

図 4-1 「雰囲気圧力・温度による静的負荷 (格納容器過圧・過温破損) (代替循環冷却を使用する場合)」において可燃性ガス濃度制御系の性能評価で使用している G 値を採用した場合のドライウエルの気相濃度の推移 (ドライ条件)

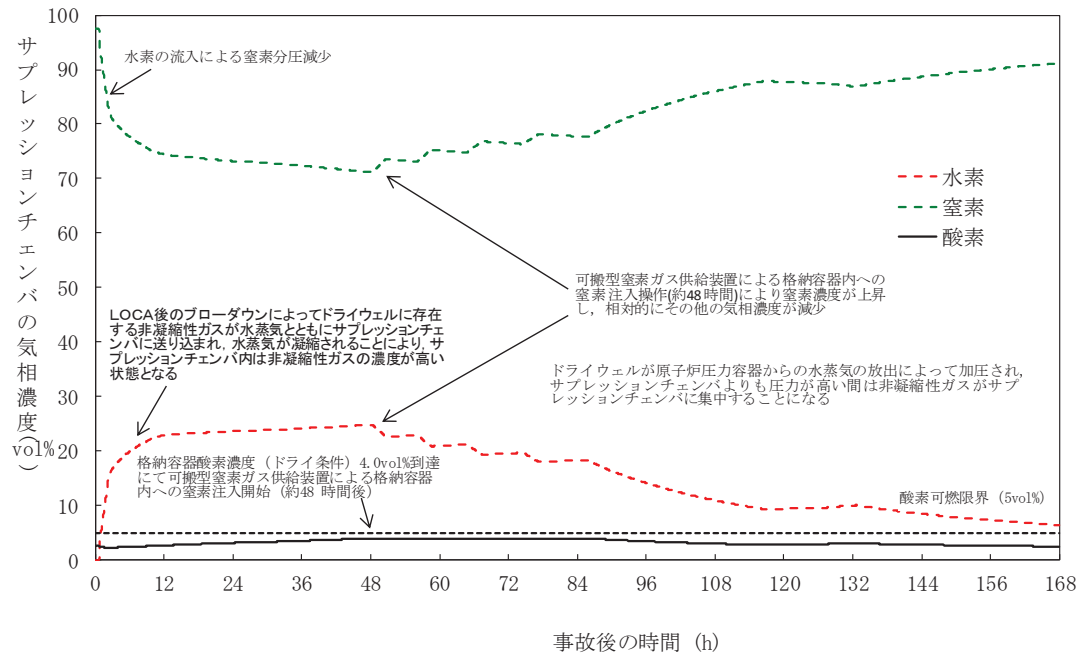


図 4-2 「雰囲気圧力・温度による静的負荷 (格納容器過圧・過温破損) (代替循環冷却を使用する場合)」において可燃性ガス濃度制御系の性能評価で使用している G 値を採用した場合のサブプレッションチェンバの気相濃度の推移 (ドライ条件)

「設置（変更）許可申請書 添付書類十 可燃性ガスの発生」における可燃性ガス濃度制御系による原子炉格納容器内水素及び酸素制御について

可燃性ガス濃度制御系による原子炉格納容器内の水素濃度低減性能については、設置（変更）許可における「添付書類十 可燃性ガスの発生について」において評価されている。

以下に当該評価条件及び評価結果を抜粋し記載する。

<抜粋> [その 1 - 9×9 燃料が装荷されるまでのサイクル]

### 3.5.3.2 格納容器内の可燃性ガス濃度の制御

水が放射線エネルギーを吸収すると、一部は放射線分解によって水素と酸素に分かれる。事故後、大部分の核分裂生成物は燃料中に存在し、発生する崩壊熱（放射線エネルギー）のほとんどは燃料棒に吸収されるが、一部は炉心冷却水に直接吸収される。また、燃料棒から核分裂生成物が放出される場合には、サブプレッションチェンバ内のプール水中に保持された核分裂生成物からの放射線エネルギーがプール水中に吸収されることにより、これらの水の一部が放射線分解する。このように放射線分解の量によっては、何らかの対策を施さないと事故時に隔離された格納容器内に、水素、酸素が徐々に蓄積され可燃限界を超えて燃焼し、格納容器内の温度、圧力を上昇させる可能性があるため可燃性ガス濃度制御系を作動させて水素濃度及び酸素濃度を低下させる。

なお、可燃性ガスのミキシングについては、格納容器内に存在する種々の駆動力により、十分なミキシングが期待できる。

以下に LOCA 時の格納容器内の可燃性ガス濃度変化の解析を行う。

#### (1) 解析条件

解析は次のような仮定を用いて行う。<sup>(23) (24)</sup>

- a. 原子炉は事故発生直前まで定格出力の約 105% (2,540MWt) で運転していたものとする。
- b. ジルコニウム-水反応割合は、ECCS の性能解析結果の 5 倍、又は燃料被覆管の 0.23 ミル（これは燃料被覆管全量の 0.73%に相当する）厚さが反応した場合のいずれか大きいほうとし、解析では 0.73%とする。
- c. 格納容器調気系により事故前の格納容器内の酸素濃度は 4.0vol%以下としているが、解析では 4.0vol%とする。
- d. 事故前に冷却材中に溶存している水素、酸素の寄与は非常に少ないので、事故後の格納容器内の水素、酸素濃度の評価では無視する。
- e. ECCS の性能解析結果から事故時に燃料棒の破裂が生じないので、核分裂生成物はすべて燃料棒中にとどまるが、解析では放出割合を希ガス 100%、ハロゲン 50%及び固形分 1%とする。

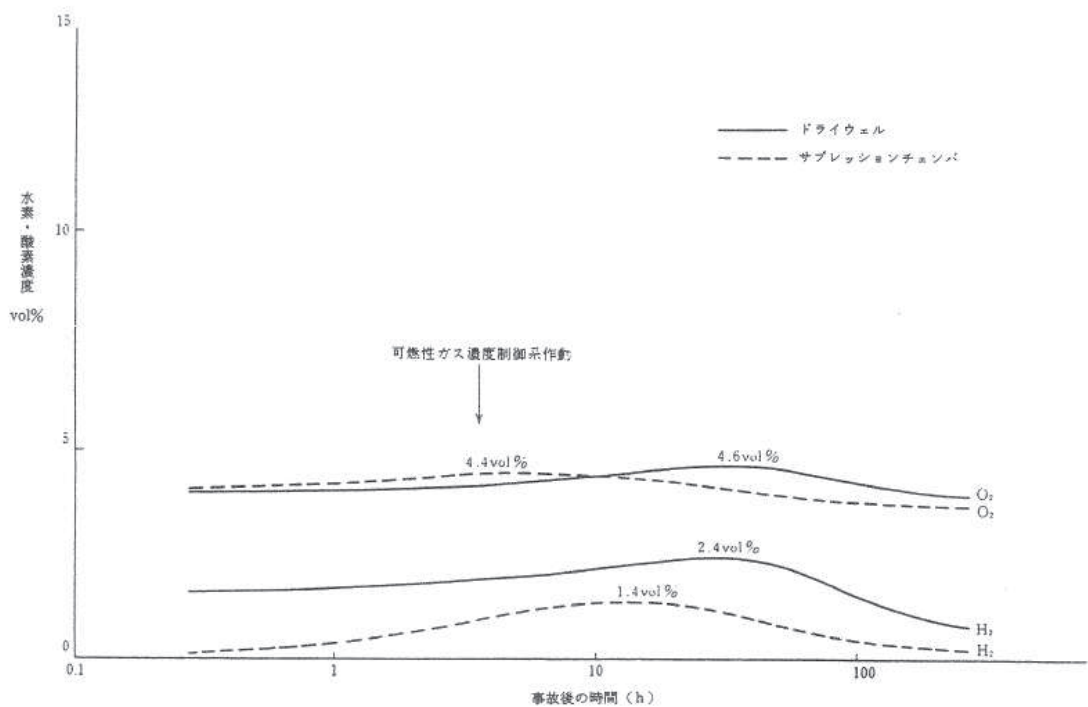
- f. 放射線分解により発生する水素ガス及び酸素ガスの発生割合（G 値）は、それぞれ 0.5 分子/100eV, 0.25 分子/100eV とする。
- g. ドライウエルから加熱式再結合器への吸込み流量は 255Nm<sup>3</sup>/h/系統とする。  
加熱式再結合器で処理されたガスは、すべてサブプレッションチェンバに戻るものとする。  
なお、再結合器は、事故後 3.5 時間で作動するものとする。
- h. 加熱式再結合器の水素ガス及び酸素ガスの再結合効率を 95%とする。
- i. 可燃性ガス濃度制御系に単一故障を仮定する。

(2) 解析方法

- a. ドライウエル、サブプレッションチェンバ間でのガスの移動は、圧力バランスの式により求める。
- b. 水素及び酸素濃度の時間変化は、質量バランスの式により求める。

(3) 解析結果

事故後の水素及び酸素濃度の時間変化を第 3.5.2-1 図に示す。この図に示すように本原子炉施設では可燃性ガス濃度制御系を使用して、水素と酸素を再結合させることにより、LOCA 時のドライウエル及びサブプレッションチェンバ内の可燃性ガス濃度を可燃限界未満に抑えることができる。



第 3.5.2-1 図 冷却材喪失時の格納容器内の水素・酸素濃度変化

<抜粋> [その 2-9×9 燃料が装荷されたサイクル以降]

### 3.5.2 可燃性ガスの発生

#### 3.5.2.1 原因

本事故の原因は、「3.2.1.1 原因」に記載されたものと同様である。

#### 3.5.2.2 事故防止対策及び事故拡大防止対策

本事故の事故防止対策及び事故拡大防止対策は、「3.2.1.2 事故防止対策及び事故拡大防止対策」に記載されたものと同様である。

#### 3.5.2.3 事故経過の解析

原子炉冷却材喪失時の格納容器の健全性を確認するため、格納容器内の可燃性ガス濃度変化の解析を行う。

##### (1) 解析条件

解析は次のような仮定を用いて行う。<sup>(23)(24)</sup>

- a. 原子炉は事故発生直前まで定格出力の約 105% (2,540MWt) で運転していたものとする。
- b. 事故発生と同時に外部電源が喪失するものとする。
- c. ジルコニウム-水反応による水素の発生量は、原子炉冷却材喪失解析による発生量の 5 倍、又は燃料被覆管の表面から 5.8 μm の厚さが反応した場合に相当する量のいずれか大きいほうとし、解析では燃料被覆管の表面から 5.8 μm の厚さが反応した場合に相当する量とする。

なお、これは 9×9 燃料 (A 型) では燃料被覆管全量の 0.88%、9×9 燃料 (B 型) では燃料被覆管全量の 0.89% に相当する量である。

- d. 原子炉格納容器調気系により事故前の格納容器内の酸素濃度は 4.0vol%以下としているが、解析では 4.0vol%とする。
- e. 事故前に冷却材中に溶存している水素、酸素の寄与は非常に少ないので、事故後の格納容器内の水素、酸素濃度の評価では無視する。
- f. 原子炉冷却材喪失解析結果から事故時に燃料棒の破裂が生じないので、核分裂生成物はすべて燃料棒中にとどまるが、解析ではハロゲンの 50%及び固形分の 1%が格納容器内の水の液相中に存在するものとする。さらに、他の核分裂生成物は、希ガスを除き、すべて燃料棒中に存在するものとする。
- g. 放射線分解により発生する水素ガス及び酸素ガスの発生割合 (G 値) は、それぞれ沸騰状態では 0.4 分子/100eV, 0.2 分子/100eV, 非沸騰状態では 0.25 分子/100eV, 0.125 分子/100eV とする。

- h. ドライウエルから可燃性ガス濃度制御系への吸い込み流量は  $255\text{m}^3/\text{h}[\text{normal}]$  とする。  
可燃性ガス濃度制御系で処理されたガスは、すべてサプレッションチェンバに戻るものとする。
- i. 可燃性ガス濃度制御系は、事故後 3.5 時間で作動し、同時に系統機能を発揮するものとする。
- j. 可燃性ガス濃度制御系の水素ガス及び酸素ガスの再結合効率を 95% とする。
- k. 放射能閉じ込め機能の観点から可燃性ガス濃度制御系に単一故障を仮定する。

## (2) 解析方法

- a. ドライウエル，サプレッションチェンバ間でのガスの移動は，圧力バランスの式により求める。
- b. 水素及び酸素濃度の時間変化は，質量バランスの式により求める。

## (3) 解析結果

事故発生後，最初にジルコニウム-水反応によりドライウエル内の水素濃度が上昇する。

一方，燃料棒中の核分裂生成物により冷却材の一部が放射線分解し，また燃料棒から放出されサプレッションチェンバ内のプール水中に保持された核分裂生成物により，サプレッションチェンバ内のプール水の一部が放射線分解し，格納容器内の水素及び酸素濃度が徐々に上昇する。

事故後 3.5 時間で可燃性ガス濃度制御系が作動し，系統機能を発揮すると，ドライウエルから可燃性ガス濃度制御系へ流入したガス中の水素と酸素が再結合され，処理されたガスはすべてサプレッションチェンバに戻される。サプレッションチェンバ内の気体は，圧力が上昇すると真空破壊装置を通してドライウエルへ流入する。

ドライウエル内の水素及び酸素濃度は，ドライウエル内での発生量とサプレッションチェンバからの戻り量との合計が可燃性ガス濃度制御系への流出量を下回った時点から低下し始める。同様に，サプレッションチェンバ内の水素及び酸素濃度は，サプレッションチェンバ内での発生量と可燃性ガス濃度制御系からの流入量との合計がドライウエルへの流出量を下回った時点から低下し始める。

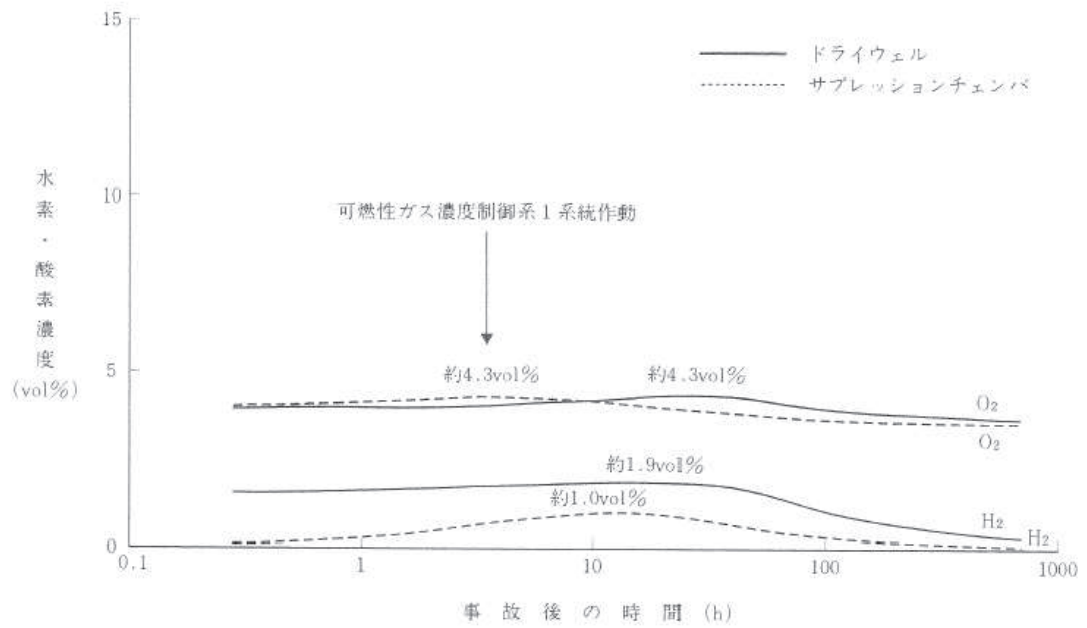
事故後の水素及び酸素濃度の時間変化を第 3.5.2-1 図に示す。この図から分かるとおり，格納容器内の可燃性ガス濃度は，最大でも，事故後約 20 時間でドライウエルの水素濃度が約 1.9vol%，約 27 時間でドライウエルの酸素濃度が約 4.3vol% に達するが，可燃限界である水素 4vol% 及び酸素 5vol% より低い。

なお，格納容器内の可燃性ガス濃度は，格納容器内に存在する種々の駆動力により十分混合させるため，局所的に高い濃度となることはない。

### 3.5.2.4 判断基準への適合性の検討

本事故に対する判断基準は、事象発生後少なくとも30日間は、格納容器内雰囲気中の酸素又は水素の濃度のいずれかが、それぞれ5vol%又は4vol%以下であることである。

「3.5.2.3 (3) 解析結果」で示したように、格納容器内の雰囲気は可燃限界未満に制御される。したがって、判断基準は満足される。



第3.5.2-1図 原子炉冷却材喪失時の格納容器内の水素・酸素濃度変化

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-08-0370-5_改0
提出年月日	2021年3月2日

補足-370-5 圧力低減設備その他の安全設備のポンプの有効吸込水頭に関する補足説明資料

## 目次

1. 内規との比較表…………… 1-1
2. 重大事故等時の発生異物量評価について…………… 2-1
3. 非常用炉心冷却系ストレナの重大事故等時圧損試験について…………… 3-1
4. 重大事故等時圧損試験における保守性について…………… 4-1
5. 圧力低減設備その他の安全設備のポンプの有効吸込水頭について…………… 5-1

### 別紙 1

- 重大事故等時の発生異物量算出方法について…………… 別紙 1-1

### 別紙 2

- 原子炉格納容器下部からサブプレッションプールへの異物流入経路について・別紙 2-1



1. 内規との比較表

内規	評価内容	既工認	先行（東海第二）
<p style="text-align: center;"><b>経済産業省</b></p> <p style="text-align: center;">平成20・02・12原院第5号</p> <p style="text-align: center;">非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係る過装置の性能評価等について（内規） を次のように定める。</p> <p style="text-align: center;">平成20年2月27日</p> <p style="text-align: center;">原子力安全・保安院長 薫田 康久</p> <p style="text-align: center;">非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係る過装置の性能評価等について（内規）</p> <p>本内規は、沸騰水型原子力発電設備（以下「BWR」という。）又は加圧水型原子力発電設備（以下「PWR」という。）の非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備（以下「EOCS」という。）に係る過装置（以下「ストレーナ」という。）について、閉塞事象の考慮に関しては発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令（昭和40年通商産業省令第62号、以下「省令」という。）第17条第3項及び第32条第5号イ、ストレーナの大型化に伴う構造強度に関しては省令第5条並びに第9条第2号及び第9号に規定する技術基準への適合性の判断基準を定めるものである。</p> <p style="text-align: center;">記</p> <p>1. ストレーナの性能評価</p> <p>ストレーナの性能評価は、一次冷却材喪失事故（以下「LOCA」という。）時に破損する保温材及び格納容器内に存在する他の異物がストレーナに付着することによる圧力損失（以下「圧損」という。）の上昇を考慮したEOCSに係るポンプ（以下「EOCSポンプ」という。）の有効吸込水頭が、当該ポンプの必要有効吸込水頭以上であることを確認することであり、その方法は、次の（1）から（5）に規定するとおりである。</p> <p>① <b>（1）保温材の破損量評価</b> LOCA時に破損する一次系配管の周辺に設置されている保温材について、その破損量が評価されていること。その際、配管の破断様式については、一次系大口径配管の完全両端破断が設定され、配管の破断点については、保温材の管理実態及びその将来的な変動に配慮した上で、破損を想定した保温材（以下「破損保温材」という。）のストレーナへの付着による圧損上昇が最大となる点が設定されていること。</p> <p>② <b>なお、保温材の破損を想定する破損影響範囲（以下「ZOI」という。）は、別表第1</b></p> <p style="text-align: center;">1</p>	<p style="text-align: center;">[Redacted]</p> <p>: ストレーナ圧損評価に関係しない項目</p> <p>1. ストレーナの性能評価 （1）保温材の破損量評価</p> <p>①内規に従い、保温材の破損量が最大となることが想定される、一次系配管である主蒸気系配管 [Redacted] の完全両端破断を想定している。 【破断想定点の考え方は東海第二同様】</p> <p>②内規別表第1に示す破損影響範囲に従い、破断想定点を中心に7.4D（7.4×[Redacted]）の半径の球の中に存在するカプセル保温（金属反射型）について、将来的な変動に配慮した物量として、[Redacted] m<sup>2</sup>としている。 【ZOI内保温材の算出方法は東海第二同様】</p>	<p>①平成17・10・13原院第4号「沸騰水型原子力発電設備における非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備に係る過装置の性能評価及び構造強度評価について」（以下「旧内規」という。）に従い、保温材の破損量が最大となる点を設定している。</p> <p>②旧内規図2（内規の別表第1に相当する。）に示す破損影響範囲に従い、設定している。</p>	<p>①内規に従い、保温材の破損量が最大となることが想定される、一次系配管である再循環系配管の完全両端破断を想定している。</p> <p>②内規別表第1に示す破損影響範囲に従い、破断想定点を中心に7.4Dの半径の球の中に存在するカプセル保温（金属反射型）を算出している。</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

