

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 補足-011-7 改0
提出年月日	2023年12月22日

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

2023年12月

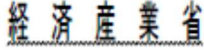
東京電力ホールディングス株式会社

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 下部ドライウェル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
別紙 3 非常用炉心冷却系ストレーナの下流側炉内影響について	別紙 3-1

1. 内規との比較表（柏崎刈羽原子力発電所第6号機）

内規	評価内容	既工認	先行（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）
<p style="text-align: center;">  平成20・02・12原院第5号 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。 平成20年2月27日 原子力安全・保安院長 藤田 康久 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） 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。 記 1. ストレーナの性能評価 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。 ① （1）保温材の破損量評価 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。 ② 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 </p>	<p> [Redacted] : ストレーナ圧損評価に関係しない項目 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 [Redacted] 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柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】</i> 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）の物量として、 [Redacted] m²としている。 <i>【ZOI内保温材の算出方法は柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】</i> 注*：上記ZOI内にケイ酸カルシウム保温材は存在しないが、保守的な評価となるようにZOI内の保温材破損量としてケイ酸カルシウム保温材 [Redacted] m³を考慮する。 </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。 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、一次系配管である主蒸気系配管の完全両端破断を想定している。 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）を算出している。 </p>

内規	評価内容	既工認	先行（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）
<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画）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を考慮した上で、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。</p> <p>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)で評価された金属反射型保温材の破損量 \square m² に対し、移行割合50%（カプセル保温（金属反射型））を乗じた \square m²、ケイ酸カルシウム保温材の破損量 \square m³ に対し、移行割合10%（一般保温（ケイ酸カルシウム））を乗じた \square m³ がサブプレッションプールに移行すると評価している。</p> <p>【保温材のECCS水源への移行量の考え方は柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】</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。</p> <p>【保温材以外の異物量の考え方は柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】</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。異物量の詳細を⑩に示す。</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>

内規	評価内容	既工認	先行（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）
<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域（冷却材の一部が滞留するおそれのある格納容器内の区画）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/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 圧損試験の際に用いる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。</p> <p>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 style="text-align: center;">2</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、代替循環冷却系（復水移送ポンプ2台運転（<input type="text"/> m³/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（<input type="text"/> m³/h）を想定している。</p> <p>【接近流速設定の考え方は柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】</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。）した圧損試験結果を基に、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、金属反射型保温材による圧損はNUREG/CR-6808式により求められている。化学影響生成異物の付着による圧損は圧損試験により求められている。</p> <p>【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>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2台、HPCFポンプ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こととして評価している。このため、ストレーナ1組当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>⑤内規に従い、代替循環冷却系（復水移送ポンプ2台運転）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より厳しくなるよう、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/CR-6808式により求めている。</p>

内規	評価内容	既工認	先行（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）
<p>③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧</p> <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>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画（冷却材の一部が滞留するおそれのある格納容器内の区画）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>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>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>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。 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。 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 \square °C 以上から、保守的に \square °C としている。 冷却材の接近流速は、代替循環冷却系で使用する復水移送ポンプ2台運転時の通水流量（\square m³/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 \square m³/h を設定している。 【温度設定の考え方は柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】</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 \square m² 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面積 \square m² の75%を差し引き、\square m² としている。 【有効表面積の考え方は柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】</p> <p>⑧柏崎刈羽原子力発電所第6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しており、薄膜効果が生じることはない。 【柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様、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 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 \square m³/h 及び高圧炉心注水系ストレーナに通水される流量 \square m³/h を設定している。</p> <p>⑦既工事計画書において、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、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、薄膜効果が生じることはないが、保守的に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、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、代替循環冷却系で使用する復水移送ポンプに対して、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、既工事計画書にて算出した値から、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>

内規	評価内容	既工認	先行（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）
<p>⑨</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <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ECGS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、ECGS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> <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、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</p> <p>3. その他の評価 (耐震・強度評価等の評価で考慮する。) ストレーナの網目の粗さは、ECGSポンプ下流のスプレインズル、ECGS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代替循環冷却系の復水移送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。 【柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様、原子炉格納容器の背圧を考慮】</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代替循環冷却系の復水移送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（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）																																													
<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="596 426 1062 682"> <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="433 789 1181 1045"> <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 1182 1115 1434"> <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晒されるもの全量</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晒されるもの全量		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、算出方法は柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】</p> <p>【別表第1】</p> <ul style="list-style-type: none"> カプセル保温 (金属反射型) : 7.4D <input type="text"/> m² カプセル保温 (繊維質) : 7.4D <input type="text"/> m³ 一般保温 (ケイ酸カルシウム) : 7.4D <input type="text"/> m^{3*} 一般保温 (繊維質) : 11.4D <input type="text"/> m³ (グレーチング上) : <input type="text"/> m³ (グレーチング下) : <input type="text"/> m³ <p>注*: 上記ZOI内にケイ酸カルシウム保温材は存在しないが、保守的な評価となるようにZOI内の保温材破損量としてケイ酸カルシウム保温材 <input type="text"/> m³ を考慮する。</p> <p>【別表第2】</p> <ul style="list-style-type: none"> カプセル保温 (金属反射型) : 50% <input type="text"/> m² カプセル保温 (繊維質) : 15% <input type="text"/> m³ 一般保温 (ケイ酸カルシウム) : 10% <input type="text"/> m³ 一般保温 (繊維質) (グレーチング上) : 28% <input type="text"/> m³ (グレーチング下) : 78% <input type="text"/> m³ <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考慮のうえ、以下のように評価している。</p> <ul style="list-style-type: none"> 耐DBA仕様塗装 (ジェット破損) : 39 kg 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。 堆積異物: スラッジ 89 kg, 錆片 23 kg, 塵土 68 kg その他異物: 現場調査を踏まえ余裕を持たせた値として <input type="text"/> m² を考慮している。 	<p>⑩</p> <ul style="list-style-type: none"> カプセル保温 (金属反射型) : 7.4D <input type="text"/> m² カプセル保温 (繊維質) : 7.4D <input type="text"/> m³ 一般保温 (ケイ酸カルシウム) : 7.4D <input type="text"/> m³ 一般保温 (繊維質) : 11.4D <input type="text"/> m³ (グレーチング上) : <input type="text"/> m³ (グレーチング下) : <input type="text"/> m³ <ul style="list-style-type: none"> カプセル保温 (金属反射型) : 50% <input type="text"/> m² カプセル保温 (繊維質) : 15% <input type="text"/> m³ 一般保温 (ケイ酸カルシウム) : 10% <input type="text"/> m³ 一般保温 (繊維質) (グレーチング上) : 28% <input type="text"/> m³ (グレーチング下) : 78% <input type="text"/> m³ <ul style="list-style-type: none"> 耐DBA仕様塗装 (ジェット破損) : 39 kg 堆積異物: スラッジ 89 kg, 錆片 23 kg, 塵土 68 kg 	<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"> 耐DBA仕様塗装 (ジェット破損) : 39 kg 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 堆積異物: スラッジ 89 kg, 錆片 23 kg, 塵土 68 kg 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。
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晒されるもの全量																																															
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																																															

内規	評価内容	既工認	先行（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）																																													
<p>⑩ 別表第1 保温材の破損影響範囲半径</p> <table border="1" data-bbox="587 426 1050 682"> <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="421 791 1166 1047"> <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="448 1182 1101 1434"> <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晒されるもの全量</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晒されるもの全量		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>●SA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"> 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、<input type="text"/> kgとしている。 化学影響生成異物：<input type="text"/> kg 全量考慮 		<ul style="list-style-type: none"> 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。 化学影響生成異物：WCAPに基づき算出した物量の全量考慮
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晒されるもの全量																																															
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			LOCA荷重			地震荷重		供用状態
				通常運転時	中小破断時	フルスウェル	蒸気凝縮(CO)	チャージング(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LOCA荷重はBMR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 (JEAG4601・補-1984)」の場合に記載。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Sa及び弾性設計用地震動Sdi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BMR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「発電用原子炉設備規格 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005)」のGMR-2110、GMR-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「発電用原子炉設備規格 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 (JEAG4601・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Sa及び弾性設計用地震動Sdi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（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）
<p style="text-align: right;">別記1</p> <p>①</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px;"> <p>《NUREG/CR-6224評価式》（繊維質・粒子状異物に対する式）⁽¹⁾</p> $\frac{dH}{dL_0} = C \left[3.5S_v^2(1-\epsilon_m)^{1.5} \left[1 + 57(1-\epsilon_m)^3 \right] \mu U + 0.66S_v \frac{(1-\epsilon_m)}{\epsilon_m} \rho_w U^2 \right] \left(\frac{dL_m}{dL_0} \right)$ <p> dH: 圧力損失 (m) C: 変換定数 (m/Pa) dL_0: ベッド厚さ (理論値) (m) dL_m: 付着後のベッド厚さ (m) S_v: 異物の比面積 (m²/m³) ϵ_m: 混合異物の空隙率 μ: 水の粘性係数 (kg/(m・s)) ρ_w: 水の密度 (kg/m³) U: 吸込流速 (接近流速) (m/s) </p> </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; margin-top: 5px;"> <p>《NEDO-32721評価式》（繊維質・粒子状異物に対する式）⁽²⁾</p> $h = \frac{\mu U t}{\rho g d^2} \cdot K_h$ <p> h: 圧力損失 (m) U: ストレーナ側面に対する接近流速 (m/s) PCF製ストレーナでは使用しない。 t: ストレーナ側面に対する異物厚さ (m) μ: 水の粘性 (kg/(m・s)) ρ: 水の密度 (kg/m³) g: 重力加速度 (m/s²) d: Interfiber Distance (異物間の隙間を表す値) (m) K_h: 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> </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; margin-top: 5px;"> <p>《NUREG/CR-6808評価式》（金属保温異物に対する式）⁽³⁾</p> $\Delta H = \frac{1.56 \times 10^{-5}}{K_t^2} U^2 (A_{foil} / A_{str})$ <p> ΔH: 圧力損失 (m) K_t: 金属箔のギャップ厚さ (m) U: 接近流速 (m/s) A_{foil}: 金属箔の表面積 (両面の合計値) (m²) A_{str}: ストレーナ表面積 (m²) </p> </div> <p>参考文献</p> <p>(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.</p> <p>(2) NEDO-32721 "Licensing Topical Report Application Methodology for the General Electric Stacked Disk ECCS Suction Strainer," Revision 2, December 2001.</p> <p>(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>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付着による圧損上昇の評価は、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。 【柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様、内規に基づく評価式と圧損試験で求めた値で評価】</p> <p>・繊維質異物及び粒子状異物の付着による圧損</p> $\frac{\Delta H}{\Delta L_0} = 1.019 \times 10^{-4} \left[3.5S_v^2(1-\epsilon_m)^{1.5} \left\{ 1 + 57(1-\epsilon_m)^3 \right\} \mu U + 0.66S_v \frac{(1-\epsilon_m)}{\epsilon_m} \rho_w U^2 \right] \left(\frac{\Delta L_m}{\Delta L_0} \right)$ <p> $\Delta H =$ <input type="text"/> (m) ここで、 $\Delta L_0 = 0.0003$ (m) $S_v =$ <input type="text"/> (m⁻¹) $\epsilon_m =$ <input type="text"/> (-) $\mu =$ <input type="text"/> (kg/(m・s)) (評価水温 <input type="text"/> °C) $U =$ <input type="text"/> (m/s) $\rho =$ <input type="text"/> (kg/m³) (評価水温 <input type="text"/> °C) $\Delta L_m = 0.0003$ (m) </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。</p> <p>・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。</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、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*1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> $d = \sqrt{\frac{\mu \cdot U \cdot t \cdot K_h}{\rho \cdot g \cdot h}}$ <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> <p>注記*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する方法により求めた圧損値は、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値よりも小さくなる。</p>

内規	評価内容	既工認	先行（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）
<p style="text-align: right;">別記1</p> <p>⑪</p> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px;"> <p>《NUREG/CR-6224評価式》（繊維質・粒子状異物に対する式）⁽¹⁾</p> $\frac{dH}{dL_0} = C \left[3.5S_v(1-\epsilon_m)^{1.5} \left[1 + 57(1-\epsilon_m)^3 \right] \mu U + 0.66S_v \frac{(1-\epsilon_m)}{\epsilon_m} \rho_w U^2 \right] \left(\frac{dL_m}{dL_0} \right)$ <p> dH: 圧力損失 (m) C: 変換定数 (m/Pa) dL_0: ベッド厚さ (理論値) (m) dL_m: 付着後のベッド厚さ (m) S_v: 異物の比面積 (m²/m³) ϵ_m: 混合異物の空隙率 μ: 水の粘性係数 (kg/(m·s)) ρ_w: 水の密度 (kg/m³) U: 吸込流速 (接近流速) (m/s) </p> <hr/> <p>《NEDO-32721評価式》（繊維質・粒子状異物に対する式）⁽²⁾</p> $h = \frac{\mu U t}{\rho g d^2} \cdot K_h$ <p> h: 圧力損失 (m) U: ストレーナ側面に対する接近流速 POI製ストレーナでは使用しない。 t: ストレーナ側面に対する異物厚さ (m) μ: 水の粘性 (kg/(m·s)) ρ: 水の密度 (kg/m³) g: 重力加速度 (m/s²) d: Interfiber Distance (異物間の隙間を表す値) (m) K_h: 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> <hr/> <p>《NUREG/CR-6808評価式》（金属保温異物に対する式）⁽³⁾</p> $\Delta H = \frac{1.56 \times 10^{-5}}{K_t^2} U^2 (A_{foil} / A_{str})$ <p> ΔH: 圧力損失 (m) K_t: 金属箔のギャップ厚さ (m) U: 接近流速 (m/s) A_{foil}: 金属箔の表面積 (両面の合計値) (m²) A_{str}: ストレーナ表面積 (m²) </p> </div> <p>参考文献</p> <p>(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.</p> <p>(2) NEDO-32721 "Licensing Topical Report Application Methodology for the General Electric Stacked Disk ECCS Suction Strainer," Revision 2, December 2001.</p> <p>(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 style="text-align: center;">6</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> $h_{RMI} = (1.56 \times 10^{-5} / K_t^2) \cdot U_{RMI}^2 \cdot (A_{foil} / A_c) \cdot 0.30$ $= \text{[]} \text{ m}$ <p>ここで、</p> <p>K_t = [] (m) (既工認と同値)</p> <p>U_{RMI} = [] (m/s)</p> <p>A_{foil} = [] (m²)</p> <p>A_c = [] (m²)</p> <p>・化学影響生成異物の付着による圧損</p> $h_3 = h_2 - h_1 = \text{[]} - \text{[]}$ $= \text{[]} \text{ (m)}$ <p>ここで、</p> <p>h_1: A100H 投入直前の圧損 = [] (m)</p> <p>h_2: A100H 投入後の静定圧損 = [] (m)</p> <p>h_3: 化学影響生成異物 (A100H) の付着による圧損上昇 (m)</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>金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808 式を適用する。</p>

内規	評価内容	既工認	先行（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）
<p style="text-align: center;">別記2</p> <p style="text-align: center;">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、実機での運転状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: 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） ⑦ ケイ酸カルシウム ⑧ 非 DBA 仕様塗装（耐性未確認） ⑨ 耐 DBA 仕様塗装（SA 時剥落）*2 ⑩ 化学影響生成異物（A100H）*3</p> <p>注記*2：原子炉格納容器内が高温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> <p>【投入異物の順序は柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様、繊維質の後に粒子状異物を投入する。】</p>	<p>⑫ 圧損試験における異物の投入は、以下の物質を事前に混合して投入している。</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 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） ⑦ ケイ酸カルシウム ⑧ 非 DBA 仕様塗装（耐性未確認） ⑨ 耐 DBA 仕様塗装（SA 時剥落）*2 ⑩ 化学影響生成異物（A100H）*3</p> <p>注記*2：原子炉格納容器内が高温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（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）
<p style="text-align: center;">別記2</p> <p style="text-align: center;">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>⑬ 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>⑭ 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>⑮ 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>⑯ 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>⑰ 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>⑱ 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: 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>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、サブプレッ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>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、試験中は攪拌ノズル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>試験水量比（ストレーナ単位面積当たり） ： $\square \text{ m}^3/\text{m}^2$</p> <p>実機水量比（ストレーナ単位面積当たり） ： $\square \text{ m}^3/\text{m}^2$</p> <p>【試験の終了判断は柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】</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>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、サブプレッ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。</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>

内規	評価内容	既工認	先行（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）
<p style="text-align: center;">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 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、実機での運転状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。 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>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：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。 【繊維質のサイズは柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】</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柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】</p> <p>ケイ酸カルシウム：NEI 04-07 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。 【ケイ酸カルシウムのサイズは柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】</p>	<p>⑭ 同左 ただし、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>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： シュレッダ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。</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。</p> <p>ケイ酸カルシウム： NEI 04-07 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（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）
<p style="text-align: center;">別記2</p> <p style="text-align: center;">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、実機での運転状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: 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>【破損保温材以外の異物】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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：[] のメッシュにてふるいにかけて酸化鉄を圧損試験に投入している。 塵土：[] 程度の粒径のケイ砂粉末を圧損試験に投入している。 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。 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。 【粒子状異物のサイズは柏崎刈羽原子力発電所7号機同様】 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。) 【その他異物は柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様、試験に投入しない】 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。 【化学影響生成異物の取扱は柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】 	<p>既工認</p>	<p>【破損保温材以外の異物】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 耐 DBA 仕様塗装： ペイントチップ 非 DBA 仕様塗装： シリコンカーバイド粉末 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。) 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。

