

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	工認-297 改 7
提出年月日	平成 30 年 7 月 27 日

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

目 次

	頁
1. 概 要.....	1
2. 基本方針.....	2
2.1 サプレッション・プールを水源とするポンプの有効 NPSH.....	2
2.2 サプレッション・プールを除くタンク等を水源とするポンプの有効 NPSH.....	2
3. 評 価.....	3
3.1 サプレッション・プールを水源とするポンプの評価方針.....	3
3.2 サプレッション・プールを除くタンク等を水源とするポンプの評価方針.....	3
3.3 評価対象ポンプの選定	4
3.4 評価方法	5
3.4.1 サプレッション・プールを水源とするポンプの有効 NPSH 評価方法	5
3.4.2 サプレッション・プールを除くタンク等を水源とするポンプの有効 NPSH 評価方法	9
3.5 評価結果	10
3.5.1 サプレッション・プールを水源とするポンプの有効 NPSH 評価結果	10
3.5.2 サプレッション・プールを除くタンク等を水源とするポンプの有効 NPSH 評価結果 ...	13

別添1

重大事故等時における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評価

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下「技術基準規則」という。）」第44条第1項第5号及び第54条第1項第1号並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）により、原子炉格納施設の「圧力低減設備その他の安全設備」のうちサプレッション・プールを水源として原子炉格納容器除熱のために運転するポンプが、原子炉格納容器内の圧力、水位及び温度並びに冷却材中の異物の影響により想定される最も小さい有効吸込水頭（以下「有効 NPSH」という。）において、正常に機能することを説明するとともに、サプレッション・プールを除くタンク等を水源として原子炉格納容器冷却のために運転するポンプについても想定される最も小さい有効 NPSH において、正常に機能することを説明するものである。

また、有効 NPSH 以外の温度、放射線、荷重その他の使用条件に対して有効に機能を発揮することについては、添付書類「V-1-1-6 安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」に示す。

なお、設計基準対象施設に関しては、技術基準規則の要求事項に変更がないため、今回の申請においては変更は行わない。

今回、新たに重大事故等対処設備として申請する「圧力低減設備その他の安全設備」のうちサプレッション・プールを水源として原子炉格納容器除熱のために運転する残留熱除去系ポンプ及び代替循環冷却系ポンプ並びにサプレッション・プールを除くタンク等を水源として原子炉格納容器冷却のために運転する常設低圧代替注水系ポンプ、可搬型代替注水大型ポンプ及び可搬型代替注水中型ポンプについて、想定される最も小さい有効 NPSH において、正常に機能することを説明する。なお、原子炉格納施設のうち「圧力低減設備その他の安全設備」として使用するほう酸水注入ポンプ及び常設高圧代替注水系ポンプについては、熔融炉心のペDESTAL（ドライウェル部）への落下の遅延又は防止を目的として、原子炉圧力容器への注水に使用するため、添付書類「V-4-3 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書」にて評価する。

2. 基本方針

2.1 サプレッション・プールを水源とするポンプの有効 NPSH

重大事故等時において、原子炉格納施設のうち「圧力低減設備その他の安全設備」としてサプレッション・プールを水源として原子炉格納容器除熱のために運転するポンプは、想定される原子炉格納容器内の圧力、水位及び温度並びに冷却材中の異物の影響によるろ過装置の性能評価により想定される最も小さい有効 NPSH において、正常に機能する設計とする。

2.2 サプレッション・プールを除くタンク等を水源とするポンプの有効 NPSH

重大事故等時において、原子炉格納施設のうち「圧力低減設備その他の安全設備」としてサプレッション・プールを除くタンク等を水源として原子炉格納容器冷却のために運転するポンプは、各水源タンク等の圧力、水位及び温度により想定される最も小さい有効 NPSH において、正常に機能する設計とする。

これらのポンプについては、異物管理されたほう酸水貯蔵タンク、代替淡水貯槽又は西側淡水貯水設備を水源とするため、異物の影響については考慮不要とする。

なお、SA用海水ピットから取水する可能性のある可搬型代替注水大型ポンプ車の付属品である水中ポンプ及び可搬型代替注水中型ポンプには、吸込口に異物混入防止のフィルタを設置する設計とする。万一、これらのポンプの吸込口のフィルタが詰まった場合は、ポンプの起動停止によるフィルタ閉塞の回復及びポンプの吊り上げにより、短時間でフィルタを清掃できる手順を整備する。

3. 評価

3.1 サプレッション・プールを水源とするポンプの評価方針

重大事故等時において、サプレッション・プールを水源とするポンプは、原子炉格納容器内の圧力、水位及び水源の温度並びに冷却材中の異物により想定される最も小さい有効 NPSH が必要吸込水頭（以下「必要 NPSH」という。）を上回ることを評価する。

そのうち、原子炉冷却材喪失（以下「LOCA」という。）等時の対応においてサプレッション・プールを水源として、原子炉格納容器除熱のために運転する場合、運転に係る最も厳しい初期条件は原子炉冷却材配管の両端破断による大破断LOCAを想定するが、破断形態は設計基準事故と同等であるため、保温材の破損影響範囲（以下「ZOI」という。）及び配管破断による保温材等の異物発生量は設計基準事故時より拡大することはない。

ただし、炉心損傷を伴う重大事故等時においては、原子炉格納容器内の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。）が想定されるため、化学影響生成異物の想定発生量が最大となる事象を抽出して有効 NPSH を評価する。

また、評価に当たっては、平成20年4月7日付け平成20・02・29原第41号にて認可された工事計画の添付書類「IV-5 非常用炉心冷却設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書」を参考に、「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・02・12原院第5号（平成20年2月27日原子力安全・保安院制定））に準拠し評価を行う。

