

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-011 改 01
提出年月日	2022年1月27日

工事計画に係る補足説明資料  
(原子炉格納施設)

2022年1月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料  
 添付書類の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

資料 No.	添付書類名称	補足説明資料 (内容)	備考
1	原子炉格納施設の設計条件に関する説明書		
2			
3			
4			
5			
6	原子炉格納施設の水素濃度低減性能に関する説明書		
7	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係る補足説明資料	1. 内規との比較表	今回提出範囲
		2. 重大事故等時の発生異物量評価について	
		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	
		4. 重大事故等時圧損試験における保守性について	
		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	

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係る補足説明資料

## 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ー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 原子炉本体基礎からサ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
別紙 3 残留熱代替除去ポンプの有効吸込水頭の評価における原子炉格納容器の 背圧の考慮について	別紙 3-1

1. 内規との比較表（島根原子力発電所第2号機）

内規	評価内容	既工認	先行（KK-7）
<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>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）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 薦田 康久</p> <p>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）</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「ECCS」という。）に係るろ過装置（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ECCSに係るポンプ（以下「ECCS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時に破断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「Z01」という。）は、別表第1</b></p>	<p><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 40px; height: 15px;"></span>：内規において、ストレーナ圧損評価に関係しない項目を示す。</p> <p>1. ストレーナの性能評価 （1）保温材の破損量評価 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（<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 30px; height: 15px;"></span>）の完全両端破断を想定している。 <i>【破断想定点の考え方はKK-7同様】</i></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×<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span>）の半径の球の中に存在するカプセル保温（金属反射型）及び一般保温（パーライト）の物量として、それぞれ<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span>m<sup>2</sup>、<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 15px;"></span>m<sup>3</sup>としている。 <i>【Z01内保温材の算出方法はKK-7同様】</i></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ろ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（内規別表第1に相当）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、一次系配管である主蒸気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）及び一般保温（ケイ酸カルシウム）の破損量を算出している。</p>

内規	評価内容	既工認	先行 (KK-7)
<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乘じた値を、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/OR-6224式又はNEDO-32721式のどちらか一方及びNUREG/OR-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  ③内規別表第2に従い、(1) で評価された金属反射型保温材の破損量 <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>、パーライト保温材の破損量 <math>\square</math> m<sup>3</sup> に対し、移行割合 10% (一般保温 (パーライト)) を乗じた <math>\square</math> m<sup>3</sup> がサブプレッションプール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KK-7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  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KK-7同様】</p> <p>(4) 異物付着による圧損上昇の評価  ⑤内規に従い、残留熱代替除去系 (残留熱代替除去ポンプ1台運転、150m<sup>3</sup>/hの単独運転を想定し、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KK-7同様】</p> <p>異物付着による圧損上昇は、内規別記2の留意事項を考慮した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式により求められている。  【別記1の評価式による算出の考え方はKK-7同様】</p>	<p>③旧内規図2 (内規別表第2に相当) 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) 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。詳細は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ることを想定している。具体的には、残留熱除去ポンプ1台、低圧炉心スプレイポンプ1台及び高圧炉心スプレイポンプ1台の運転を想定し、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組あたりに付着する異物量は発生量の約1/3としている。</p> <p>繊維質・粒子状異物による圧損は、NEDO-32721式により求められている。なお、既工事計画において、金属反射型保温材は存在していないため、評価対象外である。</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、代替循環冷却系のポンプの単独運転を想定し、サブプレッションプール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、代替循環冷却系のポンプ運転流量よりも保守的な流量を想定している。</p> <p>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/OR-6808式により求められている。</p>

内規	評価内容	既工認	先行 (KK-7)
<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乘じた値を、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を考慮の上で、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/OR-6224式又はNEDO-32721式のどちらか一方及びNUREG/OR-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路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、既工事計画同様、原子炉設置変更許可申請書添付書類十におけるサブプレッションプール水温解析結果である LOCA 後数十秒後の約 <math>\square^{\circ}\text{C}</math> 以上から、保守的に <math>\square^{\circ}\text{C}</math> としている。  冷却材の接近流速は、残留熱代替除去ポンプ 1 台運転時の通水流量 (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\text{m}^3/\text{h}</math> を設定している。  【温度設定の考え方は KK-7 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、既工事計画にて算出した <math>\square\text{m}^2</math> から、内規別表第3のその他異物として想定したステッカー類の面積 <math>\square\text{m}^2</math> (ストレーナ 1 個あたり) の 75%を差し引き、<math>\square\text{m}^2</math> としている。  【有効表面積の考え方は KK-7 同様】</p> <p>⑧島根原子力発電所第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、すべ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、薄膜効果が生じることはない。  【KK-7 同様、原子炉格納容器内に繊維質保温材を使用していない】</p>	<p>⑥圧損上昇評価に用いる ECCS 資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\text{m}^3/\text{h}</math>、低圧炉心スプレイ系ストレーナに通水される流量 <math>\square\text{m}^3/\text{h}</math> 及び高圧炉心スプレイ系ストレーナに通水される流量 <math>\square\text{m}^3/\text{h}</math> を設定している。</p> <p>⑦既工事計画において、ステッカー類のその他異物は考慮していない。</p> <p>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、薄膜効果による圧損上昇を考慮している。</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サブプレッションプール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、代替循環冷却系のポンプ流量に対して、異物付着による圧損上昇が最も厳しくなるよう、流量を設定している。</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、その他異物として設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、すべ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>



内規	評価内容	既工認	先行 (KK-7)
<p>⑨ (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ECCS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、ECCS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> <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並びに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> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">         圧損評価に関係しない項目          (耐震・強度評価等で考慮する)       </div> <p>3. その他の評価          ストレーナの網目の粗さは、ECCSポンプ下流のスプレイングル、ECCSポンプシール部等、下流側機器の機能を損なうことのない設計であること。</p> <p>附 則 (平成20年2月27日、平成20・02・12 原院第5号)          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>	<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残留熱代替除去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する。          原子炉格納容器の背圧は、設置変更許可の添付書類十「3.2.2 高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱」の解析結果の値を保守的に十分小さく丸めた値を用いている。  <b>【KK-7同様、原子炉格納容器の背圧を考慮】</b></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>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する。          原子炉格納容器の背圧は、設置(変更)許可の添付書類十「7.2.1 雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧・過温破損)」のうち、「7.2.1.2 代替循環冷却系を使用する場合」の解析結果の値を保守的に十分小さく丸めた値を用いている。</p>



内規	評価内容	既工認	先行 (KK-7)																																													
<p>⑩ 別表第1 保温材の破損影響範囲半径</p> <table border="1" data-bbox="489 304 1003 577"> <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="305 693 1130 961"> <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="335 1108 1059 1371"> <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を乗じた値</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を乗じた値	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 【異物算出方法はKK-7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(パーライト) : 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> (グレーチング上) <input type="text"/> m<sup>3</sup> (グレーチング下)</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(パーライト) : 10% <input type="text"/> m<sup>3</sup></li> <li>一般保温(繊維質) : 28% <input type="text"/> m<sup>3</sup> (グレーチング上) : 78% <input type="text"/> m<sup>3</sup> (グレーチング下)</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) : 39kg</li> <li>非DBA仕様塗装 : <input type="text"/> kg (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としている)</li> <li>堆積異物 : スラッジ 89kg, 錆片 23kg, 塵土 68kg</li> <li>その他異物 : <input type="text"/> m<sup>2</sup> (現場調査を踏まえ、余裕を持たせた量としている)</li> </ul> <p>SA時において新たに考慮する異物として、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(SA時考慮) : <input type="text"/> kg (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仕様塗装を保守的に全量としている)</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(パーライト) : 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> (グレーチング上) <input type="text"/> m<sup>3</sup> (グレーチング下)</li> <li>耐DBA仕様塗装(ジェット破損) : 39kg</li> <li>堆積異物 : スラッジ 89kg, 錆片 23kg, 塵土 68kg</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) : 39kg</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 89kg, 錆片 : 23kg, 塵土 68kg</li> <li>その他異物 : 現場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を保守的に全量剥落と想定している。</li> <li>化学影響生成異物 : 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を乗じた値																																														
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	差圧	SRV荷重			LOGA荷重			地震荷重		供用状態
				通常運転時	中小破断時	フルスワール	蒸気凝縮(CO)	チャッキング(CH)	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LOGA荷重はBWRのみ考慮する。なお、Mark-IIプラントではSRV荷重とチャッキ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 (JEA64601・補-1984)」の場合で記載。ただし、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針 (平成18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用原子炉設備については、上記民間規格における基準地震動S2及び基準地震動S1に係る取扱内容を、基準地震動Ss及び弾性設計用地震動Sd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配管貫通部に直接支持されるBWR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「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005)」のGNR-2110、GNR-2233の定義により記載。

圧損評価に関係しない項目  
(耐震・強度評価等で考慮する)

別表第5 ストレーナの許容応力\*1

供用状態	1次一般膜応力	1次膜+曲げ応力	1次+2次応力 ※2
A	S ※3	長期荷重 1.5S 短期荷重 1.8S	Sa
B	-		
D	S ※4		
C (ⅢAS)	Syと0.6Su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、疲れ解析は不要。)
D (ⅣAS)	0.6Su	左欄の1.5倍	

\*1 : 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005)」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 (JEA64601・補-1984)」の場合。ただし、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針 (平成18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用原子炉設備については、上記民間規格における基準地震動S2及び基準地震動S1に係る取扱内容を、基準地震動Ss及び弾性設計用地震動Sd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、チャッキング)のみ  
 S…許容引張応力、Sy…設計降伏点、Su…設計引張強さ、Sa…許容応力、Uf…疲れ累積係数

内規	評価内容	既工認	先行 (KK-7)
<p style="text-align: right;">別記1</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>《NUREG/CR-6224評価式》(繊維質・粒子状異物に対する式)<sup>(1)</sup></p> <math display="block">\frac{dH}{dL_0} = C \left[ 3.5S_v^2(1-\epsilon_m)^{1.5} \left[ 1 + 57(1-\epsilon_m)^3 \right] \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> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px; text-align: center;"> <p>GE 製ストレーナでは使用しない</p> </div> <p>⑪ 《NEDO-32721評価式》(繊維質・粒子状異物に対する式)<sup>(2)</sup></p> $h = \frac{\mu U t}{\rho g d^2} \cdot K_h$ <p> <math>h</math>: 圧力損失 (m)  <math>U</math>: ストレーナ側面に対する接近流速 (m/s)  <math>t</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_h</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>《NUREG/CR-6808評価式》(金属保温異物に対する式)<sup>(3)</sup></p> $\Delta H = \frac{1.56 \times 10^{-5}}{K_t^2} U^2 \left( \frac{A_{foil}}{A_{str}} \right)$ <p> <math>\Delta H</math>: 圧力損失 (m)  <math>K_t</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. 93-554-06-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>⑪ 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<sup>*1</sup>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 (A100H) による圧損上昇分を加算する方法とする。  <b>【KK-7 同様、内規に基づく評価式で評価】</b></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> $d = \sqrt{\frac{\mu \cdot U \cdot t}{\rho \cdot g} \cdot \frac{K_h}{h}}$ $= \text{[ ] (ft)} \times 0.3048 = \text{[ ] (m)}$ <p>ここで、  <math>h = \text{[ ] (ft)}</math>  <math>\mu / \rho = \text{[ ] (ft}^2\text{/s)}</math> (試験水温 [ ] °C)  <math>U = \text{[ ] (ft/s)}</math>  <math>t = \text{[ ] (ft)}</math>  <math>g = 32.2 \text{ (ft/s}^2\text{)}</math>  <math>K_h = \text{[ ]}</math></p> <p>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>繊維質異物及び粒子状異物の付着による圧損</li> </ul> $h = \frac{\mu \cdot U \cdot t}{\rho \cdot g \cdot d^2} \cdot K_h$ $= 0.00466 \text{ (m)}$ <p>ここで、  <math>d = \text{[ ] (m)}</math>  <math>\mu = \text{[ ] (Pa} \cdot \text{s)}</math> (評価水温 [ ] °C)  <math>U = \text{[ ] (m/s)}</math>  <math>t = \text{[ ] (m)}</math>  <math>\rho = \text{[ ] (kg/m}^3\text{)}</math> (評価水温 [ ] °C)  <math>g = 9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}</math>  <math>K_h = \text{[ ]}</math> <li>化学影響生成異物の付着による圧損</li> <math display="block">h_c = h_2 - h_1 = \text{[ ]} - \text{[ ]}</math> <math display="block">= \text{[ ] (ft)} \times 0.3048 = \text{[ ] (m)}</math> <p>ここで、  <math>h_1</math>: A100H 投入直前の圧損  <math>h_2</math>: A100H 投入後の静定圧損  <math>h_c</math>: 化学影響生成異物 (A100H) の付着による圧損上昇分</p> </p>	<p>⑪ 繊維質及び粒子状異物の圧損は、NEDO-32721 式により求める。</p> <p>NEDO-32721 式における d 値はストレーナ圧損試験により求める。</p>	<p>⑪ 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 (A100H) による圧損上昇分を加算する方法<sup>*1</sup>よりも、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> $d = \sqrt{\frac{\mu \cdot U \cdot t}{\rho \cdot g} \cdot \frac{K_h}{h}}$ <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>