内規	評価内容	既工認	先行（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）
<p style="text-align: center;">別記2</p> <p style="text-align: center;">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: 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、代替循環冷却系の復水移送ポンプ2台運転時の通水流量 <input type="text"/> m³/h に保守性を持たせた <input type="text"/> m³/h での運転を想定し、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柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】</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、代替循環冷却系の復水移送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 後数十秒後には約 <input type="text"/> °C以上となることから、保守的に <input type="text"/> °Cで試験を行っている。</p> <p style="text-align: center;">【温度設定の考え方は柏崎刈羽原子力発電所第7号機同様】</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、代替循環冷却系の復水移送ポンプの通水流量に保守性を持たせた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、代替循環冷却系の復水移送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 ³	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)		<input type="text"/> m ²	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 (ケイ酸カルシウム)		<input type="text"/> m ³	破損影響範囲内にケイ酸カルシウムは存在しないが、保守的な評価となるように考慮する。	
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	<input type="text"/> 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うち、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。 D/W LCW サンプ冷却器 約 <input type="text"/> kg D/W HCW/LCW サンプポンプ 約 <input type="text"/> kg チェーンブロック 約 <input type="text"/> kg D/W クーラ 約 <input type="text"/> kg 配管 約 <input type="text"/> kg 弁類 約 <input type="text"/> kg その他構造物 約 <input type="text"/> kg 合計 <input type="text"/> kg を保守的に丸め、 <input type="text"/> kg として圧損評価に用いる。	
	堆積異物	スラッジ	89 kg	堆積異物は通常運転時からサブ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	<input type="text"/> m ²	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る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 環境剥落)	□ 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。 上部ドライウエル内：□ kg 下部ドライウエル内：□ 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*1 では、原子炉格納容器内に存在する Al, Zn, Si 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, Si の溶解量を算出し、溶解した Al, Zn, Si 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。

柏崎刈羽原子力発電所第 6 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 mdm^2 （40～200°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*3 に従い、これらの析出異物（Al, Zn, Si, 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 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, pH) を考慮して算出する。	保温材外装板	<input type="text"/> 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 (Zn メッキ)	<input type="text"/> kg
Si		コンクリート (ダイヤフラムフロア上面)	<input type="text"/> 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 (RCCV 内面, ドライウエルローカルクーラ等)	<input type="text"/> kg
合 計			<input type="text"/> kg → <input type="text"/> 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下部ドライウエルに落下することとなる。しかし, 下部ドライウエルは溶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ベント管のリターンラインを経て流入する構造であること, 下部ドライウエル内の構造物は比重が大きいこと (表 2-4 参照) から, サ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リターンラインからベント管に流入した場合でも, 比重の小さい異物はベント管内でサプレッションプール水位付近に浮遊し, 吐出管からサプレッションプールへ流入することはないと考えられる。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 下部ドライウエル内に存在する構造物の一覧

構造物	材質	比重	塗装	評価
CRD プラットホーム	SUS 炭素鋼	7.93 7.85	<input type="text"/> kg	<p>下部ドライウエル内に存在する構造物は、比重が大きく、下部ドライウエル内に沈降すると考えられるため、構造物自体がサブ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し、サブ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。(表 2-2 に示す下部ドライウエル内の耐 DBA 仕様塗装 <input type="text"/> kg 及び表 2-1 に示す非 DBA 仕様塗装 <input type="text"/> kg に含まれている。)</p>
原子炉冷却材再循環ポンプ	SUS 炭素鋼	7.93 7.85	<input type="text"/> kg	
原子炉冷却材再循環ポンプモータ冷却熱交換器	炭素鋼	7.85	<input type="text"/> kg	
ペDESTAL排水ポンプ	SUS 炭素鋼	7.93 7.85	<input type="text"/> kg	
ケーブルトレイ	炭素鋼	7.85	—	
D/W HCW サンプ D/W LCW サンプ	SUS 炭素鋼	7.93 7.85	<input type="text"/> kg	
D/W LCW サンプ冷却器	SUS 炭素鋼	7.93 7.85	<input type="text"/> kg	
コリウムシールド 支持構造物	SUS	7.93	—	
配管類	SUS 炭素鋼	7.93 7.85	<input type="text"/> kg	
計装品	SUS	7.93	—	
サポート類	SUS 炭素鋼	7.93 7.85	<input type="text"/> kg	
ケーブル類	銅 被覆材	8.89 0.9~1.5	ケーブルとしての比重は 1 以上であり、下部ドライウエル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、サブ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*：下部ドライウエル内の異物のサブ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。

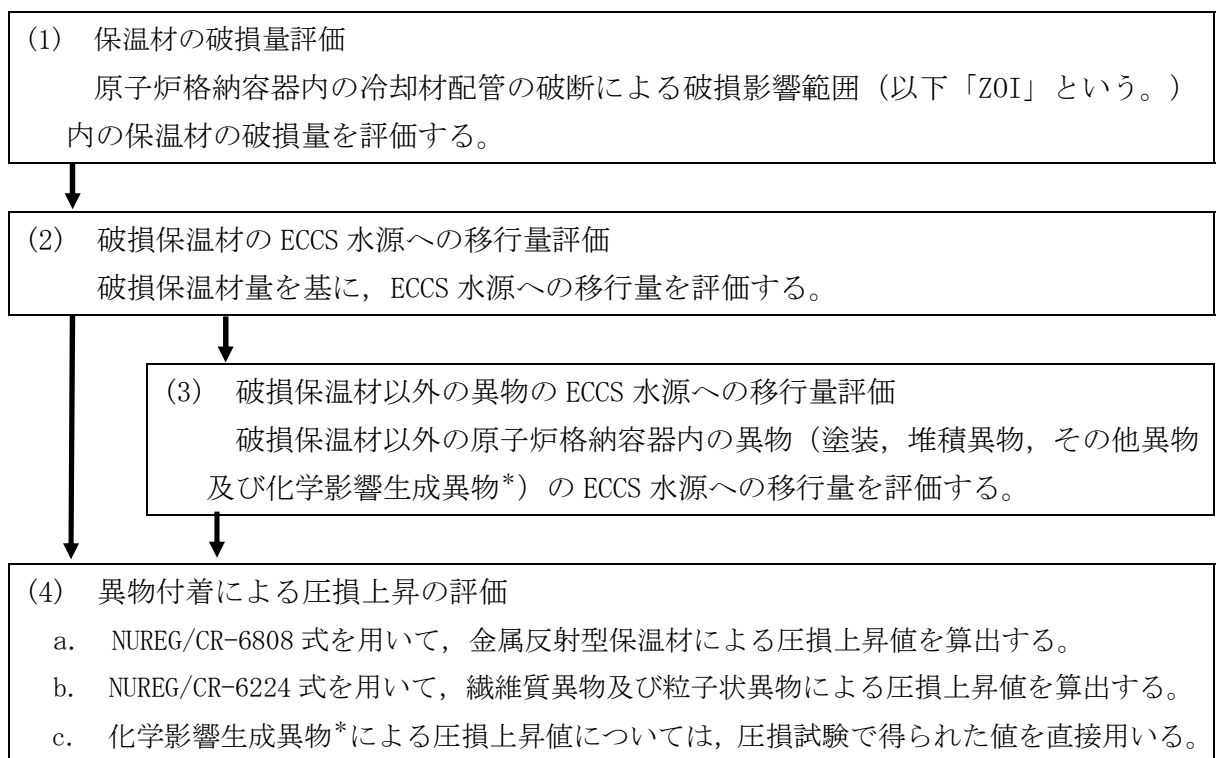
表2-5 重大事故等時の発生異物量評価

異物の種類		DB	SA	補足
保温材	一般保温（繊維質）	0 m ³		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、薄膜効果が生じることはない。
	カプセル保温（金属反射型）	□ m ²		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（ケイ酸カルシウム）	□ m ³		破損影響範囲内にケイ酸カルシウムは存在しないが、保守的な評価となるように考慮する。
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。
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、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	23 kg		
	塵土	68 kg		
化学影響生成異物		—	□ kg	WCAP 等により、Al, Zn, Si, 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）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 ²		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。
下部ドライウエル内構造物		—	0 m ³	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、下部ドライウエル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（以下「D/W」という。）から ECCS 水源であるサブプレッションプール（以下「S/P」という。）へ流入、代替循環冷却系の復水移送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-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 ディスク型ストレーナ（アメリカ PCI 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。
- ・コアチューブと呼ばれる内筒の採用により，コアチューブへの流入速度が一定に保たれ，低圧損とすることができる。

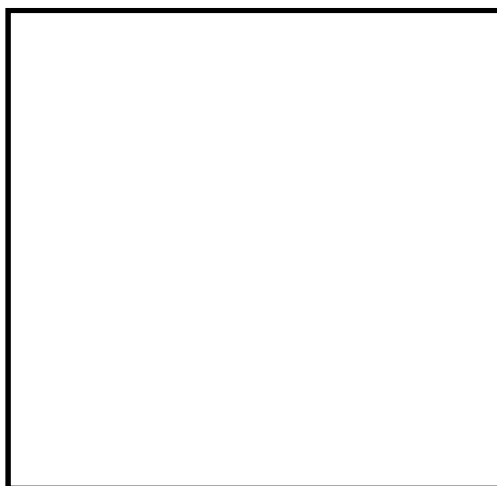


図 3-2 PCI 社製ストレーナ

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

PCI 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，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）

試験立合者 当社社員による Web カメラによる確認

試験実施時期 2022 年

(3) 試験装置の概要

重大事故等時の圧損試験装置の概要を図 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）。

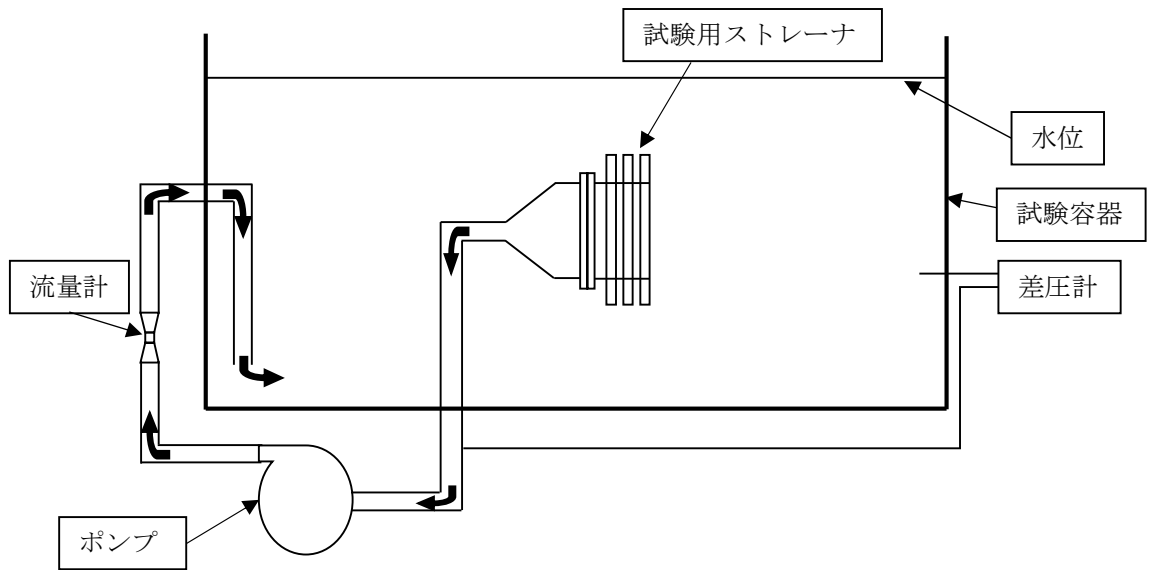


図 3-3 圧損試験装置の概要

表 3-1 圧損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	
ストレーナ直径	
プレート穴径	
プレート穴ピッチ	
ディスク間ギャップ	



図 3-4 試験用ストレナ

(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、代替循環冷却系の復水移送ポンプである。表3-2に示すとおり、その運転時の通水流量は、 m³/hであるが、保守的な試験となるように、ストレナの異物付着による圧損上昇評価に用いる ECCS ストレナを通過する流量としては m³/hを用いる。

表3-2 ECCS ストレナを通過する流量

系統設備	流量
代替循環冷却系 復水移送ポンプ	<input type="text"/> (m ³ /h) *

注記*：ポンプ流量 m³/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、柏崎刈羽原子力発電所第6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（ストレナに付着する異物量）

DBA 時（或いは SA 時）発生異物								SA 時発生異物	
繊維質 保温材	ケイ酸 カルシウム 保温材	金属 反射型 保温材	スラッジ	耐 DBA 塗料片 (ジェット 破損)	錆片	塵土	非 DBA 塗料片 (耐性未 確認)	耐 DBA 塗料片 (SA 時 剥落)	化学影響 生成異物 (ALOOH)
(kg)	(kg)	(m ²)	(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*1：柏崎刈羽原子力発電所第6号機では、原子炉格納容器内の繊維質保温を全て撤去しているが、保守的な試験とするため、繊維質厚さ0.3mm相当で試験を実施した。

注*2：ZOI内にケイ酸カルシウム保温材は存在しないが、保守的な評価となるようにZOI内の保温材破損量としてケイ酸カルシウム保温材を考慮する。

(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	ケイ酸 カルシウム 保温材	金属 反射型 保温材	スラッジ	耐 DBA 塗料片 (ジェット 破損)	錆片	塵土	非 DBA 塗料片 (耐性未 確認)	耐 DBA 塗料片 (SA 時考 慮)	化学影 響生成 異物 (ALOOH)
(kg)	(kg)	(m ²)	(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。この結果より化学影響生成異物の付着による圧損上昇は、

□ 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
NUREG/CR-6224	繊維質保温材, ケイ酸カルシウム保温材, スラッジ, 塗料片, 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

	代替循環冷却系 復水移送ポンプ	
金属反射型保温材による圧損上昇		(m) *
繊維質及び粒子状の異物による圧損上昇		(m) *
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

PCI 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、代替循環冷却系の復水移送ポンプであり、その運転時の通水流量は m³/h である。ただし、保守的な試験となるように、 m³/h に相当する流量条件で試験を行う。

復水移送ポンプの流量に保守性を持たせた場合（ m³/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（復水移送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 ³ /h)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

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
代替循環冷却系 復水移送ポンプ	<input type="text"/> *

注記*：試験用ストレーナ表面積(m²) ÷ 実機ストレーナ基準表面積(m²)
 = →

(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、D/W から S/P への移行割合及び S/C 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 ²)		
ケイ酸カルシウム保温材 (g)		
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。

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	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		NEI 04-07	
錆片		NUREG/CR-6224 NUREG/CR-6367	
耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)		NEDO-32686-A	
ケイ酸カルシウム		NEI 04-07	
非 DBA 仕様塗装 (耐性未確認)		Supplement Response to Generic Letter 2004-02	
耐 DBA 仕様塗装 (SA 時剥落)		NEDO-32686-A	
化学影響生成異物 (A100H)		WCAP-16530 に基づき作成した A100H	WCAP-16530-NP JNES-SS-1004

(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、概要を図1に、仕様を表5に示す。

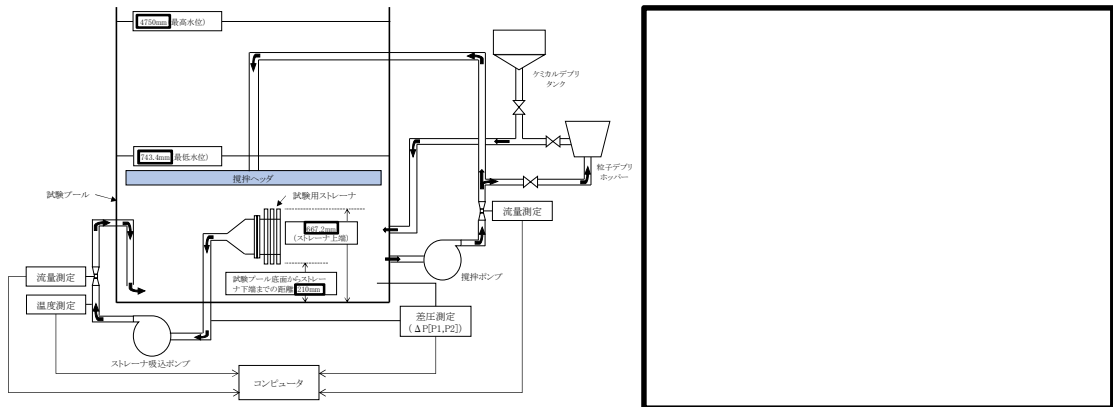


図1 モジュール試験装置の概要（左：系統概要 右：ストレーナ写真）

表5 モジュール試験装置の仕様

プール寸法	直径		
	深さ		
プール容量			
ストレーナ吸込ポンプ能力			
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			
ディスク間ギャップ			
評価用表面積			
試験プールからストレーナ下端までの距離			
プール内攪拌ノズル		箇所設置	

