

資料 1 - 2 - 2

泊発電所 3 号炉 審査資料	
資料番号	SA47H r. 4. 1
提出年月日	令和5年4月6日

## 泊発電所 3 号炉

設置許可基準規則等への適合状況について  
(重大事故等対処設備)  
補足説明資料

47条

令和5年4月  
北海道電力株式会社

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

## 目次

今回提出範囲

### 47 条

47-1 SA 設備基準適合性一覧表

47-2 配置図

47-3 試験・検査説明資料

47-4 系統図

47-5 容量設定根拠

47-6 単線結線図

47-7 接続図

47-8 保管場所図

47-9 アクセスルート図

47-10 その他設備

47-11 ポンプ車の配備台数について

47-12 可搬型大型送水ポンプ車の構造について

47-13 非常用炉心冷却設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書

47-14 海水注入後に再循環運転を仮定した際の格納容器再循環サンプスクリーンの影響評価について

47-15 再循環サンプスクリーンの健全性に関する検討課題に係る知見について

47-16 可搬型重大事故等対処設備の接続口等について

47-17 CV 冠水時に水没する電気ペネトレーション部からの漏えいの可能性について

47-13 非常用炉心冷却設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書

# 目 次

## 1. 重大事故時における再循環運転について

### 1.1 概 要

### 1.2 評価方法

### 1.3 格納容器再循環サンプスクリーンへの異物付着量の評価

### 1.4 異物付着による圧損上昇の評価

### 1.5 非常用炉心冷却設備のポンプの有効吸込水頭評価結果

#### 1.5.1 有効吸込水頭算定結果

#### 1.5.2 有効吸込水頭評価結果



## 1. 重大事故時における再循環運転について

### 1.1 概要

重大事故等時の各事象のうち、格納容器再循環サンプスクリーン（以下「サンプスクリーン」という。）の圧損に対する影響が設計基準事故時に包絡されない評価条件のある事故事象を抽出し、その事象について設計基準事故時と同様に最も小さい有効 NPSH が必要 NPSH を上回ることを「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）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））（以下「内規」という。）に基づき評価を行う。

#### (1) 有効 NPSH 評価事象の抽出

重大事故等時の各事象におけるサンプスクリーン圧損に影響する評価条件を比較し、有効 NPSH を評価する事象として第 1-1 表の e の「原子炉格納容器の除熱機能喪失」時を抽出した。以下 a. から e. に事象抽出の詳細を示す。

##### a. 保温材等の破損影響範囲の影響

繊維状異物については、保温材の破損試験の結果を踏まえて異物量を設定しており、ZOI はループ室内全域に及んでいる。重大事故等時においても初期条件は、設計基準事故時と同等以下（大破断、中小破断又は破断なし）であり、異物が再循環サンプに流入する流路も変わらないため、ZOI の影響によるサンプスクリーンの圧損は設計基準事故時と同等以下となる。

##### b. 再循環流量の影響

重大事故等時における各事故事象では、再循環運転を実施しない、若しくは使用可能となるポンプは、高圧注入ポンプ（ m<sup>3</sup>/h）、余熱除去ポンプ（ m<sup>3</sup>/h）又は格納容器スプレイポンプ（ m<sup>3</sup>/h）の 1 台運転に限定され、再循環流量の影響によるサンプスクリーンの圧損は低減する。

##### c. 海水注水の影響

重大事故等時の各事故事象において、炉心損傷がない場合は海水を使用する事故事象はないため、海水注水については評価対象外とする。

##### d. 炉心損傷する場合の影響

重大事故等時の各事故事象において、炉心損傷する場合は再循環運転に期待していないため、炉心損傷時の再循環運転は評価対象外とする。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

e. 発生異物量に対する影響

重大事故等時の各事象（第 1-1 表の a から j）における発生異物量は以下の通りである。

(a) a から c 及び h から j の事象については、再循環運転について期待していないため評価対象外とする。

(b) d の事象について（高圧注入ポンプ再循環運転）

1 次冷却材管等の破断が生じないため、保温材等の異物については堆積異物のみとなる。ただし、化学影響生成異物の溶出源は堆積異物及び原子炉格納容器内に存在する金属アルミニウムも対象となるため、原子炉格納容器内雰囲気温度の高温継続時間が設計基準事故時と比べて長期化することにより、化学影響生成異物の発生量が増加する。

(c) e の事象について（高圧注入ポンプ再循環運転）

1 次冷却材管の大破断を想定するため、破損保温材量は設計基準事故時の評価と同じになる。また、原子炉格納容器内雰囲気温度の高温継続時間が設計基準事故時の評価と比べて長期化することにより、化学影響生成異物の発生量が増加する。

(d) f の事象について（余熱除去ポンプ再循環運転）

破断形態に対する破損保温材の発生量は e 事象と同じである。原子炉格納容器内雰囲気温度の高温継続時間は設計基準事故時と同等であるため、化学影響生成異物量は同じである。

(e) g の事象について（格納容器スプレイポンプ再循環運転）

大破断 LOCA を想定するため、破損保温材量及び化学影響生成異物量は設計基準事故時と同じである。



表 1-1 重大事故等時の再循環有効性についての概要（設計基準事故時における評価との相違）

炉心損傷がない場合		炉心損傷する場合			
事象（有効性評価シナリオ）	再循環*1	破断形態（RCS）	海水注水	保温材等異物*6	化学影響生成異物*1*6
a 2次系からの除熱機能喪失 (①)	なし	—	—	—	—
b 原子炉停止機能喪失 (⑤)	なし	—	—	—	—
c 格納容器バイパス (⑨⑩)	なし	—	—	—	—
d 全交流動力電源喪失 + 原子炉補機冷却機能喪失 (②③)	あり 流量大幅減 ( <input type="text" value=""/> m <sup>3</sup> /h)	破断なし	なし	大幅減少 (堆積異物のみ) 12.08m <sup>3</sup> ⇒0.36m <sup>3</sup>	増加*5 (527.58kg)
e 原子炉格納容器の除熱機能喪失 (④)	あり 流量大幅減 ( <input type="text" value=""/> m <sup>3</sup> /h)	大破断	なし	DBA と同じ*2	増加*5 (861.46kg)
f ECCS 注水機能喪失 (⑥⑦)	あり 流量大幅減 ( <input type="text" value=""/> m <sup>3</sup> /h)	中小破断	なし	DBA と同じ /大幅減少*2	DBA と同じ
g ECCS 再循環機能喪失 (⑧)	あり 流量大幅減 ( <input type="text" value=""/> m <sup>3</sup> /h)	大破断	なし	DBA と同じ*2	DBA と同じ
h 格納容器過温破損 高圧溶融物放出 格納容器雰囲気直接加熱 (⑫)	なし	—	—	—	—
i 格納容器過圧破損 原子炉容器外の溶融燃料—冷却材相互作用 溶融炉心・コネクタート相互作用 (⑪)	なし	—	—	—	—
j 水素燃焼 (⑬)	なし*3*4	—	—	—	—

注：表中の異物量は、泊発電所 3 号炉における設計基準事故時における評価結果と各事象での値を比較している。

\*1：設計基準事故時の再循環流量は  m<sup>3</sup>/h であり，化学影響生成異物量は 169.76kg である。

\*2：中小破断時の ZOI については規定なし。大破断時の ZOI については現行規定から変更はない。

\*3：有効性評価においては，再循環運転に期待していない。

\*4：格納容器再循環サンプスクリーンを介した再循環による冷却を行うシーケンスとしているが、これは水素発生に係る想定を厳しく見積もるためのシナリオである。炉心損傷時は、h, iと同じく自然対流冷却により冷却するが、この場合も格納容器健全性に問題はない。

\*5：高温継続時間が設計基準事故時と比べ長期化するため、液相部のAl, Si, Znは全析出を仮定する。

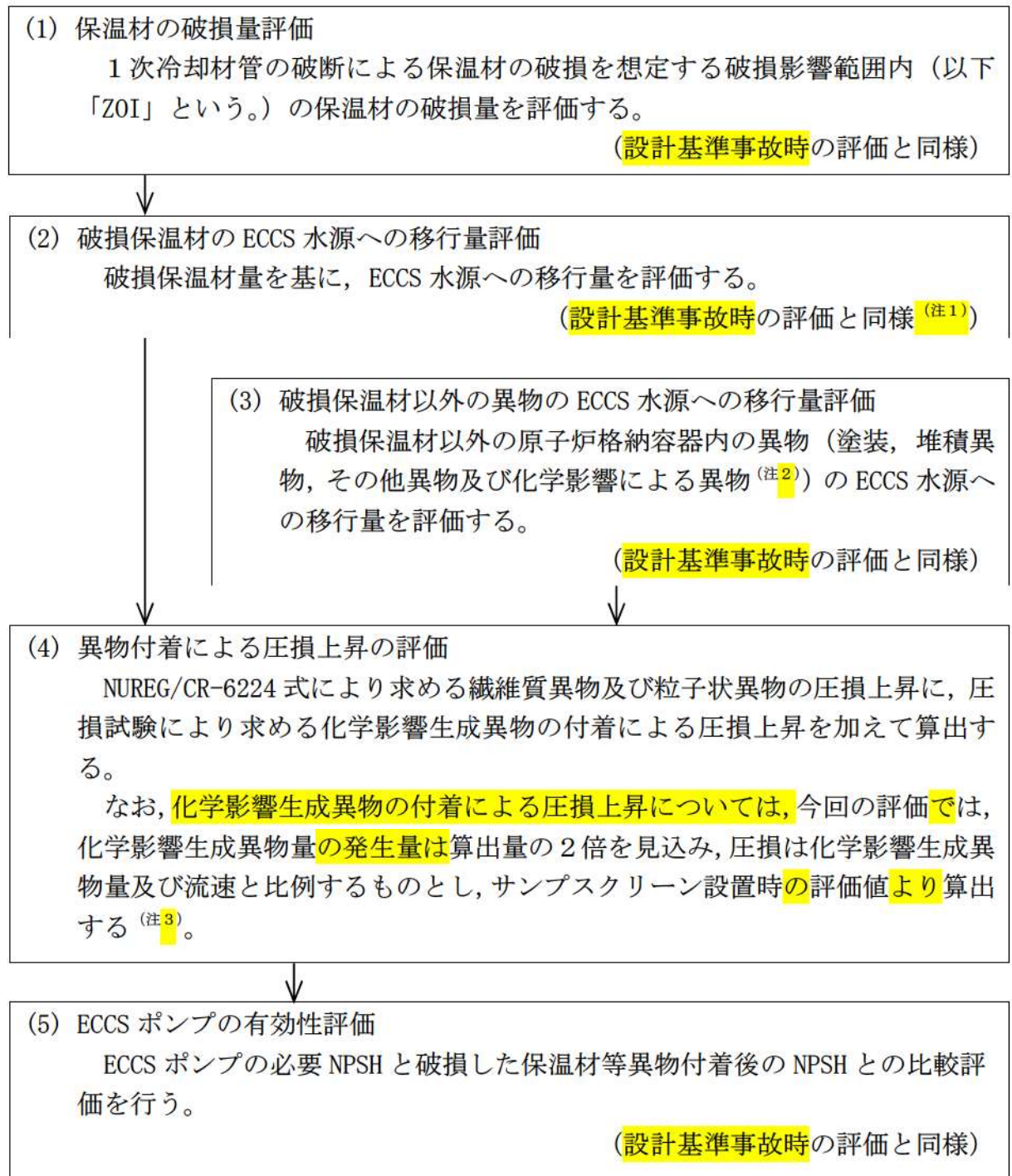
\*6：設計基準事故時の異物量については、プラント状態を踏まえ再循環サンプスクリーン取替変認における評価値から見直しを行ったもの。

□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

## 1.2 評価方法

「原子炉格納容器の除熱機能喪失」時においては原子炉格納容器内の1次冷却材管の両端破断によるLOCAを想定し、1次冷却材管破断時に破断口周囲の保温材等が破断口から流出した冷却材により破損し、破損保温材及び原子炉格納容器内に存在する破損保温材以外の異物が、非常用炉心冷却設備（以下「ECCS」という。）及び原子炉格納施設圧力低減設備の水源（以下「ECCS 水源」という。）である格納容器再循環サンプ（以下「再循環サンプ」という。）へ流入し、ECCS ポンプ及び格納容器スプレイポンプの吸込流により、スクリーンに付着するという事象シナリオに沿って、内規に基づきサンプスクリーンの圧損上昇の評価を行う。また、その有効性はポンプの必要有効吸込水頭（以下「必要 NPSH」という。）とスクリーンへ異物が付着した状態におけるNPSHを比較することで評価する。具体的な評価の手順を第2-1図に示す。





(注1) 移行量の評価は設計基準事故時の評価値と同様であるが、評価用異物量はプラント状態に基づき見直しを実施した。

(注2) ほう酸水にヒドラジンや苛性ソーダを添加した冷却材と原子炉格納容器内構造物や破損保温材との化学反応（以下「化学影響」という。）により発生する異物（以下「化学影響生成異物」という。）

復旧期間について明確に定められないため、液相部の Al, Si, Zn は全析出すると仮定し、Fe は塗装されていることから SA 環境下においても腐食なしとして評価した。

(注3) 事業者で実施した検証試験において、圧損と流量が比例することを確認しており、圧損は流速に比例するものとして算出する。また、旧 JNES の「JNES-SS-1004 サンプストレーナ閉塞事象の化学影響に関する評価マニュアル」において、圧損は化学影響発生異物量の増加による比例関係により若干上回る傾向を示しているため、化学影響生成異物量を保守的に2倍見込む。

第 2-1 図 スクリーンの有効性評価の手順

### 1.3 格納容器再循環サンプスクリーンへの異物付着量の評価

#### (1) 保温材の破損量評価

LOCA 時に破断する 1 次冷却材管が設置されている蒸気発生器室内において、配管破断想定箇所は、ZOI 内の保温材破損量が多いと想定される箇所を保温材種類ごとに選定し、保温材の破損量を評価する。

保温材種類ごとの最大破損量を第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 保温材種類ごとの最大破損量

保温材種類		配管破断 想定箇所	ZOI 半径	ZOI 内保温材の破損量	
繊維質 保温板型	カプセル 保温 (繊維質)	A-蒸気発生器 クロスオーバーレグ 配管部	2.4D	グレーチング上 <sup>(注1)</sup>	1.07 m <sup>3</sup>
				グレーチング下 <sup>(注1)</sup>	0.67 m <sup>3</sup>
	一般保温 (繊維質)		36.5D	グレーチング上 <sup>(注1)</sup>	9.56 m <sup>3</sup>
				グレーチング下 <sup>(注1)</sup>	3.91 m <sup>3</sup>
繊維質 配管保温型	一般保温 (繊維質)	A-ホットレグ 配管部	36.5D	0.46 m <sup>3</sup>	
発泡ゴム		—	— <sup>(注2)</sup>	0.98 m <sup>3</sup> <sup>(注3)</sup>	