内規	評価内容	既工認	先行 (KK-7)
<p style="text-align: right;">別記1</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>《NUREG/CR-6224評価式》(繊維質・粒子状異物に対する式)<sup>(1)</sup></p> <math display="block">\frac{dH}{dL_0} = C \left[ 3.5S_v^2(1-\varepsilon_m)^{1.5} \left[ 1 + 57(1-\varepsilon_m)^3 \right] \mu U + 0.66S_v \frac{(1-\varepsilon_m)}{\varepsilon_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 (<math>m^2/m^3</math>)  <math>\varepsilon_m</math>: 混合異物の空隙率  <math>\mu</math>: 水の粘性係数 (<math>kg/(m \cdot s)</math>)  <math>\rho_w</math>: 水の密度 (<math>kg/m^3</math>)  <math>U</math>: 吸込流速 (接近流速) (m/s) </p> <p style="text-align: center;">GE 製ストレーナでは使用しない</p> </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>① 《NEDO-32721評価式》(繊維質・粒子状異物に対する式)<sup>(2)</sup></p> <math display="block">h = \frac{\mu U t}{\rho g d^2} \cdot K_h</math> <p> <math>h</math>: 圧力損失 (m)  <math>U</math>: ストレーナ側面に対する接近流速 (m/s)  <math>t</math>: ストレーナ側面に対する異物厚さ (m)  <math>\mu</math>: 水の粘性 (<math>kg/(m \cdot s)</math>)  <math>\rho</math>: 水の密度 (<math>kg/m^3</math>)  <math>g</math>: 重力加速度 (<math>m/s^2</math>)  <math>d</math>: Interfiber Distance (異物間の隙間を表す値) (m)  <math>K_h</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>《NUREG/CR-6808評価式》(金属保温異物に対する式)<sup>(3)</sup></p> <math display="block">\Delta H = \frac{1.56 \times 10^{-5}}{K_t^2} U^2 \left( A_{foil} / A_{str} \right)</math> <p> <math>\Delta H</math>: 圧力損失 (m)  <math>K_t</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) (<math>m^2</math>)  <math>A_{str}</math>: ストレーナ表面積 (<math>m^2</math>) </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. 93-554-06-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> </div>	<p>金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808 式を適用する。</p> $h_{RMI} = (1.56 \times 10^{-5} / K_t^2) \cdot U_{RMI}^2 \cdot (A_{foil} / A_c) \cdot 0.0254$ $= \text{[ ] (m)}$ <p>ここで、  <math>K_t = \text{[ ] (m)}</math>  <math>U_{RMI} = \text{[ ] (m/s)}</math>  <math>A_{foil} = \text{[ ] (m}^2\text{)}</math>  <math>A_c = \text{[ ] (m}^2\text{)}</math></p> <p>*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を用いると <math>h = \text{[ ] (m)}</math> となり、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 = <math>\text{[ ]} + \text{[ ]} = \text{[ ] (m)}</math> よりも小さくなる。  以下に化学影響生成異物投入後すべての異物を考慮した d 値から算出する実機圧損の計算過程を示す。</p> $d = \sqrt{\frac{\mu \cdot U \cdot t}{\rho \cdot g} \cdot \frac{K_h}{h}}$ $= \text{[ ] (ft)} \times 0.3048 = \text{[ ] (m)}$ <p>ここで、  <math>h = \text{[ ] (ft)}</math>  <math>\mu / \rho = \text{[ ] (ft}^2\text{/s)}</math> (試験水温 <math>\text{[ ]}^\circ\text{C}</math>)  <math>U = \text{[ ] (ft/s)}</math>  <math>t = \text{[ ] (ft)}</math>  <math>g = 32.2 (ft/s^2)</math>  <math>K_h = \text{[ ]}</math></p> <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。  ・繊維質異物、粒子状異物及び化学影響生成異物の付着による圧損</p> $h = \frac{\mu \cdot U \cdot t}{\rho \cdot g \cdot d^2} \cdot K_h$ $= \text{[ ] (m)}$ <p>ここで、  <math>d = \text{[ ] (m)}</math>  <math>\mu = \text{[ ] (Pa} \cdot \text{s)}</math> (評価水温 <math>\text{[ ]}^\circ\text{C}</math>)  <math>U = \text{[ ] (m/s)}</math>  <math>t = \text{[ ] (m)}</math>  <math>\rho = \text{[ ] (kg/m}^3\text{)}</math> (評価水温 <math>\text{[ ]}^\circ\text{C}</math>)  <math>g = 9.80665 (m/s^2)</math>  <math>K_h = \text{[ ]}</math></p>	<p>既工事計画においては、金属反射型保温材は存在していないため、評価対象外である。</p>	<p>金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808 式を適用する。</p> <p>*1: 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した圧損は、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よりも小さくなる。</p>

内規	評価内容	既工認	先行 (KK-7)
<p style="text-align: right;">別記2</p> <p>圧損試験の実施に当たっての留意事項</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、これらと格納容器内構造物や破損保温材等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: right;">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） ⑦ パーライト ⑧ 非 DBA 仕様塗装 ⑨ 耐 DBA 仕様塗装（SA 時考慮）*2 ⑩ 化学影響生成異物（A100H）*3</p> <p>*2：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、サプレッションプールへ移行後、ストレーナに到達することを想定している。</p> <p>*3：pH 制御により発生する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考慮している。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、溶解物がサプレッションプールに到達後、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>【KK-7 同様、異物投入の順序は、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、実機で想定される異物の発生順序を考慮し、以下のとおり設定している。</p> <p>① スラッジ ② 塵土 ③ 錆片 ④ 耐 DBA 仕様塗装（ジェット破損） ⑤ パーライト ⑥ 繊維質保温材</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） ⑦ ケイ酸カルシウム ⑧ 非 DBA 仕様塗装 ⑨ 耐 DBA 仕様塗装（SA 時考慮）*2 ⑩ 化学影響生成異物（A100H）*3</p> <p>*2：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>*3：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、溶解物がサプレッションプールに到達後、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 (KK-7)
<p style="text-align: right;">別記2</p> <p>圧損試験の実施に当たっての留意事項</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: right;">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>⑬実機の SA 時に残留熱代替除去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、サブレーションプール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うえで試験を実施している。</p> <p>圧損試験においては、 [ ] [ ] [ ] 圧損試験設備内の戻り水は、通水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>試験水量比（ストレーナ単位表面積当たり）：<input type="text"/> m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> 実機水量比（ストレーナ単位表面積当たり）：<input type="text"/> m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup></p> <p>【試験の終了判断は KK-7 同様】</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>【破損保温材】 繊維質：シュレッターで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。 【繊維質のサイズは KK-7 同様】</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、圧損試験に投入している。 【金属反射型保温材のサイズは KK-7 同様】</p> <p>パーライト：NEI04-07 に基づきパーライト粉末を圧損試験に投入している。 【パーライト（ケイ酸カルシウム）のサイズは KK-7 同様】</p>	<p>⑬同左 ただし、試験水量比：<input type="text"/> m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>として評価している。</p> <p>⑭同左 ただし、金属反射型保温材、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 SA 時に代替循環冷却系の復水移送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、サブレーションプール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、通水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。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> <p>【破損保温材】 繊維質： シュレッターで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。 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、圧損試験に投入している。 ケイ酸カルシウム： NEI04-07 に基づきケイ酸カルシウム粉末を圧損試験に投入している。</p>

内規	評価内容	既工認	先行 (KK-7)
<p style="text-align: right;">別記2</p> <p>圧損試験の実施に当たっての留意事項</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: right;">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>【破損保温材以外の異物】</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。</li> <li>錆片： [ ] 程度のメッシュにてふるいにかけた酸化鉄を圧損試験に投入している。</li> <li>塵土： [ ] mm 程度の粒径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： ： [ ] 程度の粒径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> </ul> <p>【KK-7 同様、粒子状異物のサイズは文献により設定】</p> <ul style="list-style-type: none"> <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> </ul> <p>【KK-7 同様、その他異物は試験に投入しない】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>化学影響生成異物： WCAP の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>【化学影響生成異物の取扱いは KK-7 同様】</p>		<p>【破損保温材以外の異物】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>堆積異物 スラッジ：酸化鉄粉末 錆片：ふるいにかけた酸化鉄 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 仕様塗装 ：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。 (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>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 (KK-7)
<p style="text-align: right;">別記2</p> <p>圧損試験の実施に当たっての留意事項</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、これらと格納容器内構造物や破損保温材等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: right;">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捕捉され、圧損が上昇することから、残留熱代替除去ポンプ運転時の通水流量 150m<sup>3</sup>/h に保守性を持たせた □m<sup>3</sup>/h での運転を想定し、異物による圧損を評価している。 【接近流速の考え方は KK-7 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、残留熱代替除去ポンプの評価としては、既工認同様、設置（変更）許可の添付書類十のサブプレッションプール水温度解析結果より、LOCA 後数十秒後には約 □℃以上となることから、保守的に □℃で試験を行っている。 【温度設定の考え方は KK-7 同様】</p>	<p>⑮ 各 ECCS ポンプの定格流量から試験流速を設定している。</p> <p>⑯ 同左</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、代替循環冷却系の復水移送ポンプ 2 台運転時の通水流量に保守性を持たせた流量での運転を想定し、異物による圧損を評価している。</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、添付書類十のサブプレッションプール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、試験を行っている。</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ェルからサブ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)		0m <sup>3</sup>	原子炉格納容器内の繊維質保温材を全て撤去済みであるため、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。	
一般保温 (パーライト)		□ m <sup>3</sup>	破損影響範囲内の全ての保温材のパーライト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)	39kg	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おける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。 PLR ポンプ電動機 約 □ kg チェーンブロック類 約 □ kg 弁 約 □ kg 計器類 約 □ kg ドライウェルクーラ送風機用電動機 約 □ kg その他構造物 約 □ kg 合計 □ kg を保守的に丸め、□ kg として圧損評価に用いる。	
	堆積異物	スラッジ	89kg	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	23kg	
塵土		68kg		
その他異物	ステッカー	□ 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。	

## 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、ベント管の配置、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)	39kg	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、非 DBA 仕様塗装の全剥落を想定する。
	耐 DBA 仕様塗装 (SA 時考慮)	□ 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が、重大事故等時環境における塗装の耐性の不確かさを考慮し、保守的に原子炉格納容器内の耐 DBA 仕様塗装は全て剥落し、ベント管の配置、吹出方向に依らず、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 原子炉本体基礎内：□ kg サブプレッションチェンバ内：□ kg 合計 □ kg を保守的に丸め、□ kg として圧損評価に用いる。

(2) 炉心の溶融に伴う発生異物量の増加について

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格納容器 pH 制御設備により水酸化ナトリウムをサブ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 又は 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, Zn を含有する構造物の表面積に対して、溶解速度（温度、pH に依存）を掛けることで、Al, Zn の溶解量を算出し、溶解した Al, Zn がすべて水酸化物として析出することとして評価している。

島根原子力発電所第 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  $100 \text{ mdm}^*2$  ( $40 \sim 200^\circ\text{C}$ , 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, 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（AlOOH）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 か月あたりの腐食速度  $\text{mg}/(\text{dm}^2 \cdot \text{month})$

\*3: 「サンプストレ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, pH) を考慮して算出する。	保温材外装板, 電線管 (Al-Zn メッキ)	□ 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 (Al-Zn メッキ)	□ 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 (原子炉格納容器内面, ドライウェル冷却機等)	□ 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, 熔融デブリや構造物が原子炉本体基礎に落下することとなる。しかし, 原子炉本体基礎部は熔融デブリを全量保持できる容量を有しており, サプレッションプールには制御棒駆動機構搬出入口を経て流入する構造であること, 原子炉本体基礎内の構造物は比重が大きいこと (表 2-4 参照) から, 制御棒駆動機構搬出入口を経てサプレッションプールへ流入することは考えがたく, 仮に比重が小さい異物がサ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サプレッションプール水位付近に浮遊しており, 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 原子炉本体基礎内に存在する構造物の一覧