② 試験用ストレーナの構造

試験用ストレーナは、実機ストレーナの構造を模擬し、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		
ディスク間ギャップ		
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、実機で想定され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（ストレーナ単位表面積あたり）： m³/m²
 実機水量比（ストレーナ単位表面積あたり）： m³/m²

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

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

$$= \text{} - \text{} \times 0.75 = \text{} \text{ m}^2$$

表7 ストレーナの基準表面積

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 ²	<input type="text"/> m ²	<input type="text"/> m ²

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。

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

ここで、

Q : 流量 (m³/s), A : ストレーナ基準表面積 (m²)

・ 試験用ストレーナ接近流速

$$\boxed{} \text{ m/s} = (\boxed{} \text{ m}^3/\text{h} / 3600) / \boxed{} \text{ m}^2$$

・ 実機ストレーナ接近流速

$$\boxed{} \text{ m/s} = (\boxed{} \text{ m}^3/\text{h} / 3600) / \boxed{} \text{ m}^2$$

④ 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 ³ /h)	コリオリ式 []	[]
攪拌流量 (m ³ /h)	オリフィスマータ ([]) 差圧変換器([])	
圧損 (m H ₂ O)	差圧変換器 ([])	
水温 (°C)	測温抵抗体 ([])	
測定間隔	[]	

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、ケイ酸カルシウムを水に□時間浸す。
- ② プール内に通常水位まで水を張り、ヒータを用いて水温を所定の温度（□℃）まで上げる。
- ③ ポンプを起動し、□m³/h*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。

$$\begin{aligned} \text{注記*} : & \square \text{ m}^3/\text{h} \times \square \\ & = \square \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned} \quad (\text{スケーリング比})$$

- ④ 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）
- ・ ケイ酸カルシウム
- ・ 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□秒間の平均圧損、流量及び水温を電子的に記録し、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）」後、□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、⑤ (a)～(b)と同じ。(A100H 溶液は、WCAP-16530 に基づいて作成)
 - ⑦ 攪拌ポンプを停止後、循環ポンプを停止し試験を終了する。

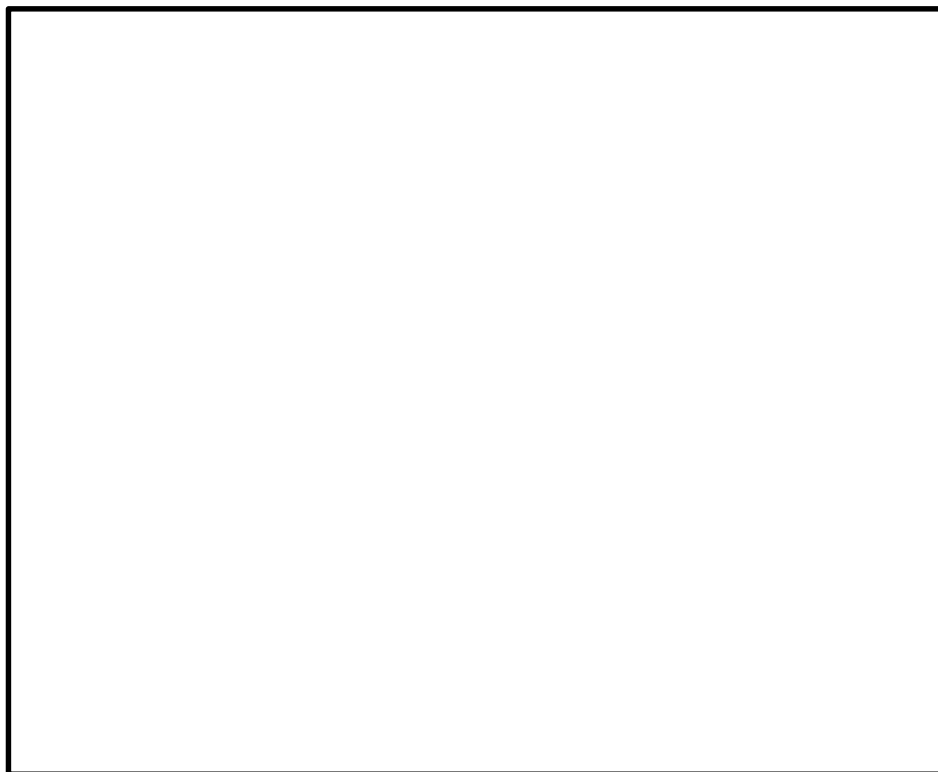


図2 異物投入位置及び攪拌ノズル位置 (試験プール平面図)

(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。

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

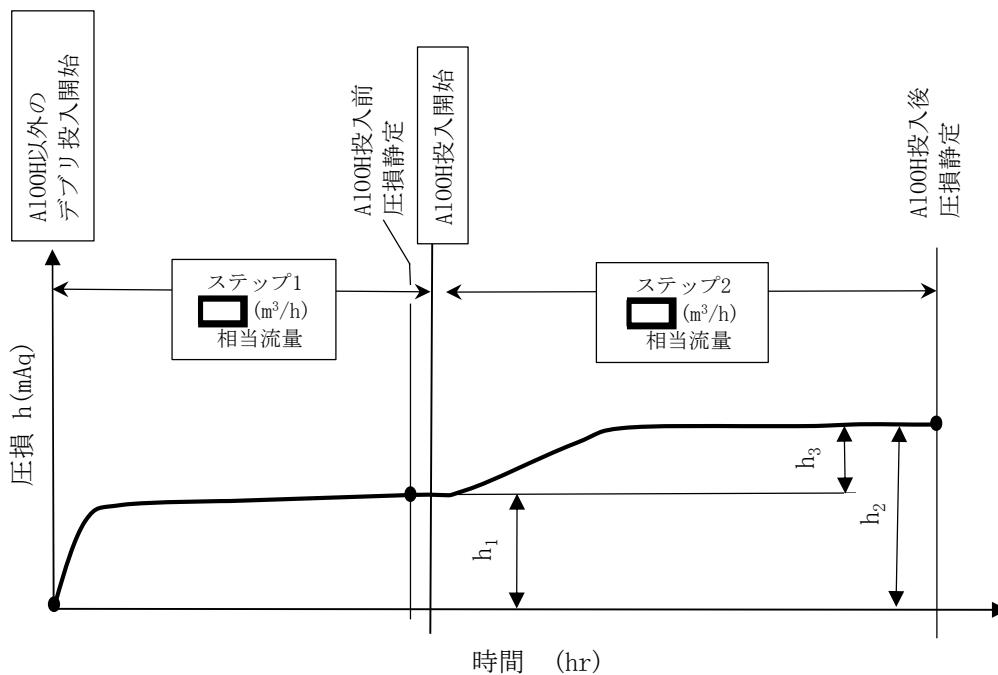


図 3 圧損試験結果の概要

4. 重大事故等時圧損試験における保守性について

PCI 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

ECCS ストレーナ設計において、圧損上昇評価は圧損上昇の効果として大きな影響のあ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 時間又はより精緻化した温度条件：168℃×90 秒間+138℃×15 分間+80℃×96 時間+55℃×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 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 ³)	⇒	<input type="text"/> (m ³) (0.3mm 相当)
非 DBA 仕様塗装 (耐性未確認)	: <input type="text"/> (kg)	⇒	<input type="text"/> (kg)
耐 DBA 仕様塗装 (SA 時剥離)	: <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, Si 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, Si の溶解速度式は、pH、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大破断 LOCA 時注水機能喪失時の原子炉格納容器温度（有効性評価における解析値）とし、pH 制御装置運転後は、高 pH (pH=14) を維持するものとしている。

4.2 異物の移行量

ABWR 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 10 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 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、原子炉格納容器内に均等に分布されている耐 DBA 仕様塗装については、10 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、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(B)) の反対に位置するベント管 (5 本) 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、復水移送ポンプの使用開始は、事象発生後 22.5 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、ABWR のストレーナは、サブプレッションチェンバ底面からストレーナ下端まで mm であり、沈降した異物が再浮遊しストレー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）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系の復水移送ポンプの通水流量は、 \square m³/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 m³/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）： \square m³/m²

実機水量比（ストレーナ単位面積当たり）： \square m³/m²

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 °C）に対して保守的により低い \square °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底面からストレーナ下端までの \square 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の約 \square mm と約 \square の高さとしている。

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底面近傍に存在する異物が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) 代替循環冷却系に用いる復水移送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	
代替循環冷却系に用いる復水移送ポンプ (評価流量: <input type="text"/> m ³ /h)		
H _a : 吸込み液面に作用する絶対圧力	<input type="text"/> m	吸込み液面に作用する絶対圧力は、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)解析より外部支援が期待できない7日後のS/C圧力が最も低くなることから、保守的に有効性評価解析結果より厳しいS/C圧力 <input type="text"/> MPa[gage]と大気圧 101.325 kPa を合わせた <input type="text"/> m としている。 (<input type="text"/> +101.325)/9.80665= <input type="text"/> m
H _s : 吸込揚程	<input type="text"/> m	静水頭は、以下の差分 <input type="text"/> m としている。 ●水源の水位: T. M. S. L. <input type="text"/> m 水源の水位としては、サブプレッションプールの最低水位(保安規定における運転上の制限(下限値))とした。 ●ポンプの吸込み口高さ: T. M. S. L. <input type="text"/> m
H ₁ : ポンプ吸込配管圧損	<input type="text"/> m	サブプレッションプールから復水移送ポンプまでの配管及び弁類圧損は、復水移送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、サブプレッションプールから復水移送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。 ●復水移送ポンプ: <input type="text"/> m ³ /h×2台 ポンプ吸込配管中の圧損は、圧損合計値より <input type="text"/> m に設定する。 注記*1: サブプレッションプールから復水移送ポンプの吸込配管は、残留熱除去系ポンプ、高圧炉心注水系ポンプ、原子炉隔離時冷却系ポンプ及び高圧代替注水系ポンプ並びに低圧代替注水系、格納容器下部注水系及び代替格納容器スプレイ系に用いる復水移送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等の運転流量を圧損計算上で考慮する必要はない。
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"/> 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: <input type="text"/> m
H ₃ : 異物付着による圧損上昇	<input type="text"/> 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: 復水移送ポンプの評価流量(保守的に <input type="text"/> m ³ /h) を使用] ●金属反射型保温材の付着による圧損上昇: <input type="text"/> m (<input type="text"/> m) ●繊維質*2, 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 合計値である <input type="text"/> m としている。 注記*2: 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。 ・繊維質異物及び粒子状の異物付着による圧損 $\frac{\Delta H}{\Delta L_0} = 1.019 \times 10^{-4} \left[3.5 S_v^2 (1 - \epsilon_m)^{1.5} \left\{ 1 + 57 (1 - \epsilon_m)^3 \right\} \mu U + 0.66 S_v \frac{(1 - \epsilon_m)}{\epsilon_m} \rho_w U^2 \right] \left(\frac{\Delta L_m}{\Delta L_0} \right)$ $\Delta H = \text{ (m)}$ ここで、 $\Delta L_0 = 0.0003 \text{ (m)}, S_v = \text{ (m}^{-1}\text{)}, \epsilon_m = \text{ (-)}, \mu = \text{ (kg/(m \cdot s)) (評価温度 ^\circ\text{C}), U = \text{ (m/s)}$ $\rho_w = \text{ (kg/m}^3\text{) (評価温度 ^\circ\text{C}), \Delta L_m = 0.0003 \text{ (m)}$ ・化学影響生成異物の付着による圧損 $h_3 = h_2 - h_1 = \text{ - = (m)}$ ここで、 h_1 : A100H 投入直前の圧損 = <input type="text"/> (m) h_2 : A100H 投入が完了し静定後の圧損 = <input type="text"/> (m) h_3 : 化学影響生成異物(A100H)の付着による圧損上昇(m)
h _s : ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭	6.1 m	重大事故等時における復水移送ポンプの最高使用温度 85°Cにおける飽和蒸気圧力水頭として、6.1 m としている。

記載内容		根拠
項目	値	
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。 $\text{有効 NPSH} = H_a + H_s - H_1 - H_2 - H_3 - h_s$ $= \text{□} - 6.1\text{m}$ $= \text{□} \text{ m}$
必要 NPSH	□ m	代替循環冷却系に用いる復水移送ポンプ運転流量 □ m ³ /h における必要 NPSH としてポンプ性能より設定している。
評価結果		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。 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。	RCCV 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	配管保温材外装板 ダクト保温材外装板
	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
	Si	コンクリート	ダイヤフラムフロア上面
	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：ドライウエル（上部ドライウエル及び下部ドライウエル）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	RCCV 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の表面積が小さいため、大口径配管にて算出した表面積の 1 割を小口径配管分として考慮する。弁類については大口径弁と同様に表面積を算出する。</p>
3	配管サポート	<p>【大口径（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>以下のいずれかを用いる。</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 配管口径毎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>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> <p>また、サポート点数は、配管図を用いて算出する。</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>ケーブルリストを用いて、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>代表形状毎に電線管サポートの表面積とサポート点数を掛け合わせ、その合計を電線管サポートの表面積とする。</p> <p>各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>

No.	設備種別	算出方法
		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。
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	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。 (チェンブロック、モノレール等)

1.3 調査結果

上部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、下部ドライウエル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 上部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 ²)	耐 DBA 仕様塗 装面積 (m ²)	溶解表面積 (m ²)			
				Al	Zn	Fe	Si
RCCV 関係	上鏡						
	下フランジ						
	トップスラブ ライナ						
	ライナ						
	ハッチ類						
	ドライウエル 貫通部						
	ドライウエル スプレイ管						
	ダイヤフラム フロア貫通部						
	原子炉遮へい壁						
	中性子遮へい プラグ						
	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						
	DEPSS						
	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						
	配管サポート						
ダクト類	ダクト						

分類	構造物	構造物 表面積 (m ²)	耐 DBA 仕様塗 装面積 (m ²)	溶解表面積 (m ²)									
				Al	Zn	Fe	Si						
ダクト類	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 (D/W クーラ)	DWC 送風機												
	DWC 冷却器												
	DWC 除湿冷却器												
その他	チェンブロック												
	モノレール												
	SRV 運搬台車類												
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 下部ドライウェル内構造物及び表面積一覧

分類	構造物	構造物 表面積 (m ²)	耐 DBA 仕様塗装 面積(m ²)	溶解表面積 (m ²)			
				Al	Zn	Fe	Si
RCCV 関係	原子炉圧力容器 基礎						
	制御棒駆動機構レ ストレントビーム						
	ハッチ類						
	アクセストンネル						
	貫通部						
	真空破壊弁						
	グレーチング						
	共用ストラクチャ						
	その他構造物						
配管・弁類	配管・弁						
	配管サポート						
ダクト類	ダクト						
	ダクトサポート						
電線管	電線管						
	電線管サポート						
機器 (CRD 交換機)	旋回レール架台						
	プラットホーム						
機器(RIP)	RIP 昇降装置						
機器 (D/W サンプ)	D/W HCW サンプ ポンプ						
	D/W LCW サンプ ポンプ						
	D/W LCW サンプ 冷却器						
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 1-5 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 ²)	耐 DBA 仕様塗装 面積(m ²)	溶解表面積 (m ²)			
				Al	Zn	Fe	Si
RCCV 関係	ライナ						
	原子炉圧力容器 基礎						
	ハッチ類						
	貫通部						
	サプレッションチ ェンバプラット ホーム						
	ダイヤフラムフロ アシールプレート						
	グレーチング						
	底部ライナ						
	サプレッションチ ェンバスプレイ管						
	真空破壊弁						
	その他構造物						
配管・弁類	配管・弁						
	配管サポート						
電線管	電線管						
	電線管サポート						
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 1-6 に示す。

表別 1-6 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 ²)	塗装膜厚 (mm)	塗装密度 (g/cm ³)	塗装重量* (kg)
耐 DBA 仕様塗装 (上部ドライウエル)	[]	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 (下部ドライウエル)				
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。

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格納容器 pH 制御設備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, Si, 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。

