

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7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-028-10-10 改0
提出年月日	2020年3月19日

ECCS ストレーナの評価条件等の整理について

2020年3月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

非常用炉心冷却系ストレーナ（以下「ECCS ストレーナ」という。）に対して、内規及び圧損試験による条件を踏まえた評価を実施することについて、以下に評価条件等の整理を行った。

2. ECCS ストレーナに関わる内規について

ECCS ストレーナに関わる内規の時系列を以下に示す。

- ① 平成 17 年 10 月 25 日 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（内規）」（以下「H17 年内規」という。）
- ② 平成 20 年 2 月 27 日 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）」※平成 20 年 3 月 1 日施行（以下「H20 年内規」という。）

3. ECCS ストレーナ関連の既提出工事認可申請について

ECCS ストレーナ関連の既提出工事認可申請について以下に示す。

- ① 平成 18 年 7 月 31 日 総官発 18 第 86 号 申請
- ② 平成 18 年 8 月 17 日 平成 18・07・31 原第 44 号 認可
- ③ 平成 20 年 2 月 29 日 総官発 19 第 305 号 申請
- ④ 平成 20 年 4 月 7 日 平成 20・02・29 原第 10 号 認可

4. 技術基準の規定について

技術基準における ECCS ストレーナの評価に関連する規定を以下に示す。

技術基準	評価に関連する規定
5 条・50 条（地震による損傷の防止）	設計基準対象施設：地震荷重 $S_d$ 、 $S_s$ で評価する必要がある。 重大事故等対処設備：地震荷重 $S_s$ で評価する必要がある。
17 条（材料及び構造）	H20 年内規に適合することが解釈（17 条 4）に記載されている。
55 条（材料及び構造）	設計基準対象施設の規定（17 条）を準用することが解釈に記載されている。

5. 既工認及び今回工認における評価条件の整理  
既工認及び今回工認における評価条件を以下に示す。

対象		評価条件	
		既工認	今回工認
残留熱除去系	ストレーナ本体	H17 年内規に 基づき評価	H20 年内規に 基づき評価
	ストレーナ部ティー*	—	
	ストレーナ取付部コネクタ	H17 年内規に 基づき評価	
高圧炉心注水系	ストレーナ本体	H17 年内規に 基づき評価	
	ストレーナ部ティー*	—	
	ストレーナ取付部コネクタ	H17 年内規に 基づき評価	
原子炉隔離時冷却系	ストレーナ本体*	—	
	ストレーナ部ティー*	—	

注記\*：施設時の適用規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和 55 年 10 月 30 日 通商産業省告示第 5 0 1 号）となることから、強度計算書において設計・建設規格又は告示による評価を実施する。

6. ECCS ストレーナの評価に用いる荷重について

表 6-1 に ECCS ストレーナの評価における荷重の組合せを示す。今回工認における ECCS ストレーナの評価において、同一の荷重の組合せである場合は、より大きな荷重の組合せを代表で評価条件として用いる。このため、設計基準対象施設（以下「DB」という。）及び重大事故等対処設備（以下「SA」という。）として評価に用いる荷重の比較を表 6-2 に示す。

なお、水力学的動荷重の算出については別紙 1 に示す。

表 6-1 ECCS ストレーナ評価用荷重の整理

【内規に記載の組合せ】

運転状態	死荷重	異物荷重	通常運転温度	差圧	SRV 荷重		LOCA 荷重			地震荷重		供用状態
					運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮(CO)	チャギング(CH)	Sd	Ss	
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(III <sub>A</sub> S)
運転状態 I	○										○	D(IV <sub>A</sub> S)
運転状態 II	○				○					○		C(III <sub>A</sub> S)
運転状態 II	○				○						○	D(IV <sub>A</sub> S)
運転状態IV (L)	○	○		○						○		C(III <sub>A</sub> S)

3

【今回工認で考慮する組合せ】

分類	運転状態	死荷重	異物 <sup>*1</sup> 荷重	通常運転温度	差圧	SRV 荷重		LOCA 荷重			地震荷重		供用状態
						運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮(CO)	チャギング(CH)	Sd	Ss	
強度計算書 記載項目	SA	運転状態 V (L)	○	○		○							重大事故等時 <sup>*2</sup>
		運転状態 V (S)	○	○		○			○				重大事故等時 <sup>*2</sup>
		運転状態 V (S)	○	○		○		○		○			重大事故等時 <sup>*2</sup>
		運転状態 V (S)	○						○				重大事故等時 <sup>*2</sup>
耐震計算書 記載項目	DB	運転状態 I	○								○		C(III <sub>A</sub> S)
		運転状態 I	○									○	D(IV <sub>A</sub> S)
		運転状態 II	○				○				○		C(III <sub>A</sub> S)
		運転状態 II	○				○					○	D(IV <sub>A</sub> S)
	SA	運転状態IV (L)	○	○		○					○		C(III <sub>A</sub> S)
		運転状態 V (L) <sup>*3</sup>	○	○		○					○		D(IV <sub>A</sub> S) <sup>*4</sup>
		運転状態 V (LL)	○	○		○						○	D(IV <sub>A</sub> S) <sup>*4</sup>

注記\*1：原子炉隔離時冷却系については、重大事故等時のシーケンス上、LOCA 時の機能要求がないことから、異物荷重を考慮しない。

\*2：重大事故等時として運転状態 V (L) は供用状態 A，運転状態 V (S) は供用状態 D の許容限界を用いる。

\*3：運転状態 V (L) は、運転状態 V (LL) の評価で代表される。

\*4：許容応力状態 V<sub>A</sub>S として IV<sub>A</sub>S の許容応力を用いる。

表 6-2 荷重の大小関係の整理

No.	荷重の種類		説明
1	異物荷重 DB 時 $\geq$ SA 時		ストレーナの圧損試験の評結果より, DB 時圧損が SA 時圧損を上回るため, ストレーナに付加される異物の量は DB 条件での値に包絡できることから, DB 時 $\geq$ SA 時 DB 時圧損 : <input type="text"/> m SA 時圧損 : <input type="text"/> m
2	差圧 DB 時 $\geq$ SA 時		ストレーナの圧損試験の評結果より, DB 時 $\geq$ SA 時
3	SRV 荷重	中小破断時 DB 時 = SA 時	DB, SA 時ともに逃がし安全弁作動時にサブプレッションプール内に設置される構造物に考慮すべき荷重であり, DB 時荷重 = SA 時荷重
4	LOCA 荷重	プールスウェル DB 時 = SA 時	DB, SA 時ともに LOCA 時に発生するプールスウェルの際にサブプレッションプール内に設置される構造物に考慮すべき荷重であり, DB 時荷重 = SA 時荷重
5		蒸気凝縮 (CO) DB 時 = SA 時	DB, SA 時ともに LOCA 時に発生する蒸気凝縮の際にサブプレッションプール内に設置される構造物に考慮すべき荷重であり, DB 時荷重 = SA 時荷重
6		チャギング (CH) DB 時 = SA 時	DB, SA 時ともに LOCA 時に発生するチャギングの際にサブプレッションプール内に設置される構造物に考慮すべき荷重であり, DB 時荷重 = SA 時荷重
7	地震荷重	S <sub>s</sub> 荷重 $\geq$ S <sub>d</sub> 荷重 (又は静的震度)	S <sub>d</sub> 荷重は S <sub>s</sub> 荷重の 1/2 程度であり, S <sub>s</sub> 荷重 $\geq$ S <sub>d</sub> 荷重 (又は静的震度)

7. 異物量の整理

内規に基づきストレーナ評価にて考慮する異物量については、「破損保温材」, 「破損保温材以外に考慮する異物」が定義されており, 以下にその整理を行う。

(1) 破損保温材の異物量

表 7-1 に示すとおり内規に基づき異物量を算出した。

[H20 年内規 記載]

(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。

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
カプセル保温 (金属反射型)	50%	57% (ドライ型) 68% (アイスクонден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%