構造物	材質	比重	塗装	評価
ターンテーブル	SUS 炭素鋼	7.75 7.78	約 <input type="text"/> kg	原子炉本体基礎内に存在する構造物は、比重が大きく、原子炉本体基礎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*。ただし、塗装がされている構造物については、全量の剥落を想定する。 (表 2-2 に示す原子炉本体基礎内の耐 DBA 仕様塗装 <input type="text"/> kg に含まれている。)
ターンテーブル動力機構	SUS	7.75		
CRDハウジング	SUS	7.75	—	
CRD 機構	SUS	7.75	—	
CRDハウジングサポート	炭素鋼	7.78	約 <input type="text"/> kg	
ケーブルトレイ	炭素鋼	7.78	—	
コリウムシールド支持構造物	SUS	7.75	—	
配管類	SUS 炭素鋼	7.75 7.78	約 <input type="text"/> kg	
計装品	SUS	7.75	—	
サポート類	SUS 炭素鋼	7.75 7.78	約 <input type="text"/> kg	
ケーブル類	銅 被覆材	8.92 0.9~1.8	ケーブルとしての比重は 1 以上であり、原子炉本体基礎内に沈降すると考えられる*。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。	

注記\*：原子炉本体基礎内の異物のサプレッションプールへの異物流入経路は別紙-2を参照。



### 2.3 まとめ

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

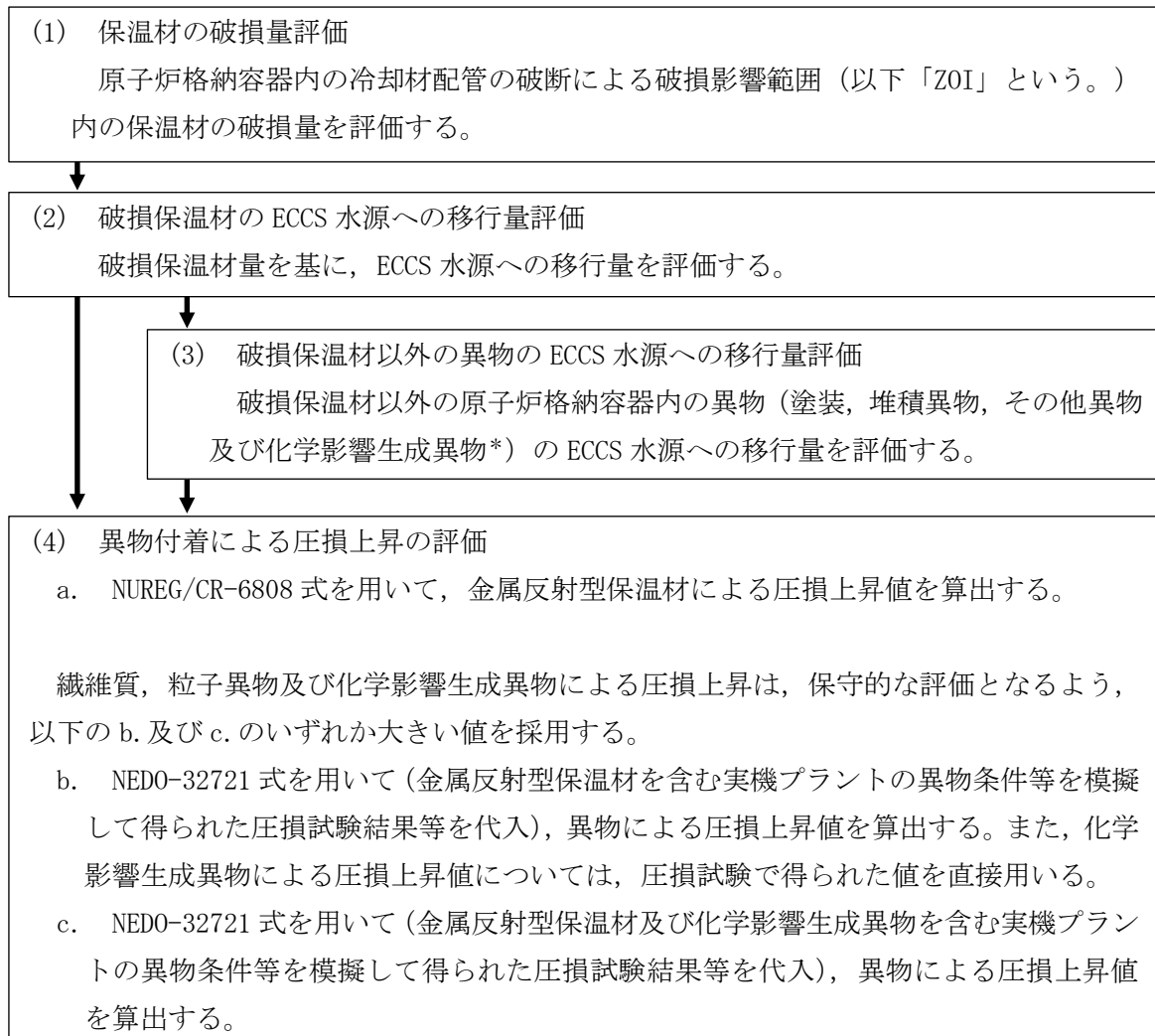
表 2-5 重大事故等時の発生異物量評価

異物の種類		DB	SA	補足
保温材	一般保温 (繊維質)	0m <sup>3</sup>		原子炉格納容器内の繊維質保温材を全て撤去済みであるため、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。
	一般保温 (パーライト)	□ m <sup>3</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パーライト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)	39kg		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、非 DBA 仕様塗装の全剥落を想定する。
	耐 DBA 仕様塗装 (SA 時考慮)	—	□ 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、保守的に原子炉格納容器内の耐 DBA 仕様塗装は全て剥落し、ベント管の配置、吹出方向に依らず、全量が ECCS ストレーナへ移行することを想定する。
堆積異物	スラッジ	89kg		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、設計基準事故時と同様に内規別記 3 に示す物量を適用する。
	錆片	23kg		
	塵土	68kg		
化学影響生成異物		—	□ kg	WCAP 手法等により、Al, Zn, Fe を含有する原子炉格納容器内構造物の溶解・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）並びに原子炉格納容器内温度が高く推移する高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱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。
原子炉本体基礎内構造物		—	0m <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、原子炉本体基礎内構造物自体は圧損上昇の要因となる異物とならない。

### 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 ECCS 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ェルから ECCS 水源であるサプレッションプールへ流入、残留熱代替除去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、サプレッションプールの 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-16530」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 非常用炉心冷却系ストレーナについて

(1) 形式 円錐支持ディスク形ストレーナ（アメリカ GE 社製）

(2) 構造と特徴

- ・ディスクを積層させることで、表面積を増加させている。
- ・円錐形の内筒の採用とディスク内径が軸方向で異なる構造により、ストレーナ中心部での流速が一定に保たれ、全体として低圧損とすることができる。



図 3-2 GE 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

GE 社製ストレーナの実機プラント条件（デブリ条件）での実機模擬ストレーナを用いた圧損試験を実施し、 $d$  値（繊維質間距離）を求め、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、試験立会者及び試験実施時期

試験実施場所 米国（ニュージャージー州）

試験立会者 当社社員

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。試験用ストレーナの表面積は、想定する異物量を考慮して、一部閉止処理（マスキング）を行っている（図 3-4 参照）。

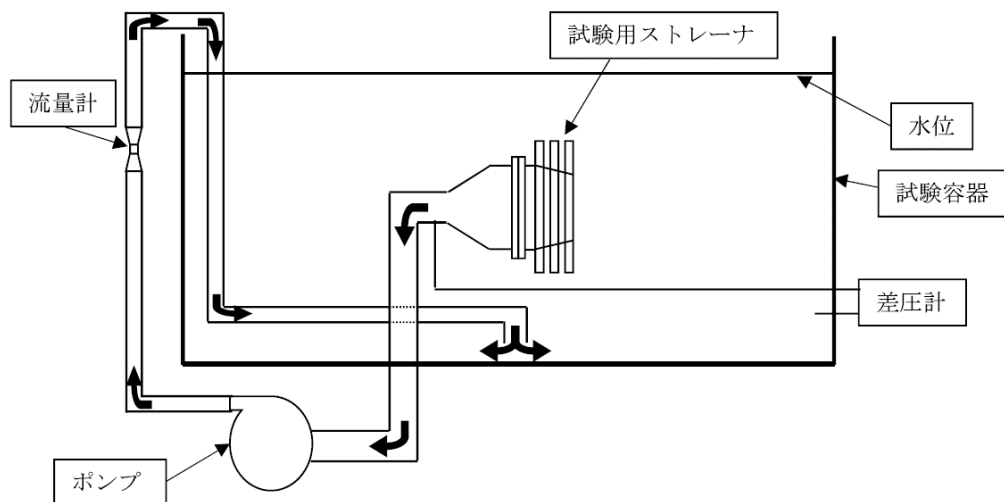


図 3-3 試験概要図

表3-1 試験装置の主要仕様

項目	主要仕様
プール寸法	直径 <input type="text"/>
	深さ <input type="text"/>
プール容量	<input type="text"/>
ポンプ能力	<input type="text"/>
ストレーナ直径	<input type="text"/>
プレート穴径	<input type="text"/>
プレート穴ピッチ	<input type="text"/>
ディスク間ギャップ	<input type="text"/>

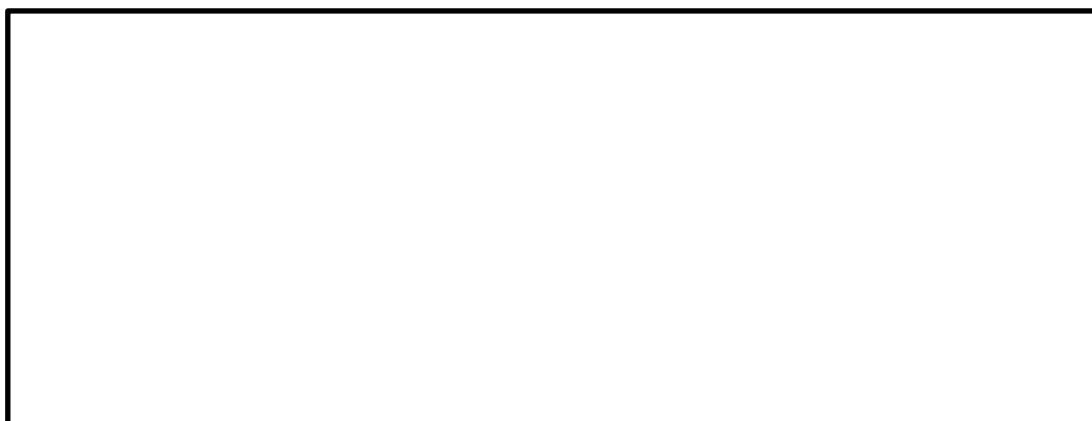


図 3-4 試験用ストレーナ

(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）時にサブプレッションプールを水源として運転を行うポンプは、残留熱代替除去ポンプである。表3-2に示すとおり、その運転時の通水流量は、150(m<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  (m<sup>3</sup>/h) を用いる。

表 3-2 ECCS ストレーナを通過する流量

系統設備	流量
残留熱代替除去ポンプ	<input type="text"/> (m <sup>3</sup> /h) *

注記\*：ポンプ流量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、島根原子力発電所第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（ストレーナ2個に付着する異物量）

DBA 時（或いは SA 時）発生異物								SA 時発生異物	
繊維質 保温材	ハーフライト 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 DBA 仕様塗装 (SA 時考 慮)	化学影響 生成異物 (A100H)
(kg)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
<input type="text"/> *	<input type="text"/>	<input type="text"/>	89	39	23	68	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記\*：島根原子力発電所第2号機では、原子炉格納容器内の繊維質保温材は全て撤去しているが、NEDO-32721 式を用いる圧損評価は、繊維質ゼロでは評価できないため、繊維質ゼロ相当として繊維質厚さ 0.3(mm) で試験を実施した。

(5) 試験条件

実機異物条件を模擬した圧損試験条件は、試験用ストレナと実機ストレナの表面積比率（スケーリング比）、ドライウェルからサプレッションプール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	ハーフライト 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 DBA 仕様塗装 (SA 時考慮)	化学影響 生成異物 (A100H)
(kg)	(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。この結果より、NEDO-32721 評価式に基づき算出された d 値（繊維質間距離）は [ ] (m) (A100H 投入前の値)，化学影響生成異物による圧損上昇は [ ] (m) となる。