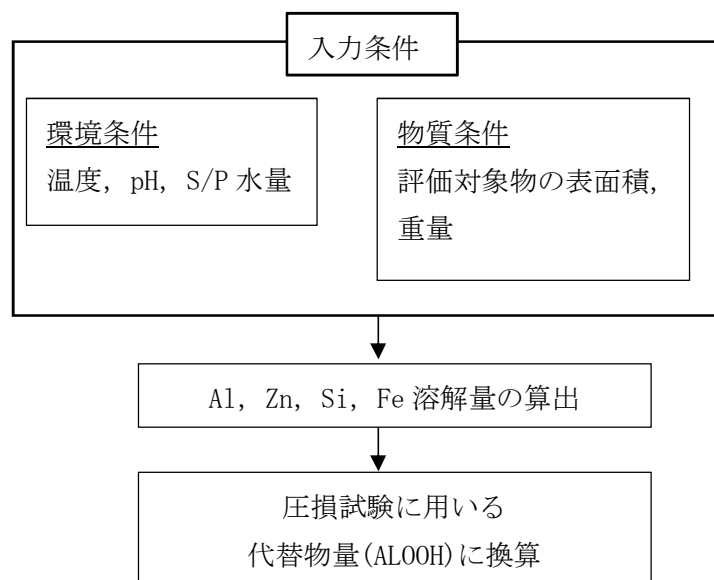
注記*：原子力安全基盤機構の調査では、国内プラントは従来から化学影響の主要因と考えられているアルミニウムや断熱材の腐食に加え、炭素鋼と亜鉛メッキ鋼腐食の影響が大きくなる傾向が示唆されており、JNES-SS-1004 にて提案している化学影響評価手法においても、Zn と Fe の影響を考慮することが推奨されている。

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, Si を含むもの）の表面積に対し、原子炉格納容器内環境条件（温度、pH）を考慮して算出した溶解速度式を掛けることで、Al, Zn, Si 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, Si 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, Si 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	雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温） （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	【ドライウエル】 0～72hr: 57～207℃ 72～168hr: 103～128℃ 168～720hr: 63～103℃	【サプレッションプール】 0～72hr: 35～164℃ 72～168hr: 145～164℃ 168～720hr: 91～145℃
S/P スプレー水の pH	0～720hr: pH14	

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日間の発生量が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1-8 Al, Zn, Si, Fe を含む構造物の表面積

	Al (m ²)	Zn (m ²)	Si (m ²)	Fe (m ²)
上部ドライウエル				
下部ドライウエル				
サ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	$RR = 10^{[A+B(pHa)+C(1000/T)+D(pHa)^2+E(pHa)/(1000/T)]}$	mg/(m ² ・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	$RR = 10^{[A+B(pHa)+C(1000/T)+D(pHa)^2+E(pHa)/(1000/T)]}$	mg/(m ² ・min)	A	
			B	
			C	
			D	
			E	

3.3.3 ケイ素 (Si) の溶解速度

Si の溶解速度式と係数を表別 1-11 に示す。

表別 1-11 Si の溶解速度式における係数

元素	溶解速度式	単位	係数*1	
Si	$RR = kA(1-C/K)$ $K=10^{[a+b(pHa)+c(1000/T)]}$ $k=10^{[d+e(pHa)+f(1000/T)]}$ <p>A: 物質質量 (kg) C: 放出化学種濃度 (ppm)</p>	mg/min	a	
			b	
			c	
			d	
			e	
			f	

注記*1: コンクリートからケイ素の溶解速度を評価する場合の係数

3.3.4 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/dm²・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, Si, 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 1-12 に示す。

表別 1-12 各金属の溶解量と想定される析出物

材料	表面積 (m ²)	溶解速度 (mg/m ² ・min)	溶解量 (kg)	想定される 析出物
アルミニウム (Al)				Al(OH) ₃
亜鉛 (Zn)				Zn(OH) ₂
ケイ素 (Si)				NaAlSi ₃ O ₈
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 (A100H) を使用するため、各金属の溶解を換算し代替物量 (A100H 相当量) を求める。

3.5.1 代替物量評価

各金属の A100H への換算係数 (JNES-SS-1004 に規定されている換算係数) を表別 1-13 に示す。

表別 1-13 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
アルミノケイ酸ナトリウム ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)	0.45
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 (A100H) の算出結果を表別 1-14 に示す。

表別 1-14 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	
アルミノケイ酸ナトリウム		0.45	
炭素鋼 (Fe)		2	
合 計			

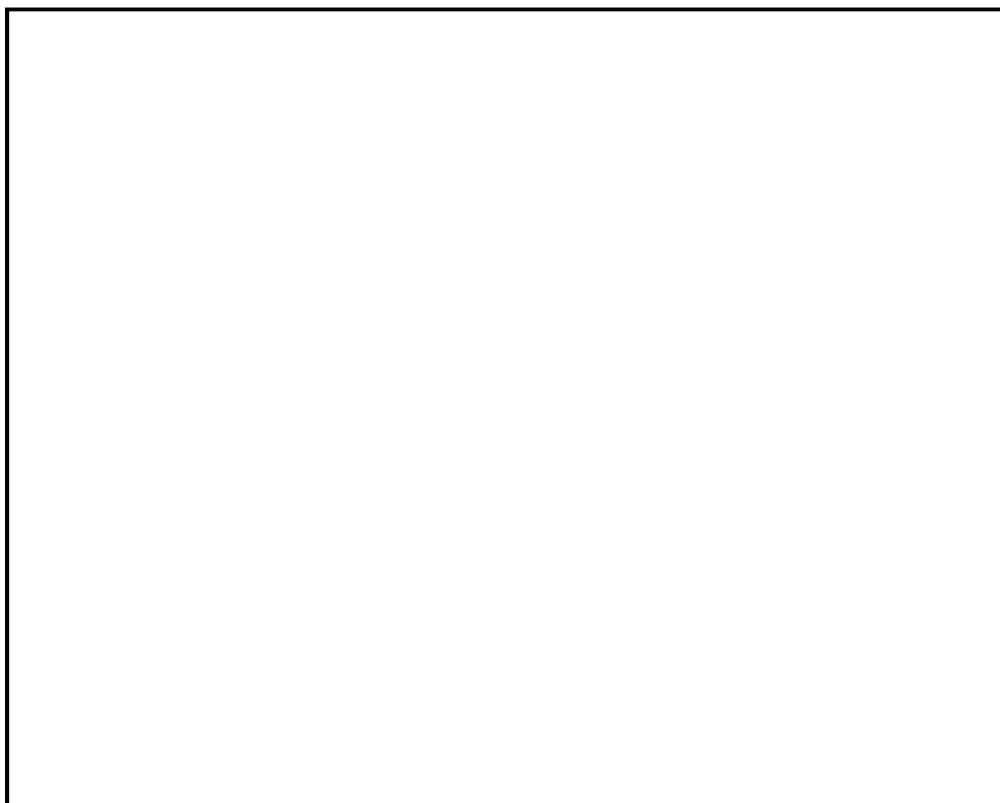
以上より、圧損評価に用いる化学影響生成異物量としては、代替物量の合計値 kg を保守的に丸めた kg とする。

下部ドライウエルから サプレッションプールへの異物流入経路について

下部ドライウエル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 22.5 時間後において代替循環冷却系を運転し、破断口から復水移送ポンプの流量（ m³/h）相当の水が下部ドライウエルへ流入する。
- ② 下部ドライウエルの水位が上昇し、ベント管のリターンラインを超えた場合、上澄みがベント管内へ流出する。これに伴い、水面付近の比重が小さい異物がベント管内へ移行する。
- ③ ベント管内へ流入した異物は、その流入速度が小さいため、比重が小さい異物は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、下部ドライウエルからベント管内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、これらの異物がベント管内へ移行したとしても、サプレッションプール水面付近に存在することから、吐出管からサプレッションプール内へ流入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下部ドライウエル内に沈降し、ベント管内へ移行することはないと推測される。



図別 2-1 下部ドライウエル内異物のサプレッションプールへの流入経路

非常用炉心冷却系ストレーナの下流側炉内影響について

一次冷却材喪失事故（以下「LOCA」という。）時において、原子炉格納容器内で発生した非常用炉心冷却系ストレーナ（以下「ECCS ストレーナ」という。）のメッシュサイズより小さなデブリが ECCS ストレーナを通過した場合に、下流側となる炉心（燃料）に与える影響について評価した。

評価の結果、燃料上部に閉塞の影響はないこと、燃料下部についても薄膜効果の要因となる繊維質保温材を再稼働までに撤去することから、LOCA 後の冷却に影響のない事を確認した。

詳細は次紙*以降に示す。

*：2022年7月28日第54回技術情報検討会での審議を経て、2022年10月11日に面談にて提出した資料

BWR-ECCSストレーナ 下流側炉内影響について

2022年10月11日

東北電力株式会社
東京電力ホールディングス株式会社
中部電力株式会社
北陸電力株式会社
中国電力株式会社
日本原子力発電株式会社
電源開発株式会社

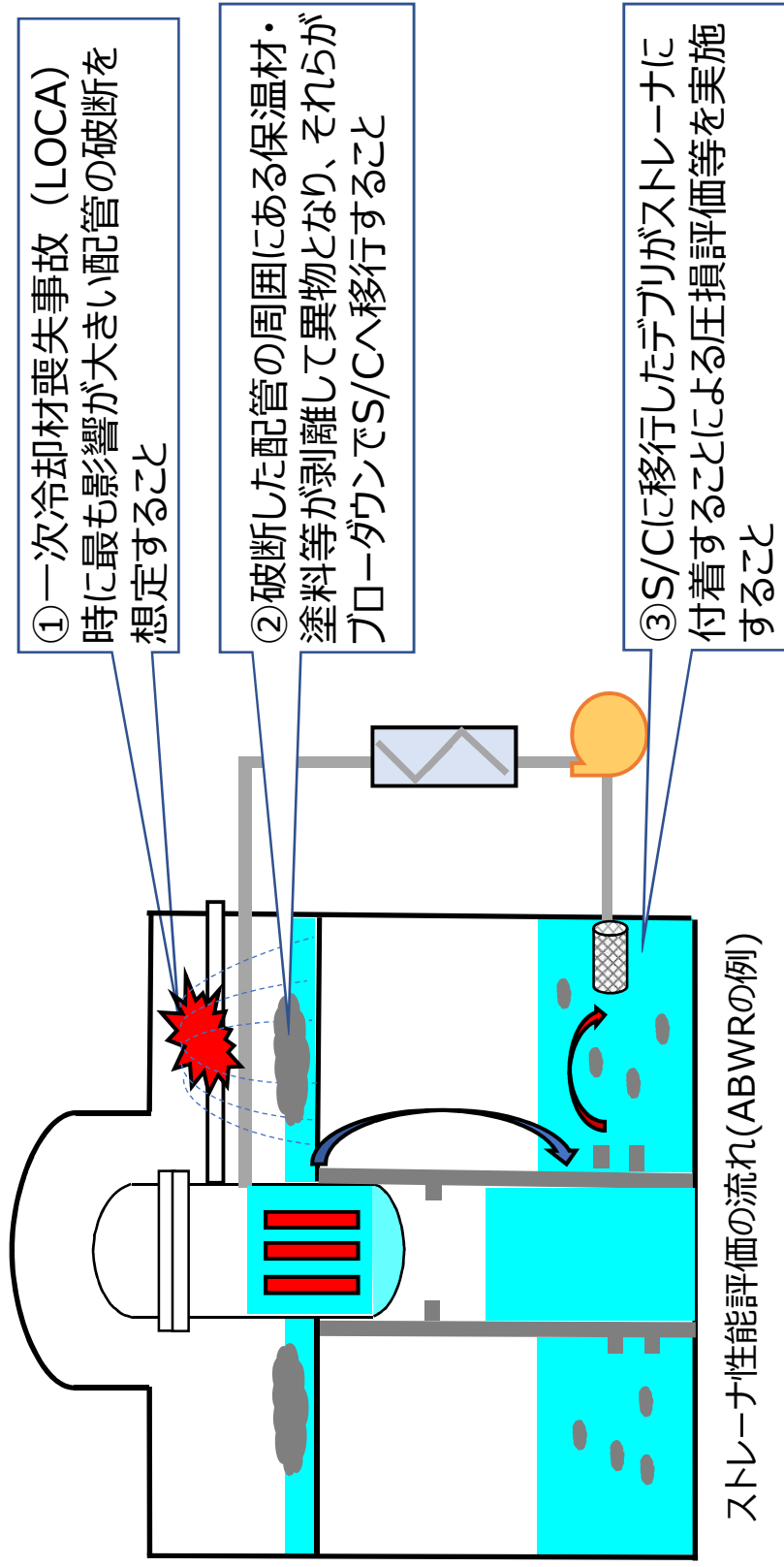
□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(公開の場合での説明用に一部技術情報を附番しております。例：技-①)

BWRプラントにおけるストレーナ等の閉塞事象の概要

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

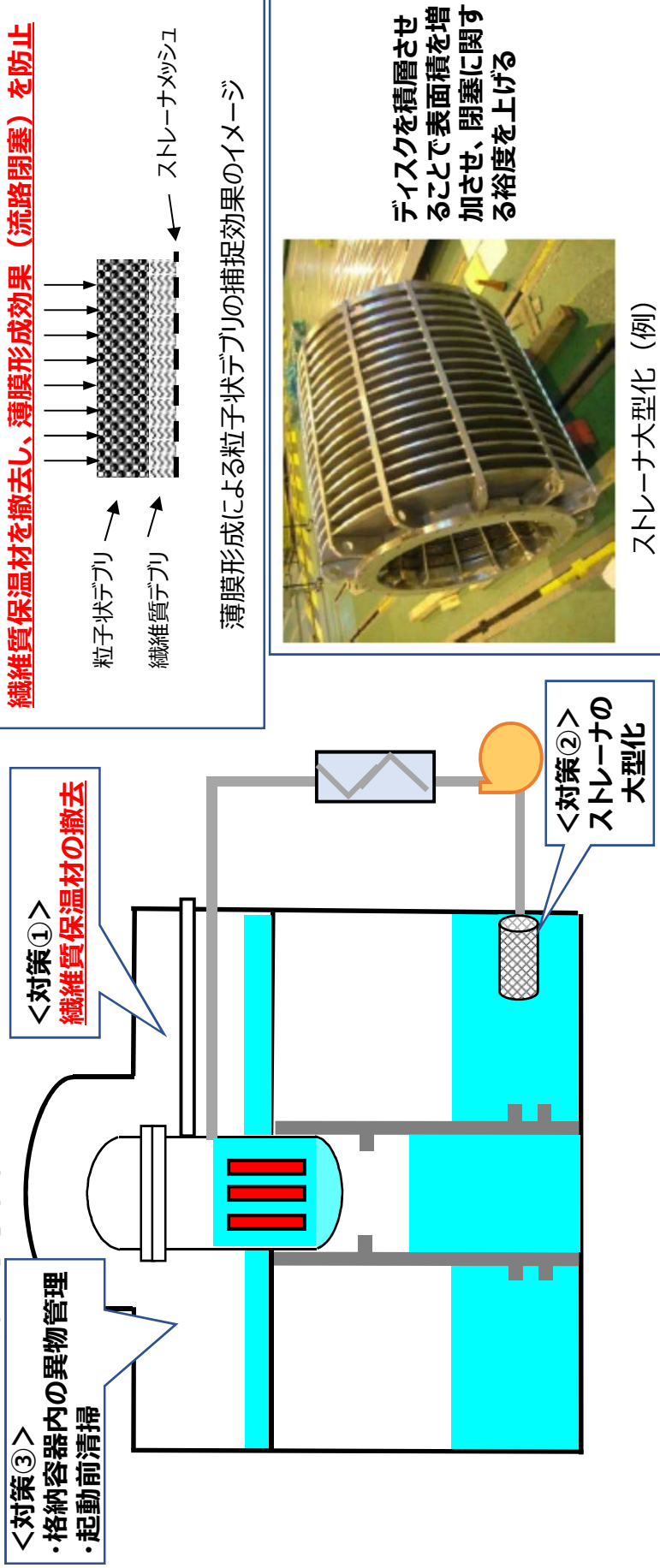
※非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係る過装置の性能評価等について（内規）