内規	評価内容	既工認	先行（東海第二）
<p>に示す保温材の種類に応じ、破断点を中心とした同表に示す半径の球であること。</p> <p>③ (2) 破損保温材のECCS水源への移行量評価  (1) で評価された保温材の破損量に別表第2に示す割合を乗じた量が、ECCS水源（ECCSの再循環運転における水源をいい、BWRではサブプレッションプール、PWRでは格納容器再循環サンプをいう。以下同じ。）への移行量として評価されていること。ただし、PWRにおいては、格納容器内に放出される冷却材の全量に対する滞留水区分（冷却材の一部が滞留するおそれのある格納容器内の区分）の体積比を移行量に乗じた値を、当該移行量から減じることができることとする。この場合において、体積比は15%を上限とする。</p> <p>④ (3) 破損保温材以外の異物のECCS水源への移行量評価  破損保温材以外の格納容器内に存在する異物について、破断流・格納容器スプレイによる流動及び格納容器内雰囲気考慮の上で、ECCS水源への移行量が評価されていること。その際、存在する異物の量については、原則として、発電設備毎の状況調査に基づき保守的な量としていること。ただし、異物管理及び原子炉起動の際の格納容器内清掃・点検を実施している場合に限って、別表第3に示す異物の種類に応じ、当該異物の欄に示す量とすることができることとする。</p> <p>⑤ (4) 異物付着による圧損上昇の評価  異物付着による圧損上昇の評価に当たっては、異物付着による圧損上昇の最も厳しくなるECCSの系統構成が仮定されていること。その際、ECCS水源に移行した異物が、各系統流量に基づき分配され、かつ、全量ストレーナに付着するとされていること。異物付着による圧損上昇量は、当該系統構成に基づき、次の①から⑤を考量した上で、別記1に示すNUREG/CR-6224式又はNEDO-32721式のどちらか一方及びNUREG/CR-6808式を用いて求めた値の合計とする。その際、想定した異物付着量を踏まえた圧損試験の結果によって補正されていること。  なお、圧損試験の実施に当たっては、別記2に示す留意事項が考慮されていること。</p> <p>⑥ ① 圧損上昇評価の際に用いるECCS水源の水温は、保守的に低く設定されていること。  ② 冷却材の接近流速（ECCSの再循環運転時の最低水位で水没するストレーナ面積の単位面積当たりの系統流量をいう。以下同じ。）は、系統の性能要求流量（電気事業法施行規則（平成7年通商産業省令第77号）第63条第1項第1号に基づく工事計画書における記載値）以上を基に設定されていること。  ③ 再循環運転時の最低水位は、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が生じる可能性がある場合は、その量を差し引いて算出されていること。</p> <p>⑦ ④ 再循環運転時の最低水位で水没するストレーナ面積は、別表第3のその他異物として想定したステッカー類の総面積の75%分を差し引いて算出されていること。</p> <p>⑧ ⑤ ストレーナ表面に堆積した繊維状の異物（以下「繊維質」という。）が粒子状の異物（以下「粒子」という。）を捕捉することによる効果（以下「薄膜効果」という。）を踏まえ、以下の想定のもと最大の圧損上昇が評価されていること。  A 繊維質の想定される最大付着量が、薄膜効果の発生開始量未満の場合には、薄膜効果の発生開始量の繊維質が付着すること。  B 繊維質の想定される最大付着量が、薄膜効果の発生開始量以上の場合には、薄膜効果が発生すること。  なお、別記1の評価式以外でも、同等の圧損試験により妥当性が証明された式であれば、使用することができることとする。</p>	<p>(2) 破損保温材の ECCS 水源への移行量評価</p> <p>③内規別表第2に従い、前記(1)で評価された保温材の破損量 <math>\square</math> m<sup>2</sup> に対し、移行割合 50% (カプセル保温 (金属反射型)) を乗じた <math>\square</math> m<sup>2</sup> がサブプレッションプール (以下「S/P」という。) に移行すると評価している。  【保温材の ECCS 水源への移行量の考え方は東海第二同様】</p> <p>(3) 破損保温材以外の異物の ECCS 水源への移行量評価</p> <p>④内規別表第3に従い、設定している。破損保温材以外の異物の S/P への移行割合は考慮していない。異物量の詳細を⑩に示す。  【保温材以外の異物量の考え方は東海第二同様】</p> <p>(4) 異物付着による圧損上昇の評価</p> <p>⑤内規に従い、代替循環冷却ポンプ (150 m<sup>3</sup>/h) の単独運転を想定し、前記④で評価した異物の全量がストレーナに付着することを想定している。異物付着による圧損上昇がより厳しくなるよう、保守的に流量 (<math>\square</math> m<sup>3</sup>/h) を想定している。  【接近流速設定の考え方は東海第二同様】</p> <p>異物付着による圧損上昇は、別記2に示す留意事項を考慮 (詳細を⑫～⑯に示す。) した圧損試験を踏まえ、繊維質・粒子状異物による圧損は NUREG/CR-6224 式、金属反射型保温材による圧損は NUREG/CR-6808 式に、化学影響生成異物の圧損は圧損試験により求めている。  【ストレーナ形状の違いにより適用する評価式が異なるが、別記1に示す式により評価】</p>	<p>③旧内規図2 (内規別表第2に相当する。) に従い、保温材の ECCS 水源移行量を評価している。詳細は⑩に示す。</p> <p>④旧内規図2 (内規別表第3に相当する。) に従い、設定している。破損保温材以外の異物の S/P への移行割合は考慮していない。なお、非 DBA 仕様塗装は、旧内規で規定されていないため考慮していない。異物量の詳細を⑩に示す。</p> <p>⑤旧内規に従い、ECCS 水源に移行した異物が各ストレーナに系統流量に基づき分配され、かつ、全量ストレーナに付着することを想定している。具体的には、RHR ポンプ、HPCS ポンプ及び LPCS ポンプの各1台運転を想定し、前記④の異物が各ポンプの定格流量により分配されるとして評価している。このため、ストレーナ1組当たり付着する異物量は発生量の約1/3としている。  繊維質及び粒子状異物の圧損は NUREG/CR-6224 式、金属反射型保温材による圧損は NUREG/CR-6808 式により求めている。</p>	<p>③内規別表第2に従い、保温材の ECCS 水源移行量を評価している。</p> <p>④内規別表第3に従い、設定している。破損保温材以外の異物のサブプレッション・プール (以下「S/P」という。) への移行割合は考慮していない。</p> <p>⑤内規に従い、代替循環冷却系ポンプの単独運転を想定し、S/P 内の異物全量がストレーナに付着することを想定している。異物付着による圧損上昇が最も厳しくなるよう、保守的に残留熱除去系ポンプ運転時の定格流量を想定している。  圧損試験結果を基に、繊維質・粒子状異物・化学影響生成異物による圧損は NEDO-32721 式、金属反射型保温材による圧損は NUREG/CR-6808 式により求めている。</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

内規	評価内容	既工認	先行（東海第二）
<p>に示す保温材の種類に応じ、破断点を中心とした同表に示す半径の球であること。</p> <p>③ (2) 破損保温材のECCS水源への移行量評価  (1) で評価された保温材の破損量に別表第2に示す割合を乗じた量が、ECCS水源（ECCSの再循環運転における水源をいい、BWRではサブプレッションプール、PWRでは格納容器再循環サンプをいう。以下同じ。）への移行量として評価されていること。ただし、PWRにおいては、格納容器内に放出される冷却材の全量に対する滞留水区分（冷却材の一部が滞留するおそれのある格納容器内の区分）の体積比を移行量に乗じた値を、当該移行量から減じることができることとする。この場合において、体積比は15%を上限とする。</p> <p>④ (3) 破損保温材以外の異物のECCS水源への移行量評価  破損保温材以外の格納容器内に存在する異物について、破断流・格納容器スプレイによる流動及び格納容器内雰囲気考慮の上で、ECCS水源への移行量が評価されていること。その際、存在する異物の量については、原則として、発電設備毎の状況調査に基づき保守的な量としていること。ただし、異物管理及び原子炉起動の際の格納容器内清掃・点検を実施している場合に限り、別表第3に示す異物の種類に応じ、当該異物の欄に示す量とすることができることとする。</p> <p>⑤ (4) 異物付着による圧損上昇の評価  異物付着による圧損上昇の評価に当たっては、異物付着による圧損上昇の最も厳しくなるECCSの系統構成が仮定されていること。その際、ECCS水源に移行した異物が、各系統流量に基づき分配され、かつ、全量ストレーナに付着するとされていること。異物付着による圧損上昇量は、当該系統構成に基づき、次の①から⑤を考量した上で、別記1に示すNUREG/CR-6224式又はNEDO-32721式のどちらか一方及びNUREG/CR-6808式を用いて求めた値の合計とする。その際、想定した異物付着量を踏まえた圧損試験の結果によって補正されていること。  なお、圧損試験の実施に当たっては、別記2に示す留意事項が考慮されていること。</p> <p>⑥ ① 圧損上昇評価の際に用いるECCS水源の水温は、保守的に低く設定されていること。  ② 冷却材の接近流速（ECCSの再循環運転時の最低水位で水没するストレーナ面積の単位面積当たりの系統流量をいう。以下同じ。）は、系統の性能要求流量（電気事業法施行規則（平成7年通商産業省令第77号）第63条第1項第1号に基づく工事計画書における記載値）以上を基に設定されていること。  ③ 再循環運転時の最低水位は、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が生じる可能性がある場合は、その量を差し引いて算出されていること。</p> <p>⑦ ④ 再循環運転時の最低水位で水没するストレーナ面積は、別表第3のその他異物として想定したステッカー類の総面積の75%分を差し引いて算出されていること。</p> <p>⑧ ⑤ ストレーナ表面に堆積した繊維状の異物（以下「繊維質」という。）が粒子状の異物（以下「粒子」という。）を捕捉することによる効果（以下「薄膜効果」という。）を踏まえ、以下の想定のもと最大の圧損上昇が評価されていること。  A 繊維質の想定される最大付着量が、薄膜効果の発生開始量未満の場合には、薄膜効果の発生開始量の繊維質が付着すること。  B 繊維質の想定される最大付着量が、薄膜効果の発生開始量以上の場合には、薄膜効果が発生すること。  なお、別記1の評価式以外でも、同等の圧損試験により妥当性が証明された式であれば、使用することができることとする。</p>	<p>⑥内規に従い、圧損上昇評価に用いる ECCS 水源の水温は、既工事計画書同様、原子炉設置変更許可申請書添付書類十における S/P 水温解析結果である LOCA 後数十秒後の約 <math>\square</math> °C から、保守的に <math>\square</math> °C としている。  冷却材の接近流速は、代替循環冷却ポンプ（定格 150m<sup>3</sup>/h）に対して、異物付着による圧損上昇がより厳しくなるよう、流量 <math>\square</math> m<sup>3</sup>/h を設定している。  【温度設定の考え方は東海第二同様】</p> <p>⑦内規に従い、残留熱除去系ストレーナの有効表面積は、既工事計画書にて算出した <math>\square</math> m<sup>2</sup> から、別表第3のその他異物として想定したステッカー類の総面積 <math>\square</math> m<sup>2</sup> 分の 75%分を差し引き、<math>\square</math> m<sup>2</sup> としている。  【有効表面積の考え方は東海第二同様】</p> <p>⑧女川原子力発電所第2号機では、原子炉格納容器内に存在する破損が想定される繊維質保温材について、全て圧損影響の少ない金属反射型保温材等に交換するため、薄膜効果を生じることはない。  【東海第二同様、原子炉格納容器内に繊維質保温材を使用しない】</p>	<p>⑥圧損上昇評価に用いる ECCS 水源の水温については、同左。  冷却材の接近流速は、残留熱除去系ストレーナに通水される流量 <math>\square</math> m<sup>3</sup>/h を設定している。</p> <p>⑦既工認において、ステッカー類のその他異物は考慮していない。</p> <p>⑧ECCS 水源に移行すると想定した繊維質保温材は薄膜効果発生開始量以上のため、薄膜効果による圧損上昇を想定している。</p>	<p>⑥内規に従い、以下のよう  に設定している。  圧損上昇評価に用いる ECCS 水源の水温は、原子炉設置変更許可申請書添付書類十における S/P 水温解析結果である LOCA 後数十秒後の温度から、保守的に設定している。  冷却材の接近流速は、代替循環冷却系ポンプに対して、異物付着による圧損上昇が最も厳しくなるよう、残留熱除去系ストレーナに通水される流量としている。</p> <p>⑦内規に従い、残留熱除去系ストレーナの有効表面積は、既工認にて算出した値から、その他異物として想定したステッカー類の総面積の 75% を差し引いた値としている。</p> <p>⑧原子炉格納容器内に存在する破損が想定される繊維質保温材について、全て圧損影響の少ない金属反射型保温材等に交換しており、薄膜効果を生じることはない。</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

内規	評価内容	既工認	先行（東海第二）
<p>⑨</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px;"> <p>(5) 有効吸込水頭の評価          上述の(1)から(4)までの規定に基づいて評価された圧損上昇を考慮したECOSポンプの有効吸込水頭が、当該ポンプの必要有効吸込水頭以上であることが確認されていること。          その際、ECOS水源の水温は保守的に高く設定されているとともに、配管破断後に上昇する背圧は、原則として考慮されていないこと。ただし、背圧を考慮することがやむを得ない場合には、保守性を十分考慮した背圧であること。</p> </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>2. ストレーナの耐震性及び構造強度の評価          ストレーナは工学的安全施設に属する機器であることから、クラス2機器としての耐震性及び材料及び構造強度に適合していること。          荷重の組合せについては、別表第4に示すように、死荷重、通常運転温度による熱荷重及び地震荷重に、異物付着による異物荷重及び差圧を組み合わせるとともに、BWRにおいては、原子力安全委員会「BWR Mark-I(II)型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針」に示される荷重も組み合わせていること。          ストレーナの許容応力については、別表第5に示すように、クラス2管に対する許容応力制限を準用し、異物付着による差圧に対する膜応力制限を設け、運転状態IVにおいても運転状態I・IIと同じ許容応力であること。</p> <p style="text-align: center; color: red;">圧損評価に関係しない項目 (耐震・強度評価等の評価で考慮する。)</p> <p>3. その他の評価          ストレーナの網目の粗さは、ECOSポンプ下流のスプレインズル、ECOS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。</p> <p style="text-align: center;">附 則（平成20年2月27日、平成20・02・12 原院第5号）</p> <p>1 本内規は、平成20年3月1日から施行する。          2 沸騰水型原子力発電設備における非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価及び構造強度評価について（内規）（平成17年10月25日、平成17・10・13 原院第4号）は廃止する。</p> </div> <p style="text-align: center;">3</p>	<p>(5) 有効吸込水頭の評価</p> <p>⑨LOCA 時に破損する保温材及び原子炉格納容器内に存在する異物がストレーナに付着することによる圧損の上昇を考慮したポンプの有効吸込水頭の算出においては、原子炉格納容器の背圧は考慮していない。</p> <p style="color: blue;">【東海第二同様、背圧を考慮していない】</p>	<p>⑨LOCA 時に破損する保温材及び原子炉格納容器内に存在する異物がストレーナに付着することによる圧損の上昇を考慮したポンプの有効吸込水頭の算出においては、S/C水温として安全解析上のLOCA後の最高水温を取り、その温度での飽和蒸気圧から保守的な背圧を設定している。</p>	<p>⑨LOCA 時に破損する保温材及び原子炉格納容器内に存在する異物がストレーナに付着することによる圧損の上昇を考慮したポンプの有効吸込水頭の算出においては、原子炉格納容器の背圧は考慮していない。</p> <p>なお、全交流動力電源喪失事象においては、原子炉隔離時冷却ポンプ及び常設高压代替注水系ポンプは、設計基準対処施設としての使用条件を超えて運転する（LOCA事象ではないため異物による圧損影響はない）が、当該系統の有効吸込水頭の評価においては、原子炉格納容器の背圧を考慮する。</p> <p>・原子炉格納容器の背圧は、全交流動力電源喪失事象における解析結果に基づき設定を行うが、当該評価を行う際には、解析の初期条件として格納容器圧力は大気圧、さらに、格納容器雰囲気温度を10℃に設定し、格納容器圧力の評価結果を低めに評価する感度解析結果に基づき設定する。</p>