表 7-1 破損保温材の ECCS 水源への移行割合と異物量\*1

No.	保温材種類	既工認 (H17 年内規)	圧損試験 (DB 時)	圧損試験 (SA 時)
①	カプセル保温 (金属反射型)	50% 【 <input type="text"/> m <sup>2</sup> 】	50% 【 <input type="text"/> m <sup>2</sup> 】	50% 【 <input type="text"/> m <sup>2</sup> 】
②	カプセル保温 (繊維質)	15% 【 <input type="text"/> m <sup>2</sup> 】	15% 【 <input type="text"/> m <sup>2</sup> 】	15% 【 <input type="text"/> m <sup>2</sup> 】
③	一般保温 (ケイ酸カルシウム)	10% 【 <input type="text"/> m <sup>3</sup> 】	10% 【 <input type="text"/> m <sup>3</sup> 】	10% 【 <input type="text"/> m <sup>3</sup> 】
④	一般保温 (繊維質)	28% (グレーチング上) 78% (グレーチング下) 【 <input type="text"/> m <sup>3</sup> ( <input type="text"/> kg*2 )】	28% (グレーチング上) 78% (グレーチング下) 【 <input type="text"/> m <sup>3</sup> ( <input type="text"/> kg*2 )】	28% (グレーチング上) 78% (グレーチング下) 【 <input type="text"/> m <sup>3</sup> ( <input type="text"/> kg*3 )】

注記 \*1: 異物量は移行割合を乗じた後の値を示す。

\*2: 内規に基づき付着厚さ 3mm 相当を考慮している。

\*3: 実機のドライウェル内では、繊維質保温材を撤廃しているが、付着厚さ 0.3mm 相当を考慮している。

(2) 破損保温材以外に考慮する異物

表 7-2 に示すとおり内規に基づき異物量を算出した。

[H20 年内規 記載]

(3) 破損保温材以外の異物のECCS水源への移行量評価

破損保温材以外の格納容器内に存在する異物について、破断流・格納容器スプレイによる流動及び格納容器内雰囲気を考慮の上で、ECCS水源への移行量が評価されていること。その際、存在する異物の量については、原則として、発電設備毎の状況調査に基づき保守的な量としていること。ただし、異物管理及び原子炉起動の際の格納容器内清掃・点検を実施している場合に限り、別表第3に示す異物の種類に応じ、当該異物の欄に示す量とすることができることとする。

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	

表 7-2 破損保温材以外に考慮する異物

No.	種類	既工認 (H17 年内規)	圧損試験 (DB 時)	圧損試験 (SA 時)
⑤	耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)	□ kg	□ kg	□ kg
⑥	非 DBA 仕様塗装	—	□ kg	□ kg
⑦	堆積異物	スラッジ	□ kg	□ kg
⑧		錆片	□ kg	□ kg
⑨		塵土	□ kg	□ kg
⑩	その他異物	—	□ m <sup>2</sup>	□ m <sup>2</sup>
⑪	耐 DBA 仕様塗装 (SA 環境剥落) *1	—	—	□ kg
⑫	化学影響生成異物	—	—	□ kg

注記\*1：重大事故等時において原子炉格納容器内温度が上昇することから、塗装片の追加発生を考慮。

(3) 今回工認で考慮する異物の整理

表 7-1 及び表 7-2 より、DB/SA 評価の異物で考慮すべき対象を次のとおり整理する。

① カプセル保温（金属反射型）：

DB/SA の評価で考慮が必要。DB 時の圧損試験では、評価式により試験投入不要としているが、異物荷重としては考慮すべきであるため、DB 時でも考慮する。

② カプセル保温（繊維質）：

繊維質保温材を撤廃しているため、DB/SA 共に考慮不要。

③ 一般保温（ケイ酸カルシウム）：

DB/SA の評価で考慮が必要であり、現場調査の確認結果による値を用いる。

④ 一般保温（繊維質）：

繊維質保温材を撤廃しており、DB/SA 共に考慮不要であるが、DB では内規の薄膜効果を考慮するため、付着厚さ 3mm 相当の考慮が必要。SA では内規に規定がなく繊維質ゼロ相当として付着厚さ 0.3mm 相当の考慮が必要。

⑤ 耐 DBA 仕様塗装（ジェット破損）：

DB/SA の評価で考慮が必要であり、内規記載の値を用いる。

⑥ 非 DBA 仕様塗装：

DB/SA の評価で考慮が必要であり、現場調査の確認結果による値を用いる。

⑦ スラッジ：(DB/SA)

⑧ 錆片：(DB/SA)

⑨ 塵土：(DB/SA)

} 堆積異物

DB/SA の評価で考慮が必要であり、内規記載の値を用いる。

⑩ その他異物：(DB/SA)

DB/SA の評価で考慮が必要。圧損試験では、ストレーナ表面積からステッカー類の総表面積の 75%分を差し引いて考慮しているため、試験には投入していないが、異物荷重としては考慮すべきであるため、現場調査の確認結果による値を用いる。

⑪ 耐 DBA 仕様塗装（SA 環境剥落）

⑫ 化学影響生成異物

} SA 時に考慮する異物

SA 時に考慮すべき異物であるが、この異物を考慮した圧損試験の結果、DB 条件で得られた圧損より小さい値であることが確認できたことから、ストレーナに付加される異物の量は DB 条件での値に包絡できると考えられるため、評価には含めない。



(4) 評価で考慮する異物のまとめ

上記より，今回工認で考慮する異物について表 7-3 に示す。

表 7-3 異物のまとめ

No.	異物の種類	評価で考慮する異物量	備考
①	カプセル保温 (金属反射型)	<input type="text"/> m <sup>2</sup>	移行割合と破損影響範囲
②	カプセル保温 (繊維質)	—	繊維撤廃
③	一般保温 (ケイ酸カルシウム)	<input type="text"/> m <sup>3</sup>	移行割合と破損影響範囲
④	一般保温 (繊維質)	<input type="text"/> kg 〔 DB : <input type="text"/> kg 〕 〔 SA : <input type="text"/> kg 〕	繊維撤廃 ただし以下を考慮 DB : 付着厚さ 3mm 相当 SA : 付着厚さ 0.3mm 相当
⑤	耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)	<input type="text"/> kg	内規記載値
⑥	非 DBA 仕様塗装	<input type="text"/> kg*1	確認結果
⑦	堆積異物	スラッジ <input type="text"/> kg	内規記載値
⑧		錆片 <input type="text"/> kg	内規記載値
⑨		塵土 <input type="text"/> kg	内規記載値
⑩	その他異物	<input type="text"/> m <sup>2</sup>	確認結果
⑪	耐 DBA 仕様塗装 (SA 環境剥落)	—	圧損試験結果より含めず
⑫	化学影響生成異物	—	圧損試験結果より含めず

注記\*1 : ストレーナの吸込影響範囲を踏まえた保守性について別紙 2 に示す。

## 水力学的動荷重の算出について

## 1. はじめに

原子炉冷却材喪失時及び逃がし安全弁作動時には、サプレッションプール水中の構造物に様々な荷重が作用する。これらの荷重に関する評価は、ABWRであっても基本的に MARK-II 型格納容器での現象と同等であることから、「BWR, MARK-II 型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針」（昭和 56 年 7 月 20 日決定 平成 2 年 8 月 30 日一部改訂）（以下「MARK-II 指針」という。）に準じて荷重の評価を行う。本書は、ABWR においてストレーナに作用する水力学的動荷重の評価の概要について説明するものである。

## 2. 水力学的動荷重の現象及び評価項目

水力学的動荷重は、原子炉冷却材喪失時に発生するものと、逃がし安全弁作動時に発生するものの二つに大別される。それぞれの事象について、図 2-1 及び図 2-2 にその概要を示す。また、ABWR のストレーナにおいて考慮する水力学的動荷重を表 2-1 に示す。