規制に対するBWR事業者の取り組み

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

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



ECCSストレーナを通過したデブリによる下流側への影響について説明

格納容器内で発生するデブリの整理

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

対象機器：ポンプ、弁、熱交換器、炉心（燃料）

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

格納容器内で発生するデブリの影響整理

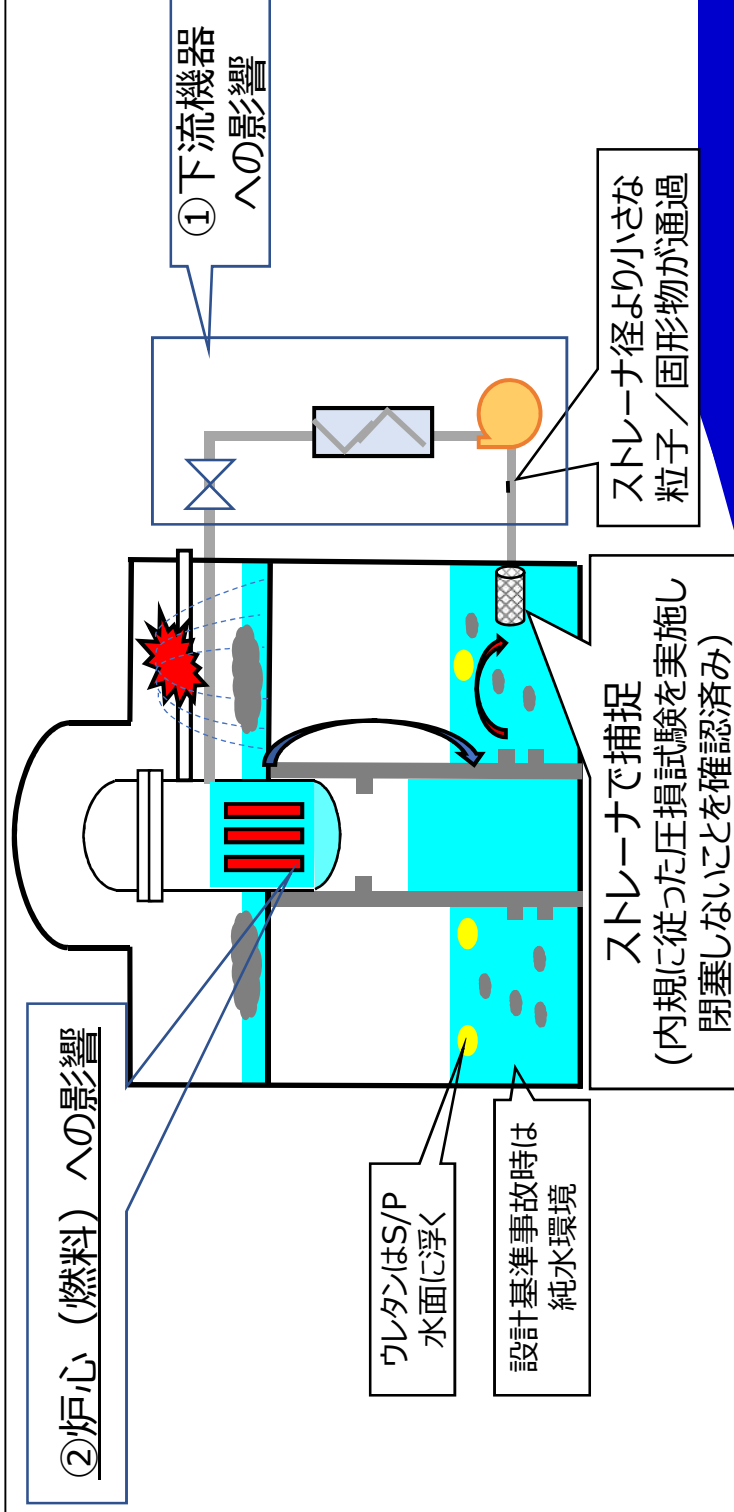
ストレーナ径より小さなデブリ（粒子／固形物）は、ストレーナを通過し、下流側へ移行する。

① 下流機器（ポンプ、弁、熱交換器）への影響

- 閉塞、摩耗：影響が小さいことを確認（29頁参照）

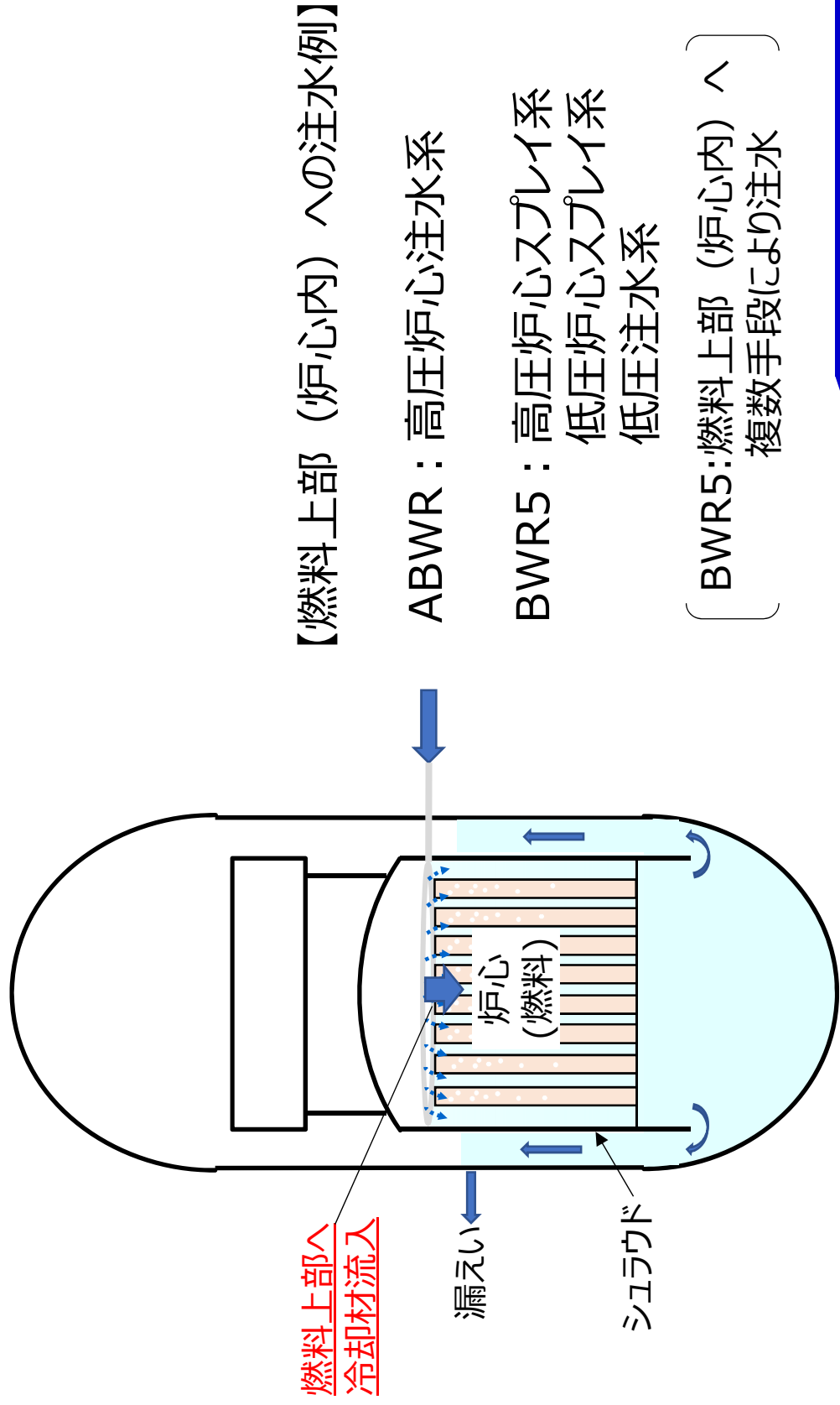
② 炉心（燃料）への影響

- 閉塞：(i) 燃料上部 / (ii) 燃料下部に閉塞の影響がないことを確認
(次頁以降詳細)
- 摩耗：影響が小さいことを確認（28頁参照）



(i) 燃料上部の閉塞の影響整理 (1 / 2)

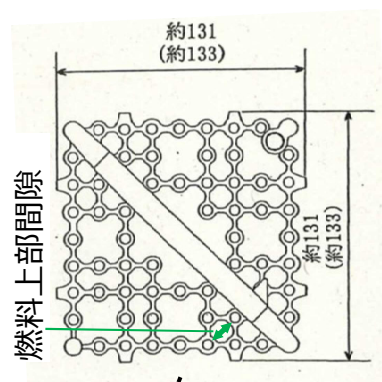
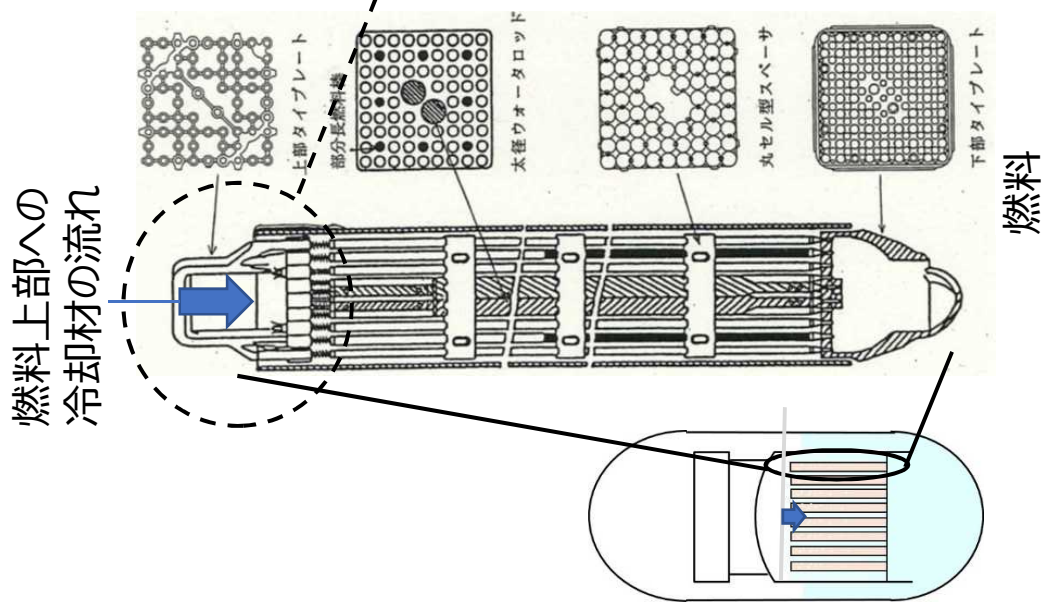
LOCA時 燃料上部へ冷却材が流入する際のイメージ



(i) 燃料上部の閉塞の影響整理 (2/2)

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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

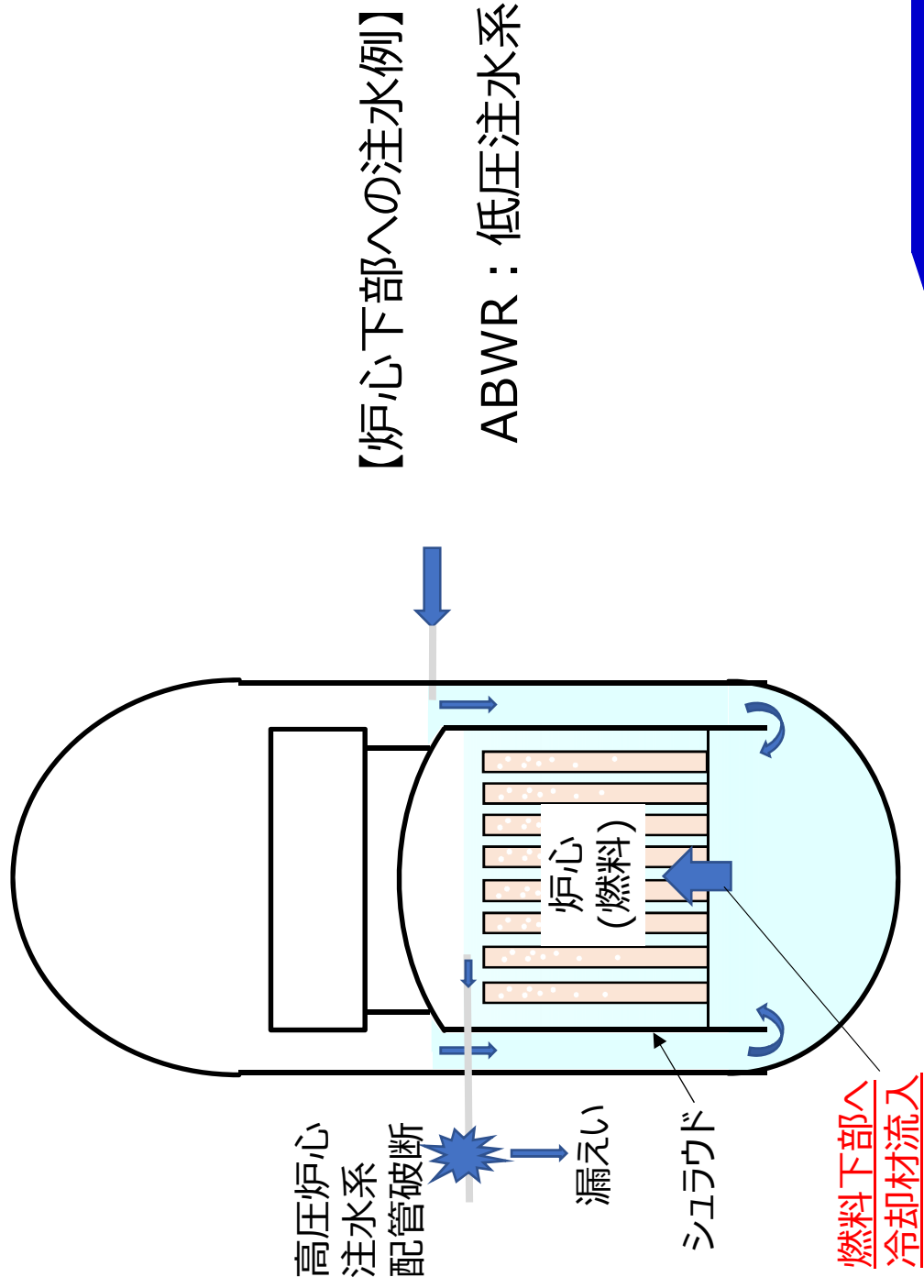


【メッシュサイズ】
 ECCSストレーナ < 燃料上部間隙
 【メッシュサイズの例 (KK7、9×9A型燃料)】

ECCSストレーナ	燃料棒間隙	燃料上部間隙
□	約3mm (隣接)	□

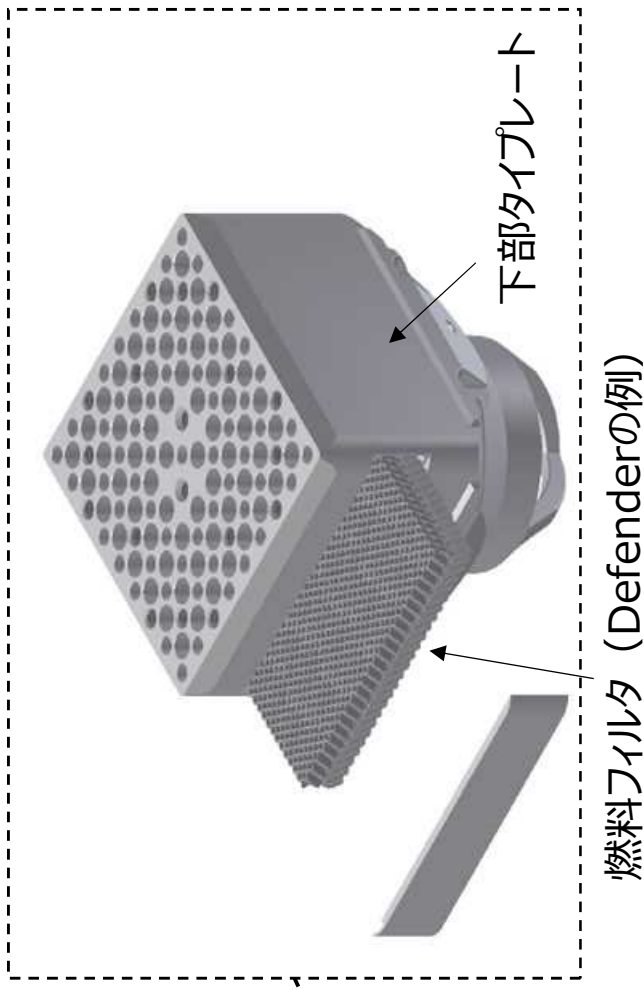
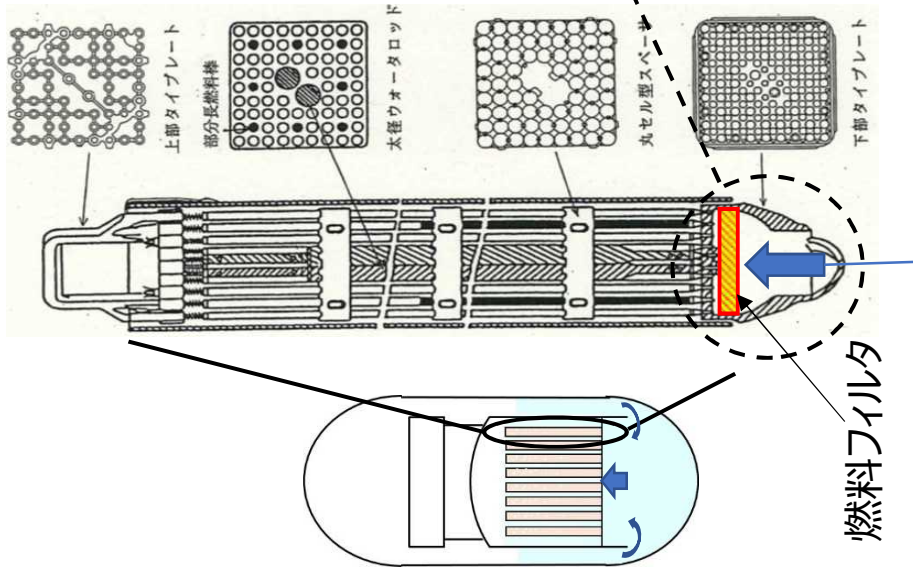
(ii) 燃料下部の閉塞の影響整理 (1 / 2)

