

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-04-0051_改1
提出年月日	2021年6月15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

2021年6月

東北電力株式会社

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	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	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	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、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「VI-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及び代替循環冷却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高圧代替注水系タービンポンプ、原子炉隔離時冷却系ポンプ、直流駆動低圧注水系ポンプ、復水移送ポンプ、ほう酸水注入系ポンプ及び大容量送水ポンプ（タイプI）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，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，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。

これらのポンプについては，異物管理された復水貯蔵タンク，ほう酸水注入系貯蔵タンク，淡水貯水槽（No.1）又は淡水貯水槽（No.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。

なお，海から取水する可能性のある大容量送水ポンプ（タイプI）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，原子炉圧力容器内及び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水中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、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、原子炉冷却材喪失事故（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。

評価に当たっては、平成18年7月31日付け平成18・06・28原第3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」及び平成20年4月7日付け平成20・02・29原第30号にて認可された添付書類「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：サブレッションプール)
- ・ 高圧炉心スプレイ系ポンプ (水源：復水貯蔵タンク又はサブレッションプール)
- ・ 低圧炉心スプレイ系ポンプ (水源：サブレッションプール)
- ・ 高圧代替注水系タービンポンプ* (水源：復水貯蔵タンク)
- ・ 原子炉隔離時冷却系ポンプ (水源：復水貯蔵タンク)
- ・ 直流駆動低圧注水系ポンプ (水源：復水貯蔵タンク)
- ・ 復水移送ポンプ* (水源：復水貯蔵タンク)
- ・ 代替循環冷却ポンプ* (水源：サブレッションプール)
- ・ ほう酸水注入系ポンプ* (水源：ほう酸水注入系貯蔵タンク)
- ・ 大容量送水ポンプ（タイプ I）* (水源：淡水貯水槽（No. 1），淡水貯水槽（No. 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、ほう酸水注入系ポンプ及び高圧代替注水系タービンポンプは、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、残留熱除去系ポンプ及び代替循環冷却ポンプは、「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への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、サブレッションプールの水温が高くなり、有効NPSH評価条件として厳しいため、添付書類「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。

原子炉隔離時冷却系ポンプは、重大事故等対処設備の水源として申請している復水貯蔵タンク (O.P. m) が、設計基準事故時の水源として期待しているサブプレッションプール (O.P. m) よりも十分な吸込揚程を確保していることから、重大事故等対処設備としては評価対象外とする。

ほう酸水注入系ポンプは、ほう酸水注入系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、ほう酸水注入系ポンプの有効NPSHは十分確保されることから、評価対象外とする。

大容量送水ポンプ (タイプ I) の付属品である水中ポンプは、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、大容量送水ポンプ (タイプ I) は、付属品である水中ポンプにより、大容量送水ポンプ (タイプ I) の必要NPSHを上回る押込水頭が大容量送水ポンプ (タイプ I) の吸込側にかかるように設計されており、大容量送水ポンプ (タイプ I) 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。

- ・ 高圧炉心スプレイ系ポンプ (水源：サブプレッションプール)
(1074 m³/h)
- ・ 低圧炉心スプレイ系ポンプ (水源：サブプレッションプール)
(1074 m³/h)
- ・ 高圧代替注水系タービンポンプ (水源：復水貯蔵タンク)
(90.8 m³/h)
- ・ 直流駆動低圧注水系ポンプ (水源：復水貯蔵タンク)
(82 m³/h)
- ・ 復水移送ポンプ (水源：復水貯蔵タンク)
(m³/h/個*)

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 m³/h/個にミニマムフロー流量 m³/h/個を考慮した値。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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。

(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非常用炉心冷却系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、c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、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。
このうち、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（水源の圧力、温度等）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。

一方、高圧炉心スプレイ系ポンプの評価については有効NPSH評価条件のうち、サプレッションプール水の温度が設計基準事故時の条件を上回ることから、個別評価対象とする。