(注 1) 蒸気発生器の保温材はグレーチング上に設置することから「グレーチング上」として評価し、蒸気発生器以外の保温材は、一部グレーチング上に設置するものもあるが、保守的に全てグレーチングより下に設置するものとして、「グレーチング下」として評価する。

(注 2) 発泡ゴムについては、「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）」（平成 20 年 2 月 27 日 平成 20・02・12 原院第 5 号）（以下「内規」という。）に該当する ZOI 半径が定められていないため、蒸気発生器室内の全域とする。

(注 3) A, B 及び C - 蒸気発生器室のうち最大破損量を記載する。



(2) 破損保温材の ECCS 水源への移行量評価

保温材の破損量のうち、ECCS 水源に移行する量を評価した結果を第 3-2 表に示す。移行割合は、内規別表第 2 に示す値から、原子炉格納容器内に放出される冷却材の全量 (2, 170m<sup>3</sup>) に対する滞留水区画の体積 (61. 2m<sup>3</sup>) 比率である 2 % を減じた値とする。また、破損保温材の ECCS 水源への移行量は、第 3-1 表の ZOI 内保温材の破損量に移行割合を乗じて算出する。

第 3-2 表 破損保温材の ECCS 水源への移行量

保温材種類		移行割合	移行量	
繊維質 保温板型	カプセル 保温 (繊維質)	グレーチング上 (注1)	59 % (注3)	0. 631 m <sup>3</sup>
		グレーチング下 (注1)	98 % (注2)	0. 657 m <sup>3</sup>
	一般保温 (繊維質)	グレーチング上 (注1)	59 % (注3)	5. 640 m <sup>3</sup>
		グレーチング下 (注1)	98 % (注2)	3. 832 m <sup>3</sup>
繊維質 配管保温型	一般保温 (繊維質)	98 % (注2)	0. 451 m <sup>3</sup>	
発泡ゴム		98 % (注2)	0. 960 m <sup>3</sup>	

(注 1) 蒸気発生器の保温材に関しては、底部皿形部をグレーチングより下に設置するものとして評価し、これより上の保温材はグレーチングより上に設置するものとして評価する。また、蒸気発生器以外の保温材は、一部グレーチングより上に設置するものもあるが、保守的にすべてグレーチングより下に設置するものとして評価する。

(注 2)  $100\% \times (1 - 0.02) = 98\%$

(注 3)  $60\% \times (1 - 0.02) = 59\%$



(3) 破損保温材以外の異物の ECCS 水源への移行量評価

原子炉格納容器内に存在する破損保温材以外の異物について、考慮する異物の種類、量及び ECCS 水源への移行量を第 3-3 表に示す。なお、堆積異物については、異物管理及び原子炉起動の際の原子炉格納容器内清掃、点検を実施するため、内規別表第 3 に示す値を用いる。

第 3-3 表 破損保温材以外の異物の種類、量及び ECCS 水源への移行量

異物の種類		異物の量	移行割合	移行量
塗装		<p>原子炉格納容器内の塗装は全て耐 DBA 仕様塗装なので半径 10D の球形 ZOI の表面積に塗膜厚さを乗じた値とし、次式のとおり算出し、0.39m<sup>3</sup> とする。</p> $D_c = 4 \times \pi \times (10 \times D)^2 \times L_c$ $= 4 \times \pi \times (10 \times 0.7874)^2 \times (500 \times 10^{-6})$ $= 0.389$ <p>ここで、  D<sub>c</sub> : 塗装異物発生量 (m<sup>3</sup>)  D : 破断を想定した配管の口径 (m)  (最大配管口径であるクロスオーバーバレグを選定)  L<sub>c</sub> : 塗膜厚さ (m)  (最大塗膜厚さであるコンクリート床面を選定)</p>	100%	0.39m <sup>3</sup>
堆積異物	繊維質	13.6kg	100%	13.6kg
	粒子	77.1kg	100%	77.1kg
その他異物		50m <sup>2</sup>	100%	50m <sup>2</sup>
化学影響生成異物 <sup>(注)</sup>		861.46kg	100%	861.46kg

(注) 化学影響生成異物は、「Evaluation of Post-Accident Chemical Effects in Containment Sump Fluids to Support GSI-191」(Westinghouse WCAP-16530-NP) に基づいて算出する。

## 1.4 異物付着による圧損上昇の評価

### (1) 系統流量の設定

設計基準事故時の評価においては、サンプスクリーンからの取水量が最大となる高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ、格納容器スプレイポンプの各ポンプが同時に起動している運転モードを想定し、片系列のサンプスクリーンを通過する系統流量を第4-1表のとおり設定している。今回評価を行う「原子炉格納容器の除熱機能喪失時」には、高圧注入ポンプ1台により再循環運転を行っていることから、系統流量は  m<sup>3</sup>/h と設定する。

第4-1表 スクリーンを通過する系統流量

(単位：m<sup>3</sup>/h)

系統設備	系統流量	DB	SA
ECCS (高圧注入設備)	<input type="text"/>	○	○
ECCS (余熱除去設備)	<input type="text"/>	○	—
原子炉格納施設圧力低減設備 (格納容器スプレイ設備)	<input type="text"/>	○	—
合計		<input type="text"/>	<input type="text"/>

### (2) サンプスクリーンの有効表面積

サンプスクリーンは再循環運転時の最低水位で水没する設計であるため、有効表面積は次式のとおりスクリーン各部の寸法公差を考慮したスクリーンの最小表面積からその他異物の75%分を差し引いて算出し、401m<sup>2</sup>とする。

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_a - D_m \times 0.75 \\
 &= 439 - 50 \times 0.75 \\
 &= 401.5
 \end{aligned}$$

ここで、

$A_e$  : スクリーンの有効表面積 (m<sup>2</sup>)

$A_a$  : スクリーンの表面積 (寸法公差を考慮した最小表面積) (m<sup>2</sup>)

$D_m$  : その他異物量 (m<sup>2</sup>)

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(3) 圧損評価水温

異物付着による圧損上昇の評価に用いる水温は、再循環切替直後の ECCS 水源の水温を低く設定することが保守的である。LOCA 後の水温を低めとする再循環切替直後の温度を評価した場合でも 50℃以上となるため、サンプルスクリーンの圧損評価では保守的に水温を 50℃として評価を行う。

(4) 圧損評価に用いる異物付着量

サンプルスクリーンへの異物付着量は、1.3 章で示す ECCS 水源に移行した異物が全量スクリーンに付着するものとするが、保温材異物量に余裕をみて第 4-2 表に示す値として評価を行う。その他異物については、(2)項に示すとおり、スクリーン有効表面積の算定にその他異物に対する面積の 75%を減じることで考慮している。また、発泡ゴムについては、密度が 70kg/m<sup>3</sup>と小さく ECCS 水源内で浮遊することから、圧損評価に用いるスクリーンの異物として考慮しない。

第 4-2 表 圧損評価に用いるスクリーンへの異物付着量

異物の種類		移行量	評価に用いる異物量
破損保温材	繊維質（保温板型）	10.760m <sup>3</sup>	10.76m <sup>3</sup>
	繊維質（配管保温型）	0.451m <sup>3</sup>	0.96m <sup>3</sup>
破損保温材 以外の異物	塗装	0.39m <sup>3</sup>	0.39m <sup>3</sup>
	堆積異物（繊維質）	13.6kg	13.6kg
	堆積異物（粒子）	77.1kg	77.1kg
	化学影響生成異物	861.46kg	861.46kg



(5) 異物付着による圧損上昇の評価

a. 繊維質異物と粒子状異物の付着による圧損上昇の評価

繊維質異物と粒子状異物の付着による圧損上昇の評価については、NUREG/CR-6224 にて示される下記評価式を使用して算出する。

ここで、 $dL_o$  (ベッド厚さ (理論値)) と  $dL_m$  (付着後のベッド厚さ) の算出の際、塗装等の粒子状異物の混合割合が少ない場合は繊維質ベッドの圧縮式(式(4)、式(5))を用いるが、粒子状異物が繊維質異物に比べて多い場合には繊維質は圧縮されにくくなるため、圧縮量を制限する式(式(6))を用いることとする。下記評価式に用いる各異物の物性値について第4-3表に示す。

この算出の結果、繊維質及び粒子状の異物が付着した場合のサンプルスクリーンの圧損が最大となるのは、すべての繊維質の異物を考慮した場合であり0.035mである。

$$\frac{dH}{dL_o} = 1.032 \times 10^{-4} \times \left[ 3.5 S_v^2 (1 - \epsilon_m)^{1.5} \{ 1 + 57(1 - \epsilon_m)^3 \} \mu U + 0.66 S_v \frac{(1 - \epsilon_m)}{\epsilon_m} \rho_w U^2 \right] \left( \frac{dL_m}{dL_o} \right) \quad \dots (1)$$

ここで、

$$\epsilon_m = 1 - \left( 1 + \frac{\rho_f}{\rho_p} \eta \right) (1 - \epsilon_o) \left( \frac{dL_o}{dL_m} \right) \quad \dots (2)$$

$$\epsilon_o = 1 - \frac{C_o}{\rho_f} \quad \dots (3)$$

$$dL_m = \frac{dL_o}{c} \quad \dots (4)$$

$$c = 1.3 \left( \frac{dH}{12 dL_o} \right)^{0.38} \quad \dots (5)$$

$$dL_m = dL_o \frac{C_o}{C_{sludge}} (\eta + 1) \quad \dots (6)$$

- $dH$  : 圧力損失 (m)  
 $dL_o$  : ベッド厚さ (理論値) (m)  
 $dL_m$  : 付着後のベッド厚さ (m)  
 $S_v$  : 異物の比面積 ( $m^2/m^3=m^{-1}$ )  
 ( $S_{v_f}$ は繊維質異物の比面積,  $S_{v_p}$ は粒子異物の比面積)  
 $\epsilon_m$  : 混合異物の空隙率 (-)  
 $\epsilon_o$  : 繊維質ベッドの空隙率 (理論値) (-)  
 $\mu$  : 水の粘性係数 ( $kg/(m\cdot s)$ )  
 $\rho_w$  : 水の密度 ( $kg/m^3$ )  
 $U$  : 吸込流速 (接近流速) (m/s)  
 (系統流量をスクリーンの有効表面積で除した値)  
 $\eta$  : 繊維質保温材と粒子状保温材の質量比 (-)  
 $\rho_f$  : 繊維質保温材の粒子密度 ( $kg/m^3$ )  
 $\rho_p$  : 粒子状異物の粒子密度 ( $kg/m^3$ )  
 $c$  : ベッドの圧縮率 (-)  
 $C_o$  : 異物の充填密度 ( $kg/m^3$ )  
 $C_{sludge}$  : 粒子状異物の密度 (理論値) ( $kg/m^3$ )

第 4-3 表 異物の物性値

	繊維質 (保温板型)	繊維質 (配管保温型)	塗装	堆積異物 (繊維質)	堆積異物 (粒子)
比面積 $S_v$ ( $m^{-1}$ )	(注1) (注2) $2.500 \times 10^6$	(注1) (注2) $2.500 \times 10^6$	(注2) $6.000 \times 10^5$	(注2) $5.633 \times 10^5$	(注2) $3.478 \times 10^5$
粒子密度 $\rho$ ( $kg/m^3$ )	2,500	2,500	1,400	1,500	2,700
充填密度 ( $kg/m^3$ )	60	105	300	38	1,600

(注1) 繊維質 (保温板型) 及び繊維質 (配管保温型) の比表面積は、繊維径  $1.6 \mu m$  として設定。

(注2) 「Pressurized Water Reactor Sump Performance Evaluation Methodology」(Nuclear Energy Institute NEI04-07) に基づいて設定。



b. 化学影響生成異物による圧損上昇の評価

サンプルスクリーンの異物付着による圧損評価については、繊維質異物及び粒子状異物の付着による圧損上昇に、化学影響生成異物によるスクリーンの圧損上昇を考慮する必要がある。化学影響生成異物による圧損上昇については、定量的な評価手法が確立されていないため、内規別記2に留意した圧損試験による結果(注3)から、繊維質及び粒子状の異物投入後から化学影響生成異物投入後の圧損上昇は1.08mとなる。

上記評価値1.08mは、サンプルスクリーン設置時の圧損試験条件である化学影響生成異物量(599.3kg)及びサンプルスクリーン通過流量(□ m<sup>3</sup>/h)における評価値であり、今回の評価においては、化学影響生成異物量は液相部のAl, Si, Znは全析出すると仮定し、保守的に溶出量の約2倍の化学影響生成異物量(1722.92kg)を見込み、圧損は化学影響生成異物量に比例するとして評価を実施した。

また、過去に実施した検証試験結果に基づき圧損は流速に比例するものとし、化学影響生成異物が付着した場合のサンプルスクリーンの圧損を算出(1.08m × (1722.92kg/599.3kg) × (□ m<sup>3</sup>/h/□ m<sup>3</sup>/h))した結果、0.375mとなる。

(注3) 既工事計画変更認可申請書(平成20年12月3日付け平成20・10・23原第3号にて認可)の添付資料5参照

c. 繊維質、粒子状の異物及び化学影響生成異物の付着による圧損上昇の評価

a. 項に示す繊維質異物及び粒子状異物の付着による圧損上昇に、b. 項に示す化学影響生成異物の付着による圧損上昇を加えて、繊維質、粒子状の異物及び化学影響生成異物の付着による圧損上昇を算出する。

その結果、第4-4表に示すとおり、繊維質、粒子状の異物及び化学影響生成異物の付着時のサンプルスクリーンに生じる圧損は、0.410mである。

第4-4表 繊維質、粒子状の異物及び化学影響生成異物の付着による  
圧損上昇の評価結果

(単位：m)

	圧損値
繊維質及び粒子状の異物による圧損上昇	0.035
化学影響生成異物による圧損上昇	0.375
合計	0.410

□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

## 1.5 非常用炉心冷却設備のポンプの有効吸込水頭評価結果

### 1.5.1 有効吸込水頭算定結果

高圧注入ポンプの有効 NPSH 結果を第 5-1 表に示す。なお、評価にあたっては以下の各条件を考慮する。

#### (1) LOCA 後の原子炉格納容器内圧，再循環サンプル水の温度条件

LOCA 後の原子炉格納容器圧力及び再循環サンプル水温は，事故後の経過時間とともに変化するが，原子炉格納容器圧力は常に再循環サンプル水の飽和蒸気圧を超える。したがって，ECCS ポンプである高圧注入ポンプの NPSH 評価をするときには，有効 NPSH の設定を保守的にするため，原子炉格納容器の背圧を考慮しないこととする。

