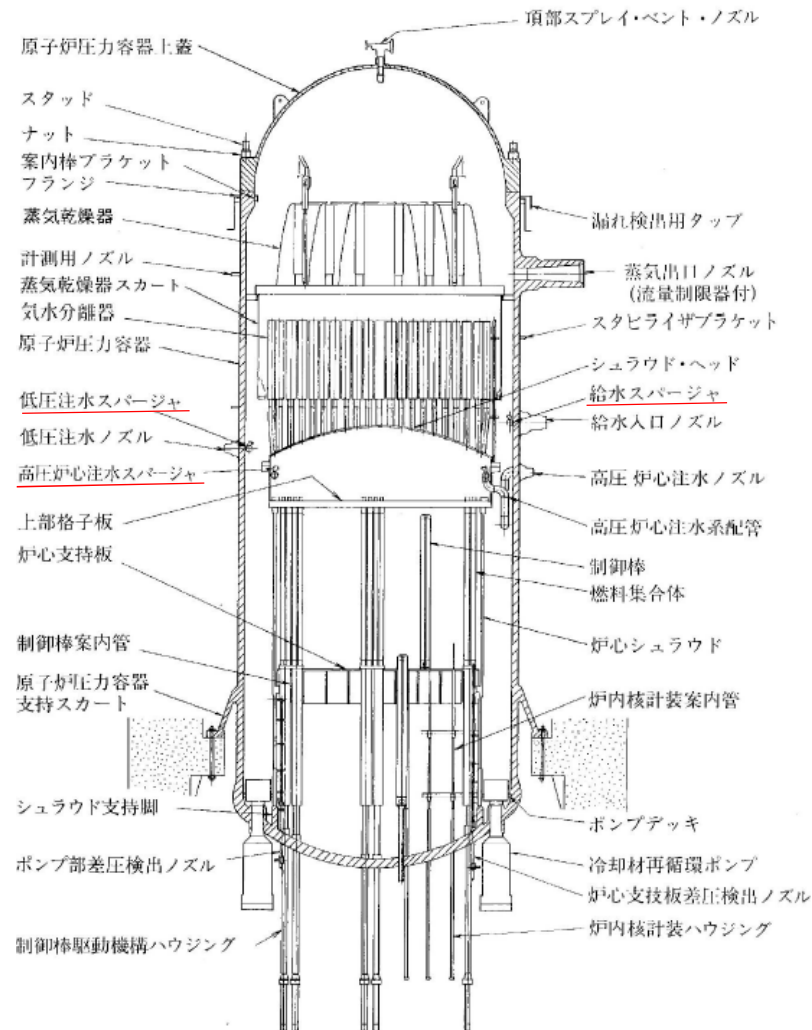
BWR5



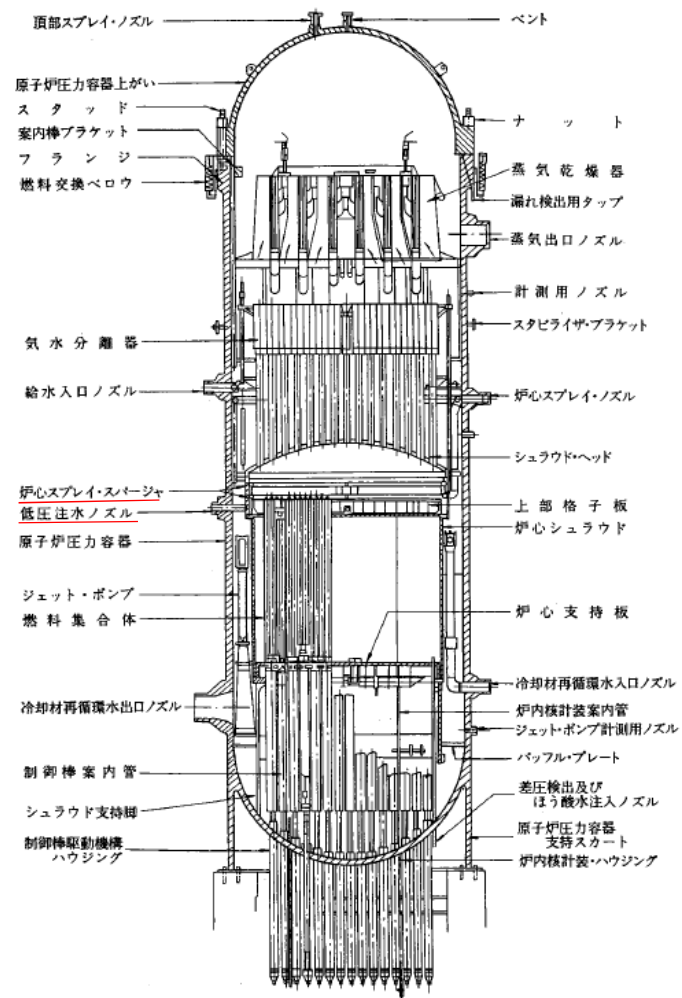
【参考】仮に炉心下部全体の圧損が上昇した場合のイメージ



# 【参考】原子炉压力容器断面図例

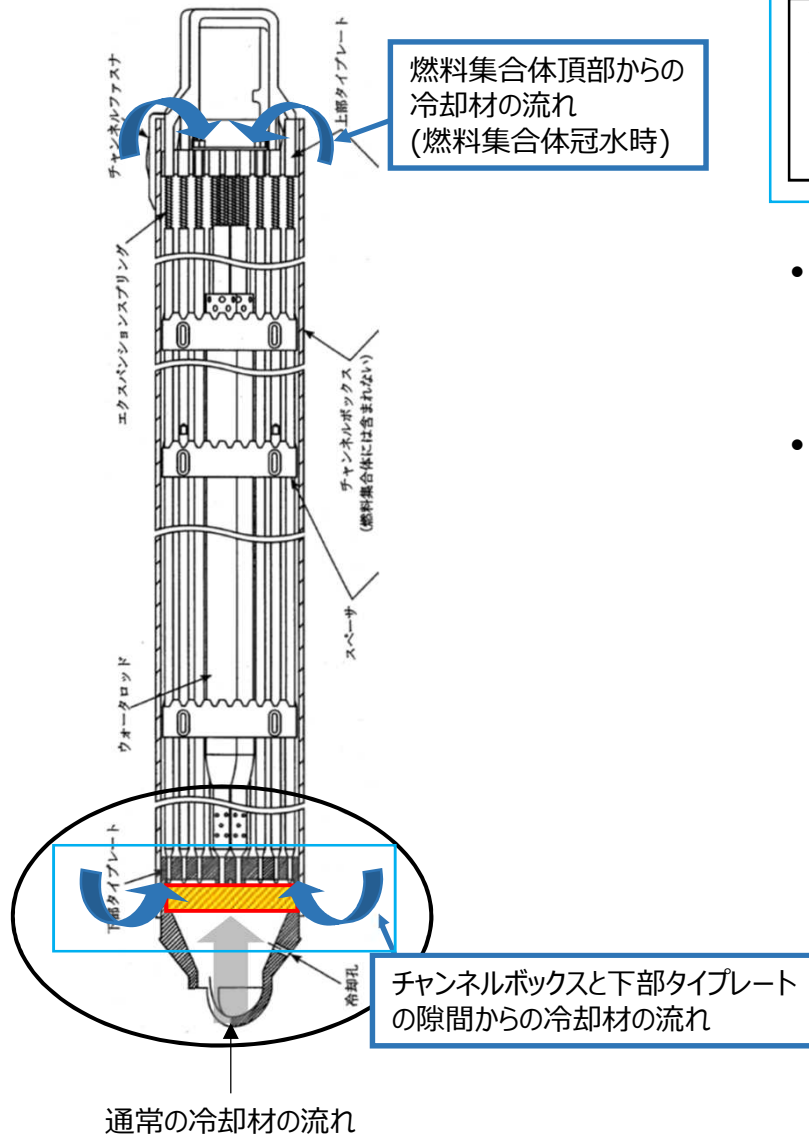


ABWR



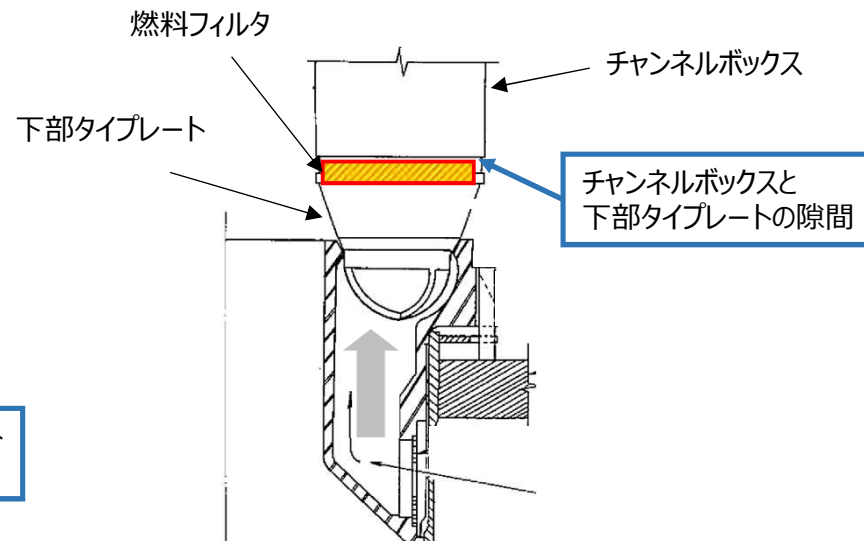
BWR5

# 【参考】LOCA後の長期冷却性 補足



燃料下部のフィルタ部を通じた燃料集合体内部への流れ以外にも、長期冷却性評価では考慮していないが、以下に示す冷却材の流れがある

- チャンネルボックス外側と燃料集合体内の水頭差により、チャンネルボックスと下部タイプレートの隙間からも、燃料集合体内へ冷却材が流入する
- また、燃料集合体が冠水している場合は、燃料集合体頂部から燃料集合体内に冷却材が流入する



### 【参考】燃料フィルタに対する試験 ～Defenderによる代表性～

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

- 燃料フィルタの圧損試験については、Defenderの圧損試験で代表する  
燃料フィルタにはメーカ及びフィルタ設計の違いによりタイプが幾つかあるが、ECCSストレーナよりメッシュサイズが小さいのはDefenderのみ