3.2 サプレッション・プールを除くタンク等を水源とするポンプの評価方針

重大事故等時において、サプレッション・プールを除くタンク等を水源とするポンプは、それぞれの水源の圧力、水位、温度及び配管圧損等により想定される最も小さい有効 NPSH が必要 NPSH を上回ることを評価する。

3.3 評価対象ポンプの選定

重大事故等時の対応において、原子炉格納施設のうち「圧力低減設備その他の安全設備」として原子炉格納容器除熱又は冷却のために使用するポンプを以下に示す。

- ・ 残留熱除去系ポンプ* (水源：サプレッション・プール)
- ・ 常設低圧代替注水系ポンプ* (水源：代替淡水貯槽)
- ・ 代替循環冷却系ポンプ* (水源：サプレッション・プール)
- ・ 可搬型代替注水大型ポンプ* (水源：代替淡水貯槽， SA用海水ピット)
- ・ 可搬型代替注水中型ポンプ* (水源：西側淡水貯水設備， SA用海水ピット)

注記*：原子炉冷却系統施設のうち「非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備」と兼用するポンプを示す。

複数の水源を想定するポンプの評価に当たっては、評価条件が最も厳しくなる水源を想定する。

「非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備」と兼用するポンプのうち、残留熱除去系ポンプ、可搬型代替注水大型ポンプ及び可搬型代替注水中型ポンプは、「圧力低減設備その他の安全設備」として原子炉格納容器除熱又は冷却のために使用する場合と、「非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備」として原子炉圧力容器へ注水するために使用する場合で使用条件が変わらないため、添付書類「V-1-4-3 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書」にて有効 NPSH を評価する。

したがって、本資料では、以下のポンプの重大事故等時の有効 NPSH を評価する。

- ・ 常設低圧代替注水系ポンプ (水源：代替淡水貯槽)
(200 m³/h)
- ・ 代替循環冷却系ポンプ (水源：サプレッション・プール)
(250 m³/h)

3.4 評価方法

3.4.1 サプレッション・プールを水源とするポンプの有効 NPSH 評価方法

「3.3 評価対象ポンプの選定」により選定した代替循環冷却系ポンプの有効 NPSH 評価については、重大事故等時の各事象のうち、個別評価が必要な事象を抽出し、その事象について最も小さい有効 NPSH が必要 NPSH を上回ることを評価する。

具体的な評価手順及び評価内容については、別添1「重大事故等時における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評価」に示す。

3.4.1.1 有効 NPSH 評価事象の抽出

重大事故等時の各事象におけるサプレッション・プール吸込ストレーナの圧損に影響する評価条件を比較し、「3.3 評価対象ポンプの選定」で選定した代替循環冷却系ポンプ（残留熱除去系ストレーナを兼用）に対して、有効 NPSH の個別評価が必要な事象を以下のとおり抽出する。表3.4.1-1に設計基準事故時と重大事故等時における各事象の評価条件の比較結果を示す。

(a) 重大事故等時の各事象におけるポンプ運転状態

重大事故等における各事象（表3.4.1-1のaからj）のうち、a及びfの事象については、有効性評価の評価条件として、サプレッション・プールを水源とした原子炉格納容器除熱を考慮していないため評価対象外とする。

(b) 有効 NPSH 評価条件および発生異物量の影響

重大事故等時における各事象（第3.4.1-1のaからj）のうち、b, c, d, e, g及びhの事象については、残留熱除去系ポンプを原子炉格納容器除熱に使用するが、「3.3 評価対象ポンプの選定」に記載のとおり、添付書類「V-1-4-3 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水ポンプの有効吸込水頭に関する説明書」にて有効 NPSH を評価するため個別評価対象外とする。

i及びjの事象については、代替循環冷却系ポンプを原子炉格納容器除熱に使用するが、jの事象については、原子炉冷却材配管の破断が生じず、保温材等の異物発生が想定されないことから、iの事象の評価に包絡される。

以上より、新設設備である代替循環冷却系ポンプについて、「i 大破断LOCA時注水機能喪失」の事象を想定し、発生する異物の影響を考慮して有効NPSH評価を実施する。

表3.4.1-1 設計基準事故時と重大事故等時における各事象の評価条件の比較結果（設計基準事故時を基準）

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)		S/P水源での運転 をするポンプ*1	有効NPSH評価条件 (水源の圧力, 温度等)	破断形態	発生異物量		
					保温材等	化学影響 生成異物	
炉心損傷がない場合	a	高圧・低圧注水機能喪失	—	—	無	—	—
	b	高圧注水・減圧機能喪失	RHR	—*3	無	—	—
	c	全交流動力電源喪失	RHR	—*3	無	—	—
	d	崩壊熱除去機能喪失	RHR	—*3	無	—	—
	e	原子炉停止機能喪失	RHR	—*3	無	—	—
	f	LOCA時注水機能喪失	—	—	中小破断	設計基準 事故時未満	—
	g	格納容器バイパス	RHR	—*3	無	—	—
	h	津波浸水による 最終ヒートシンク喪失	RHR	—*3	無	—	—
炉心損傷する場合	i	大破断LOCA時注水機能喪失	ARC	ARC：個別評価を実施	大破断	設計基準 事故時と同等	化学影響 生成異物の 発生*2
	j	DCH, FCI, MCCI	ARC	ARC：iの事象に包絡	無	—	

注記*1：サプレッション・プールを水源として、原子炉格納容器除熱に使用するポンプを示す。

注記*2：pH制御装置よりサプレッション・プール内に水酸化ナトリウムが注入され、水質がアルカリ性になることで、原子炉格納容器内のAl, Si, Zn, Feを含有した構造材との化学反応により溶出したものが保守的に全析出すると仮定する。

注記*3：残留熱除去系ポンプについては、添付書類「V-1-4-3 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書」にて評価する。