#### (2) 再循環運転時の ECCS 水源の最低水位

再循環運転時の ECCS 水源の最低水位は，冷却材が ECCS 水源に到達するまでの流路の狭隘部が破損保温材等により閉塞し，再循環運転に寄与しない冷却材を考慮し，T.P. 13.7m とする。

#### (3) サンプスクリーンの異物付着による圧損上昇

1.4 章に示すサンプスクリーンの異物付着による圧損上昇を考慮する。

#### (4) 配管圧損

ポンプの有効 NPSH 算定に必要な配管圧損については，配管の径，長さ，形状及び弁類の仕様並びに炉心注水時におけるポンプの最大流量により評価した値を用いる。



第 5-1 表 高圧注入ポンプの有効 NPSH 算定評価

(単位：m)

		評価値
		重大事故等時
H <sub>0</sub> ：静水頭		14.05 <sup>(注1)</sup>
H <sub>1</sub> ：配管圧損		3.1 <sup>(注2)</sup>
H <sub>2</sub> ：異物付着なしの状態におけるスクリーン圧損	スクリーン本体	0.03 <sup>(注2)</sup>
	水路部	0.57 <sup>(注2)</sup>
H <sub>3</sub> ：異物付着による圧損上昇		0.410 <sup>(注3)</sup>
NPSH(H <sub>0</sub> - H <sub>1</sub> - H <sub>2</sub> - H <sub>3</sub> )		9.940

(注1) 設備の変更がないため、設計基準事故時の算定値と同等である。

(注2) 再循環流量の減少に伴い圧損は低減するが、保守的に再循環流量を設計基準事故時と同等とした。

(注3) 1.4 章におけるサンプスクリーンの「異物による圧損上昇の評価」による算定値を示す。

#### 1.5.2 有効吸込水頭評価結果

高圧注入ポンプの有効 NPSH 評価結果は、第 5-2 表に示すとおりである。

第 5-2 表 高圧注入ポンプの有効 NPSH 評価

(単位：m)

	必要 NPSH	異物付着後の NPSH
高圧注入ポンプ	<input type="text"/>	9.940

第 5-2 表に示すとおり、重大事故等時における高圧注入ポンプの異物付着後の有効 NPSH は、必要 NPSH を上回っており、高圧注入ポンプの運転状態において、必要 NPSH は確保されている。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



47-14 海水注入後に再循環運転を仮定した際の格納容器再循環サンプスクリーンの影響評価について

## 目 次

### 1. 海水注入時における再循環運転について

#### 1.1 概 要

#### 1.2 評価方法

#### 1.3 格納容器再循環サンプスクリーンへの異物付着量の評価

#### 1.4 異物付着による圧損上昇の評価

#### 1.5 非常用炉心冷却設備のポンプの有効吸込水頭評価結果

##### 1.5.1 有効吸込水頭算定結果

##### 1.5.2 有効吸込水頭評価結果

SA 有効性評価では炉心損傷後の格納容器破損防止において海水注入を想定しているが、炉心損傷後は、自然対流冷却で事象収束が図れることから格納容器再循環サンプスクリーン(以下「サンプスクリーン」という。)を介した再循環運転には期待していない。

このため、参考として海水注入後に再循環系統のポンプを運転させる場合を仮定し、ポンプの必要 NPSH と、海水通水を考慮したサンプスクリーンの NPSH との比較評価を実施する。

## 1. 海水注入時における再循環運転について

### 1.1 概要

重大事故等時の再循環運転の有効性評価の条件を仮に海水とした場合について、ポンプの必要 NPSH と、海水通水を考慮したサンプスクリーンの NPSH との比較評価を以下 a. から d. の前提条件に基づき実施する。

#### (1) 海水注入を考慮した評価の前提条件

##### a. 保温材等の破損影響範囲

1次冷却材管の大破断を想定するため、破損保温材量は設計基準事故時の評価と同じになる。

##### b. 化学影響生成異物の溶出量

保守的に液相部の Al, Si, Zn は全溶出すると仮定する。

##### c. 再循環流量

サンプスクリーンを通過する系統流量については、高圧注入ポンプ1台による再循環運転を仮定し、 m<sup>3</sup>/h とする。

##### d. 海水注水の影響

海水注入による粘性の増加として、塩化ナトリウム (3.5wt%) の粘性を考慮する。

海水内不純物については、海水取水部でのストレーナによる除去が期待できるが、異物量の特定は難しいことから評価対象外とする。

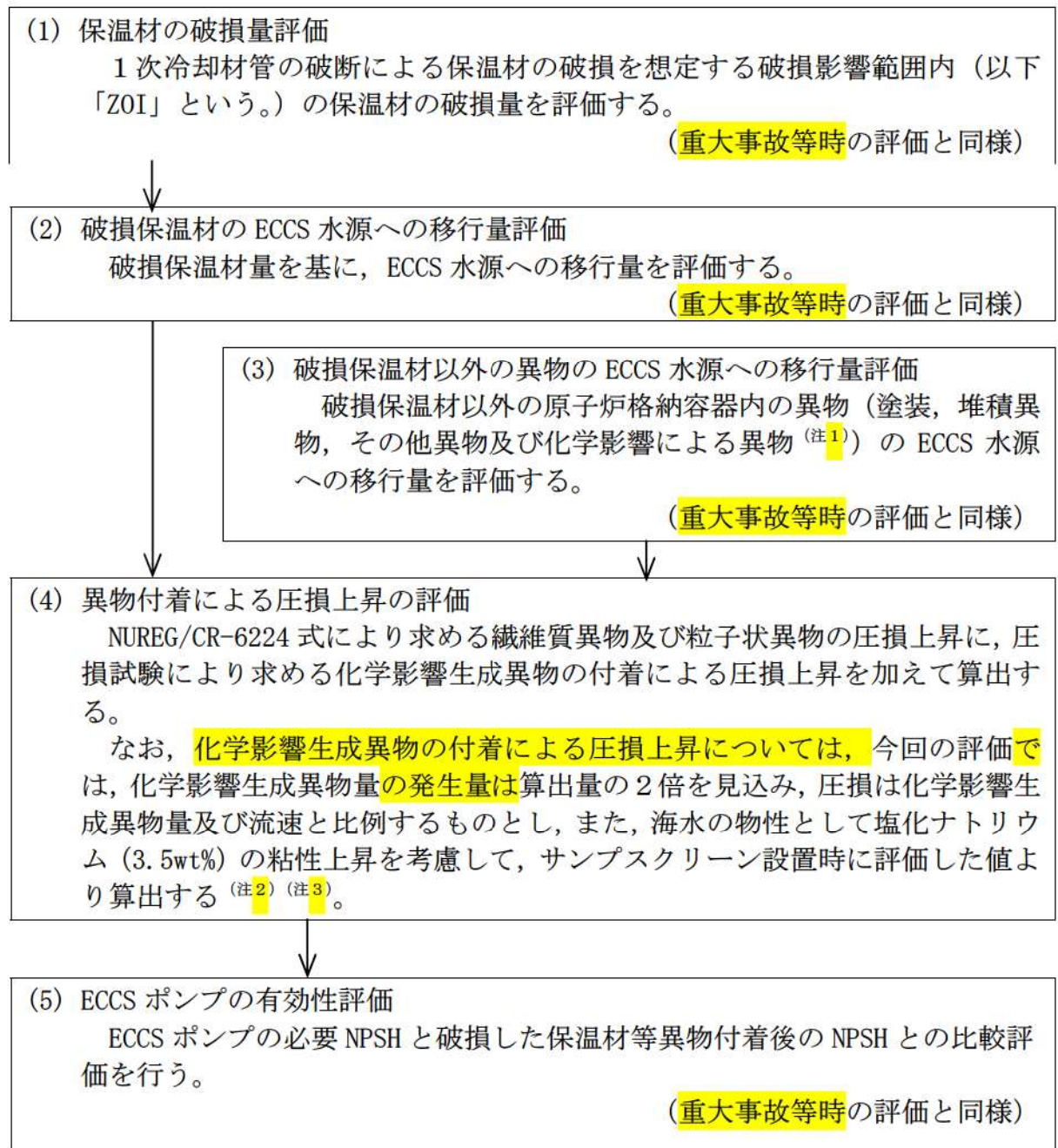
なお、腐食による長期的な構造健全性は考慮対象外とする。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

## 1.2 評価方法

「原子炉格納容器の除熱機能喪失」時においては原子炉格納容器内の 1 次冷却材管の両端破断による LOCA を想定し、1 次冷却材管破断時に破断口周囲の保温材等が破断口から流出した冷却材により破損し、破損保温材及び原子炉格納容器内に存在する破損保温材以外の異物が、非常用炉心冷却設備（以下「ECCS」という。）及び原子炉格納施設圧力低減設備の水源（以下「ECCS 水源」という。）である格納容器再循環サンプ（以下「再循環サンプ」という。）へ流入し、ECCS ポンプ及び格納容器スプレイポンプの吸込流により、スクリーンに付着するという事象シナリオに沿って、重大事故等時の評価方法に準じて高圧注入ポンプの NPSH の評価を行う。また、その有効性はポンプの必要有効吸込水頭（以下「必要 NPSH」という。）とスクリーンへ異物が付着した状態における NPSH を比較することで評価する。具体的な評価の手順を第 2-1 図に示す。





- (注1) ほう酸水にヒドラジンや苛性ソーダを添加した冷却材と原子炉格納容器内構造物や破損保温材との化学反応（以下「化学影響」という。）により発生する異物（以下「化学影響生成異物」という。）  
復旧期間について明確に定められないため、液相部の Al, Si, Zn は全析出すると仮定し、Fe は塗装されていることから SA 環境下においても腐食なしとして評価した。
- (注2) 事業者で実施した検証試験において、圧損と流量が比例することを確認しており、圧損は流速に比例するものとして算出する。また、旧 JNES の「JNES-SS-1004 サンプストレーナ閉塞事象の化学影響に関する評価マニュアル」において、圧損は化学影響発生異物量の増加による比例関係により若干上回る傾向を示しているため、化学影響生成異物量を保守的に2倍見込む。
- (注3) ほう酸水と海水を混合しても新たな化学生成物が生成されることはないことから、ほう酸水と海水の混合により混合溶液が高い粘性を示すことはないと考ええる。

## 第 2-1 図 スクリーンの有効性評価の手順

### 1.3 格納容器再循環サンプスクリーンへの異物付着量の評価

#### (1) 保温材の破損量評価

LOCA 時に破断する 1 次冷却材管が設置されている蒸気発生器室内において、配管破断想定箇所は、ZOI 内の保温材破損量が多いと想定される箇所を保温材種類ごとに選定し、保温材の破損量を評価する。

保温材種類ごとの最大破損量を第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 保温材種類ごとの最大破損量

保温材種類		配管破断 想定箇所	ZOI 半径	ZOI 内保温材の破損量	
繊維質 保温板型	カプセル 保温 (繊維質)	A-蒸気発生器 クロスオーバーレグ 配管部	2.4D	グレーチング上 <sup>(注1)</sup>	1.07 m <sup>3</sup>
				グレーチング下 <sup>(注1)</sup>	0.67 m <sup>3</sup>
	一般保温 (繊維質)		36.5D	グレーチング上 <sup>(注1)</sup>	9.56 m <sup>3</sup>
				グレーチング下 <sup>(注1)</sup>	3.91 m <sup>3</sup>
繊維質 配管保温型	一般保温 (繊維質)	A-ホットレグ 配管部	36.5D	0.46 m <sup>3</sup>	
発泡ゴム		—	— <sup>(注2)</sup>	0.98 m <sup>3</sup> <sup>(注3)</sup>	

(注1) 蒸気発生器の保温材はグレーチング上に設置することから「グレーチング上」として評価し、蒸気発生器以外の保温材は、一部グレーチング上に設置するものもあるが、保守的に全てグレーチングより下に設置するものとして、「グレーチング下」として評価する。

(注2) 発泡ゴムについては、「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)」(平成20年2月27日 平成20・02・12 原院第5号)(以下「内規」という。)に該当するZOI半径が定められていないため、蒸気発生器室内の全域とする。

(注3) A, B及びC-蒸気発生器室のうち最大破損量を記載する。



(2) 破損保温材の ECCS 水源への移行量評価

保温材の破損量のうち、ECCS 水源に移行する量を評価した結果を第 3-2 表に示す。移行割合は、内規別表第 2 に示す値から、原子炉格納容器内に放出される冷却材の全量 (2, 170m<sup>3</sup>) に対する滞留水区画の体積 (61. 2m<sup>3</sup>) 比率である 2 % を減じた値とする。また、破損保温材の ECCS 水源への移行量は、第 3-1 表の ZOI 内保温材の破損量に移行割合を乗じて算出する。

第 3-2 表 破損保温材の ECCS 水源への移行量

保温材種類		移行割合	移行量	
繊維質 保温板型	カプセル 保温 (繊維質)	グレーチング上 <sup>(注1)</sup>	59 % <sup>(注3)</sup>	0. 631 m <sup>3</sup>
		グレーチング下 <sup>(注1)</sup>	98 % <sup>(注2)</sup>	0. 657 m <sup>3</sup>
	一般保温 (繊維質)	グレーチング上 <sup>(注1)</sup>	59 % <sup>(注3)</sup>	5. 640 m <sup>3</sup>
		グレーチング下 <sup>(注1)</sup>	98 % <sup>(注2)</sup>	3. 832 m <sup>3</sup>
繊維質 配管保温型	一般保温 (繊維質)	98 % <sup>(注2)</sup>	0. 451 m <sup>3</sup>	
発泡ゴム		98 % <sup>(注2)</sup>	0. 960 m <sup>3</sup>	

(注 1) 蒸気発生器の保温材に関しては、底部皿形部をグレーチングより下に設置するものとして評価し、これより上の保温材はグレーチングより上に設置するものとして評価する。また、蒸気発生器以外の保温材は、一部グレーチングより上に設置するものもあるが、保守的にすべてグレーチングより下に設置するものとして評価する。

(注 2)  $100\% \times (1 - 0.02) = 98\%$

(注 3)  $60\% \times (1 - 0.02) = 59\%$

(3) 破損保温材以外の異物の ECCS 水源への移行量評価

原子炉格納容器内に存在する破損保温材以外の異物について、考慮する異物の種類、量及び ECCS 水源への移行量を第 3-3 表に示す。なお、堆積異物については、異物管理及び原子炉起動の際の原子炉格納容器内清掃、点検を実施するため、内規別表第 3 に示す値を用いる。

