

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 1-050
提出年月日	2022年1月27日

VI-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

2022年1月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 目 次

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 .....	3
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 .....	8
3.5 評価結果 .....	9
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 .....	9
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

## 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」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、温度及び配管圧損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、VI-1-1-7「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ポンプ、高圧炉心スプレイポンプ、低圧炉心スプレイポンプ、原子炉隔離時冷却ポンプ及び高圧原子炉代替注水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低圧原子炉代替注水ポンプ、ほう酸水注入ポンプ及び大量送水車について、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「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は、想定される原子炉格納容器内の圧力、水位、温度及び配管圧損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「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、温度及び配管圧損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。

これらのポンプは、異物管理されたほう酸水貯蔵タンク、低圧原子炉代替注水槽、輪谷貯水槽（西 1）又は輪谷貯水槽（西 2）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。

また、海から取水する可能性のある大量送水車の付属品である水中ポンプには、吸込口に異物混入防止のフィルタを設置することにより、各水源タンク等内への異物混入を防止する設計とする。万一、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るフィルタ清掃が短時間で可能である。

### 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圧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、水源の温度及び配管圧損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が必要有効吸込水頭（以下「必要NPSH」という。）を上回ることを評価する。

評価にあたっては、平成19年5月23日付平成19・04・27原第14号にて認可された工事計画の添付書類IV-7「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。

- ・ 残留熱除去ポンプ\* (水源：サプレッションプール)
- ・ 高圧炉心スプレイポンプ (水源：サプレッションプール)
- ・ 低圧炉心スプレイポンプ (水源：サプレッションプール)
- ・ 原子炉隔離時冷却ポンプ (水源：サプレッションプール)
- ・ 高圧原子炉代替注水ポンプ\* (水源：サプレッションプール)
- ・ 低圧原子炉代替注水ポンプ\* (水源：低圧原子炉代替注水槽)
- ・ ほう酸水注入ポンプ\* (水源：ほう酸水貯蔵タンク)
- ・ 大量送水車\* (水源：輪谷貯水槽（西1）、輪谷貯水槽（西2）又は海)

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高圧原子炉代替注水ポンプは、熔融炉心の原子炉格納容器下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あたっては、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、大量送水車は、「非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備」として使用する場合は、「圧力低減設備その他の安全設備」として原子炉格納容器冷却する場合の有効 NPSH 評価条件に包絡されるため、VI-1-8-4「圧力低減設備その他の安全設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書」にて有効 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。

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。

- ・ 残留熱除去ポンプ (水源：サブプレッションプール)  
(1218m<sup>3</sup>/h)
- ・ 高圧炉心スプレイポンプ (水源：サブプレッションプール)  
(1074m<sup>3</sup>/h)
- ・ 低圧炉心スプレイポンプ (水源：サブプレッションプール)  
(1074m<sup>3</sup>/h)
- ・ 原子炉隔離時冷却ポンプ (水源：サブプレッションプール)  
(99m<sup>3</sup>/h)
- ・ 高圧原子炉代替注水ポンプ (水源：サブプレッションプール)  
(93m<sup>3</sup>/h)
- ・ 低圧原子炉代替注水ポンプ (水源：低圧原子炉代替注水槽)  
(m<sup>3</sup>/h\*)

注記\*：重大事故等対策の有効性評価解析において、有効性が確認されている原子炉圧力容器への注入流量 m<sup>3</sup>/h/個にミニマムフロー流量 m<sup>3</sup>/h/個を考慮した値。

### 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ポンプ、高圧炉心スプレイポンプ、低圧炉心スプレイポンプ、原子炉隔離時冷却ポンプ及び高圧原子炉代替注水ポンプの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、その事象については、最も小さい有効NPSHが必要NPSHを上回ることを評価する。

##### (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ポンプ、高圧炉心スプレイポンプ、低圧炉心スプレイポンプ、原子炉隔離時冷却ポンプ及び高圧原子炉代替注水ポンプ（C-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3-1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

重大事故等時における各事象（表3-1のaからg）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圧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

重大事故等時における各事象（表3-1のaからg）のうち、b、c、d、e、及びg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、残留熱除去ポンプ、高圧炉心スプレイポンプ、及び低圧炉心スプレイ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、新設設備である高圧原子炉代替注水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。

(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。

- a. 事故後の原子炉格納容器圧力、サ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、サプレッションチェンバの圧力は常にサプレッションプール水温の飽和蒸気圧を超える。  
サ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。
- b. サプレッションプールの水位  
サプレッションプールの水位は、重大事故等で想定されるサプレッションプールの最低水位を考慮する。
- c. 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。
- d. 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。