内規	評価内容	既工認	先行（東海第二）																																													
<p>⑩</p> <p>別表第1 保温材の破損影響範囲半径</p> <table border="1" data-bbox="608 430 1104 688"> <thead> <tr> <th>保温材種類</th> <th>BWR</th> <th>PWR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>カプセル保温 (金属反射型)</td> <td>7.4D</td> <td>2.0D</td> </tr> <tr> <td>カプセル保温 (繊維質)</td> <td>7.4D</td> <td>2.4D</td> </tr> <tr> <td>一般保温 (ケイ酸カルシウム)</td> <td>7.4D</td> <td>5.5D</td> </tr> <tr> <td>一般保温 (繊維質)</td> <td>11.4D</td> <td>36.5D</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注) D: 破断を想定した配管の口径</p> <p>別表第2 破損保温材のECCS水源への移行割合</p> <table border="1" data-bbox="433 800 1228 1058"> <thead> <tr> <th>保温材種類</th> <th>BWR</th> <th>PWR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>カプセル保温 (金属反射型)</td> <td>50%</td> <td>57%(ドライ型) 68%(アイスコンデンサ型)</td> </tr> <tr> <td>カプセル保温 (繊維質)</td> <td>15%</td> <td>60%</td> </tr> <tr> <td>一般保温 (ケイ酸カルシウム)</td> <td>10%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>一般保温 (繊維質)</td> <td>28%(グレーチング上) 78%(グレーチング下)</td> <td>60%</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注) PWRの表内の値には大型片の移行を加味していないため、グレーチング等による捕捉が見込めない場合については別途評価すること。</p> <p>別表第3 破損保温材以外に考慮する異物</p> <table border="1" data-bbox="463 1192 1160 1451"> <thead> <tr> <th>種類</th> <th>BWR</th> <th>PWR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>耐DBA仕様塗装</td> <td>39 kg</td> <td>半径10Dの球形ZOIの表面積に塗膜厚さ乗じた値</td> </tr> <tr> <td>非DBA仕様塗装</td> <td colspan="2">格納容器内の事故時環境に直接曝されるもの全量</td> </tr> <tr> <td>堆積異物</td> <td>スラッジ: 89 kg 錆片: 23 kg 塵土: 68 kg</td> <td>繊維質: 13.6 kg 粒子: 77.1 kg</td> </tr> <tr> <td>その他異物</td> <td colspan="2">現地調査を踏まえ余裕を持たせた値</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注) D: 破断を想定した配管の口径  耐DBA仕様塗装: LOCA時の原子炉格納容器内環境に対する健全性が確認されている塗装  非DBA仕様塗装: LOCA時の原子炉格納容器内環境に対する健全性が確認されていない塗装  堆積異物: 格納容器内に堆積した塵や繊維等  その他異物: ステッカーや養生していないビニールシート等及びむき出しの保温材や耐火材</p>	保温材種類	BWR	PWR	カプセル保温 (金属反射型)	7.4D	2.0D	カプセル保温 (繊維質)	7.4D	2.4D	一般保温 (ケイ酸カルシウム)	7.4D	5.5D	一般保温 (繊維質)	11.4D	36.5D	保温材種類	BWR	PWR	カプセル保温 (金属反射型)	50%	57%(ドライ型) 68%(アイスコンデンサ型)	カプセル保温 (繊維質)	15%	60%	一般保温 (ケイ酸カルシウム)	10%	100%	一般保温 (繊維質)	28%(グレーチング上) 78%(グレーチング下)	60%	種類	BWR	PWR	耐DBA仕様塗装	39 kg	半径10Dの球形ZOIの表面積に塗膜厚さ乗じた値	非DBA仕様塗装	格納容器内の事故時環境に直接曝されるもの全量		堆積異物	スラッジ: 89 kg 錆片: 23 kg 塵土: 68 kg	繊維質: 13.6 kg 粒子: 77.1 kg	その他異物	現地調査を踏まえ余裕を持たせた値		<p>⑩ 【異物量は異なるが、算出方法は東海第二同様】</p> <p>【別表第1】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>カプセル保温 (金属反射型) : 7.4D <input type="text"/> m<sup>2</sup></li> <li>カプセル保温 (繊維質) : 7.4D <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>一般保温 (ケイ酸カルシウム) : 7.4D <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>一般保温 (繊維質) : 11.4D <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>(グレーチング上) : <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>(グレーチング下) : <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> </ul> <p>【別表第2】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>カプセル保温 (金属反射型) : 50% <input type="text"/> m<sup>2</sup></li> <li>カプセル保温 (繊維質) : 15% <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>一般保温 (ケイ酸カルシウム) : 10% <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>一般保温 (繊維質) (グレーチング上) : 28% <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>(グレーチング下) : 78% <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> </ul> <p>【別表第3】</p> <p>保温材以外の異物として、原子炉格納容器雰囲気を考慮のうえ、以下のように評価している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>耐DBA仕様塗装 (ジェット破損分) : 39 kg</li> <li>非DBA仕様塗装: 原子炉格納容器内の事故時環境に直接曝されるもの全量である <input type="text"/> kg としている。</li> <li>堆積異物: スラッジ 89 kg, 錆片 23 kg, 塵土 68 kg</li> <li>その他異物: 現地調査を踏まえ余裕を持たせた値として <input type="text"/> m<sup>2</sup> を考慮している。</li> </ul> <p>● 重大事故等時において新たに考慮する異物 (詳細は2章参照)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>耐DBA仕様塗装 (SA時剥離) : 重大事故等時の原子炉格納容器内環境に直接曝される塗装について保守的に全量剥落を想定し <input type="text"/> kg としている。</li> <li>化学影響生成異物: <input type="text"/> kg 全量考慮</li> </ul>	<p>⑩</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>カプセル保温 (金属反射型) : 7.4D <input type="text"/> m<sup>2</sup></li> <li>カプセル保温 (繊維質) : 7.4D <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>一般保温 (ケイ酸カルシウム) : 7.4D <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>一般保温 (繊維質) : 11.4D <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>(グレーチング上) : <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>(グレーチング下) : <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>カプセル保温 (金属反射型) : 50% <input type="text"/> m<sup>2</sup></li> <li>カプセル保温 (繊維質) : 15% <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>一般保温 (ケイ酸カルシウム) : 10% <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>一般保温 (繊維質) (グレーチング上) : 28% <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>(グレーチング下) : 78% <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>耐DBA仕様塗装 (ジェット破損分) : 39 kg</li> <li>堆積異物: スラッジ 89 kg, 錆片 23 kg, 塵土 68 kg</li> </ul>	<p>⑩</p> <p>内規別表第1に従い、保温材種類毎の破損影響範囲内の物量を算出している。</p> <p>内規別表第2に従い、保温材種類に応じたECCS水源への移行割合に基づき、物量を算出している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>耐DBA仕様塗装 (ジェット破損分) : 39 kg</li> <li>非DBA仕様塗装: 原子炉格納容器内の事故時環境に直接曝されるもの全量</li> <li>堆積異物: スラッジ 89 kg, 錆片 23 kg, 塵土 68 kg</li> <li>その他異物: 現地調査を踏まえ余裕を持たせた値を考慮している。</li> <li>耐DBA仕様塗装 (SA時考慮分) : 重大事故等時のドライウエル内環境に直接曝される塗装を保守的に全量剥落と想定</li> <li>化学影響生成異物: WCAPに基づき算出した物量の全量考慮</li> </ul>
保温材種類	BWR	PWR																																														
カプセル保温 (金属反射型)	7.4D	2.0D																																														
カプセル保温 (繊維質)	7.4D	2.4D																																														
一般保温 (ケイ酸カルシウム)	7.4D	5.5D																																														
一般保温 (繊維質)	11.4D	36.5D																																														
保温材種類	BWR	PWR																																														
カプセル保温 (金属反射型)	50%	57%(ドライ型) 68%(アイスコンデンサ型)																																														
カプセル保温 (繊維質)	15%	60%																																														
一般保温 (ケイ酸カルシウム)	10%	100%																																														
一般保温 (繊維質)	28%(グレーチング上) 78%(グレーチング下)	60%																																														
種類	BWR	PWR																																														
耐DBA仕様塗装	39 kg	半径10Dの球形ZOIの表面積に塗膜厚さ乗じた値																																														
非DBA仕様塗装	格納容器内の事故時環境に直接曝されるもの全量																																															
堆積異物	スラッジ: 89 kg 錆片: 23 kg 塵土: 68 kg	繊維質: 13.6 kg 粒子: 77.1 kg																																														
その他異物	現地調査を踏まえ余裕を持たせた値																																															

別表第4 荷重の組み合わせ及び許容応力状態

運転状態	死荷重	異物荷重	風圧	通常運転温度	SRV荷重		LOCA荷重			地震荷重		供用状態
					運転時	中小破断時	アーク炉内	蒸気凝縮	FFe <sup>2+</sup> 炉内	S1荷重	S2荷重	
運転状態I	○			○								A
運転状態II	○			○	○							B
運転状態IV(L)	○	○	○									A
運転状態IV(S)	○	○	○					○				D
運転状態IV(S)	○	○	○			○			○			D
運転状態IV(S)	○						○					D
運転状態I	○									○		C(ⅢAS)
運転状態I	○										○	D(ⅣAS)
運転状態II	○				○					○		C(ⅢAS)
運転状態II	○				○						○	D(ⅣAS)
運転状態IV(L)	○	○	○							○		C(ⅢAS)

○ : ストレーナ特有

- ・SRV荷重とLOCA荷重は2項のみ考慮する。なお、Mark-IIプラントではSRV荷重とチャージングは組み合わせなくてよい。
- ・地震荷重については、日本電気協会電気技術指針「原子力発電所耐震設計技術指針（JEA9401・編-1984）」の場合で記載。ただし、「発電所原子炉施設に関する耐震設計審査指針（平成15年9月19日原子力安全委員会決定）」に基づき耐震設計を行う発電所原子炉施設については、上記民間規格における基準地震動D2及び基準地震動D1に係る取扱い内容を、基準地震動S2及び弾性設計用地震動D2に準用して行うこと。
- ・S2荷重はAsクラスの原子炉格納容器設置適期に直接支持される部材のみ考慮する。
- ・運転状態IV(L)…運転状態IVの状態のうち、長期間のものが作用している状態
- ・運転状態IV(S)…運転状態IVの状態のうち、短期間のものが作用している状態
- ・供用状態については、日本機械学会「発電所原子炉設備規格、設計・運転規格（JME S-N01-2005）」のDR-2116、DR-2203の定義により記載。

圧損評価に関係しない項目

（耐震・強度評価等の評価で考慮する。）

別表第5 ストレーナの許容応力\*

供用状態	1次一般許容応力	1次屈+曲げ応力	1次+2次応力 ※2
A	S ※3	長期荷重 1.5S 短期荷重 1.0S	Sa
B	—		
D	S ※4		
C(ⅢAS)	Syと0.8Suの小さい値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及びニッケル合金については1.2Sとしてもよい。	Sy。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及びニッケル合金については1.2Sとしてもよい。	Uf<1（ただし、地震動のみによる1次+2次応力の変動値が2Sy以下であれば、曲げ解析は不要。）
D(ⅣAS)	0.8Su	互換の1.5倍	

\*1：日本機械学会「発電所原子炉設備規格、設計・運転規格（JME S-N01-2005）」及び日本電気協会電気技術指針「原子力発電所耐震設計技術指針（JEA9401・編-1984）」の場合。ただし、「発電所原子炉施設に関する耐震設計審査指針（平成15年9月19日原子力安全委員会決定）」に基づき耐震設計を行う発電所原子炉施設については、上記民間規格における基準地震動D2及び基準地震動D1に係る取扱い内容を、基準地震動S2及び弾性設計用地震動D2に準用して行うこと。

\*2：2次応力が発生する場合のみ考慮

\*3：運転状態IV(L)のみ

\*4：運転状態IV(蒸気凝縮、チャージング)のみ

S-許容引張応力、Sy-設計引張応力、Su-設計引張強さ、Sa-許容応力、Uf-曲げ累積率

内規	評価内容	既工認	先行（東海第二）
<p style="text-align: right;">別記1</p> <p>① <math display="block">\frac{dH}{dL_0} = C \left[ 3.5S_v^2(1-\epsilon_m)^{1.5} \{1+57(1-\epsilon_m)^3\} \mu U + 0.66S_v \frac{(1-\epsilon_m)}{\epsilon_m} \rho_w U^2 \right] \left( \frac{dL_m}{dL_0} \right)</math> <p><math>dH</math>: 圧力損失 (m)  <math>C</math>: 変換定数 (m/Pa)  <math>dL_0</math>: ベッド厚さ (理論値) (m)  <math>dL_m</math>: 付着後のベッド厚さ (m)  <math>S_v</math>: 異物の比面積 (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)  <math>\epsilon_m</math>: 混合異物の空隙率  <math>\mu</math>: 水の粘性係数 (kg/(m·s))  <math>\rho_w</math>: 水の密度 (kg/m<sup>3</sup>)  <math>U</math>: 吸込流速 (接近流速) (m/s)</p> <p>(NEDO-32721評価式) (繊維質・粒子状異物に対する式)<sup>(1)(2)</sup></p> <math display="block">h = \frac{\mu U r}{\rho g d^3} \cdot K_s</math> <p><math>h</math>: 圧力損失 (m)  <math>U</math>: ストレーナ側面に対する流速 (m/s)  <math>r</math>: ストレーナ側面に対する異物厚さ (m)  <math>\mu</math>: 水の粘性 (kg/(m·s))  <math>\rho</math>: 水の密度 (kg/m<sup>3</sup>)  <math>g</math>: 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)  <math>d</math>: Interfiber Distance (異物間の隙間を表す値) (m)  <math>K_s</math>: ストレーナ効率を表す無次元数, 圧力損失を無次元化したもの</p> <p>女川2号 ECCS ストレーナでは使用しない。</p> <p>② <math display="block">\Delta H = \frac{1.56 \times 10^{-5}}{K_r^2} U^2 (A_{foil} / A_{str})</math> <p><math>\Delta H</math>: 圧力損失 (m)  <math>K_r</math>: 金属箔のギャップ厚さ (m)  <math>U</math>: 接近流速 (m/s)  <math>A_{foil}</math>: 金属箔の表面積 (両面の合計値) (m<sup>2</sup>)  <math>A_{str}</math>: ストレーナ表面積 (m<sup>2</sup>)</p> <p>参考文献  (1) NUREG/CR-6224, G. Zigler et al., "Parametric Study of the Potential for BWR ECCS Strainer Blockage Due to LOCA Generated Debris" (SEA No. 93-554-00-A.1), USNRC, October 1995.  (2) NEDO-32721 "Licensing Topical Report, Application Methodology for the General Electric Stacked Disk ECCS Suction Strainer," Revision 2, December 2001.  (3) NUREG/CR-6808, "Knowledge Base for the Effect of Debris on Pressurized Water Reactor Emergency Core Cooling Sump Performance," USNRC, February 2003.</p> </p></p>	<p>①金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808 式により求める。  繊維質及び粒子状異物の圧損は、NUREG/CR-6224 式により求める。  化学影響生成異物の圧損は圧損試験により求める。  【東海第二同様、内規に基づく評価式と圧損試験で求めた値で評価】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>繊維質異物及び粒子状異物の付着による圧損</li> </ul> $\frac{\Delta H}{f_g \Delta L_0} = C \left[ 3.5S_v^2(1-\epsilon_m)^{1.5} \{1+57(1-\epsilon_m)^3\} \mu U + 0.66S_v \frac{(1-\epsilon_m)}{\epsilon_m} \rho_w U^2 \right] \left( \frac{\Delta L_m}{\Delta L_0} \right)$ <p><math>\Delta H =</math> [ ] (m)  ここで、  <math>\Delta L_0 = 0.0003</math> (m)  <math>f_g =</math> [ ]  <math>C = 1.01972 \times 10^{-4}</math>  <math>S_v =</math> [ ] (m<sup>-1</sup>)  <math>\epsilon_m =</math> [ ] (-)  <math>\mu =</math> [ ] (評価水温 [ ] °C),  <math>U =</math> [ ] (m/s),  <math>\rho_w =</math> [ ] (評価水温 [ ] °C),  <math>\Delta L_m = 0.0003</math> (m)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>金属反射型保温材による圧損</li> </ul> $h_{RMI} = (1.56 \times 10^{-5} / K_t^2) \cdot U_{RMI}^2 \cdot (A_{foil} / A_c) \cdot 0.30$ <p><math>=</math> [ ] m  ここで、  <math>K_t =</math> [ ] (m) (既工認と同値)  <math>U_{RMI} =</math> [ ] (m/s)  <math>A_{foil} =</math> [ ] (m<sup>2</sup>)  <math>A_c =</math> [ ] (m<sup>2</sup>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>化学影響生成異物の付着による圧損</li> </ul> $h_3 = h_2 - h_1 =$ [ ] - [ ] = [ ] (m) ここで、 $h_1$ : A100H 投入直前の圧損 (m) $h_2$ : A100H 投入後の静定圧損 (m) $h_3$ : 化学影響生成異物 (A100H) の付着による圧損上昇 (m)	<p>①金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808 式により求める。  繊維質及び粒子状異物の圧損は、NUREG/CR-6224 式により求める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>繊維質異物及び粒子状異物の付着による圧損は、NUREG/CR-6224 式を適用する。なお、繊維質保温材の物量は薄膜効果発生開始量以上のため、薄膜効果による圧損上昇を考慮した評価を実施している。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808 式を適用する。</li> </ul>	<p>①金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808 式により求める。  繊維質、粒子状異物及び化学影響生成異物の圧損は、NEDO-32721 式により求めるが、化学影響生成異物については、保守的な評価となるよう、化学影響生成異物投入後すべての異物を考慮した d 値から実機圧損を算出する方法*1 よりも、化学影響生成異物投入前の異物を考慮した d 値から実機圧損を算出した値に、試験により確認された化学影響生成異物による圧損上昇分を加算する方法とする。</p> <p>NEDO-32721 式における d 値はストレーナ圧損試験結果から下式にて求める。</p> $d = \sqrt{\frac{\mu \cdot U \cdot r}{\rho \cdot g} \cdot \frac{K_h}{h}}$ <p>ここで算出された d 値に基づき、事故時の環境を想定した圧損評価を実施している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808 式を適用する。</li> </ul> <p>注記*1: 化学影響生成異物投入後すべての異物を考慮した d 値から実機圧損を算出する方法により求めた圧損値は、化学影響生成異物投入前の異物を考慮した d 値から実機圧損を算出した値に、試験により確認された化学影響生成異物による圧損上昇分を加算する方法により求めた圧損よりも小さくなる。</p>

内規	評価内容	既工認	先行（東海第二）
<p style="text-align: right;">別記2</p> <p><b>圧損試験の実施に当たっての留意事項</b></p> <p>圧損試験の実施に当たっては、プラント毎に実機の条件を踏まえるとともに、独立行政法人原子力安全基盤機構が実施した試験結果（JNES-SS-0703「PWRサンプスクリーン閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」）を踏まえて、次の事項に留意すること。</p> <p>⑫ 1. 複数の種類の異物が付着した場合の圧損上昇については、付着量が同量であってもストレーナへの付着のさせ方によって圧損上昇量が異なる。具体的には、繊維質と粒子の組合せにおいて、繊維質と粒子を混合させたものを堆積させた場合に比べ、繊維質を堆積させた後に粒子を堆積させた場合などで圧損上昇量が大きくなる試験結果がある。そのため、圧損試験においては、実機で想定される条件を検討の上、上述の圧損上昇の特性を踏まえて、試験条件の妥当性を確認する必要がある。</p> <p>⑬ 2. 圧損試験においては、異物の溶解、析出、追加付着等により圧損上昇に経時変化が考えられることから、十分な試験時間を確保し、非保守的な評価とならないよう配慮するとともに、試験水量の実機条件との違いによる影響についても検討することが必要である。</p> <p>⑭ 3. 想定される異物としては破損保温材以外の異物もあることから、圧損試験においては、それらの異物の取扱について各異物の物性を踏まえて非保守的な評価とならないよう、試験の妥当性を確認する必要がある。</p> <p>4. ストレーナに付着させる異物については、実機において想定される条件を検討の上、保守的な試験結果となるよう相当程度細かくする必要がある。</p> <p>⑮ 5. 試験流速については、実機と同等以上の接近流速にて測定するとともに、流速を変動させると、圧損上昇量に不可逆的な変化が生じる場合があることから、実機での運転実態を勘案して試験条件を設定する必要がある。</p> <p>⑯ 6. 試験温度については、水の粘性等について適切に取り扱っている限り特定の温度に限定する必要はないが、圧損試験の目的に照らして妥当であることを確認する必要がある。</p> <p>7. PWRにおいては、冷却材がほう酸水であり、ECCSシステムの再循環運転において冷却材中に水酸化ナトリウム、ヒドラジン又はほう酸ナトリウムを添加することから、これらと格納容器内構造物や破損保温材等との化学反応によりストレーナの圧損が上昇する可能性があり、その上昇の度合いは、異物等の種類、組合せによって異なるため、それらを考慮した上で、全体的な圧損上昇が最大となる条件で試験を行う必要がある。その際、実機の条件を模擬して日単位で圧損上昇が落ち着くまで試験を行う必要があるが、妥当性が確認された場合限り、別途異物・薬剤等を投入することにより加速試験を行うことができる。</p> <p style="text-align: center;">PWRの記載</p> <p>参考文献 JNES-SS-0703「PWR サンプスクリーン閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」、独立行政法人原子力安全基盤機構</p>	<p>別記2 圧損試験の実施に当たっての留意事項</p> <p>⑫圧損試験における異物の投入順序については、実機で想定される異物の発生順序を考慮し、圧損が保守的に大きくなるよう、以下のとおり設定している。</p> <p>① 金属反射型保温材 ② 繊維質保温材 ③ スラッジ ④ 塵土 ⑤ 錆片 ⑥ 耐 DBA 仕様塗装(ジェット破損分) ⑦ 非 DBA 仕様塗装(耐性未確認) ⑧ 耐 DBA 仕様塗装(SA 時剥落)*1 ⑨ 化学影響生成異物(A100H)*2</p> <p>注記*1：原子炉格納容器内が高温度状態を維持することにより、耐 DBA 仕様塗装が剥落し、ストレーナに到達することを想定している。</p> <p>注記*2：pH 制御時の化学影響生成異物がストレーナに到達することを想定している。化学影響生成異物は pH 調整剤が原子炉格納容器内に注入され、溶解物が S/P に到達後、プール水が冷却された後に析出することを想定している。</p> <p><b>【投入異物の順序は東海第二同様、繊維質の後に粒子状異物を投入する】</b></p>	<p>⑫圧損試験における異物の投入順序については、試験の保守性を考慮し、以下のとおり設定している。</p> <p>① 繊維質保温材 ② スラッジ、塵土、錆片、耐 DBA 塗料(ジェット破損分)の混合異物 ③ 金属反射型保温材</p>	<p>⑫圧損試験における異物の投入順序については、実機で想定される異物の発生順序を考慮し、圧損が保守的に大きくなるよう、以下のとおり設定している。</p> <p>① 金属反射型保温材 ② 繊維質保温材 ③ スラッジ ④ 塵土 ⑤ 錆片 ⑥ 耐 DBA 仕様塗装(ジェット破損分) ⑦ 非 DBA 仕様塗装(耐性未確認) ⑧ 耐 DBA 仕様塗装(SA 時剥落)*1 ⑨ 化学影響生成異物(A100H)*2</p> <p>注記*1：原子炉格納容器内が高温度状態を維持することにより、耐 DBA 塗料が剥落し、ストレーナに到達することを想定している。</p> <p>注記*2：pH 制御時の化学影響生成異物がストレーナに到達することを想定している。化学影響生成異物は pH 調整剤が格納容器内に注入され、溶解物が S/P に到達後、プール水が冷却された後に析出することを想定している。</p>