第 3-3 表 破損保温材以外の異物の種類、量及び ECCS 水源への移行量

異物の種類		異物の量	移行割合	移行量
塗装		原子炉格納容器内の塗装は全て耐 DBA 仕様塗装なので半径 10D の球形 ZOI の表面積に塗膜厚さを乗じた値とし、次式のとおり算出し、0.39m <sup>3</sup> とする。  $D_c = 4 \times \pi \times (10 \times D)^2 \times L_c$ $= 4 \times \pi \times (10 \times 0.7874)^2 \times (500 \times 10^{-6})$ $= 0.389$ ここで、 D <sub>c</sub> : 塗装異物発生量 (m <sup>3</sup> ) D : 破断を想定した配管の口径 (m) (最大配管口径であるクロスオーバーバレグを選定) L <sub>c</sub> : 塗膜厚さ (m) (最大塗膜厚さであるコンクリート床面を選定)	100%	0.39m <sup>3</sup>
堆積異物	繊維質	13.6kg	100%	13.6kg
	粒子	77.1kg	100%	77.1kg
その他異物		50m <sup>2</sup>	100%	50m <sup>2</sup>
化学影響生成異物 <sup>(注)</sup>		861.46kg	100%	861.46kg

(注) 化学影響生成異物は、「Evaluation of Post-Accident Chemical Effects in Containment Sump Fluids to Support GSI-191」(Westinghouse WCAP-16530-NP) に基づいて算出する。



## 1.4 異物付着による圧損上昇の評価

### (1) 系統流量の設定

設計基準事故時の評価においては、サンプスクリーンからの取水量が最大となる高圧注入ポンプ、余熱除去ポンプ、格納容器スプレイポンプの各ポンプが同時に起動している運転モードを想定し、片系列のサンプスクリーンを通過する系統流量を第4-1表のとおり設定している。今回評価を行う「原子炉格納容器の除熱機能喪失」時には、高圧注入ポンプ1台により再循環運転を行っていることから、系統流量は  m<sup>3</sup>/h と設定する。

第4-1表 スクリーンを通過する系統流量

(単位：m<sup>3</sup>/h)

系統設備	系統流量	DB	SA
ECCS (高圧注入設備)	<input type="text"/>	○	○
ECCS (余熱除去設備)	<input type="text"/>	○	—
原子炉格納施設圧力低減設備 (格納容器スプレイ設備)	<input type="text"/>	○	—
合計		<input type="text"/>	<input type="text"/>

### (2) サンプスクリーンの有効表面積

サンプスクリーンは再循環運転時の最低水位で水没する設計であるため、有効表面積は次式のとおりスクリーン各部の寸法公差を考慮したスクリーンの最小表面積からその他異物の75%分を差し引いて算出し、401m<sup>2</sup>とする。

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_a - D_m \times 0.75 \\
 &= 439 - 50 \times 0.75 \\
 &= 401.5
 \end{aligned}$$

ここで、

$A_e$  : スクリーンの有効表面積 (m<sup>2</sup>)

$A_a$  : スクリーンの表面積 (寸法公差を考慮した最小表面積) (m<sup>2</sup>)

$D_m$  : その他異物量 (m<sup>2</sup>)

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(3) 圧損評価水温

異物付着による圧損上昇の評価に用いる水温は、再循環切替直後の ECCS 水源の水温を低く設定することが保守的である。LOCA 後の水温を低めとする再循環切替直後の温度を評価した場合でも 50℃以上となるため、サンプルスクリーンの圧損評価では保守的に水温を 50℃として評価を行う。

(4) 圧損評価に用いる異物付着量

サンプルスクリーンへの異物付着量は、1.3 章で示す ECCS 水源に移行した異物が全量スクリーンに付着するものとするが、保温材異物量に余裕を見て第 4-2 表に示す値として評価を行う。その他異物については、(2)項に示すとおり、スクリーン有効表面積の算定にその他異物に対する面積の 75%を減じることで考慮している。また、発泡ゴムについては、密度が 70kg/m<sup>3</sup>と小さく ECCS 水源内で浮遊することから、圧損評価に用いるスクリーンの異物として考慮しない。

第 4-2 表 圧損評価に用いるスクリーンへの異物付着量

異物の種類		移行量	評価に用いる異物量
破損保温材	繊維質（保温板型）	10.760m <sup>3</sup>	10.76m <sup>3</sup>
	繊維質（配管保温型）	0.451m <sup>3</sup>	0.96m <sup>3</sup>
破損保温材 以外の異物	塗装	0.39m <sup>3</sup>	0.39m <sup>3</sup>
	堆積異物（繊維質）	13.6kg	13.6kg
	堆積異物（粒子）	77.1kg	77.1kg
	化学影響生成異物	861.46kg	861.46kg

(5) 異物付着による圧損上昇の評価

a. 繊維質異物と粒子状異物の付着による圧損上昇の評価

繊維質異物と粒子状異物の付着による圧損上昇の評価については、NUREG/CR-6224 にて示される下記評価式を使用して算出する。

ここで、 $dL_o$  (ベッド厚さ (理論値)) と  $dL_m$  (付着後のベッド厚さ) の算出の際、塗装等の粒子状異物の混合割合が少ない場合は繊維質ベッドの圧縮式(式(4)、式(5))を用いるが、粒子状異物が繊維質異物に比べて多い場合には繊維質は圧縮されにくくなるため、圧縮量を制限する式(式(6))を用いることとする。下記評価式に用いる各異物の物性値について第4-3表に示す。なお、流体の粘性係数及び密度については、海水の物性値を**入力**する。

この算出の結果、繊維質及び粒子状の異物が付着した場合のスクリーンの圧損が最大となるのは、すべての繊維質の異物を考慮した場合であり 0.037m である。

$$\frac{dH}{dL_o} = 1.032 \times 10^{-4} \times \left[ 3.5S_v^2(1-\varepsilon_m)^{1.5} \{1+57(1-\varepsilon_m)^3\} \mu U + 0.66S_v \frac{(1-\varepsilon_m)}{\varepsilon_m} \rho_w U^2 \right] \left( \frac{dL_m}{dL_o} \right) \dots (1)$$

ここで、

$$\varepsilon_m = 1 - \left( 1 + \frac{\rho_f}{\rho_p} \eta \right) (1 - \varepsilon_o) \left( \frac{dL_o}{dL_m} \right) \dots (2)$$

$$\varepsilon_o = 1 - \frac{C_o}{\rho_f} \dots (3)$$

$$dL_m = \frac{dL_o}{c} \dots (4)$$

$$c = 1.3 \left( \frac{dH}{12dL_o} \right)^{0.38} \dots (5)$$

$$dL_m = dL_o \frac{C_o}{C_{sludge}} (\eta + 1) \dots (6)$$



- $dH$  : 圧力損失 (m)  
 $dL_o$  : ベッド厚さ (理論値) (m)  
 $dL_m$  : 付着後のベッド厚さ (m)  
 $S_v$  : 異物の比面積 ( $m^2/m^3=m^{-1}$ )  
 ( $S_{v_f}$ は繊維質異物の比面積,  $S_{v_p}$ は粒子異物の比面積)  
 $\varepsilon_m$  : 混合異物の空隙率 (-)  
 $\varepsilon_o$  : 繊維質ベッドの空隙率 (理論値) (-)  
 $\mu$  : 海水の粘性係数 ( $kg/(m \cdot s)$ )  
 $\rho_w$  : 海水の密度 ( $kg/m^3$ )  
 $U$  : 吸込流速 (接近流速) (m/s)  
 (系統流量をスクリーンの有効表面積で除した値)  
 $\eta$  : 繊維質保温材と粒子状保温材の質量比 (-)  
 $\rho_f$  : 繊維質保温材の粒子密度 ( $kg/m^3$ )  
 $\rho_p$  : 粒子状異物の粒子密度 ( $kg/m^3$ )  
 $c$  : ベッドの圧縮率 (-)  
 $C_o$  : 異物の充填密度 ( $kg/m^3$ )  
 $C_{sludge}$  : 粒子状異物の密度 (理論値) ( $kg/m^3$ )

第 4-3 表 異物の物性値

	繊維質 (保温板型)	繊維質 (配管保温型)	塗装	堆積異物 (繊維質)	堆積異物 (粒子)
比面積 $S_v$ ( $m^{-1}$ )	(注1) (注2) $2.500 \times 10^6$	(注1) (注2) $2.500 \times 10^6$	(注2) $6.000 \times 10^5$	(注2) $5.633 \times 10^5$	(注2) $3.478 \times 10^5$
粒子密度 $\rho$ ( $kg/m^3$ )	2,500	2,500	1,400	1,500	2,700
充填密度 ( $kg/m^3$ )	60	105	300	38	1,600

(注1) 繊維質 (保温板型) 及び繊維質 (配管保温型) の比表面積は、繊維径  $1.6 \mu m$  として設定。

(注2) 「Pressurized Water Reactor Sump Performance Evaluation Methodology」(Nuclear Energy Institute NEI04-07) に基づいて設定。

b. 化学影響生成異物による圧損上昇の評価

サンプルスクリーンの異物付着による圧損評価については、繊維質異物及び粒子状異物の付着による圧損上昇に、化学影響生成異物によるスクリーンの圧損上昇を考慮する必要がある。化学影響生成異物による圧損上昇については、定量的な評価手法が確立されていないため、内規別記2に留意した圧損試験による結果(注3)から、繊維質及び粒子状の異物投入後から化学影響生成異物投入後の圧損上昇は1.08mとなる。

上記評価値1.08mは、サンプルスクリーン設置時の圧損試験条件である化学影響生成異物量(599.3kg)及びサンプルスクリーン通過流量(□m<sup>3</sup>/h)における評価値であり、今回の評価においては、化学影響生成異物量は液相部のAl、Si、Znは全析出すると仮定し、保守的に溶出量の約2倍の化学影響生成異物量(1722.92kg)を見込み、圧損は化学影響生成異物量に比例するとして評価を実施した。

また、過去に実施した検証試験結果に基づき圧損は流速に比例するものとし、海水の物性として塩化ナトリウム(3.5wt%)の粘性上昇(6%)を考慮して、化学影響生成異物が付着した場合のサンプルスクリーンの圧損を算出(1.08m×(1722.92kg/599.3kg)×(□m<sup>3</sup>/h/□m<sup>3</sup>/h)×1.06)した結果、0.397mとなる。

(注3) 既工事計画変更認可申請書(平成20年12月3日付け平成20・10・23原第3号にて認可)の添付資料5参照

c. 繊維質、粒子状の異物及び化学影響生成異物の付着による圧損上昇の評価

a. 項に示す繊維質異物及び粒子状異物の付着による圧損上昇に、b. 項に示す化学影響生成異物の付着による圧損上昇を加えて、繊維質、粒子状の異物及び化学影響生成異物の付着による圧損上昇を算出する。

その結果、第4-4表に示すとおり、繊維質、粒子状の異物及び化学影響生成異物の付着時のサンプルスクリーンに生じる圧損は、0.434mである。

第4-4表 繊維質、粒子状の異物及び化学影響生成異物の付着による  
圧損上昇の評価結果

(単位:m)

	圧損値
繊維質及び粒子状の異物による圧損上昇	0.037
化学影響生成異物による圧損上昇	0.397
合計	0.434

□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



## 1.5 非常用炉心冷却設備のポンプの有効吸込水頭評価結果

### 1.5.1 有効吸込水頭算定結果

高圧注入ポンプの有効 NPSH 結果を第 5-1 表に示す。なお、評価にあたっては以下の各条件を考慮する。

#### (1) LOCA 後の原子炉格納容器内圧，再循環サンプル水の温度条件

LOCA 後の原子炉格納容器圧力及び再循環サンプル水温は，事故後の経過時間とともに変化するが，原子炉格納容器圧力は常に再循環サンプル水の飽和蒸気圧を超える。したがって，ECCS ポンプである高圧注入ポンプの NPSH 評価をするときには，有効 NPSH の設定を保守的にするため，原子炉格納容器の背圧を考慮しないこととする。

#### (2) 再循環運転時の ECCS 水源の最低水位

再循環運転時の ECCS 水源の最低水位は，冷却材が ECCS 水源に到達するまでの流路の狭隘部が破損保温材等により閉塞し，再循環運転に寄与しない冷却材を考慮し，T.P. 13.7m とする。

#### (3) サンプスクリーンの異物付着による圧損上昇

1.4 章に示すサンプスクリーンの異物付着による圧損上昇を考慮する。

#### (4) 配管圧損

ポンプの有効 NPSH 算定に必要な配管圧損については，配管の径，長さ，形状及び弁類の仕様並びに炉心注水時におけるポンプの最大流量により評価した値を用いる。

第 5-1 表 高圧注入ポンプの有効 NPSH 算定評価

(単位：m)

		評価値
		重大事故等時
H <sub>0</sub> ：静水頭		14.05 <sup>(注1)</sup>
H <sub>1</sub> ：配管圧損		3.29 <sup>(注2)</sup>
H <sub>2</sub> ：異物付着なしの状態におけるスクリーン圧損	スクリーン本体	0.032 <sup>(注2)</sup>
	水路部	0.61 <sup>(注2)</sup>
H <sub>3</sub> ：異物付着による圧損上昇		0.434 <sup>(注3)</sup>
NPSH(H <sub>0</sub> - H <sub>1</sub> - H <sub>2</sub> - H <sub>3</sub> )		9.684

(注1) 設備の変更がないため、設計基準事故時の算定値と同等である。

(注2) 再循環流量の減少に伴い圧損は低減するが、保守的に再循環流量を設計基準事故時と同等とした。

(注3) 1.4 章におけるサンプスクリーンの「異物による圧損上昇の評価」による算定値を示す。

### 1.5.2 有効吸込水頭評価結果

高圧注入ポンプの有効 NPSH 評価結果は、第 5-2 表に示すとおりである。

第 5-2 表 高圧注入ポンプの有効 NPSH 評価

(単位：m)

	必要 NPSH	異物付着後の NPSH
高圧注入ポンプ	□	9.684

第 5-2 表に示すとおり、重大事故等時における高圧注入ポンプの異物付着後の有効 NPSH は、必要 NPSH を上回っており、高圧注入ポンプの運転状態において、必要 NPSH は確保されている。