なお、圧損の静定に十分な試験時間であることから、試験の再現性はあると考えられる。

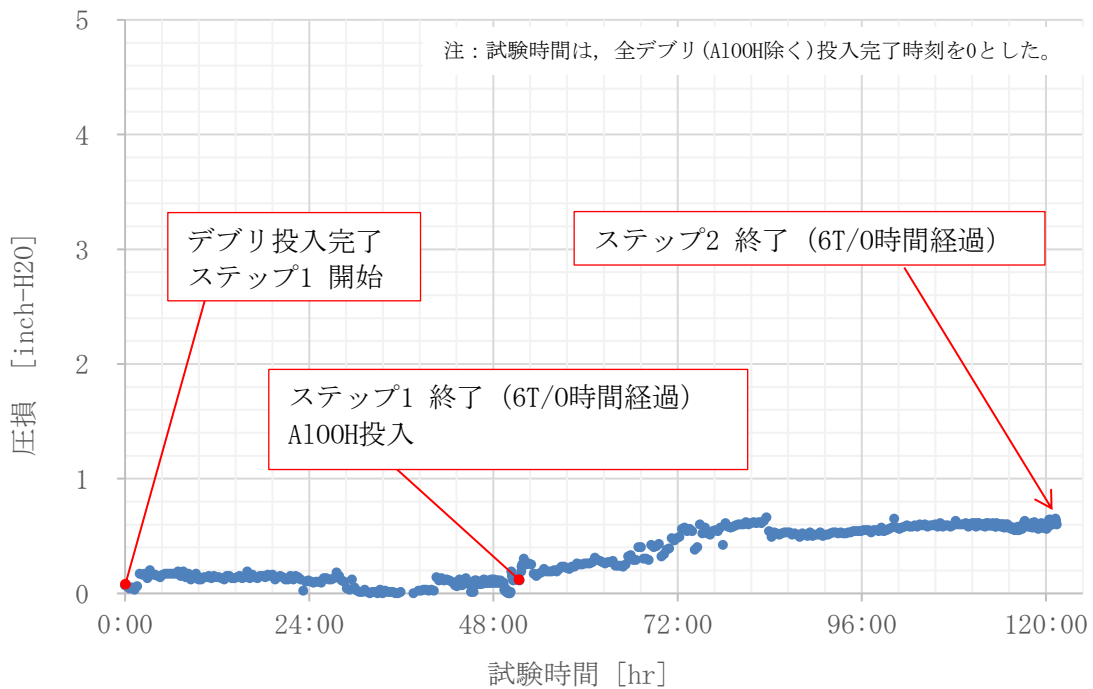


図 3-5 圧損試験結果

### 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
NEDO-32721	繊維質保温材，パーライト保温材，金属反射型保温材，スラッジ，塗装片，錆片，塵土，化学影響生成異物
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

	残留熱代替除去ポンプ
金属反射型保温材による圧損上昇	□ (m) *
繊維質，粒子状の異物及び化学影響生成異物による圧損上昇	□ (m) *
合計	□ (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

圧損試験に基づく評価の結果，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。



## 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

GE 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、d 値（繊維質間距離）を求め、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）時にサブプレッションプールを水源として運転を行うポンプは、残留熱代替除去ポンプであり、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。

残留熱代替除去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 に示す流量のスケーリング比から表 1 のとおりとなる。

表 1 試験流量（残留熱代替除去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 (GPM)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

表 2 流量のスケーリング比

流量のスケーリング比（側面積比から設定）	基準面積
残留熱代替除去ポンプ	<input type="text"/> *

注記\*：試験装置側面積（）÷実機側面積  (ft<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 3 に示す異物の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、ドライウェルからサブプレッションプールへの移行割合及びサブプレッションプール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 4 のとおりとなる。

表3 異物のスケーリング比

異物のスケーリング比(表面積比から設定)	基準面積
残留熱除去系ストレーナ	<input type="text"/> *

注記\* : 試験装置表面積() ÷ 実機表面積  (ft<sup>2</sup>)  
 =

表4 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> )		
パーライト保温材	(g)		
スラッジ	(g)		
耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)	(g)		
鋳片	(g)		
塵土	(g)		
非 DBA 仕様塗装	(g)		
耐 DBA 仕様塗装 (SA 時考慮)	(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。

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 時考慮) 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 5 に示す。

表 5 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	シュレッダーで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		NEDO-32686-A
錆片		NEDO-32686-A
耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)		NEDO-32686-A
パーライト		NEI 04-07
非 DBA 仕様塗装		Supplement Response to Generic Letter 2004-02
耐 DBA 仕様塗装 (SA 時考慮)		NEDO-32686-A
化学影響生成異物 (A100H)		WCAP-16530 に基づき作成した A100H

(3) 試験装置

① 装置の仕様

圧損試験装置は、既工事計画書の評価に用いたモジュール試験装置とし、概要図を図1に、仕様を表6に示す。

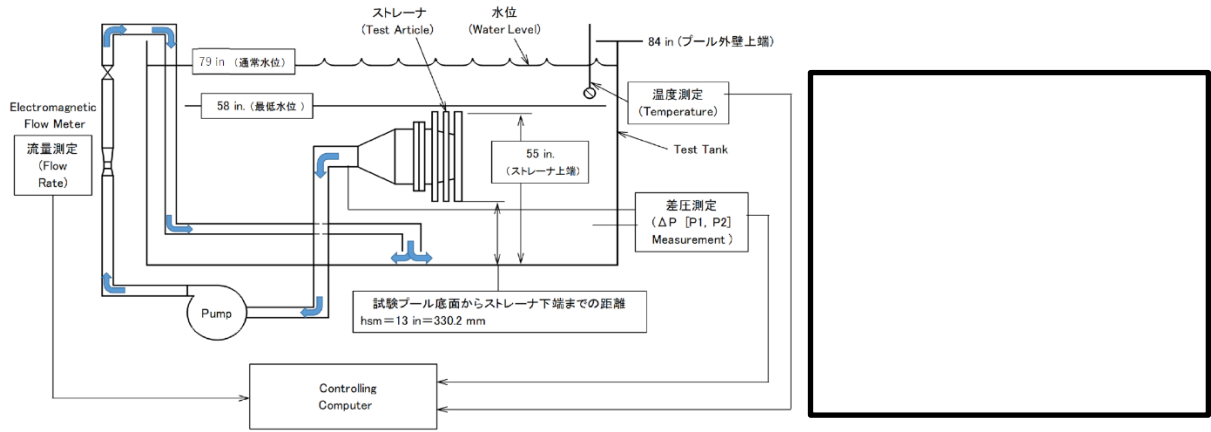


図1 モジュール試験装置概要図（左：系統概要図 右：ストレーナ写真）

表6 モジュール試験装置の仕様

プール寸法	直径	[Redacted]
	深さ	[Redacted]
プール容量		[Redacted]
ポンプ最大接続個数		1台
ポンプ能力		[Redacted]
ストレーナ直径		[Redacted]
プレート穴径		[Redacted]
プレート穴ピッチ		[Redacted]
ディスク間ギャップ		[Redacted]
評価用表面積		[Redacted]
評価用側面積		[Redacted]
試験プールからストレーナ下端までの距離		[Redacted]
攪拌機		<input type="checkbox"/> 箇所設置

② ストレーナのマスクング

a. マスクング領域

現状使用可能な試験プールの最大水量は [ ] (ℓ) であり、ストレーナの圧損試験を実施するための最小水量は [ ] (ℓ) であるため、投入可能な A100H 溶液は [ ] (ℓ) となる。

実機条件での A100H は [ ] (kg) であり、実機 ([ ] (ft<sup>2</sup>)) と試験装置 ([ ] (ft<sup>2</sup>)) の表面積比は [ ] であることから、試験装置に投入する A100H は [ ] (kg) となる。

一方、試験で投入できる A100H 溶液の濃度上限は [ ] (g/ℓ) であることから、濃度上限値とした時の試験装置に投入する A100H 溶液は [ ] (g) ÷ 11 (g/ℓ) = [ ] (ℓ) である。

投入可能な A100H 溶液は [ ] (ℓ) であり、全量を投入するために、ストレーナの表面積をさらに縮小する必要がある。

その縮小の割合は、 [ ] / [ ] = [ ] → [ ] となる。

このため、以下のとおりストレーナをマスクングする。

・ ストレーナの評価用表面積

$$= \text{試験装置表面積} \times [ ] = [ ] \text{ (ft}^2\text{)} \times [ ]$$

・ ストレーナの評価用側面積

$$= \text{試験装置側面積} \times [ ] = [ ] \text{ (ft}^2\text{)} \times [ ]$$

マスクングにより、試験水量比は実機水量比に比べて小さくなり、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>)

b. マスクング方向

マスクング方向は、図 2 に示すように、実機における異物の付着状況を模擬できる下向きから吸込むよう実施する\*。装置内のプール水戻り配管の攪拌効果及びストレーナ設置位置とプール底面の距離を実機より短くすることで、ストレーナへの異物の移行効果を高める構成とする。

注記\* : 上向きとした場合、マスクングによりフィルタ部が上向きのポケット状になることから、実機においてはサプレッションプール底部に落下するフィルタ部に付着しない異物についても、ポケット内に保持され過度の保守性を持った評価となる可能性がある。



図2 マスキング概要

③ ストレーナ表面積

実機ストレーナ基準面積を表7に示す。

圧損試験で考慮するストレーナの基準面積，ストレーナ基準側面積は，下記の式で算出する。

・ストレーナ基準表面積

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

$$= \boxed{\phantom{000}} - \boxed{\phantom{00}} \div 2 \times 0.75 = \boxed{\phantom{000}} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\boxed{\phantom{000}} \text{ (m}^2\text{)} \div 0.0929 \text{ (単位換算)} = \boxed{\phantom{000000}} \text{ (ft}^2\text{)}$$

・ストレーナ基準側面積

$$= \boxed{\phantom{000}} \times \boxed{\phantom{000}} \times \pi = \boxed{\phantom{000}} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\boxed{\phantom{000}} \text{ (m}^2\text{)} \div 0.0929 \text{ (単位換算)} = \boxed{\phantom{000000}} \text{ (ft}^2\text{)}$$

表7 ストレーナ1個あたりの面積

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	ストレーナ 基準側面積
残留熱除去系 ストレーナ	$\boxed{\phantom{000}} \text{ (m}^2\text{)}$	$(\boxed{\phantom{00}} \div 2 \text{ 台}) \text{ (m}^2\text{)}$	$\boxed{\phantom{000}} \text{ (m}^2\text{)}$ $(\boxed{\phantom{000000}} \text{ (ft}^2\text{)})$	$\boxed{\phantom{000}} \text{ (m}^2\text{)}$ $(\boxed{\phantom{000000}} \text{ (ft}^2\text{)})$

④ ストレーナ接近流速

接近流速は、以下の様に定義される。

$$U(\text{m/s}) = Q / (\pi \cdot D \cdot L)$$

ここで、

Q : 流量 (m<sup>3</sup>/s), D : ストレーナ直径 (m), L : 圧損評価長さ (m)

接近流速を算出するための D, L について、実機ストレーナを図 3 に示す。

今回マスクングする試験装置の接近流速算出は、実機ストレーナと同様に試験装置のストレーナ直径と圧損評価長さから算出する。

- ・ 実機ストレーナ接近流速

$$= \frac{\text{[ ]}}{\text{[ ]}} = \text{[ ]} \text{ (m/s)}$$

- ・ 試験装置側面積

$$= \text{[ ]} \text{ (ft)} \times \text{[ ]} \text{ (ft)} \times \pi = \text{[ ]} \text{ (ft}^2\text{)}$$

- ・ 試験装置側面の接近流速

$$= \frac{\text{[ ]} \text{ (ft}^3\text{/s)}^*}{\text{[ ]}}$$

$$= \text{[ ]} \text{ (ft/s)} = \text{[ ]} \text{ (m/s)}$$

注記\* : [ ]

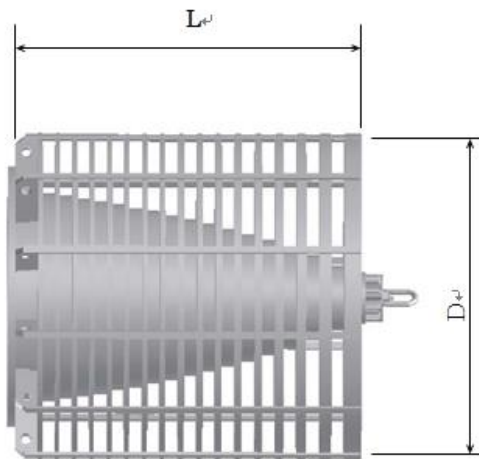


図 3 実機ストレーナ

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
流 量 (GPM)	電磁流量計 <input type="text"/>	適用レンジ <input type="text"/>
圧 損 (in H <sub>2</sub> O)	差圧変換機 <input type="text"/>	P1 : <input type="text"/> P2 : <input type="text"/>
水 温 (° F)	熱電対 <input type="text"/>	<input type="text"/>
測定間隔	データシート* に記録。 <input type="text"/>	