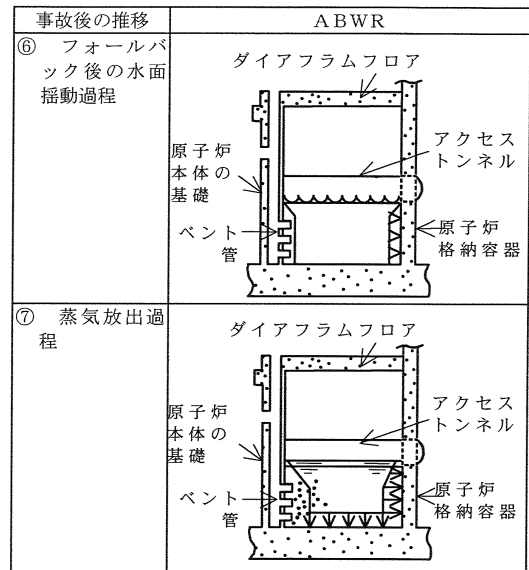
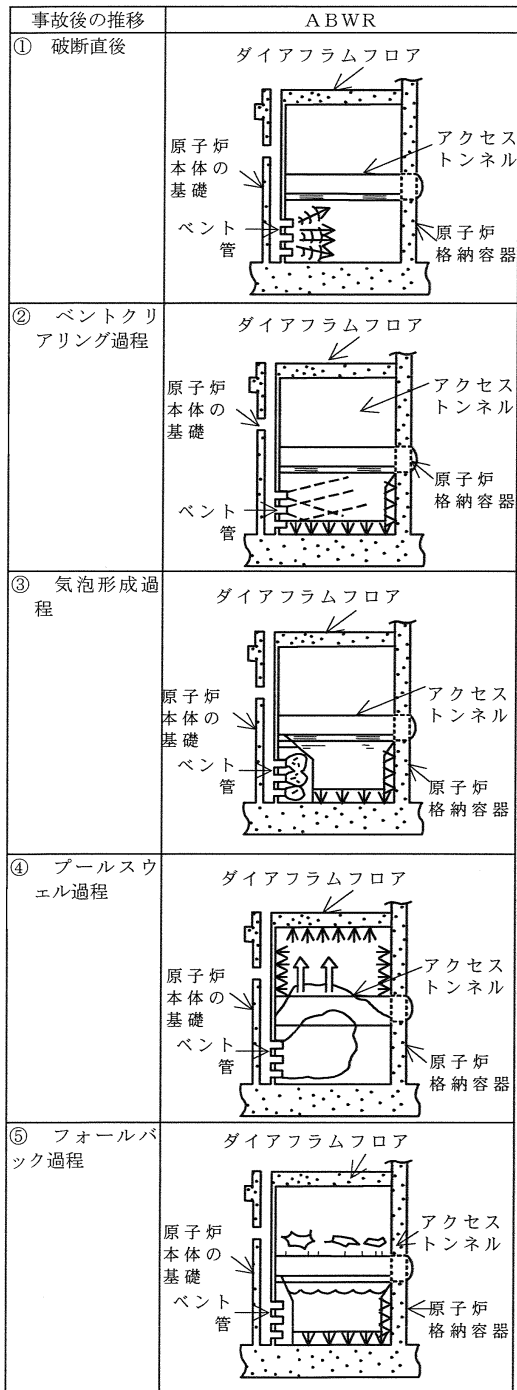


図 2-1 原子炉冷却材喪失時の動荷重現象概念

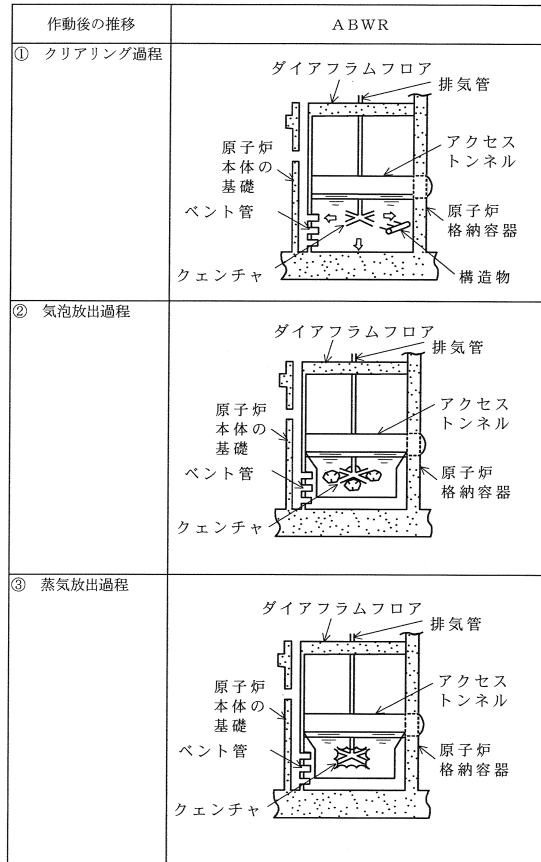


図 2-2 逃がし安全弁作動時の動荷重現象概念

表 2-1 水力的動的荷重の評価項目

事象	荷重	概要	評価項目
原子炉冷却材 喪失時	ベントクリアリング		
	気泡形成		
	プールスウェル		
	フォールバック		
	蒸気凝縮振動(CO)		
	チャギング(CH)		
逃がし安全弁 作動時	逃がし安全弁作動時荷重		

### 3. 水力的動的荷重の評価

MARK-II 指針に示される水力的動的荷重の評価手法と、ABWR のストレナに作用する水力的動的荷重の比較を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

表 3-1 原子炉冷却材喪失時にストレーナに作用する動荷重（その 1）

事故後の推移	荷重	MARK-II 動荷重 指針での番号	適用	MARK-II 動荷重指針での評価方法	荷重の評価方法
①破断直後	—	—			
②ベントクリア リング過程	ベントクリアリングに伴うプ ール水の流動によるドラッグ 荷重	2.1.2(2)			
	ベントクリアリング時にベン ト管に加わる水平荷重	2.1.2(5)			
③気泡形成過程	気泡形成に伴うプール水の流 動によるドラッグ荷重	2.1.2(2)			
④プールスウェル 過程	プールスウェルに伴うプール 水の流動によるドラッグ荷重	2.1.2(2)			
	プールスウェルに伴うウェッ トウェル気相部内の構造物に 対する衝撃荷重	2.1.2(3)			
	プールスウェル時の真空破壊 弁への荷重	2.1.2(4)			
	プールスウェル時にベント管 に加わるドラッグ荷重	2.1.2(6)			

表 3-1 原子炉冷却材喪失時にストレーナに作用する動荷重（その 2）

事故後の推移	荷重	MARK-II 動荷重 指針での番号	適用	MARK -II 動荷重指針での評価方法	荷重の評価方法
⑤フォールバック 過程	フォールバックに伴うプール 水の流動によるドラッグ荷重	2.1.2(2)			
⑥フォールバック 後の水面振動過程	プールのスウェル後のプール水 面の振動による荷重	2.1.2(7)			
⑦蒸気放出過程	蒸気凝縮に伴いベント管に加 わる水平荷重	2.1.2(1)			
	蒸気凝縮に伴うプール水の流 動によるドラッグ荷重	2.1.2(2)			
	蒸気凝縮時の真空破壊弁への 荷重	2.1.2(4)			
	蒸気流によりベント管に加わ る反力による荷重	2.1.2(8)			



表 3-2 逃がし安全弁作動時にストレーナに作用する水力的動荷重

事故後の推移	荷重	MARK-II 動荷重 指針での番号	適用	MARK -II 動荷重指針での評価方法	荷重の評価方法
①クリアリング 過程	弁の作動開始直後、排気管内 にたまっていた水のクリアリ ングによる噴流により、プー ル内構造物に加わる衝撃荷重 とドラッグ荷重	2.2.2(1)			
②気泡放出過程	クリアリングに引き続き、排 気管内にたまっていた非凝縮 性ガスがプール内に吹き出し て膨張・収縮することにより 構造物に加わるドラッグ	2.2.2(1)			
③蒸気放出過程	排気管からプールへ流入する 蒸気の凝縮が不安定となる場 合に生じる構造物へのドラッ グ荷重	2.2.2(3)			
①②③	弁作動時にクエンチャ自身に 加わる荷重	2.2.2(4)			