LOCA時 燃料下部へ冷却材が流入する際のイメージ



(ii) 燃料下部の閉塞の影響整理 (2 / 2)

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



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

【参考】燃料フィルタに対する圧損試験（1 / 2）

□ 梓囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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

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

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

- 燃料フィルタメッシュサイズ
Defender < ECCSストレーナ < 他タイプ燃料フィルタ
- 燃料フィルタメッシュサイズの例（KK7、9×9A型燃料※）
ECCSストレーナよりメッシュサイズの小さいDefenderで試験実施



Defender	ECCSストレーナ	従来型フィルタ
※9×9B型燃料の燃料フィルタメッシュサイズは		□
		以上

以上

【参考】燃料フィルタに対する圧損試験（2/2）

（平成24年8月意見聴取会資料 P8,15,16）

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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

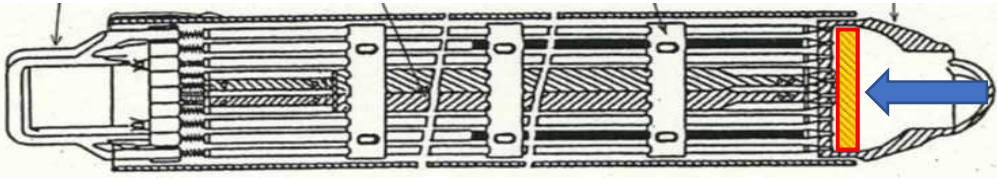
試験①の結果から、局所圧力損失係数を算出： $\square \text{ cm}^{-4}$ （19～22頁参照）

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

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

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

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



燃料フィルタにデブリを投入
燃料下部への流量を評価

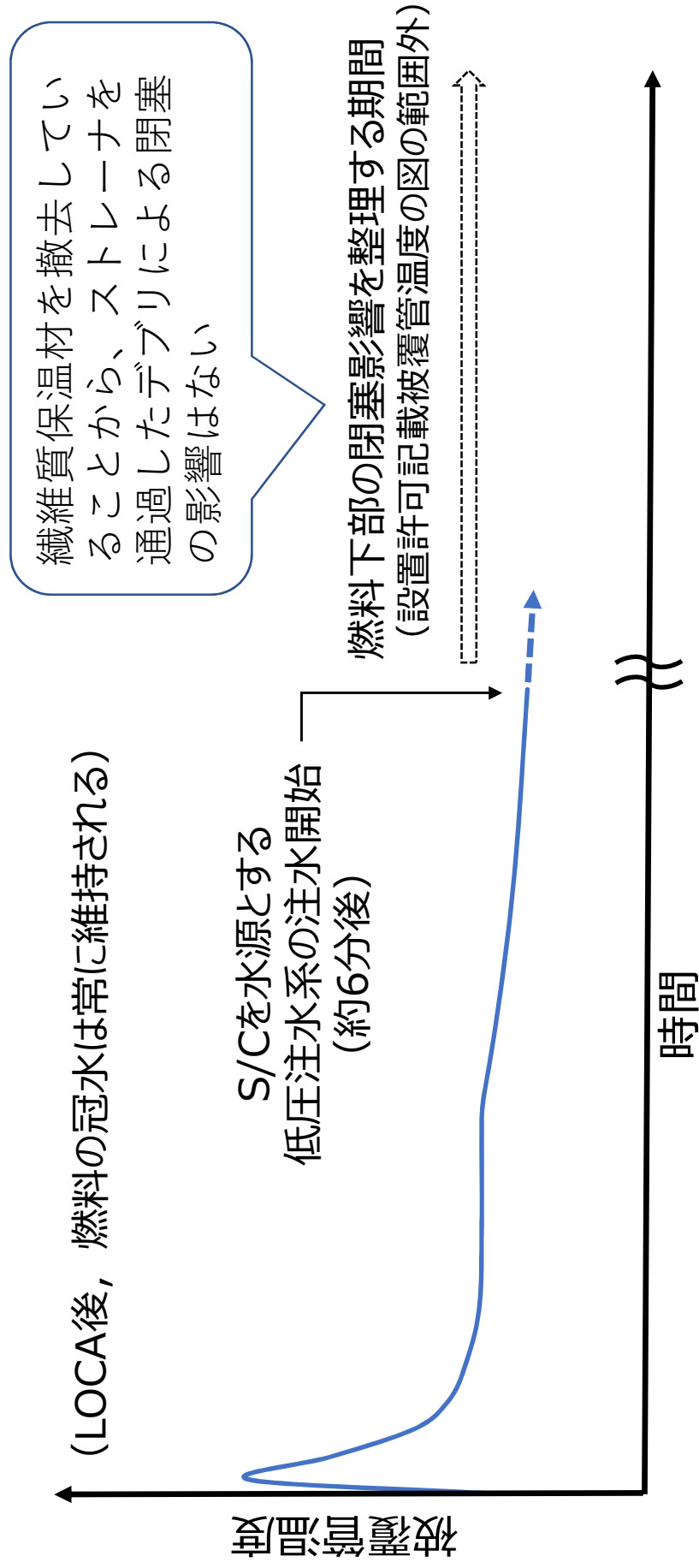
まとめ

- 国内BWRプラントは、繊維質保温材の撤去※やストレーナの大型化、格納容器内の清掃等を実施しており、デブリによるストレーナ閉塞事象に対して裕度を向上させる取り組みを実施している

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

参考

【参考】LOCA（設計基準事故）時 被覆管温度の推移例（ABWR※）



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

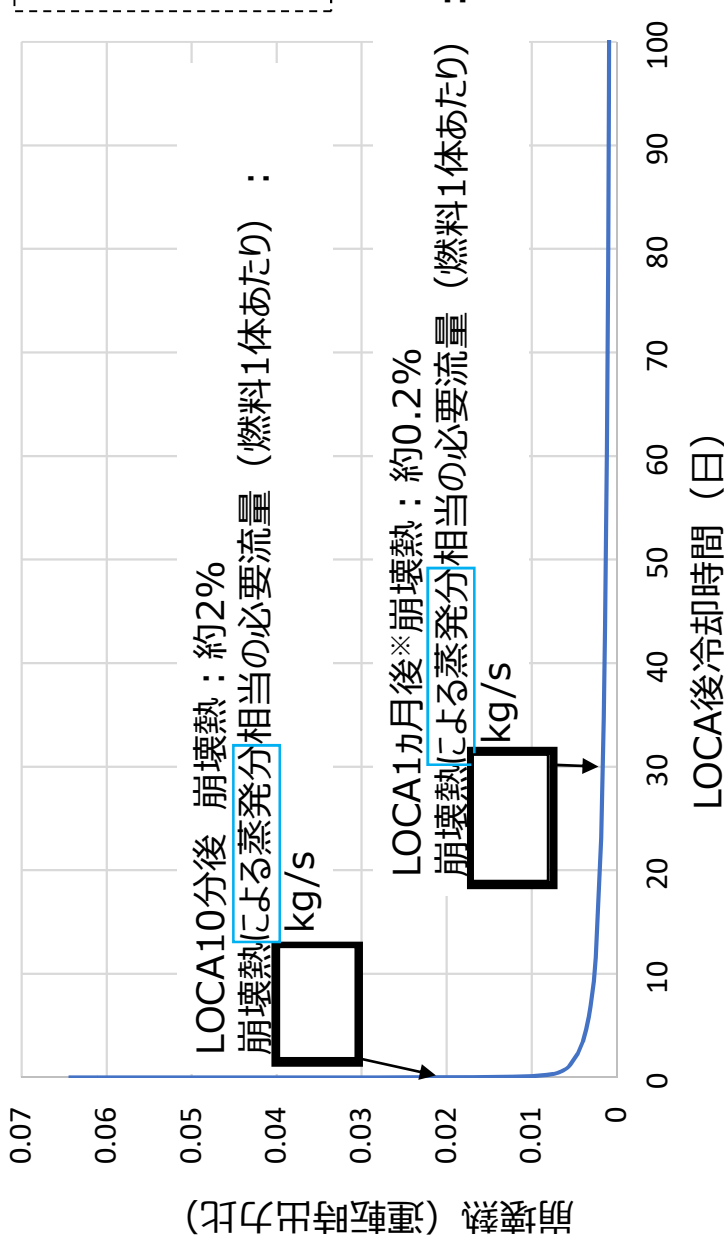
【参考】流量関連 参考例 (KK6/7)

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

【運転中 / LOCA直後 燃料集合体内流量 (目安)】

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

【LOCA後長期冷却 必要流量】



【参考 注水流量】

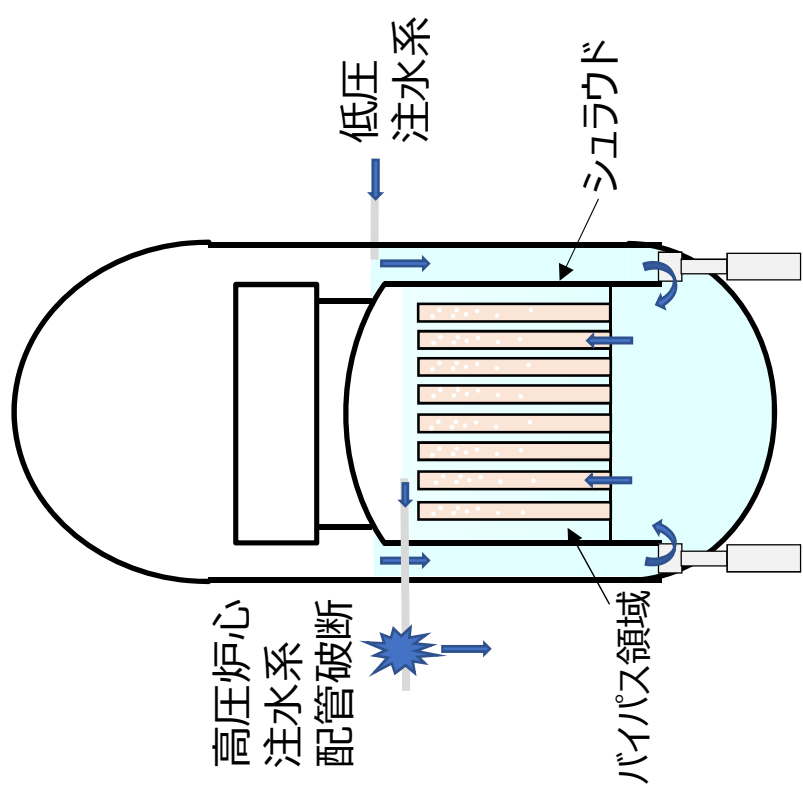
- 【低圧注水系1系統 定格流量】
- ・954m³/h
- 燃料1体あたり約0.3kg/s
(954m³/h÷872体×1000÷3600)
- 【LOCA後低圧注水系】
- ・LOCA約6分後に低圧注水系2系統注水開始
- ・LOCA約15分後に低圧注水系1系統で注水 (1系統はPCVスプレーに切替え)