表 3-1 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）

重大事象等の事象 (有効性評価の事故シナリグループ)	S/P 水源での運転 をするポンプ*	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
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	RHR: 設計基準事故時に包絡 LPCS: 設計基準事故時に包絡	無	—	—
c 全交流動力電源喪失	RHR, RCIC, HPAC, LPCS	RHR: 設計基準事故時に包絡 RCIC: 個別評価を実施 HPAC: 個別評価を実施 LPCS: 設計基準事故時に包絡	無	—	—
d 崩壊熱除去機能喪失	RHR, RCIC, LPCS	RHR: 設計基準事故時に包絡 RCIC: c の事象に包絡 LPCS: 設計基準事故時に包絡	無	—	—
e 原子炉停止機能喪失	HPCS, RCIC	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 事故未済	—
g 格納容器バイパス	HPCS, RCIC	HPCS: 設計基準事故時に包絡 RCIC: c の事象に包絡	無	—	—

炉心損傷がない場合

注記\*: サ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: LOCA: 原子炉冷却材喪失事故, RHR: 残留熱除去ポンプ, HPCS: 高圧炉心スプレイポンプ, LPCS: 低圧炉心スプレイポンプ, RCIC: 原子炉隔離時冷却ポンプ, HPAC: 高圧原子炉代替注水ポンプ

### 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」により選定した低圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH 評価については、吸込揚程が最も小さくなる水源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 を上回ることを評価する。

#### (1) 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。

##### a. 水源の温度

水源の温度は、低圧原子炉代替注水槽の最高使用温度である 66℃とする。

##### b. 水源の水位

低圧原子炉代替注水ポンプ運転時の水源の最低水位は、低圧原子炉代替注水ポンプトリップ水位を保守的に丸めた値とする。

##### c. 水源の液面に作用する圧力

低圧原子炉代替注水槽は大気に開放しているため、水面の液面に作用する圧力は大気圧とする。

##### d. 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圧力容器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。

## 3.5 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

## (1) 原子炉隔離時冷却ポンプの有効NPSH評価事象の抽出

## a. 有効NPSHの算定結果

原子炉隔離時冷却ポンプの有効NPSH算定結果を表3-2に示す。また、有効NPSH評価の概略図を図3-1に示す。

表3-2 原子炉隔離時冷却ポンプの有効NPSH算定結果

(単位：m)

	重大事故等時
$H_a$ ：吸込液面に作用する絶対圧力	<input type="text"/>
$H_s$ ：吸込揚程	<input type="text"/>
$H_1$ ：ポンプ吸込配管圧損	<input type="text"/>
$H_2$ ：異物付着なしの状態におけるストレーナ圧損	<input type="text"/>
$h_s$ ：ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭	10.3
有効NPSH ( $H_a + H_s - H_1 - H_2 - h_s$ )	<input type="text"/>