注記\* : データシートの書式を様式 1 に示す。



### 3. 試験要領

#### (1) 試験手順

- ① 異物の準備として、繊維質保温材、耐 DBA 仕様塗装(ジェット破損)、パーライト、耐 DBA 仕様塗装 (SA 時考慮)を水に [ ] 時間浸す。
- ② 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 ([ ](°C)) まで上げる。
- ③ プール内の水を A100H 作成用として、ミキシングタンク ([ ])に移す。
- ④ ポンプを起動し、[ ](GPM)\*の流量で安定させた後、攪拌機の運転を開始しクリーン圧損を測定する。

$$\begin{aligned} \text{注記*} : & \text{ [ ] (m}^3\text{/h)} \div 2 \text{ 台} \times \text{ [ ] (流量スケール比)} \times 4.402869 \text{ (単位換算)} \\ & = \text{ [ ] (GPM)} \end{aligned}$$

- ⑤ 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 4 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)
- ・パーライト
- ・非 DBA 仕様塗装 [ ]
- ・耐 DBA 仕様塗装 (SA 時考慮)

#### ⑥ 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、水面に浮遊するデブリ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、水面に浮遊するデブリ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。

#### ⑦ 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-16530 に基づいて作成)

#### ⑧ 攪拌機を停止後、ポンプを停止し試験を終了する。

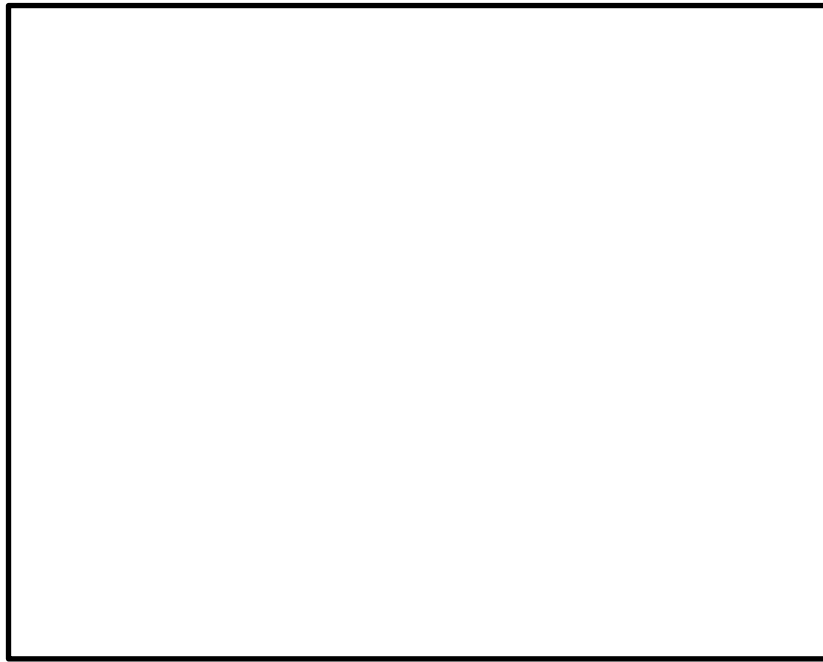


図4 異物投入位置（試験プール平面図）

(2) 実機ストレーナの圧損算出方法

下記 2 種類の方法にて実機ストレーナの圧損を算出し、保守的な方を採用する ( $H_{sa1}$  ,  $H_{sa2}$  の大きい方)。

- ① 初めに、A100H 投入直前の圧損試験結果(圧損  $h_1$ ) 及び  $d$  値{インターファイバーディスタンス\*}を用いて実機圧損 ( $H_1$ ) を算出する。

次に、A100H 投入後の圧損試験結果(A100H 投入による圧損上昇分  $h_c$ ) を  $H_1$  に加算して SA 時の実機圧損 ( $H_{sa1}$ ) を算出する。

$$H_{sa1} = H_1 + h_c, \quad \text{ここで } h_c = h_2 - h_1 \quad (\text{図 5 参照})$$

- ② A100H 投入後の圧損試験結果(圧損  $h_2$ ) , 及び  $d$  値を用いて SA 時の実機圧損 ( $H_{sa2}$ ) を算出する。

注記\*: インターファイバーディスタンスは、繊維質間の水が通過できるスペース(距離)であり、実機模擬試験により求めた値である。

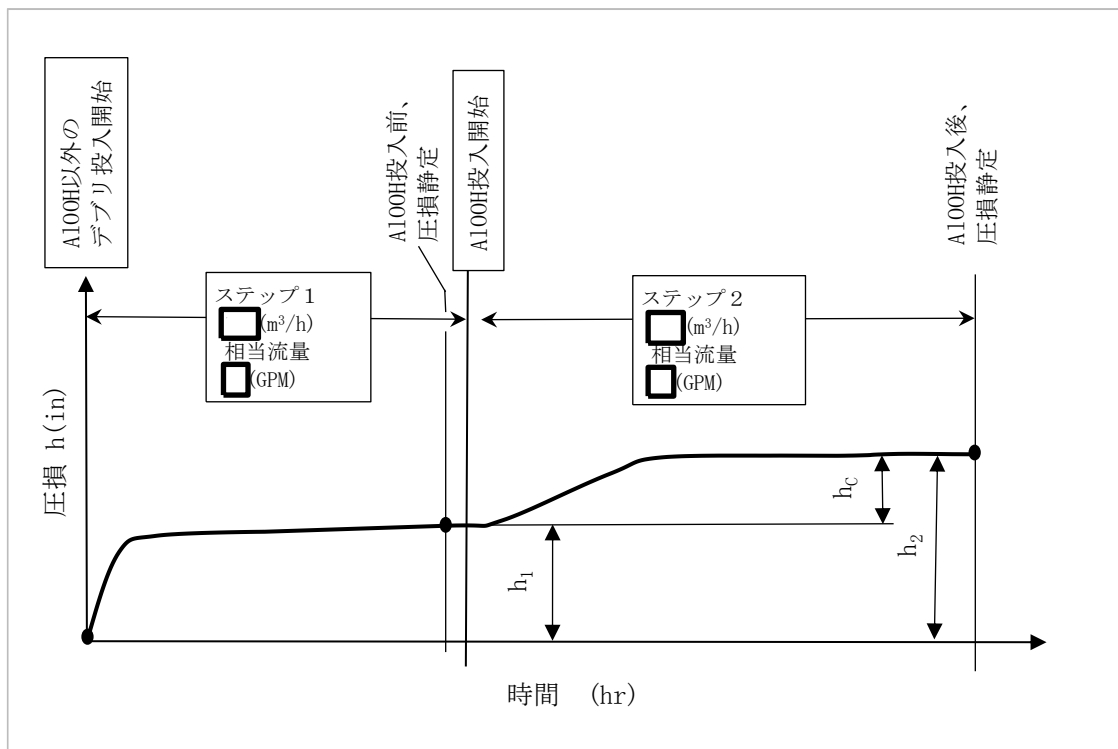
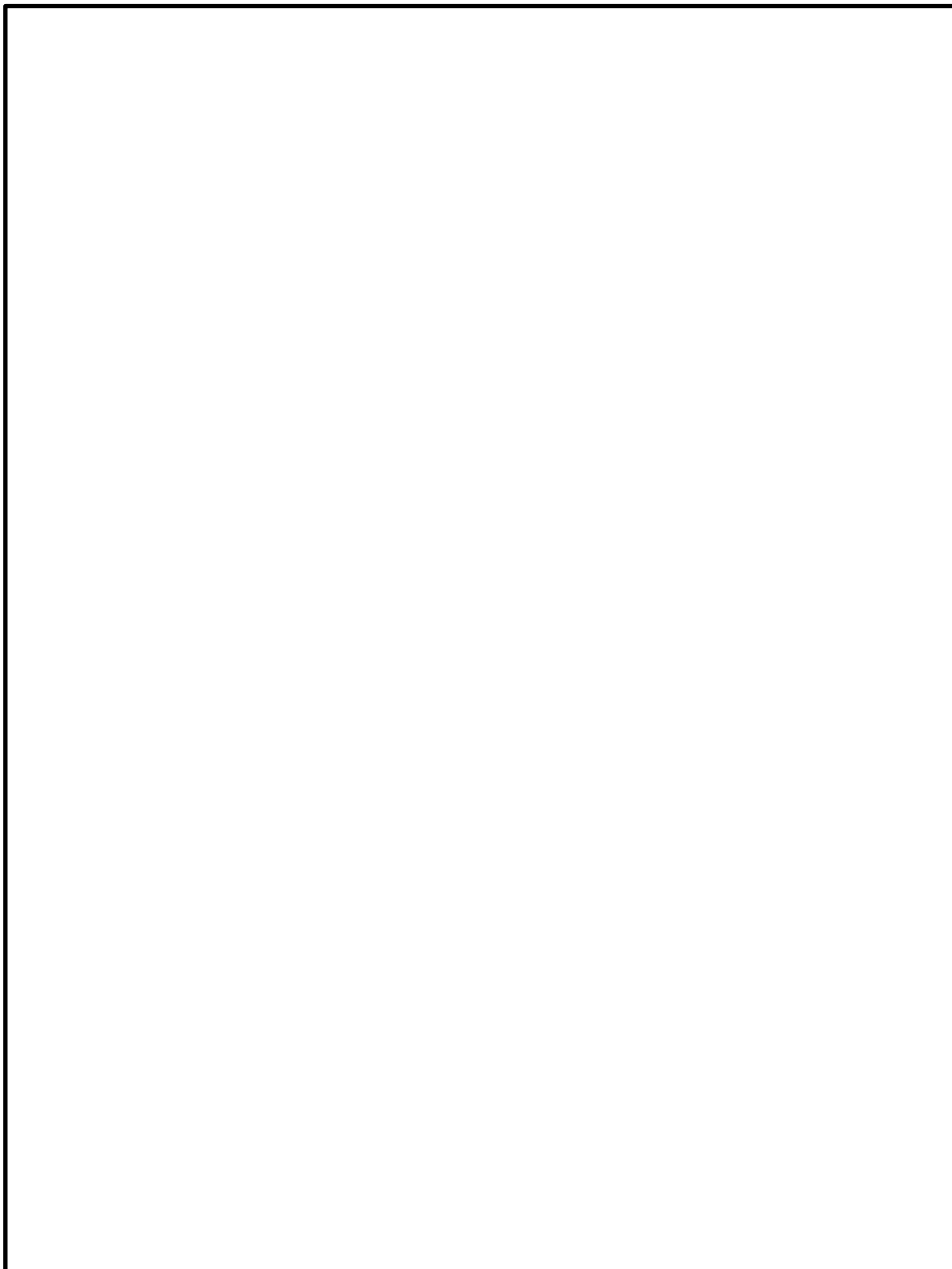


図 5 圧損試験結果の概要



#### 4. 重大事故等時圧損試験における保守性について

GE社製ストレ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ナ設計において、圧損上昇評価は圧損上昇に大きな影響を与え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しており、SA環境における実力を把握するうえでは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SA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、その全てが非常用炉心冷却系ストレ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、その全てが非常用炉心冷却系ストレナへ到達するとは考えられず、後述するサブ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)
非DBA仕様塗装	: <input type="text"/> (kg)	⇒	<input type="text"/> (kg)
耐DBA仕様塗装 (SA時考慮分)	: <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, Znに加えて、WCAP-16530では考慮されていない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, Znの溶解速度式は、pH、温度の関数であることから、原子炉冷却材配管の破断事象ではないが、原子炉格納容器内温度が高く推移する高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱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制御装置使用後は、高pH (pH=12) 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）内にある保温材、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。
- 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非常用炉心冷却系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、放射線環境、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、原子炉格納容器内に均一に分布されている耐 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されるため、残留熱代替除去系で兼用する ECCS ストレナ（B-残留熱除去ストレナ）の反対に位置するベント管（3本）から流入する異物については、ストレ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、残留熱代替除去ポンプの使用開始は、事象発生 10 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、島根原子力発電所第 2 号機のストレナは、サブプレッションチェンバ内壁面からの最短距離が約  (mm) であり、沈降した異物が再浮遊しストレナへ移行することは考えられない。

しかしながら本試験条件の前提としては、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、全量ストレナに到達するとしている（ドライウェルからサブプレッションプールへの移行割合及びサブプレッションプールからストレ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）時にサプレッションプールを水源として運転する残留熱代替除去ポンプの通水流量は、 $150(\text{m}^3/\text{h})$ である。