以上の結果より、海水通水時においても再循環運転は可能であると考えられる。

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

47-15 再循環サンプルスクリーンの健全性に関する検討課題に係る知見について



## 1. 設計基準事象に対する検討課題について

国内においては既に全てのPWRプラントにおいて格納容器再循環サンプスクリーンの大型化を実施しており、設計基準事象においては閉塞の可能性はないと考えている。

しかしながらサンプスクリーンの大型化以降も更なる安全性向上の観点で知見拡充を行い、国内外の研究結果や検討状況も踏まえ、以下の試験・検討を実施した。

### (1) 圧損試験の異物移送速度等の妥当性確認

工事計画認可申請において実施した圧損試験（攪拌ノズル使用）における異物の移送性が、実機より保守的であることを示すため、従来から知見を深めるための検討を進めていたLarge-Flume試験（試験装置の流路を狭めサンプスクリーンから異物投入位置までの移送流速を実機と同等以上にした試験）を追加実施し、上記圧損試験がより保守的であることを確認した（別紙1）。

### (2) 下流側機器への影響評価

スクリーンのメッシュサイズは、系統における最小隙間サイズを下回る設計としていることから、スクリーン下流側で閉塞することは考え難いが、スクリーンを通過する微少な異物が、下流側機器にどのような影響を与えるかについては、海外においても議論されていたことから、国内においても引き続き知見を得るための検討・考察を行った。このため、サンプスクリーンを通過する異物の物性、量について確認するとともに、通過した異物による燃料集合体の閉塞可能性および閉塞した場合の対応について検討した（別紙2）。

## 2. 海水注入に対する検討課題について

海水注入による腐食等による化学影響生成異物（形態として錆などの固形異物を想定）が発生する可能性はあるものの、酸化物は比重が大きく、再循環プール内で沈殿すると考え、異物閉塞圧損上昇に著しく寄与するとは考え難い。

また、炭素鋼の場合、海水環境における腐食速度は最大7mm/年と考えられるが、SUS304の場合は、炭素鋼と比較すると耐食性は強く、炭素鋼の海水環境における腐食速度の25分の1程度と試算できることから、粒子状異物として考慮しても、その発生量は有意ではないと考える。

これらの裏づけのため、腐食量評価及び海水腐食により付加されるデブリの影響評価を実施した結果、保守的な条件下においても、ECCSポンプの有効吸込ヘッド(NPSH)が確保され、再循環運転が可能であることを確認した。

## 実機圧損試験の妥当性検証試験について

## 1. 経緯と目的

実機圧損試験では、異物条件、ディスク接近流速を実機同等以上と設定した上で、異物の移送については攪拌効果を用いることにより、圧損試験の保守性を確保している。

それに対して、米国で用いられているLarge-Flume試験は、異物条件、ディスク接近流速に加えて、異物の移送流路における水路流速（異物の移送性）についても、実機のCFD（Computational Fluid Dynamics：数値流体力学）解析結果より求まる流速を基に設定し、試験装置に反映することで定量的な評価に基づく条件設定が可能な試験手法である。

そこで、実機圧損試験の妥当性検証として、実機相当の異物移送流路を再現することで、異物のスクリーンへの移送性（抗力と浮遊、沈降、沈殿、滞留の相互効果等）を実験的に確認できるLarge-Flume試験を代表プラントで実施し、その結果求まるスクリーン圧損と、既に保有している、その代表プラントにおける実機圧損試験でのスクリーン圧損とを比較し、実機圧損試験の保守性、妥当性を確認した。



## 2. Large-Flume試験手法の概要

Large-Flume試験の試験装置を図1に示す。また、図2に試験装置の構築に至るまでの検討フローを示す。

前述した通り、Large-Flume試験装置は、ディスク接近流速、異物投入量の他に、異物投入地点から試験用スクリーンまでの異物の移送流速についても実機と同等以上に設定している試験手法であるが、実機のスクリーン設置エリアの形状を模擬した試験ではない。試験における異物投入位置からスクリーンまでの距離は、実機における異物流入地点からスクリーンまでの区間を考慮して設定可能であり、異物投入位置からスクリーンまでの移送流速については、任意の区画に区切った区画毎の移送流速を実機CFD解析を基に設定している。また、試験装置において、実機移送流速を反映する際には、実機相当に設定したディスク接近流速に基づき設定される試験流量に対して、試験装置の移送流路幅を調整することで対応している。



図1 Large-Flume試験装置の概要



枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

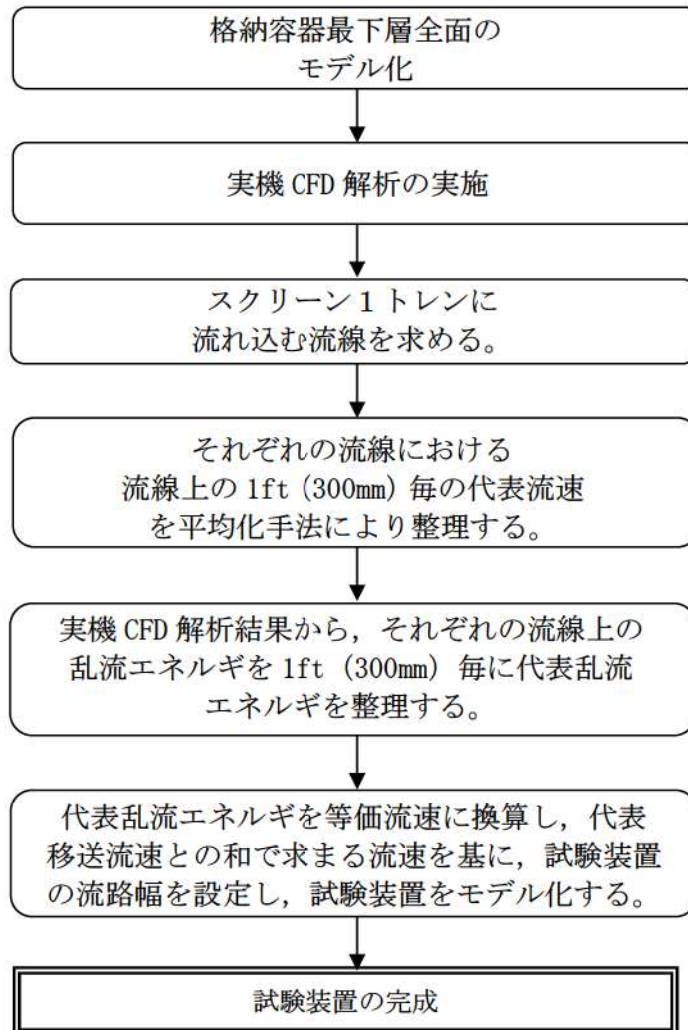


図 2 試験装置構築までの検討フロー

### 3. 検証試験の試験計画

今回の実機圧損試験の妥当性検証試験は、代表プラントにおいてSmall-Flume試験の試験条件と同一の試験条件にてLarge-Flume試験を実施した上で、その結果と過去に実施しているSmall-Flume試験の結果を比較し、Small-Flume試験の保守性、妥当性を確認することを目的としている。

代表プラントの選定においては、試験の保守性を確認するためにも、圧損値に対して支配的に影響を与えるディスク接近流速を判断基準とした。その理由は、当然、異物量は圧損値に影響を与えるものとなるが、今回の圧損試験は異物の移送性に着目したものであり、それがSmall-Flume試験結果とLarge-Flume試験結果の差となることを考慮した場合、その試験用スクリーンへの到達異物量の多少が圧損の差になることは自明であることから、他の圧損要素との関連も大きく、最も影響のあるディスク接近流速を代表性の判断材料とすることが、適切であると考えることによる。

したがって、ディスク接近流速が最も速いプラントとして、大飯3号機を代表プラントとした。

大飯3号機を代表プラントとした場合のLarge-Flume試験における試験条件を表1に示す。表1中、ディスク接近流速や異物条件については大飯3号機のSmall-Flume試験条件と同じである。試験用スクリーンについては、Small-Flume試験では試験用にモデル化したスクリーンを使用していたが、Large-Flume試験では実機形状（ディスクサイズ、ディスク枚数、台座高さ）と同等に設定している。

表1 実機圧損試験妥当性検証試験の試験条件

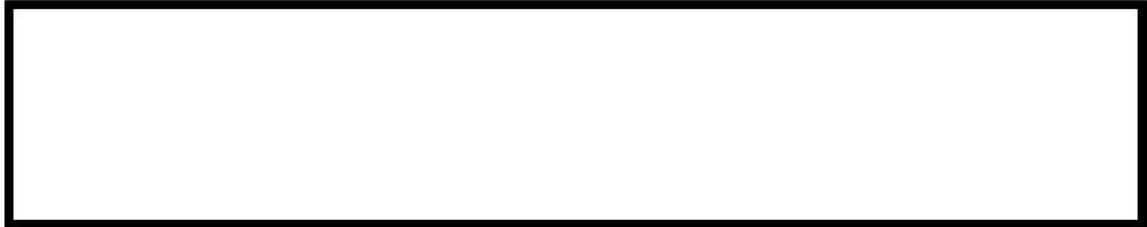
大飯3号機	ディスク接近流速		[Redacted]		
	異物条件 (ディスク単位 面積当たりの 異物量)	破損保温材		繊維質 (ロックウール)	
				ケイ酸カルシウム	
		破損保温材 以外の異物		化学生成異物	
				塗装	
				堆積異物 (繊維質)	
				堆積異物 (粒子)	
	試験用スクリーン			ディスクサイズ	889 (mm) (実機相当)
				ディスク枚数	15枚 (実機相当)
				有効面積	20.15 (m <sup>2</sup> )
台座高さ			227 (mm) (実機相当)		

[Redacted] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。




#### 4. 試験結果

試験の圧損値を次に示す。Large-Flume試験において全ての異物を投入した後の最大圧損（0.67m）は、格納容器再循環サンプスクリーン改造工認時に実施したSmall-Flume試験（1.34m）の方が高い圧損を生じていることが確認できた。



\*注記： 1.34mはSmall-Flume試験において確認された異物（繊維質異物、粒子状異物、及び化学生成異物）による圧損値であり、工認別添第4表に記載の値としている。

1.69mは工認第7表に記載される異物による圧損値であるが、Small-Flume試験時に確認された圧損計測値よりも高い異物圧損であるNUREG/CR-6224式を用いて繊維質異物及び粒子状異物による圧損を計算したものであり、参考として記載。

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

#### 5. まとめ

上記のとおりに、格納容器再循環サンプスクリーン改造工認時に実施したSmall-Flume試験の方が、同試験条件で実施したLarge-Flume試験よりも圧損値が高くなる結果が得られた。

国内PWRプラントのうち、ディスクの接近流速が最も大きな大飯3号機においてLarge-Flumeによる試験結果がSmall-Flume試験の半分の圧損値と十分低い値の結果となっており、他のPWRプラントに展開した場合でも、Small-Flume試験とLarge-Flume試験における圧損値を比較した場合、同様の関係性が確認できると考えられる。

したがって、Small-Flume試験は保守性を含んだ妥当な試験手法であると判断する。

## 再循環サンプスクリーンの下流側影響について

## 1. はじめに

設計基準事故である大破断LOCA時に生じると考えられる各種のデブリが原子炉格納容器底部の再循環サンプに流入し、再循環開始時に再循環サンプスクリーンを通過して炉心に到達した場合の、長期の炉心冷却性の維持への影響について、米国で先行して検討が進められてきている。国内のPWR産業界においては、米国の検討状況の調査を行いつつ、国内PWRプラントに対して共通かつ包含的な評価を行うべく、PWR電力委託研究等で各種の試験及び解析を独自に実施し、デブリの下流側炉内影響が長期の炉心冷却性において問題ないことを確認している。

## 2. 評価シナリオ

米国PWROGではデブリによる下流側炉内影響の評価シナリオとして複数のオプションが考慮されている。このうち、決定論的な熱流動解析により被覆管温度を求め、判断基準値を超えないことで冷却性の維持を評価する方法として、2種類のオプション（オプション1、オプション2a）がある。国内PWRの下流側炉内影響の評価では、より新しいオプション2aに基づいて実施している。

米国PWROGオプション2aのシナリオは以下の通りである。

- ・再循環開始と同時に、デブリ（繊維状及び粒子状の非化学デブリ）の付着により炉心入口部の圧損が増加。ただし、化学デブリ析出前の非化学デブリによる圧損の増加量を試験により設定。
- ・化学デブリ析出開始と同時に、炉心入口部の圧損が急激に増加し、炉心下部から冷却材が供給できず、炉心外周部にあるバッフル板と炉心槽の間（バッフルバレル領域）を代替流路として上昇し、炉心上部から冷却材が供給されると仮定。

図1にオプション2aのシナリオにおける炉心圧損の時間変化を概念図として示す。

## 3. デブリ投入試験による解析入力の設定

オプション2aに基づいた解析入力（図1）を確認すべく、デブリ付着による燃料集合体等の炉心冷却流路の閉塞状況及び圧損の増加量を試験により確認した。

## 3.1 試験条件

## (1) 試験体系

化学デブリ析出前においては、炉心冷却流路として期待される燃料集合体を対象に試験を実施した。

基礎試験においては、各種パラメータの違いによる影響を把握するため、燃料



集合体の下部を部分的に模擬した2体を並立させた体系で試験を実施した。また、パラメータの影響を踏まえた最終的な条件では実寸の燃料集合体2体を並立させた体系で試験を実施した。

ここで、上記の試験に採用した燃料集合体は17×17型ジルカロイグリッド燃料であり、デブリがもっとも付着しやすく圧損の増加量が大きくなると考察して選定している（添付2-1）。

化学デブリ析出後においては、代替流路として期待されるバップルバレル領域を対象に試験を実施した。試験体系として、実寸の燃料集合体と隣接する当該箇所を模擬した体系とし、非化学デブリ投入後に化学デブリを投入することで、冷却流路への影響を確認した。

## (2) 投入デブリ量

国内PWRプラントを対象として、原子炉格納容器内で発生するデブリ量の調査・評価し、またスクリーンバイパス試験を踏まえ、炉心に到達する繊維デブリ量の2.6倍の量を投入した。

## 3.2 試験結果

### (1) 全般共通事項

繊維デブリにより炉心冷却流路の全面が閉塞されることはなく、隣接する下部ノズル間ギャップの全域、下部ノズル内の流路部及びグリッド内の流路部の一部に、繊維デブリにより閉塞しない個所が確保・維持された。このため、圧損の増加量は限定的であった。また、粒子デブリ、化学デブリが非閉塞流路を通過し、繊維デブリに重畳してデブリを緻密にする効果が生じにくかったため、圧損の増加が加速される状況も特に認められなかった。