#### 【メッシュサイズ比較】

Defender < ECCSストレーナ < 他タイプ燃料フィルタ、燃料棒間隙や上部タイププレート

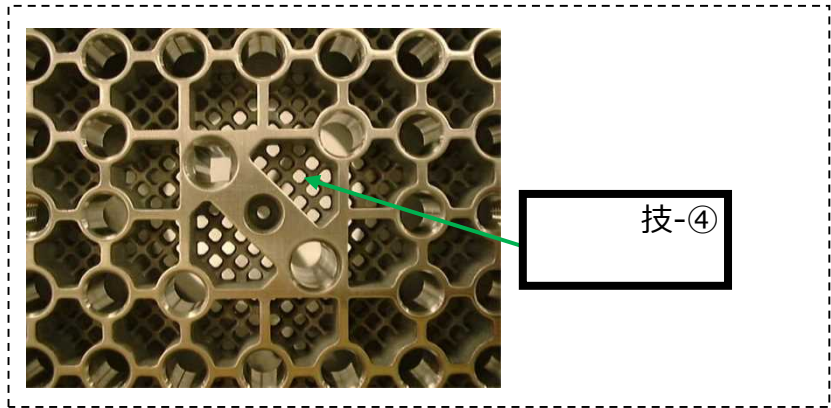
#### 【メッシュサイズの例（KK7、9×9A型燃料※）】

| Defender | ECCSストレーナ | 従来型フィルタ | 燃料棒間隙    | 上部タイププレート |
|----------|-----------|---------|----------|-----------|
| 技-③      | 技-①       | 技-④     | 約3mm（隣接） | 技-②       |

※9×9B型燃料の燃料フィルタメッシュサイズは □ 技-⑤ 以上



9×9A型燃料 Defender



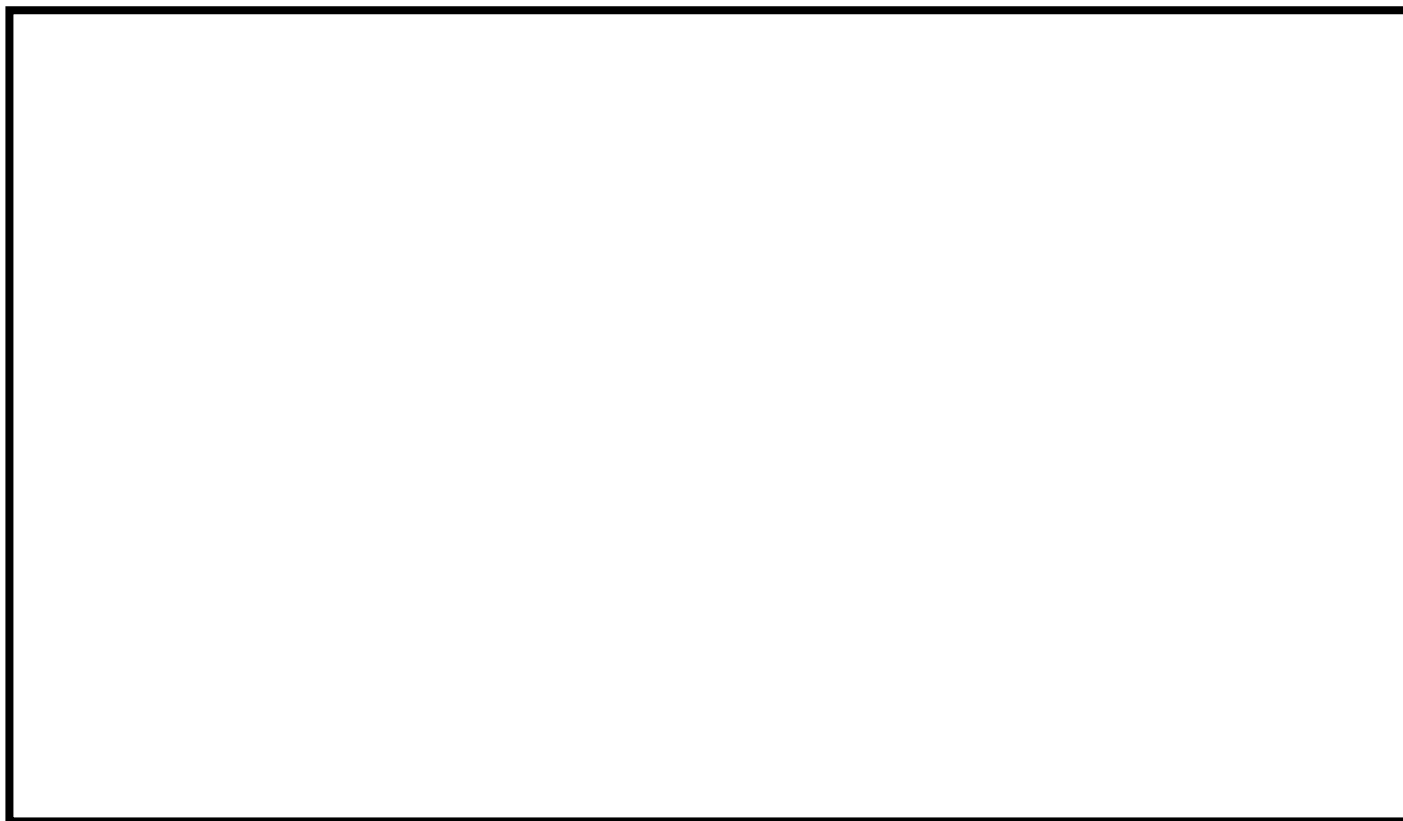
9×9A型燃料 従来型フィルタ

## 【参考】燃料フィルタに対する試験①（1 / 5） ～試験結果～

（平成24年8月意見聴取会資料 P11）

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

- ・米国におけるDefender圧損試験の結果（繊維質異物 □ 技-⑩ 投入）
- ・異物投入後、局所圧力損失は □ 技-⑪ 程度（流量 □ 技-⑫ ）



試験装置：試験②と同様（23頁）

## 【参考】燃料フィルタに対する試験①（2 / 5） ～実機流量評価～

（平成24年8月意見聴取会資料 P8,15,16）

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

### 【LOCA後の長期冷却性について】

| 試験  | 流量 W<br>[kg/s] | 局所圧力損失 dP<br>[kPa] | 局所圧力損失係数 K/A <sup>2</sup><br>[cm <sup>-4</sup> ] |
|-----|----------------|--------------------|--|
| 試験① | 技-⑫            | 技-⑪                | 技-⑥  |

