

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-296 改 7
提出年月日	平成 30 年 7 月 31 日

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

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	6
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	6
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 ...	11
3.5 評価結果	12
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	12

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32条第3項及び第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、原子炉冷却系統施設の「非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備」のうちサプレッション・プールを水源として原子炉圧力容器に注水するためのポンプが、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圧力容器に注水するための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「非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備」のうちサプレッション・プールを水源として原子炉圧力容器に注水する残留熱除去系ポンプ、高圧炉心スプレイ系ポンプ、低圧炉心スプレイ系ポンプ、原子炉隔離時冷却系ポンプ、常設高圧代替注水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圧力容器に注水する常設低圧代替注水系ポンプ、ほう酸水注入ポンプ、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。

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」としてサプレッション・プールを水源として原子炉圧力容器に注水するためのポンプは，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圧力容器へ注水するためのポンプは，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，S A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・プールを水源として原子炉压力容器へ注水するポンプは、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。）等時の対応によりサプレッション・プールを水源として、原子炉压力容器に注水する場合、注水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」として原子炉圧力容器に注水するために使用するポンプ及び想定される水源を以下に示す。

- ・ 残留熱除去系ポンプ* (水源：サプレッション・プール)
- ・ 高圧炉心スプレイ系ポンプ (水源：サプレッション・プール)
- ・ 低圧炉心スプレイ系ポンプ (水源：サプレッション・プール)
- ・ 原子炉隔離時冷却系ポンプ (水源：サプレッション・プール)
- ・ ほう酸水注入ポンプ (水源：ほう酸水貯蔵タンク)
- ・ 常設高圧代替注水系ポンプ (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*：原子炉格納施設のうち「圧力低減設備その他の安全設備」と兼用し、原子炉格納容器の除熱又は冷却に使用するポンプを示す。なお、ほう酸水注入ポンプ及び常設高圧代替注水系ポンプは、熔融炉心のペDESTAL（ドライウエル部）への落下を遅延又は防止するために原子炉圧力容器へ注水することから、原子炉格納施設のうち「圧力低減設備その他の安全設備」と兼用しており、原子炉格納容器の除熱又は冷却に使用しない。

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。

「圧力低減設備その他の安全設備」と兼用するポンプのうち、常設低圧代替注水系ポンプ及び代替循環冷却系ポンプは、「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に注水に使用する場合よりも、「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に使用する場合の方が厳しい使用条件となるため、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」にて有効 NPSH を評価する。

ほう酸水注入ポンプは、ほう酸水貯蔵タンクを水源として有効 NPSH が確保される水位以上に確保された必要水量を原子炉圧力容器へ注水するよう設計されており、機能が要求される運転状態においては水源の圧力、温度の変化及び異物の影響はなく、ほう酸水注入ポンプの有効 NPSH は十分確保されることから、評価対象外とする。

可搬型代替注水大型ポンプ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は、空気を吸い込まない水位を確保するように沈めて運転するポンプであり、必要 NPSH に代わる条件として運転必要最低水位（水中ポンプ内に空気を吸い込まず、ポンプが正常に機能するための最低吸込高さ）を確保するように設置することで、キャビテーションを防止する設計であることから、評価対象外とする。

また、可搬型代替注水大型ポンプは、付属品である水中ポンプにより、可搬型代替注水大型ポンプの必要 NPSH を上回る押込水頭が可搬型代替注水大型ポンプの吸込側にかかるように設計されており、可搬型代替注水大型ポンプの有効 NPSH は十分確保されることから、評価対象外とする。

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。

- ・ 残留熱除去系ポンプ (水源：サプレッション・プール)
(1691.9 m³/h)
- ・ 高圧炉心スプレイ系ポンプ (水源：サプレッション・プール)
(1461.4 m³/h)
- ・ 低圧炉心スプレイ系ポンプ (水源：サプレッション・プール)
(1442.1 m³/h)
- ・ 原子炉隔離時冷却系ポンプ (水源：サプレッション・プール)
(142 m³/h)
- ・ 常設高圧代替注水系ポンプ (水源：サプレッション・プール)
(136.7 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」により選定した残留熱除去系ポンプ，高圧炉心スプレイ系ポンプ，低圧炉心スプレイ系ポンプ，原子炉隔離時冷却系ポンプ及び常設高圧代替注水系ポンプの有効 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。