内規	評価内容	既工認	先行（東海第二）
<p style="text-align: right;">別記2</p> <p><b>圧損試験の実施に当たっての留意事項</b></p> <p>圧損試験の実施に当たっては、プラント毎に実機の条件を踏まえるとともに、独立行政法人原子力安全基盤機構が実施した試験結果（JNES-SS-0703「PWRサンプスクリーン閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」）を踏まえて、次の事項に留意すること。</p> <p>⑫ 1. 複数の種類の異物が付着した場合の圧損上昇については、付着量が同量であってもストレーナへの付着のさせ方によって圧損上昇量が異なる。具体的には、繊維質と粒子の組合せにおいて、繊維質と粒子を混合させたものを堆積させた場合に比べ、繊維質を堆積させた後に粒子を堆積させた場合などで圧損上昇量が大きくなる試験結果がある。そのため、圧損試験においては、実機で想定される条件を検討の上、上述の圧損上昇の特性を踏まえて、試験条件の妥当性を確認する必要がある。</p> <p>⑬ 2. 圧損試験においては、異物の溶解、析出、追加付着等により圧損上昇に経時変化が考えられることから、十分な試験時間を確保し、非保守的な評価とならないよう配慮するとともに、試験水量の実機条件との違いによる影響についても検討することが必要である。</p> <p>⑭ 3. 想定される異物としては破損保温材以外の異物もあることから、圧損試験においては、それらの異物の取扱いについて各異物の物性を踏まえて非保守的な評価とならないよう、試験の妥当性を確認する必要がある。</p> <p>4. ストレーナに付着させる異物については、実機において想定される条件を検討の上、保守的な試験結果となるよう相当程度細かくする必要がある。</p> <p>⑮ 5. 試験流速については、実機と同等以上の接近流速にて測定するとともに、流速を変動させると、圧損上昇量に不可逆的な変化が生じる場合があることから、実機での運転実態を勘案して試験条件を設定する必要がある。</p> <p>⑯ 6. 試験温度については、水の粘性等について適切に取り扱っている限り特定の温度に限定する必要はないが、圧損試験の目的に照らして妥当であることを確認する必要がある。</p> <p>7. PWRにおいては、冷却材がほう酸水であり、EOCS系統の再循環運転において冷却材中に水酸化ナトリウム、ヒドラジン又はほう酸ナトリウムを添加することから、これらと拾納容器内構造物や破損保温材等との化学反応によりストレーナの圧損が上昇する可能性があり、その上昇の度合いは、異物等の種類、組合せによって異なるため、それらを考慮した上で、全体的な圧損上昇が最大となる条件で試験を行う必要がある。その際、実機の条件を模擬して日単位で圧損上昇が落ち着くまで試験を行う必要があるが、妥当性が確認された場合に限って、別途異物・薬剤等を投入することにより加速試験を行うことができる。</p> <p style="text-align: center;">PWR の記載</p> <p>参考文献 JNES-SS-0703「PWR サンプスクリーン閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」、独立行政法人原子力安全基盤機構</p> <p style="text-align: center;">7</p>	<p>⑬実機の重大事故等時に代替循環冷却ポンプを運転する場合には、チャギングなどの水力学的動荷重は働いておらず、S/P内は十分静定している状態であることが想定されるが、攪拌流によりストレーナに異物付着させるような状況を作った上で試験を実施している。圧損試験においては、</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 5px;">試験設備内では、定格流量時に生じる実機の接近流速と同等以上となる攪拌流量を設定し、試験タンク内の攪拌状態を維持する。</p> <p>また、試験水量については、異物濃度が実機以上となるよう、ストレーナ単位表面積あたりの水量を小さく設定している。</p> <p>試験水量比（ストレーナ単位表面積当たり）：<input style="width: 50px;" type="text"/> m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup></p> <p>実機水量比（ストレーナ単位表面積当たり）：<input style="width: 50px;" type="text"/> m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup></p> <p style="color: blue;">【試験の終了判断は東海第二と同等】</p> <p>⑭想定される異物の種類及び取扱いについては、圧損試験上非保守的な評価とならないよう、過去の試験実績を踏まえ、以下のとおり設定している。</p>	<p>⑬圧損の変化率が落ち着くまで圧損値の計測を行っている。</p> <p>⑭非 DBA 仕様塗装及び化学影響生成異物については考慮していない。</p>	<p>⑬実機の重大事故等時に代替循環冷却系ポンプを運転する場合には、チャギングなどの水力学的動荷重は働いておらず、S/P内のデブリは十分静定している状態であることが想定されるが、攪拌機を使用してストレーナに異物付着させるような状況を作った上で試験を実施している。圧損試験設備内の戻り水は、定格流量時に生じる実機の接近流速と同等以上となるように試験装置の接近流速を設定し、試験タンク床にその流量を戻して攪拌させているとともに、試験中は攪拌機を使用して攪拌状態を維持する。</p> <p>また、試験水量については、異物濃度を実機以上となるよう、ストレーナ単位表面積あたりの水量を小さく設定している。</p> <p>⑭想定される異物の種類及び取扱いについては、圧損試験上非保守的な評価とならないよう、過去の試験実績を踏まえ、以下のとおり設定している。</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

内規	評価内容	既工認	先行（東海第二）
<p style="text-align: right;">別記2</p> <p><b>圧損試験の実施に当たっての留意事項</b></p> <p>圧損試験の実施に当たっては、プラント毎に実機の条件を踏まえるとともに、独立行政法人原子力安全基盤機構が実施した試験結果（JNES-SS-0703「PWRサンプスクリーン閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」）を踏まえて、次の事項に留意すること。</p> <p>⑫ 1. 複数の種類の異物が付着した場合の圧損上昇については、付着量が同量であってもストレーナへの付着のさせ方によって圧損上昇量が異なる。具体的には、繊維質と粒子の組合せにおいて、繊維質と粒子を混合させたものを堆積させた場合に比べ、繊維質を堆積させた後に粒子を堆積させた場合などで圧損上昇量が大きくなる試験結果がある。そのため、圧損試験においては、実機で想定される条件を検討の上、上述の圧損上昇の特性を踏まえて、試験条件の妥当性を確認する必要がある。</p> <p>⑬ 2. 圧損試験においては、異物の溶解、析出、追加付着等により圧損上昇に経時変化が考えられることから、十分な試験時間を確保し、非保守的な評価とならないよう配慮するとともに、試験水量の実機条件との違いによる影響についても検討することが必要である。</p> <p>⑭ 3. 想定される異物としては破損保温材以外の異物もあることから、圧損試験においては、それらの異物の取扱について各異物の物性を踏まえて非保守的な評価とならないよう、試験の妥当性を確認する必要がある。</p> <p>4. ストレーナに付着させる異物については、実機において想定される条件を検討の上、保守的な試験結果となるよう相当程度細かくする必要がある。</p> <p>⑮ 5. 試験流速については、実機と同等以上の接近流速にて測定するとともに、流速を変動させると、圧損上昇量に不可逆的な変化が生じる場合があることから、実機での運転実態を勘案して試験条件を設定する必要がある。</p> <p>⑯ 6. 試験温度については、水の粘性等について適切に取り扱っている限り特定の温度に限定する必要はないが、圧損試験の目的に照らして妥当であることを確認する必要がある。</p> <p>7. PWRにおいては、冷却材がほう酸水であり、ECCSシステムの再循環運転において冷却材中に水酸化ナトリウム、ヒドラジン又はほう酸ナトリウムを添加することから、これらと格納容器内構造物や破損保温材等との化学反応によりストレーナの圧損が上昇する可能性があり、その上昇の度合いは、異物等の種類、組合せによって異なるため、それらを考慮した上で、全体的な圧損上昇が最大となる条件で試験を行う必要がある。その際、実機の条件を模倣して日単位で圧損上昇が落ち着くまで試験を行う必要があるが、妥当性が確認された場合に限り、別途異物・薬剤等を投入することにより加速試験を行うことができる。</p> <p style="text-align: center;">PWR の記載</p> <p>参考文献 JNES-SS-0703「PWR サンプスクリーン閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」、独立行政法人原子力安全基盤機構</p>	<p><b>【破損保温材】</b></p> <p>繊維質：細かく裁断したロックウールを圧損試験に投入している。</p> <p><b>【繊維質のサイズは東海第二同様】</b></p> <p>金属反射型保温材：NUREG/CR-6808 に記載のある、米国での金属保温材破壊試験結果に基づき金属箔を切断し、投入している。</p> <p><b>【金属反射型保温材のサイズは東海第二同様】</b></p> <p><b>【破損保温材以外の異物】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>堆積異物 スラッジ：[ ]程度の粒径の酸化鉄粉末を圧損試験に投入している。 錆片：[ ]以下の酸化鉄を圧損試験に投入している。 塵土：[ ]程度の粒形のケイ砂粉末を圧損試験に投入している。</li> <li>耐 DBA 仕様塗装： [ ]程度のペイントチップを圧損試験に投入している。</li> <li>非 DBA 仕様塗装 ：粒径が [ ]程度のシリコンカーバイド粉末を圧損試験に投入している。</li> <li><b>【粒子状異物のサイズは文献により設定】</b></li> <li>その他異物：圧損試験に投入しない。 (原子炉格納容器内に存在するステッカーの総面積の 75%を、ストレーナ有効表面積から差し引いて評価しているため。)</li> <li><b>【その他異物は東海第二同様、試験に投入しない】</b></li> <li>化学影響生成異物： WCAP 手法により合成した圧損試験代替異物であるオキシ水酸化アルミニウムを圧損試験に投入している。</li> <li><b>【化学影響生成異物の取扱は東海第二同様】</b></li> </ul>	<p><b>【破損保温材】</b></p> <p>繊維質：同左</p> <p>金属反射型保温材：同左</p> <p><b>【破損保温材以外の異物】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>堆積異物 スラッジ：同左 錆片：[ ]程度の酸化鉄を投入している。 塵土：コンクリート粉末を投入している。</li> <li>耐 DBA 仕様塗装： [ ]</li> <li>非 DBA 仕様塗：シリコンカーバイド粉末</li> <li>その他異物：圧損試験に投入しない。(格納容器内に存在するステッカーの総面積の 75%を、ストレーナ有効表面積から差し引いて評価しているため。)</li> <li>化学影響生成異物：WCAP 手法により合成した圧損試験代替異物であるオキシ水酸化アルミニウムを圧損試験に投入している。</li> </ul>	<p><b>【破損保温材】</b></p> <p>繊維質： シュレッダーで細かく裁断したロックウール</p> <p>金属反射型保温材： NUREG/CR-6808 に記載のある、米国での金属保温材破壊試験結果に基づき金属箔を切断し、投入している。</p> <p><b>【破損保温材以外の異物】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>堆積異物 スラッジ：酸化鉄粉末 錆片：ふるいにかけて酸化鉄 塵土：ケイ砂粉末</li> <li>耐 DBA 仕様塗装：ペイントチップ</li> <li>非 DBA 仕様塗：シリコンカーバイド粉末</li> <li>その他異物：圧損試験に投入しない。(格納容器内に存在するステッカーの総面積の 75%を、ストレーナ有効表面積から差し引いて評価しているため。)</li> <li>化学影響生成異物：WCAP 手法により合成した圧損試験代替異物であるオキシ水酸化アルミニウムを圧損試験に投入している。</li> </ul>

内規	評価内容	既工認	先行（東海第二）
<p style="text-align: right;">別記2</p> <p><b>圧損試験の実施に当たっての留意事項</b></p> <p>圧損試験の実施に当たっては、プラント毎に実機の条件を踏まえるとともに、独立行政法人原子力安全基盤機構が実施した試験結果（JNES-SS-0703「PWRサンプスクリーン閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」）を踏まえて、次の事項に留意すること。</p> <p>⑫ 1. 複数の種類の異物が付着した場合の圧損上昇については、付着量が同量であってもストレーナへの付着のさせ方によって圧損上昇量が異なる。具体的には、繊維質と粒子の組合せにおいて、繊維質と粒子を混合させたものを堆積させた場合に比べ、繊維質を堆積させた後に粒子を堆積させた場合などで圧損上昇量が大きくなる試験結果がある。そのため、圧損試験においては、実機で想定される条件を検討の上、上述の圧損上昇の特性を踏まえて、試験条件の妥当性を確認する必要がある。</p> <p>⑬ 2. 圧損試験においては、異物の溶解、析出、追加付着等により圧損上昇に経時変化が考えられることから、十分な試験時間を確保し、非保守的な評価とならないよう配慮するとともに、試験水量の実機条件との違いによる影響についても検討することが必要である。</p> <p>⑭ 3. 想定される異物としては破損保温材以外の異物もあることから、圧損試験においては、それらの異物の取扱について各異物の物性を踏まえて非保守的な評価とならないよう、試験の妥当性を確認する必要がある。</p> <p>4. ストレーナに付着させる異物については、実機において想定される条件を検討の上、保守的な試験結果となるよう相当程度細かくする必要がある。</p> <p>⑮ 5. 試験流速については、実機と同等以上の接近流速にて測定するとともに、流速を変動させると、圧損上昇量に不可逆的な変化が生じる場合があることから、実機での運転実態を勘案して試験条件を設定する必要がある。</p> <p>⑯ 6. 試験温度については、水の粘性等について適切に取り扱っている限り特定の温度に限定する必要はないが、圧損試験の目的に照らして妥当であることを確認する必要がある。</p> <p>7. PWRにおいては、冷却材がほう酸水であり、ECCS系統の再循環運転において冷却材中に水酸化ナトリウム、ヒドラジン又はほう酸ナトリウムを添加することから、これらと積納容器内構造物や破損保温材等との化学反応によりストレーナの圧損が上昇する可能性があり、その上昇の度合いは、異物等の種類、組合せによって異なるため、それらを考慮した上で、全体的な圧損上昇が最大となる条件で試験を行う必要がある。その際、実機の条件を模擬して日単位で圧損上昇が落ち着くまで試験を行う必要があるが、妥当性が確認された場合に限る。別途異物・薬剤等を投入することにより加速試験を行うことができる。</p> <p style="text-align: center;">PWR の記載</p> <p>参考文献 JNES-SS-0703「PWR サンプスクリーン閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」、独立行政法人原子力安全基盤機構</p>	<p>⑮ 接近流速は大きいほど異物がストレーナに吸着し、圧損が上昇することから、代替循環冷却ポンプの通水流量 150m<sup>3</sup>/h を上回る流量（<input type="text"/> m<sup>3</sup>/h）を想定し、異物による圧損を評価している。</p> <p style="text-align: center;">【接近流速の考え方は東海第二同様】</p> <p>⑯ 温度が低くなるほど水の粘性が高くなり、圧損評価上保守的となるため、代替循環冷却ポンプの評価としては、既工認同様、添付書類十の S/P 水温度解析結果より、LOCA 後数十秒後には約<input type="text"/>℃以上となることから、保守的に<input type="text"/>℃として設定している。</p> <p style="text-align: center;">【温度設定の考え方は東海第二同様】</p>	<p>⑮ 各 ECCS ポンプの定格流量から試験流速を算出している。</p> <p>⑯ 同左</p>	<p>⑮ 試験時の接近流速については、実機と同等以上としている。</p> <p>接近流速は大きいほど異物がストレーナに吸着し、圧損が上昇することから、代替循環冷却系ポンプの定格流量を上回る、残留熱除去系ポンプの定格流量を想定している。</p> <p>⑯ 温度が低くなるほど水の粘性が高くなり、圧損評価上保守的となるため、代替循環冷却系ポンプの評価としては、既工認同様、添付書類十の S/P 水温度解析結果より、LOCA 後数十秒後の温度を下回る保守的な温度を設定している。</p>

## 2. 重大事故等時の発生異物量評価について

添付書類「VI-1-8-4 圧力低減設備その他の安全設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書」に用いる異物量については、原子炉格納容器内の冷却材配管の破断による破損影響範囲内の保温材に加え、原子炉格納容器内の塗装、堆積異物、その他異物及び化学影響生成異物を考慮している。

本資料では、重大事故等時における圧損評価に用いるこれら発生異物量について説明する。

### 2.1 設計基準事故時に考慮する発生異物量

設計基準事故時においては、原子炉格納容器内の冷却材配管の両端破断による原子炉冷却材喪失事故を想定し、配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、破損した保温材等がドライウエルからサプレッションプールへ落下し、非常用炉心冷却系（以下「ECCS」という。）ポンプの吸込流によりストレーナに付着する事象を想定している。

設計基準事故時の圧損評価では、「非常用炉心冷却設備又は原子炉格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価について（内規）」に準拠し、表 2-1 に示す異物を考慮している。

表 2-1 圧損上昇の要因となる異物（設計基準事故時）

考慮する異物の種類		物量	補足	
一般保温 (繊維質)		0 m <sup>3</sup>	原子炉格納容器内の繊維質保温材を全て撤去するため、考慮しない。	
カプセル保温 (金属反射型)		□ m <sup>2</sup>	破損影響範囲内の全ての保温材の金属箔の物量に余裕を見込んで算出している。	
粒子状異物	耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)	39 kg	配管破断により発生する塗装として、内規別表第 3 に示す物量を考慮している。	
	非 DBA 仕様塗装	□ kg	設計基準事故時の原子炉格納容器内環境に直接曝される塗装の内、耐性を確認できていない以下の塗装の剥落を想定し、算出している。 配管：□ kg 空調ダクト・ダクトサポート：□ kg D/W クーラ：□ kg トレイサポート：□ kg 弁：□ kg 合計 □ kg を圧損評価に用いる。	
	堆積異物	スラッジ	89 kg	堆積異物は通常運転時からサプレッションプール内に存在する異物量を想定しており、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 に示す物量を考慮している。
		錆片	23 kg	
塵土		68 kg		
その他異物	ステッカー類	□ m <sup>2</sup>	流路面積を低減させる異物として、内規別表第 3 に例示されている異物を参考に、現場調査結果から算出している。	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.2 重大事故等時の発生異物量