$dP = W^2 \times (K/A^2) / 2\rho g$  より、局所圧力損失係数  $K/A^2$  を算出（密度  $\rho : 1g/cm^3$ ）



- ・試験結果から求められた局所圧力損失係数 □ cm<sup>-4</sup> を用いて、LOCA発生後を模擬した実機評価条件（自然循環状態）での冷却材流量を評価。
- ・その結果、試験後の局所圧力損失係数を用いた場合も □ kg/s 程度となり、LOCA発生後の長期的な冷却を行うために必要な流量（崩壊熱による蒸発分相当）の □ kg/s 以下を上回る。

技-⑧



LOCA発生後の長期冷却に必要な流量を確保

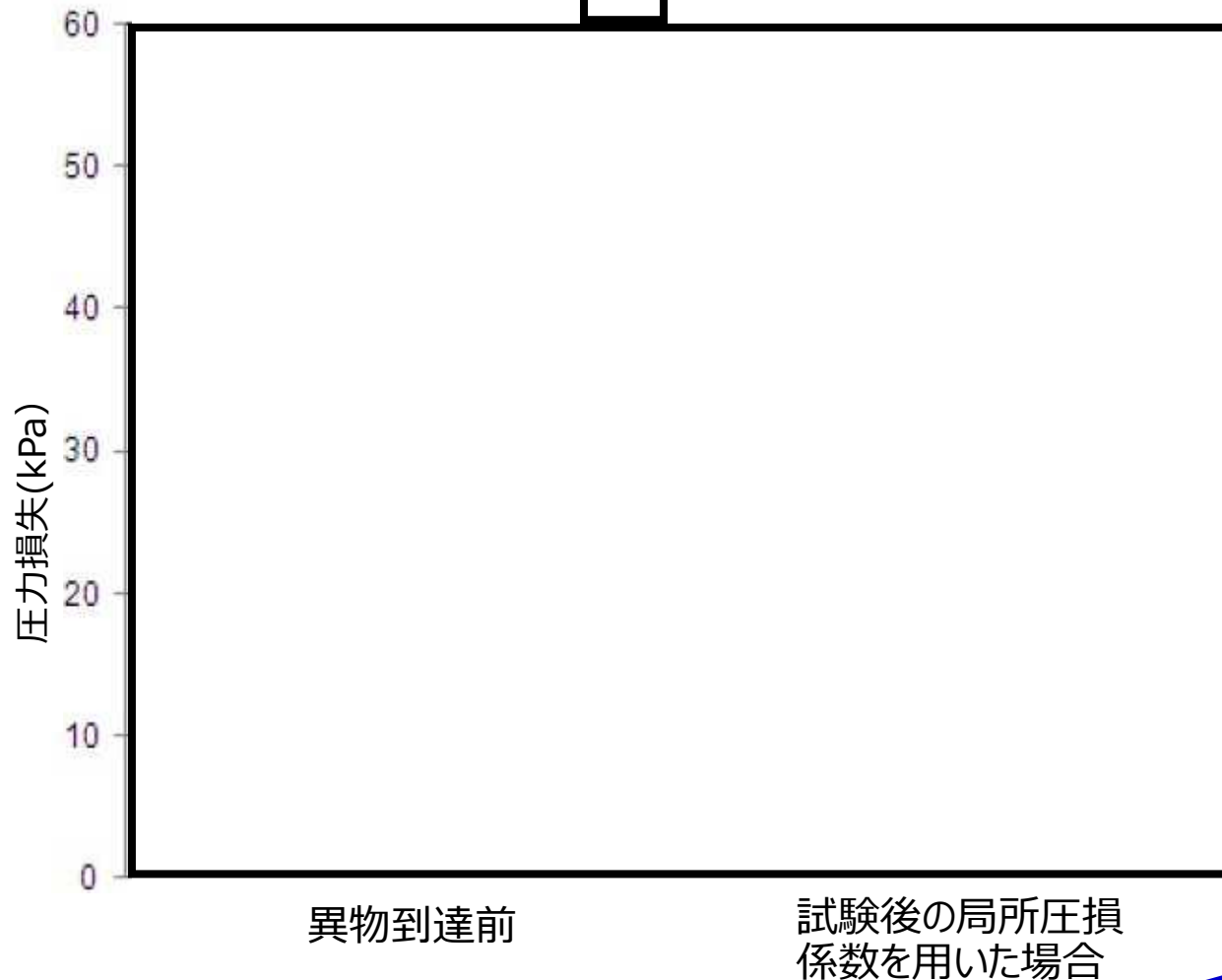
〔試験では、繊維質デブリを投入している。実際は繊維質保温材を撤去するため、本評価よりもさらに安全裕度が高くなる（本評価は、条件を厳しく設定して実施したもの）〕

【参考】燃料フィルタに対する試験①（3 / 5） ～実機流量評価～

枠部 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

- 異物到達前は、位置圧損（水頭圧）が支配的で、流れによる圧損は非常に小さい
- 試験後の局所圧損係数   $\text{cm}^{-4}$  を適用し評価 ⇒ 実機冷却材流量：約   $\text{kg/s}$

