

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密あるいは防護上の観点
から公開できません

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-270-6 改 12
提出年月日	平成 30 年 7 月 31 日

工事計画添付書類に係る補足説明資料

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

(関係する添付書類名：

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)

本資料は、工認添付書類「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」の記載内容を補足するものである。以下に補足説明項目を示す。

目次

- 補足 1. 内規との比較表
- 補足 2. 重大事故等時の発生異物量評価について
- 補足 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
- 補足 4. 重大事故等時圧損試験における保守性について
- 補足 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

内規	評価内容	既工認	PWR (教質2号)
<p>経済産業省</p> <p>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>平成20年2月27日</p> <p>原子力安全・保安院長 藤田 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「EGCS」という。)に係るろ過装置(以下「ストレーナ」という。)について、附帯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>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EGCSに係るポンプ(以下「EGCSポンプ」という。)の有効吸入水頭が、当該ポンプの必要有効吸入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) 保温材の破損量評価 LOCA時に破損する一次系配管の周辺に設置されている保温材について、その破損量が評価されていること。その際、配管の破損様式については、一次系大口径配管の完全周縁破断が設定され、配管の破断点については、保温材の管理状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) 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</p>	<p>：ストレーナ圧損評価に関係しない項目</p> <p>1. ストレーナの性能評価 (1) 保温材の破損量評価</p> <p>① 【破断想定点の考え方はPWR同様】 内規に従い、保温材の破損量が最大となることが想定される、一次系配管である再循環系配管 [] の完全両端破断を想定している。</p> <p>② 【Z01内保温材の算出方法はPWR同様】 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) の半径の球の中に存在するサブセル保温(金属反射型)について、将来的な変動に配慮した物量として、 [] m²としている。</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。</p> <p>②旧内規図2(内規の別表第1に相当する。)に示す破損影響範囲に従い、設定している。</p>	<p>①内規に従い、保温材の破損量が最大となる点を設定している。</p> <p>②内規別表第1に示す破損影響範囲に従い、設定している。</p>

内規	評価内容	既工認	PWR (教質2号)
<p>③ 示す保温材の種類に応じ、破断点を中心とした回表に示す半径の球であること。</p> <p>④ 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タンクをいう。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乘じた値を、当該移行量から減算す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>⑤ 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、当該異物の種に示す量とすることができることとする。</p> <p>⑥ 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、圧損試験の基準に当たっては、別記2に示す留意事項が考慮されていること。</p> <p>⑦ 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。</p> <p>⑧ 冷却材の接近流速 ECGS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号に基づき工事計画書における記載値)以上を基準に設定されていること。</p> <p>⑨ 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径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>⑩ 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ンレス鋼製の面積の75%分を差し引いて算出されていること。</p> <p>⑪ 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。)を捕獲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量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、薄膜効果の発生開始量未満の場合には、薄膜効果の発生開始量の繊維質が付着すること。 B 繊維質の想定される最大付着量が、薄膜効果の発生開始量以上の場合には、薄膜効果が発生すること。 なお、別記1の評価式以外でも、同等の圧損試験により妥当性が証明された式であれば、使用することができることとする。</p>	<p>(2) 破損保温材のECCS水源への移行量評価</p> <p>③ 【保温材のECCS水源への移行量の考え方はPWR同様】 内規別表第2に従い、前記(1)で評価された保温材の破損量[m²]に対し、移行割合である50% (カプセル保温(金属反射型))を乗じた[m²]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>(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 【保温材以外の異物量の考え方はPWR同様】 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>(4) 異物付着による圧損上昇の評価</p> <p>⑤ 【接近流速設定の考え方はPWR同様】 内規に従い、代替循環冷却系ポンプ(250 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最も厳しくなるよう、保守的に残留熱除去系ポンプ運転時の定格流量(1691.9 m³/h)を想定している。</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、PWR同様別記1に示す式により評価】 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⑩～⑭に示す)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、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。</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>⑤旧内規に従い、ECCS水源に移行した異物が各ストレーナに系統流量に基づき分配され、かつ、全量ストレーナに付着することを想定している。具体的には、RHRポンプ、HPCSポンプ、LPCSポンプの各1台運転を想定し、前記④の異物が各ポンプの定格流量により分配されるとして評価している。このため、ストレーナ1機当たりにつ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式により求められている。</p>	<p>PWR(教質2号)</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。ただし、滞留水区分画の体積比率を減じている。詳細は⑩に示す。</p> <p>④内規別表第3に従い、設定している。非DBA仕様塗装は使用しておらず、破損保温材以外の異物のECCS水源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>⑤内規に従い、評価している。なお、PWRでは、各ECCSポンプで1機のサンプスクリーンを兼用しているため、各ポンプの系統流量に基づき分配は考慮していない。</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、また、化学影響生成異物の圧損は圧損試験により求められている。</p>

内規	評価内容	既工認	PWR (教質2号)
	<p>⑥ 【温度設定の考え方はPWR同様】 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50℃から、保 守的に32℃としている。 冷却材の接近流速は、代替循環冷却系ポンプ (250 m³/h) に対して、異物付着による圧損上昇が最も厳 しくなるよう、残留熱除去系ストレーナに通水され る流量1691.9 m³/hを設定している。</p> <p>⑦ 【有効表面積の考え方はPWR同様】 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 [] 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 の総面積 [] m² の75%分を差し引き、 [] m² としている。</p> <p>⑧ 【PCV内に繊維質保温材を使用していない】 東海第二発電所では、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>	<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1691.9 m³/hを設定している。</p> <p>⑦ 既工認において、ステッカー類のそ の他異物は考慮していない。</p> <p>⑧ ECCS 水源に移行すると想定した繊維 質保温材は薄膜効果発生開始量以上 のため、薄膜効果による圧損上昇を 想定している。</p>	<p>⑥ 内規に従い、以下のよう に設定している。 ・ 圧損上昇評価の際に用い る水温は、NPSH 余裕がも つとも厳しくなる再循環 切替時点の温度が低めと なる評価を実施した結果 に余裕をみて50℃とし ている。 ・ 冷却材の接近流速は、工事 計画書記載値以上かつ配 管ルートの圧損に基づく 最大流量 [] m³/h) と している。</p> <p>⑦ 内規に従い、以下のよう に設定している。 ・ 最低水位を算出する際は、 床ドレン及びびキヤビタイ ドレンが閉塞したことを 想定し、閉塞により滞留 する体積を差し引いてい る。 ・ 最低水位で水没するスク リーン面積は、その他異 物として想定したステッ カー類の総面積 (60m²) の 75% (45m²) を差し引いて いる。</p> <p>⑧ ECCS 水源に移行すると想 定した繊維質保温材は薄 膜効果発生開始量以上の ため、薄膜効果による圧 損上昇を想定している。</p>

内規	評価内容	既工認	PWR (教質2号)
<p>④ (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EGOS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、EGOS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. ストレナーの耐震性及び構造強度の評価 ストレナー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。 並びに材料及び構造強度については、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よる異物付着による異物荷重及び差圧を組み合わせたもとに、BMRにおいて、原子力安全委員会「BMR 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。 ストレナー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許容応力制限を設け、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>圧損評価に關係しない項目</p> <p>3. その他の評価 (耐震・強度評価等の評価で考慮する。) ストレナーの網目の粗さは、EGOSポンプ下流のスプレインズル、EGOS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>④LOCA 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ナーナに付着することによる圧損の上昇を考慮したポンプの有効吸込水頭の算出においては、原子炉格納容器の背圧は考慮していない。</p> <p>なお、全交流動力電源喪失事象においては、原子炉隔離時冷却ポンプ及び常設高圧代替注水系ポンプは、設計基準対処施設としての使用条件を超えて運転する(LOCA 事象ではないため異物による圧損影響はない)が、当該系統の有効吸込水頭の評価においては、原子炉格納容器の背圧を考慮する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器の背圧は、全交流動力電源喪失事象における解析結果に基づき設定を行うが、当該評価を行う際には、解析の初期条件として格納容器圧力は大気圧、さらに、格納容器雰囲気温度を10℃に設定し、格納容器圧力の評価結果を低めに評価する感度解析結果に基づき設定する。 <p>【PWR 同様、格納容器圧力の解析が保守的な結果を与えるよう初期条件を設定】</p>	<p>④LOCA 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ナ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>④LOCA 時に破損する保温材及び格納容器内に存在する異物がストレナ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、原子炉格納容器の背圧を考慮している。</p> <p>原子炉格納容器の背圧は、最も小さく評価する解析条件を設定して実施した解析の結果を用いている。</p>

⑩ 【異物量は異なるが、算出方法はPWR同様】

【別表第1】

・ガブセル保温 (金属反射型)	: 7.4D	<input type="text"/> m ²
・ガブセル保温 (繊維質)	: 7.4D	<input type="text"/> m ³
・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"/> m ³
・(グレーチング)上	:	<input type="text"/> m ³
・(グレーチング)下	:	<input type="text"/> m ³

【別表第2】

・ガブセル保温 (金属反射型)	: 50%	<input type="text"/> m ²
・ガブセル保温 (繊維質)	: 15%	<input type="text"/> m ³
・一般保温 (ケイ酸カルシウム)	: 10%	<input type="text"/> m ³
・一般保温 (繊維質)	: 28%	<input type="text"/> m ³
・(グレーチング)上	: 78%	<input type="text"/> m ³
・(グレーチング)下	:	<input type="text"/> m ³

【別表第3】

保温材以外の異物として、格納容器雰囲気考慮のうえ、以下のように評価している。

- ・耐DBA仕様塗装 (ジェット破損分): 39 kg
- ・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である 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: 現地調査を踏まえ余裕を持たせた値として m³ を考慮している。

●SA時において新たに考慮する異物

(詳細は補足2参照)

- ・耐DBA仕様塗装 (SA時考慮分): ドライウエル及びびべデスタル (ドライウエル部) の全量剥落を想定し, kg としている。
- ・化学影響生成異物: kg 全量考慮。

⑩

別表第1 保温材の破損影響範囲半径

保温材種類	BWR	PWR
カブセル保温 (金属反射型)	7.4D	2.0D
カブセル保温 (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