ECCS ストレーナの圧損上昇は、異物の付着によりストレーナの流路面積が低減し、流速が上昇することに起因する。

このため、原子炉格納容器内環境の高温状態を維持することに伴う発生異物量の増加及び炉心の溶融や原子炉圧力容器の破損に伴う発生異物量の増加について、以下に考察する。

### (1) 原子炉格納容器内環境の高温維持に伴う発生異物量の増加について

重大事故等時の原子炉格納容器内環境は、設計基準事故時よりも高温状態が長期間維持されるため、耐 DBA 仕様塗装の剥落による塗装物量の増加が想定される。

このため、設計基準事故時に剥落を考慮している塗装（配管破断時にジェット流で破損する耐 DBA 仕様塗装、非 DBA 仕様塗装）に加え、重大事故等時の環境における耐性の不確かさを考慮し、耐 DBA 仕様塗装については、保守的に重大事故等時の原子炉格納容器内環境に直接曝されもの全量剥落を想定する。また、ドライウエル内で全量剥落した耐 DBA 仕様塗装については、塗装分布、ベント管の配置及び吹出方向に依らず、保守的に全量が ECCS ストレーナに移行することを想定する。重大事故等時に発生する塗装の物量を表 2-2 に示す。

表 2-2 重大事故等時に発生する塗装の物量

異物の種類		物量	備考
塗 装	耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)	39 kg	設計基準事故時と同様の大破断 LOCA 時を想定するため、設計基準事故時と同様に内規別表第 3 に示す物量を適用する。
	非 DBA 仕様塗装	□ kg	重大事故等時は、設計基準事故時よりも原子炉格納容器内温度が高くなるため、設計基準事故時同様、原子炉格納容器内環境に直接曝される非 DBA 仕様塗装の全量剥落を想定する。
	耐 DBA 仕様塗装 (SA 環境剥離)	□ kg	重大事故等時は、設計基準事故時よりも照射線量が高く、高温状態が長時間継続することから、耐性の不確かさを考慮し、保守的に重大事故等時の原子炉格納容器内環境に直接曝されるもの全量剥落を想定する。また、ドライウエル内の耐 DBA 仕様塗装については、塗装分布、ベント管の配置及び吹出方向に依らず、保守的に全量が ECCS ストレーナに移行することを想定する。 ドライウエル内：□ kg サブプレッションチャンバ内：□ kg 合計 □ kg を保守的に丸め、□ kg として圧損評価に用いる。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 炉心の溶融に伴う発生異物の増加について

炉心損傷時においては、周辺被ばく低減のため、自主対策設備である原子炉格納容器 pH 調整系により水酸化ナトリウムをサプレッションプール水へ添加することから、冷却材中の水酸化ナトリウムと原子炉格納容器内に存在する構造物（反応性の高い Al 及び Zn を含むもの）との化学反応により発生する異物（化学影響生成異物）を新たに考慮する必要がある。

PWR プラントにおいて化学影響生成異物の発生量評価に使用している WCAP-16530<sup>\*1</sup>では、原子炉格納容器内に存在する Al 及び Zn を含有する構造物の表面積に対して、溶解速度（温度及び pH に依存）を掛けることで、Al 及び Zn の溶解量を算出し、溶解した Al 及び Zn が全て水酸化物として析出することとして評価している。

女川原子力発電所第 2 号機における化学影響生成異物の発生量は、PWR プラントの評価を参考に、下記も考慮して評価を行っている。

- ① 原子炉格納容器内の構造物は、塗装剥落後の金属表面からの金属の溶解を考慮する。
- ② 溶解速度算出において、pH が保守的に高く維持されるとして評価する。
- ③ WCAP-16530 では考慮されていない Fe についても、炭素鋼の腐食速度  $100 \text{ mdm}^*2$ （40～200℃、純水）より溶解量を算出する。

化学影響生成異物の圧損評価においては、JNES-SS-1004<sup>\*3</sup>に従い、これらの析出異物（Al、Zn 及び Fe の水酸化物）を圧損試験代替異物であるオキシ水酸化アルミニウム（A100H）の重量へ換算し、圧損試験に用いる。

化学影響生成異物の異物量評価概要について表 2-3 に示す。

注記\*1：「Evaluation of Post-Accident Chemical Effects in Containment Sump Fluids to Support GSI-191」（Westinghouse WCAP-16530-NP）

\*2：1 ヶ月あたりの腐食速度  $\text{mg}/(\text{dm}^2 \cdot \text{month})$

\*3：「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」

（独立行政法人原子力安全基盤機構 原子力システム安全部 JNES-SS-1004）

表 2-3 化学影響生成異物の異物量評価概要

種別	溶解量算出手法	主な構造物	化学影響生成異物量*
Al	WCAP-16530 により，原子炉格納容器内環境（温度及び pH）を考慮して算出する。	保温材外装板，ダクト保温外装板，グレーチング	□ kg
Zn		ジンク系塗装，亜鉛メッキ鋼構造物（グレーチング等），電線管	□ kg
Fe	炭素鋼腐食速度の知見から算出する。	炭素鋼配管・機器類（PCV 内面，ドライウェルローカルクーラ等）	□ kg
合 計			□ kg ↓ □ kg

注記\*：圧損試験代替異物である A100H の重量を示す。

化学影響生成異物量の合計である □ kg を保守的に丸め， □ kg として圧損評価に用いる。

(3) 原子炉圧力容器の破損に伴う発生異物量の増加について

原子炉圧力容器が破損した場合には，溶融デブリや構造物が原子炉格納容器下部に落下することとなる。しかし，原子炉格納容器下部は溶融デブリを全量保持できる容量を有しており，サブプレッションプールには開口部を経て流入する構造であること，原子炉格納容器下部内の構造物は比重が大きいこと（表 2-4 参照）から，開口部を経てサブプレッションプールへ流入することは考え難い。仮に比重が小さい異物がサブプレッションプールへ流入した場合でも，比重の小さい異物はダウンカマ内部のサブプレッションプール水面と同じ水位に留まる。以上より，原子炉圧力容器の破損に伴い発生した異物は，ストレーナへ到達しないと考えられる。

(別紙 2 参照)



表 2-4 原子炉格納容器下部内に存在する構造物の一覧

構造物	材質	比重	評価
プラットフォーム	炭素鋼	7.85	<p>原子炉格納容器下部内に存在する構造物は比重が大きく、原子炉格納容器下部内に沈降すると考えられるため、構造物自体がサプレッションプールに流入することはないと考えられる*。</p> <p>ただし、塗装がされている構造物については、原子炉格納容器内環境に直接曝されるもの全量の剥落を想定し、サプレッションプールに流入することを保守的に想定する。（耐 DBA 仕様塗装の物量は、表 2-2 に示す塗装物量 <input type="text"/> kg に含まれている。）</p>
カートレール	炭素鋼	7.85	
CRDハウジング	SUS	7.93	
CRD 機構	SUS	7.93	
CRDハウジングサポート	炭素鋼	7.85	
ケーブルトレイ	炭素鋼	7.85	
ICMハウジング	SUS	7.93	
SRNMドライチューブ・検出器	SUS	7.93	
LPRM検出器	SUS	7.93	
TIP案内管	SUS	7.93	
配管類	SUS	7.93	
計装品	SUS	7.93	
サポート類	炭素鋼	7.85	
ケーブル類	銅被覆材	8.92 0.9~1.5	<p>ケーブルとしての比重は1以上であり、原子炉格納容器下部内に沈降すると考えられる*。</p> <p>万が一、比重の小さい被覆材が流出しても、サプレッションプール水面付近に浮遊し、ストレーナに到達しないため、圧損に影響しない。</p>

注記\*：原子炉格納容器下部内の異物のサプレッションプールへの流入経路は別紙 2 を参照。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.3 まとめ

以上より、重大事故等時の発生異物量についてまとめた結果を表 2-5 に示す。本異物発生量を考慮して、圧損評価を行う。

表 2-5 重大事故等時の発生異物量評価

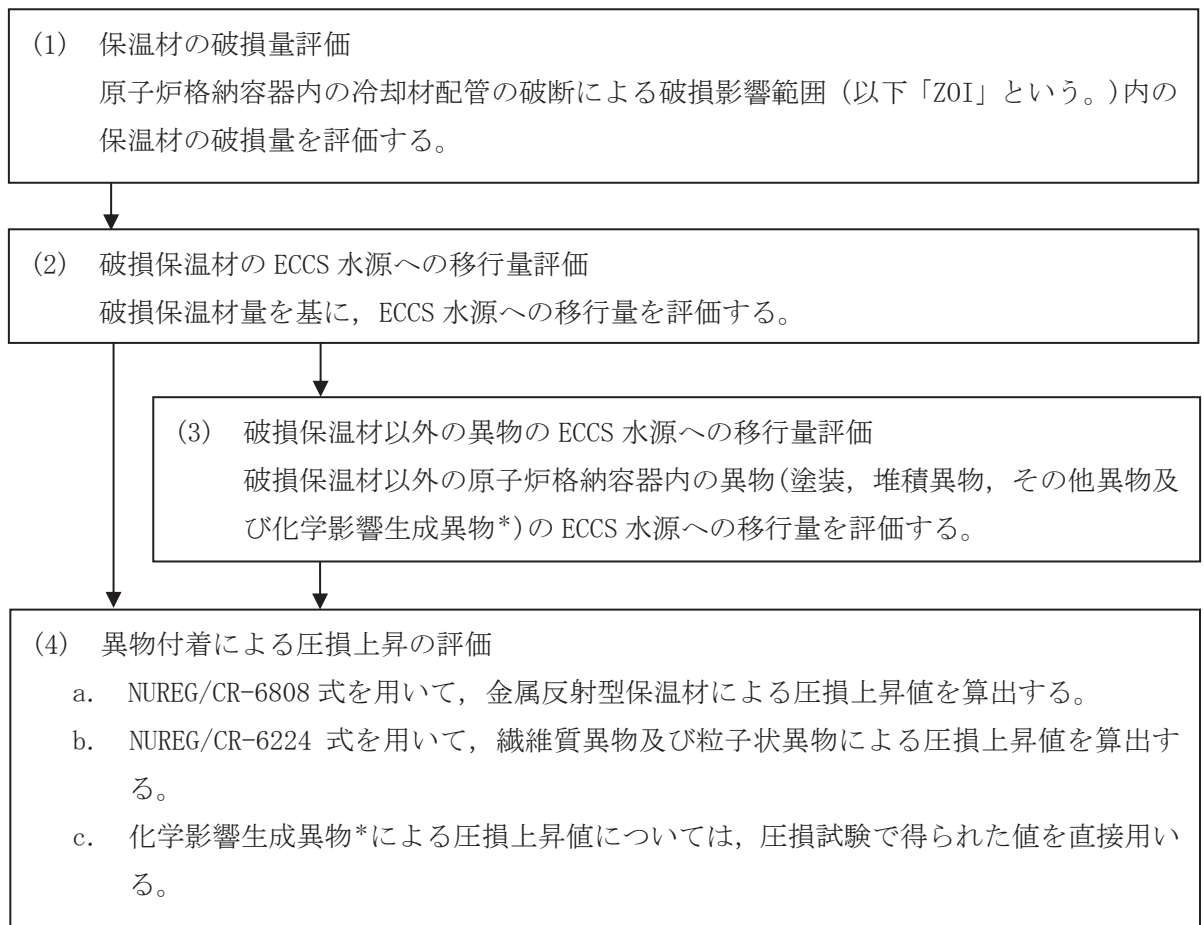
異物の種類		DB	SA	補足
保温材	一般保温 (繊維質)	0 m <sup>3</sup>		原子炉格納容器内の繊維質保温材を全て撤去するため、薄膜効果を生じることはない。
	カプセル保温 (金属反射型)	□ m <sup>2</sup>		設計基準事故時と同様の大破断 LOCA 時を想定するため、設計基準事故時の算出方法と同様に破損影響範囲内の全ての保温材の金属箔の物量に余裕を見込んで算出している。
塗装	耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)	39 kg		設計基準事故時と同様の大破断 LOCA 時を想定するため、設計基準事故時と同様に内規別表第 3 に示す物量を適用する。
	非 DBA 仕様塗装	□ kg		重大事故等時は設計基準事故時よりも原子炉格納容器内温度が高くなるため、設計基準事故時同様、原子炉格納容器内環境に直接曝される非 DBA 仕様塗装の全量剥落を想定する。
	耐 DBA 仕様塗装 (SA 環境剥離)	-	□ kg	重大事故等時は、設計基準事故時よりも照射線量が高く、高温状態が長時間継続することから、耐性の不確かさを考慮し、保守的に重大事故等時の原子炉格納容器内環境に直接曝されるもの全量剥落を想定する。また、ドライウェル内の耐 DBA 仕様塗装については、塗装分布、ベント管の配置及び吹出方向に依らず、保守的に全量が ECCS ストレーナに移行することを想定する。
堆積異物	スラッジ	89 kg		堆積異物は通常運転時からサプレッションプール内に存在する異物量を想定しており、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、内規別記 3 に示す異物を適用する。
	錆片	23 kg		
	塵土	68 kg		
化学影響生成異物		-	□ kg	WCAP 等により、Al、Zn 及び Fe を含有する原子炉格納容器内構造物の溶解及び析出を想定する。構造物の溶解速度が保守的となるよう、原子炉格納容器内温度が最大となる雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温）時の温度変化を包絡する条件とし、pH は高く維持されるものとして算出する。
その他異物		□ m <sup>2</sup>		原子炉格納容器環境で破損するステッカー類（流路面積を低減させ、圧損上昇に影響するもの）について、現場調査に基づき、物量を算出する。
原子炉格納容器下部内構造物		-	0 m <sup>2</sup>	構造物の塗装剥落及び化学影響生成異物については考慮するが、原子炉格納容器下部内構造物自体は圧損上昇の要因となる異物とならない。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 非常用炉心冷却系ストレーナの重大事故等時圧損試験について

#### 3.1 非常用炉心冷却系ストレーナの異物付着による圧損上昇について

重大事故等時の非常用炉心冷却系（以下「ECCS」という。）ストレーナの圧損評価においては、原子炉格納容器内の冷却材配管の両端破断による原子炉冷却材喪失事象を想定し、破断口から流出した冷却材により破損した保温材等がドライウエル（以下「D/W」という。）から ECCS 水源であるサプレッションプール（以下「S/P」という。）へ流入、代替循環冷却ポンプの吸込流により ECCS ストレーナに付着することに加え、S/P の pH 制御のために注入する水酸化ナトリウム水溶液と原子炉格納容器内構造物等との化学反応により新たに発生する異物（以下「化学影響生成異物」という。）についても想定し、「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）」に準拠し、ECCS ストレーナの圧損上昇の評価を行う。具体的な評価の手順を図 3-1 に示す。



注記\*：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（以下「WCAP」という。））に基づいて算出する。

図 3-1 ECCS ストレーナの圧損上昇の評価の手順

### 3.2 ECCS ストレーナについて

(1) 形式 カセット形ストレーナ（スイス CCI 社製）

(2) 構造と特徴

- ・円周方向に多数のポケットを配列したカセットを積層させることで、表面積を増加させる構造としている。
- ・ポケット形状を採用することで、限られた体積で表面積を最大化させることができ、付着異物による圧損上昇の影響を小さくすることができる。



図 3-2 CCI 社製ストレーナ

### 3.3 ストレーナの異物付着による圧損試験

【詳細は、添付 1「非常用炉心冷却系ストレーナの重大事故等時圧損試験要領について」参照】

(1) 試験の目的

CCI 社製ストレーナの実機プラント条件（異物条件）での実機模擬ストレーナを用いた圧損試験を実施し、試験結果及び圧損評価式に基づき圧損上昇の評価を行う。

(2) 試験実施場所、試験立合及び試験実施時期

- ・試験実施場所 米国（マサチューセッツ州）
- ・試験立合 当社社員による Web カメラによる確認
- ・試験実施時期

(3) 試験装置の概要

重大事故等時の圧損試験装置を図 3-3 に、主要仕様を表 3-1 に示す。試験用ストレーナは、実機形状を模擬しつつ、想定する異物量を考慮して、スケールダウンしたものをを用いている（図 3-4 参照）。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

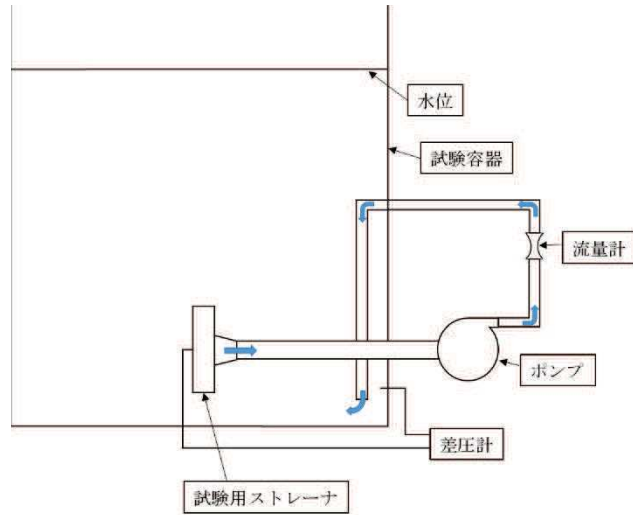


図 3-3 試験概要図

表 3-1 試験装置の主要仕様

項目	主要仕様
プール寸法	
プール容量	
ポンプ能力	
ストレーナ直径	
プレート穴径	
プレート穴ピッチ	
ポケット幅	

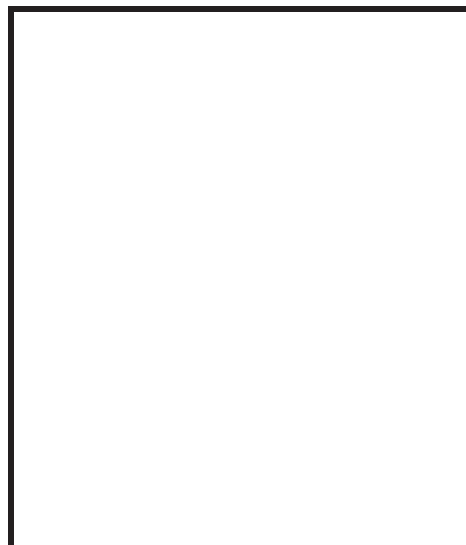


図 3-4 試験用ストレーナ

(4) 実機プラント条件

a. 流量条件

重大事故等における各事象（有効性評価の事故シーケンスグループ）のうち，雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）に S/P を水源として運転を行うポンプは，代替循環冷却ポンプである。表 3-2 に示すとおり，その運転時の通水流量は，150m<sup>3</sup>/h であるが，保守的な試験となるように，ストレーナの異物付着による圧損上昇評価に用いる ECCS ストレーナを通過する流量としては，通水流量を上回る試験流量を用いる。

表 3-2 ECCS ストレーナを通過する流量

系統設備	試験流量
代替循環冷却ポンプ	<input type="text"/> (m <sup>3</sup> /h) *

注記\*：通水流量 150 m<sup>3</sup>/h に保守性を持たせた流量条件とした。

b. 異物条件

重大事故等時において考慮する異物の種類及び量は，女川原子力発電所第2号機の状況調査に基づき，内規を参考に設定している。実機の異物条件を表3-3に示す。

表 3-3 実機異物条件

DBA 時（或いは SA 時）発生異物						SA 時発生異物		
繊維質 保温材*	金属 反射型 保温材	スラッジ	耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)	錆片	塵土	非 DBA 仕様塗装 (耐性未確認)	耐 DBA 仕様塗装 (SA 時剥落)	化学影響 生成異物 A100H
(kg)	(m <sup>2</sup> )	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
			39	23	68			