### (2) 非化学デブリ投入による圧損測定試験

基礎試験においては燃料の下部構造（下部ノズル、最下部グリッド、短尺燃料棒）を模擬した要素試験体2体を並立させた体系に非化学デブリ（繊維デブリ：F、粒子デブリ：P）を投入し、繊維デブリと粒子デブリの重量比（P/F）、粒子デブリ径及び繊維デブリと粒子デブリの投入順序等がデブリの付着による圧損の増加量へ与える影響を確認した。試験の結果、2体体系ではパラメータの違いによる影響は軽微であり、圧損の増加量も限定的であるとの結果を得た。

基礎試験の結果を踏まえた実寸の燃料集合体2体を並立させた体系での試験においては、国内PWRの炉心到達量を大幅に上回る2.6倍の繊維デブリ量を投入した。試験の結果、燃料集合体の圧損の増加量は限定的であり、デブリの付着による圧損の増加は主に流路孔がもっとも狭くなる下部ノズル部で顕著であった（図2）。



### (3) 化学デブリ投入による圧損測定試験

バッフルバレル領域と燃料集合体1体を用いた試験体系で、非化学デブリ及び化学デブリを順次投入し、デブリ投入前後で有意な圧損の差異は認められず、化学デブリ析出開始後にバッフルバレル領域が代替流路として有効であることを確認した(図3)。

また、化学デブリを投入した後も炉心入口部に冷却材の経路が確保され、実際は炉心下部から冷却材が供給されることを確認した(図4)。

### (4) 化学デブリの析出開始時間

米国PWRで実施されたプラント毎に条件分けして実施された化学デブリ影響試験の調査と分析、及び国内PWRプラントの特徴(アルミニウム少量、スプレーへの添加材として一部のプラントでヒドラジン採用)を踏まえた追加試験により米国の大多数のプラントと同様に、化学デブリの析出開始時間は再循環開始後から24時間以降となることを確認した。

## 4. 炉内熱流動解析

3.項の各試験結果に基づき、オプション2aの評価シナリオに沿った解析入力 conservatively 設定し、標準4ループプラントと標準3ループプラントを対象に流動解析を実施し、炉心全体と炉心の局所の視点から長期の冷却性の維持を評価へ反映した。

### 4.1 解析入力条件の設定と保守性

#### ・非化学デブリによる圧損の増加量

実機のデブリ投入量の2.6倍まで投入して確認された圧損の増加量にさらに2倍の保守性を持たせて、圧損係数に換算して入力。

#### ・化学デブリ析出時間

別途再循環開始後24時間までに化学デブリの析出は生じないことを確認しているが、米国のオプション2aの代表的な条件である1時間で析出することを仮定。

#### ・化学デブリ析出後の圧損の増加量

試験において炉心部の圧損の増加量は限定的であったが、解析においてはオプション2のシナリオ通り完全閉塞( $\infty$ へ増加)と仮定。またシナリオで期待されている代替流路(バッフルバレル領域)に関してはデブリによる圧損の増加はないとして入力。

なお、化学デブリ投入後も、代替流路であるバッフルバレル領域のみでなく、炉心下部から冷却材が供給されることが期待される。しかしながら、オプション2aのシナリオの通り、解析には取り込んでいない。

流動解析コードは原子炉容器内の熱流動を詳細に評価できる最適評価コードのMCOBRA/RELAP5-GOTHICを使用している。



## 4.2 解析結果

図5には標準4ループプラントに対して、図6には標準3ループプラントに対して、実施した熱流動解析結果を示す。

### (1) 炉心全体的な冷却の状況

図5(1)及び図6(1)に、炉心からの崩壊熱による蒸気の蒸散流とデブリによる流動抵抗を考慮したうえでの炉心へ供給される冷却材流量を、積算流量として比較している。同図に示されているように、再循環が開始される1200秒(20分)での非化学デブリによる炉心入口部の圧損の増加及び4800秒(再循環後1時間)での化学デブリ析出による圧損の増加が起こっても、炉心へ供給される冷却材流量は、蒸散量(ボイルオフ流量)を下回ることなく、このことから炉心水位の低下は生じていないことが確認された。

### (2) 炉心の局所の冷却状況

図5(2)及び図6(2)に、各時刻において、最高発熱燃料棒の中の被覆管温度が最高となる値の推移を示す。炉心部の圧損の増加に伴う被覆管温度のヒートアップは生じないことが確認された。

なお、事象の後半において被覆管温度は一時的に局所で上昇しているが、上昇の度合いは判断基準値に比べて僅かであり、その後直ちに初期温度に戻ることから、流路閉塞による長期的な炉心冷却に問題となることはない。

ここで、被覆管温度の許容温度としては、米国PWROGで使用されている800F(約427℃)を目安として採用している。この温度は、長期間維持されるとZr基合金被覆管の外面腐食と水素吸収による脆化が加速されるしきい温度として定められている。本解析結果のような一時的な被覆管温度増加にとどまる結果へ適用する許容温度として十分保守的であるととともに、800Fに対してきわめて低い温度に留まる結果となっている。

## 5. 長期冷却性評価

長期冷却性による燃料集合体へのデブリ付着の影響が軽微であり、炉心からの蒸散流量を上回る冷却材流量が確保され、局所的にも被覆管の温度の上昇は一時的かつ限定的であり、再循環開始時の温度で推移する。