(注) D: 破断を想定した配管の口径

別表第2 破損保温材のECCS水源への移行割合

保温材種類	BWR	PWR
カブセル保温 (金属反射型)	50%	57% (ドライ型)
カブセル保温 (繊維質)	15%	68% (アイスコンデンサ型)
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)	60%
	78% (グレーチング下)	

(注) PWRの表内の値には大型片の移行を意味していないため、グレーチング等による捕捉が見込まない場合には別途評価すること。

別表第3 破損保温材以外に考慮する異物

種類	BWR	PWR
耐DBA仕様塗装	39 kg	半径10Dの球形Z01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	

(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

⑩

・ガブセル保温 (金属反射型)	: 7.4D	<input type="text"/> m ²
・ガブセル保温 (繊維質)	: 7.4D	<input type="text"/> m ³
・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"/> m ³
・(グレーチング)上	:	<input type="text"/> m ³
・(グレーチング)下	:	<input type="text"/> m ³

・ガブセル保温 (金属反射型)	: 50%	<input type="text"/> m ²
・ガブセル保温 (繊維質)	: 15%	<input type="text"/> m ³
・一般保温 (ケイ酸カルシウム)	: 10%	<input type="text"/> m ³
・一般保温 (繊維質)	: 28%	<input type="text"/> m ³
・(グレーチング)上	: 78%	<input type="text"/> m ³
・(グレーチング)下	:	<input type="text"/> m ³

・耐DBA仕様塗装 (ジェット破損分): 39 kg

・堆積異物: スラッジ 89 kg, 錆片 23 kg, 塵土 68 kg

・化学影響生成異物: kg

・ガブセル保温 (金属反射型)	: 2.0D	<input type="text"/> m ³
・ガブセル保温 (繊維質)	: 2.4D	<input type="text"/> m ³
・一般保温 (ケイ酸カルシウム)	: 5.5D	<input type="text"/> m ³
・一般保温 (繊維質)	: 36.5D	<input type="text"/> m ³
・(グレーチング)上	:	<input type="text"/> m ³
・(グレーチング)下	:	<input type="text"/> m ³

内規別表第2に示す値から、滞留水区画の体積比率 14%を減じた値としている。

・ガブセル保温 (金属反射型)	: 50%	<input type="text"/> m ³
・ガブセル保温 (繊維質)	: 86%	<input type="text"/> m ³
・一般保温 (ケイ酸カルシウム)	: 86%	<input type="text"/> m ³
・一般保温 (繊維質)	: 52%	<input type="text"/> m ³
・(グレーチング)上	: 86%	<input type="text"/> m ³
・(グレーチング)下	: 86%	<input type="text"/> m ³

・DBA仕様塗装: kg

・非DBA仕様塗装: kg

・堆積異物: 繊維質 13.6 kg, 粒子 77.1 kg

・その他異物: 60 m³以下に管理するため、60.0 m³とする。

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	異常荷重	差圧	通常運転速度	運転時	SRV荷重	LOCA荷重			地盤荷重	供用状態
							7~4 破断時	7+4 蒸気発生 (CH)	S1 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 I	○								○		C (III AS)
運転状態 II	○								○		C (III AS)
運転状態 II	○								○		D (IV AS)
運転状態 IV (L)	○	○	○						○		C (III AS)

..... : ストレート特長

- SRV荷重とLOCA荷重はB6のみ考慮する。なお、Mark-IIブランドではSRV荷重とチャッキングは組み合わせなくともよい。
- 地震荷重については、日本原子力発電所建設技術指針「原子力発電所建設技術指針 (改訂版) (2001・1984)」の場合で記載。ただし、「発電用原子力施設に関する新設計指針 (平成18年9月19日原子力安全委員会決定)」に基づき新設計指針を行う発電用原子力施設については、上記設計指針における基準地震動S2及び基準地震動S1に係る取組内容を、基準地震動S2及び発生設計用地震動S2に適用して行うこと。基準地盤S2及び発生設計用地震動S2に適用して行うこと。基準地盤S2及び発生設計用地震動S2に適用して行うこと。
- SS及び発生設計用地震動S2に適用して行うこと。基準地盤S2及び発生設計用地震動S2に適用して行うこと。
- 運転状態 IV (L) ……運転状態 IV の状態のうち、地震動のみ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、運転・燃料取扱 (SME S NC1-2005) のSBR-2110、SBR-2233の定義により記載。

(耐震・強度評価等の評価で考慮する。)

別表第5 ストレートの許容応力^{※1}

供用状態	1次一般運転応力	1次最大曲げ応力	1次+2次応力 ※2
A	S ※3	長期間重 1.5S 短期間重 1.8S	Sa
B			
D	S ※4	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としてよい。 1.2Sとしてよい。	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、撤れ解折 は不要。)
C (III AS)			
D (IV AS)	0.6Su	左欄の1.5倍	

- ※1 : 日本原子力発電所建設技術指針「原子力発電所建設技術指針 (改訂版) (2001・1984)」及び日本原子力発電所建設技術指針「原子力発電所建設技術指針 (改訂版) (2001・1984)」の場合。ただし、「発電用原子力施設に関する新設計指針 (平成18年9月19日原子力安全委員会決定)」に基づき新設計指針を行う発電用原子力施設については、上記設計指針における基準地震動S2及び発生設計用地震動S2に適用して行うこと。
- ※2 : 2次応力が発生する場合は考慮
- ※3 : 運転状態 IV (L) のみ
- ※4 : 運転状態 IV (S) のみ
- S ……設計引張応力、S_y ……設計引張強さ、S_u ……許容応力、U_f ……撤れ解折係数

<p>内規</p> <p>別記1</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>《NUREG/CR-6224評価式》(繊維質・粒子状異物に対する式)⁽¹⁾</p> $\frac{dH}{dL_0} = C \left[3.5S_e^2(1-\epsilon_m)^3 \right]^{1/5} \left[1 + 57(1-\epsilon_m)^3 \right] \mu U + 0.66S_e \frac{(1-\epsilon_m)}{\epsilon_m} \rho_w U^2 \left[\frac{dL_m}{dL_0} \right]$ <p>dH: 圧力損失 (m)</p> <p>C: 変換定数 (m²/Pa)</p> <p>dL_0: ベッド厚さ (理論値) (m)</p> <p>dL_m: 付着後のベッド厚さ (m)</p> <p>S_e: 異物の比面積 (m²/m³)</p> <p>ϵ_m: 混合異物の空隙率</p> <p>μ: 水の粘性係数 (kg/(m·s))</p> <p>ρ_w: 水の密度 (kg/m³)</p> <p>U: 吸込流速 (接近流速) (m/s)</p> <p style="text-align: center;">GE製ストレーナ</p> <p>GE製ストレーナでは使用しない。</p> </div>	<p>評価内容</p> <p>【PWR同様、内規に基づく評価式で評価】</p> <p>金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808式により求める。</p> <p>繊維質、粒子状異物及び化学影響生成異物の圧損は、NEDO-32721式により求めるが、化学影響生成異物については、保守的な評価となるよう、化学影響生成異物投入後すべての異物を考慮したd値から実機圧損を算出する方法¹⁾よりも、化学影響生成異物投入前の異物を考慮したd値から実機圧損を算出した値に、試験により確認された化学影響生成異物による圧損上昇分を加算する方法とする。</p> <p>NEDO-32721式におけるd値はストレーナ圧損試験結果から下式にて求める。</p> $d = \sqrt{\frac{\mu \cdot h \cdot K_h}{\rho_w \cdot g}}$ <p>ここで、</p> <p>h: 圧力損失 (m)</p> <p>μ: ストレーナ側面に対する接近流速 (m/s)</p> <p>U: ストレーナ側面に対する異物厚さ (m)</p> <p>t: 水の粘性 (kg/(m·s))</p> <p>ρ: 水の密度 (kg/m³)</p> <p>$g = 32.2 (ft/s^2)$</p> <p>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> <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>・繊維質異物、粒子状異物付着による圧損</p> $h = \frac{\mu \cdot h_1 + K_h}{\rho_w \cdot g} \cdot \rho_w \cdot d^2$ <p>ここで、</p> <p>d: 圧力損失 (m)</p> <p>μ: 金属箔のギャップ厚さ (m)</p> <p>U: 接近流速 (m/s)</p> <p>t: 金属箔の表面積 (両面の合計値) (m²)</p> <p>ρ: ストレーナ表面積 (m²)</p> <p>$g = 9.80665 (m/s^2)$</p> <p>K_h: 化学影響生成異物の付着による圧損</p> <p>$h_3 = h_2 - h_1$</p> <p>ここで、</p> <p>h_1: A100H投入直前の圧損 (m)</p> <p>h_2: A100H投入が完了し静定後の圧損 (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>既工認</p> <p>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、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結果から求める。</p>	<p>PWR (教質2号)</p> <p>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>
<div style="border: 1px solid red; padding: 5px;"> <p>《NEDO-32721評価式》(繊維質・粒子状異物に対する式)⁽²⁾</p> $h = \frac{\mu U t}{\rho_w g d^2} \cdot K_h$ <p>h: 圧力損失 (m)</p> <p>U: ストレーナ側面に対する接近流速 (m/s)</p> <p>t: ストレーナ側面に対する異物厚さ (m)</p> <p>μ: 水の粘性 (kg/(m·s))</p> <p>ρ: 水の密度 (kg/m³)</p> <p>g: 重力加速度 (m/s²)</p> <p>d: Interfiber Distance (異物間の隙間を表す値) (m)</p> <p>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> <p>《NUREG/CR-6808評価式》(金属保温異物に対する式)⁽³⁾</p> $\Delta H = \frac{1.56 \times 10^{-5}}{K_t} U^2 \left(\frac{A_{fil}}{A_{str}} \right)$ <p>ΔH: 圧力損失 (m)</p> <p>K_t: 金属箔のギャップ厚さ (m)</p> <p>U: 接近流速 (m/s)</p> <p>A_{fil}: 金属箔の表面積 (両面の合計値) (m²)</p> <p>A_{str}: ストレーナ表面積 (m²)</p> <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. 83-554-06-A1), USNRC, October 1995.</p> <p>(2)NEDO-32721 "Licensing General 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>評価内容</p> <p>【PWR同様、内規に基づく評価式で評価】</p> <p>金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808式により求める。</p> <p>繊維質、粒子状異物及び化学影響生成異物の圧損は、NEDO-32721式により求めるが、化学影響生成異物については、保守的な評価となるよう、化学影響生成異物投入後すべての異物を考慮したd値から実機圧損を算出する方法¹⁾よりも、化学影響生成異物投入前の異物を考慮したd値から実機圧損を算出した値に、試験により確認された化学影響生成異物による圧損上昇分を加算する方法とする。</p> <p>NEDO-32721式におけるd値はストレーナ圧損試験結果から下式にて求める。</p> $d = \sqrt{\frac{\mu \cdot h \cdot K_h}{\rho_w \cdot g}}$ <p>ここで、</p> <p>h: 圧力損失 (m)</p> <p>μ: ストレーナ側面に対する接近流速 (m/s)</p> <p>U: ストレーナ側面に対する異物厚さ (m)</p> <p>t: 水の粘性 (kg/(m·s))</p> <p>ρ: 水の密度 (kg/m³)</p> <p>$g = 32.2 (ft/s^2)$</p> <p>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> <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>・繊維質異物、粒子状異物付着による圧損</p> $h = \frac{\mu \cdot h_1 + K_h}{\rho_w \cdot g} \cdot \rho_w \cdot d^2$ <p>ここで、</p> <p>d: 圧力損失 (m)</p> <p>μ: 金属箔のギャップ厚さ (m)</p> <p>U: 接近流速 (m/s)</p> <p>t: 金属箔の表面積 (両面の合計値) (m²)</p> <p>ρ: ストレーナ表面積 (m²)</p> <p>$g = 9.80665 (m/s^2)$</p> <p>K_h: 化学影響生成異物の付着による圧損</p> <p>$h_3 = h_2 - h_1$</p> <p>ここで、</p> <p>h_1: A100H投入直前の圧損 (m)</p> <p>h_2: A100H投入が完了し静定後の圧損 (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>既工認</p> <p>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、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結果から求める。</p>	<p>PWR (教質2号)</p> <p>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>