技-⑦



注水流量例（KK6/7）

【低圧注水系1系統 定格流量】

・954 $\text{m}^3/\text{h}$

＞燃料1体あたり約0.3 $\text{kg/s}$

(954 $\text{m}^3/\text{h} \div 872 \text{体} \times 1000 \div 3600)$

【LOCA後低圧注水系】

・LOCA約6分後に低圧注水系2系統注水開始

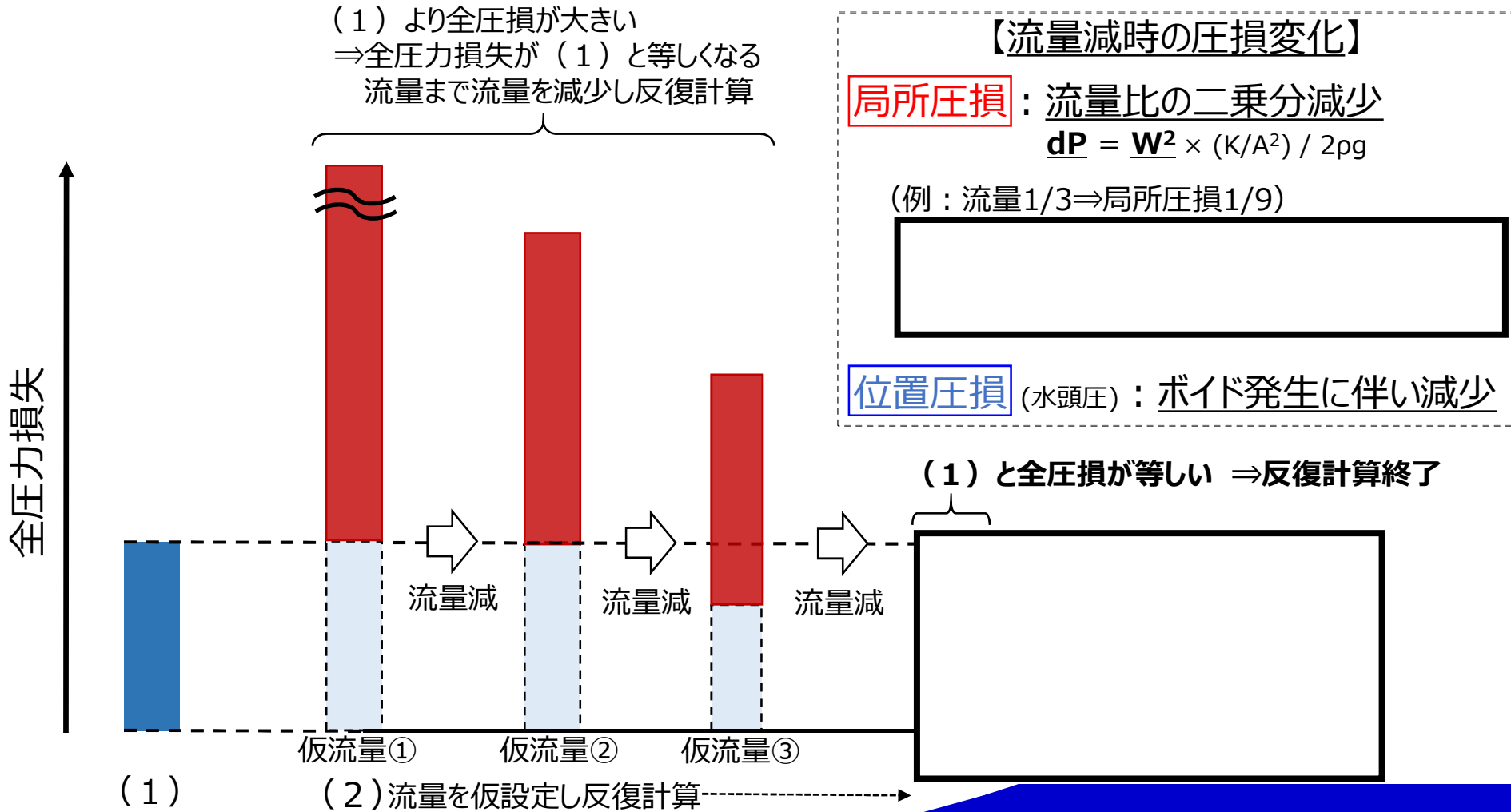
・LOCA約15分後に低圧注水系1系統で注水  
(1系統はPCVスプレーに切替え)

【参考】燃料フィルタに対する試験① (4 / 5)

～実機流量計算の流れ イメージ～

枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

- (1) 異物到達前の全圧力損失を算出 (⇒冠水状態であり、ほぼ位置圧損 (水頭圧))
- (2) 試験後の局所圧力損失係数を使用し、全圧力損失が (1) と等しくなる流量まで反復計算





【参考】燃料フィルタに対する試験①（5 / 5） ～実機流量評価方法～

（平成24年8月意見聴取会資料 P15,16 参照）

枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

・LOCA 発生後の状況を模擬する場合は、試験から求められた局所圧損係数 $K/A^2$ を用い、異物到達前／試験後の局所圧力損失係数を用いた場合の炉心入口オリフィスから集合体出口までの圧力損失 $dP$ 全体が等しくなるよう、試験後の状態を模擬した場合の冷却材流量を評価する。