ストレーナに加わる水力学的動荷重による以下のドラッグ荷重は、基本的に、 に示される手法に従い算出する。

### 3.1 原子炉冷却材喪失時（LOCA 時）の水力的動荷重

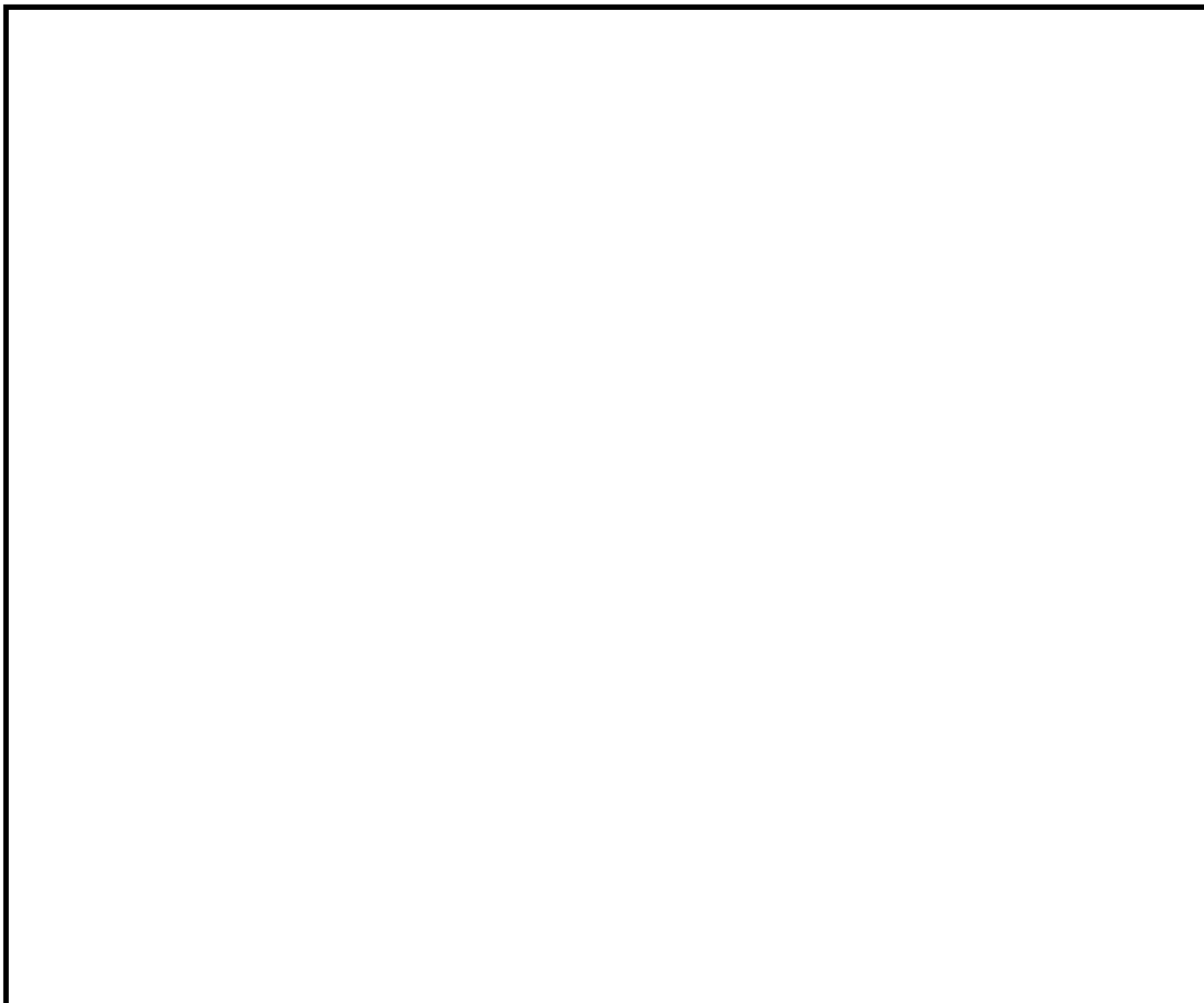


図 3-1 ベント管 A の鉛直面での角度及びベント管 A, B の水平面の角度

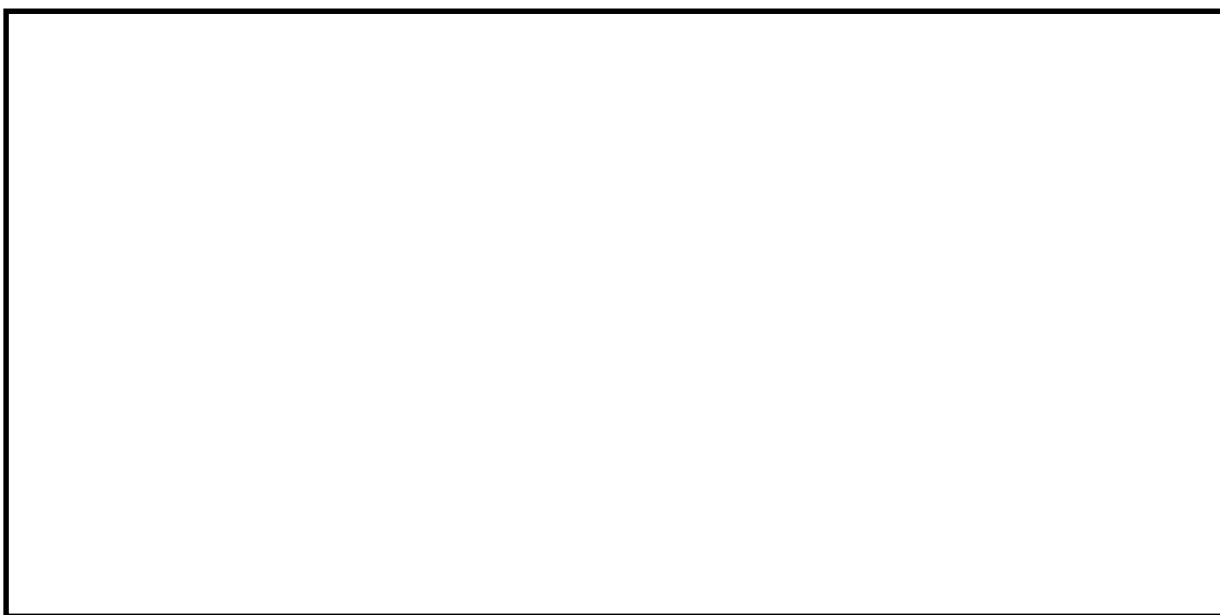


図 3-2 ストレーナ重心位置に作用する荷重



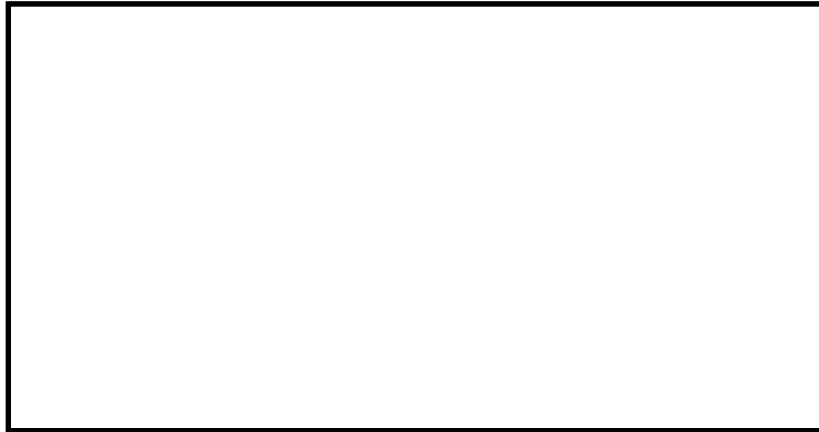


図 3-3 気泡半径の変化

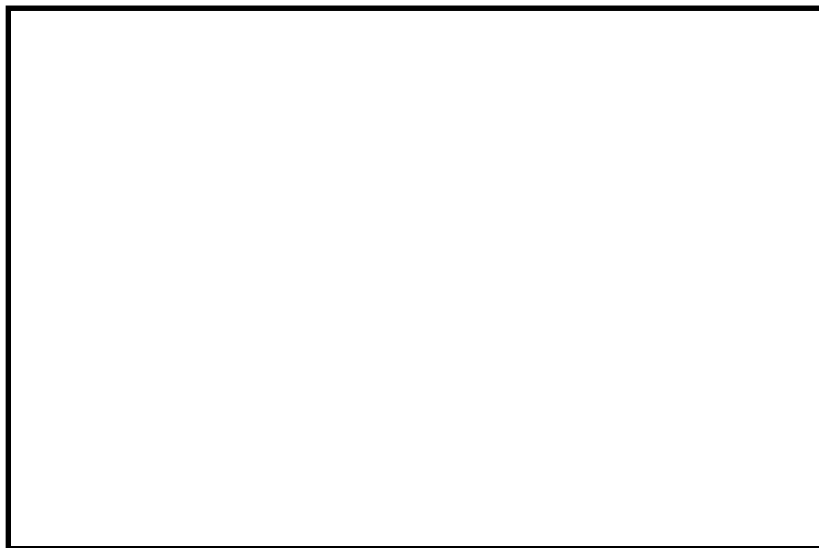


図 3-4 流体の速度強度  $u(t)$



図 3-5 流体の加速度強度  $a(t)$

(2) 関連図書

以外の関連図書を以下に示す。

1)

(3) 算出結果

各軸方向毎のドラッグ荷重の合計は、下記の値となる。

- ・ストレーナ軸直角方向かつ水平方向 (X 軸) ドラッグ荷重の合計

RHR 系ストレーナ	$F_x =$	<input type="text"/>
HPCF 系ストレーナ	$F_x =$	<input type="text"/>
RCIC 系ストレーナ	$F_x =$	<input type="text"/>