別記1

《NUREG/CR-6224評価式》(繊維質・粒子状異物に対する式)⁽¹⁾

$$\frac{dH}{dL_0} = C \left[3.5S_v^2(1-\epsilon_m)^5 \right]^{1/5} \left[1 + 57(1-\epsilon_m)^3 \right] \mu U + 0.66S_v \frac{(1-\epsilon_m)}{\epsilon_m} \rho_w U^2 \left[\frac{dL_m}{dL_0} \right]$$

dH : 圧力損失 (m)
 C : 変換定数 (mPa)
 dL_0 : ベッド厚さ (理論値) (m)
 dL_m : 付着後のベッド厚さ (m)では使用しない。
 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)

GE製ストレーナ

《NEDO-32721評価式》(繊維質・粒子状異物に対する式)⁽²⁾

$$h = \frac{\mu U t}{\rho_w g^2} \cdot K_h$$

h : 圧力損失 (m)
 U : ストレーナ側面に対する接近流速 (m/s)
 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_w : 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

《NUREG/CR-6808評価式》(金属保温異物に対する式)⁽³⁾

$$\Delta H = \frac{1.56 \times 10^{-5}}{K_i^2} U^2 \left(A_{fou} / A_{str} \right)$$

ΔH : 圧力損失 (m)
 K_i : 金属箔のギャップ厚さ (m)
 U : 接近流速 (m/s)
 A_{fou} : 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)

- 参考文献
- (1)NUREG/CR-6224, G. Ziger et al., "Parametric Study of the Potential for BWR ECCS Strainer Blockage Due to LOCA Generated Debris", (SEA No. 83-554-06-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.

金属反射型保温材による圧損は、NUREG/CR-6808 式を適用する。

$$h_{BWT} = (1.56 \times 10^{-5} / K_i^2) \cdot U_{RMT}^2 \cdot (A_{fou1} / A_c) \cdot 0.0254 \cdot h_{BWT}$$

ここで、

K_i : []
 U_{RMT} : []
 A_{fou1} : []
 A_c : []

注記1：化学影響生成異物投入後すべての異物を考慮したd値から実機圧損を算出する方法を用いるとh=[](m)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限分を加算する方法により求めた圧損=[](m)よりも小さくなる。以下に計算過程を示す。

$$d = \sqrt{\frac{\mu \cdot U \cdot t}{\rho_w \cdot g} \cdot K_h}$$

ここで、

h : []
 μ : []
 U : []
 t : []
 ρ_w : []
 $g = 9.81 \text{ (ft/s}^2\text{)}$
 K_h : []

・繊維質異物、粒子状異物、化学影響生成異物付着による圧損

$$h = \frac{\mu \cdot U \cdot t}{\rho_w \cdot g^2} \cdot K_h$$

ここで、

d : []
 μ : []
 U : []
 t : []
 $\rho_w = 9.810665 \text{ (m/s}^2\text{)}$
 K_h : []

内規	評価内容	既工認	PWR (教質2号)
<p>別記2</p> <p>圧損試験の実施に当たった際の留意事項</p> <p>圧損試験の実施に当たっては、プラント毎に実施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サンプスクリーニング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>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、付着量が何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小さ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>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、試験水量の実験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>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>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>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があるが、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系統の準備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、その上昇の程度は、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 サンプスクリーニング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た際の留意事項</p> <p>⑭ 【投入異物の順序は PWR 同様、繊維質の後に粒子状異物を投入する。】</p> <p>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> <ol style="list-style-type: none"> 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（ｼﾞｯﾌﾟ破損分） ⑦ 非 DBA 仕様塗装（耐性未確認） ⑧ 耐 DBA 仕様塗装（SA 時剥落）*2 ⑨ 化学影響生成異物（Al(OH)₃） <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 塗装が剥落し、ストレーナに到達することを想定している。</p> <p>注記*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>⑭ 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> <ol style="list-style-type: none"> ① スラッジ ② 塵土 ③ 錆片 ④ 耐 DBA 仕様塗装（ｼﾞｯﾌﾟ破損分） ⑤ 繊維質保温材 	<p>⑭ 圧損試験においては、内規に則り、繊維質を堆積させた後、粒子を付着させている。</p>

内規	評価内容	既工認	PWR (教質2号)
<p>別記2</p> <p>圧損試験の実施に当たった際の留意事項</p> <p>圧損試験の実施に当たっては、プラント毎に実施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サンプスクリーニング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、付着量が何量であってもストレーナー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異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 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、試験水量の実験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 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>⑮ ストレーナー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地度細かくする必要がある。</p> <p>⑯ 試験流速については、実機と同程度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>⑰ 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>⑱ PWRにおいては、冷却材がほうろく水であり、ECCS系統の準備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ーの圧損が上昇する可能性があるがあり、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>参考文獻 JNES-SS-0703「PWR サンプスクリーニング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 【試験の終了判断はPWRと同等】 実機の SA 時に代替循環冷却系ポンプを運転する場合においては、チャッキングなどの水力学的動荷重は働いておらず、S/P内のデブリは十分静定している状態であることが想定されるが、攪拌機を使用した上でストレーナー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、 圧損試験設備内の戻り水は、定格流量時に生じる実機の接近流速と同等以上となるように試験装置の接近流速を設定し、試験タンク床にその流量を戻して攪拌させているとともに、試験中は攪拌機を使用して攪拌状態を維持する。 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、ストレーナーナ単位表面積あたりの水量を小さく設定している。 試験水量比 (ストレーナー単位面積当たり) : <input type="text"/> m³/m² 実機水量比 (ストレーナー単位面積当たり) : <input type="text"/> m³/m²</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。 【破損保温材】 繊維質：シュレツ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。 【繊維質のサイズはPWRと同等】 金属反射型保温材：NUREG/CR-6808 に記載のある、米国内での金属保温材破損試験結果に基づき金属箔を切断し、投入している。 【金属保温材のサイズはPWR同様】</p>	<p>⑬ 同左 ただし、試験水量比 <input type="text"/> m³/m² とし て評価している。</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いい。</p>	<p>⑬ 圧損試験においては、圧損上昇が静定する状態まで確認している。具体的には、 <input type="text"/></p> <p>⑭ 保温材は実機にて使用しているものを使用する。 ● 繊維質はCV内に最大量存在し、圧損上昇上保守的と考えられる繊維質保温材を使用する。 【異物の細かさ】 ・ 繊維はグレーチング通過サイズ以下になるように細かくしている。(グレーチング通過サイズ以下の割合は、保温材破損試験の結果からみて保守的であることを確認している) ・ ケイ酸カルシウムは十分に微細と考えられる粒子状に粉碎している。 ・ 金属保温は、NUREG/CR-6808 に記載のある、米国内での金属保温材破損試験結果に基づき金属箔を切断している。</p>

内規	評価内容	既工認	PIR (教質2号)
<p>別記2</p> <p>圧損試験の実施に当たった際の留意事項</p> <p>圧損試験の実施には、プラント毎に実施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「PIRサンプスクリュー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ー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と比べ、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異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、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うように配慮するとともに、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>⑮ 4. ストレーナー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>⑯ 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>⑰ 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. PIRにおいては、冷却材がほうげ水であり、EGS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、ヒドランジンはほうげ水に添加することから、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ー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、実験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「PIR サンプスクリュー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た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： [] 程度のペインントチップを圧損試験に投入している。 非 DBA 仕様塗装： [] 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。 <p>【粒子状異物のサイズは文献より設定】</p> <ul style="list-style-type: none"> その他異物：圧損試験に投入しない。 (格納容器内に存在するスチッカーの総面積の75%を、ストレーナー有効表面積から差し引いて評価しているため。) <p>【その他異物は PWR 同様試験に投入しない】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 <p>【化学影響生成異物の取扱は PWR 同様】</p>	<p>● 堆積異物は NEI04-07 の SER APPENDIX7 に記載と同等の密度である珪砂を用い、粒子径分布についても同記載と同等に準備する。</p> <p>● 塗装については、試験水槽へ投入後の繊維同士の隙間に入り込みやすいように若干小さい粒子径であり、密度がほぼ同等であるクルミ殻粉末を投入する。</p> <p>【異物の細かさ】</p> <ul style="list-style-type: none"> 塗装は、クルミ殻を、十分微細と考えられる粉末程度まで粉砕している。 <p>● 化学影響生成異物は、WCAP-I6530-NP を用いて算出し、オキシ水酸化アルミニウムを試験装置に投入している。</p>	<p>PIR (教質2号)</p>