・評価にあたって、全圧力損失 $dP_{全体}$ は以下の式で与えられる。

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

$dP_{全体}$  : 炉心入口オリフィスから集合体出口までの圧力損失

$dP_{水頭}$  : 位置圧力損失（水頭圧） ← 流量が下がると、崩壊熱によりボイドが増加し、水頭圧低下

$dP_{局所, 入口}$  : 燃料フィルタ付近の局所圧力損失 ← 燃料フィルタに異物が詰まると、圧力損失増加

$dP_{局所, バンドル}$  : スペーサなどの局所圧力損失

$dP_{摩擦}$  : 摩擦圧力損失

$dP_{加速}$  : 加速圧力損失

※異物到達前は、右辺の項のうち、水頭の項がほとんど全てを占める

【試験後の局所圧力損失係数を用いた場合 圧損評価結果】

・燃料下部に流入する冷却材の圧力が保守的に一定（シュラウド外からの水頭圧が一定）とした場合において、燃料内の全圧力損失は一定となることから、燃料フィルタ部の局所圧力損失の増加と、ボイド増加による水頭圧低下が釣り合い、冷却材流量は 技-⑦ kg/s程度となる。

## 【参考】燃料フィルタに対する試験②（1 / 5） ～試験条件～

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

### 【試験の概要】

- 試験タンクに異物を投入し、ポンプで循環させて、燃料フィルタの局所圧損を測定（単チャンネル試験）

### 【投入するデブリの条件】

- デブリ種類：繊維質（繊維質保温材を撤去する（撤去完了プラントも有り）が、保守的に設定）  
ケイ酸カルシウム（粒子/固形物の代表として設定）
- 想定デブリ発生量：保温材撤去前の集約結果※1より、Defender装荷の可能性があり保温材量の多い代表プラントについて、格納容器内の繊維質及びケイ酸カルシウム保温材全量がECCSストレーナ到達と仮定（内規でのZOIや水源移行割合を考慮しない、保守的な値）
  - 繊維質：5600kg（70m<sup>3</sup>）
  - ケイ酸カルシウム：3100kg（20m<sup>3</sup>）
- ECCSストレーナ通過量：米国の試験※2を参考に、保温材全量のうち0.4%がストレーナを通過すると仮定
  - 繊維質：22kg
  - ケイ酸カルシウム：12kg
- 投入デブリ量：ストレーナ通過量÷燃料体数（350体）の保温材量（均一に分布すると設定）を目安に、投入量を決定
  - 繊維質：64g/体 → 投入量120g
  - ケイ酸カルシウム：35g/体 → 投入量50+50g

※1：「非常用炉心冷却システムストレーナ及び格納容器再循環サンプスクリーン閉塞事象に関する報告徴収並びに沸騰水型原子力発電設備における設備上の対策状況に係る原子力安全委員会への報告について」（平成18年7月3日 経済産業省 原子力安全・保安院）

※2：NEDO-32686-A「Utility Resolution Guide for ECCS Suction Strainer Blockage Volume2」（October 1998 GE Nuclear Energy）

## 【参考】燃料フィルタに対する試験②（2 / 5） ～試験結果～

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

### 【試験内容】

以下のそれぞれの条件で流量を1,4,7kg/sに変化させて局所圧損を測定

- ②-1 繊維質を120g投入
- ②-2 ケイ酸カルシウムを50g追加投入
- ②-3 ケイ酸カルシウムをさらに50g追加投入

### 【試験結果】

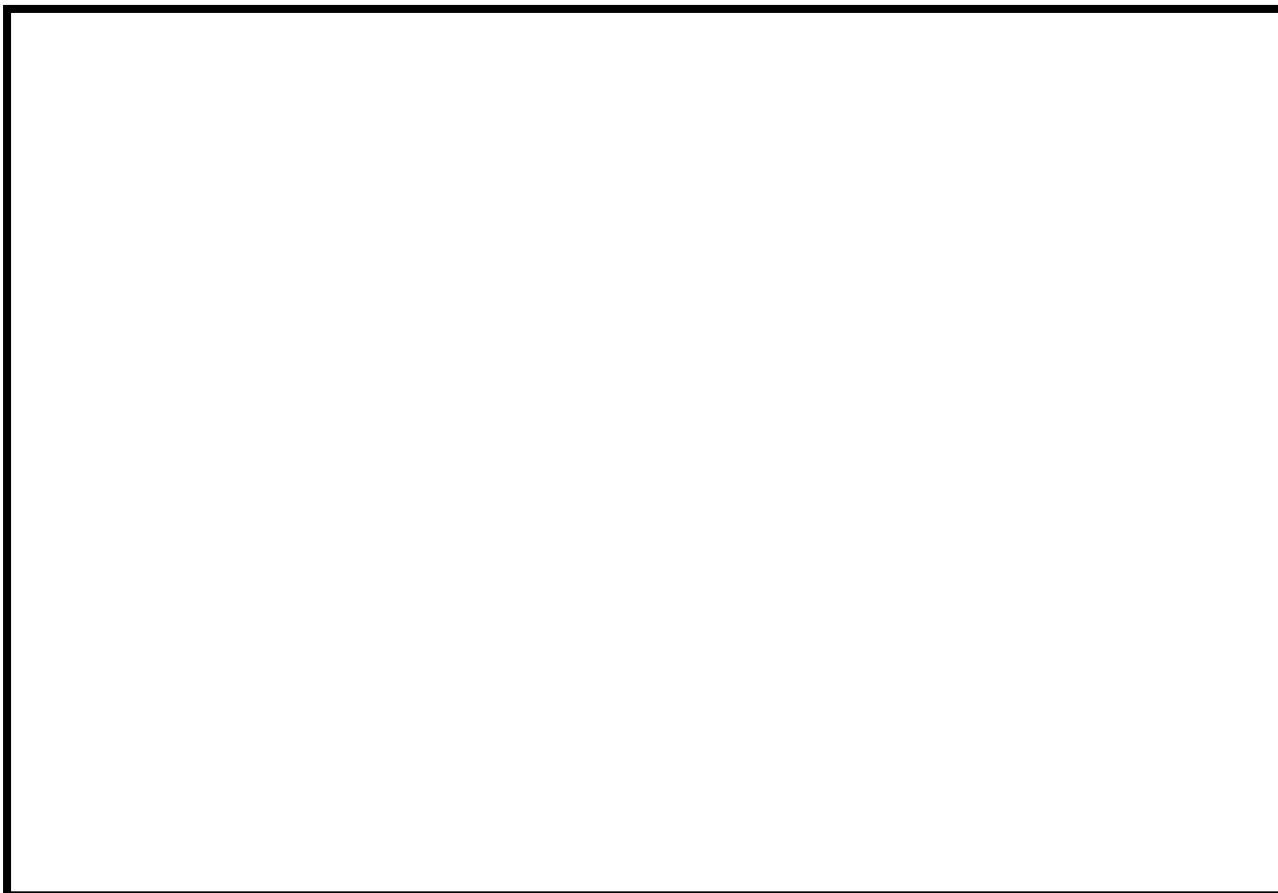
|     | 異物投入                    | 質量流量W [kg/s] | 局所圧力損失dP [kPa] | 局所圧力損失係数K/A <sup>2</sup> [cm <sup>-4</sup> ] |     |
|-----|-------------------------|--------------|----------------|--|-----|
| ②-1 | 繊維質 120g                |              |                |  | 技-⑬ |
|     |                         |              |                |  | 技-⑭ |
|     |                         |              |                |  | 技-⑮ |
| ②-2 | (追加)<br>ケイ酸カルシウム<br>50g |              |                |  | 技-⑯ |
|     |                         |              |                |  | 技-⑰ |
|     |                         |              |                |  | 技-⑱ |
| ②-3 | (追加)<br>ケイ酸カルシウム<br>50g |              | 技-⑱            | 技-⑲  | 技-⑳ |
|     |                         |              |                |  | 技-㉑ |
|     |                         |              |                |  | 技-㉒ |