これに対して、圧損試験時には、保守的な試験条件となるよう  $\square(\text{m}^3/\text{h})$  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している。

##### 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あたり）： $\square(\text{m}^3/\text{m}^2)$

実機水量比（ストレーナ単位面積あたり）： $\square(\text{m}^3/\text{m}^2)$

##### ③ 温度条件

圧損試験に用いる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サプレッションチェンバ水温解析結果である最低温度（約  $\square(^{\circ}\text{C})$ ）に対して保守的により低い  $\square(^{\circ}\text{C})$  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は、実機のサプレッションチェンバ内壁面とストレーナ外径との最短距離が約  $\square(\text{mm})$  であるのに対して、試験プール底面からストレーナ下端までを約  $\square(\text{mm})$  としている。

試験装置のストレーナ下端が底面に近い位置となっているため、サプレッションチェンバ壁面近傍に存在する異物をストレーナに吸込み易い条件となっている。

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) 残留熱代替除去系に用いる残留熱代替除去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	
H <sub>a</sub> : 吸込み液面に作用する絶対圧力	□ m	吸込み液面に作用する絶対圧力は、残留熱代替除去ポンプ運転中の有効 NPSH 評価上厳しい条件となる、サプレッションチェンバ圧力 □ kPa[gage]に加えて、大気圧 101.325kPa を考慮し、吸込み液面に作用する絶対圧力は □ m としている。
H <sub>s</sub> : 吸込揚程	□ m	静水頭は、以下の差分 □ m としている。 ●水源の水位: EL □ m 水源の水位としては、サプレッションプールの最低水位とした。 ●ポンプ吸込み口高さ: EL □ m
H <sub>1</sub> : ポンプ吸込配管圧損	□ m	サプレッションプールから残留熱代替除去ポンプまでの配管及び弁類圧損は、残留熱代替除去ポンプが以下の流量*1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代替除去ポンプまでの配管*2及び弁類圧損の合計値は、□ m となる。 ●残留熱代替除去ポンプ: 150m <sup>3</sup> /h×1 台 ポンプ吸込配管中の圧損は、圧損合計値より □ m に設定する。 注記*1: サプレッションプールから残留熱代替除去ポンプの吸込配管は、残留熱除去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、残留熱除去ポンプの運転流量を圧損計算上で考慮する必要はない。 *2: サプレッションプール内のティー及びペネ含む
H <sub>2</sub> : 異物付着なしの状態におけるストレーナ圧損	□ m	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。 ●ストレーナ本体部圧損: □ m
H <sub>3</sub> : 異物付着による圧損上昇	□ m	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: 残留熱代替除去ポンプの評価流量 (保守的に □ m <sup>3</sup> /h) を使用] ●金属反射型保温材の付着による圧損上昇: □ m ●繊維質*3, 粒子状の異物, 及び化学影響生成異物による圧損上昇: □ m 合計値は □ m となる。有効 NPSH の算定においては、小数点以下第 2 位を切り上げ処理し、保守的に □ m としている。 注記*3: 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、NEDO-32721 式を適用するにあたり繊維質ゼロでは評価できないため、繊維質ゼロ相当 (薄膜効果の発生開始 3mm の 1/10) として 0.3 mm 相当の繊維質を考慮している。 NEDO-32721 式における d 値は、ストレーナ圧損試験結果 (化学影響生成異物投入前) から下式にて求める。 $d = \sqrt{\frac{\mu \cdot U \cdot t}{\rho \cdot g} \cdot \frac{K_h}{h}} = \square \text{ (ft)} \times 0.3048 \text{ (m/ft)} = \square \text{ (m)}$ ここで、 h = □ (ft), $\mu / \rho = \square \text{ (ft}^2\text{/s)}$ (試験水温 □ °C), U = □ (ft/s), t = □ (ft), g = 32.2 (ft/s <sup>2</sup> ), K <sub>h</sub> = □ 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。 ・繊維質異物及び粒子状異物による圧損 $h = \frac{\mu \cdot U \cdot t}{\rho \cdot g \cdot d^2} \cdot K_h = \square \text{ (m)}$ ここで、 d = □ (m), $\mu = \square \text{ (Pa} \cdot \text{s)}$ (評価水温 □ °C), U = □ (m/s), t = □ (m), $\rho = \square \text{ (kg/m}^3\text{)}$ (試験水温 □ °C), g = 9.80665 (m/s <sup>2</sup> ), K <sub>h</sub> = □ ・化学影響生成異物の付着による圧損 $h_c = h_2 - h_1 = \square - \square$



		$= \text{[ ] (ft)} \times 0.3048 = \text{[ ] (m)}$ <p>ここで、  <math>h_1</math> : A100H 投入直前の圧損  <math>h_2</math> : A100H 投入後の静定圧損  <math>h_c</math> : 化学影響生成異物 (A100H) の付着による圧損上昇分</p>
$h_s$ : ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭	[ ] m	残留熱代替除去ポンプ運転中の有効 NPSH 評価上厳しい条件となる、サブプレッションプール水温 [ ] °C における飽和蒸気圧水頭 [ ] m としている。
有効 NPSH $(H_a + H_s - H_1 - H_2 - H_3 - h_s)$	[ ] m	有効 NPSH は、以下の計算式により算出している。 $\text{有効 NPSH} = H_a + H_s - H_1 - H_2 - H_3 - h_s$ $= \text{[ ]}$ $= \text{[ ] m}$
必要 NPSH	[ ] m	残留熱代替除去系に用いる残留熱代替除去ポンプ運転流量 150 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。 以上の計算結果より、有効 NPSH と必要 NPSH 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。 有効 NPSH : [ ] m > 必要 NPSH : [ ] m

## 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。

本別紙では、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	原子炉格納容器壁面・床面 機器類 配管・弁類 架台・サポート類
化学影響生成異物*1	Al	アルミニウム、又は Al を含む合金メッキの構造物	保温材外装板 電線管*2
	Zn	亜鉛メッキ鋼、Zn を含む合金メッキの構造物、及びジンク系塗装が使用されている構造物	グレーチング 電線管*2
	Fe	炭素鋼材料の構造物、亜鉛メッキ鋼の構造物	耐 DBA 仕様塗装が使用されている構造物のうち、炭素鋼材料の構造物

注記\*1：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。

\*2：電線管に使用している Al-Zn めっきは、Al : Zn の重量比が  % :  % であるため、全表面積を Al, Zn の重量比で按分して評価する。

## 1.2 表面積の算出手順

抽出された対象構造物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	原子炉格納容器関係	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	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。
3	配管サポート	<p>【大口徑 (65A 以上)】</p> <p>サポート図を用いて、配管サポートの構成部材単位の表面積を算出し、それらを足し合わせて配管サポートの表面積とする。</p> <p>【小口径 (50A 以下)】</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。</p> <p>代表形状の配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。</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>電線管配置図を用いて、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電線管サポートの表面積とする。</p> <p>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。</p> <p>また、サポート点数は、電線管配置図を用いて、電線管長、サポート間隔（最も短いサポート間隔）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。
7	その他	<p>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。</p> <p>(チェーンブロック モノレール等)</p>

### 1.3 調査結果

ドライウエル内の構造物の表面積調査結果を表別 1-3 に、原子炉本体基礎内の構造物の表面積調査結果を表別 1-4 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 1-5 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
原子炉 格納容器 関係	上部円筒部					
	上部球形部シェル					
	下球形部シェル					
	フランジ部					
	ドライウエルシヤラグ					
	ジェットデフレクタ					
	ハッチ類					
	ドライウエル貫通部					
	ドライウエルスプレイ管					
	原子炉圧力容器基礎					
	原子炉遮へい壁					
	PCV スタビライザ					
	RPV スタビライザ					
	燃料交換ベローズ					
	バルクヘッドプレート					
	ドライウエル床					
	パイプホイップ					
ストラクチャ						
グレーチング						
その他構造物						
配管・弁類	配管・弁					
	保温材外装板					
	鉄板遮蔽					
配管 サポート	大口径配管サポート					
	小口径配管サポート					

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
ダクト類	ダクト					
	ダクト外装材					
	ダクトサポート					
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(PLR ポンプ)	PLR ポンプ電動機					
	モータ台, ラグ部					
機器(サン プポンプ)	サンプポンプ					
	サンプポンプ電動機					
機器(ドラ イウエル クーラ)	ドライウエル冷却機, 送風機					
	冷却機ファン外装材					
その他	チェンブロック					
	モノレール					
	計器類					
	電気関係品 (プルボックス等)					
	計装配管					
	計装配管サポート					
	操作架台					
合 計						

注記\* : 非 DBA 仕様塗装を使用している。物量については、表 2-1 に示す。

表別 1-4 原子炉本体基礎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
原子炉 格納容器 関係	原子炉圧力容器基礎					
	CRD レストレントビーム					
	CRD レストレント支持金具					
	ペDESTAL床					
配管・弁類	配管・弁					
	保温材外装板					
配管サポート	大口径配管サポート					
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 (CRD 交換機)	グレーチング					
	旋回レール					
	プラットホーム					
	取扱装置					
その他	電気品関係 (プルボックス等)					
	TIP 案内管サポート					
合 計						

表別 1-5 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
原子炉 格納容器 関係	トーラス					
	トーラス補強リング					
	ダウンカマ					
	ベントヘッダ					
	ベント管					
	キャットウォーク					
	グレーチング					
	貫通部					
	サプレッションチェンバ スプレイ管					
	真空破壊弁					
	クエンチャ					
	ストレーナ					
配管・弁類	配管・弁					
配管サポート	大口径配管サポート					
電線管	電線管					
	電線管サポート					
その他	モノレール					
	電気品関係品 (プルボックス等)					
	合 計					

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照射線量が高く、高温状態が長期間維持されることから、耐性の不確かさを踏まえ、追加発生を考慮する耐 DBA 仕様塗装としては、保守的に原子炉格納容器内に設置する構造物の塗装の全量剥落を想定する。また、ドライウエル内の塗装については、ベント管の配置、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 1-6 に示す。

表別 1-6 耐 DBA 仕様塗装物量 (SA 時考慮分) の算出結果

	構造物の全表面積*1 (m <sup>2</sup> )	塗装膜厚 (mm)	塗装密度 (g/cm <sup>3</sup> )	塗装重量*3 (kg)
耐 DBA 仕様塗装 (ドライウエル)	□	塗装要領 より個別 に設定し ている。	□*2	□
耐 DBA 仕様塗装 (原子炉本体基礎)	□			□
耐 DBA 仕様塗装 (サブプレッション チェンバ)	□			□
合 計				□

注記\*1：原子炉格納容器内の構造物の表面積算出については、別紙に示す。

\*2：エポキシ系塗装の密度の代表値として □ g/cm<sup>3</sup> と設定している。

\*3：塗装重量の算出においては、保守的に裕度 1.1 倍を見込んで算出する。

以上より、原子炉格納容器内に存在する塗装の全量である □ kg を保守的に丸め、□ kg とする。



### 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 pH 制御設備によりサプレッションプール水に添加された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, 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。

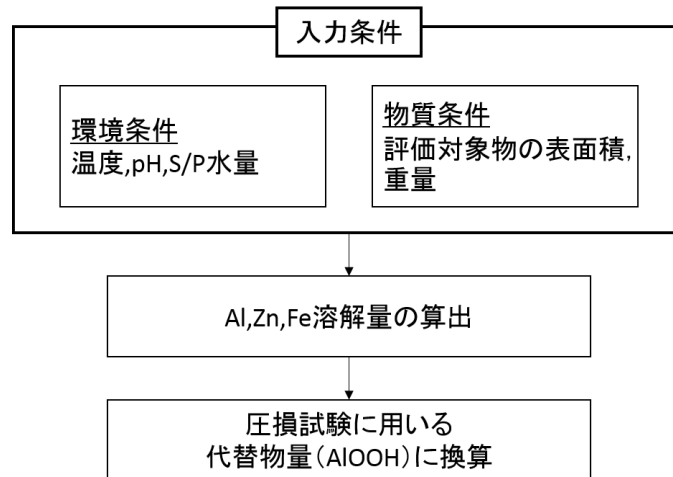
注記\*：原子力安全基盤機構の調査では、国内プラントは従来から化学影響の主要因と考えられているアルミニウムや断熱材の腐食に加え、炭素鋼と亜鉛メッキ鋼腐食の影響が大きくなる傾向が示唆されており、JNES-SS-1004 にて提案している化学影響評価手法においても、Zn と Fe の影響を考慮することが推奨されている。