内規	評価内容	既工認	PWR (教質2号)
<p>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、プラント毎に実施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、実験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 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、試験水量の実験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 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>⑮ ストレーナに付着させる異物については、実験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>⑯ 試験流速については、実験と同等以上の換流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、実験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>⑰ 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、ヒドランズ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、実験の条件を模擬して日単位で圧損上昇が落ち遅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>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 【接近流速の考え方はPWR同様】 接近流速は大きいほど異物がストレーナに吸着し、圧損が上昇することから、代替循環冷却系ポンプの定格流量 250 m³/h を上回る残留熱除去系ポンプの定格流量 1691.9 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>⑯ 【温度設定の考え方はPWR同様】 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、添付書類十のサブレンジョン・プール水温度解析結果より、LOCA 後数十秒後には約 50 ℃以上となることから、保守的に 32 ℃として設定している。</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、実験と同等以上としている。 実験の運転手順ではポンプの状態に応じポンプを止めることも可能であるため、接近流速は遅くなるなり圧損は小さくなるが、圧損試験の際は、上記を考慮せず、接近流速を実験と同等以上で一定としている。</p> <p>⑯圧損試験は室温で実施することとし、試験時に水温計測を行い設計条件の水温に換算を行う。尚、水温の違いによる圧損の違いは各水温における水の動粘性係数で換算を行っている。</p>

重大事故等時の発生異物量評価について

添付書類「V-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。

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、ECCS ポンプの吸込流によりストレーナに付着する事象を想定している。

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

第1表 圧損上昇の要因となる異物（設計基準事故時）

考慮する異物の種類		物量	補足	
一般保温 (繊維質)		0 m 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)		□ 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。	
粒子状異物	耐 DBA 仕様塗装	39 kg	配管破断により発生する塗装として、内規別表第3に示す物量を考慮している。	
	非 DBA 仕様塗装	□ kg	設計基準事故時の原子炉格納容器内環境に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。 空調ダクト 約□ kg PLR ポンプ電動機 約□ kg D/W クーラ 約□ kg D/W クーラファン電動機 約□ kg チェーンブロック類 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	89 kg	堆積異物は通常運転時からサブレーション・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	□ 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. 重大事故等時の発生異物量

非常用炉心冷却系統（以下「ECCS」という。）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が確認できていない耐 DBA 仕様塗装については、全量の剥落を想定する。重大事故等時に発生する塗装の物量を第 2 表に示す。

第 2 表 重大事故等時に発生する塗装の物量

異物の種類		SA 時	備考
塗 装	耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)	39 kg	破損塗装が最大となる大破断 LOCA 時を想定するため、設計基準事故時と同様の評価となる。
	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 環境剥落)	□ 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、重大事故等時における塗装の耐性が確認できていないため、保守的にドライウエル及びペDESTAL（ドライウエル部）内の塗装の全剥落を想定する。 ドライウエル内：□ kg ペDESTAL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、pH 制御装置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^{*1}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。

東海第二発電所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 ドライウエル及びペデスタル（ドライウエル部）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 では対象外としている Fe についても、炭素鋼の腐食速度 mdm^{*2} 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, 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 (Al₂O₃・nH₂O) 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、第3表に示す。

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

注記*2: 1 か月あたりの腐食速度 mg/(dm²・month)

注記*3: 「サンプル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)

第3表 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)	<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 (Al-Zn メッキ)	<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 (PCV 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ペDESTAL (ドライウエル部) に落下することとなる。しかし, ペDESTAL部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・プールには人通用開口部を経て流入する構造であること, ペDESTAL (ドライウエル部) 内の構造物は比重が大きいこと (第4表参照) から, 人通用開口部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・プール水面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)

第4表 ペDESTAL (ドライウエル部) 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	7.75	□ kg	<p>ペDESTAL (ドライウエル部) 内に存在する構造物は、比重が大きく、ペDESTAL (ドライウエル部) 内に沈降すると考えられるため、構造物自体がサプレッション・プールに流入することはないと考えられる*。ただし、塗装がされている構造物については、ドライウエル同様、全量の剥落を想定する。</p> <p>(第2表に示すペDESTAL内の耐DBA仕様塗装 □ kg に含まれている。)</p>
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	□ kg	
ケーブルトレイ	炭素鋼	7.78	—	
SRNM案内管	SUS	7.75	—	
LPRM案内管	SUS	7.75	—	
TIP案内管	SUS	7.75	—	
EDサンプ	SUS	7.75	—	
EDサンプクーラ	OFCu	8.94	—	
ED・FDスワンネック	SUS	7.75	—	
EDベントスワンネック	SUS	7.75	—	
スワンネック柵	SUS	7.75	—	
コリウムシールド支持構造物	SUS	7.75	—	
配管類	SUS	7.75	—	
計装品	SUS	7.75	—	
サポート類	SUS	7.75	□ kg	
	炭素鋼	7.78		
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、ペDESTAL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* : ペDESTAL (ドライウエル部) 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。

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第5表に示す。
本発生異物量を考慮して、圧損評価を行う。

第5表 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		原子炉格納容器内に繊維質保温材を使用していないため、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 ²		破損保温材が最大となる大破断 LOCA 時を想定し、DB 時の算出方法より更に保守的に破損影響範囲内の破損影響範囲内の全ての保温材の金属箔の物量に余裕を見込んで算出している。
塗装	耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)	39 kg		破損塗装が最大となる大破断 LOCA 時を想定するため、設計基準事故時と同様の評価となる。
	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 環境剥離)	—	□ 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、重大事故等時における塗装の耐性が確認できていないため、保守的にドライウエル内の塗装の全剥落を想定する。
堆積異物	スラッジ	89 kg		堆積異物は通常運転時からサプレッション・プール内に存在する異物量を想定しており、異物管理及び原子炉起動の際の原子炉格納容器内清掃・点検を実施するため、内規別記3に示す異物を適用する。
	錆片	23 kg		
	塵土	68 kg		
化学影響生成異物		—	□ kg	WCAP 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大破断 LOCA 時注水機能喪失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。
ペDESTAL内構造物		—	0 m ²	構造物の塗装剥落及び化学影響生成異物について考慮する。なお、ペDESTAL内構造物自体は圧損上昇の要因となる異物とならない。

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。

このため、以下では、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。
調査対象を第別 1－1 表に示す。

第別 1－1 表 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		ドライウエル又はペDESTAL (ドライウエル部) に設置されており、耐 DBA 仕様塗装がされている構造物。	PCV 壁面・床面 機器類 配管・弁類 架台・サポート類
化学影響生成異物*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 計測器
	Zn	亜鉛メッキ鋼, Zn を含む合金メッキの構造物, 及びジンク系塗装を使用した構造物	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 仕様塗装がされた構造物のうち, 炭素鋼材料の構造物

注記*1: ドライウエル又はペDESTAL (ドライウエル部) 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。

注記*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第別1－2表に示す。

第別1－2表 構造物の表面積算出方法

No.	設備種別	算出方法
1	PCV 関係	構造図等を用いて、構成部品単位の表面積を算出し、それらを足し合わせて設備の表面積とする。
2	配管・弁類	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>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> <p>また、サポート点数は、配管図を用いて、配管長、サポート間隔（最も短いサポート間隔を用いる）から算出する。</p>
4	ダクト類	ダクト図を用いて、ダクト外周（折込部も外周として加算する）、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、電線管は位置図を用いて、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第別1-3表に、ペDESTAL(ドライウエル部)の構造物の表面積調査結果を第別1-4表に、サプレッション・チェンバ内の構造物の表面積調査結果を第別1-5表に示す。

第別1-3表 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
PCV 関係	フランジ部					
	ライナ円錐部					
	ドライウエルスプレイ管					
	ドライウエル上部 シヤラグ					
	ドライウエル下部 シヤラグ					
	ジェットデフレクタ					
	ハッチ類					
	ドライウエルスプレイ サポート					
	原子炉遮へい壁					
	PCV スタビライザ					
	RPV スタビライザ					
	バルクヘッドプレート					
	燃料交換ベローズ					
	ドライウエルビーム シート					
	ドライウエル貫通部					
	貫通部保温材外装板					
	原子炉圧力容器基礎					
	ドライウエル床面					
	RPV 保温材外装板					
	グレーチング					
ラジアルビーム ストラクチャ サポートスチール						

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
PCV 関係 (続き)	RPV 支持スカート内側					
	下鏡外面					
	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	大口径配管サポート					
	小口径配管サポート					
	操作架台					
	鉄板遮蔽					
ダクト類	ダクト					
	ダクトサポート					
	ダクトドレン					
電線管	電線管					
	電線管サポート					
機器 (PLR ポンプ)	PLR ポンプ (A) 電動機					
	PLR ポンプ (B) 電動機					
機器 (D/W クーラ)	D/W クーラファン					
	D/W クーラ、ファン電動機					
その他	計器類					
	チェーンブロック					
	モノレール, サポート					
	追加サポート					
合 計						

注記* : 非 DBA 仕様塗装を使用している。物量については, 第 1 表に示す。

第別1-4表 ペデスタル（ドライウェル部）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
PCV 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					
	ペデスタル床面					
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					
	小口径配管サポート					
機器 (CRD 交換機)	プラットフォーム					
	グレーチング					
	旋回レール					
	プラットフォーム					
その他	計器類					
	その他					
	合 計					

第別1-5表 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)	塗装面積 (m ²)	溶解表面積 (m ²)		
				Al	Zn	Fe
PCV 関係	サプレッション・チェン バ					
	アクセスハッチ					
	クエンチャサポート					
	真空破壊弁					
	アクセスハッチカバー, プラットホーム					
	サプレッション・チェン バ					
	プラットホーム					
その他	計器類					
	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高温状態が長期間維持されるが、重大事故等時における塗装の耐性が確認できていないため、追加発生を考慮する耐 DBA 仕様塗装としては、ドライウエル及びペDESTAL（ドライウエル部）に設置する構造物の塗装の全量剥落を想定する。

塗装重量は、ドライウエル及びペDESTAL（ドライウエル部）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。

SA 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第別 1 - 6 表に示す。

第別 1 - 6 表 耐 DBA 仕様塗装物量 (SA 環境剥落分) の算出結果

	構造物の全表面積*1 (m ²)	塗装膜厚 (mm)	塗装密度 (g/cm ³)	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 (ペDESTAL)	□			□
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。