- ・ストレーナ軸方向 (Y 軸) ドラッグ荷重の合計

RHR 系ストレーナ	$F_y =$	<input type="text"/>
HPCF 系ストレーナ	$F_y =$	<input type="text"/>
RCIC 系ストレーナ	$F_y =$	<input type="text"/>

- ・ストレーナ軸直角方向かつ鉛直方向 (Z 軸) ドラッグ荷重の合計

RHR 系ストレーナ	$F_z =$	<input type="text"/>
HPCF 系ストレーナ	$F_z =$	<input type="text"/>
RCIC 系ストレーナ	$F_z =$	<input type="text"/>

以上の計算結果を用いたストレーナの強度評価においては、ストレーナの軸方向荷重、軸直角方向荷重による応力評価を行う。

なお、軸直角方向荷重は、水平方向 (X 軸) 及び鉛直方向 (Z 軸) ドラッグ荷重を SRSS にて合成した保守的な荷重を設定する。

強度評価で用いる  を以下に示す。

- ・ストレーナ軸方向荷重

RHR 系ストレーナ	$F_y =$	<input type="text"/>
HPCF 系ストレーナ	$F_y =$	<input type="text"/>
RCIC 系ストレーナ	$F_y =$	<input type="text"/>

- ・ストレーナ軸直角方向荷重

RHR 系ストレーナ	$F_{xz} =$	<input type="text"/>
HPCF 系ストレーナ	$F_{xz} =$	<input type="text"/>
RCIC 系ストレーナ	$F_{xz} =$	<input type="text"/>

3.1.2 [Redacted]

(1) 荷重算出方法

[Redacted]

なお、ドラッグ荷重は、ストレーナ軸直角方向かつ水平方向 (X 軸), ストレーナ軸方向 (Y 軸), 及びストレーナ軸直角方向かつ鉛直方向 (Z 軸) の 3 軸方向毎の荷重として算出した。

[Redacted] は、下記の (5) 及び (6) より求めたストレーナの周囲流体速度及び周囲流体加速度を用いて、上記 3.1.1 (1) 項に示す (1) 及び (2) 式より算出する。

$$\vec{U} = [Redacted] \quad (5)$$

$$\vec{U}_A = [Redacted] \quad (6)$$
$$A_m = [Redacted]$$

S : ソース (ベント管先端点源) 強さ

[Redacted] : [Redacted]

N : ベント数

$r_{effi}$  : Effective radial attenuation distance (鏡像法を用いる場合の鏡像点からの実効的な距離の合成)

$\omega$  : 角速度 (rad/s) =  $2\pi f$ ,  $f$  は [Redacted] とする。

t : 時間

(2) 関連図書

[Redacted] 以外の関連図書を以下に示す。

1) [Redacted]

(3) 算出結果

各軸方向毎のドラッグ荷重の合計は、下記の値となる。

- ・ストレーナ軸直角方向かつ水平方向 (X 軸) ドラッグ荷重の合計

RHR 系ストレーナ  $F_X =$    
HPCF 系ストレーナ  $F_X =$    
RCIC 系ストレーナ  $F_X =$

- ・ストレーナ軸方向 (Y 軸) ドラッグ荷重の合計

RHR 系ストレーナ  $F_Y =$    
HPCF 系ストレーナ  $F_Y =$    
RCIC 系ストレーナ  $F_Y =$

- ・ストレーナ軸直角方向かつ鉛直方向 (Z 軸) ドラッグ荷重の合計

RHR 系ストレーナ  $F_Z =$    
HPCF 系ストレーナ  $F_Z =$    
RCIC 系ストレーナ  $F_Z =$

以上の計算結果を用いたストレーナの強度評価においては、ストレーナの軸方向荷重、軸直角方向荷重による応力評価を行う。

なお、軸直角方向荷重は、水平方向 (X 軸) 及び鉛直方向 (Z 軸) ドラッグ荷重を SRSS にて合成した保守的な荷重を設定する。

強度評価で用いる  を以下に示す。

- ・ストレーナ軸方向荷重

RHR 系ストレーナ  $F_Y =$    
HPCF 系ストレーナ  $F_Y =$    
RCIC 系ストレーナ  $F_Y =$

- ・ストレーナ軸直角方向荷重

RHR 系ストレーナ  $F_{XZ} =$    
HPCF 系ストレーナ  $F_{XZ} =$    
RCIC 系ストレーナ  $F_{XZ} =$



3.1.3

(1) 荷重算出方法

また、ストレーナ軸直角方向かつ水平方向 (X 軸)、ストレーナ軸方向 (Y 軸)、及びストレーナ軸直角方向かつ鉛直方向 (Z 軸) の 3 軸方向毎のドラッグ荷重として算出した。

は、下記の (7) 及び (8) より算出する。

$$F_c = \quad (7)$$

A : 構造物の軸に対する法線方向の投影面積 (m<sup>2</sup>)

$\rho$  : 水の密度 (kg/m<sup>3</sup>) = 1000

S : ソース強度 (m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup>)

r : チャギング中心 (トップベント出口) から構造物までの距離 (m)

$\theta$  : チャギング中心から構造物の方向 ( $\vec{r}$ ) と構造物中心軸の角度

$$F_r = \quad (8)$$

$$F_0 =$$

$\alpha$  : (/s)

$\omega$  : 角速度 (rad/s) , = 2  $\pi$  f, f は Hz

P<sub>0</sub> : 最大リングアウト圧力

A : 荷重方向の構造物の投影面積 (m<sup>2</sup>)

H : プール水深 (m)

y : プール底から構造物下端の距離 (m)

d : 垂直方向の構造物の幅 (m)

(2) 関連図書

以外の関連図書を以下に示す。

1)

(3) 算出結果

各軸方向毎のドラッグ荷重の合計は、下記の値となる。

- ・ストレーナ軸直角方向かつ水平方向 (X 軸) ドラッグ荷重の合計

RHR 系ストレーナ  $F_X =$    
HPCF 系ストレーナ  $F_X =$    
RCIC 系ストレーナ  $F_X =$

- ・ストレーナ軸方向 (Y 軸) ドラッグ荷重の合計

RHR 系ストレーナ  $F_Y =$    
HPCF 系ストレーナ  $F_Y =$    
RCIC 系ストレーナ  $F_Y =$

- ・ストレーナ軸直角方向かつ鉛直方向 (Z 軸) ドラッグ荷重の合計

RHR 系ストレーナ  $F_Z =$    
HPCF 系ストレーナ  $F_Z =$    
RCIC 系ストレーナ  $F_Z =$

以上の計算結果を用いたストレーナの強度評価においては、ストレーナの軸方向荷重、軸直角方向荷重による応力評価を行う。

なお、軸直角方向荷重は、水平方向 (X 軸) 及び鉛直方向 (Z 軸) ドラッグ荷重を SRSS にて合成した保守的な荷重を設定する。

強度評価で用いる  を以下に示す。

- ・ストレーナ軸方向荷重

RHR 系ストレーナ  $F_Y =$    
HPCF 系ストレーナ  $F_Y =$    
RCIC 系ストレーナ  $F_Y =$

- ・ストレーナ軸直角方向荷重

RHR 系ストレーナ  $F_{XZ} =$    
HPCF 系ストレーナ  $F_{XZ} =$    
RCIC 系ストレーナ  $F_{XZ} =$

### 3.2 逃がし安全弁 (SRV) 作動時の水力的動荷重

逃がし安全弁 (SRV) 作動時のドラッグ荷重算出において、下記の点を考慮する。

#### 3.2.1

#### (1) 荷重算出方法

構造物に加わる荷重は、気泡とストレーナの距離関係及び記号を図 3-6 のように定め、(11)式により求める圧力荷重  $\Delta P_{\max}$  (Pa) と(12)式により求めるドラッグ荷重  $P_{D\max}$  (Pa) の和として、(9)及び(10)式により評価する。

$$F_{\max} = \text{[ ]} \quad (9)$$

$$P_{\max} = \text{[ ]} \quad (10)$$

$$\Delta P_{\max} = \text{[ ]} \quad (11)$$

$$P_{D\max} = \text{[ ]} \quad (12)$$

$R_q$  : クエンチャ半径 (m) = [ ]

$R_0$  : 気泡半径 (m) = [ ]