注：RHR：残留熱除去系ポンプ，ARC：代替循環冷却系ポンプ，DCH：過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋手動減圧失敗＋炉心損傷後の手動減圧失敗＋DCH，FCI：過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋FCI（ペDESTAL），MCCI：過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗＋損傷炉心冷却失敗＋デブリ冷却失敗（ペDESTAL）

3.4.1.2 有効 NPSH の評価条件

有効 NPSH 評価について、以下の各条件を考慮した上で評価する。

(1) 事故後の原子炉格納容器圧力，サブプレッション・プール水の温度

各事象における水源の温度及び圧力は、事故後の経過時間とともに変化するが、サブプレッション・チェンバの圧力は常にサブプレッション・プール水温の飽和蒸気圧以上となる。

サブプレッション・プールを水源として 有効 NPSH を評価するときは、評価条件を保守的に設定するという観点より、**配管破断後の原子炉格納容器圧力の上昇は考慮せず、大気圧とする。**

(2) サブプレッション・プールの最低水位

サブプレッション・プールの最低水位は、重大事故等で想定されるサブプレッション・プールの最低水位を考慮する。

(3) ストレーナの異物付着による圧損上昇

ストレーナの異物付着による圧損上昇を考慮する。詳細については、別添1に示す。

なお、ストレーナの異物付着による圧損上昇は、代替循環冷却系ポンプ運転時の通水流量（250 m³/h）に対して、有効NPSH評価上保守的な評価となるように、ストレーナを兼用する残留熱除去系ポンプ運転時の定格流量（1691.9 m³/h）を用いた評価を実施する。

(4) 配管圧損

ポンプの有効 NPSH 算定に必要な配管圧損については、配管の径、長さ、形状及び弁類の仕様並びに原子炉格納容器除熱のために使用するポンプの最大流量により評価した値を用いる。

3.4.2 サプレッション・プールを除くタンク等を水源とするポンプの有効 NPSH 評価方法

「3.3 評価対象ポンプの選定」により選定した、常設低圧代替注水系ポンプの有効 NPSH 評価については、吸込揚程が最も小さくなる代替淡水貯槽の水位が最低水位となった場合の運転を想定した最も小さい有効 NPSH が必要 NPSH を上回ることを確認する。

3.4.2.1 有効 NPSH 評価条件

有効 NPSH 評価条件については、以下の各条件を考慮した上で評価する。

(1) 水源の温度

水源の温度は、代替淡水貯槽の最高使用温度である66℃とする。

(2) 水源の水位

常設低圧代替注水系ポンプ運転時の水源の最低水位は、常設低圧代替注水系ポンプへの空気吸込を防止する観点から、代替淡水貯槽の最低水位とする。

(3) 水源の液面に作用する圧力

代替淡水貯槽は大気に開放しているため、水源の液面に作用する圧力は大気圧とする。

(4) 配管圧損

ポンプの有効 NPSH 算定に必要な配管圧損については、配管の径、長さ、形状及び弁類の仕様並びに原子炉格納容器冷却のために使用するポンプの最大流量により評価した値を用いる。

3.5 評価結果

3.5.1 サプレッション・プールを水源とするポンプの有効 NPSH 評価結果

3.5.1.1 代替循環冷却系ポンプの有効 NPSH 評価結果

(1) 有効 NPSH の算定結果

代替循環冷却系ポンプの有効 NPSH 算定結果を表3.5.1.1-1に示す。また、有効 NPSH 評価の概略図を図3.5.1.1-1に示す。

表3.5.1.1-1 代替循環冷却系ポンプの有効 NPSH 算定結果

(単位：m)

	重大事故等時	
H_a ：吸込み液面に作用する絶対圧力		
H_s ：吸込揚程		
H_1 ：ポンプ吸込配管圧損		
H_2 ：異物付着なしの状態におけるストレーナ圧損		
H_3 ：異物付着による圧損上昇*2		
h_s ：ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭		
有効 NPSH ($H_a + H_s - H_1 - H_2 - H_3 - h_s$)		

注記*1：代替循環冷却系ポンプの流量は、ストレーナを兼用する残留熱除去系ポンプの流量に比べて小さく、ストレーナ圧損は低減するが、有効 NPSH 評価上保守的な評価となるように、残留熱除去系ポンプ運転時のストレーナ圧損を使用するものとし、設備の変更がないため、残留熱除去系ストレーナの既工事計画添付書類の算定値と同じとする。

注記*2：ストレーナの異物付着による圧損上昇は、代替循環冷却系ポンプ運転時の通水流量 (250 m³/h) に対して、有効 NPSH 評価上保守的な評価となるように、ストレーナを兼用する残留熱除去系ポンプ運転時の定格流量 (1691.9 m³/h) を用いた値を使用する。詳細は別添1「重大事故等時における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評価」に示す。

(2) 有効 NPSH 評価結果

代替循環冷却系ポンプの有効 NPSH 評価結果を表3.5.1.1-2に示す。

表3.5.1.1-2 代替循環冷却系ポンプの有効 NPSH 評価結果

(単位:m)

	必要 NPSH	有効 NPSH
		重大事故等時
代替循環冷却系ポンプ	<input type="text"/>	<input type="text"/>

表3.5.1.1-2に示すとおり、重大事故等時における代替循環冷却系ポンプの有効 NPSH は、必要 NPSH を上回っており、代替循環冷却系ポンプの運転状態において、必要 NPSH は確保されている。