注記*2：エポキシ系塗装の密度の代表値として □ g/cm³ と設定している。

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

以上より、ドライウエル及びペDESTAL（ドライウエル）部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、pH制御装置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。

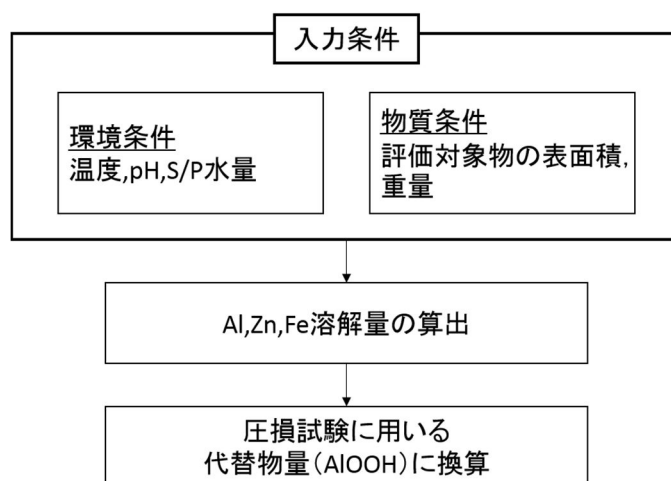
注記*：原子力安全基盤機構の調査では、国内プラントは従来から化学影響の主要因と考えられているアルミニウムや断熱材の腐食に加え、炭素鋼と亜鉛メッキ鋼腐食の影響が大きくなる傾向が示唆されており、JNES-SS-1004にて提案している化学影響評価手法においても、ZnとFeの影響を考慮することが推奨されている。

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式を掛けることで、Al, Znの溶解量を算出する。また、WCAP-16530では対象外としているFeについても、Al, 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（AlOOH）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、第別1-1図に示す。



第別1-1図 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第別1-7表に示す。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第別1-8表に示す。

第別1-7表 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	大破断 LOCA+ECCS 機能喪失+SBO (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】 <input type="text"/>	【サプレッション・プール】 <input type="text"/>
S/P スプレイ水の pH	【ドライウエル】 <input type="text"/>	【サプレッション・プール】 <input type="text"/>

注記*：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。

第別1-8表 Al, Zn, Fe を含む構造物の表面積

	Al (m ²)		Zn (m ²)		Fe (m ²)	
ドライウエル	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ペDESTAL (ドライウエル部)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
サプレッション・チェンバ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
合計	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

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第別 1 - 9 表に示す。

第別 1 - 9 表 Al の溶解速度式における係数

元素	溶解速度式	単位	係数		
			A	B	C
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第別 1 - 10 表に示す。

第別 1 - 10 表 Zn の溶解速度式における係数

元素	溶解速度式	単位	係数		
			A	B	C
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 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 mdm (mg/dm²・month) を用いて溶解量进行评估する。

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

注記*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第別 1-1-1 表に示す。

第別 1-1-1 表 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
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)₃) を使用するため、各金属の溶解を換算し代替物量 (Al(OH)₃ 相当量) を求める。

3.5.1 代替物量評価

各金属の Al(OH)₃ への換算係数 (JNES-SS-1004 規定されている換算係数) を第別 1-1-2 表に示す。

第別 1-1-2 表 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（A100H）の算出結果を第別1-13表に示す。

第別1-13表 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)	<input type="text"/>	1	<input type="text"/>
亜鉛 (Zn)	<input type="text"/>	0.2	
炭素鋼 (Fe)	<input type="text"/>	2	
合 計			<input type="text"/>

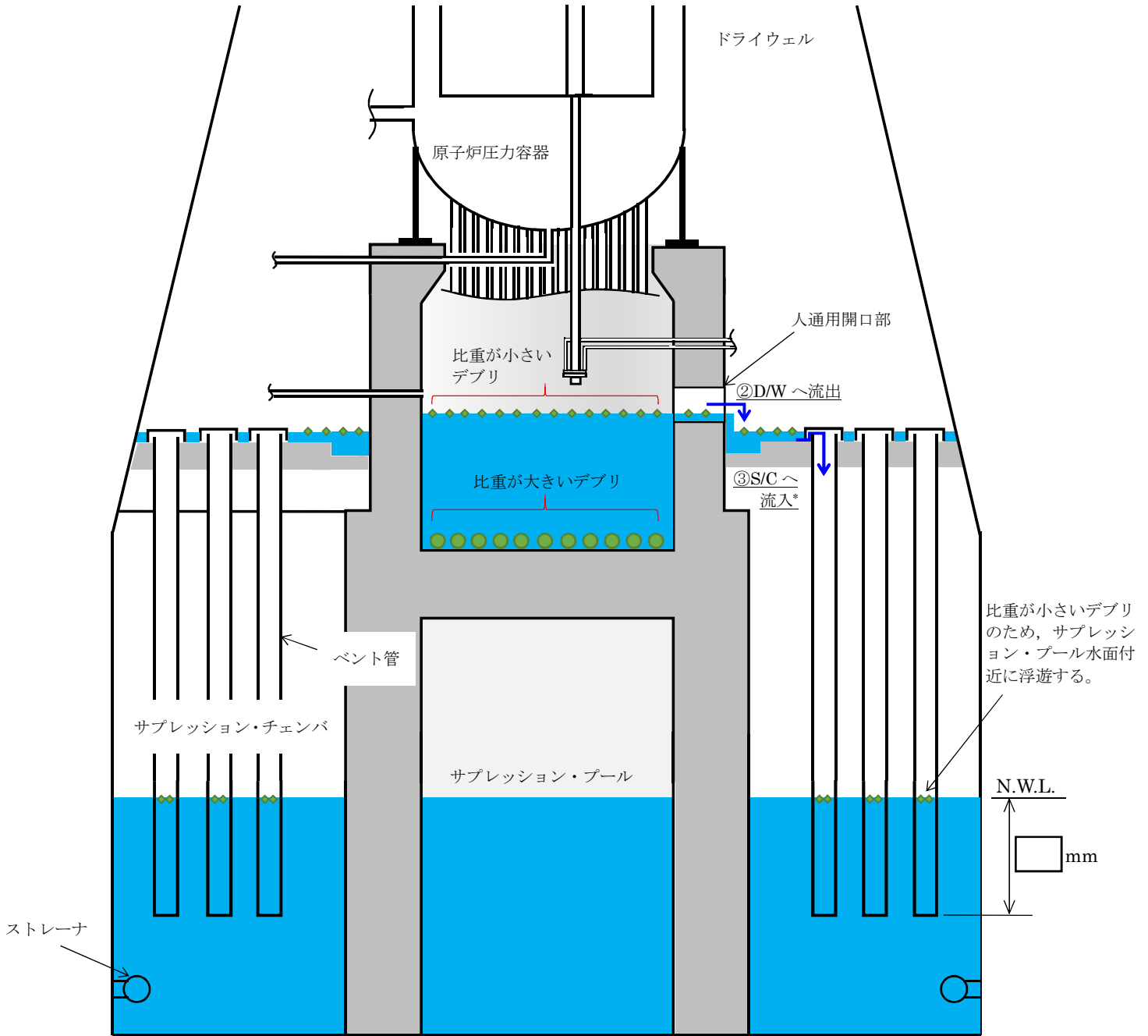
以上より、圧損評価に用いる化学影響生成異物量としては、代替物量の合計値 kg を保守的に丸めた kg とする。

ペDESTAL（ドライウエル部）から サプレッション・プールへの異物流入経路について

ペDESTAL（ドライウエル部）（以下「ペDESTAL」という。）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第別2－1図に示す。

- ① 代替循環系冷却ポンプを運転する事象発生から 1.5 時間後においては、破断口から代替循環冷却系ポンプの流量（250 m³/h）相当の水がペDESTALへ流入する。
- ② ペDESTALの水位が上昇し、人通用開口部を超えた場合、上澄みがドライウエルへ流出する。これに伴い、水面付近の比重が小さい異物がドライウエルへ移行する。
- ③ ドライウエルの水位が上昇し、ベント管を通じてサプレッション・チェンバへ流入するが、その流入速度が小さいため、比重が小さい異物はサプレッション・プール水面に留まる。

以上より、ペDESTALからサプレッション・プールへ移行し得る比重が小さい異物は、水面付近に存在するものであり、これらの異物がサプレッション・プールへ移行したとしても、サプレッション・プール水面付近に存在することから、ストレーナへ到達する可能性は低いと考えられる。また、比重が大きい異物についてはペDESTAL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。



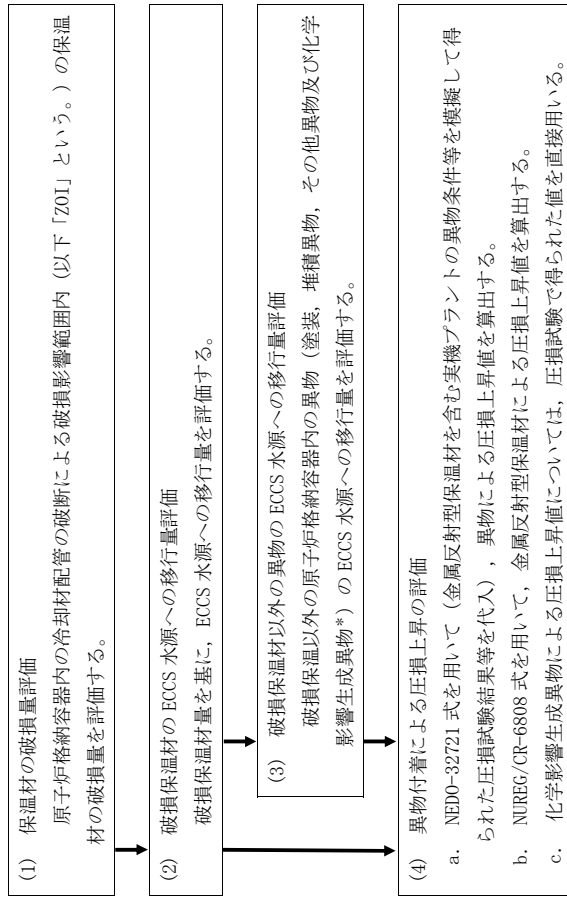
第別 2 - 1 図 ペDESTAL内異物のサブプレッション・プールへの流入経路