この評価結果は、試験及び解析とともに、国内PWRを包含する条件で実施されていることから、国内のすべてのPWRプラントに共通するものである(添付2-1)。

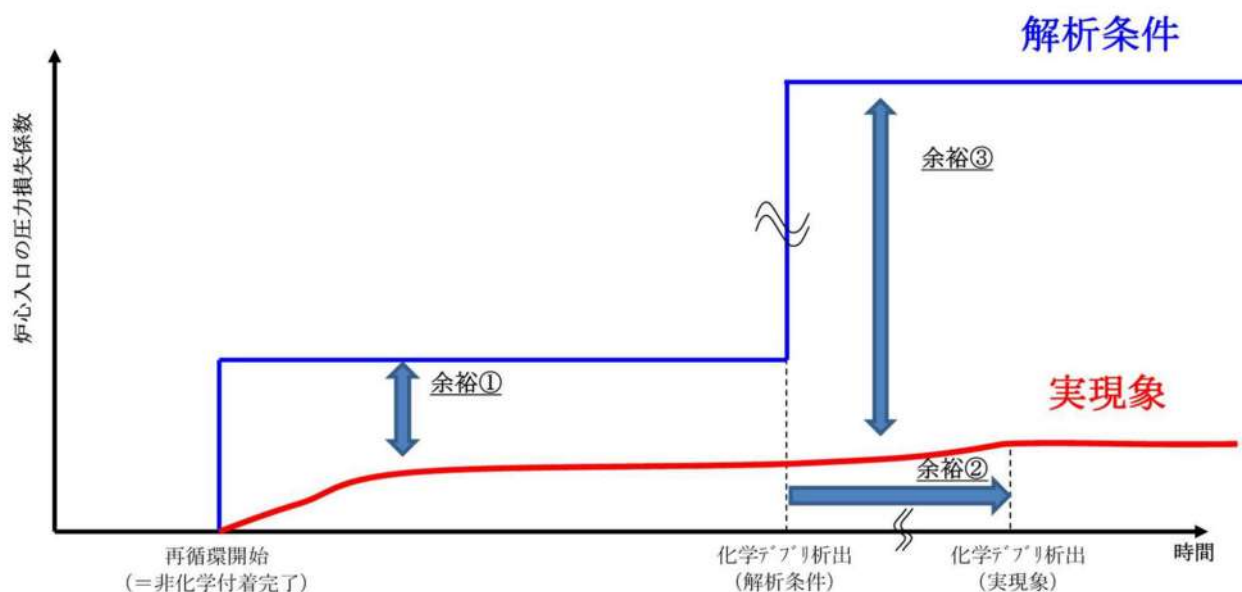


図1 オプション2aの解析入力と試験による設定の保守性

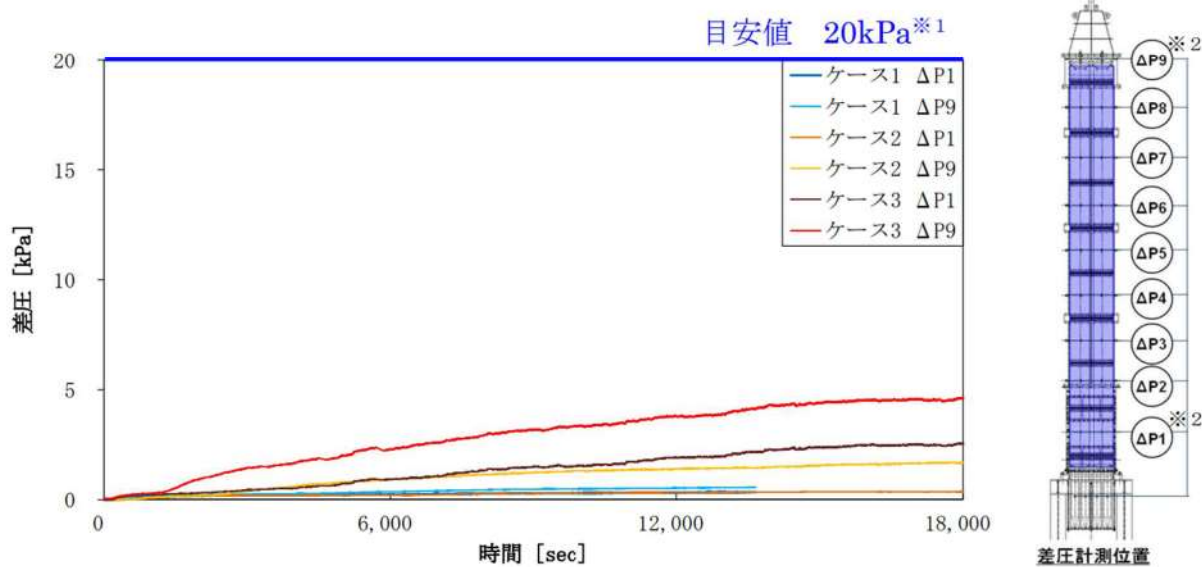


図2 実寸燃料集合体2体への非化学デブリ投入による圧損増加

※1 炉心における冷却材の蒸散量を補うのに許容される圧損の目安値20kPa

※2 ΔP1：燃料入口部（下部ノズル～最下部グリッド），ΔP9：燃料集合体全長



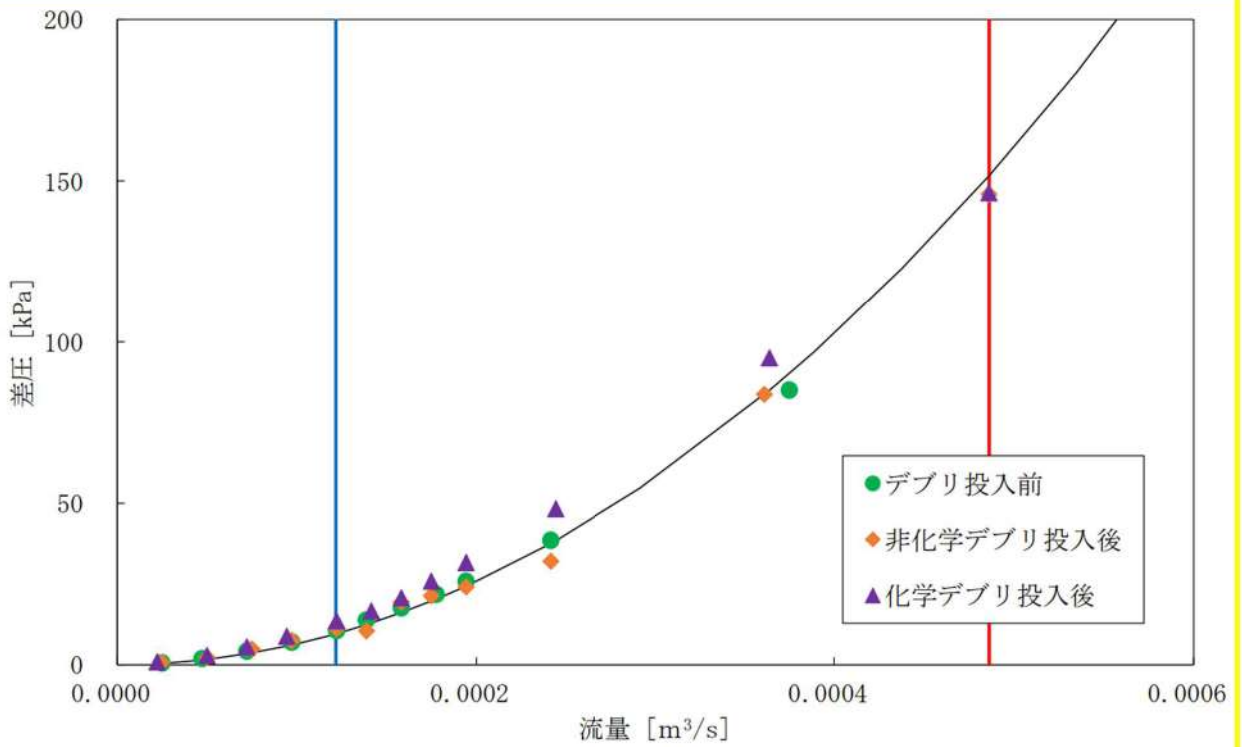


図3 バッフルバレル領域への非化学及び化学デブリ投入前後の圧損変化

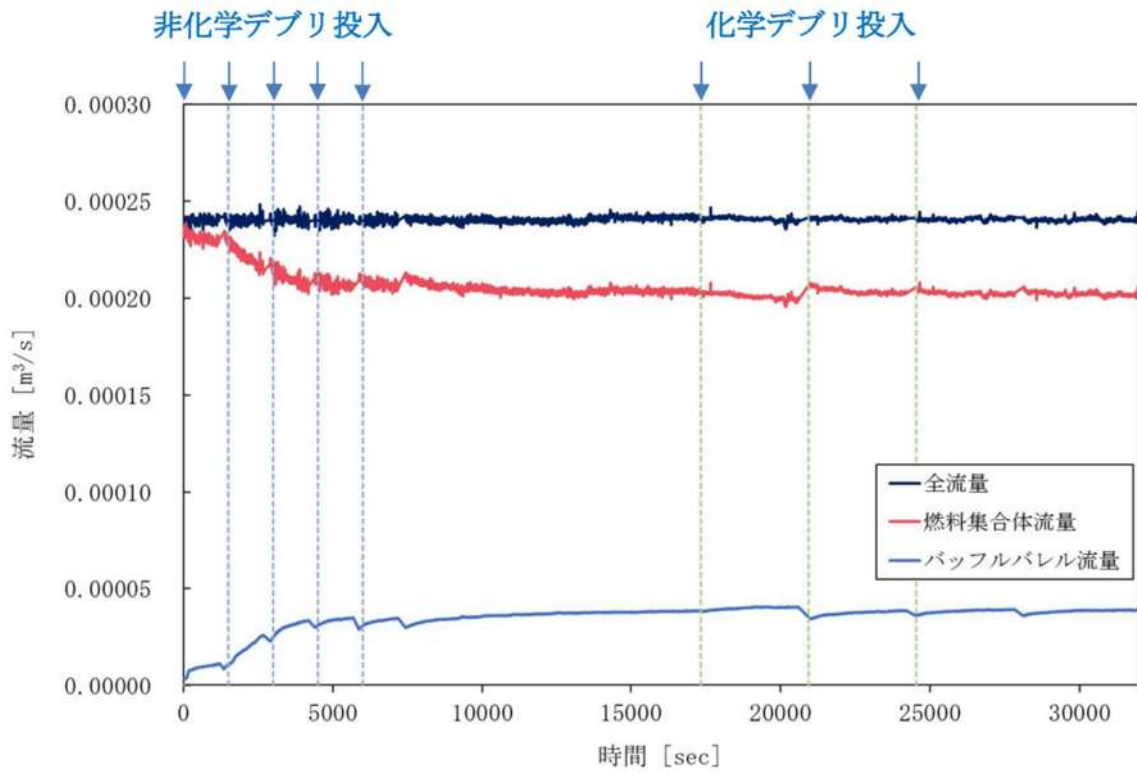


図4 バッフルバレル領域と燃料集合体体系へのデブリ投入後の流量変化

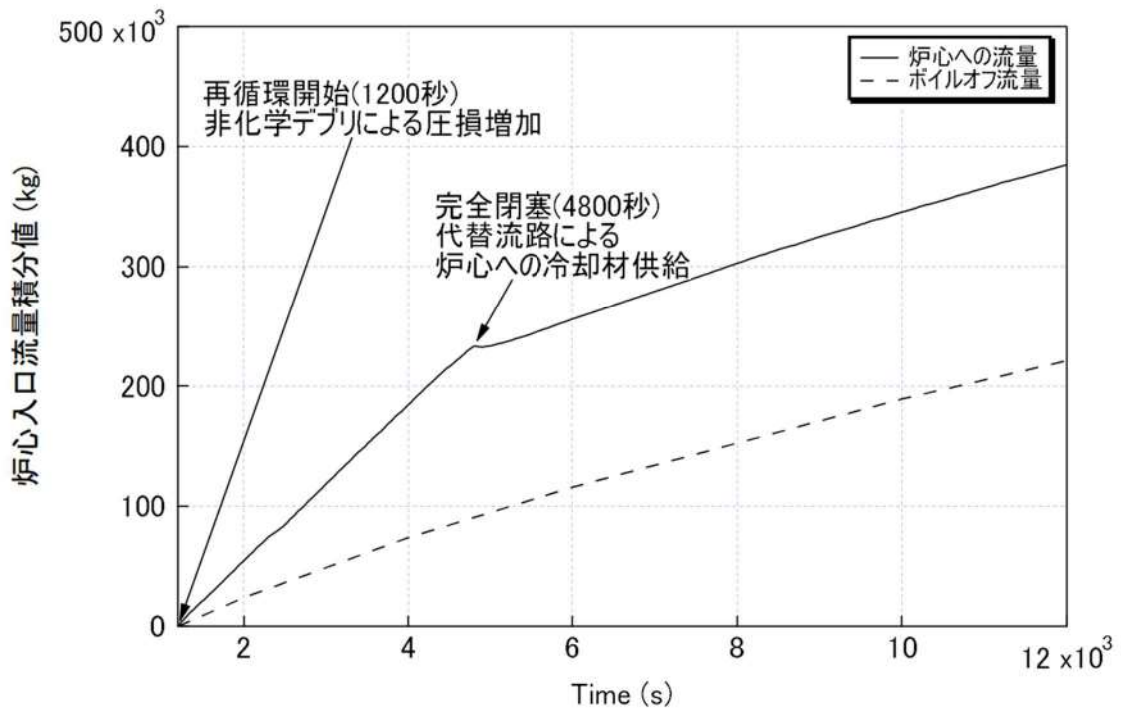


図5(1) 炉心への冷却材流量の積分値 (標準4ループプラント解析結果)

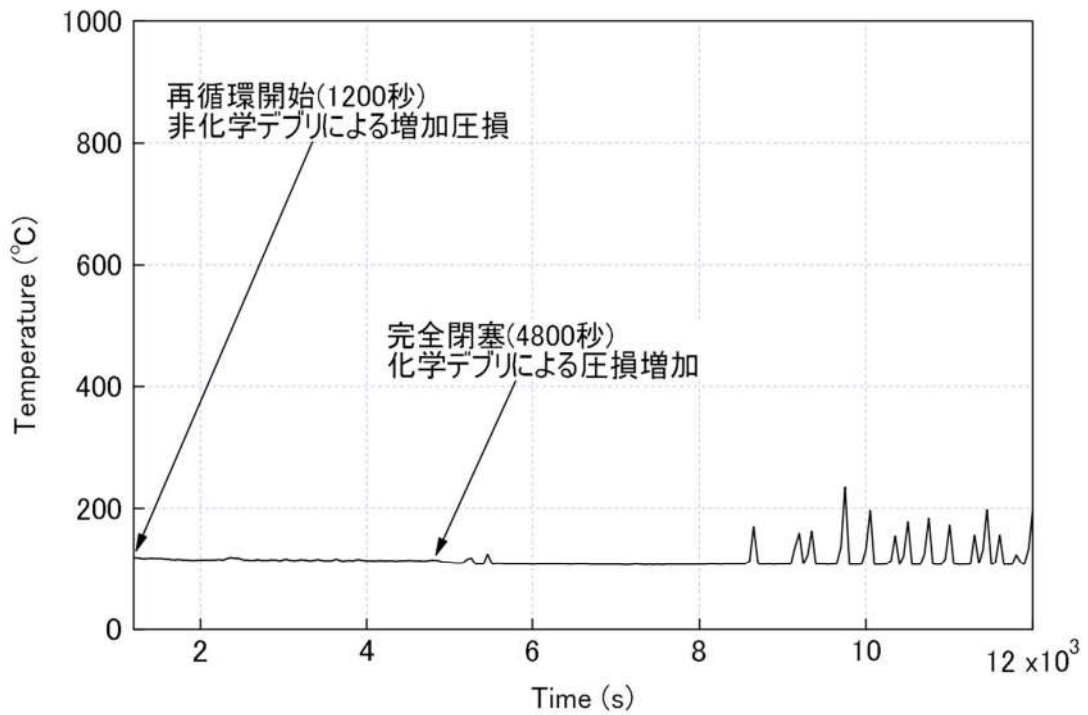


図5(2) 最高被覆管温度 (標準4ループプラント解析結果)

図5 標準4ループプラントに対するデブリ影響解析

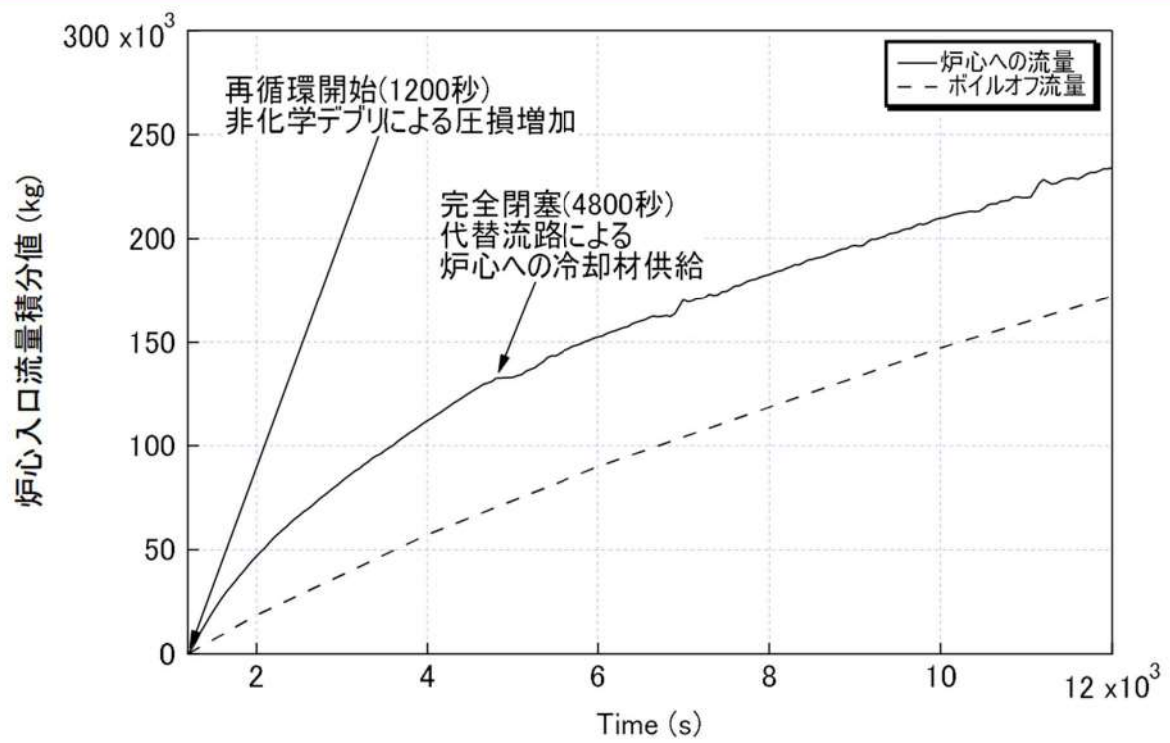


図6(1) 炉心への冷却材流量の積分値 (標準3ループプラント解析結果)

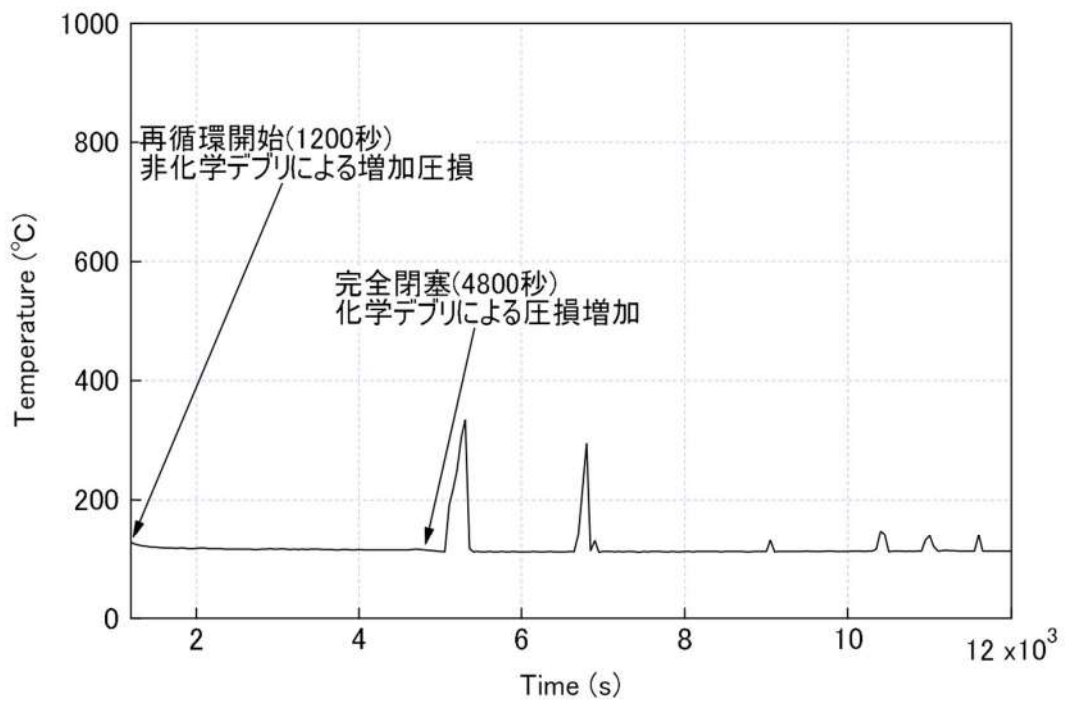


図6(2) 最高被覆管温度 (標準3ループプラント解析結果)

図6 標準3ループプラントに対するデブリ影響解析



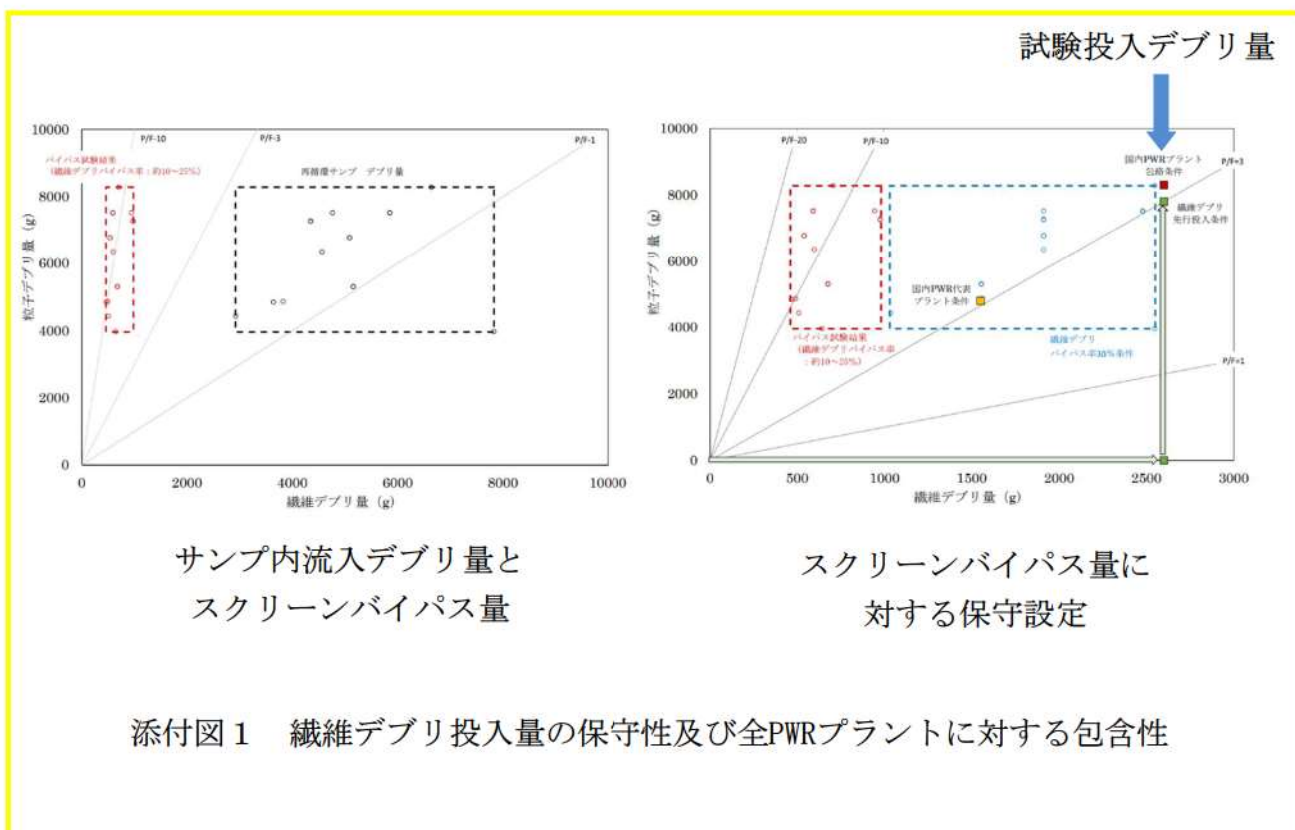
長期冷却性評価の根拠となる試験及び解析の全PWRに対する包含性

1. 試験の包含性

1.1 デブリ投入量の包含性

繊維デブリは、添付図1の通り、国内PWRプラントを大きく包含する大量の繊維デブリ量を投入して燃料集合体の圧損の増加量を確認している。

P/Fは、PWRプラントの条件をカバーする範囲で影響が軽微であることを、2体要素試験にて確認したうえで、実寸2体集合体への投入試験では、代表的なP/Fに相当する量を設定している。