## b. 有効NPSH評価結果

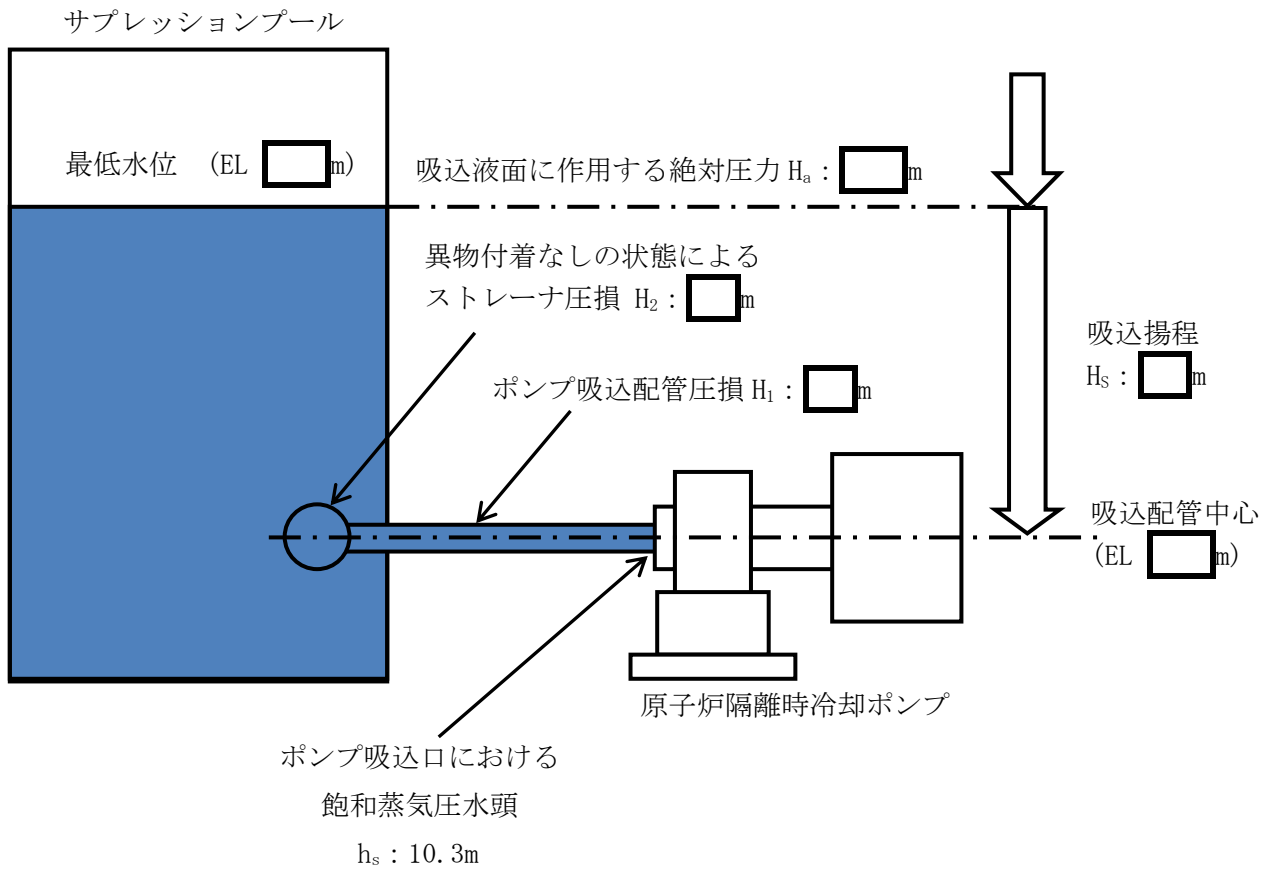
原子炉隔離時冷却ポンプの有効NPSH評価結果を表3-3に示す。

表3-3に示すとおり、重大事故等時における原子炉隔離時冷却ポンプの有効NPSHは、必要NPSHを上回っており、原子炉隔離時冷却ポンプの運転状態において、必要NPSHは確保されている。

表3-3 原子炉隔離時冷却ポンプの有効NPSH評価結果

(単位：m)

	必要NPSH	有効NPSH
		重大事故等時
原子炉隔離時冷却ポンプ	<input type="text"/>	<input type="text"/>



<p>有効 NPSH <math>(H_a + H_s - H_1 - H_2 - h_s) \geq</math> 必要 NPSH</p> <p><math>( [ ] + [ ] - [ ] - [ ] - 10.3 ) = [ ] \text{ m} &gt; [ ] \text{ m}</math></p>
--

図 3-1 原子炉隔離時冷却ポンプの有効 NPSH 評価の概略図

(2) 高圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH 評価結果

a. 有効 NPSH の算定結果

高圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH 算定結果を表 3-4 に示す。また、有効 NPSH 評価の概略図を図 3-2 に示す。

表 3-4 高圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH 算定結果

(単位：m)

	重大事故等時
$H_a$ ：吸込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*	□
$h_s$ ：ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭	10.3
有効 NPSH ( $H_a + H_s - H_1 - H_2 - h_s$ )	□

注記\*：高圧原子炉代替注水ポンプの流量は、ストレーナを兼用する残留熱除去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の添付書類IV-7「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」の算定値と同じとする。

b. 有効 NPSH 評価結果

高圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH 評価結果を表 3-5 に示す。

表 3-5 に示すとおり、重大事故等時における高圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH は、必要 NPSH を上回っており、高圧原子炉代替注水ポンプの運転状態において、必要 NPSH は確保されている。

表 3-5 高圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH 評価結果

(単位：m)