注記* : 代替循環冷却ポンプ流量 (250 m³/h) とした場合の S/C への流入速度は 0.002 m/s 程度となる。

$$[(250 \text{ m}^3/\text{h} / 3600) / (\pi / 4 \times 0.597^2 \times 108 \text{ 本})] = 0.002297 \text{ m/s} \rightarrow 0.002 \text{ m/s}$$

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

1. 非常用炉心冷却系ストレーナの異物付着による圧損上昇について
 重大事故等時の非常用炉心冷却系（以下「ECCS」という。）ストレーナの圧損評価においては、原子炉格納容器内の冷却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、代替循環冷却ポンプの吸込流のために注入する水酸化ナトリウム水溶液に付着することに加え、サブプレッション・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）（平成 20 年 2 月 27 日付け平成 20・02・12 原院第 5 号）（以下「内規」という。）を参考に、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 1 に示す。



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

図 1 ECCS ストレーナの圧損上昇の評価の手順

2. ECCS 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 2 GE 社製ストレーナ

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）での美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
試験実施時期 2018 年 6 月 11 日～15 日
- (3) 試験装置の概要
重大事故等時の圧損試験装置を図 3 に、主要仕様を表 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 4 参照）。

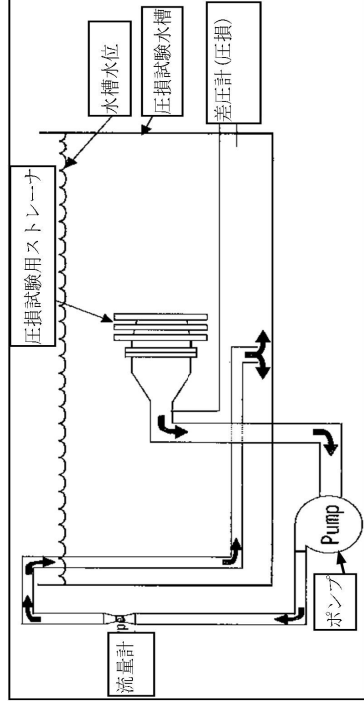


図 3 試験概要図

表 1 試験装置の主要仕様

項目	主要仕様
ブール寸法	直径
	深さ
ブール容量	
ポンプ能力	
ストレーナ直径	
プレート穴径	
プレート穴ピッチ	
ディスク間ギャップ	

図 4 試験用ストレーナ

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) 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ナケングループ）のうち、大破断 LOCA 時注水機能喪失時に S/P を水源として運転を行うポンプは、代替循環冷却系ポンプである。その運転時の通水流量は、250 m³/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、ストレーナを兼用する残留熱除去系ポンプの定格流量（1691.9 m³/h）を用いる。

表 2 ECCS ストレーナを通過する流量

系統設備	流量
代替循環冷却系ポンプ	250 (m ³ /h)
残留熱除去系ポンプ	1691.9 (m ³ /h) *

注記*：流量が大きいポンプを流量条件とした。

b. デブリ条件

重大事故等時において考慮する異物の種類及び量は、東海第二発電所の状況調査に基づき、内規を参考に設定している。実機のデブリ条件を表 3 に示す。

表 3 実機デブリ条件（ストレーナ 2 個に付着するデブリ量）

繊維質 保温材 (kg)	ケイ酸 カルシウム (m ³)	金属 反射型 (m ²)	DBA 時 (或いは SA 時) 発生デブリ			SA 時発生デブリ		
			ケイ酸 スラッジ (kg)	耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損) (kg)	塵土 (kg)	非 DBA 仕様塗装 (耐性未確認) (kg)	耐 DBA 仕様塗装 (SA 時考慮) (kg)	化学影 響生成 異物 Al100H (kg)
			89	39	23	68		

注記*：東海第二発電所では、原子炉格納容器内の繊維質保温材を全て撤去しているが、NEDO 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

実機デブリ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（スケケリング比）、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 4 に示す。

表 4 圧損試験条件

DBA 時 (或いは SA 時) 発生デブリ			SA 時発生デブリ					
繊維質 保温材 (kg)	ケイ酸 カルシウム (m ³)	金属 反射型 (m ²)	ケイ酸 スラッジ (kg)	耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損) (kg)	塵土 (kg)	非 DBA 仕様塗装 (耐性未確認) (kg)	耐 DBA 仕様塗装 (SA 時考慮) (kg)	化学影 響生成 異物 Al100H (kg)

(6) 試験結果

圧損試験結果を図 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 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。

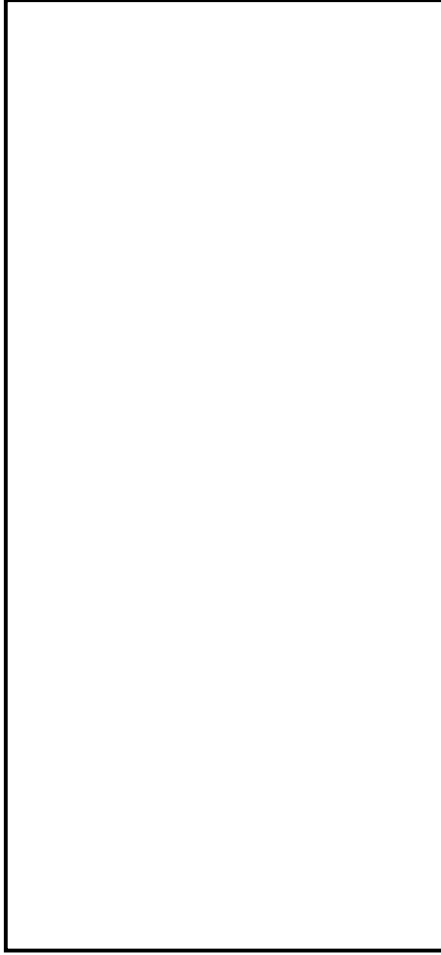


図 5 圧損試験結果

*：許容圧損目安値＝有効 NPSH－必要 NPSH－RMI による圧損

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、考慮するデブリの種類に応じ表 5 の評価式を採用して行う。

表 5 適用する圧損評価式

適用する圧損評価式	考慮するデブリの種類
NEDO-32721	繊維質保温材、ケイ酸カルシウム、スラッジ、塗装片、錆片、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 6 に示すとおりである。

表 6 圧損上昇の評価結果

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

注記*：各異物による圧損上昇結果は小数点以下第 3 位を四捨五入した結果を示す。

5. まとめ

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

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（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，大破断 LOCA 時注水機能喪失時に S/P を水源として運転を行うポンプは，代替循環冷却系ポンプであり，その運転時の通水流量は m³/h である。

保守的な試験となるように，段階的に流量を増加させ，ストレーナを兼用する残留熱除去系ポンプの定格流量（ m³/h）を目標とする。

残留熱除去系ポンプの定格流量（ m³/h）の場合の試験流量は，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（残留熱除去系ポンプ流量の場合）

	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
残留熱除去系	<input type="text"/> *

注記*：試験装置側面積 ÷ 実機側面積 =

(2) デブリの条件

① デブリ量

試験装置に投入するデブリ量は，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 4 に示すデブリのスケーリング比から算出する。

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デブリ量は，表 3 のとおりとなる。

表 3 試験装置に投入するデブリ量

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

注記*1：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。

表 4 デブリのスケーリング比

デブリのスケーリング比(表面積比から設定)	基準面積
残留熱除去系	<input type="text"/> *2

注記*2：試験装置表面積 ÷ 実機表面積 =

② デブリサイズ

試験装置に投入するデブリのうち設計基準事故時に想定しているデブリについては、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）のデブリについては、既工認で想定した耐 DBA 仕様塗装（ジェット破損）と同等のサイズとしている。

各デブリのサイズとその根拠を表 5 に示す。

表 5 デブリのサイズ

	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
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
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 手法に従い合成した A100H

注記*：「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）（平成 20 年 2 月 27 日付け平成 20・02・12 原院第 5 号）」

(3) 試験装置

① 装置の仕様

圧損試験装置は、大型化取替工認時と同じ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。

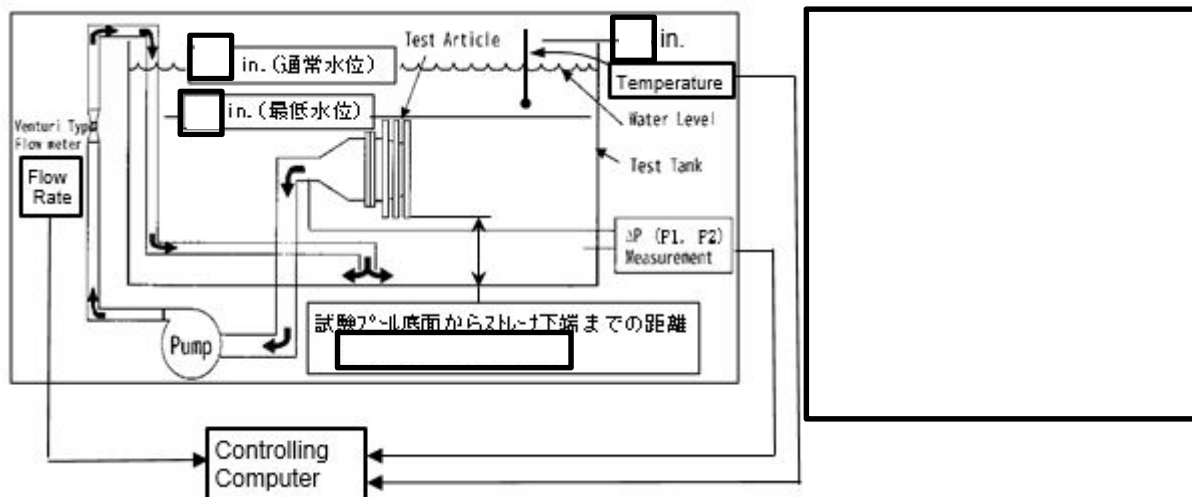


図1 モジュール試験装置概要図 (左：系統概要図 右：ストレーナ写真)