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」で選定した残留熱除去系ポンプ，高圧炉心スプレイ系ポンプ，低圧炉心スプレイ系ポンプ，原子炉隔離時冷却系ポンプ及び常設高圧代替注水系ポンプ（高圧炉心スプレイ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，評価対象ポンプによるサプレッション・プールを水源とした原子炉压力容器への注水を考慮しないため個別評価対象外とする。

(b) 有効 NPSH 評価条件及び発生異物量の影響

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，b，c，d，e，g及びh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。したがって，残留熱除去系ポンプ，高圧炉心スプレイ系ポンプ及び低圧炉心スプレイ系ポンプの評価については有効 NPSH 評価条件が設計基準事故時の条件に包絡されることから，個別評価対象外とする。

以上より，設計基準対象施設としての使用条件を超えて運転する原子炉隔離時冷却系ポンプについて，サプレッション・プール水温の上昇に伴うポンプ吸込口の条件が最も厳しい「c 全交流動力電源喪失」の事象を想定し有効 NPSH 評価を実施する。また，新設設備である常設高圧代替注水系ポンプについても同様の理由により，「c 全交流動力電源喪失」の事象を想定し有効 NPSH 評価を実施する。これらの事象では，LOCA事象を想定しないため，異物による圧損影響については考慮しない。

なお、「i 大破断LOCA時注水機能喪失」及び「j DCH, FCI, MCCI」の事象については、「3.3 評価対象ポンプの選定」に記載のとおり、添付書類「V-1-8-4 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」にて有効 NPSH を評価するため個別評価対象外とする。

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）

重大事故等の事象 (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, LPCS	設計基準事故時に包絡	無	—	—
	c	全交流動力電源喪失	RHR, RCIC, AHPI	RHR: 設計基準事故時に包絡 RCIC: 個別評価を実施*3 AHPI: 個別評価を実施	無	—	—
	d	崩壊熱除去機能喪失	RHR, HPCS, RCIC	RHR, HPCS: 設計基準事故時に包絡 RCIC: cの事象に包絡	無	—	—
	e	原子炉停止機能喪失	RHR, HPCS, RCIC	RHR, HPCS: 設計基準事故時に包絡 RCIC: cの事象に包絡	無	—	—
	f	LOCA時注水機能喪失	—	—	中小破断	設計基準 事故未満	—
	g	格納容器バイパス	RHR, LPCS, RCIC	RHR, LPCS: 設計基準事故時に包絡 RCIC: cの事象に包絡	無	—	—
	h	津波浸水による 最終ヒートシンク喪失	RHR, RCIC	RHR: 設計基準事故時に包絡 RCIC: cの事象と同じ	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：サブプレッション・プールを水源として、原子炉圧力容器へ注水するポンプを示す。

注記*2：pH制御装置よりサブプレッション・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：RCICの有効 NPSH 評価条件として最も厳しい条件は、100 °C以上の運転状態となり背圧が小さい全交流動力電源喪失事象となる。

注：RHR：残留熱除去系ポンプ，HPCS：高圧炉心スプレイ系ポンプ，LPCS：低圧炉心スプレイ系ポンプ，RCIC：原子炉隔離時冷却系ポンプ，AHPI：常設高圧代替注水系ポンプ，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を超える。

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，保守性を十分考慮した背圧を設定する。

(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

大破断LOCAを想定しないため，ストレーナの異物付着による圧損上昇を考慮しない。

(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注水時におけ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，評価対象となるポンプは無い。

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 原子炉隔離時冷却系ポンプの有効 NPSH 評価結果

(1) 有効 NPSH の算定結果

原子炉隔離時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 原子炉隔離時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*1		
h_s ：ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭		
有効 NPSH ($H_a + H_s - H_1 - H_2 - h_s$)		

注記*1：原子炉隔離時冷却系ポンプはLOCA事象において使用しないため。

注記*2：ティー及びペネ部を含む。

(2) 有効 NPSH 評価結果

原子炉隔離時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 原子炉隔離時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
原子炉隔離時冷却系 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原子炉隔離時冷却系ポンプの有効 NPSH は，必要 NPSH を上回っており，原子炉隔離時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。