注記\*：女川原子力発電所第2号機では，原子炉格納容器内の繊維質保温材を全て撤去するが，保守的な試験条件とするため，繊維質厚さ 0.3mm 相当で評価を実施した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) 試験条件

実機異物条件を模擬した圧損試験条件は、試験用ストレーナと実機ストレーナの表面積比率（スケーリング比）、D/W から S/P への移行割合等を考慮し設定している。試験条件を表 3-4 に示す。

表 3-4 圧損試験条件

DBA 時（或いは SA 時）発生異物							SA 時発生異物	
繊維質 保温材	金属 反射型 保温材	スラッジ	耐 DBA 仕様塗装 (シールド破損)	錆片	塵土	非 DBA 仕様塗装 (耐性未確認)	耐 DBA 仕様塗装 (SA 時剥落)	化学影響 生成異物 A100H
(kg)	(m <sup>2</sup> )	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)

(6) 試験結果

圧損試験結果を図 3-5 に示す。この結果により化学影響生成異物による圧損上昇は、 m となる（ m = A100H 投入後圧損静定 - A100H 投入前圧損静定）。

なお、圧損の静定に十分な試験時間を確保していることから、試験の再現性はあると考えられる。

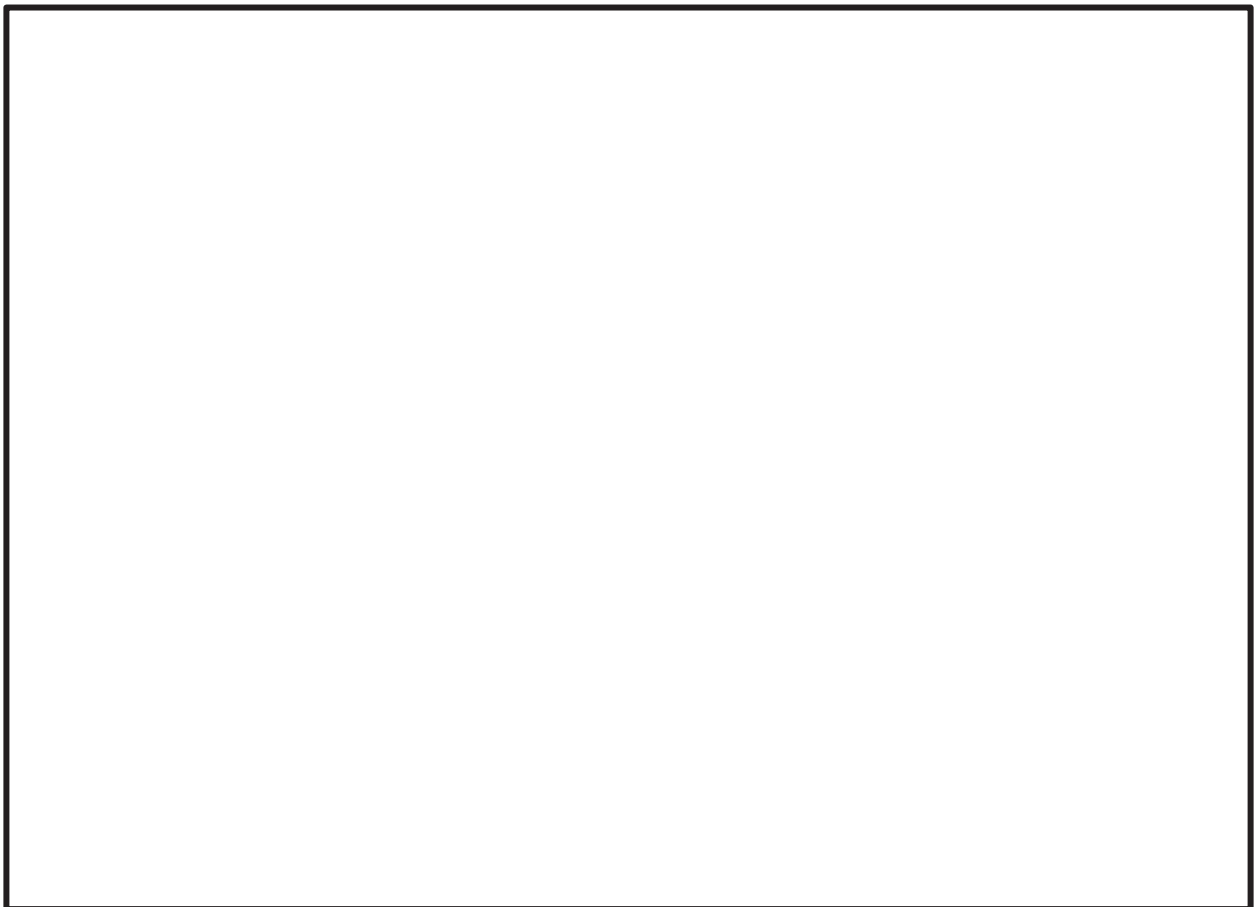


図 3-5 圧損試験結果

### 3.4 圧損評価式及び圧損上昇評価結果

#### (1) 圧損評価式

圧損上昇評価は、考慮する異物の種類に応じ、表 3-5 の評価式を採用して行う。

表 3-5 適用する圧損評価式

適用する圧損評価式	考慮する異物の種類
NUREG/CR-6224	繊維質保温材，スラッジ，塗装片，錆片及び塵土
NUREG/CR-6808	金属反射型保温材

#### (2) 圧損上昇評価結果

金属反射型保温材，繊維質，粒子状の異物及び化学影響生成異物による圧損値を合計した結果，ECCS ストレーナの異物付着による圧損値は表 3-6 に示すとおりである。

表 3-6 圧損上昇の評価結果

	代替循環冷却ポンプ
金属反射型保温材による圧損上昇	<input type="text"/> (m) *
繊維質及び粒子状の異物による圧損上昇	<input type="text"/> (m) *
化学影響生成異物による圧損上昇	<input type="text"/> (m) *
合計	<input type="text"/> (m) *

注記\*：各異物による圧損上昇結果は小数点以下第 3 位を四捨五入した結果を示し，合計値は小数点以下第 3 位を切り上げ処理した結果を示す。

### 3.5 まとめ

圧損試験の結果，異物による有意な圧損上昇は確認されず，圧損上昇の最大値は  m 程度であった。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



## 非常用炉心冷却系ストレーナの重大事故等時圧損試験要領について

## 1. 試験目的

CCI 社製ストレーナの実機プラント条件（異物条件）での実機模擬ストレーナを用いた圧損試験を実施し、試験結果と圧損評価式に基づき圧損上昇の評価を行う。

## 2. 試験条件

## (1) 流量条件

重大事故等における各事象（有効性評価の事故シーケンスグループ）のうち、雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）に S/P を水源として運転を行うポンプは、代替循環冷却ポンプであり、その運転時の通水流量は 150m<sup>3</sup>/h である。ただし保守的な試験となるように、 m<sup>3</sup>/h に相当する流量条件で試験を行う。

代替循環冷却ポンプの流量に保守性を持たせた場合（ m<sup>3</sup>/h）の試験流量は、表 2 に示すスケーリング比から表 1 のとおりとなる。

表 1 試験流量（代替循環冷却ポンプ流量に保守性を持たせた場合）

	試験条件	算出方法
流量 (m <sup>3</sup> /h)		

表 2 スケーリング比

スケーリング比（表面積比から設定）	基準面積
代替循環冷却ポンプ	<input type="text"/> *

注記\*：試験用ストレーナ表面積  m<sup>2</sup> ÷ 実機ストレーナ表面積  m<sup>2</sup> =  →

## (2) 異物の条件

## ① 異物量

試験装置に投入する異物量は、重大事故等時において考慮する異物の種類及び量の状況調査に基づき、内規を参考に設定した物量と表 2 に示すスケーリング比から算出する。

破損保温材以外の異物については、D/W から S/P への移行割合及び S/P からストレーナへの移行割合はいずれも 100%とする。

試験装置に投入する異物量は、表 3 のとおりとなる。

表 3 試験装置に投入する異物量

	試験条件	算出方法
繊維質保温材 (g)		
金属反射型保温材 (m <sup>2</sup> )		
スラッジ (g)		
耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損) (g)		
錆片 (g)		
塵土 (g)		
非 DBA 仕様塗装 (耐性未確認) (g)		
耐 DBA 仕様塗装 (SA 時剥落) (g)		
化学影響生成異物 (A100H) (g)		

注記\*：非 DBA 仕様塗装の模擬材料として使用するシリコンカーバイド粉末と、非 DBA 仕様塗装の体積が等価となるよう、密度比(  )で補正する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

② 異物サイズ

試験装置に投入する異物のうち設計基準事故時に想定している異物については、これまでと同様に米国原子力規制委員会の規制（NUREG）等を参考としたサイズとしている。また、重大事故等時の発生異物として新たに想定する耐 DBA 仕様塗装(SA 時剥落)の異物については、既工事計画書で想定した耐 DBA 仕様塗装（ジェット破損）と同等のサイズとしている。

各異物のサイズとその根拠を表 4 に示す。

表 4 異物のサイズ

	サイズ	サイズの根拠
金属反射型保温材		NUREG/CR-6808
繊維質保温材	細かく裁断したロックウール	内規 別記 2
スラッジ		NUREG/CR-6224 NUREG/CR-6367
塵土		NEI 04-07
錆片		NEDO-32686-A
耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)		NEDO-32686-A
非 DBA 仕様塗装 (耐性未確認)		NEI 04-07
耐 DBA 仕様塗装 (SA 時剥落)		NEDO-32686-A
化学影響生成異物 (A100H)		WCAP 手法に従い合成した A100H

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 試験装置

① 装置の仕様

圧損試験装置は、実機を模擬した試験用ストレーナをプール内に配置したモジュール試験装置とし、概要図を図1に、仕様を表5に示す。



図1 モジュール試験装置概要図（左：系統概要図 右：ストレーナ写真）

表5 モジュール試験装置の仕様

プール寸法	
プール容量	
ストレーナ吸込みポンプ能力	
プール内攪拌ポンプ能力	
ストレーナ直径	
プレート穴径	
プレート穴ピッチ	
ポケット幅	
試験用ストレーナ表面積	
試験プール底面からストレーナ下端までの距離	
プール内攪拌ノズル	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

② 試験用ストレーナの構造

実機ストレーナの構造を模擬するため、試験用ストレーナは実機ストレーナ一周分のポケットを模擬し、ストレーナの直径及び表面積をスケールダウンした構造としている。

試験用ストレーナと実機ストレーナの主な仕様の比較を表6に示す。

表6 ストレーナの主な仕様の比較

	試験用ストレーナ	実機ストレーナ
ストレーナ直径		
プレート穴径		
プレート穴ピッチ		
ポケット幅		
表面積		

試験用ストレーナの直径及び表面積をスケールダウンしたことで、実機で想定している異物濃度を下回らないよう、試験用ストレーナ表面積あたりの水量を少なく設計しており、異物濃度は実機以上となる。

試験水量比（ストレーナ単位面積当たり）： m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

実機水量比（ストレーナ単位面積当たり）： m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

③ ストレーナ表面積

実機ストレーナ表面積を表7に示す。

圧損試験で考慮するストレーナの基準表面積は、下記の式で算出する。

・ストレーナ基準表面積

$$= (\text{有効表面積}) - (\text{その他異物 (ステッカー類) 付着面積}) \times 0.75$$

$$= \text{} - \text{} \text{ m}^2$$

表7 ストレーナ基準表面積

系統	有効表面積	その他異物 (ステッカー類) 付着面積	ストレーナ 基準表面積
残留熱除去系 ストレーナ	<input type="text"/> m <sup>2</sup>	<input type="text"/> m <sup>2</sup>	<input type="text"/> m <sup>2</sup>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

④ ストレーナ接近流速

接近流速は、以下のとおり定義される。

$$U \text{ (m/s)} = Q/A$$

ここで、Q：流量 (m<sup>3</sup>/s)，A：ストレーナ基準表面積 (m<sup>2</sup>)

- ・試験用ストレーナ接近流速

$$\boxed{\phantom{000}} \text{ m/s} = \left( \boxed{\phantom{000}} \text{ m}^3/\text{h} \div 3600 \right) \div \boxed{\phantom{000}}$$

- ・実機ストレーナ接近流速

$$\boxed{\phantom{000}} \text{ m/s} = \left( \boxed{\phantom{000}} \text{ m}^3/\text{h} \div 3600 \right) \div \boxed{\phantom{000}}$$

⑤ 測定計器

試験に使用する測定計器を表 8 に示す。

表 8 計測装置の仕様

測定項目	使用計器 (型式)	測定範囲
ストレーナ流量 (m <sup>3</sup> /h)	コリオリ式 ( <input type="text"/> )	
攪拌流量 (m <sup>3</sup> /h)	ベンチュリ ( <input type="text"/> )	
	差圧変換器 ( <input type="text"/> )	
圧 損 (m H <sub>2</sub> O)	差圧変換器 ( <input type="text"/> )	
水 温 (°C)	測温抵抗体 ( <input type="text"/> )	
測定間隔	データシート*に記録。 ( <input type="text"/> )	

注記\*：データシートの手書を様式 1 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 試験要領

#### (1) 試験手順

- ① プール内に通常水位まで水を張り、ヒーターを用いて水温を所定の温度（℃）まで上げる。
- ② ストレーナ吸込みポンプを起動し、 m<sup>3</sup>/h\*の流量で安定させた後、クリーン圧損を測定する。

注記\*： m<sup>3</sup>/h× (スケーリング比) =  m<sup>3</sup>/h

- ③ 異物の準備として、繊維質保温材を水に 時間浸す。
- ④ プール内攪拌ポンプを起動し、異物を以下の順序で順次投入する。なお、異物投入位置は図2に示す。

- ・金属反射型保温材
- ・繊維質保温材
- ・スラッジ
- ・塵土
- ・錆片
- ・耐 DBA 仕様塗装（ジェット破損）
- ・非 DBA 仕様塗装（耐性未確認）
- ・耐 DBA 仕様塗装（SA 時剥落）

#### ⑤ 測定

- (a) 「 × (ターンオーバー時間)」までは 分毎に圧損、流量及び水温を記録し、浮遊する異物の変化や透明度の変化が観察されたときに写真撮影を実施する。
- (b) 「 × (ターンオーバー時間)」以降は 分毎に圧損、流量及び水温を記録し、浮遊する異物の変化や透明度の変化が観察されたときに写真撮影を実施する。
- (c)  分間平均の圧損変化率が落ち着く（ 分間の圧損変化が測定値の %以下となる）まで圧損値を確認する。

なお、測定値の %以下が測定計器の測定限界値以下の場合には、「 × (ターンオーバー時間)」経過した時点で圧損が静定したものとみなす。

#### ⑥ 化学影響生成異物を投入する。

以後、⑥ (a) ~ (c) と同じ。(A100H 溶液は、WCAP に基づいて作成)

- ⑦ ストレーナ吸込みポンプおよびプール内攪拌ポンプを停止し、試験を終了する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

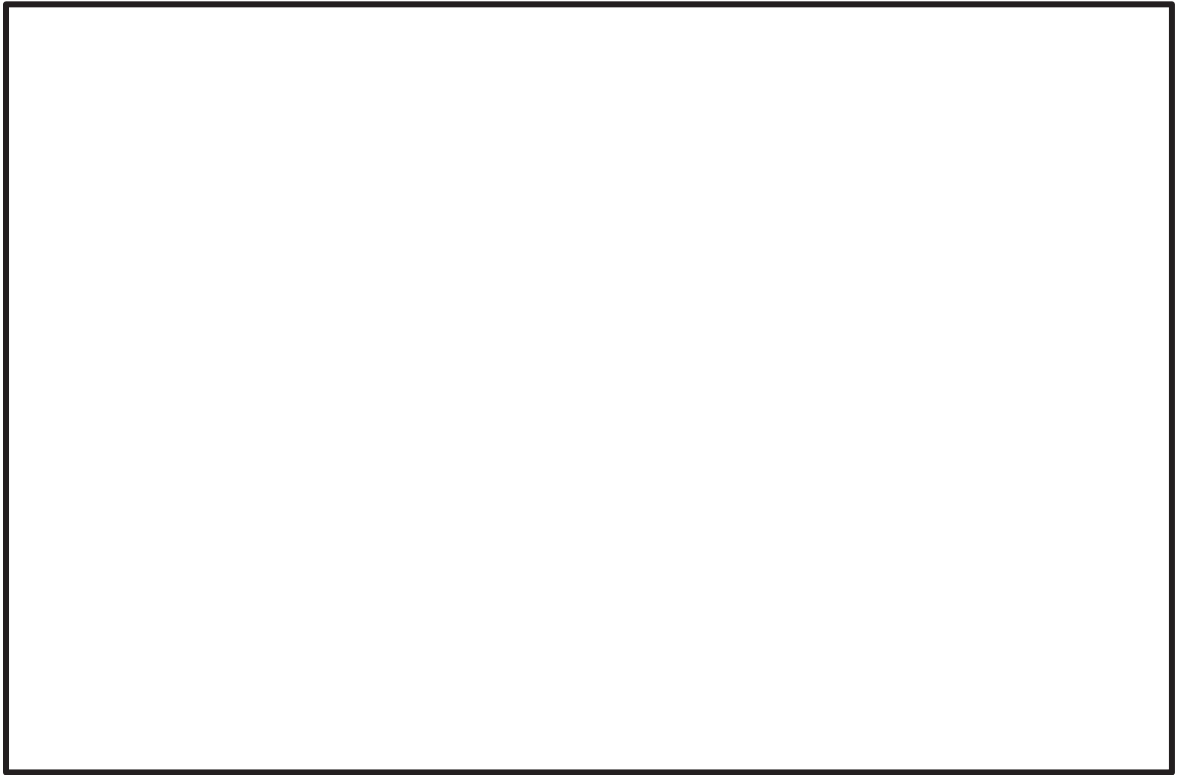


図2 異物投入位置及び攪拌ノズル位置（試験プール平面図）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(2) 実機ストレーナの圧損算出方法