$r_l$  : クエンチャ中心点からストレーナ表面の距離 (m)

$a$  : ストレーナの巾 (m)

$\rho$  : プール水の密度 (kg/m<sup>3</sup>)=1000

$C_D$  : ドラッグ係数

$A_P$  : ストレーナの投影面積 (m<sup>2</sup>)

$P_{0\max}$  : 気泡最大圧力 (Pa) a. 項に示す。

$V_{1-\max}$  : 流体速度 (m/s) = [ ]

$V_0$  : 最大気泡表面速度 (m/s)

#### a. 評価条件

気泡振動時の荷重評価に用いる気泡の最大/最小圧力は、下記を用いるものとする。

また、流体速度は、既工認設定値が十分に保守的な値であるため、下記の値を用いることとする。

気泡最大圧力  $P_{0\max} = \text{[ ]}$  (kPa)

最大気泡表面速度  $V_0 = \text{[ ]}$  (m/s)

(2) 関連図書

以外の関連図書を以下に示す。

1)

図 3-6 気泡とストレーナの距離関係及び記号

(3) 算出結果

各軸方向毎のドラッグ荷重の合計は、下記の値となる。

- ・ストレーナ軸直角方向かつ水平方向 (X 軸) ドラッグ荷重の合計

RHR 系ストレーナ	$F_X =$	<input type="text"/>
HPCF 系ストレーナ	$F_X =$	<input type="text"/>
RCIC 系ストレーナ	$F_X =$	<input type="text"/>

- ・ストレーナ軸方向 (Y 軸) ドラッグ荷重の合計

RHR 系ストレーナ	$F_Y =$	<input type="text"/>
HPCF 系ストレーナ	$F_Y =$	<input type="text"/>
RCIC 系ストレーナ	$F_Y =$	<input type="text"/>

- ・ストレーナ軸直角方向かつ鉛直方向 (Z 軸) ドラッグ荷重の合計

RHR 系ストレーナ	$F_Z =$	<input type="text"/>
HPCF 系ストレーナ	$F_Z =$	<input type="text"/>
RCIC 系ストレーナ	$F_Z =$	<input type="text"/>

以上の計算結果を用いたストレーナの強度評価においては、ストレーナの軸方向荷重、軸直角方向荷重による応力評価を行う。

なお、軸直角方向荷重は、水平方向 (X 軸) 及び鉛直方向 (Z 軸) ドラッグ荷重を SRSS にて合成した保守的な荷重を設定する。

強度評価で用いる  を以下に示す。

- ・ストレーナ軸方向荷重

RHR 系ストレーナ	$F_Y =$	<input type="text"/>
HPCF 系ストレーナ	$F_Y =$	<input type="text"/>
RCIC 系ストレーナ	$F_Y =$	<input type="text"/>

- ・ストレーナ軸直角方向荷重

RHR 系ストレーナ	$F_{XZ} =$	<input type="text"/>
HPCF 系ストレーナ	$F_{XZ} =$	<input type="text"/>
RCIC 系ストレーナ	$F_{XZ} =$	<input type="text"/>

水力学的動荷重算出における計算条件

(1) RHR, HPCF ストレーナのドラッグ係数  $C_D$  の設定根拠

RHR, HPCF ストレーナにおけるドラッグ係数は、 に示される値を使用する。本数値は、GE社で実施したフルスケール・プロトタイプによる実験等から得られた多孔効果を含んだ値である。

RHR, HPCF ストレーナ軸直角方向

RHR, HPCF ストレーナ軸方向

(2) RHR, HPCF ストレーナの投影面積の算出方法

RHR, HPCF ストレーナの投影面積は、外観形状が円筒形のストレーナにおいて、軸方向及び軸直角方向に対し算出する。

RHR, HPCF ストレーナの軸方向の投影面積はディスクの円形面の面積とする。

RHR, HPCF ストレーナの軸直角方向の投影面積は、円筒形の軸直角方向から投影した長方形面の面積とする。さらに、軸直角方向の投影面積の算出において、ストレーナ本体のディスク間ギャップ分の投影面積は差引き、ストレーナとティー継手の接合部のフランジの投影面積は付加して算出する。

(3) RHR, HPCF ストレーナの加速度体積の算出方法

また、ストレーナは多孔プレート構造のため、多孔効果による荷重低減を行うことができる。

では、これを  として下記を設定している。

・軸直角方向

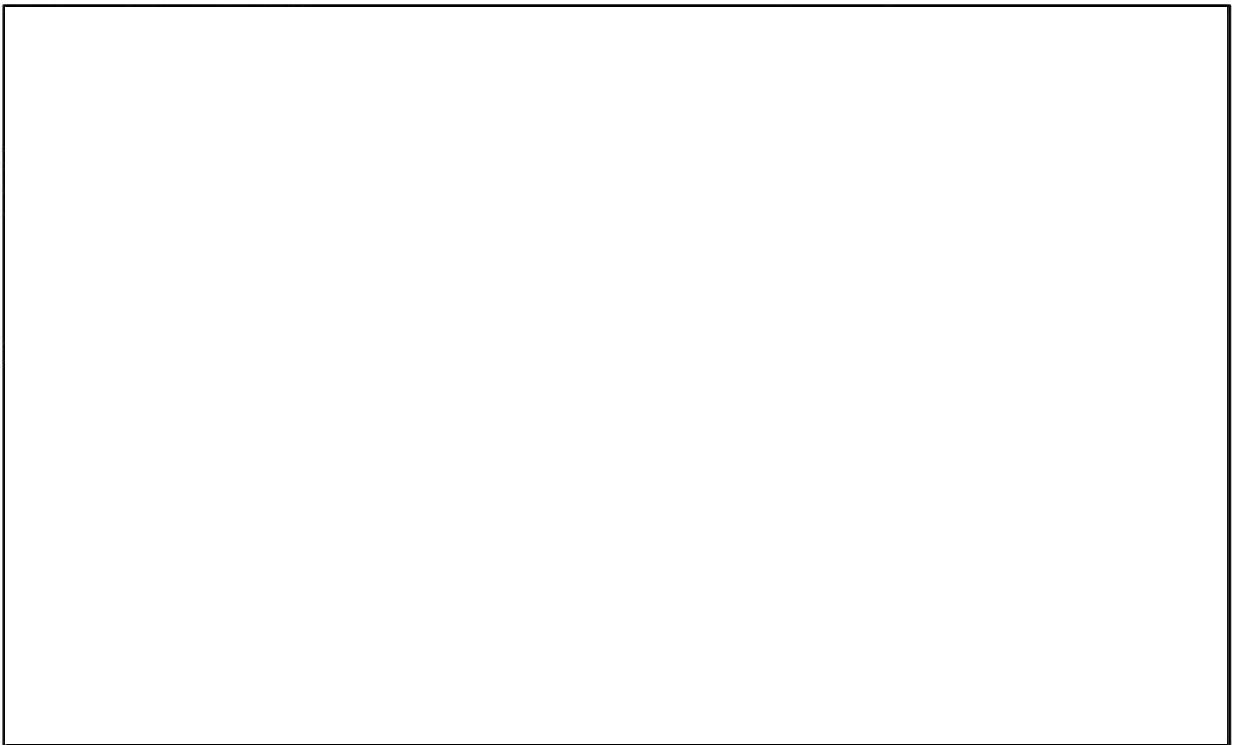
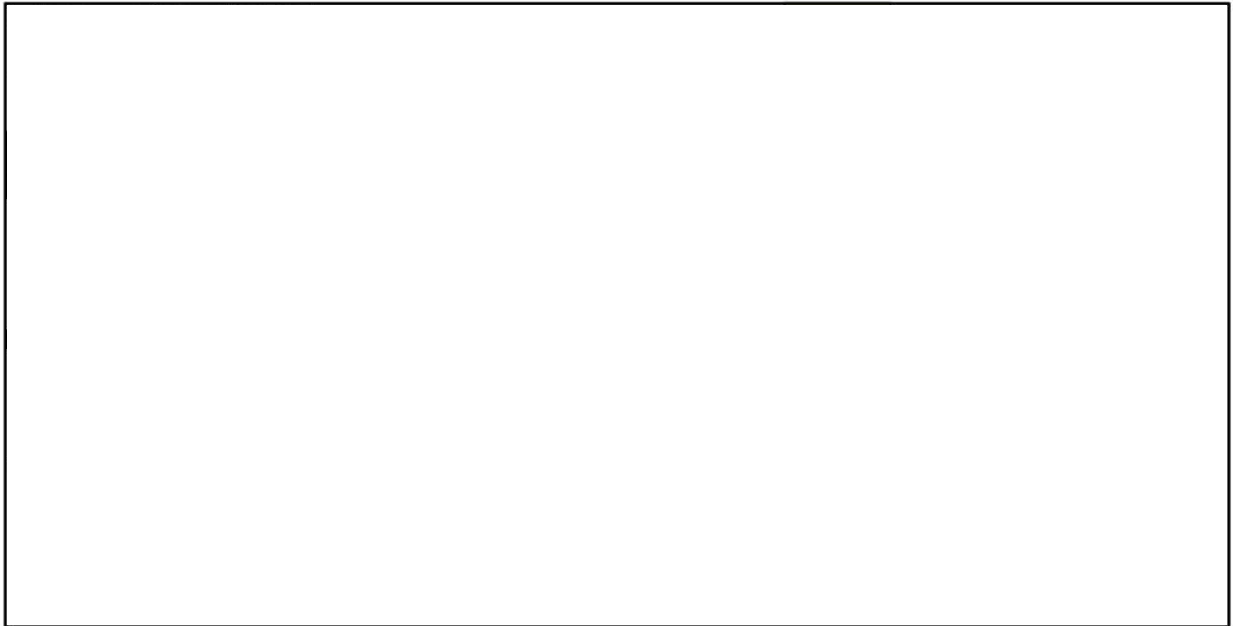
・軸方向