	必要 NPSH	有効 NPSH
		重大事故等時
高圧原子炉代替注水ポンプ	□	□

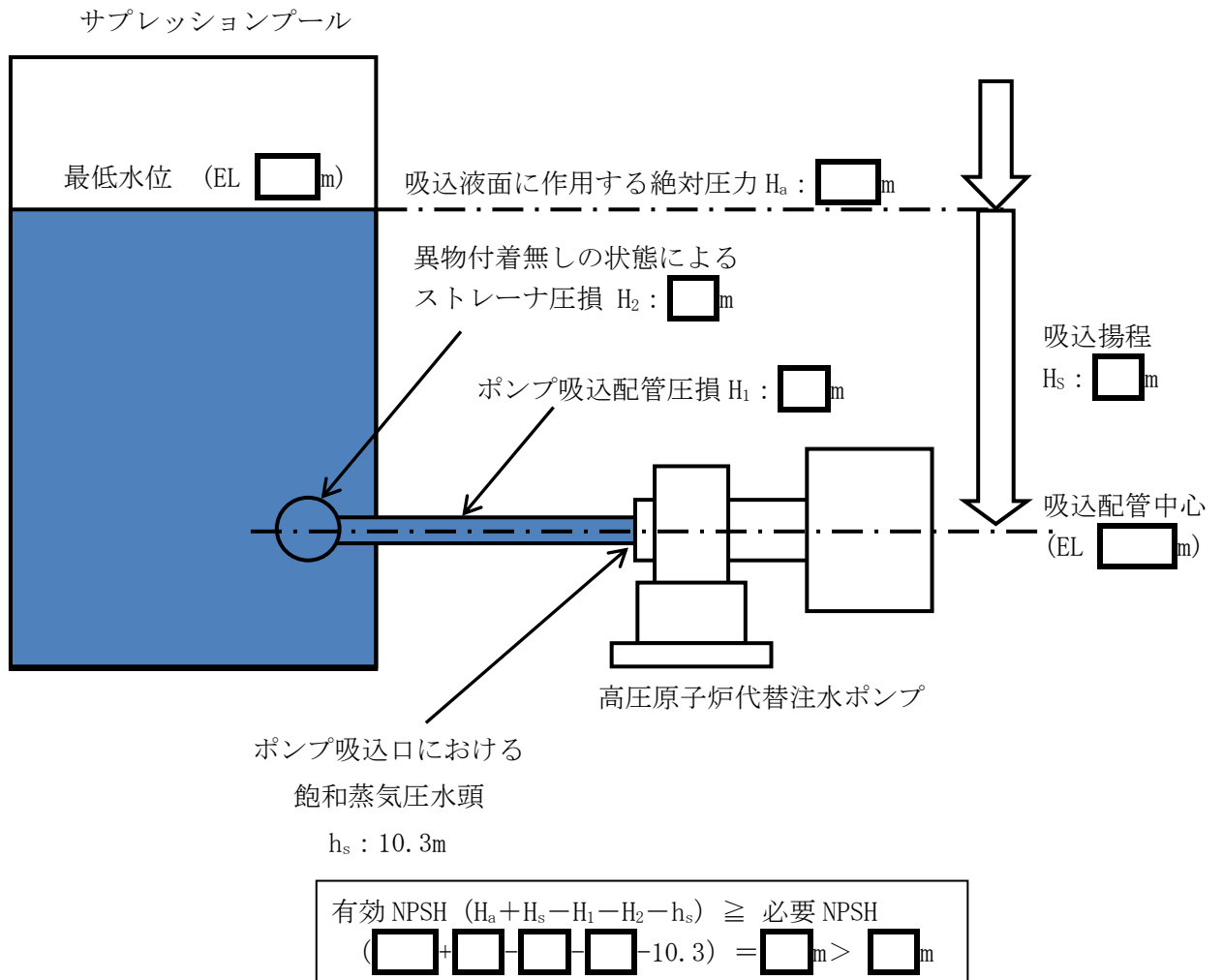


図 3-2 高圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH 評価の概略図

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

(1) 低圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH 評価事象の抽出

a. 有効 NPSH の算定結果

低圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH 算定結果を表 3-6 に示す。また、有効 NPSH 評価の概略図を図 3-3 に示す。

表 3-6 低圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH 算定結果

(単位：m)

	重大事故等時
$H_a$ : 吸込液面に作用する絶対圧力	10.3
$H_s$ : 吸込揚程	<input type="text"/>
$H_1$ : ポンプ吸込配管圧損	<input type="text"/>
$h_s$ : ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭	2.7
有効 NPSH ( $H_a + H_s - H_1 - H_2 - h_s$ )	<input type="text"/>

b. 有効 NPSH 評価結果

低圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH 評価結果を表 3-7 に示す。

表 3-7 に示すとおり、重大事故等時における低圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH は、必要 NPSH を上回っており、低圧原子炉代替注水ポンプの運転状態において、必要 NPSH は確保されている。