下記の方法にて実機ストレーナの圧損を算出する。

- ① 初めに、NUREG/CR-6224 式及び NUREG/CR-6808 式より評価用圧損 ( $H_1$ ) を算出する。
- ② 次に、A100H 投入後の圧損試験結果 (A100H 投入による圧損上昇分  $h_3$ ) を  $H_1$  に加算して SA 時の実機圧損 ( $H_{SA}$ ) を算出する。

$$H_{SA} = H_1 + h_3, \text{ ここで } h_3 = h_2 - h_1 \text{ (図 3 参照)}$$

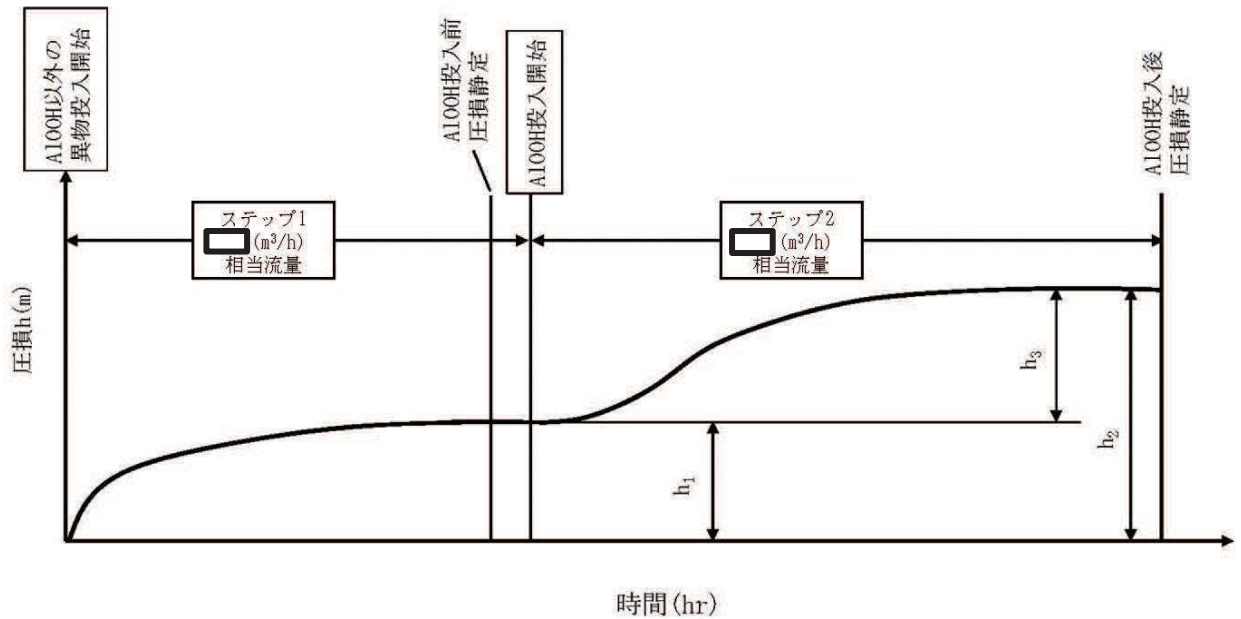
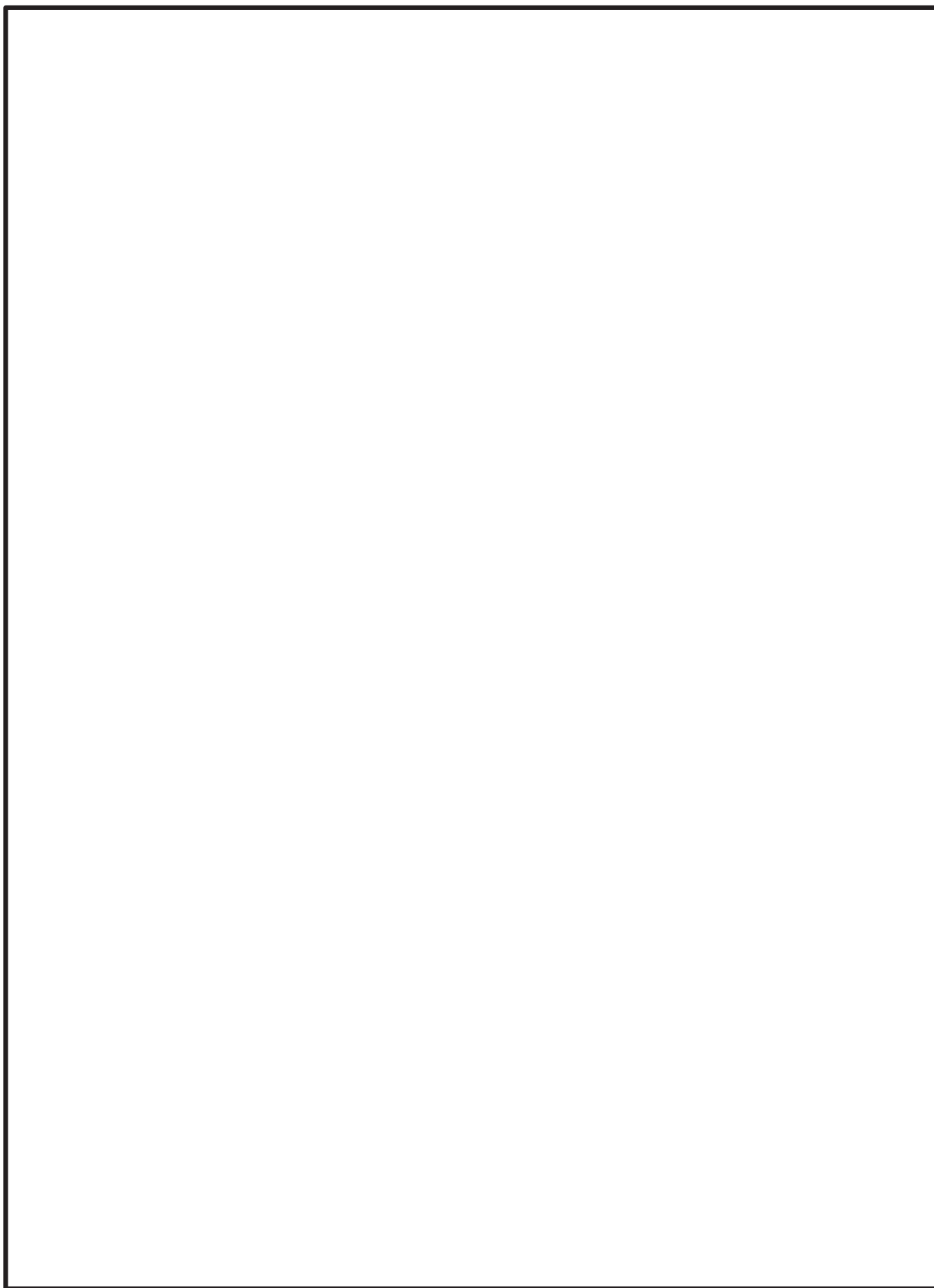


図 3 圧損試験結果の概要

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4. 重大事故等時圧損試験における保守性について

CCI 社製ストレーナの圧損試験の条件は、以下の保守性を有している。

##### 4.1 重大事故等時における異物量

###### ① 繊維質保温材

非常用炉心冷却系ストレーナ（以下「ECCS ストレーナ」という。）の設計において、圧損上昇に大きく影響する繊維質保温材の付着を前提条件としている。現状、原子炉格納容器内の繊維質保温材は、全て撤去することとしており、重大事故等時の環境における実力を把握するうえで必ずしも考慮する必要はないと考えるが、本圧損試験では繊維質保温材の付着を見込んだ試験条件とする。

###### ② 耐 DBA 仕様塗装

耐 DBA 仕様塗装は、DBA 環境（温度条件：171℃×1 時間+121℃×96 時間+93℃×72 時間）における耐性が確認された塗料であるものの、照射線量が高く、高温状態が長時間継続する重大事故等時の環境における耐性の不確かさを考慮し、保守的に重大事故等時の原子炉格納容器内環境に直接曝される耐 DBA 仕様塗装は全て剥落し、その全てが ECCS ストレーナへ移行するものとして物量を算定している。なお、現実的には耐 DBA 仕様塗装が事象初期（LOCA 発生直後のブローダウン過程）において剥落し、その全てが ECCS ストレーナへ到達するとは考えられず、後述するサプレッションチェンバへの移行タイミング・移行量ともに保守的な試験条件とする。

###### ③ 異物量

重大事故等時に想定する異物量は、計算値に対し下記の余裕をみて設定している。

	【異物量(計算値)】	【異物量】
繊維質保温材	: 0 (m <sup>3</sup> )	⇒ <input type="text"/> (m <sup>3</sup> ) (0.3mm 相当)
金属反射型保温材	: <input type="text"/> (m <sup>2</sup> )	⇒ <input type="text"/> (m <sup>2</sup> )
耐 DBA 仕様塗装 (SA 時剥離分)	: <input type="text"/> (kg)	⇒ <input type="text"/> (kg)
化学影響生成異物 (A100H)	: <input type="text"/> (kg)	⇒ <input type="text"/> (kg)

###### ④ 化学影響生成異物

溶解する構造物については、WCAP-16530 に規定されている Al 及び Zn に加えて、WCAP-16530 では対象外としている Fe についても化学影響生成異物の生成に寄与するものとして考慮している。

Al 及び Zn の溶解速度式は、pH 及び温度の関数であるが、原子炉格納容器内温度が最大となる雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）時の原子炉格納容器温度（有効性評価における解析値）に余裕を見込んだ温度とし、pH 制御装置運転後は、高 pH (pH=12.5) を維持するものとしている。

#### 4.2 異物の移行量

BWR のストレーナへ到達する異物は、以下の過程を経て移行すると想定される。

- a. LOCA 発生に伴い破断口から流出した原子炉冷却材がジェット流として噴出し、破断流の影響範囲 (ZOI) にある保温材、塗膜片が破損飛散する。
- b. LOCA ブローダウン過程および、その後の原子炉格納容器スプレイにより飛散した異物等が洗い流され、原子炉冷却材やスプレイ水等と共にベント管を通じてサブプレッションチェンバへ流入する。
- c. サプレッションチェンバ内の初期の過程においては LOCA 時のブローダウン過程により攪拌されている状況であり、サブプレッションチェンバに流入した異物は、LOCA 後速やかに起動した ECCS ストレーナに吸引され表面に付着する。

重大事故等時においては、

- ・耐 DBA 仕様塗装が LOCA 事象初期に全量剥離することは現実的には考えられず、実際には上記の a. ～ c. の過程の後、照射線環境、高温状態が長時間継続することで徐々に剥離し、一部がスプレイ水とともにサブプレッションチェンバへ流入すると想定され、さらにはサブプレッションチェンバ内の流況は上記の c. と比較して静定している状況と考えられる。
- ・加えて、ドライウエル内に均等に分布している耐 DBA 仕様塗装については、8 本のベント管を通じてサブプレッションチェンバへ流入するため、代替循環冷却系で兼用する ECCS ストレーナ (残留熱除去系ストレーナ (A)) の反対に位置するベント管から流入する異物については、ストレーナに移行するとは考えられない。
- ・また、その他の保温材等の異物についても、代替循環冷却ポンプの使用開始は、事象発生後 24 時間後であり、その段階におけるサブプレッションチェンバ内の流況は、上記の c. と比較して静定している状況であり、ブローダウン過程において流入した異物は、サブプレッションチェンバ底部に沈降している状況が想定される。なお、女川原子力発電所第 2 号機においては、サブプレッションチェンバ底部からストレーナ下端までの距離が  mm あり、サブプレッションチェンバ底面に沈降した異物が再浮遊し、ストレーナへ移行するとは考えられない。

しかしながら本試験条件の前提として、重大事故等時の破損保温材以外の異物の想定として、サブプレッションチェンバ流入後において、経路上での沈降やベント管の配置等を考慮せず、全量ストレーナに到達するとしている (ドライウエルからサブプレッションチェンバへの移行割合及びサブプレッションチェンバからストレーナへの移行割合はいずれも 100%としている)。

#### 4.3 圧損試験における保守性

##### ① 試験流量

重大事故等における各事象（有効性評価の事故シーケンスグループ）のうち、雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）にサプレッションチェンバを水源として運転する代替循環冷却ポンプの通水流量は、150 m<sup>3</sup>/h である。

これに対して圧損試験時には、150 m<sup>3</sup>/h を上回る流量として  m<sup>3</sup>/h 相当の流量を考慮しており、代替循環冷却ポンプの約  倍の試験流量としている。

なお、重大事故等時において、ストレーナの圧損上昇が確認された場合には、逆洗等の措置により機能の回復が期待できるが、本試験は連続通水の条件にて実施する。

##### ② 試験水量

圧損試験における水量は、異物濃度が実機で想定している異物濃度を下回らないように、ストレーナ表面積あたりの水量を少なくしている。

試験水量比（ストレーナ単位面積当たり）： m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

実機水量比（ストレーナ単位面積当たり）： m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

##### ③ 温度条件

サプレッションチェンバの水温は、原子炉設置変更許可申請書添付書類十におけるサプレッションチェンバ水温解析結果では LOCA 後数十秒後には約 50 °C 以上となるが、圧損試験に用いる ECCS 水源の水温は、既工事計画書同様、保守的により低い  °Cとしている。

##### ④ ストレーナ高さ

試験装置のストレーナ取付け高さについて、実機のサプレッションチェンバ底部からストレーナ下端までは  mm の距離があるが、女川原子力発電所第 2 号機のサプレッションチェンバは円形であり、サプレッションチェンバ内面とストレーナ間の最も小さいクリアランスが  mm であることから、試験プール底面からストレーナ下端までの高さも  mmとしている。

実機ではサプレッションチェンバ内面は円形であるが、試験装置ではプール底面（ストレーナ下端）を平面にしている。そのためストレーナ下端に存在する異物が自重でストレーナ近傍から遠ざかることがなく、ストレーナに吸込まれやすい条件としている。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 圧力低減設備その他の安全設備のポンプの有効吸込水頭について

(1) 代替循環冷却ポンプの有効吸込水頭に関する補足説明

記載内容		根拠
項目	値 (m)	
H <sub>a</sub> : 吸込液面に作用する絶対圧力	52.9	保守的に重大事故等時における代替循環冷却ポンプ運転中のサプレッションチェンバ圧力を考慮せず、ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭と同じとし、吸込液面に作用する絶対圧力は 52.9m としている。
H <sub>s</sub> : 吸込揚程		<p>静水頭は、以下の差分の <input type="text"/> m としている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 水源の水位 O.P. <input type="text"/> m (サプレッションプールの最低水位) 水源の水位としては、プラント運転時のサプレッションプールの最低水位とした。</li> <li>● ポンプ吸込口高さ : O.P. <input type="text"/> m</li> </ul>
H <sub>1</sub> : ポンプ吸込配管圧損		<p>サプレッションプールから代替循環冷却ポンプまでの配管及び弁類圧損は、代替循環冷却ポンプが以下の流量*で運転することを想定する。 この場合、サプレッションプールから代替循環冷却ポンプまでの配管及び弁類圧損の合計値は、<input type="text"/> m となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 代替循環冷却ポンプ : 150m<sup>3</sup>/h×1 個</li> </ul> <p>ポンプ吸込配管圧損は、圧損合計値より <input type="text"/> m に設定する。</p> <p>注記* : サプレッションプールから代替循環冷却ポンプまでの配管は、残留熱除去系ポンプと共用する部分があるが、同時使用しない運用であるため、代替循環冷却ポンプ以外のポンプの運転流量を圧損計算上で考慮する必要はない。</p>
H <sub>2</sub> : ストレーナ圧損		<p>ストレーナ圧損を、以下に示す。[算出条件 : 代替循環冷却ポンプの評価流量 (保守的に <input type="text"/> m<sup>3</sup>/h) を使用]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ストレーナ圧損 : <input type="text"/> m</li> </ul> <p>ストレーナ表面積が左右で異なることから、異物付着後は左右のストレーナ流量が非対称となり、その影響を考慮した圧損値を記載する。長い側のストレーナの圧損値を左側に、短い側のストレーナの圧損値を右側に示す。</p>
H <sub>3</sub> : 異物付着による圧損上昇		<p>異物付着による圧損上昇は、以下の数値を合計して求める。[算出条件 : 代替循環冷却ポンプの評価流量 (保守的に <input type="text"/> m<sup>3</sup>/h) を使用]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 金属保温異物による圧損上昇 : <input type="text"/> m</li> <li>● 繊維質*<sup>2</sup>, 粒子状の異物*<sup>2</sup> 及び化学影響生成異物による圧損上昇 : <input type="text"/> m</li> </ul> <p>合計 <input type="text"/> m を保守に丸めて <input type="text"/> m としている。</p> <p>注記*<sup>2</sup> : 原子炉格納容器内の繊維質保温材はすべて撤去しているため考慮する必要はないが、評価条件が保守的となるように、0.3mm 厚さ相当の繊維質を考慮し、NUREG/CR-6224 式より算出している。</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

代替循環冷却ポンプ (評価流量: 150 m<sup>3</sup>/h)

記載内容		根拠
項目	値 (m)	
		<p>・ 繊維質異物及び粒子状の異物付着による圧損</p> $\frac{\Delta H}{fg\Delta L_0} = 1.01972 \times 10^{-4} \left[ 3.5S_v^2(1 - \epsilon_m)^{1.5} \{1 + 57(1 - \epsilon_m)^3\} \mu U + 0.66S_v \frac{(1 - \epsilon_m)}{\epsilon_m} \rho_w U^2 \right] \left( \frac{\Delta L_m}{\Delta L_0} \right)$ <p><math>\Delta H = \square</math> (m)</p> <p>ここで,</p> <p><math>\Delta L_0 = 0.0003</math> (m), <math>fg = \square</math>, <math>S_v = \square</math> (m<sup>-1</sup>), <math>\epsilon_m = \square</math> (-), <math>\mu = \square</math> (評価水温 <math>\square</math> °C), <math>U = \square</math> (m/s), <math>\rho_w = \square</math> (評価水温 <math>\square</math> °C), <math>\Delta L_m = 0.0003</math> (m)</p> <p>・ 化学影響生成異物による圧損</p> $h_3 = h_2 - h_1 = \square - \square = \square$ (m) <p>ここで,</p> <p><math>h_1</math> : A100H 投入直前の圧損 = <math>\square</math> (m)</p> <p><math>h_2</math> : A100H 投入が完了し静定後の圧損 = <math>\square</math> (m)</p> <p><math>h_3</math> : 化学影響生成異物 (A100H) の付着による圧損上昇 (m)</p> <p>● 異物付着による圧損上昇: <math>\square</math> m</p> <p>ストレーナ表面積が左右で異なることから、異物付着後は左右のストレーナ流量が非対称となり、その影響を考慮した圧損値を記載する。長い側のストレーナの圧損値を左側に、短い側のストレーナの圧損値を右側に示す。</p>
h <sub>s</sub> : ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭	52.9	代替循環冷却系の設計上想定するサプレッションプール水の最高温度 150°C における飽和蒸気圧水頭として、52.9m としている。
有効 NPSH (H <sub>a</sub> + H <sub>s</sub> - H <sub>1</sub> - H <sub>2</sub> - H <sub>3</sub> - h <sub>s</sub> )	2.5	<p>有効 NPSH は、以下の計算式により算出している。</p> $\begin{aligned} \text{有効 NPSH} &= H_a + H_s - H_1 - H_2 - H_3 - h_s \\ &= 52.9 \text{ m} + \square - 52.9 \text{ m} \\ &= 2.5 \text{ m} \end{aligned}$
必要 NPSH		<p>代替循環冷却ポンプ定格流量 150m<sup>3</sup>/h における必要 NPSH としてポンプ性能より設定している。</p> <p>以上の計算結果より、有効 NPSH と必要 NPSH との関係は以下のとおりとなり、必要 NPSH が確保されることからポンプ運転状態として問題ない結果となる。</p> <p>有効 NPSH: 2.5 m &gt; 必要 NPSH: <math>\square</math> m</p>