$dP = W^2 \times (K/A^2) / 2\rho g$  より、局所圧力損失係数K/A<sup>2</sup>を算出（密度ρ : 1g/cm<sup>3</sup>）

## 【参考】燃料フィルタに対する試験②（3 / 5） ～試験結果～

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

- ②-1投入後、1kg/sで投入した繊維質の異物が全量捕捉されたことを確認
- ②-2、②-3投入後、1kg/sで徐々に圧力損失が上昇していること、②-2投入後と比較し②-3投入後の方が圧力損失が高いことから、投入したデブリがフィルタに捕捉されている状況



技-19

技-18

【参考】燃料フィルタに対する試験②（4 / 5） ～長期冷却性評価～

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

【LOCA後の長期冷却性について】

- 試験②の結果から求めた局所圧力損失係数の最大値は □<sup>技-⑳</sup> cm<sup>-4</sup>
  - 試験②の局所圧力損失係数は、試験①の必要な流量が確保できることを評価済みの試験の範囲内であることを確認（試験①の局所圧力損失係数： □<sup>技-⑥</sup> cm<sup>-4</sup>）
- 試験②ではケイ酸カルシウムに加え、事前に繊維質デブリを投入しているが、薄膜効果による閉塞などの状況は確認されなかった。
  - 実際は繊維質保温材を撤去するため、ケイ酸カルシウムのみが燃料フィルタに到達したと仮定しても、さらに安全裕度が高くなると考えられる。

格納容器に存在する実機のデブリを想定したとしても、本試験条件に含まれると考えられ、LOCA時においても長期冷却維持可能

【参考】燃料フィルタに対する試験②（5 / 5） ～試験後のDefender外観～

---

- 試験後の外観写真から、ケイ酸カルシウムが燃料フィルタに到達した場合でも、薄膜効果による閉塞などの状況は確認されなかった





## ストレーナを通過したデブリによる下流機器（ポンプ、弁、熱交換器）への影響整理

### ● 下流機器（ポンプ、弁、熱交換器）への影響を下表の通り整理

| 対象機器 | 閉塞   | 摩耗   |
|------|--|--|
| ポンプ  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ インペラケーシングの摺動ギャップや軸受けのギャップはストレーナの最小部よりも矮小だが、高速回転するインペラ等が安定した閉塞部の形成を妨げること、デブリはインペラ等により細かく碎かれることから、閉塞する可能性は低い</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 想定されるデブリのうち、比較的硬度が低いものは、異常摩耗の原因となる可能性は低い</li> <li>✓ 錆片や塵土については、高速回転するポンプインペラ等へ衝突することで摩耗を引き起こす可能性があるが、固形物は比重が高く、運転を継続するに従い、系統の各部に沈殿するため、異常摩耗を発生する可能性は低い</li> </ul> |
| 弁    | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 事故時に注水経路を構成するECCS系の弁は、運転中は全開状態である為、弁の口径から、閉塞する可能性は低い</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 弁箱の肉厚は配管よりも大きく、異物による摩耗の影響は問題ない範囲と考えられる</li> </ul>   |
| 熱交換器 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 伝熱管の間隙又は口径は、ストレーナを通過するデブリサイズよりも大きいため、伝熱性能に影響を与えるような閉塞の可能性は低い</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 想定されるデブリのうち、比較的硬度が低いものは、異常摩耗の原因となる可能性は低い</li> <li>✓ 錆片や塵土については、比重が高く、運転を継続するに従い、系統の各部に沈殿して流入量が低下することから、有意な影響はないと考えられる</li> </ul>                                  |