以上より、高圧炉心スプレイ系ポンプについて、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くなる「d 崩壊熱除去機能喪失」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以上となる。

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、想定されるサプレッションプール水温の飽和蒸気圧に設定し、背圧を考慮しない。

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

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）

重大事故等時における各事象 (有効性評価の事故シーケンスグループ)		S/P水源で運転 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	LPCS	設計基準事故*2時に包絡	無	—	—
	c	全交流動力電源喪失	—	—	無	—	—
	d	崩壊熱除去機能喪失	HPCS	個別評価を実施	無	—	—
	e	原子炉停止機能喪失	HPCS	設計基準事故*2時に包絡	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	LPCS	設計基準事故*2時に包絡	無	—	—

注記*1：サプレッションプールを水源として，原子炉圧力容器へ注水するポンプを示す。

*2：原子炉冷却材喪失事故

注： ：有効NPSHの評価対象事象，S/P：サプレッションプール，LPCS：低圧炉心スプレイ系ポンプ，HPCS：高圧炉心スプレイ系ポンプ

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、高圧代替注水系タービンポンプ、直流駆動低圧注水系ポンプ及び復水移送ポンプの有効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、復水貯蔵タンクの重大事故等時の運転温度を考慮し66℃とする。

b. 水源の水位

高圧代替注水系タービンポンプ及び直流駆動低圧注水系ポンプ運転時の水源の最低水位は、復水貯蔵タンクのHPCS水源切替レベルとする。

復水移送ポンプ運転時の水源の最低水位は、復水貯蔵タンクのHPCS給水ノズルレベルとする。

c. 水源の液面に作用する圧力

復水貯蔵タンク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。

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压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) 高圧炉心スプレイ系ポンプの有効NPSH評価結果

a. 有効NPSHの算定結果

高圧炉心スプレイ系ポンプの有効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 高圧炉心スプレイ系ポンプの有効NPSH算定結果

(単位：m)

	重大事故等時
H_a ：吸込液面に作用する絶対圧力	10.3
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 ($H_a + H_s - H_1 - H_2 - h_s$)	2.4

注記*：高圧炉心スプレイ系ポンプはLOCA事象を起因とする重大事故等時において使用しないため、ストレーナの異物付着による圧損上昇を考慮しない。なお、長い側のストレーナの圧損値を左側に、短い側のストレーナの圧損値を右側に示す。