(2) 残留熱除去系ポンプの有効吸込水頭に関する補足説明

記載内容		根拠
項目	値 (m)	
H <sub>a</sub> : 吸込液面に作用する絶対圧力	44.7	保守的に重大事故等時における残留熱除去系ポンプ運転中のサプレッションチェンバ圧力をポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭と同じとし、吸込液面に作用する絶対圧力は 44.7m としている。
H <sub>s</sub> : 吸込揚程		<p>吸込揚程は、以下の差分の <input type="text"/> m としている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 水源の水位 0.P. <input type="text"/> m (サプレッションプールの最低水位) 水源の水位としては、プラント運転時のサプレッションプールの最低水位とした。</li> <li>● ポンプ設置フロアの床上 1 m の値 : 0.P. <input type="text"/> m</li> </ul>
H <sub>1</sub> : ポンプ吸込配管圧損		<p>サプレッションプールから残留熱除去系ポンプまでの配管及び弁類圧損は、残留熱除去系ポンプが以下の流量*で運転することを想定する。 この場合、サプレッションプールから残留熱除去系ポンプまでの配管及び弁類圧損の合計値は、<input type="text"/> m となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 残留熱除去系ポンプ : 1160 m<sup>3</sup>/h×1 個</li> </ul> <p>ポンプ吸込配管圧損は、圧損合計値より <input type="text"/> m に設定する。</p> <p>注記* : サプレッションプールから残留熱除去系ポンプまでの配管は、代替循環冷却ポンプと共用する部分があるが、同時使用しない運用であるため、残留熱除去系ポンプ以外のポンプの運転流量を圧損計算上で考慮する必要はない。</p>
H <sub>2</sub> : 異物付着なしの状態におけるストレーナ圧損		<p>異物付着なしの状態におけるストレーナ圧損を、以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 異物付着なしの状態におけるストレーナ圧損 : <input type="text"/> m</li> </ul> <p>仮に安定状態後の措置として、残留熱除去系の復旧による除熱運転の際に異物付着を考慮すると、異物付着による圧損上昇を加えたストレーナ圧損は <input type="text"/> m となる。異物付着を考慮しても、必要 NPSH が確保されることからポンプ運転状態として問題ない結果となる。</p>
h <sub>s</sub> : ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭	44.7	重大事故等時における残留熱除去系ポンプ運転中のサプレッションプール水最高運転温度である 144℃における飽和蒸気圧水頭として、44.7m としている。
有効 NPSH (H <sub>a</sub> +H <sub>s</sub> -H <sub>1</sub> -H <sub>2</sub> -h <sub>s</sub> )	2.4	<p>有効 NPSH は、以下の計算式により算出している。</p> $\begin{aligned} \text{有効 NPSH} &= H_a + H_s - H_1 - H_2 - h_s \\ &= 44.7 \text{ m} + \text{} - 44.7 \text{ m} \\ &= 2.4 \text{ m} \end{aligned}$
必要 NPSH		<p>残留熱除去系ポンプ運転流量 1160 m<sup>3</sup>/h における必要 NPSH としてポンプ性能より設定している。</p> <p>以上の計算結果より、有効 NPSH と必要 NPSH との関係は以下のとおりとなり、必要 NPSH が確保されることからポンプ運転状態として問題ない結果となる。</p> <p>有効 NPSH : 2.4 m &gt; 必要 NPSH : <input type="text"/> m</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



## 重大事故等時の発生異物量算出方法について

重大事故等時において追加発生を考慮する耐 DBA 仕様塗装の塗装重量及び化学影響生成異物の発生量は、いずれも原子炉格納容器内の構造物の表面積を基に算出している。

別紙 1 では、原子炉格納容器内の構造物の表面積の算出について示したのち、耐 DBA 仕様塗装の塗装重量及び化学影響生成異物の発生量について示す。

## 1. 原子炉格納容器内の構造物の表面積について

重大事故等時において新たに発生が想定される、耐 DBA 仕様塗装量及び化学影響生成異物量の算出のため、原子炉格納容器内の構造物の表面積調査の概要及び調査結果を示す。

## 1.1 調査概要

原子炉格納容器内の構造物のうち、以下に該当する構造物の表面積を算出する。  
調査対象を表別 1-1 に示す。

表別 1-1 原子炉格納容器内の調査対象

発生異物		調査対象	代表的な構造物
耐 DBA 仕様塗装		原子炉格納容器内に設置されており、耐 DBA 仕様塗装が使用されている構造物	PCV 壁面・床面 機器類 配管・弁類 架台・サポート類
化学影響生成異物*	Al	アルミニウム	保温材外装板 ダクト保温外装板 グレーチング
	Zn	亜鉛メッキ鋼, Zn を含む合金メッキの構造物, 及びジंक系塗装が使用されている構造物	グレーチング 電線管
	Fe	炭素鋼材料の構造物	耐 DBA 仕様塗装がされた構造物のうち、炭素鋼材料の構造物

注記\* : 原子炉格納容器内に設置されている塗装された構造物については、重大事故等時において原子炉格納容器内環境に直接曝される塗装の全量剥落を想定するため、下地の金属材料からの溶解を考慮する。

## 1.2 表面積の算出手順

抽出された対象設備の表面積の算出に当たっては、構造図等の設計図面を用いて、以下のよう  
に算出する。構造物の表面積算出方法を表別 1-2 に示す。

表別 1-2 構造物の表面積算出方法

No.	設備種別	算出方法
1	PCV 関係	構造図等を用いて、構成部品単位の表面積を算出し、それらを足し合わせて設備の表面積とする。
2	配管・弁類	<p>【大口径 (65A 以上)】</p> <p>配管図を用いて、配管外周、配管長から配管の表面積を算出する。 弁類についても配管と同様に表面積を算出する。</p> <p>【小口径 (50A 以下)】</p> <p>小口径配管・弁については、配管単位長さ当たり及び弁 1 台当たりの表面積が小さいため、大口径配管・弁にて算出した表面積の 1 割を小口径配管・弁分として考慮する。</p>
3	配管サポート	<p>【大口径 (65A 以上)】</p> <p>配管口径ごとに設定した代表形状の配管サポートの表面積とサポート点数を掛け合わせ、配管サポートの表面積とする。 代表形状の配管サポートの表面積は、サポート図を用いて構成部材単位の表面積を算出し、それらを足し合わせる。 またサポート点数は、配管図を用いて算出する。</p> <p>【小口径 (50A 以下)】</p> <p>小口径配管サポートは大口径配管サポートと比較して簡易的な構造であり、1 サポート当たりの表面積が小さいため、大口径配管サポートにて算出した表面積の 1 割を小口径配管サポート分として考慮する。</p>
4	ダクト類	ダクト図を用いて、ダクト外周、ダクト長さから表面積を算出する。
5	電線管	<p>【電線管】</p> <p>電線管配置図用いて、外周、長さから表面積を算出する。</p> <p>【電線管サポート】</p> <p>代表形状の電線管サポートの表面積とサポート点数を掛け合わせて、電線管サポートの表面積とする。 代表形状の電線管サポートの表面積は、構成部材単位の表面積を算出し、それらを足し合わせて算出する。 また、サポート点数は、電線管長と標準のサポート間隔から算出する。</p>
6	機器	構造図等を用いて、構成部材単位の表面積を算出し、それらを足し合わせて設備の表面積とする。

### 1.3 調査結果

ドライウエル内の構造物の表面積の調査結果を表別 1-3 に、サブプレッションチェンバ内の構造物の表面積調査結果を表別 1-4 に示す。

表別 1-3 ドライウエル内構造物及び表面積一覧

分類	構造物	構造物 表面積 (m <sup>2</sup> )	耐 DBA 仕様 塗装面積 (m <sup>2</sup> )	溶解表面積(m <sup>2</sup> )		
				Al	Zn	Fe
PCV 関係	ドライウエル内上部サンプライニング					
	原子炉遮へい壁					
	原子炉遮へい壁内プラットフォーム					
	中性子遮へいプラグ					
	原子炉格納容器スタビライザプラットフォーム, パイプホイップストラクチャ					
	パイプホイップレストレイント架台					
	CRD 搬出入装置					
	ドライウエル内機器搬出入装置					
	PLR ポンプモータ搬出入用仮設ビーム・仮置架台					
	ドライウエル内ペネ遮へい					
	MSIV 分解組立装置					
	グレーチング					
	ドライウエルシェル					
	ドライウエル床面					
配管・弁類	配管					
	弁					
	保温材外装板					
配管サポート	配管サポート					
ダクト類	ダクト					
	鋼板ダクト					
	ダクトサポート					
	ダクト保温外装板					

分類	構造物	構造物 表面積 (m <sup>2</sup> )	耐 DBA 仕様 塗装面積 (m <sup>2</sup> )	溶解表面積(m <sup>2</sup> )		
				Al	Zn	Fe
電線管	電線管					
	電線管サポート					
ケーブルト レイ	ケーブルトレイ					
	トレイサポート					
機器 (サンプ)	ドライウエル機器ドレンサン プ冷却器					
	ドライウエル機器ドレンサン プカバー					
	ドライウエル床ドレンサンプ カバー					
	ドライウエル機器ドレンサン プポンプ及びモータ					
	ドライウエル床ドレンサンプ ポンプ及びモータ					
機器 (CRD 自動 交換機)	プラットフォーム					
	グレーチング					
	カートレール					
機器 (モータ)	PLR ポンプモータ (A), (B)					
	PLR ポンプモータ台					
	ドライウエルローカルクーラ 用モータ					
機器 (空調)	ドライウエル上部送風機					
	ドライウエル下部送風機					
	ドライウエル上部送風機冷却 器					
	ドライウエル下部送風機冷却 器					
	ドライウエル上部送風機架台					
	ドライウエル下部送風機架台					
合 計						

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表別 1-4 サプレッションチェンバ内構造物及び表面積一覧

分類	構造物	構造物 表面積 (m <sup>2</sup> )	耐 DBA 仕様 塗装面積 (m <sup>2</sup> )	溶解表面積 (m <sup>2</sup> )		
				Al	Zn	Fe
PCV 関係	グレーチング					
	サプレッションチェンバシエル					
配管・弁類	配管					
	弁					
配管サポート	配管サポート					
電線管	電線管					
	電線管サポート					
合 計						

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2. 重大事故等時において追加発生を考慮する耐 DBA 仕様塗装の発生量

重大事故等時には、設計基準事故時よりも高温状態が長期間維持されることから耐性の不確かさを考慮し、保守的に重大事故等時の原子炉格納容器内環境に直接曝されるもの全量剥落を想定する。また、ドライウェル内の耐 DBA 仕様塗装については、塗装分布、ベント管の配置及び吹出方向に依らず、保守的に全量が ECCS ストレーナに移行することを想定する。

塗装重量は、原子炉格納容器内の塗装されている構造物の表面積に、塗装膜厚及び塗装密度を掛けることで算出する。

重大事故等時の環境において剥落すると想定した耐 DBA 仕様塗装の算出結果を表別 1-5 に示す。

表別 1-5 耐 DBA 仕様塗装物量 (SA 環境剥落) の算出結果

	構造物の全表面積 (m <sup>2</sup> )	塗装膜厚 (mm)	塗装密度 (g/cm <sup>3</sup> )	塗装重量* (kg)
耐 DBA 仕様塗装 (ドライウェル)		塗装要領より個別に設定している。	各設備に適用している塗装の密度を用いる。	
耐 DBA 仕様塗装 (サブプレッション チェンバ)				
合 計				

注記\*：塗装重量の算出においては、保守的に裕度 1.3 倍を見込んで算出する。

以上より、重大事故等時の原子炉格納容器内環境に直接曝される耐 DBA 仕様塗装の全量である

kg を保守的に丸め、 kg とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 化学影響生成異物の発生量

化学影響生成異物の発生量は、自主対策設備である原子炉格納容器 pH 調整系によりサプレッションプール水に添加する水酸化ナトリウムと原子炉格納容器内に存在する構造物(Al, Zn 及び Fe を含むもの\*)との化学反応により生成する量を、WCAP-16530 及び JNES-SS-1004 に基づき算出する。

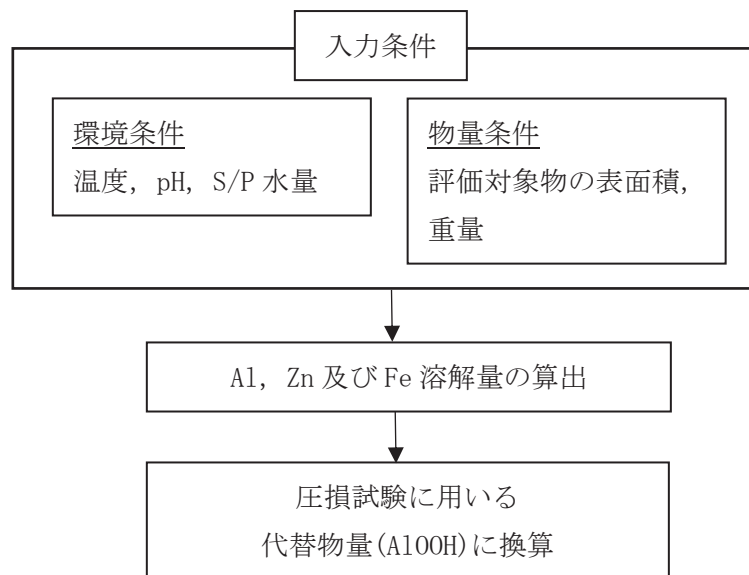
注記\*：原子力安全基盤機構の調査では、国内プラントは従来から化学影響の主要因と考えられているアルミニウムや断熱材の腐食に加え、炭素鋼と亜鉛メッキ鋼腐食の影響が大きくなる傾向が示されており、JNES-SS-1004 にて提案している化学影響評価手法においても、Zn と Fe の影響を考慮することが推奨されている。

#### 3.1 算出手順

WCAP-16530 に規定されている化学影響生成異物の発生量(析出量)の計算手順は、原子炉格納容器に存在する構造物(Al 及び Zn を含むもの)の表面積に対し、原子炉格納容器環境条件(温度及び pH)を考慮して算出した溶解速度式を掛けることで、Al 及び Zn の溶解量を算出する。また、WCAP-16530 では対象外としている Fe についても、Al 及び Zn 同様に炭素鋼の腐食速度から溶解量を算出する。

化学影響生成異物による圧損評価については、JNES-SS-1004 より、析出物と同等の圧損影響がある圧損試験代替物(A100H)の量に換算し、圧損試験に用いる。

圧損評価に使用する化学影響生成異物量の算定フローを、図別 1-1 に示す。



図別 1-1 化学影響生成異物量の算定フロー

### 3.2 環境条件及び物質条件

溶解速度式の環境条件を表別1-6に示す。また、原子炉格納容器内に存在する構造物の内、Al、Zn及びFeを含む構造物の表面積の調査結果を表別1-7に示す。

表別1-6 想定する原子炉格納容器環境条件

項目	評価条件	
想定シナリオ	雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損） （代替循環冷却を使用する場合）	
評価期間	事故発生から30日間（720時間）*	
原子炉格納容器内温度	<b>【ドライウエル】</b> 0～0.5hr：171℃ 0.5～72hr：200℃ 72～360hr：154℃ 360～720hr：80℃	<b>【サプレッションプール】</b> 0～0.5hr：104℃ 0.5～72hr：178℃ 72～360hr：154℃ 360～720hr：80℃
S/P スプレイ水のpH	<b>【ドライウエル】</b> 12.5	<b>【サプレッションプール】</b> 12.5

注記\*：事故発生から7日以降は、逆洗等によるストレーナの性能回復が可能であることから、30日時点の異物量を単一ストレーナに付着する想定は十分保守的である。

表別1-7 Al、Zn及びFeを含む構造物の表面積

	Al (m <sup>2</sup> )	Zn (m <sup>2</sup> )	Fe (m <sup>2</sup> )
ドライウエル			
サプレッションチェンバ			
合計			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



### 3.3 溶解量評価

#### 3.3.1 アルミニウム(Al)の溶解速度

Al の溶解速度式における係数を表別 1-8 に示す。

表別 1-8 Al の溶解速度式における係数

元素	溶解速度式	単位	係数	
Al	$RR = 10^{\wedge} [A+B(pHa)+C(1000/T)+D(pHa)^2+E(pHa)/(1000/T)]$	mg/(m <sup>2</sup> ・min)	A	
			B	
			C	
			D	
			E	

#### 3.3.2 亜鉛(Zn)の溶解速度

Zn の溶解速度式と係数を表別 1-9 に示す。

表別 1-9 Zn の溶解速度式における係数

元素	溶解速度式	単位	係数	
Zn	$RR = 10^{\wedge} [A+B(pHa)+C(1000/T)+D(pHa)^2+E(pHa)/(1000/T)]$	mg/(m <sup>2</sup> ・min)	A	
			B	
			C	
			D	
			E	

#### 3.3.3 炭素鋼(Fe)の溶解速度

炭素鋼の溶解速度は WCAP-16530 に記載されていないことから、炭素鋼の腐食速度の文献値\*1である 100 mdm(mg/dm<sup>2</sup>・month) (40°C~200°C, 純水\*2)を用いて溶解量を評価する。

注記\*1: E. G. Brush, W. L. Pearl, “Corrosion and Corrosion Product Release in Neutral Feedwater”, Corrosion, 28, 129-135(1972)

\*2: 炭素鋼の腐食は、事故時に想定されるアルカリ環境において、純水環境よりも抑制されるが、保守的に純水における腐食速度を適用する。

丹野和夫, 湊昭 “火力および BWR 発電プラントにおける腐食による障害と水処理”

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.4 溶解量の評価

Al, Zn 及び Fe を含む構造物の表面積及び溶解速度から、各金属の溶解量を算出する。また、WCAP-16530 及び JNES-SS-1004 に基づき、溶解した金属全てが水酸化物として析出すると想定する。各金属の溶解量及び生成が想定される析出物を表別 1-10 に示す。

表別 1-10 各金属の溶解量と想定される析出物

材料	表面積 (m <sup>2</sup> )	溶解速度 (mg/m <sup>2</sup> ・min)	溶解量 (kg)	想定される 析出物
アルミニウム (Al)				Al(OH) <sub>3</sub>
亜鉛 (Zn)				Zn(OH) <sub>2</sub>
炭素鋼 (Fe)				Fe(OH) <sub>2</sub>

### 3.5 化学影響生成異物量の評価結果

圧損試験においては、各金属の溶解量と同等の圧損影響となるオキシ水酸化アルミニウム (Al(OH)<sub>3</sub>) を使用するため、各金属の溶解を換算し代替物量 (Al(OH)<sub>3</sub> 相当量) を求める。

#### 3.5.1 代替物量評価

各金属の Al(OH)<sub>3</sub> への換算係数 (JNES-SS-1004 に規定されている換算係数) を表別 1-11 に示す。

表別 1-11 各金属の Al への換算係数

材料	Al への換算係数
アルミニウム (Al)	1
亜鉛 (Zn)	0.2
炭素鋼 (Fe)	2

#### 3.5.2 化学影響生成異物量評価結果

各金属の溶解量及び圧損試験に用いる代替物量 (Al(OH)<sub>3</sub>) の算出結果を表別 1-12 に示す。

表別 1-12 各金属の溶解量及び圧損試験代替物量

元素	溶解量 (kg)	化学影響生成異物量	
		Al への 換算係数	代替物量 (kg) (Al(OH) <sub>3</sub> 相当量)
アルミニウム (Al)		1	
亜鉛 (Zn)		0.2	
炭素鋼 (Fe)		2	
合 計			

以上より、圧損評価に用いる化学影響生成異物量としては、代替物量の合計値  kg を保守的に丸めた  kg とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 原子炉格納容器下部からサプレッションプールへの異物流入経路について

原子炉格納容器下部内で発生した異物のサプレッションプールへの流入経路は、以下の通りである。流入経路の概要図を図別 2-1 に示す。

- ① 事象発生から 24 時間後に運転する代替循環冷却ポンプにおいて、破断口から代替循環冷却系ポンプの流量（150m<sup>3</sup>/h）相当の水が原子炉格納容器下部へ流入する。
- ② 原子炉格納容器下部の水位が上昇し、開口部を超えた場合、上澄みがドライウエルへ流出する。これに伴い、水面付近の比重が小さい異物がドライウエルへ移行する。
- ③ ドライウエルの水位が上昇し、ベント管を通じてサプレッションチェンバへ流入するが、その流入速度が小さいため、比重が小さい異物はダウンカマ内部のサプレッションプール水面と同じ水位に留まる。

以上より、原子炉格納容器下部からサプレッションプールへ移行し得る比重が小さい異物は、水面付近に存在するものであり、これらの異物がサプレッションプールへ移行したとしても、ダウンカマ内部のサプレッションプール水面付近に存在することから、ストレーナへ到達する可能性は低いと考えられる。また、比重が大きい異物については原子炉格納容器下部内に沈降し、ドライウエルへ移行することはないと推測される。



図別 2-1 原子炉格納容器下部内異物のサプレッションプールへの流入経路

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。