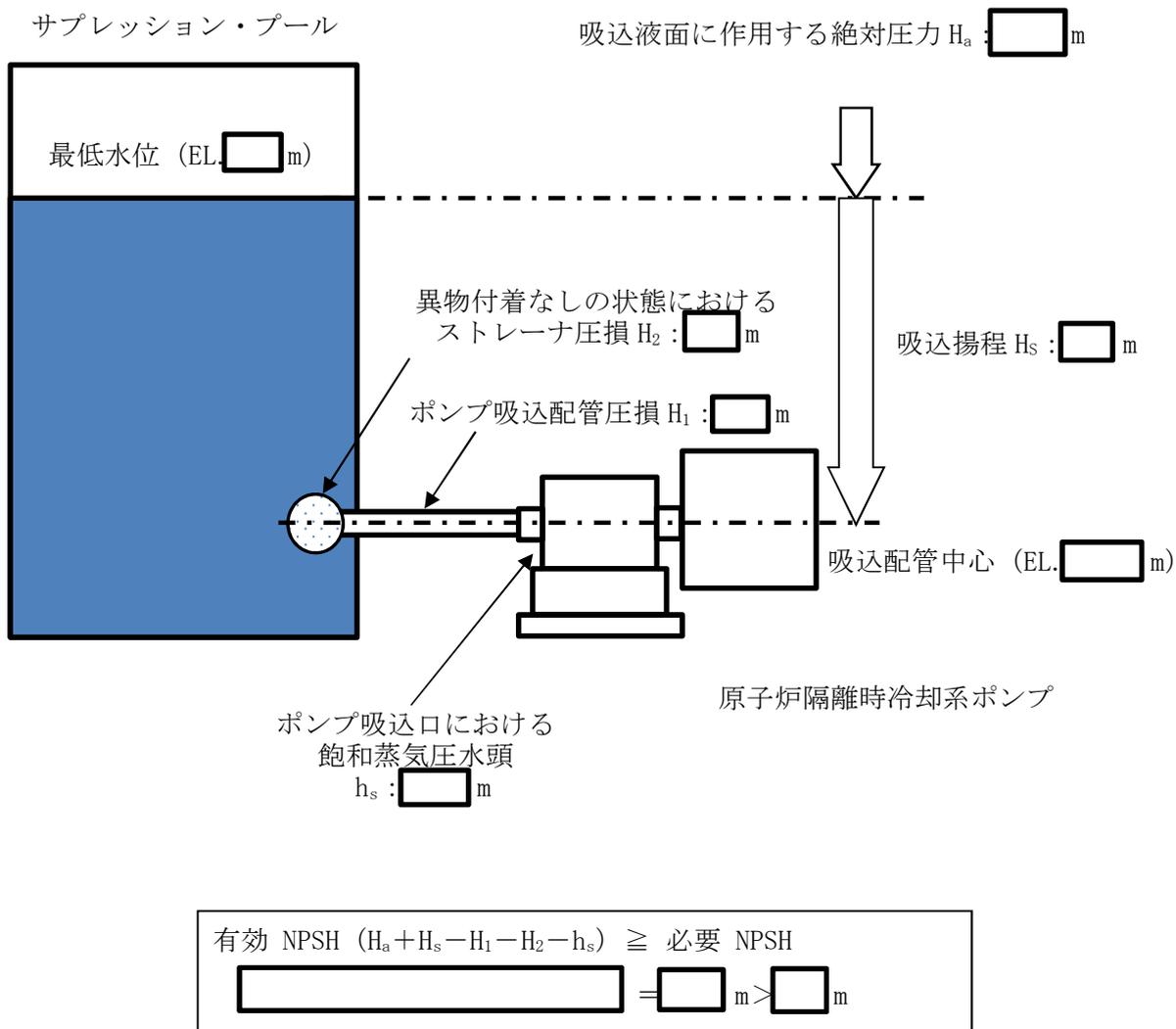


図 3.5.1.1-1 原子炉隔離時冷却系ポンプの有効 NPSH 評価の概略図

3.5.1.2 常設高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

常設高圧代替注水系ポンプの有効 NPSH 算定結果を表3.5.1.2-1に示す。また、有効 NPSH 評価の概略図を図3.5.1.2-1に示す。

表3.5.1.2-1 常設高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	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>
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*1	
h_s : ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭	
有効 NPSH ($H_a + H_s - H_1 - H_2 - h_s$)	

注記*1：常設高圧代替注水系ポンプはLOCA事象において使用しないため。

注記*2：常設高圧代替注水系ポンプの流量は、ストレーナを兼用する高圧炉心スプレイ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、高圧炉心スプレイ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、高圧炉心スプレイ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。