表6 モジュール試験装置の仕様

プール寸法	直径	
	深さ	
プール容量		
ポンプ最大接続個数	1台	
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		
評価用側面積		
試験プールからストレーナ下端までの距離		
攪拌機	箇所設置	

② ストレーナのマスクング

a. マスキング領域

現状使用可能な試験プールの最大水量は [] 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 [] であるため、投入可能な A100H 溶液は [] となる。

実機条件での A100H は [] (kg) であり、実機 ([] ft²) と試験装置 ([] ft²) 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) ÷ [] (g/l) = [] である。

投入可能な A100H 溶液は [] 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。

- ・ ストレーナの表面積 = 現状表面積 × [] = [] ft² × []
- ・ ストレーナの側面積 = 現状側面積 × [] = [] ft² × []

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) : [] m³/m²
- ・ 実機水量比 (ストレーナ単位面積当たり) : [] m³/m²

b. マスキング方向

マスクング方向は、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、実機においてはサブプレッション・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。

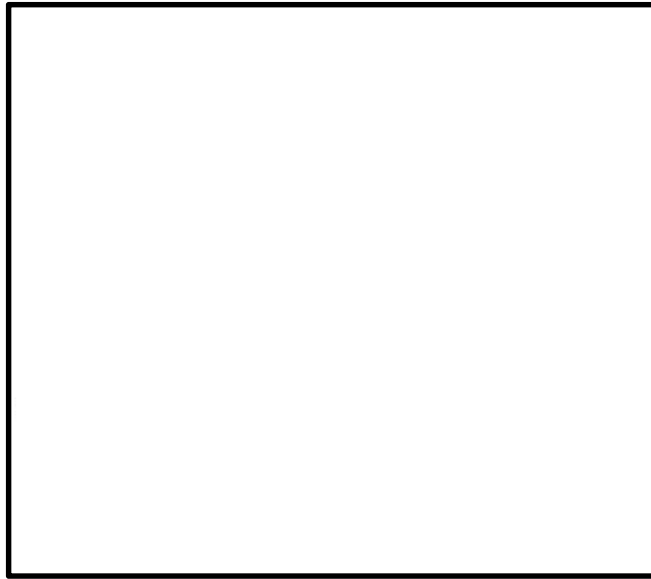


図2 マスキング概要

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

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

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

・ストレーナ基準側面積

$$= \boxed{} \times \boxed{} \times \pi = \boxed{} \text{ m}^2$$

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

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	$\boxed{} \text{ m}^2$	$\boxed{} \text{ m}^2$	$\boxed{} \text{ m}^2$ $\boxed{} \text{ ft}^2$	$\boxed{} \text{ m}^2$ $(\boxed{} \text{ ft}^2)$

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。

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

ここで、

Q : 流量 (m³/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

$$= \boxed{} / \boxed{} = \boxed{} \text{ m/s}$$

・試験装置側面積

$$= \boxed{} \times \boxed{} \times \pi = \boxed{}$$

・試験装置側面の接近流速

$$= \boxed{}^* / \boxed{} = \boxed{} = \boxed{} \text{ m/s}$$

注記* :

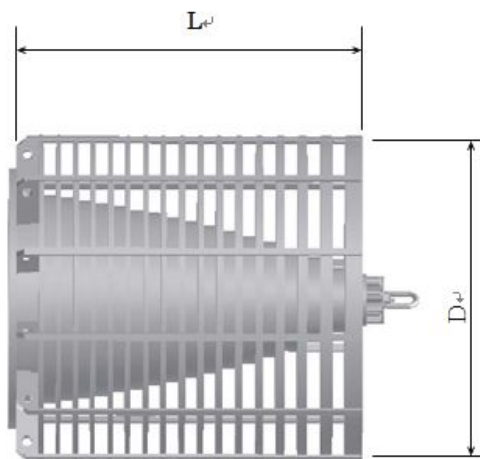


図 3 実機ストレーナ

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"/>	<input type="text"/>
圧 損 (in H ₂ 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* : データシートの手書を様式 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）、耐 DBA 仕様塗装（SA 時剥落）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。

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

⑤ 異物を以下の順序で順次投入する。

デブリ投入前の攪拌機運転状態とデブリ投入中、プール内に水中カメラを投入してプール水中の攪拌状態を確認する。

ただし、スラッジ等を投入後にプール内の視認性が著しく低下した場合には、スラッジ投入初期の攪拌状態により攪拌できていることを判断する。

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

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 流量を増加して，GPM で安定させる。
以後，⑥ (a) ～(c)と同じ。

⑧ 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-NP-A に基づいて作成)

⑨ 攪拌機を停止後，ポンプを停止し試験を終了する。

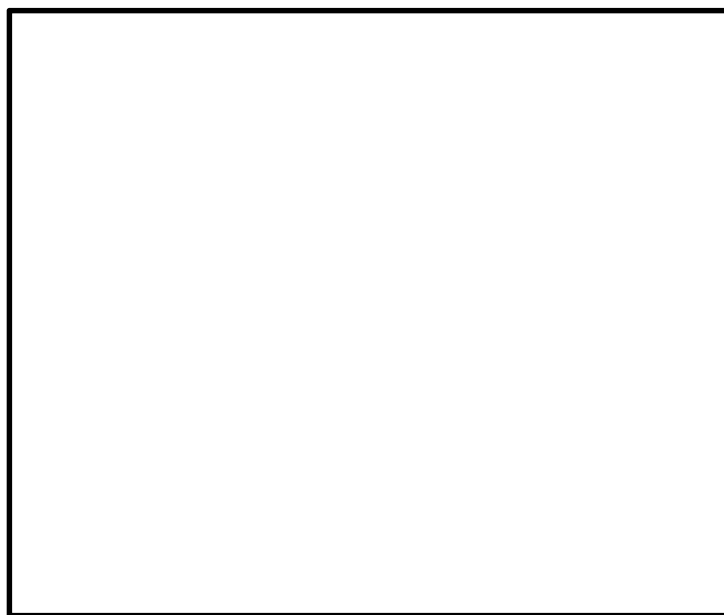


図 4 デブリ投入位置 (試験プール平面図)

(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 (Hsa₁ , Hsa₂ の大きい方)。

- ① 初めに、A100H 投入直前の圧損試験結果 (圧損 h₁)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 (H₁) 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 h₃) を H₁ 加算して SA 時の実機圧損 (Hsa₁) を算出する。

$$Hsa_1 = H_1 + h_3, \quad \text{ここに } h_3 = h_2 - h_1 \quad (\text{図 5 参照})$$

- ② A100H 投入後の圧損試験結果 (圧損 h₂) , 及び d 値を用いて SA 時の実機圧損 (Hsa₂) 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。

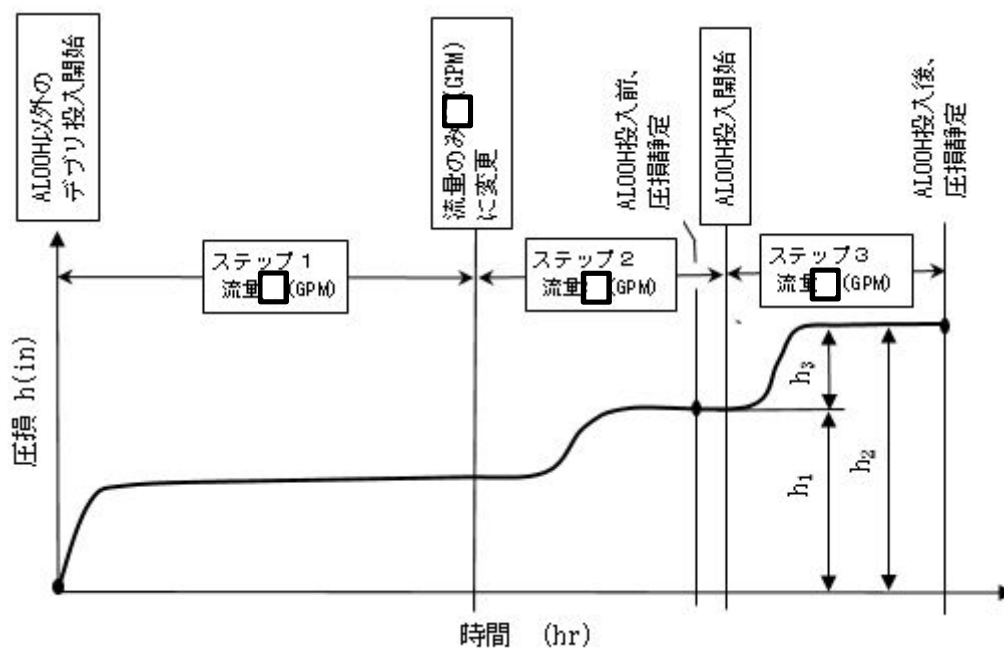
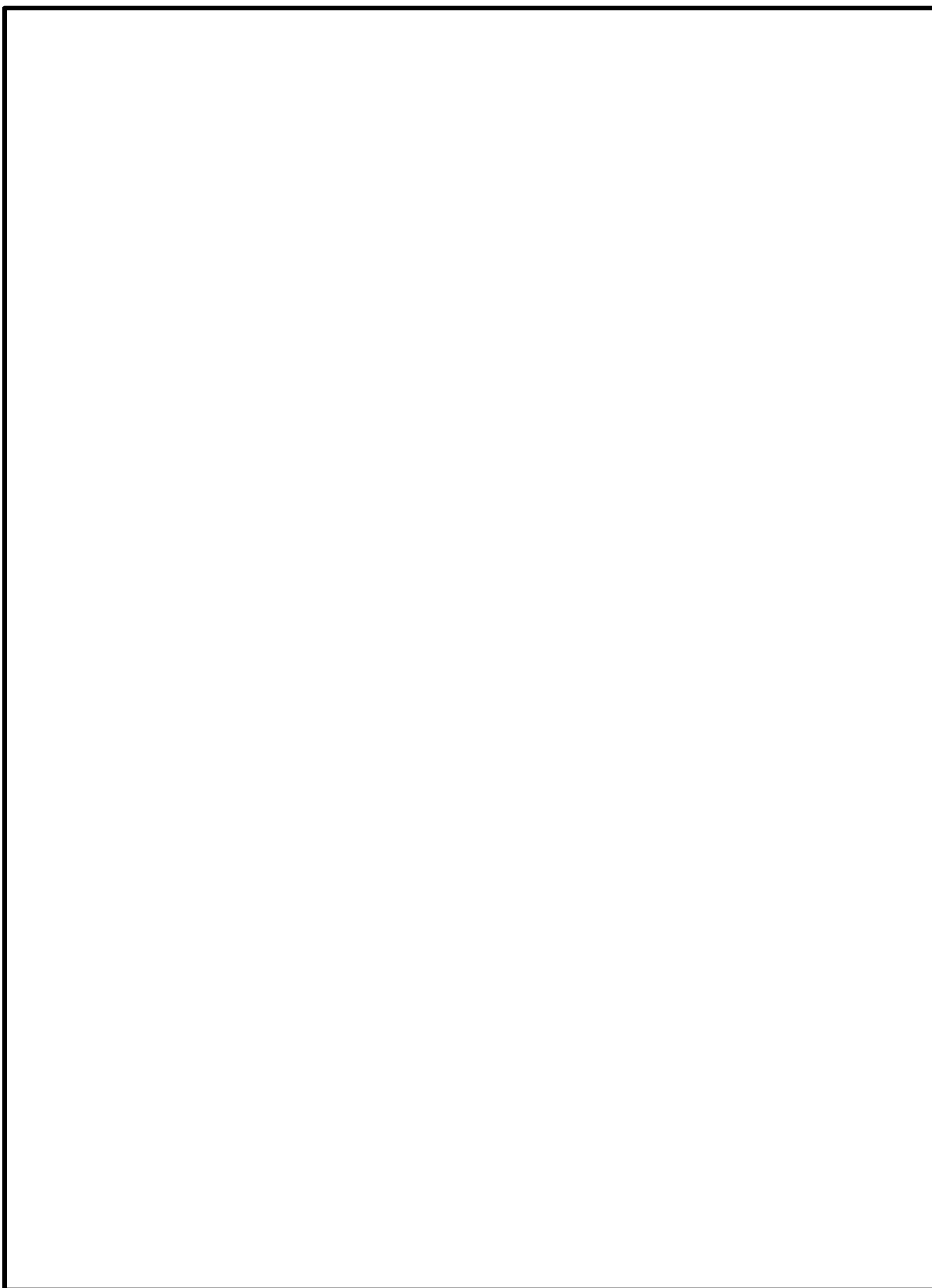