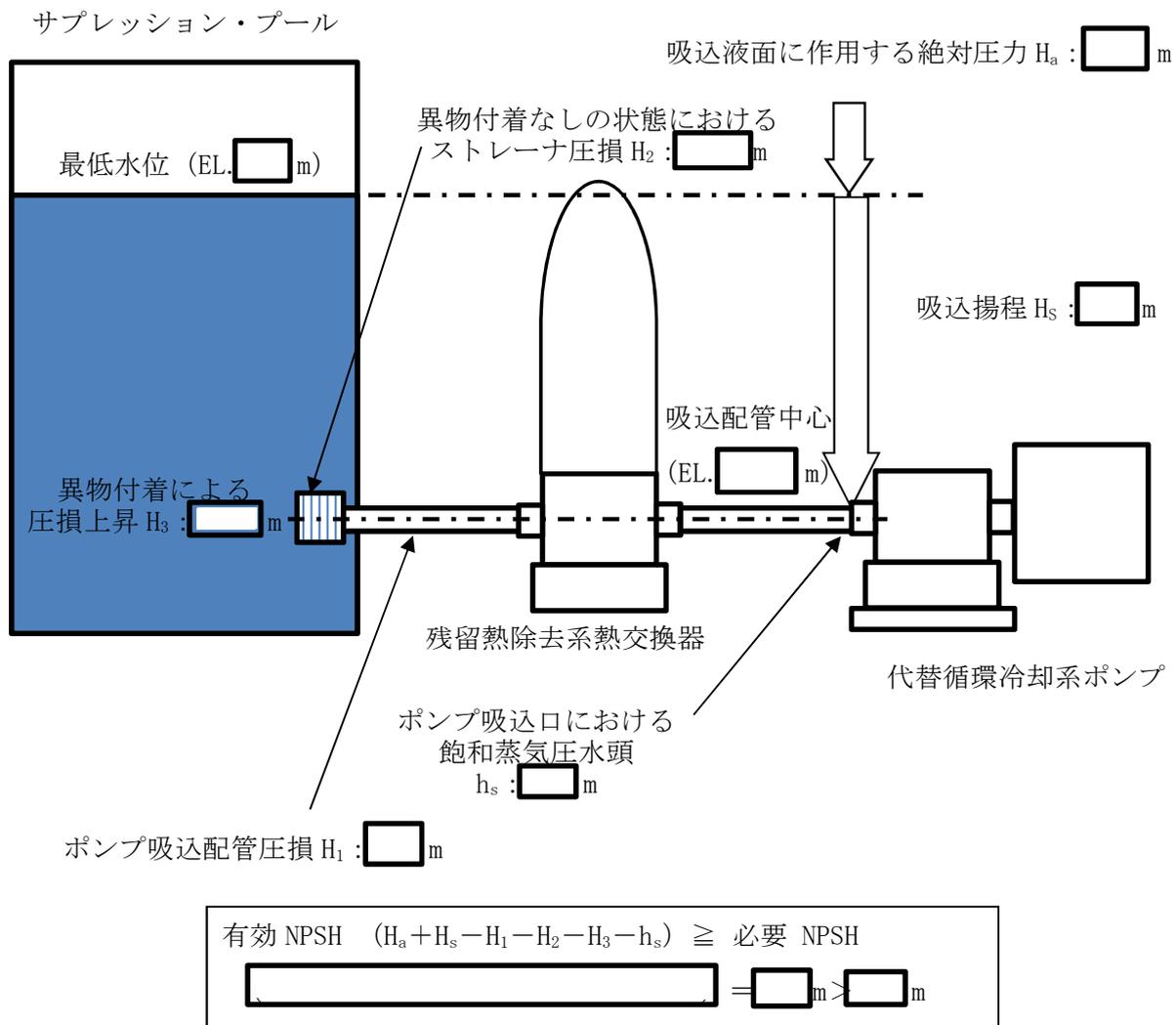


図 3.5.1.1-1 代替循環冷却系ポンプの有効 NPSH 評価の概略図

3.5.2 サプレッション・プールを除くタンク等を水源とするポンプの有効 NPSH 評価結果

3.5.2.1 常設低圧代替注水系ポンプの有効 NPSH 評価結果

(1) 有効 NPSH の算定結果

常設低圧代替注水系ポンプの有効NPSH算定結果を表3.5.2.1-1に示す。また，有効 NPSH 評価の概略図を図3.5.2.1-1に示す。

表3.5.2.1-1 常設低圧代替注水系ポンプの有効 NPSH 算定結果

(単位：m)

	重大事故等時	
H_a ：吸込み液面に作用する絶対圧力		
H_s ：吸込揚程		
H_1 ：ポンプ吸込配管圧損		
h_s ：ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭		
有効 NPSH ($H_a + H_s - H_1 - h_s$)		

(2) 有効 NPSH 評価結果

常設低圧代替注水系ポンプの有効 NPSH 評価結果を表3.5.2.1-2に示す。

表3.5.2.1-2 常設低圧代替注水系ポンプの有効 NPSH 評価結果

(単位:m)

	必要 NPSH	有効 NPSH
		重大事故等時
常設低圧代替注水系 ポンプ	<input type="text"/>	<input type="text"/>

表3.5.2.1-2に示すとおり、重大事故等時における常設低圧代替注水系ポンプの有効 NPSH は、必要 NPSH を上回っており、常設低圧代替注水系ポンプの運転状態において、必要 NPSH は確保されている。