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

【参考】LOCA（設計基準事故）時の炉心への注水状況例

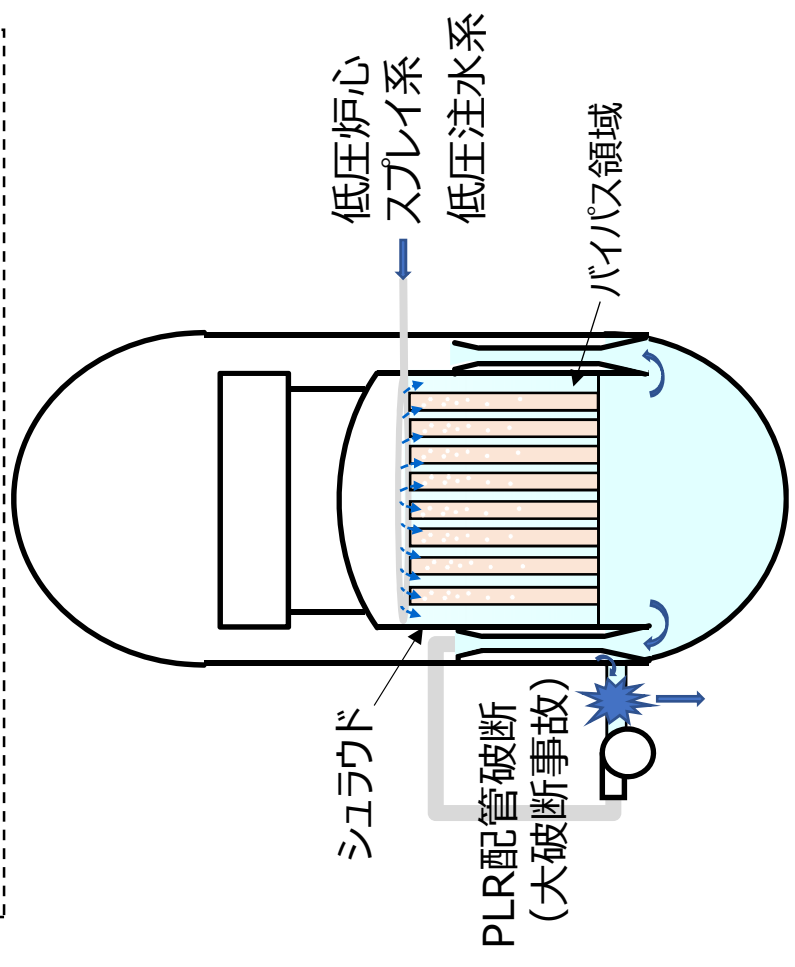
LOCA後、冠水維持

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



低圧注水系にてシユラウド外に注水

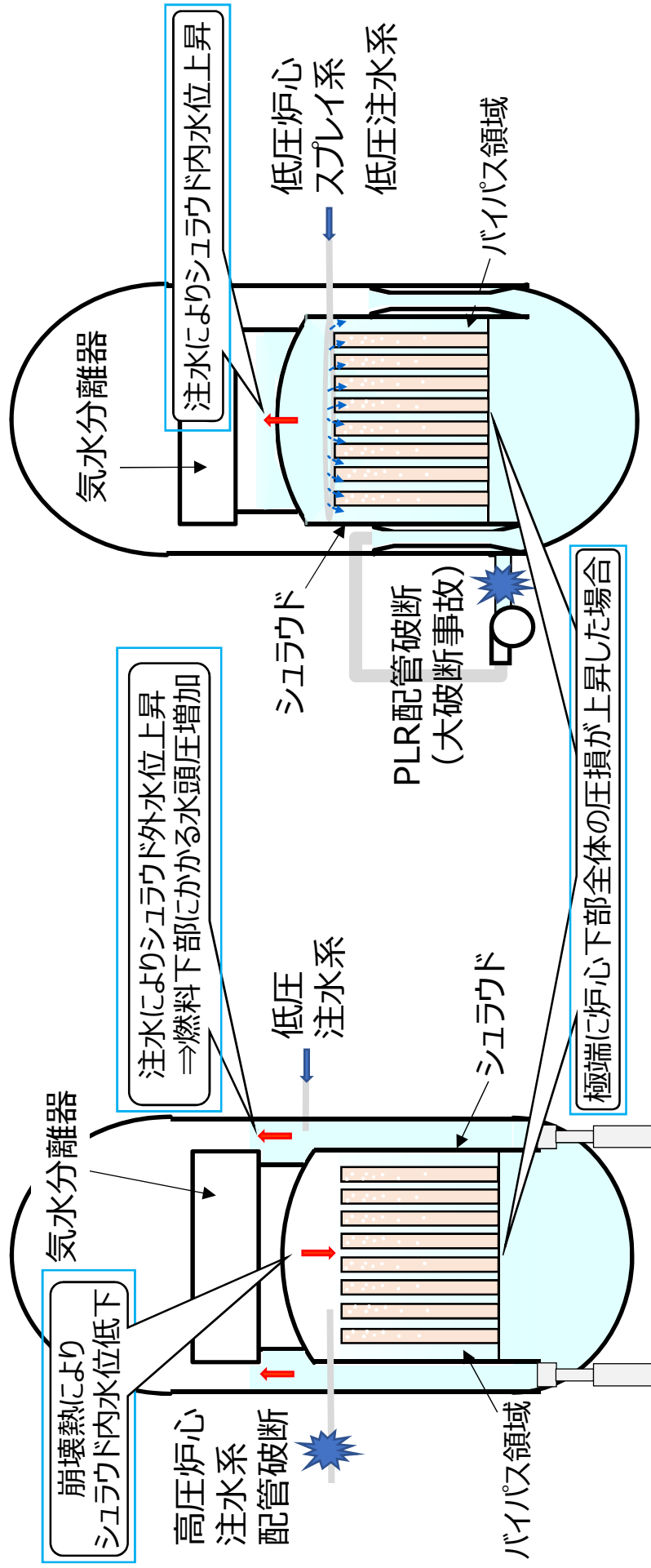
ABWR



低圧炉心スプレイ系及び低圧注水系にてシユラウド内（炉心）に注水

BWR5

【参考】仮に炉心下部全体の圧損が上昇した場合のイメージ



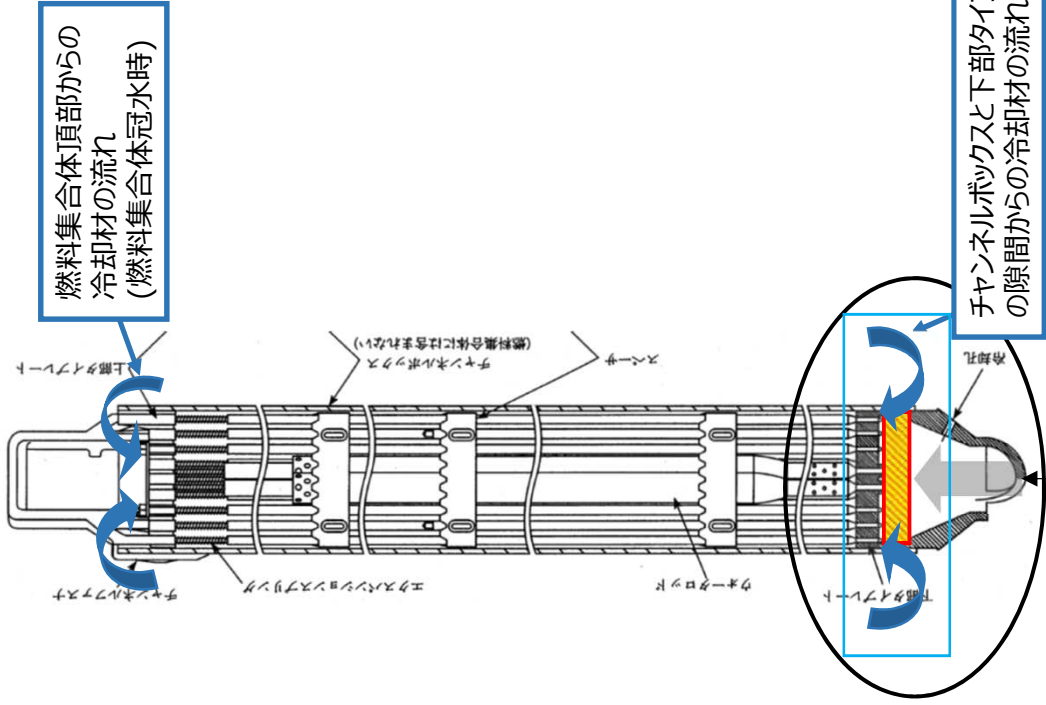
シユラウド外水位が上昇

ABWR

シユラウド内水位が上昇

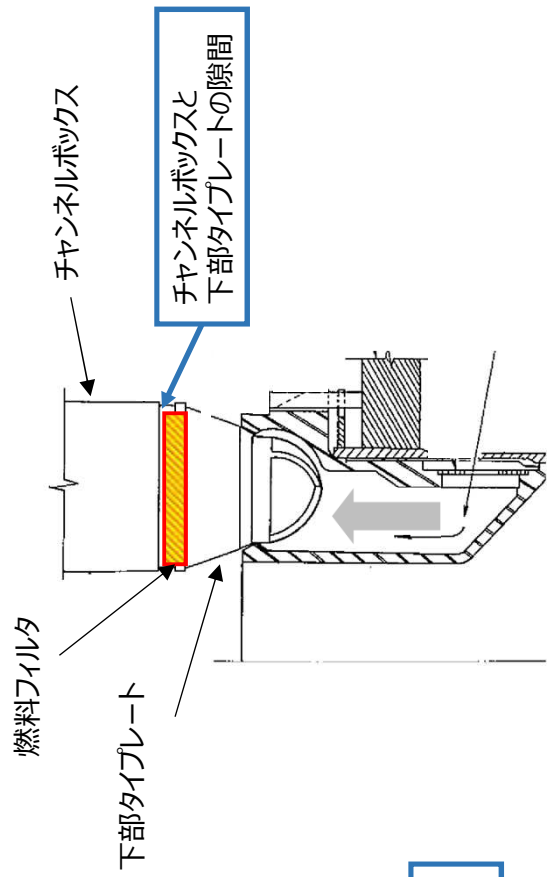
BWR5

【参考】LOCA後の長期冷却性 補足



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

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



通常の冷却材の流れ

【参考】燃料フィルタに対する試験 ～Defenderによる代表性～

枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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

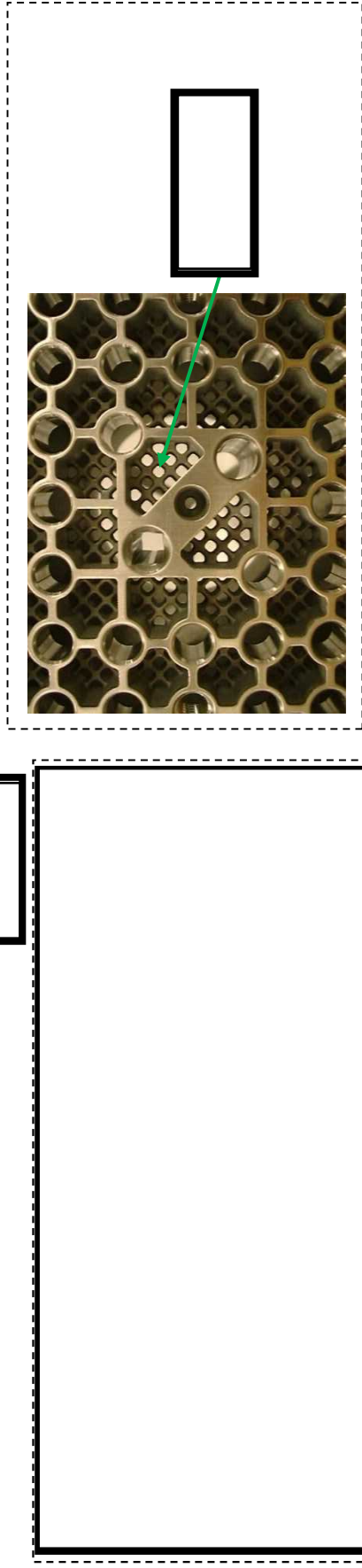
【メッシュサイズ比較】

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

【メッシュサイズの例（KK7、9×9A型燃料※）】

Defender	ECCSストレーナ	従来型フィルタ	燃料棒間隙	上部タイププレート
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	約3mm（隣接）	<input type="checkbox"/>

※9×9B型燃料の燃料フィルタメッシュサイズは 以上



9×9A型燃料 従来型フィルタ

9×9A型燃料 Defender

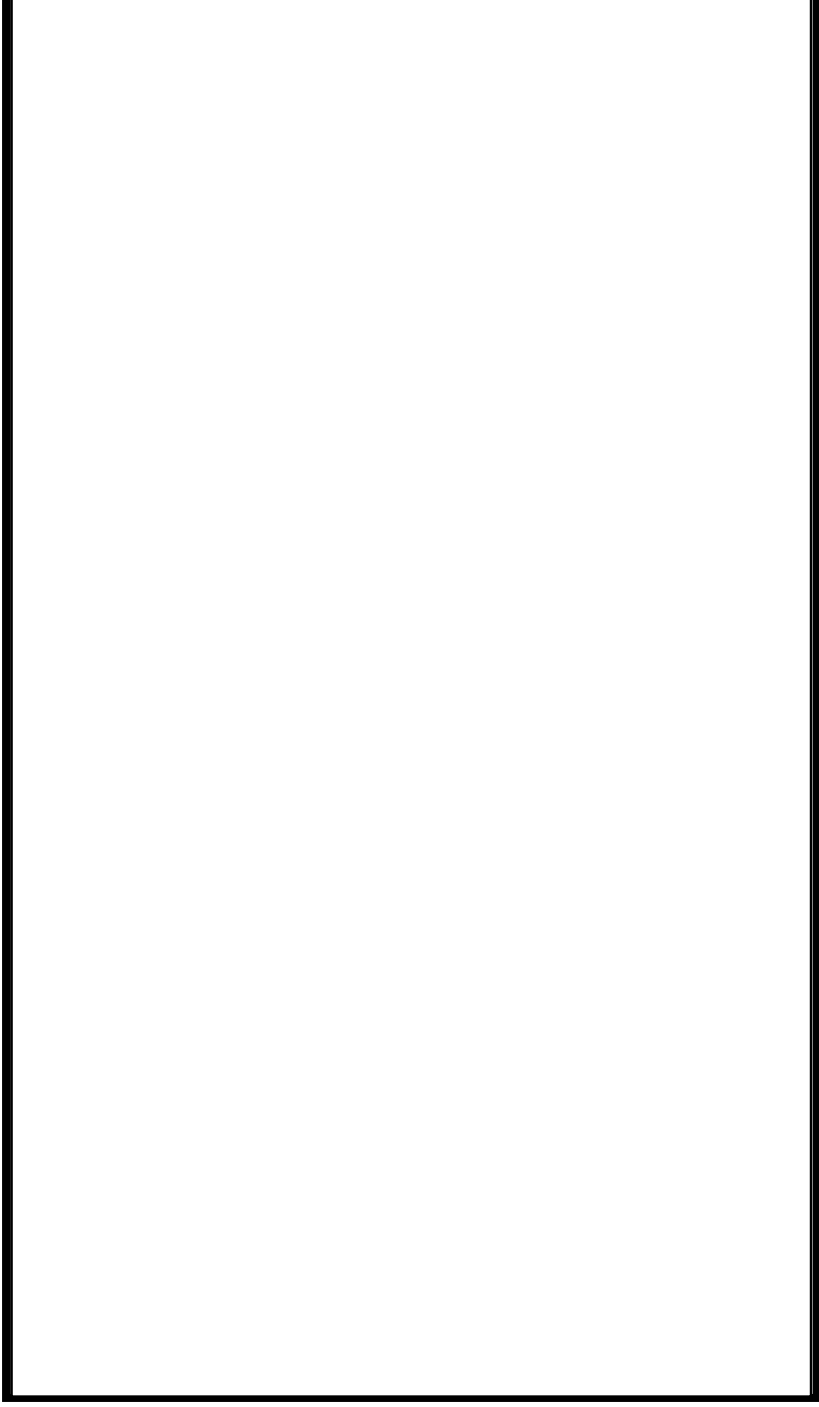
【参考】燃料フィルタに対する試験①（1 / 5） ～試験結果～

（平成24年8月意見聴取会資料 P11）

枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

・米国におけるDefender圧損試験の結果（繊維質異物 投入）

・異物投入後、局所圧力損失は 程度（流量 ）



【参考】燃料フィルタに対する試験①（2 / 5） ～実機流量評価～

（平成24年8月意見聴取会資料 P8,15,16）

枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

【LOCA後の長期冷却性について】

試験	流量 W [kg/s]	局所圧力損失 dP [kPa]	局所圧力損失係数 K/A ² [cm ⁻⁴]
試験①			

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

・試験結果から求められた局所圧力損失係数 cm⁻⁴を用いて、LOCA発生後を模擬した実機評価条件（自然循環状態）での冷却材流量を評価。

・その結果、試験後の局所圧力損失係数を用いた場合も kg/s程度となり、LOCA発生後の長期的な冷却を行うために必要な流量（崩壊熱による蒸発分相当）の kg/s以下を上回る。

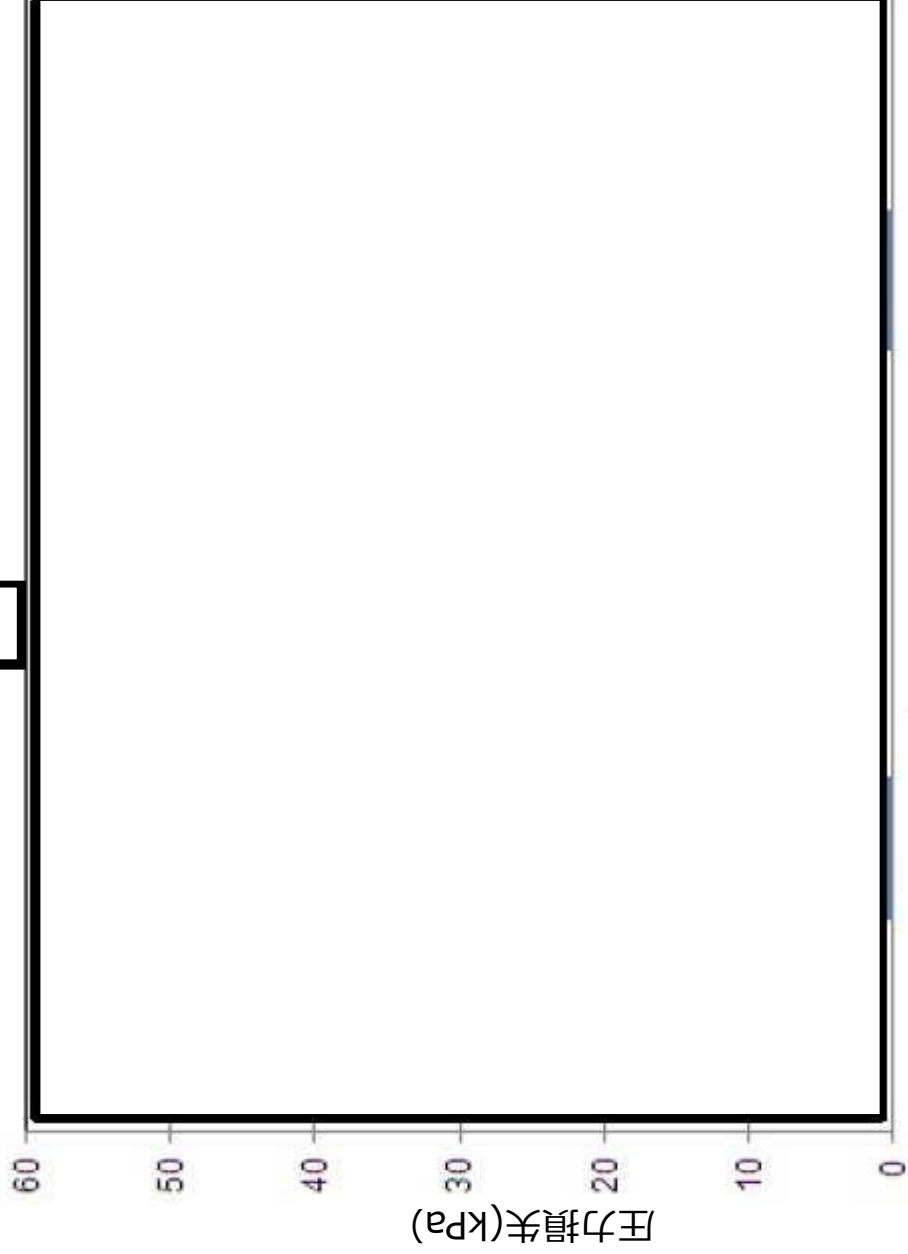
LOCA発生後の長期冷却に必要な流量を確保

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

【参考】燃料フィルタに対する試験① (3 / 5) ～実機流量評価～

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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



流量が低いため、ほぼ0

部ボイド増に伴う損（水頭圧）、燃料フィルタの損が上昇

注水流量例 (KK6/7)
 【低圧注水系1系統 定格流量】
 ・954 m^3/h
 > 燃料1体あたり約0.3 kg/s
 (954 $\text{m}^3/\text{h} \div 872 \text{体} \times 1000 \div 3600)$
 【LOCA後低圧注水系】
 ・LOCA約6分後に低圧注水系2系統注水開始
 ・LOCA約15分後に低圧注水系1系統で注水 (1系統はPCVスプレーに切替え)

異物到達前
 試験後の局所圧損係数を用いた場合

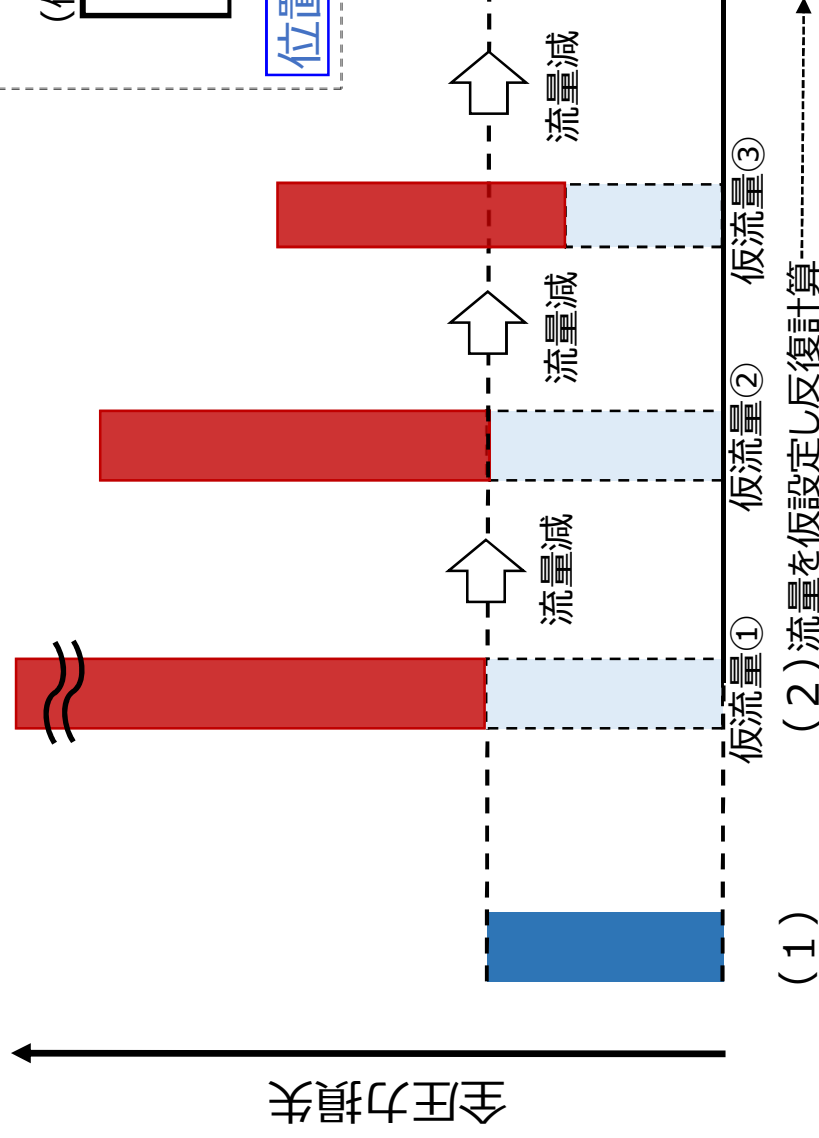
【参考】燃料フィルタに対する試験① (4 / 5)