よって、最終的なストレーナの加速度体積は下式となる。

$V_A =$

$=$

水力学的质量の算出 参考



## 耐震強度評価における非 DBA 塗装片の異物荷重想定について

設計基準事故におけるストレーナの圧損評価では、内規に従い繊維質保温材の有無に関わらず、繊維質保温材の薄膜効果を考慮し、一次冷却材喪失事故（以下「LOCA」という。）時に発生する異物及び格納容器内に存在する他の異物の全量がストレーナへ付着すると仮定している。ストレーナの耐震強度評価においても、上記を踏襲して異物荷重を設定している。

本資料は、ストレーナに吸い込まれると考えられる異物の範囲（吸込影響範囲）を考慮した場合の、非 DBA 塗装片のストレーナへの移行量及び異物荷重の低減について説明し、今回工認における異物荷重の設定の保守性を示すものである。

## &lt;異物荷重に関する検討の経緯&gt;

考慮する異物のうち、非 DBA 塗装片については LOCA 時の破断流により発生する異物ではなく、LOCA 後の格納容器の温度・圧力の上昇により剥離して発生するものであり、LOCA ブローダウンによる攪拌が静定した後、サブプレッションプール（以下「S/P」という。）へ移行するものである。非 DBA 塗装片は比較的高い比重を有することから、当該異物の挙動として、ベント管から S/P へ流入した塗装片の全量がストレーナへ到達するという想定は、非常に保守的な想定である。そこで、当該異物荷重を現実的なものとするため、計算機プログラムを用いて格納容器内の三次元流動解析を行い、移行率（異物がストレーナへ到達する割合）を考慮して異物荷重を設定することを検討していた。しかしながら、今回工認の耐震強度評価において、全量移行を考慮した異物荷重にて評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。よって、今回工認の耐震強度評価においては、保守的な評価として、非 DBA 塗装片の全量移行を考慮した異物荷重による評価を実施した。

## 1. ストレーナの吸込影響範囲

非 DBA 塗装片は、以下の過程を経てストレーナへ移行すると想定される。なお、非 DBA 塗装片はドライウェル内のみ存在し、ベント管からのみ S/P に移行する。

- a. LOCA 時に配管の破断口から流出した原子炉冷却材の影響で、ドライウェル内の温度と圧力が上昇し、非 DBA 塗装の剥離が起こる。
- b. 原子炉格納容器スプレイにより剥離した非 DBA 塗装片が洗い流され、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 S/P へ流入する。
- c. 非 DBA 塗装片は、ブローダウン過程から一定の時間が過ぎた静定状態に近い S/P 内でストレーナに移行する。

設計基準事故時における S/P 内の流動状況から、ストレーナが塗装片を吸い寄せる可能性のある領域は、ストレーナ近傍に限定されると考えられる。S/P 内の流速及び非 DBA 塗装片の沈降速度から、ストレーナがベント管から噴出した非 DBA 塗装片を吸い寄せる可能性のある範囲について評価する。



## 1.1 評価方法

ストレーナの吸込影響範囲評価で仮定する S/P 内流れ場の概念図を図 1-1 及び図 1-2 に示す。図 1-1 は、S/P 内における設計基準事故時に起動する任意のストレーナ近傍の水平断面図であり、図 1-2 は図 1-1 における A-A 断面図である。

図 1-1 に示したとおり、本評価では簡易的に、流速をストレーナ接近流速 ( $v_A$ ) とし、ストレーナのトップディスク中央を中心とした放射状の流れ場が形成されていると仮定する。さらに、保守的な想定として、その流速はどの地点においても一様に  $v_A$  であると仮定する。なお、ストレーナ近傍の流れを形成する流路と比較して S/P は大空間であり、大部分の S/P 内の流速はストレーナ接近流速よりも小さいことから、S/P 内を一様にストレーナ接近流速で想定することは十分に保守的な設定である。

ドライウエル内で発生する非 DBA 塗装片はベント管水平吐出管の最高段中心をそれぞれ初期位置として塗装片は  $v_A$  で水平方向へ移動しつつ、沈降速度 ( $v_s$ ) で鉛直方向に落下する状態を評価する。

吸込影響範囲の評価手順は以下である。

- ・ 上記の仮定のもと、塗装片が S/P 床面に落下するまでに水平方向に移動することができる距離  $L$  を計算する。ここで、非 DBA 塗装片が移行する際の S/P はブローダウン後の静定した状況と想定され、また、S/P 底面からストレーナ下端まで約 700 mm であることから、一度 S/P 床面に落下した塗装片は、ストレーナ接近流速により再浮遊することはないものとする。
- ・ ストレーナのトップディスク位置を中心として、半径  $L$  の円弧を描く。このようにして得た円弧よりもストレーナ側にある領域が、塗装片を吸い寄せる可能性のある影響範囲となる。

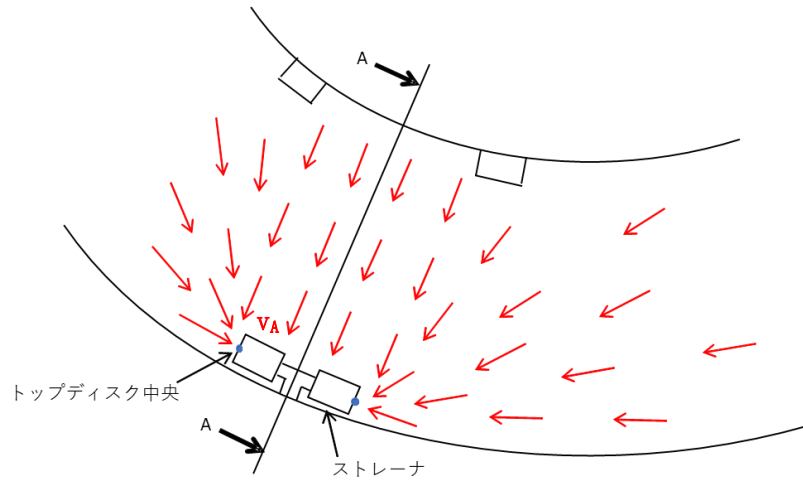


図 1-1 ストレーナの吸込影響範囲評価における流れ場の概念図 (S/P 水平断面図)  
 ※流速ベクトルの大きさは、いずれもストレーナ接近流速  $v_A$  である。