以上の理由からポンプ、弁、熱交換器への影響は小さいと考えられる



## 【参考】設置変更許可添付十への影響について

▶ ECCSストレーナを通過したデブリによる設置変更許可添付十への影響は下記の通り

✓ **LOCA（設計基準事故）時：**

⇒ **設置変更許可添付十での評価に影響を及ぼすものではないと考える**

- ・下流機器への影響（閉塞、摩耗）：影響が小さいことを確認（29頁参照）
- ・炉心（燃料）への影響（閉塞）：燃料上部／下部に影響がないことを確認（5～10頁参照）
- ・炉心（燃料）への影響（摩耗）：影響が小さいことを確認（28頁参照）

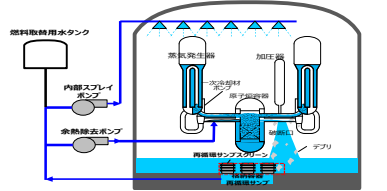
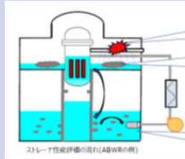
✓ **LOCA（重大事故等）時：**

⇒ **設置変更許可添付十での評価に影響を及ぼすものではないと考える**

- ・下流機器への影響（閉塞、摩耗）：（審査の完了していないプラントもあるが）ストレーナの性能に問題は無く、上記設計基準事故時の評価と同様、影響は小さいと考える。
- ・炉心（燃料）の影響：下記の通り影響は小さい
  - －「炉心損傷防止」シナリオ（LOCA時注水機能喪失）：  
有効性評価で示す事象発生から7日後までは、外部水源による注水とPCVバントによるフィードアンドブリードにより安定状態を維持することから影響はない。なお、7日後以降の長期的な安定状態の維持のため代替循環冷却系又はRHRによりS/Cを水源とした操作を実施するが、炉心損傷前には格納容器内の機器・構造物と反応する可能性のある薬品等を添加しないことから、化学影響を考慮する必要はなく、上記設計基準事故時の評価と同様、影響はないと考える。
  - －「格納容器破損防止」シナリオ（格納容器過圧・過温破損）：  
炉心損傷後の本シナリオにおいてECCSストレーナが使用されるのは、代替循環冷却系による格納容器除熱操作であるが、代替循環冷却系ポンプのNPSHが確保されることを設工認で審査頂いている。なお、炉心損傷を判断した場合において、外部への放射性物質の放出低減の観点で薬品を添加しpH制御を行うことから、格納容器内の機器・構造物と反応し、発生する化学析出物についても考慮している。  
また、このシナリオでは、燃料は損傷しており、炉心冠水維持が重要な状況であることから、影響はないと考える。

※国内BWRプラントでは繊維質保温材を金属保温材に取替えており、ストレーナ閉塞事象に対して裕度を向上させる取り組みを行っている。今回の評価・試験結果は保守的に繊維質保温材を考慮しているため、実際にはさらに裕度が確保されている。

スライド追加

|                        |              | PWR   | BWR   |
|------------------------|--------------|---|---|
| サンプスクリーン/ECCCSストレナ性能評価 | 設備構成 (格納容器内) | <ul style="list-style-type: none"> <li>1次系全体(SG、加圧器等)を格納容器内に収容<br/>⇒CV内構造体、保温対象設備が多い<br/>⇒LOCA時ジェットによる破損塗装/保温材が多い</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉で直接蒸気を発生させることから、SG/加圧器が不要<br/>⇒格納容器内構造体、保温対象設備が少ない<br/>⇒LOCA時ジェットによる破損塗装/保温材が少ない</li> </ul>  |
|                        | 規制要求         | 非化学デブリによる異物圧損は <b>薄膜効果が発生する事を前提</b> としても許容圧損以下であること。  |   |
|                        | 設計対応         | <ul style="list-style-type: none"> <li>格納容器内構造体、保温対象設備が多いが圧損低減のためのスクリーン大型化の構造上の制約がない<br/>⇒<b>スクリーン大型化により圧損低減を図る</b><br/>(スクリーンの異物圧損評価に影響しないため、繊維系保温材量低減は不要と評価)</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>格納容器内構造体、保温対象設備が少ない</li> <li>圧損低減のためのストレナ大型化は構造上の制約がある(配置スペース、耐震評価上)<br/>⇒<b>ストレナ大型化(従来から実施)に加え繊維質保温材を撤去し、圧損低減を図る</b></li> </ul>   |
|                        | 設備対応方針       | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>スクリーン大型化(スクリーン表面積拡大)で対応(繊維保温材の取替は実施しない)</b></li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>繊維保温材を可能な限り撤去</b></li> <li><b>ストレナ大型化(従来から実施)の組み合わせで対応</b></li> </ul>   |
| 下流炉内影響                 | 燃料集合体        | <ul style="list-style-type: none"> <li>オープンチャンネル<br/>(局所から流入した冷却材が炉心全体へ広がる)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>クローズチャンネル<br/>(他の燃料集合体との冷却材の移動はない)</li> </ul>  |
|                        | 対応方針         | <ul style="list-style-type: none"> <li>非化学デブリによる炉心入口部の圧損は小さい</li> <li>化学デブリ析出後は代替流路から冷却材供給可能</li> <li>非化学/化学デブリによるLOCA後の炉心長期冷却への影響はない</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>燃料上部は流路が広く、デブリによる閉塞は生じない</li> <li>繊維保温材を撤去しており、LOCA後の炉心長期冷却性への影響はない</li> <li>燃料下部に仮に繊維質含め実機を包含する保守的な条件のデブリが到達したと仮定しても、冷却材を供給可能</li> </ul>  |