#### 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、原子炉格納容器内に存在する構造物（Al, 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, pH）を考慮して算出した溶解速度を掛けることで、Al, Zn の溶解量を算出する。また、WCAP-16530 では考慮されていない Fe についても、Al, 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おいては、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 1-7 に示す。また、原子炉格納容器内に存在する構造物のうち、Al, Zn, Fe を含む構造物の表面積の調査結果を表別 1-8 に示す。

表別 1-7 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	高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱	
評価期間	事故発生から 30 日間 (720 時間) *1	
原子炉格納容器内温度*2	<b>【ドライウエル】</b> 0～ 6h : 200 °C 6～ 18h : 180 °C 18～ 30h : 175 °C 30～ 36h : 170 °C 36～ 50h : 160 °C 50～ 66h : 155 °C 66～ 84h : 150 °C 84～114h : 145 °C 114～168h : 140 °C 168～720h : 135 °C	<b>【サブプレッションプール】</b> 0～ 18h : 150 °C 18～ 36h : 160 °C 36～ 96h : 150 °C 96～144h : 140 °C 144～168h : 130 °C 168～720h : 125 °C
サブプレッションプール・スプレイ水の pH	<b>【ドライウエル】</b> NaOH 注入前 : 7 (0～10h 後) NaOH 注入後 : 12 (10h 以降)	<b>【サブプレッションプール】</b> NaOH 注入後 : 12

注記\*1 : 事故発生から 30 日以降は、逆先等によるストレーナの性能回復が十分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保守的である。

\*2 : 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)」時の温度変化も包絡するよう、設定している。

表別 1-8 Al, Zn, 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			
原子炉本体基礎			
サブプレッションチェンバ			
合計			

### 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 1-9 に示す。

表別 1-9 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	$RR = 10^{A+B(pH)+C(1000/T)+D(pH)^2+E(pH)/(1000/T)}$	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 1-10 に示す。

表別 1-10 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	$RR = 10^{A+B(pH)+C(1000/T)+D(pH)^2+E(pH)/(1000/T)}$	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”

### 3.4 溶解量の評価

Al, Zn, 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することが想定される析出物を表別 1-11 に示す。

表別 1-11 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)				FeO(OH)

### 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 規定されている換算係数) を表別 1-12 に示す。

表別 1-12 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 1-13 に示す。

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。

表別 1-13 各金属の溶解量及び圧損試験代替物量

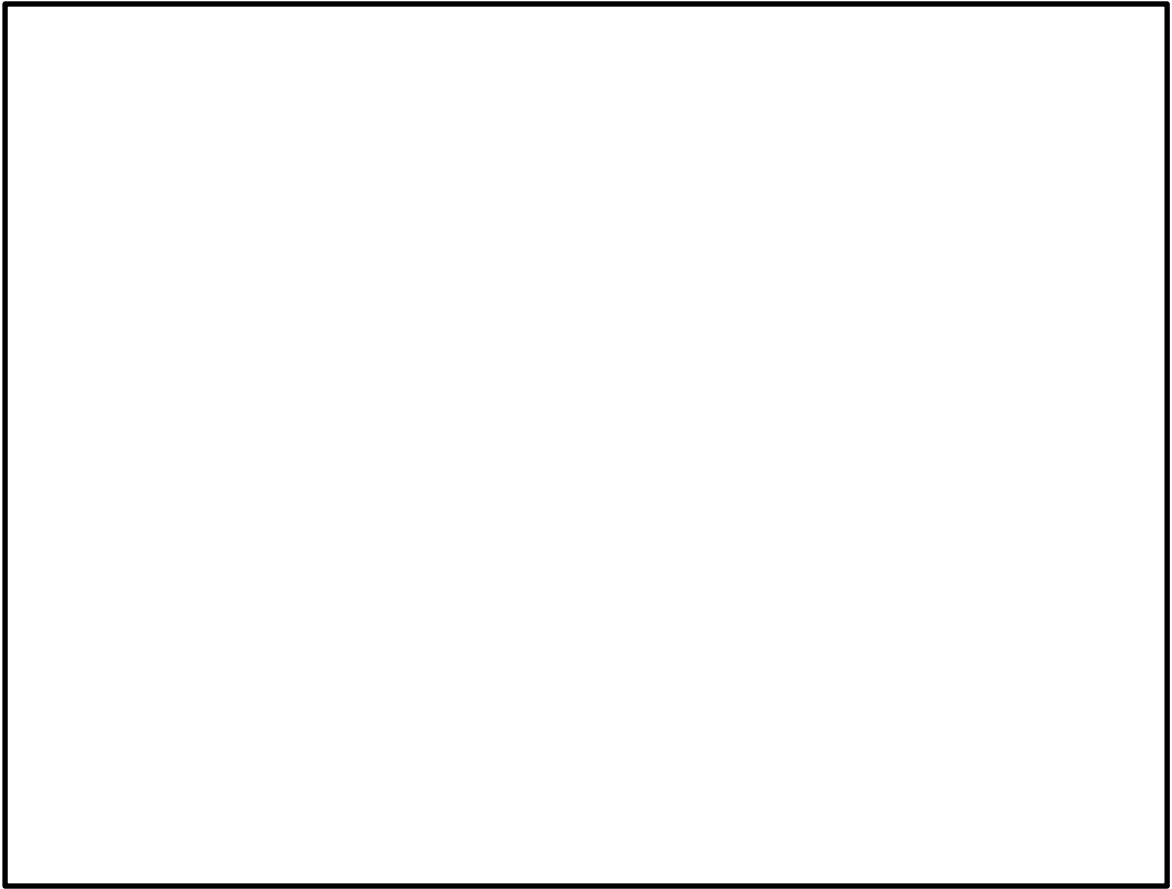
元素	溶解量 (kg)	化学影響生成異物量	
		換算係数	代替物量 (kg)
アルミニウム (Al)		1	
亜鉛 (Zn)		0.2	
炭素鋼 (Fe)		2	
合 計			

## 原子炉本体基礎から サブプレッションプールへの異物流入経路について

原子炉本体基礎で発生した異物のサブプレッションプールへの流入経路は、以下のとおりである。流入経路の概要図を図別 2-1 に示す。

- ① 事象発生から 10 時間後において残留熱代替除去系を運転し、破断口から残留熱代替除去ポンプの流量（150(m<sup>3</sup>/h)）相当の水が原子炉本体基礎へ流入する。
- ② 原子炉本体基礎の水位が上昇し、制御棒駆動機構搬出入口を超えた場合、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ブ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サブプレッションプール水面に留まる。

以上より、原子炉本体基礎からサブ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、これらの異物がサブプレッションプールへ移行したとしても、サブ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本体基礎内に沈降し、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 原子炉本体基礎内異物のサプレッションプールへの流入経路

## 残留熱代替除去ポンプの有効吸込水頭の評価における 原子炉格納容器の背圧の考慮について

重大事故等時、原子炉格納容器圧力及びサプレッションプール水温度は時間経過とともに変化するが、原子炉格納容器圧力は常にサプレッションプール水温度に対応する飽和水蒸気圧力を超えている。したがって、残留熱代替除去ポンプの有効吸込水頭の評価に当たっては、原子炉格納容器圧力よりサプレッションプール水温度に対応する飽和蒸気圧力を差し引いた圧力である、原子炉格納容器の背圧を見込むことができる。原子炉格納容器の背圧を考慮する場合には、有効吸込水頭（以下「有効NPSH」という。）の評価を保守的にするため、原子炉格納容器の背圧を小さく評価する必要がある。このため、原子炉格納容器圧力及びサプレッションプール水温度に影響する評価条件を設定した解析を行い、保守的な原子炉格納容器の背圧を考慮した場合の有効NPSHが、ポンプの必要吸込水頭（以下「必要NPSH」という。）を上回ることを確認する。

### 1. 評価事象の選定

#### (1) 評価事象

評価の対象とする事象は、残留熱代替除去ポンプに期待する格納容器破損防止対策の有効性評価における評価事故シーケンスの中から、原子炉格納容器の背圧が最も小さくなる評価事故シーケンスを設定する。表別3-1に有効NPSH評価事象の整理を示す。

残留熱代替除去ポンプの評価については、格納容器破損モード「高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱（DCH）」の評価事故シーケンスである「過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋原子炉減圧失敗＋炉心損傷後の原子炉減圧失敗＋原子炉注水失敗＋DCH発生」を対象とする。

#### (2) 評価事象の包絡性

格納容器破損防止の有効性評価のうち残留熱代替除去ポンプに期待する格納容器破損モードである高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱（DCH）について、雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）（残留熱代替除去系を使用する場合）に比べて、原子炉格納容器圧力は高く推移するが、サプレッションプール水温度も高く推移するため、原子炉格納容器圧力の背圧は小さくなる。

上記に関して、原子炉格納容器圧力及びサプレッションプール水温度の原子炉格納容器の背圧への影響を定量的に確認するため、雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）（残留熱代替除去系を使用する場合）及び高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱（DCH）の解析時刻歴に基づき、吸込液面に作用する絶対圧力及びポンプ吸込口における飽和水蒸気圧を設定し、算定した有効NPSHを比較した。算定した結果を表別3-2、表別3-3に示す。また、図別3-1に有効NPSHの推移を示す。有効NPSHは、高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱（DCH）の方がより小さく推移する。



以上のことより、残留熱代替除去ポンプの評価にあたっては、原子炉格納容器の背圧が小さく推移する高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱（DCH）を対象に評価することで、保守的な原子炉格納容器の背圧条件を設定することができる。

## 2. 解析条件

保守的に原子炉格納容器の背圧を小さくする観点より、設置変更許可申請書添付書類十で示した有効性評価解析の条件よりも、原子炉格納容器圧力を低めに評価する解析条件を設定する。表別 3-4 に解析条件を示す。

保守的に原子炉格納容器の背圧を小さくする観点より、事故後 12 時間後から実施される格納容器への窒素ガス注入を実施しない評価条件とする。

また、原子炉格納容器の背圧が小さくなるよう、原子炉格納容器圧力及び格納容器雰囲気温度の初期条件を低く設定した場合、有効性評価解析に比べてサブプレッションプール水温度は低く、原子炉格納容器圧力は高くなることを確認したため、原子炉格納容器圧力及び格納容器雰囲気温度については、有効性評価解析と同様に実機条件を評価条件とする。

## 3. 評価結果

表別 3-5 に有効 NPSH 算定結果を、表別 3-6 に有効 NPSH 評価結果を示す。また、図別 3-2 から図別 3-4 に、格納容器圧力の推移、サブプレッションプール水温度の推移、有効 NPSH の推移を示す。

ポンプの運転期間中において、原子炉格納容器の背圧が最も厳しくなる事故後約 84 時間での有効 NPSH を表別 3-6 に示す。表別 3-6 に示すとおり、保守的な原子炉格納容器の背圧を考慮した場合においても、残留熱代替除去ポンプによる格納容器除熱に期待する期間の有効 NPSH は、必要 NPSH を上回る。

表別 3-1 有効 NPSH 評価事象の整理

	格納容器破損モード	ポンプ*	ポンプに期待する原子炉格納容器の背圧条件	評価事象
格納容器破損防止対策有効性評価	雰囲気圧力・温度による静的負荷 (格納容器過圧・過温破損) (残留熱代替除去系を使用する場合)	RHAR	DCH に比べて原子炉格納容器圧力は低く推移するが、サブレシジョンプール水温度も低く推移するため、原子炉格納容器の背圧が大きくなる。 RHAR に期待していない。	
	雰囲気圧力・温度による静的負荷 (格納容器過圧・過温破損) (残留熱代替除去系を使用しない場合)	—		
	高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱 (DCH)	RHAR	他の格納容器破損モードに比べて原子炉格納容器圧力は急速に上昇するが、サブレシジョンプール水温度も高く推移するため、原子炉格納容器の背圧が小さくなる。また、有効性評価結果に基づき算出した RHAR の有効 NPSH について、雰囲気圧力・温度による静的負荷 (格納容器過圧・過温破損) (残留熱代替除去系を使用する場合) に比べて小さく推移するため、DCH を評価事象とする。	○
	原子炉圧力容器外の溶融燃料—冷却材相互作用 (FCI)	RHAR	DCH に同じ。	
	水素燃焼	RHAR	雰囲気圧力・温度による静的負荷 (格納容器過圧・過温破損) (残留熱代替除去系を使用する場合) に同じ。	
	溶融炉心・コンクリート相互作用 (MCCT)	RHAR	DCH に同じ。	

\* : 設置変更許可申請書添付書類十の有効性評価解析において期待しているポンプ (RHAR : 残留熱代替除去ポンプ)

表別 3-2 残留熱代替除去ポンプの有効 NPSH 算出結果  
 [ 高圧溶融物放出 / 格納容器雰囲気直接加熱 (DCH) ]