## 1.2 試験供試体の代表性

燃料試験体は、2体燃料断面で形成される繊維デブリが付着せずに冷却流路として確保される個所の断面積の割合の大小から、及び繊維デブリが付着しやすい下部ノズルやグリッドの狭い流路穴の大小に着目して、17×17型ジルカロイグリッド燃料を設定している。

### (1) 繊維デブリが閉塞せず冷却流路が維持される箇所

流動試験の結果より、デブリによって冷却流路の閉塞が生じず、安定した冷却流路が形成されたのは、下部ノズル及びグリッドのコーナ部に形成される比較的大きな流路と、隣接下部ノズルの間の細長い流路である。冷却流路のイメージを添付図2に示す。これらの流路面積が炉心全断面に占める割合が小さいほど、デブリの閉塞による圧損の増加への影響が生じやすいが、添付表1に示す通り、17型燃料が他の燃料よりも割合が小さい。

#### ・下部ノズル及びグリッドのコーナ部の流路（添付図2a部）

下部ノズル及びグリッドのコーナ部には面取りが施されており、燃料が炉内に装荷された際、燃料集合体4体の境界部に面取りにより大きな流路が存在する。流動試験では燃料集合体2体の体系で実施したが、このコーナ部の冷却流路ではデブリによる閉塞は認められなかった。

#### ・隣接下部ノズル間の流路（添付図2b部）

隣接する下部ノズル間のギャップ及び下部ノズルとテストセクションとのギャップは、試験中及び試験後に部分的なデブリの付着が認められたものの、一面にわたりデブリが閉塞することではなく、安定した冷却流路が確保された。

なお、隣接するグリッド間のギャップでは、グリッドの外ストラップの凹部や開口部（グリッドばねやディンプルの加工による）が存在するため、端部に繊維デブリが捕捉されやすく、比較的になめらかな下部ノズル間のギャップほどの顕著な冷却流路の確保は確認できなかった。

### (2) 繊維デブリの閉塞が進む狭い流路孔の中で一部に確保される未閉塞箇所

流動試験の結果より、下部ノズル内の流路孔及びグリッド内部のセル内の狭い流路では、最初は繊維デブリ等で徐々に流路孔が閉塞していくが、流路孔の閉塞が進むにつれ冷却材の流速が増加するため、最終的には、デブリが閉塞しない流路部が確保される。このような一部が閉塞しない流路部では、個々の流路面積又は等価直径が小さいほど、デブリの閉塞が進みやすく、圧力喪失の増加の影響が生じやすいと考えられるが、添付表1に示す通り、17型燃料が他の燃料よりも流路部が狭くなっている。

以上の通り、17型燃料がデブリが閉塞しやすいと考えられるが、同じ17型燃料



でも、さらにジルカロイグリッド燃料の方がインコネルグリッド燃料よりも厳しくなる。

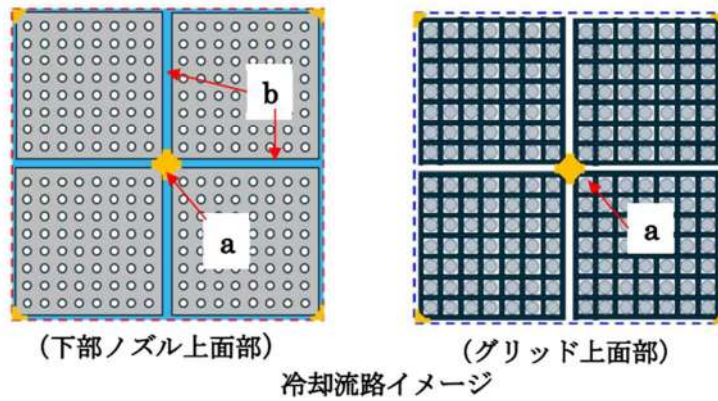
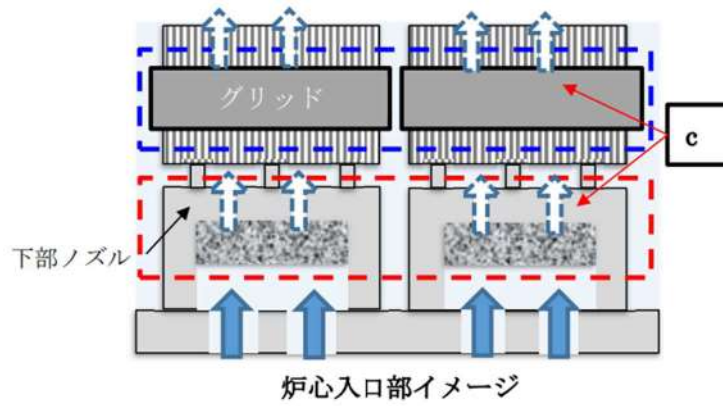
以上より、デブリの閉塞による圧損の増加への影響を、すべての燃料タイプに包含する結果として確認できるよう、17型ジルカロイグリッド燃料を使用してデブリ投入流動試験を実施している。

添付表 1 燃料タイプ毎のデブリ閉塞による圧損の増加への影響

デブリ未閉塞部の分類と燃料タイプ間の比較の考え方		17×17型	15×15型	14×14型
デブリが閉塞せず安定した冷却流路が確保される流路： →炉心全断面に占める面積割合で比較	下部ノズル，グリッドのコーナ部の流路面積割合	小	中	大
	隣接下部ノズル間の流路面積割合	小	小	大
デブリが閉塞しやすく一部に未閉塞部が残される流路： →流路孔の大きさで比較	下部ノズル内部及びグリッド内部の流路孔の大きさ	小	大	大



- a. 下部ノズル及びグリッドのコーナー部流路
- b. 隣接下部ノズル間流路
- c. 下部ノズル及びグリッド内流路（一部）



添付図 2 炉心入口部における冷却流路概念図  
(燃料集合体 4 体での断面)

## 2. 解析の包含性

熱流動解析の結果は、解析入力の設定及び解析対象プラントの選定において、多くの保守性と再稼働対象の国内 PWR プラントを包含する結果としている。

### 2.1 解析入力の設定

保守的な条件、包括的な試験体で得られた試験結果に、多くの保守性を付与して流動解析の入力を設定している。

### 2.2 解析対象炉型

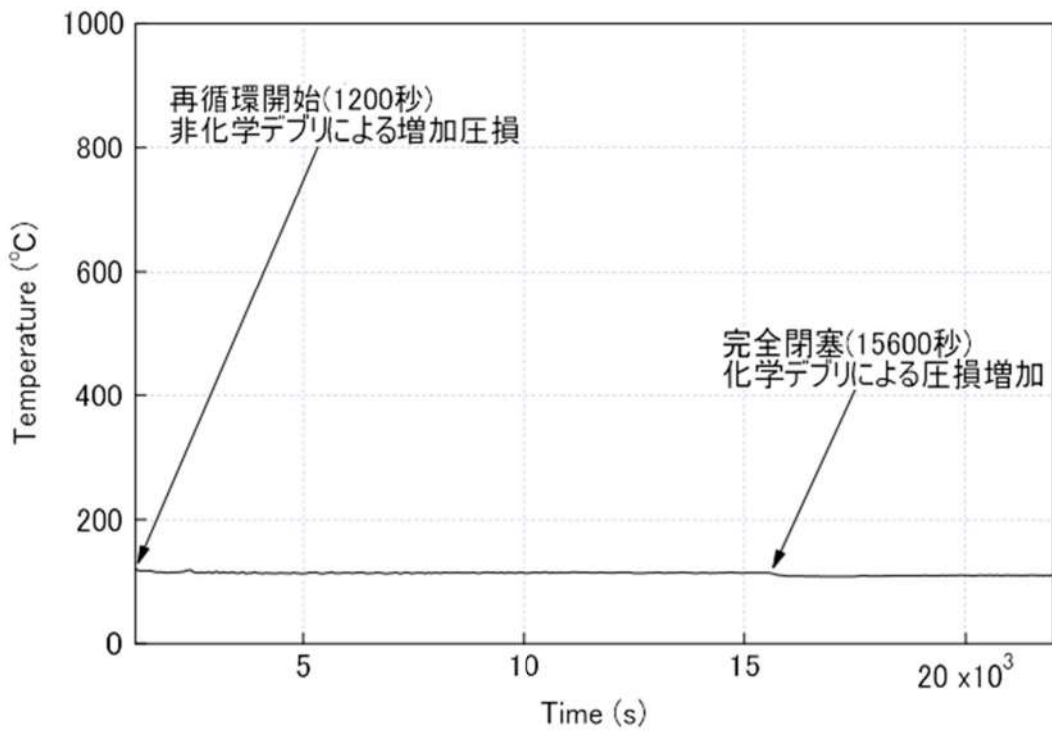
添付表 2 のとおり、プラントタイプ間の分析で、デブリの閉塞のし易さ、閉塞時の圧損増加の観点から、長期冷却性が比較的厳しいと考えられるのは、標準 4 ループプラントと 17×17 燃料型 3 ループプラントであるため、これらのプラントタイプを対象に解析を実施する。

なお、解析の各種の入力に大きな余裕を有しているため、現実的にはどのタイプでも同様にデブリ閉塞前から変化が生じない結果となるものと考えられる。添付図 3 は一例として、解析入力のうち、化学析出開始時間のみを 1 時間から 4 時間に緩和した結果を、ステップ 2 ウラン燃料炉心と MOX 燃料装荷による影響として崩壊熱を増加させた炉心の 2 ケースについて示すが、いずれのケースも最早、被覆管の局所的かつ一時的な温度上昇も認められない結果となっており、実態としてはどのプラントタイプも同図のような状況であると考えられる。

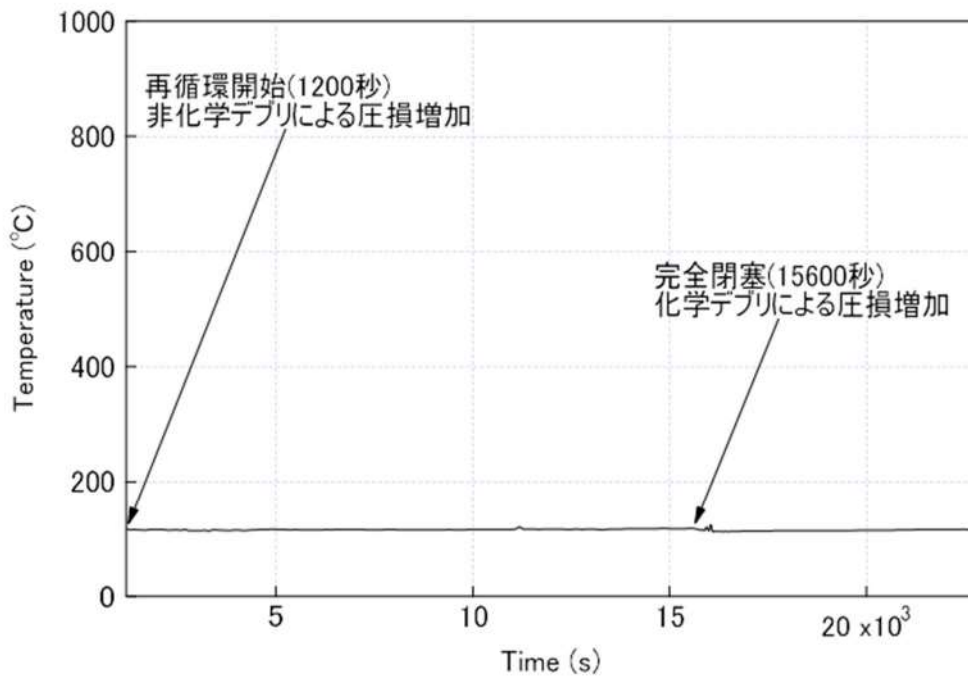
添付表 2 プラントタイプ間の比較

	4 ループ (17×17型燃料)	3 ループ (17×17型燃料)	3 ループ (15×15型燃料)	2 ループ (14×14型燃料)
再循環開始時の冷却性： 冷却材体積に対する炉心発熱 (崩壊熱) との比	大	小	小	小
炉心への冷却水注入駆動力： 低温側配管取付け部下端と炉 心下端部との高低差	大	小	中	中
デブリによる流動抵抗： 炉心入口部でのデブリ閉塞、 圧損増加の程度	大	大	小	小

(太字がデブリ付着による炉心長期冷却性が厳しくなると考えられる。)



添付図3 化学デブリ析出時間の4時間の場合の最高被覆管温度  
(標準4ループプラント解析結果：ステップ2ウラン燃料炉心)



添付図4 化学デブリ析出時間の4時間の場合の最高被覆管温度  
(標準4ループプラント解析結果：MOX燃料装荷による崩壊熱を増加させた感度解析)