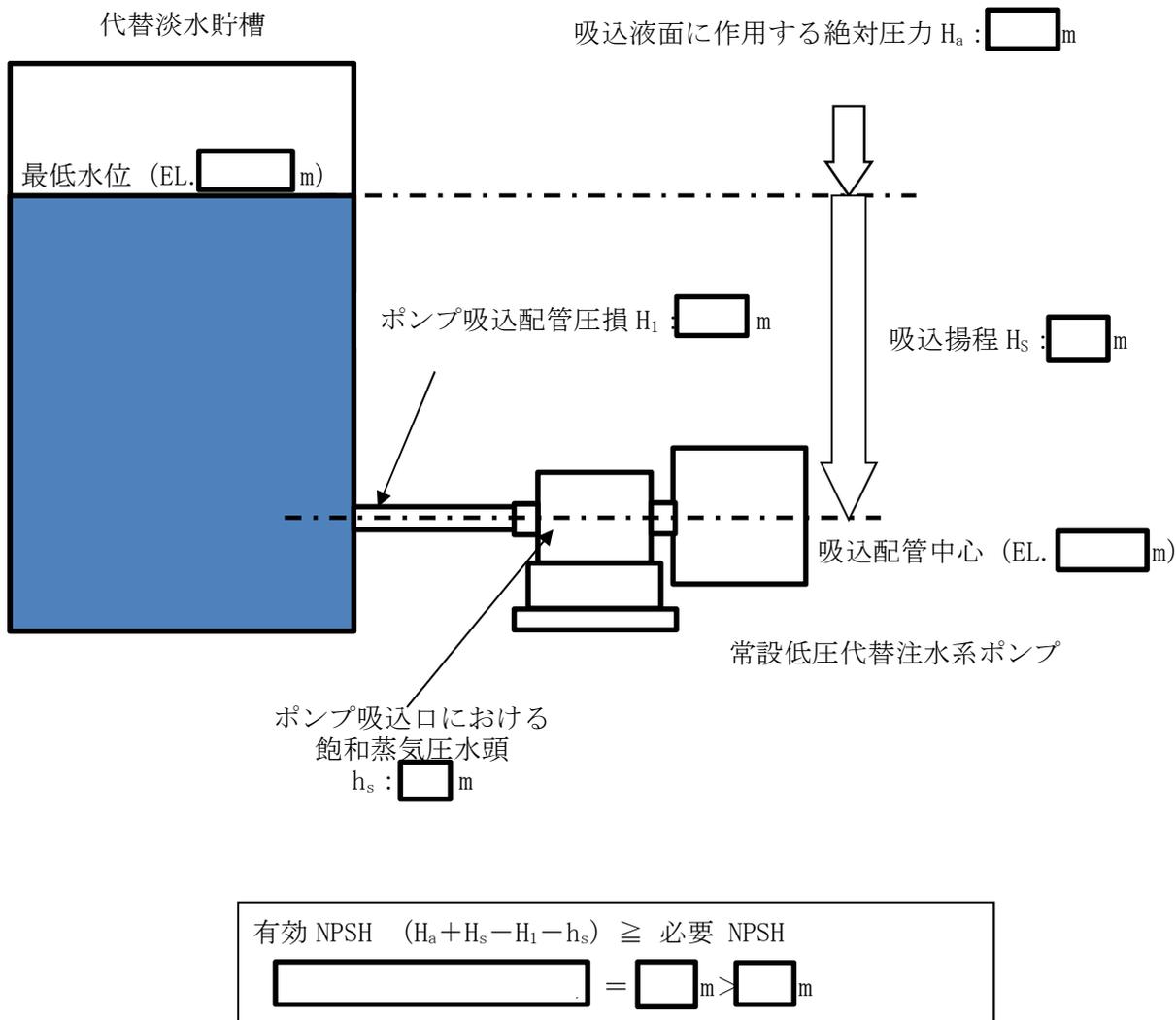


図 3.5.2. 1-1 常設低圧代替注水系ポンプの有効 NPSH 評価の概略図

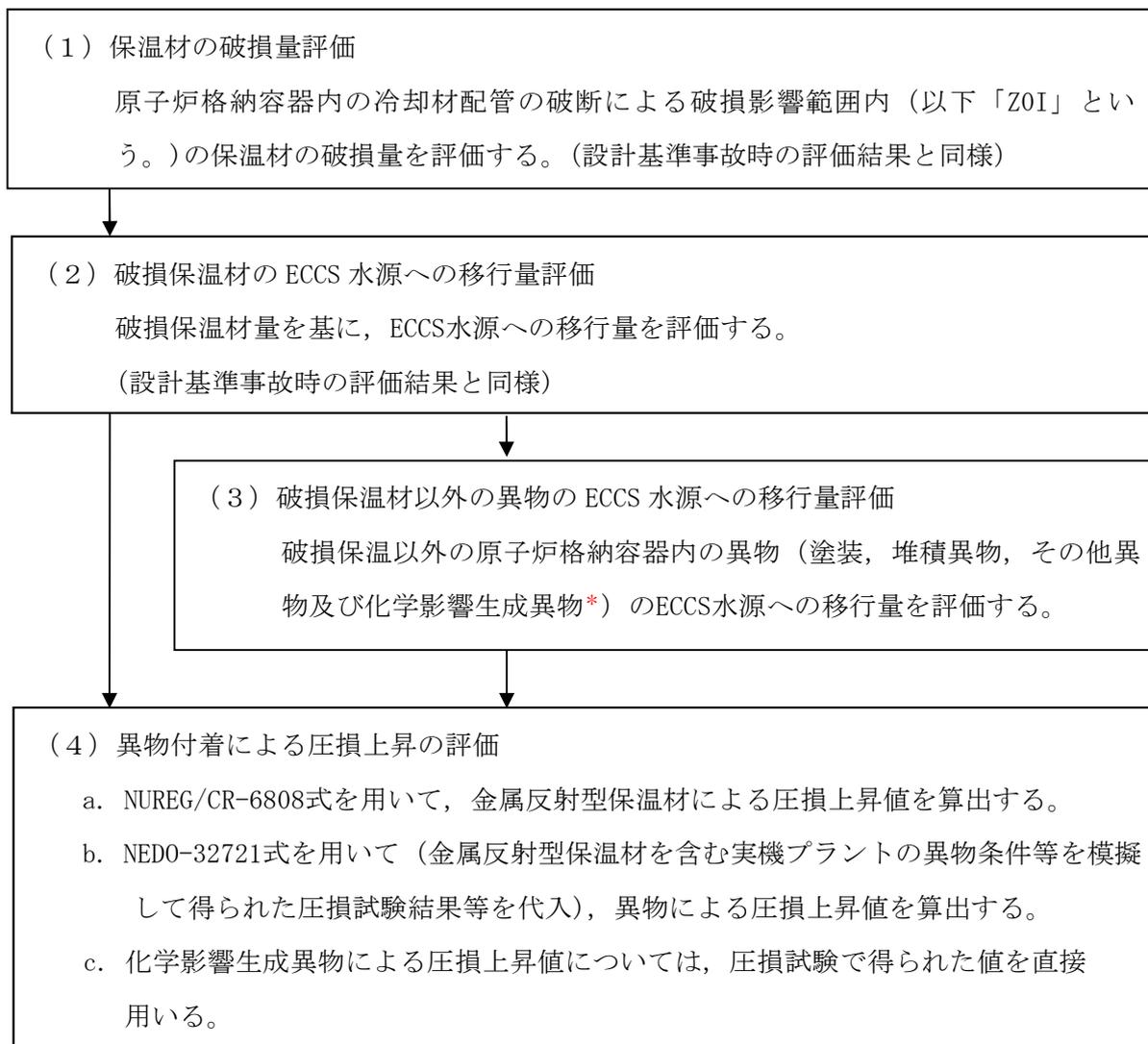
重大事故等時における非常用炉心冷却系ストレーナの異物付着
による圧損上昇評価

目 次

	頁
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の評価方法	別添-1
2. 非常用炉心冷却系ストレーナの異物付着量の評価	別添-3
2.1 保温材の破損量評価	別添-3
2.2 破損保温材のECCS水源への移行量評価	別添-3
2.3 破損保温材以外の異物のECCS水源への移行量評価	別添-4
3. 非常用炉心冷却系ストレーナの異物付着量による圧損上昇の評価	別添-5
3.1 ストレーナの異物付着による圧損上昇評価に用いる流量	別添-5
3.2 試験装置の概要	別添-6
3.3 試験条件	別添-6
3.4 異物付着による圧損上昇の評価	別添-9
3.5 試験結果	別添-12
4. 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の評価結果	別添-13

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の評価方法

重大事故等時の評価においては、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、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（以下「D/W」という。）からECCS水源であるサブレーション・プール（以下「S/P」という。）へ流入し、代替循環冷却系ポンプの吸込流によりECCSストレーナに付着するという事象シナリオに沿って、「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。）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1-1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1-1 ECCSストレーナの圧損上昇の評価の手順

2. 非常用炉心冷却系ストレナの異物付着量の評価

2.1 保温材の破損量評価

LOCA時に破断する冷却材配管が設置されている原子炉格納容器内において、配管破断想定箇所は、ZOI内の保温材破損量が多いと想定される箇所を選定し、保温材の破損量を評価する。なお、重大事故等時における保温材の破損量は、設計基準事故時と同様である。

保温材の最大破損量を表2-1に示す。

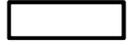
表2-1 保温材の最大破損量

保温材種類	配管破断想定箇所	ZOI (半径:D)	ZOI 内保温材の 破損量
金属反射型保温材	再循環系配管 	7.4D	 (m ²)