表 3-7 低圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH 評価結果

(単位：m)

	必要 NPSH	有効 NPSH
		重大事故等時
低圧原子炉代替注水ポンプ	<input type="text"/>	<input type="text"/>

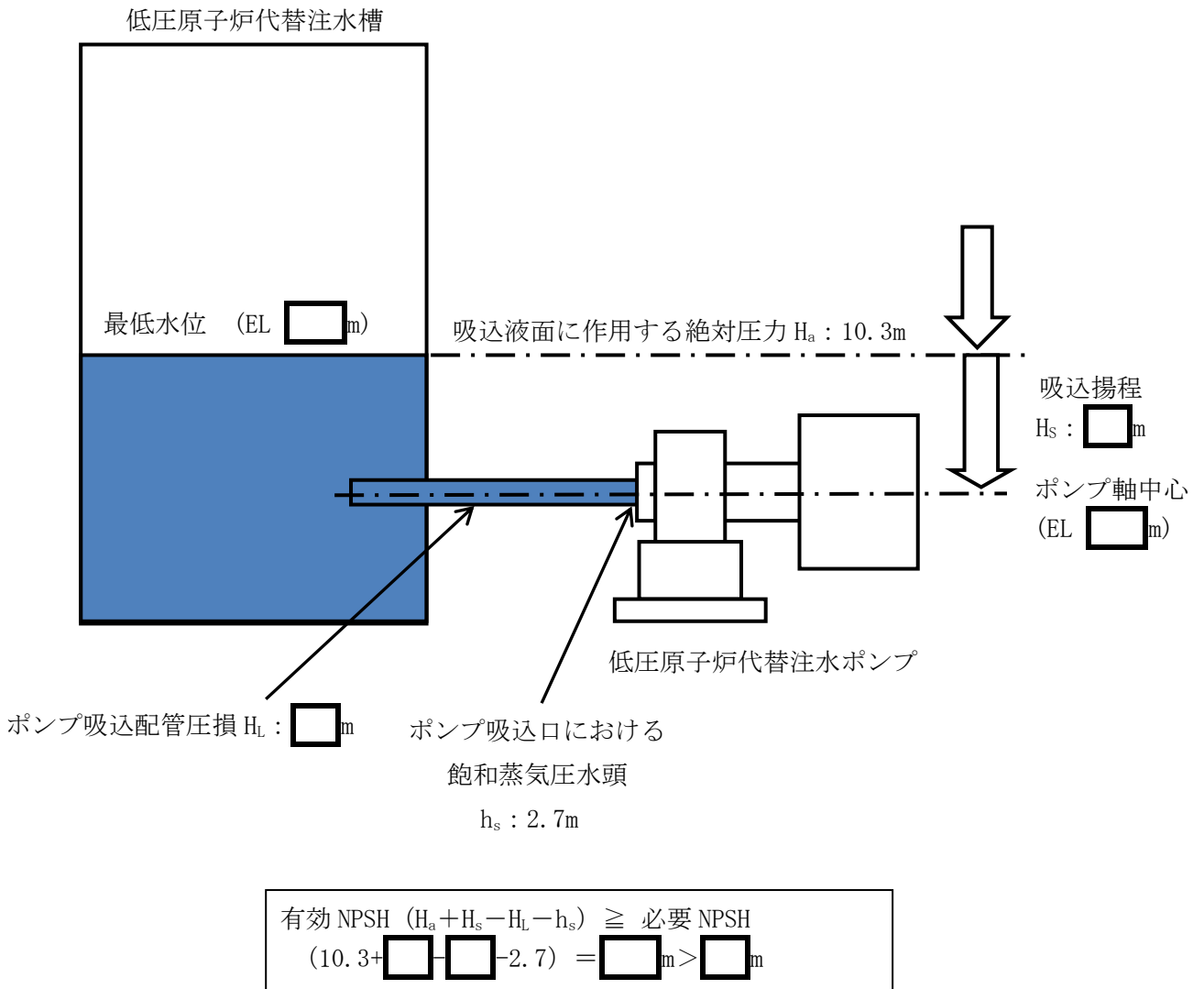


図 3-3 低圧原子炉代替注水ポンプの有効 NPSH 評価の概略図