b. 有効NPSH評価結果

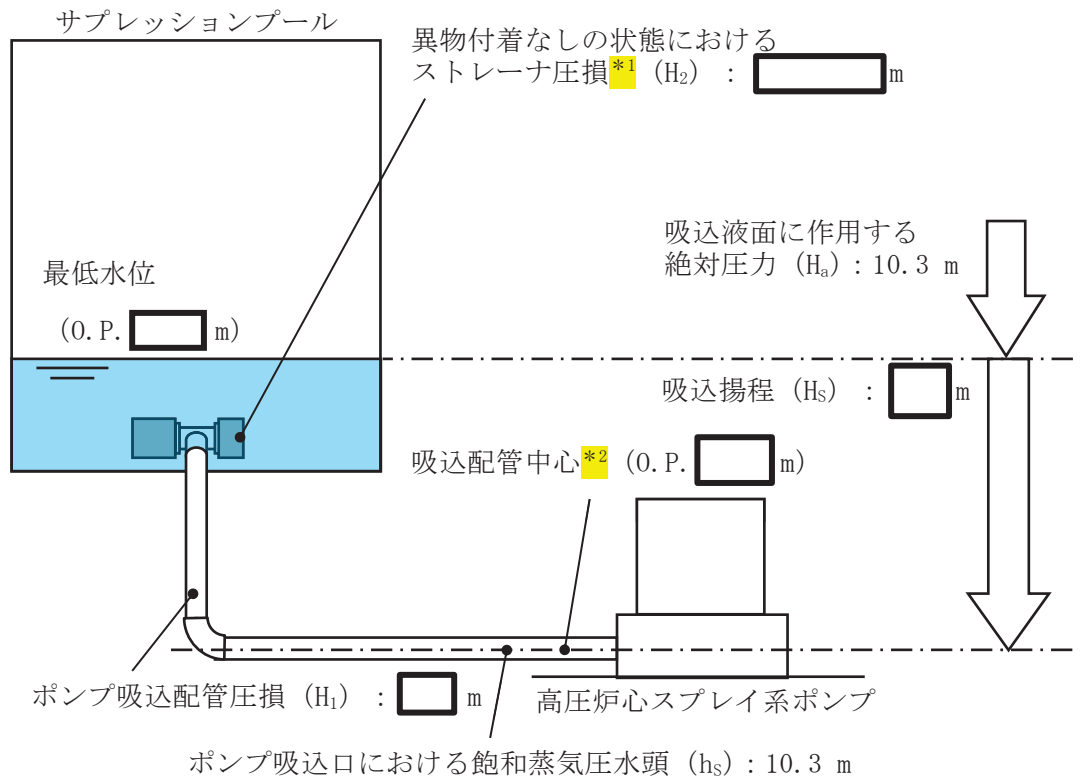
高圧炉心スプレイ系ポンプの有効NPSH評価結果を表3-3に示す。表3-3に示すとおり、重大事故等時における高圧炉心スプレイ系ポンプの有効NPSHは、必要NPSHを上回っており、高圧炉心スプレイ系ポンプの運転状態において、必要NPSHは確保されている。

表3-3 高圧炉心スプレイ系ポンプの有効NPSH評価結果

(単位：m)

	必要 NPSH	有効 NPSH
		重大事故等時
高圧炉心スプレイ系ポンプ		2.4

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



注記*1: 長い側のストレーナの圧損値を左側に, 短い側のストレーナの圧損値を右側に示す。

*2: 有効NPSHと必要NPSH算定の基準高さを床上1mとする。

$$\text{有効NPSH } (H_a + H_s - H_1 - H_2 - h_s) \geq \text{必要NPSH}^{*2}$$

$$(10.3 + [] - 10.3) = 2.4 \text{ m} > [] \text{ m}$$

図3-1 高圧炉心スプレイ系ポンプの有効NPSH評価の概略図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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) 高圧代替注水系タービンポンプの有効NPSH評価結果

a. 有効NPSHの算定結果

高圧代替注水系タービンポンプの有効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 高圧代替注水系タービンポンプの有効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	
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	2.7
有効NPSH ($H_a + H_s - H_1 - h_s$)	17.9