2.2 破損保温材のECCS水源への移行量評価

保温材の破損量のうち、ECCS水源へ移行する量を評価した結果を表2-2に示す。移行割合は、内規別表第2に示す値とする。また、破損保温材のECCS水源への移行量は、表2-1のZOI内保温材の破損量に移行割合を乗じて算出する。なお、重大事故等時の破損保温材移行量は、設計基準事故時と同様である。

表2-2 破損保温材のECCS水源への移行量

保温材種類	移行割合 (%)	移行量 (m ²)
金属反射型保温材	50	

2.3 破損保温材以外の異物のECCS水源への移行量評価

重大事故等時において考慮する異物の種類、量及びECCS水源への移行量を表2-3に示す。
また、耐DBA塗装及び堆積異物については、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に示す値を用いる。

表2-3 重大事故等時における破損保温材以外の異物の種類、量及びECCS水源への移行量

異物の種類		異物量	移行割合	移行量
耐DBA仕様塗装（ジェット破損）		39kg		
非DBA仕様塗装				
堆積異物	スラッジ	89kg		
	錆片	23kg		
	塵土	68kg		
その他異物				
耐DBA仕様塗装（耐DBA仕様塗装のうち異物として追加考慮するもの*1）				
化学影響生成異物				

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する。

注記*2：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-N（以下「WCAP」という。））に基づいて算出する。

3. 非常用炉心冷却系ストレーナの異物付着量による圧損上昇の評価

発生が想定される異物量による圧損上昇を以下に示す圧損試験結果より算出し、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」で個別評価を実施するとした、代替循環冷却系ポンプが重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮できることを確認する。

圧損試験は、十分保守的な評価となるよう、以下の通り試験流量、異物量等を設定した。

3.1 ストレーナの異物付着による圧損上昇評価に用いる流量

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は、有効 NPSH 評価上保守的な評価となるように、ストレーナを兼用する残留熱除去系ポンプの定格流量とする。ECCSストレーナを通過する流量を表3-1に示す。

表3-1 ECCSストレーナを通過する流量

(単位:m³/h)

系統設備	流量
代替循環冷却系ポンプ	1691.9*

注記*：代替循環冷却系ポンプの定格流量は250 m³/hであるが、保守的に圧損を評価する観点から、ストレーナを兼用する残留熱除去系ポンプの定格流量である1691.9 m³/hとして評価する。