(単位 : m)

	重大事故等時
$H_a$ : 吸込液面に作用する絶対圧力	解析時刻歴に基づき算出
$H_s$ : 吸込揚程	<input type="text"/>
$H_1$ : ポンプ吸込配管圧損	<input type="text"/>
$H_2$ : 異物付着なしの状態におけるストレーナ圧損	<input type="text"/>
$H_3$ : 異物付着による圧損上昇	<input type="text"/> *
$h_s$ : ポンプ吸込口における飽和水蒸気圧水頭	解析時刻歴に基づき算出
有効 NPSH ( $H_a + H_s - H_1 - H_2 - h_s$ ) の最小値	<input type="text"/>

注記\* : 有効 NPSH の算定においては、小数点以下第 2 位を切り上げ処理し、保守的に  m としている。

表別 3-3 残留熱代替除去ポンプの有効 NPSH 算出結果  
 [ 雰囲気圧力・温度による静的負荷 (格納容器過圧・過温破損)  
 (残留熱代替除去系を使用する場合) ]

(単位 : m)

	重大事故等時
$H_a$ : 吸込液面に作用する絶対圧力	解析時刻歴に基づき算出
$H_s$ : 吸込揚程	<input type="text"/>
$H_1$ : ポンプ吸込配管圧損	<input type="text"/>
$H_2$ : 異物付着なしの状態におけるストレーナ圧損	<input type="text"/>
$H_3$ : 異物付着による圧損上昇	<input type="text"/> *
$h_s$ : ポンプ吸込口における飽和水蒸気圧水頭	解析時刻歴に基づき算出
有効 NPSH ( $H_a + H_s - H_1 - H_2 - h_s$ ) の最小値	<input type="text"/>

注記\* : 有効 NPSH の算定においては、小数点以下第 2 位を切り上げ処理し、保守的に  m としている。

表別 3-4 解析条件

項目	有効 NPSH 評価		有効性評価解析 (参考)
	解析条件	条件選定理由	
格納容器圧力	5 kPa [gage]	<ul style="list-style-type: none"> <li>実機条件を設定</li> <li>初期圧力及び初期温度を低く設定した場合、格納容器圧力が高くなり、原子炉格納容器の背圧が大きくなることを解析により確認</li> </ul>	5 kPa [gage]
格納容器雰囲気温度	57 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>実機条件を設定</li> <li>初期温度及び初期圧力を低く設定した場合、格納容器圧力が高くなり、原子炉格納容器の背圧が大きくなることを解析により確認</li> </ul>	57 °C
格納容器体積 (ドライウエル)	7,900 m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計値を設定</li> </ul>	7,900 m <sup>3</sup>
格納容器体積 (ウエットウエル)	空間部：4,700 m <sup>3</sup> 液相部：2,800 m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>サブレーションポンプレベル水位の運用下限値に基づき設定。設計値は、液相部の最小値である。</li> <li>液相部が小さい方が、ポンプ停止時のサブレーションポンプレベル水温度が高くなり、原子炉格納容器の背圧が小さくなる。</li> </ul>	空間部：4,700 m <sup>3</sup> 液相部：2,800 m <sup>3</sup>
サブレーションポンプレベル水位	3.61 m (EL 5.61 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>液相部体積はサブレーションポンプレベル水位の運用下限値に基づき設定していることから、サブレーションポンプレベル水位は、背圧に影響しない。</li> </ul>	3.61 m (EL 5.61 m)
サブレーションポンプレベル水温度	35 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>サブレーションポンプレベル水温度の運用上限値を設定</li> <li>初期の温度が高い方が、ポンプ停止時のサブレーションポンプレベル水温度が高くなり、原子炉格納容器の背圧が小さくなる。</li> </ul>	35 °C
可搬式窒素供給装置を用いた原子炉格納容器内への窒素注入	注入なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>実機運用とは異なるが、保守性を確保するために設定</li> <li>有効性評価上、事象発生 12 時間後から実施する格納容器への窒素ガス注入を実施しないことにより、原子炉格納容器の背圧が小さくなる。</li> </ul>	注入あり

表別 3-5 残留熱代替除去ポンプの有効 NPSH 算出結果  
 [ 高压熔融物放出 / 格納容器雰囲気直接加熱 (DCH) (窒素注入なし) ]

(単位 : m)

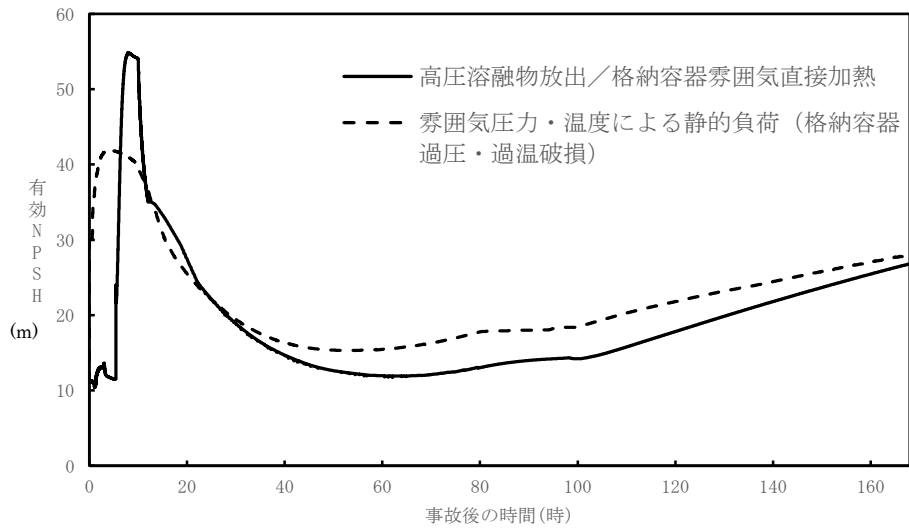
	重大事故等時
H <sub>a</sub> : 吸込液面に作用する絶対圧力	<input type="text"/>
H <sub>s</sub> : 吸込揚程	<input type="text"/>
H <sub>1</sub> : ポンプ吸込配管圧損	<input type="text"/>
H <sub>2</sub> : 異物付着なしの状態におけるストレーナ圧損	<input type="text"/>
H <sub>3</sub> : 異物付着による圧損上昇	<input type="text"/> *
h <sub>s</sub> : ポンプ吸込口における飽和水蒸気圧水頭	<input type="text"/>
有効 NPSH (H <sub>a</sub> +H <sub>s</sub> -H <sub>1</sub> -H <sub>2</sub> -h <sub>s</sub> )	<input type="text"/>

注記\* : 有効 NPSH の算定においては、小数点以下第 2 位を切り上げ処理し、保守的に  m としている。

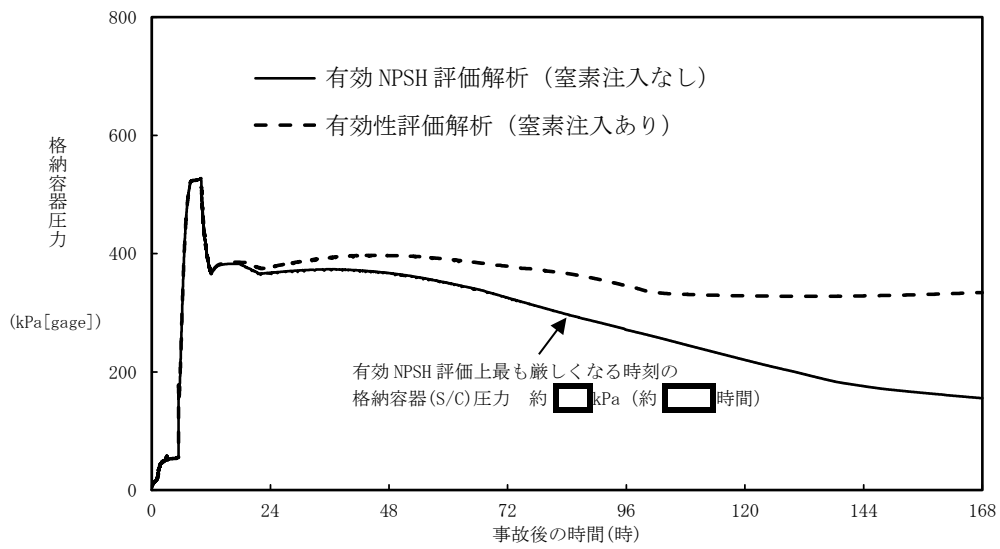
表別 3-6 残留熱代替除去ポンプの有効 NPSH 評価結果  
 [ 高压熔融物放出 / 格納容器雰囲気直接加熱 (DCH) (窒素注入なし) ]

(単位 : m)

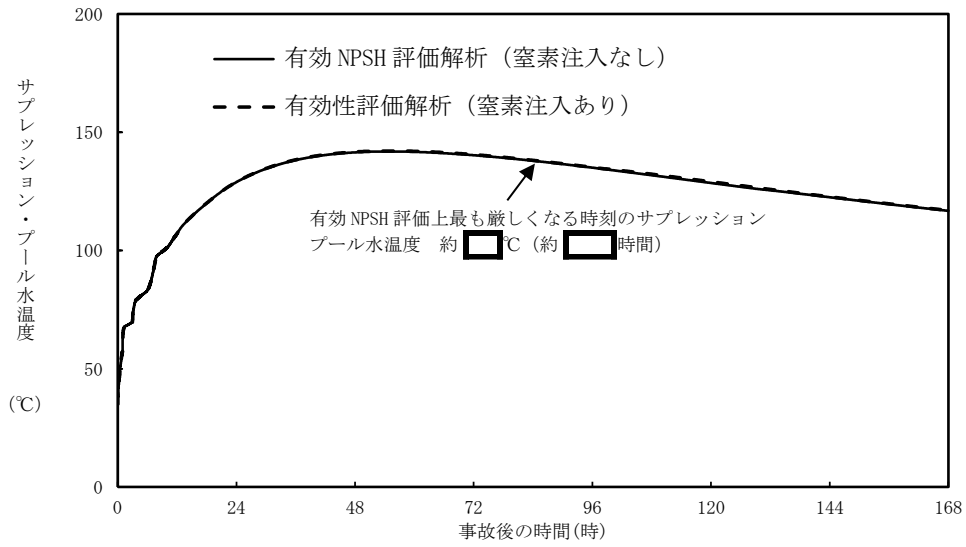
	必要 NPSH	有効 NPSH
		重大事故等時
残留熱代替除去ポンプ	<input type="text"/>	<input type="text"/>



図別 3-1 残留熱代替除去ポンプ有効NPSHの推移  
[有効性評価解析]

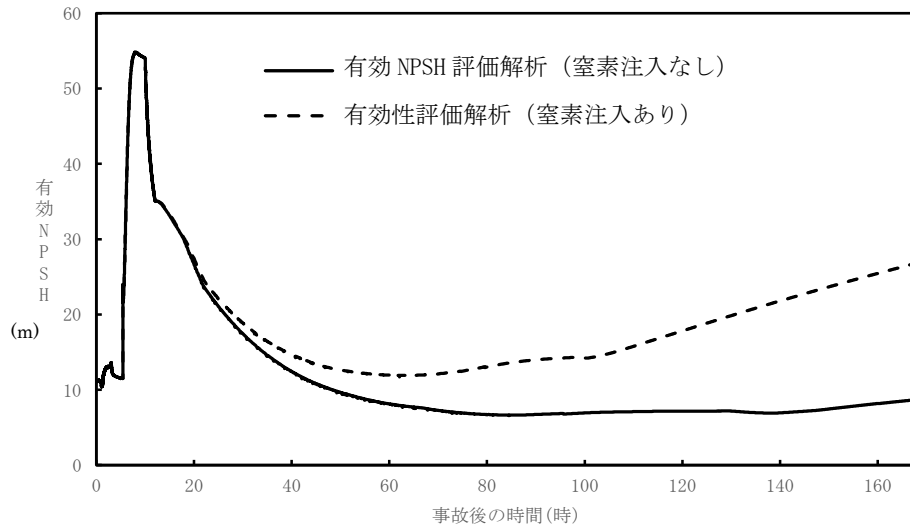


図別 3-2 格納容器圧力の推移  
[高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱（DCH）（窒素注入なし）]



図別 3-3 サプレッションプール水温度の推移

[ 高压熔融物放出 / 格納容器雰囲気直接加熱 (DCH) (窒素注入なし) ]



図別 3-4 残留熱代替除去ポンプ有効 NPSH の推移

[ 高压熔融物放出 / 格納容器雰囲気直接加熱 (DCH) (窒素注入なし) ]