図 5 圧損試験結果の概要

様式 1



重大事故等時圧損試験における保守性について

GE 社製ストレーナの圧損試験の条件は、以下の保守性を有している。

(1) 重大事故等時における異物量

① 繊維質保温材

非常用炉心冷却系ストレーナ設計において、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℃×72 時間+93℃×96 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、ドライウエル及びペDESTAL内の耐 DBA 仕様塗装は全て剥落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）において剥落するとは考えられず、後述するサプレッション・チェンバへの移行タイミング・移行量ともに保守的な試験条件とする。

③ 異物量

重大事故等時に想定する異物量は、計算値に対し下記の余裕をみて設定している。

	【異物量(計算値)】	⇒	【異物量】
繊維質保温材	: 0 (m ³)	⇒	<input type="text"/>
金属反射型保温材	: <input type="text"/> (m ²)	⇒	<input type="text"/> (m ²)
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 では対象外としている Fe についても化学影響生成異物の生成に寄与するものとして考慮している。

Al, Zn 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) に余裕を見込んだ温度とし、pH 制御装置運転後は、高 pH (pH=12) を維持するものとしている。

(2) 異物の移行量

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

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

重大事故時においては、

- ・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、照射線量、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。
- ・また、その他の保温材等の異物についても、代替循環冷却系ポンプの使用開始は、事象発生後 90 分後であり、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、BWR 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の約 mm、に沈降した異物が再浮遊するとは考えられない。

しかしながら本試験条件の前提としては、重大事故等時の異物の想定として、サブプレッション・チェンバ流入後の想定として、経路上での沈降等を考慮せず、全量ストレーナに到達するとしている (ドライウェ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)。

(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、大破断 LOCA 時注水機能喪失時にサブプレッション・チェンバを水源として運転する代替循環冷却系ポンプの通水流量は、250 m³/h である。

これに対して、圧損試験時には、ストレーナを兼用する残留熱除去系ポンプの定格流量 (1691.9 m³/h) までをも考慮した 代替循環冷却系ポンプの約 6.5 倍の試験流量 としている。

なお、重大事故時において、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）： m³/m²

実機水量比（ストレーナ単位面積当たり）： 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 50 °C）に対して保守的により低い °Cとしている。

④ ストレーナ高さ

試験装置のストレーナ取付け高さは、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約 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 mm と約 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デブリがストレーナに吸込み易い条件となっている。

－ 以上 －

1. 圧力低減設備その他の安全設備のポンプ

(1) 代替循環冷却系ポンプの有効吸水頭について

記載内容		値
項目	根拠	
H _a : 吸込み液面に作用する絶対圧力	保守的に吸込み液面に作用する絶対圧力は大気圧とし、 <input type="text"/> m としている。	
H _s : 吸込揚程	静水頭は、以下の差分 <input type="text"/> m としている。 ● 水源の E.L.: <input type="text"/> m (サブレッション・プールの最低水位) 水源の E.L.としては、サブレッション・プールの低水位管理値を保守的に丸めた値とした。 ● ポンプの吸込み口高さ: <input type="text"/> m	
H ₁ : ポンプ吸込配管圧損	サブレッション・プールから代替循環冷却系ポンプまでの配管及び弁類圧損は、代替循環冷却系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、サブレッション・プールから代替循環冷却系ポンプまでの配管及び弁類圧損の合計値は、 <input type="text"/> m となる。 ● 代替循環冷却系ポンプ: 250 m ³ /h×1台 ポンプ吸込配管中の圧力損失水頭は、圧損合計値より <input type="text"/> m に設定する。 注記*1: サブレッション・プールから代替循環冷却系ポンプの吸込配管は、単独取水する配管構成となっているため、他の非常用炉心冷却設備のポンプの運転流量を圧損計算上で考慮する必要はない。	
H ₂ : 異物付着なしの状態におけるストレーナ圧損	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。[算出条件: 残留熱除去系ポンプの評価流量 (1691.9 m ³ /h) を使用] ● 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	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: 残留熱除去系ポンプの評価流量 (1691.9 m ³ /h) を使用] ● 金属保温異物による圧損上昇: <input type="text"/> m ● 粒子状の異物*2及び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: PCV 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、試験装置の制約上 <input type="text"/> mm 相当の繊維質を考慮し、NEDO-32721 式より算出している。 NEDO-32721 式における d 値は、ストレーナ圧損試験結果から下式にて求める。 ・繊維質異物、粒子状異物付着による圧損 $d = \sqrt{\frac{\mu \cdot l \cdot K}{\rho \cdot g \cdot h}} = \text{ (m)}$ ここで、 $h = \text{ (ft)}, \mu = \text{ (ft/s)}, U = \text{ (ft/s)}, t = \text{ (ft)}, \rho = \text{ (ft/s}^2\text{)}, K_h = \text{}$ 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。 $h = \frac{\mu \cdot l \cdot K}{\rho \cdot g \cdot d^2} \cdot K_h = \text{ (m)}$ ここで、	

	$d = \square$ (m), $\mu = \square$ (m/s), $t = \square$ (m ³), $\rho = \square$ $g = 9.80665$ (m/s ²), $K_h = \square$ ・化学影響生成異物による圧損 $h_3 = h_2 - h_1 = \square + \square = \square$ (m) ここで、 h_1 : A100H 投入直前の圧損 = \square (m) h_2 : A100H 投入が完了し静定後の圧損 = \square (m) h_3 : 化学影響生成異物 (A100H) の付着による圧損上昇 (m)	$U = \square$ (m/s), $t = \square$ (m ³), $\rho = \square$
h_s : ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭	代替循環冷却ポンプの最高使用温度 80 °C における飽和蒸気圧力として, \square m としている。	
有効 NPSH $(H_a + H_s - H_1 - H_2 - H_3 - h_s)$	有効 NPSH は、以下の計算式により算出している。 $\text{有効 NPSH} = H_a + H_s - H_1 - H_2 - h_s$ $= \square$ $= \square$ m	
必要 NPSH	代替循環冷却ポンプ運転流量 250 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。 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 : \square m > 必要 NPSH : \square m	

(2) 常設低圧代替注水ポンプの有効吸込水頭について

常設低圧代替注水系ポンプ (評価流量: 200 m ³ /h)		根拠
記載内容	値	
項目		
Ha: 吸込み液面に作用する絶対圧力	水源である代替淡水貯槽は大気開放であるため、吸込み液面に作用する絶対圧力は大気圧 <input type="text"/> m としている。	
Hs: 吸込揚程	静水頭は、以下の差分 <input type="text"/> m としている。 ● 水源の E.L.: <input type="text"/> m (代替淡水貯槽の最低水位) 水源の E.L. としては、代替淡水貯槽の異常低水位 (ポンプ自動停止水位とすると) とした。 ● ポンプの吸込み口高さ: E.L. <input type="text"/> m	
H1: ポンプ吸込配管圧損	管及び弁類圧損は、水源となる代替淡水貯槽からポンプ入口までの配管及び弁類圧損とする。 代替淡水貯槽から常設低圧代替注水系ポンプまでの配管及び弁類圧損は、常設低圧代替注水系ポンプが以下の最大流量で運転することを想定する。 この場合、代替淡水貯槽から常設低圧代替注水系ポンプまでの配管及び弁類圧損の合計値は、評価上、 <input type="text"/> m となる。 ● 原子炉隔離時冷却系ポンプ: 200 m ³ /h × 1 台 ポンプ吸込配管中の圧力損失水頭は、圧損合計値より <input type="text"/> m に設定する。	
hs: ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭	水源である代替淡水貯槽の最高使用温度が 66 °C であるため、66 °C における飽和蒸気圧力 <input type="text"/> m としている。	
有効 NPSH (Ha+Hs-H1-hs)	有効 NPSH は、以下の計算式により算出している。 有効 NPSH = H0+H1-H2-H3-H4 = <input type="text"/> = <input type="text"/> m	
必要 NPSH	常設低圧代替注水系ポンプ運転流量 200 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。 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: <input type="text"/> m > 必要 NPSH: <input type="text"/> m	