3.2 試験装置の概要

重大事故等時の圧損評価に使用した試験装置の概要を図3-1に示す。

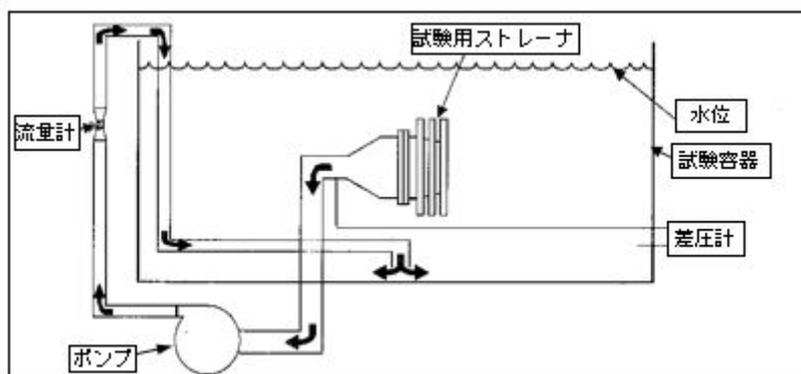


図3-1 圧損試験装置の概要図

3.3 試験条件

(1) 試験のスケーリング比

試験異物のスケーリング比は、試験用ストレーナ1個当たりの表面積 (m²) と実機ストレーナの基準表面積 (m²) の比率から、 とした。

圧損試験で考慮するストレーナ基準面積は、下記の式で算出する。

$$\begin{aligned} \text{ストレーナ基準表面積} &= (\text{有効表面積}) - (\text{その他異物付着面積}) \times 0.75 \\ &= \text{ } - \text{ } \times 0.75 \text{ (内規)} = \text{ } \text{ m}^2 \end{aligned}$$

(2) 試験の異物物量

圧損試験に用いる異物量を表3-2に示す。

表3-2 圧損試験に用いる異物量

試験に用いる異物量の計算		重大事故等時における異物量 (ストレーナ2個分) A	異物スケーリング比 Rsd	試験に用いる異物量 (ストレーナ1個分) B=A/2×Rsd
異物の種類				
金属反射型保温材				
耐DBA仕様塗装 (ジェット破損)		39 kg		
非DBA仕様塗装				*5
堆積異物	繊維質保温材	0 kg *1 (0.708 kg)		
	スラッジ	89 kg		
	錆片	23 kg		
	塵土	68 kg		
その他異物				
耐DBA仕様塗装 (耐DBA仕様塗装のうち異物として追加考慮するもの*3)				
化学影響生成異物			*4	

注記*1：繊維質保温材は、D/W内の高エネルギー配管のギロチン破断を想定した時の最大の影響範囲（ZOI）を設定し、S/Pへの移行量評価を実施して想定物量を評価する。また、実機のD/W内では、繊維質保温材を撤廃しているが、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相当の繊維質を投入して試験を実施した。

注記*2：その他異物のステッカー類については、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。

注記*3：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する。

注記*4：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-N (以下「WCAP」という。))に基づいて算出する。

注記*5：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。

(3) 試験流量

試験流量は、残留熱除去系ポンプの定格流量に対して、実機における側面の接近流速と同等となるよう、試験用ストレーナ1個当たりの側面積 (m²) と実機ストレーナ1個当たりの側面積 (m²) の比率から、 とした。

$$\text{試験流量} = \text{ m}^3/\text{h} \div \text{ストレーナ2個} \times \text{} = \text{ m}^3/\text{h}$$

3.4 異物付着による圧損上昇の評価

(1) 金属反射型保温材の付着による圧損上昇の評価

金属反射型保温材の付着による圧損上昇の評価については、NUREG/CR-6808 にて示される下記評価式を使用して算出する。下記評価式に用いる金属反射型保温材の諸元について表3-3に示す。

この算出の結果、金属反射型保温材が付着した場合のECCSストレーナの圧損をあわせて表3-3に示す。

$$\begin{aligned}
 h_{\text{RMI}} &= (1.56 \times 10^{-5} / K_t^2) \cdot U_{\text{RMI}}^2 \cdot (A_{\text{foil}} / A_c) \cdot 0.0254 \\
 &= (1.56 \times 10^{-5} / \boxed{}^2) \times \boxed{}^2 \times (\boxed{} / \boxed{}) \times 0.0254 \\
 &= \boxed{} \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

ここで、

h_{RMI} : 圧力損失 (m)

K_t : 金属箔のギャップ厚さ (m)

U_{RMI} : 接近流速

$$U_{\text{RMI}} \text{ RHR} = \frac{Q}{A_c} = \frac{\boxed{}}{\boxed{}} = \boxed{} \text{ (m/s)}$$

A_{foil} : 金属箔の表面積 (両面の合計値) (m^2)

A_c : ストレーナ基準表面積 = $\boxed{}$ (m^2)

Q : 流量 = $\boxed{} = \boxed{}$ (m^3/h) = $\boxed{}$ (m^3/s)

表3-3 金属反射型保温材の諸元および圧損上昇

	重大事故等時	
	代替循環冷却系ポンプ	
ギャップ厚さ K_t (m)	<div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 100px;"></div>	
表面積 A_{foil} (m^2) (両面の合計値)		
圧損上昇 (m)		

注記*1: 既工事計画から変更はない。

注記*2: 表2-2 破損保温材のECCS水源への移行量

注記*3: 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。

(2) 繊維質異物，粒子状異物の付着による圧損上昇の評価

(繊維質保温材，スラッジ，塗料片，錆片，塵土)

NEDO-32721 にて示される下記評価式を使用して算出する。

$$\begin{aligned}
 h_{\text{debris}} &= \frac{\mu \cdot U \cdot t}{\rho \cdot g \cdot d^2} \cdot K_h \\
 &= \frac{\boxed{} \times \boxed{} \times \boxed{}}{\boxed{} \times \boxed{} \times (\boxed{})^2} \times \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