b. 有効NPSH評価結果

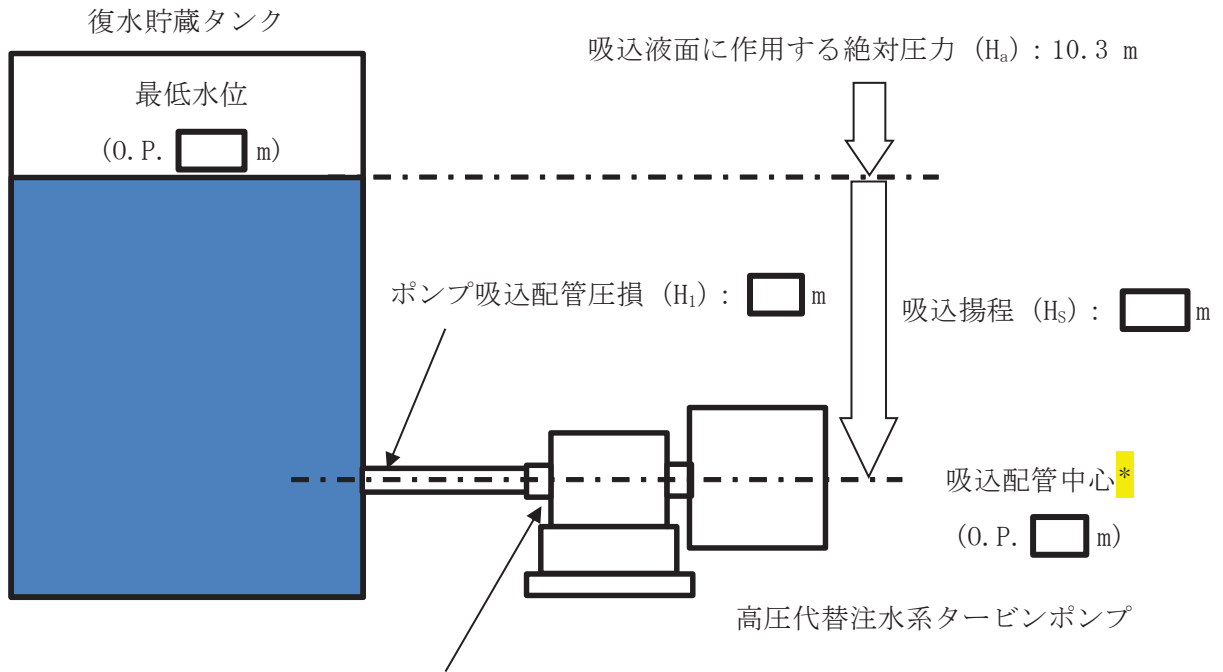
高圧代替注水系タービンポンプの有効NPSH評価結果を表3-5に示す。表3-5に示すとおり、重大事故等時における高圧代替注水系タービンポンプの有効NPSHは、必要NPSHを上回っており、高圧代替注水系タービンポンプの運転状態において、必要NPSHは確保されている。

表3-5 高圧代替注水系タービンポンプの有効NPSH評価結果

(単位：m)

	必要 NPSH	有効 NPSH
		重大事故等時
高圧代替注水系タービンポンプ		17.9

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



ポンプ吸込口における飽和蒸気圧水頭 (h_s) : 2.7 m

注記* : 有効 NPSH と必要 NPSH 算定の基準高さを床上 1m とする。

$$\text{有効 NPSH } (H_a + H_s - H_1 - h_s) \geq \text{必要 NPSH}^*$$

$$(10.3 + [] - 2.7) = 17.9 \text{ m} > [] \text{ m}$$

図 3-2 高圧代替注水系タービンポンプの有効 NPSH 評価の概略図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 直流駆動低圧注水系ポンプの有効NPSH評価結果

a. 有効NPSHの算定結果

直流駆動低圧注水系ポンプの有効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 直流駆動低圧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 ：吸込液面に作用する絶対圧力	10.3
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	2.7
有効NPSH ($H_a + H_s - H_1 - h_s$)	24.0

b. 有効NPSH評価結果

直流駆動低圧注水系ポンプの有効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直流駆動低圧注水系ポンプの有効NPSHは、必要NPSHを上回っており、直流駆動低圧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。

表3-7 直流駆動低圧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
直流駆動低圧注水系ポンプ		24.0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