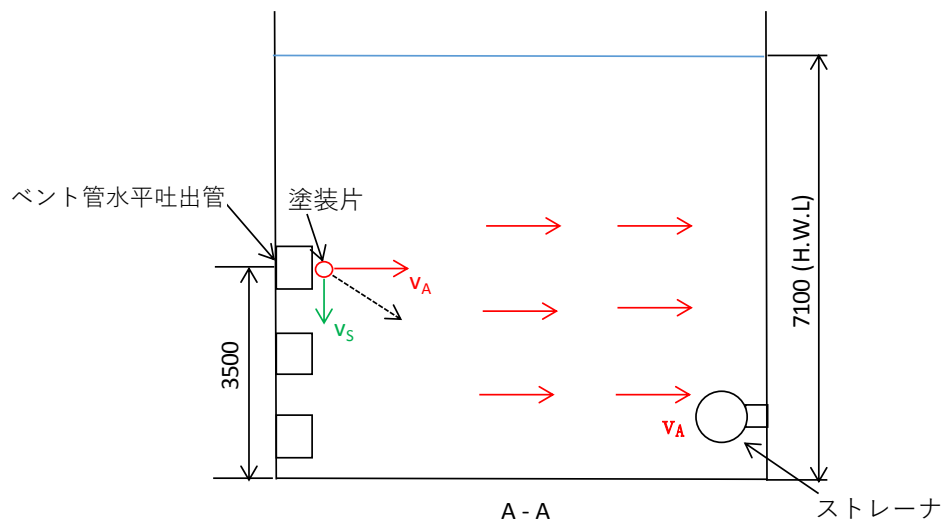


図 1-2 ストレーナの吸込影響範囲評価における流れ場の概念図 (S/P 垂直断面図)  
 ※流速ベクトルの大きさは、いずれもストレーナ接近流速  $v_A$  である。

## 1.2 評価条件

### 1.2.1 流量条件

本評価では、流速  $v_A$  を求めるための流量として、設計基準事故時に起動する残留熱除去系 2 系統 ( $954(\text{m}^3/\text{h}) \times 2$ ) 及び高圧炉心注水系 1 系統 ( $727(\text{m}^3/\text{h})$ ) のうち、高流量の残留熱除去系の定格流量を想定する。

S/P 内の流速として一様なストレーナ接近流速を考える場合、残留熱除去系の定格流量  $954(\text{m}^3/\text{h})$  に対して、ストレーナ 1 台あたりの流量は以下となる。

$$Q = 954(\text{m}^3/\text{h}) \div 2(\text{台}) \div 3600(\text{s/h}) = 0.133(\text{m}^3/\text{s})$$

したがって、ストレーナ接近流速は、

$$v_A = Q / (\pi DL) = 0.133 / (\pi \times \square \times \square) \times 1000 = \square(\text{mm/s})$$

となる。ここで、 $D$  はストレーナ直径、 $L$  はストレーナ長さである。ただし本評価では、保守的にストレーナの側面積に対する接近流速を使用する。

### 1.2.2 塗装片の沈降速度

非 DBA 塗装片の沈降速度は、非 DBA 塗装片の沈降試験\*により得られた  $\square(\text{mm/s})$  に基づき、保守的に  $v_s = \square(\text{mm/s})$  とする。

注記\*：出典 受託調査報告書「ECCS ストレーナ新審査基準に係るストレーナ性能確認調査（最終報告書）」平成 22 年 3 月

## 1.3 評価結果

RHR ポンプの定格流量を想定したストレーナ接近流速に対して、ベント管水平吐出管の最高段に配置された塗装片が S/P 床面に落下せずに水平方向に移動する距離は、以下となる。

$$L = v_A \times \Delta t = v_A \times (H_v / v_s) = \square \times (3500 \div \square) = \square(\text{mm})$$

ここで、 $\Delta t$  は塗装片がベント管水平吐出管の最高段中心高さから床面へ落下するまでの時間、 $H_v$  はベント管水平吐出管の最高段中心高さ (=3500(mm)) である。

設計基準事故時に起動する残留熱除去系及び高圧炉心注水系のうち、それぞれのストレーナ位置が互いに最も離れている、RHR(A) ストレーナ、RHR(C) ストレーナ及び HPCF(B) ストレーナを起動した場合の結果を示す。この場合、ストレーナの吸込影響範囲は、図 1-3 にハッチングしたとおりとなる。

図 1-3 に図示した結果より、一個あたりのストレーナに到達する塗装片は、最も近い  $\square$  本のベント管から噴出された塗装片のみであると想定することができる。

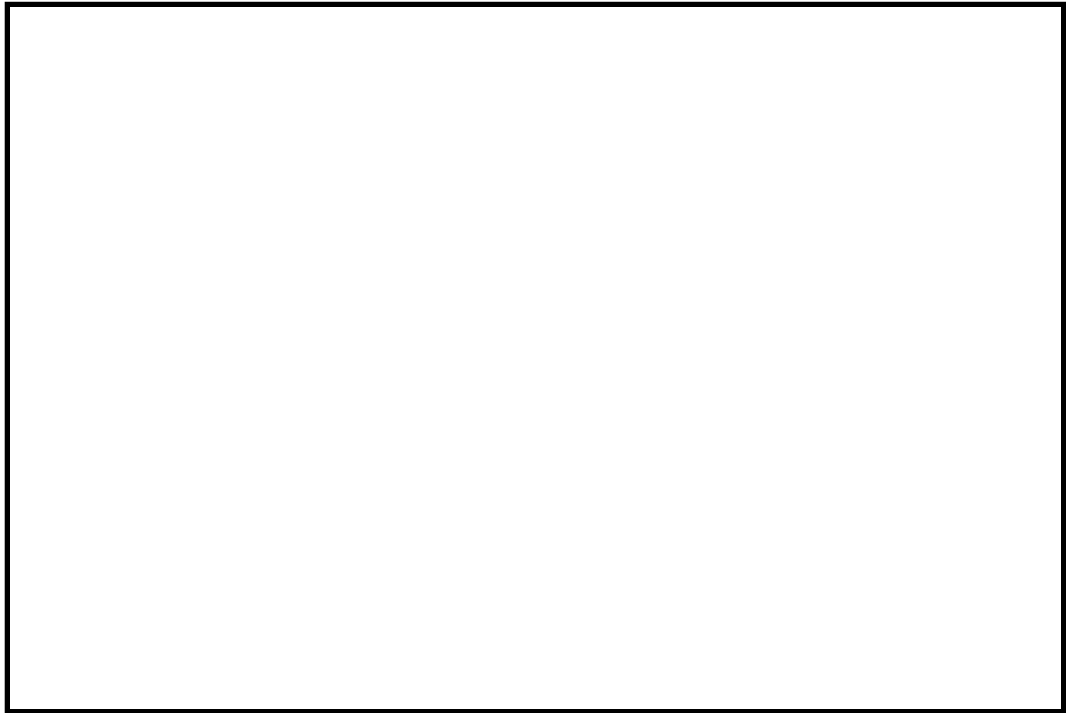


図 1-3 ストレーナの吸込影響範囲（非 DBA 塗装片）  
（設計基準事故時に RHR(A) , (C) 及び HPCF (B) が起動した場合の例）

## 2. 異物量検討

1. で求めたストレーナの吸込影響範囲から、ストレーナに到達する非 DBA 塗装片の異物量について検討する。

### 2.1 評価方法

ドライウエル内の全非 DBA 塗装  (kg) が設計基準事故時に全剥離し、ベント管を介して全て S/P に達し、ベント管水平吐出管 30 本の内、最高段に位置する 10 本から均等に  (kg) ずつ排出されると仮定し、1. で求めたストレーナの吸込影響範囲に含まれるベント管の本数からストレーナに吸い込まれる異物量を算出する。なお、起動する残留熱除去系及び高圧炉心注水系の位置によっては、隣接するストレーナの吸込影響範囲が重なり、異物量が低減される場合もあるが、本評価では保守的に隣接するストレーナの吸込影響範囲が重ならない場合を想定する。

### 2.2 評価結果

1. での評価結果からストレーナ 1 系統あたり  本のベント管からの異物が吸い込まれることを踏まえ、設計基準事故時には 3 系統のストレーナが稼働するので、考慮すべき異物量 W は以下のように計算される。

$$W = \text{ (kg)} \div 10 \text{ (本)} \times \text{ (本)} \times 3 \text{ (系統)} = \text{ (kg)}$$

### 2.3 異物荷重

2.2 の評価結果を踏まえ、今回工認において考慮している異物荷重からの低減効果について検討する。なお、物量調査に基づく非 DBA 塗装の異物量については、%マージンを考慮する。

系統	非 DBA 塗装の移行量考慮無		非 DBA 塗装の移行量考慮有	
	残留熱除去系	高圧炉心注水系	残留熱除去系	高圧炉心注水系
非 DBA 塗装				

### 3. 結論

ストレーナの吸込影響範囲にもとづき非 DBA 塗装片のストレーナへの移行量を考慮した場合、非 DBA 塗装の異物荷重は残留熱除去系について%低減、高圧炉心注水系について%低減することができると考えられる。

なお、今回工認の耐震強度評価においては、保守的な評価として全量を考慮している。