であり，式中の記号の意味は以下のとおりである。

h_{debris} : 圧力損失 (m)
 μ : 水の粘性係数 = $\boxed{}$ (Pa·s) $\boxed{}$
 U : 側面の接近流速 (m/s)

$$= \frac{Q}{\pi \cdot D \cdot L}$$

$$= \frac{\boxed{}}{\pi \times \boxed{} \times \boxed{}} = \boxed{}$$
 ここで，D : 外径 = $\boxed{}$ (m)
 L : 圧損評価長さ = $\boxed{}$ (m)
 t : 側面の異物の厚さ = $\boxed{}$ (m)

$$= \frac{V_{\text{debris}}}{\pi \cdot D \cdot L}$$

$$= \frac{\boxed{}}{\pi \times \boxed{} \times \boxed{}} = \boxed{} \text{ (m)}$$

ここで， V_{debris} : 異物の体積 (m³)

$$\boxed{} \text{ (m}^2\text{)} \times \boxed{} \text{ (m)} = \boxed{} \text{ (m}^3\text{)}$$

ρ : 水の密度 = $\boxed{}$ (kg/m³) $\boxed{}$
 g : 重力加速度 = 9.80665 (m/s²)
 d : インターファイバーディスタンス (m)
 代替循環冷却系 : $\boxed{}$ (m)

実機異物条件を基に，保守的な条件で圧損試験を実施し，その試験で計測された圧損結果 (A100H 未投入の圧損値) から算出した値。なお圧損試験では，金属反射型保温材も試験デブリとして投入した。

K_h : $f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4$

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

f_1 : 流速を考慮する係数

$$= 1 + 0.07 \cdot Re$$

$$= 1 + 0.07 \times \boxed{} = \boxed{}$$

ここで，
 Re : レイノルズ数

$$= U1 \cdot d_{\text{fiber}} \cdot \rho / \mu$$

$$= \boxed{} \times \boxed{} \times \boxed{} / \boxed{} = \boxed{}$$

$$U1 = \frac{Q}{\pi \cdot D \cdot L + \pi \cdot (2 \cdot D^2 - d_0^2 - d_l^2) / 4}$$

$$= \frac{\text{[]}}{\pi \times \text{[]} \times \text{[]} + \pi \times (2 \times \text{[]}^2 - \text{[]}^2 - \text{[]}^2) / 4}$$

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

d_{fiber} : 繊維直径 (m) = [] (m)
 d_0 : トップフランジ外径 = [] (m)
 d_l : ボトムスペーサ外径 = [] (m)

f_2 : 異物の層の圧縮を表す係数

$$= 0.2197 + 0.23 \cdot \frac{\mu \cdot U}{\rho \cdot g \cdot d^2}, \quad \text{for } \frac{\mu \cdot U}{\rho \cdot g \cdot d^2} < 3.393$$

$$= 1, \quad \text{for } \frac{\mu \cdot U}{\rho \cdot g \cdot d^2} \geq 3.393$$

$$\frac{\mu \cdot U}{\rho \cdot g \cdot d^2} = \frac{\text{[]} \times \text{[]}}{\text{[]} \times 9.80665 \times (\text{[]})^2} = \text{[]} > 3.393$$

したがって, $f_2 = \text{[]}$

f_3 : 繊維異物と粒子異物の比率 (M_c/M_f) を表す係数

$$= 1 + 0.15 (M_c/M_f)$$

M_c : 粒子異物の質量 (kg)
 M_f : 繊維異物の質量 (kg)

実機のデブリ条件を用いた実験によりデブリ特性の全てを包括するため, $M_c/M_f=0$ となり

$$f_3 = \text{[]}$$

f_4 : 形状効果を表す係数

$$= 0.1558 + 6.525 (t/D), \quad \text{for } t/D < 0.27$$

$$= 2.0157 - 0.3467 (t/D), \quad \text{for } 0.27 < t/D < 1.8$$

$t/D > 1.8$ の場合, $f_4=1.4$ を保守的に使用する。

$$t/D = 0.00165 / 0.8509 = 0.00194 < \text{[]}$$

したがって

$$f_4 = \text{[]} + \text{[]} \times \text{[]}$$

$$= \text{[]}$$

(3) 化学影響生成異物の付着による圧損上昇の評価

化学影響生成異物（A100H）の付着による圧損上昇の評価については、圧損試験において、A100H投入後の圧損静定値とA100H投入直前の圧損値の差として算出する。

$$h_3 = h_2 - h_1 = \boxed{} - \boxed{} = \boxed{} \text{ (m)}$$

ここで、

$$h_1 : \text{A100H投入直前の圧損} = \boxed{} \text{ (m)}$$

$$h_2 : \text{A100H投入が完了し静定後の圧損} = \boxed{} \text{ (m)}$$

$$h_3 : \text{化学影響生成異物（A100H）の付着による圧損上昇 (m)}$$

3.5 試験結果

「3.3 試験条件」にて示した条件において圧損試験を実施したところ、「3.4 異物付着による圧損上昇の評価」の(1)～(3)に示したとおり、金属反射型保温材の付着による圧損上昇は $\boxed{}$ m、繊維質異物、粒子状異物の付着による圧損上昇は $\boxed{}$ m、化学影響生成異物の付着による圧損上昇は $\boxed{}$ mとなり、これらを加算した異物付着による圧損上昇の最大値は $\boxed{}$ m程度であった。以上より、重大事故等時において想定される異物の量を考慮しても、代替循環冷却系ポンプが重大事故等時に対処するために必要な機能を有効に発揮できることを確認した。

4. 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の評価結果

「3.4 異物付着による圧損上昇の評価」による、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4-1に示すとおりである。

表4-1 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の付着による圧損上昇の評価結果

(単位:m)

	圧損値	
	重大事故等時	
	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		
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		
合計		

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。