～実機流量計算の流れ イメージ～

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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

(1) より全圧損が大き
⇒全圧力損失が (1) と等しくなる
流量まで流量を減少し反復計算



【流量減時の圧損変化】

局所圧損：流量比の二乗分減少

$$dP = W^2 \times (K/A^2) / 2\rho g$$

(例：流量1/3⇒局所圧損1/9)

位置圧損 (水頭圧)：ポイド発生に伴い減少

(1) と全圧損が等しい ⇒反復計算終了

【参考】燃料フィルタに対する試験①（5 / 5） ～実機流量評価方法～

（平成24年8月意見聴取会資料 P15,16 参照）

□ 杵囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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

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

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

$dP_{全体}$: 炉心入口オリフィスから集合体出口までの圧力損失

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

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

$dP_{局所, バンドル}$: スペーサなどの局所圧力損失

$dP_{摩擦}$: 摩擦圧力損失

$dP_{加速}$: 加速圧力損失

※異物到達前は、右辺の項のうち、水頭の項がほとんど全てを占める

【試験後の局所圧力損失係数を用いた場合 圧損評価結果】

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

【参考】燃料フィルタに対する試験②（1 / 5） ～試験条件～

 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

【試験の概要】

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

【投入するデブリの条件】

- デブリ種類：繊維質（繊維質保温材を撤去する（撤去完了プラントも有り）が、保守的に設定）
ケイ酸カルシウム（粒子/固形物の代表として設定）
- 想定デブリ発生量：保温材撤去前の集約結果※1より、Defender装荷の可能性があり保温材量の多い代表プラントについて、格納容器内の繊維質及びケイ酸カルシウム保温材全量がECCSストレーナ到達と仮定（内規でのZOIや水源移行割合を考慮しない、保守的な値）
 - 繊維質：5600kg（70m³）
 - ケイ酸カルシウム：3100kg（20m³）
- ECCSストレーナ通過量：米国の試験※2を参考に、保温材全量のうち0.4%がストレーナを通過すると仮定
 - 繊維質：22kg
 - ケイ酸カルシウム：12kg
- 投入デブリ量：ストレーナ通過量÷燃料体数（350体）の保温材量（均一に分布すると設定）を目安に、投入量を決定
 - 繊維質：64g/体 → 投入量120g
 - ケイ酸カルシウム：35g/体 → 投入量50 + 50g

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

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

【参考】燃料フィルタに対する試験②（2 / 5） ～試験結果～

枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

【試験内容】

以下のそれぞれの条件で流量を1,4,7kg/sに変化させて局所圧損を測定

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

【試験結果】

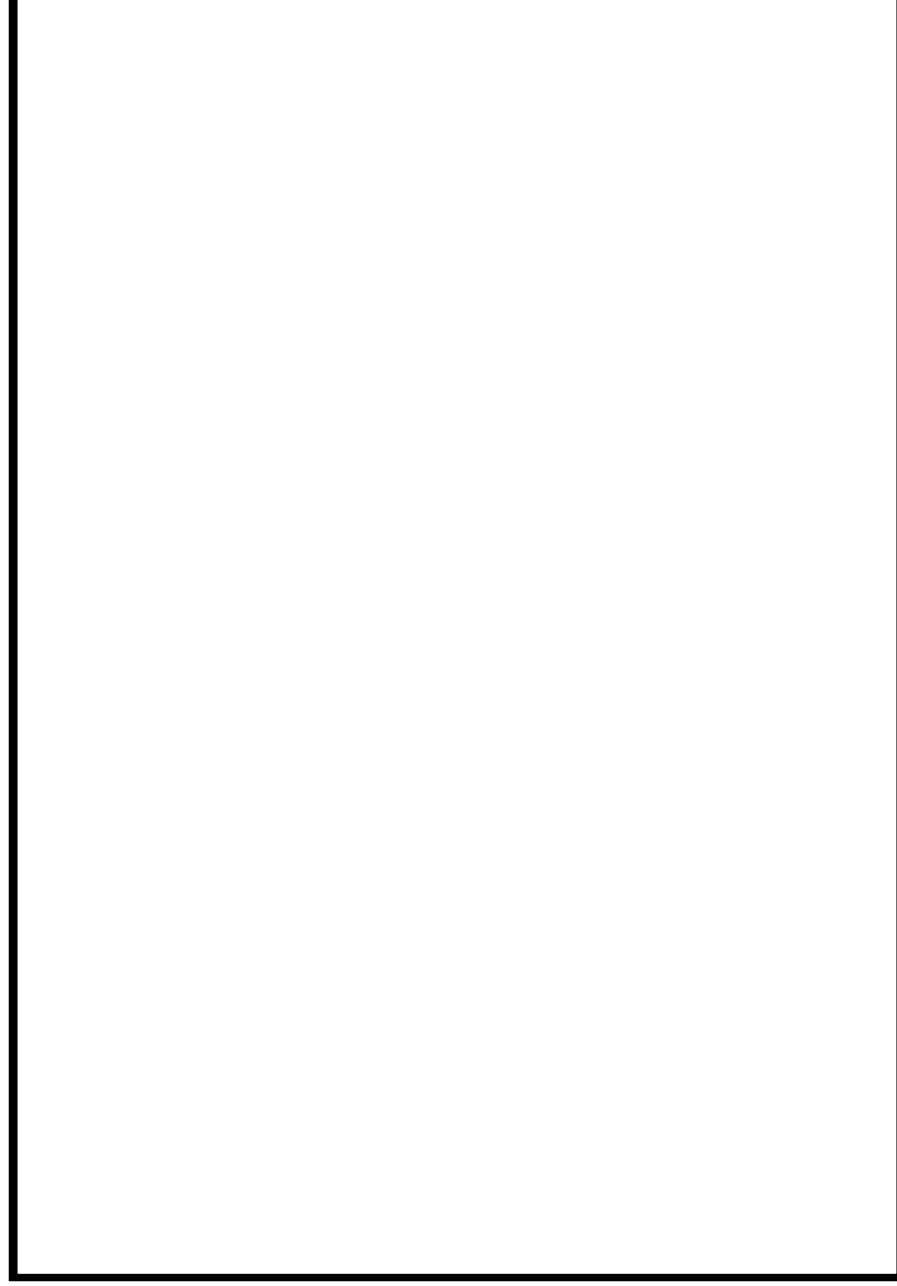
	異物投入	質量流量W [kg/s]	局所圧力損失dP [kPa]	局所圧力損失係数K/A ² [cm ⁻⁴]
②-1	繊維質 120g			
②-2	(追加) ケイ酸カルシウム 50g			
②-3	(追加) ケイ酸カルシウム 50g			

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

【参考】燃料フィルタに対する試験②（3 / 5） ～試験結果～

枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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



【参考】燃料フィルタに対する試験②（4 / 5） ～長期冷却性評価～

□ 枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

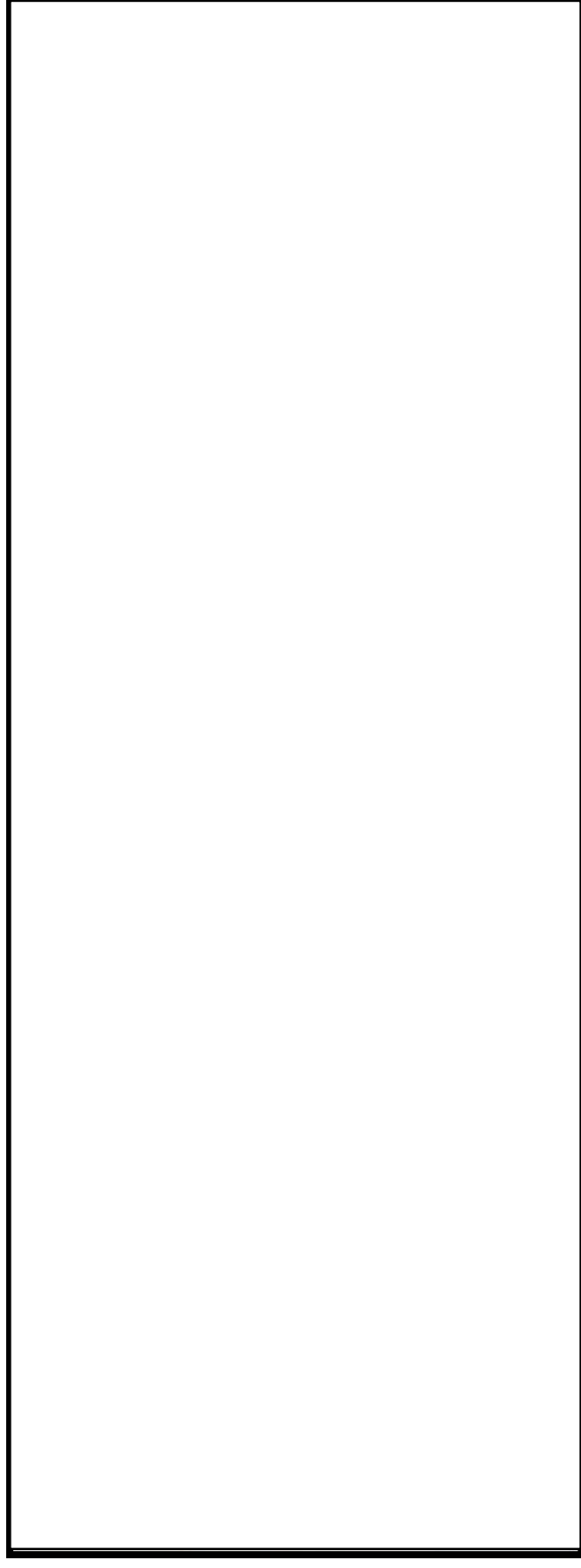
【LOCA後の長期冷却性について】

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

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

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

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



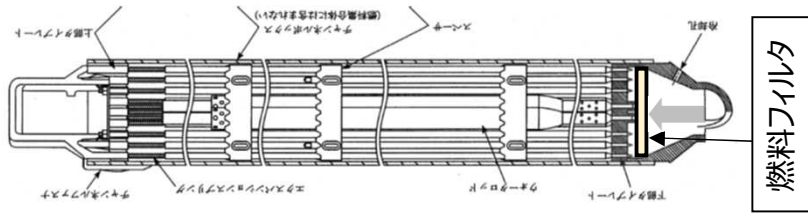
下面（上流）側

上面（下流）側

【参考】ストレーナを通過したデブリによる炉心（燃料）への影響整理

● 炉心（燃料）への影響を下表の通り整理

影響項目	影響の整理
燃料集合体の閉塞	<ul style="list-style-type: none"> 燃料上部はECCSストレーナよりメッシュサイズが大きいため、ストレーナを通過したデブリによる燃料上部への冷却材の流入に影響はない。燃料上部への流入例を以下に示す。 [ABWR：燃料上部へのまわり込みによる流入] [BWR5：燃料上部へのスプレー等での流入] また、燃料下部にはECCSストレーナよりメッシュサイズの小さな燃料フィルタを設置するプラントもあるが、薄膜効果の要因となる繊維質の保温材を除去していることから、燃料下部への冷却材の流れは確保できると考えられる。 なお、念のため、デブリが燃料フィルタに到達したと仮定した燃料フィルタの圧損試験の結果からも、LOCA後の長期冷却に必要な流量が確保できることを確認した。 試験①：繊維質デブリを投入した燃料フィルタの圧損試験の結果から、燃料下部へも必要な流量が確保できることを確認 試験②：繊維質デブリ及び粒子／固形物の代表としてケイ酸カルシウムを投入した燃料フィルタの圧損試験を実施し、試験①の範囲内であることを確認 [薄膜効果確認のため繊維質デブリも投入しているが、国内BWRは繊維質保温材撤去]
燃料集合体の摩耗	金属デブリによる燃料棒被覆管へのプレッティング摩耗※の影響が考えられるが、上流のストレーナや燃料フィルタによる捕捉により影響は小さい。 また、燃料内部に捕捉された場合にもLOCA後の炉心冷却材の流量は運転中と比べ低いこと、LOCA後の長期冷却期間（1か月程度）は燃料の使用期間（4～5年程度）と比べ短いことから、影響は小さい。



※プレッティング摩耗：燃料内部に捕捉された金属デブリが流体により繰り返し振動することによって燃料棒被覆管が損傷する事象（過去原子炉運転中に発生）

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

● 下流機器（ポンプ、弁、熱交換器）への影響を下表の通り整理

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

以上の理由からポンプ、弁、熱交換器への影響は小さいと考えられる

【参考】設置変更許可添付十への影響について

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

✓ LOCA（設計基準事故）時：

⇒設置変更許可添付十での評価に影響を及ぼすものではないと考える

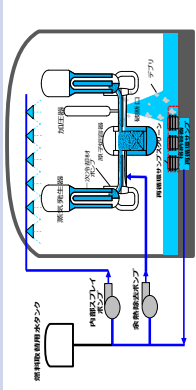
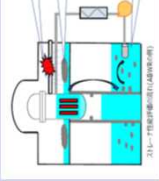
- ・下流機器への影響（閉塞、摩耗）：影響が小さいことを確認（29頁参照）
- ・炉心（燃料）への影響（閉塞）：燃料上部／下部に影響がないことを確認（5～10頁参照）
- ・炉心（燃料）への影響（摩耗）：影響が小さいことを確認（28頁参照）

✓ LOCA（重大事故等）時：

⇒設置変更許可添付十での評価に影響を及ぼすものではないと考える

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

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

	PWR	BWR
サンプスクリーン/ECCSストレーナ性能評価	<p>・1次系全体(SG、加圧器等)を格納容器内に収容 ⇒CV内構造体、保温対象設備が多い ⇒LOCA時ジェットによる破損塗装／保温材が多い</p> 	<p>・原子炉で直接蒸気を発生させることから、SG/加圧器が不要 ⇒格納容器内構造体、保温対象設備が少ない ⇒LOCA時ジェットによる破損塗装／保温材が少ない</p> 
設備構成 (格納容器内)		
規制要求	非化学デブリによる異物圧損は 薄膜効果が発生する事を前提 としても許容圧以下であること。	
設計対応	<p>・格納容器内構造体、保温対象設備が多いが圧損低減のためのスクリーン大型化の構造上の制約がない ⇒スクリーン大型化により圧損低減を図る (スクリーンの異物圧損評価に影響しないため、繊維系保温材量低減は不要と評価)</p>	<p>・格納容器内構造体、保温対象設備が少ない ・圧損低減のためのストレーナ大型化は構造上の制約がある (配置スペース、耐震評価上) ⇒ストレーナ大型化 (従来から実施) に加え繊維質保温材を撤去し、圧損低減を図る</p>
設備対応方針	<p>・スクリーン大型化 (スクリーン表面積拡大) で対応 (繊維保温材の取替は実施しない)</p>	<p>・繊維保温材を可能な限り撤去 ・ストレーナ大型化 (従来から実施) の組み合わせで対応</p>
燃料集合体	<p>・オープンチャンネル (局所から流入した冷却材が炉心全体へ広がる)</p>	<p>・クローズチャンネル (他の燃料集合体との冷却材の移動はない)</p>
下流炉内影響	<p>・非化学デブリによる炉心入口部の圧損は小さい ・化学デブリ析出後は代替流路から冷却材供給可能 ・非化学/化学デブリによるLOCA後の炉心長期冷却への影響はない</p>	<p>・燃料上部は流路が広く、デブリによる閉塞は生じない ・繊維保温材を撤去しており、LOCA後の炉心長期冷却への影響はない ・燃料下部に仮に繊維質含め実機を包含する保守的な条件のデブリが到達したと仮定しても、冷却材を供給可能</p>