(2) 有効 NPSH 評価結果

常設高圧代替注水系の有効 NPSH 評価結果を表3.5.1.2-2に示す。

表3.5.1.2-2 常設高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
常設高圧代替注水系 ポンプ	<input type="text"/>	<input type="text"/>

表3.5.1.2-2に示すとおり、重大事故等時における常設高圧代替注水系ポンプの有効 NPSH は、必要 NPSH を上回っており、常設高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。

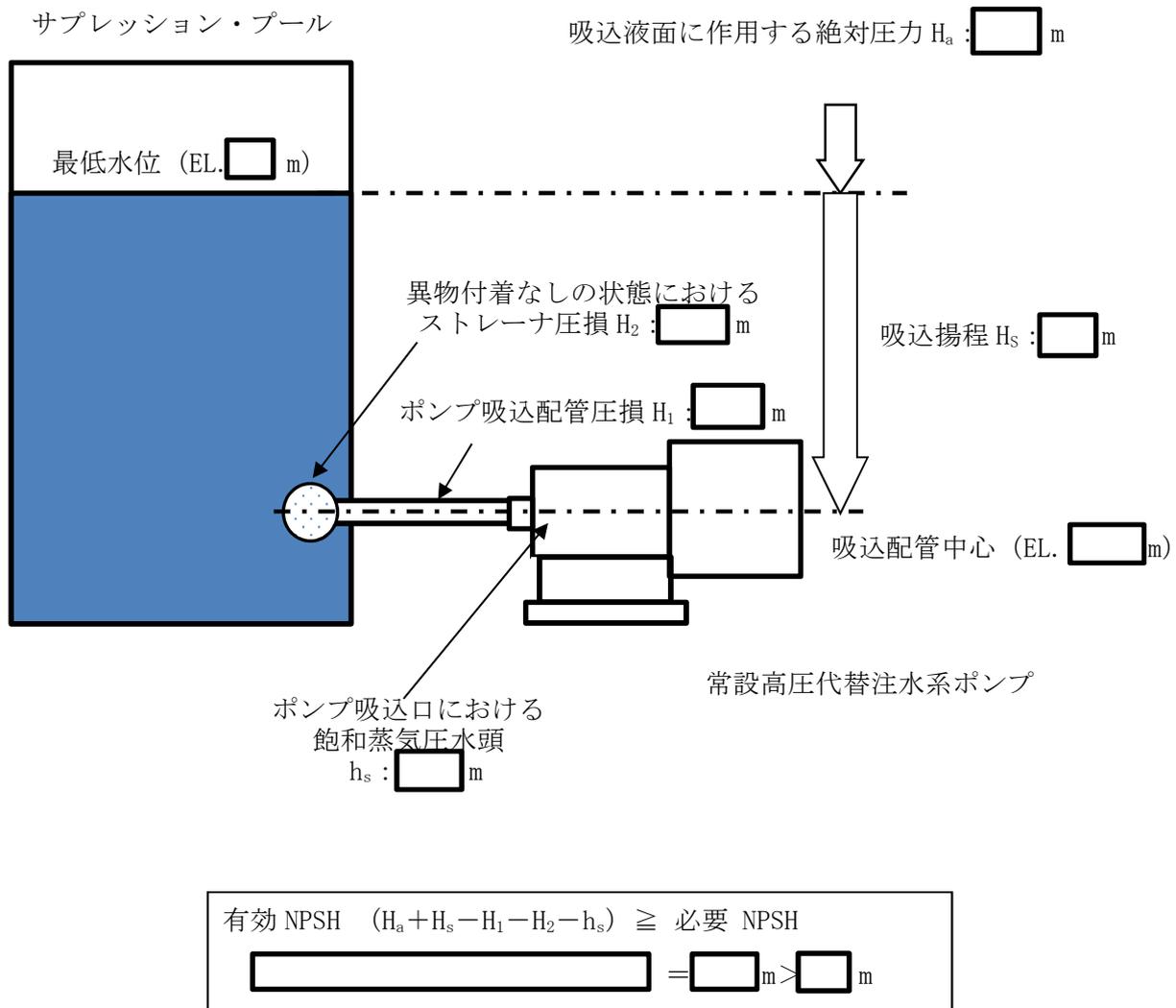


図 3. 5. 1. 2-1 常設高圧代替注水系ポンプの有効 NPSH 評価の概略図