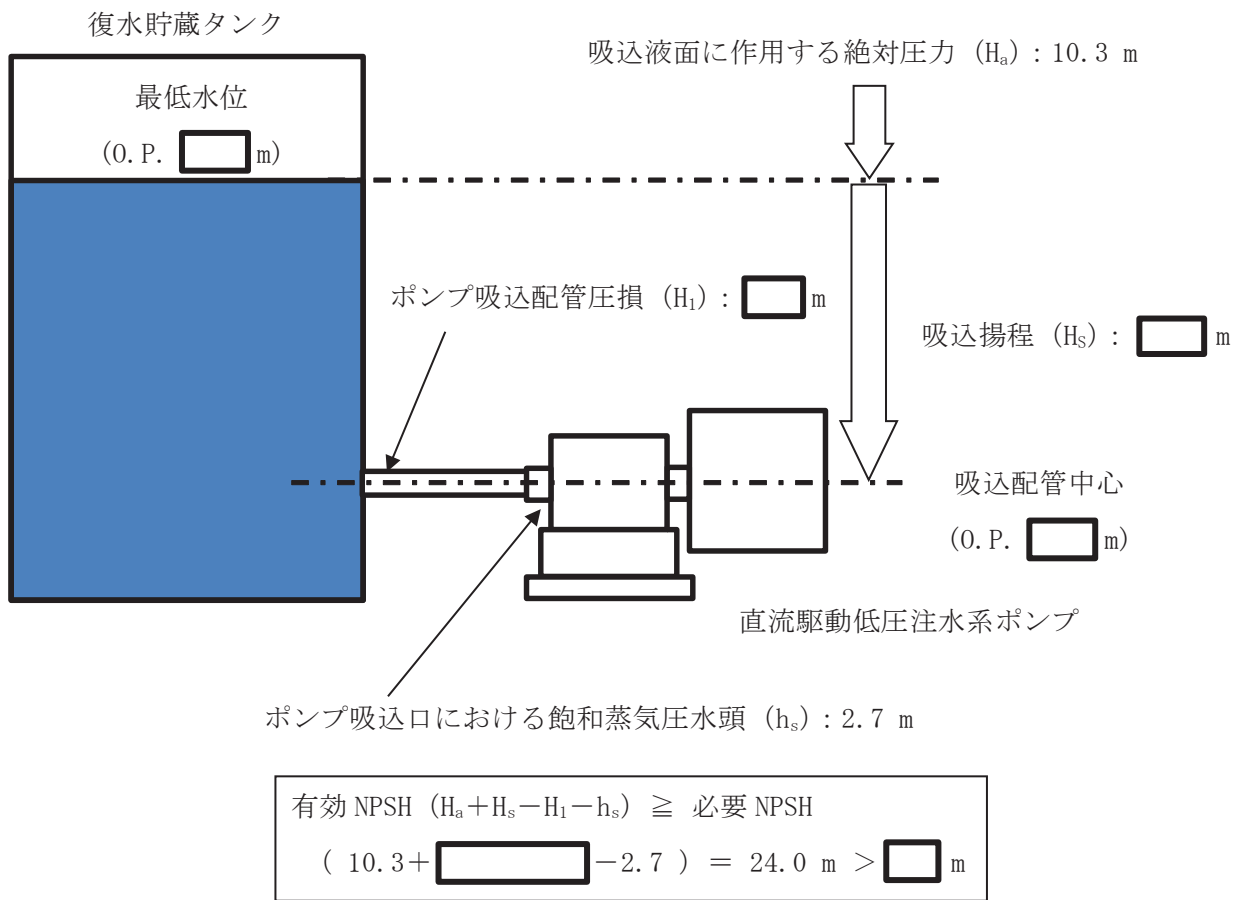


図 3-3 直流駆動低圧注水系ポンプの有効 NPSH 評価の概略図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 復水移送ポンプの有効NPSH評価結果

a. 有効NPSHの算定結果

復水移送ポンプの有効NPSH算定結果を表3-8に示す。また、有効NPSH評価の概略図を図3-4に示す。

表3-8 復水移送ポンプの有効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	
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	2.7
有効NPSH ($H_a + H_s - H_1 - h_s$)	14.0

b. 有効NPSH評価結果

復水移送ポンプの有効NPSH評価結果を表3-9に示す。表3-9に示すとおり、重大事故等時における復水移送ポンプの有効NPSHは、必要NPSHを上回っており、復水移送ポンプの運転状態において、必要NPSHは確保されている。

表3-9 復水移送ポンプの有効NPSH評価結果

(単位：m)

	必要 NPSH	有効 NPSH
		重大事故等時
復水移送ポンプ		14.0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

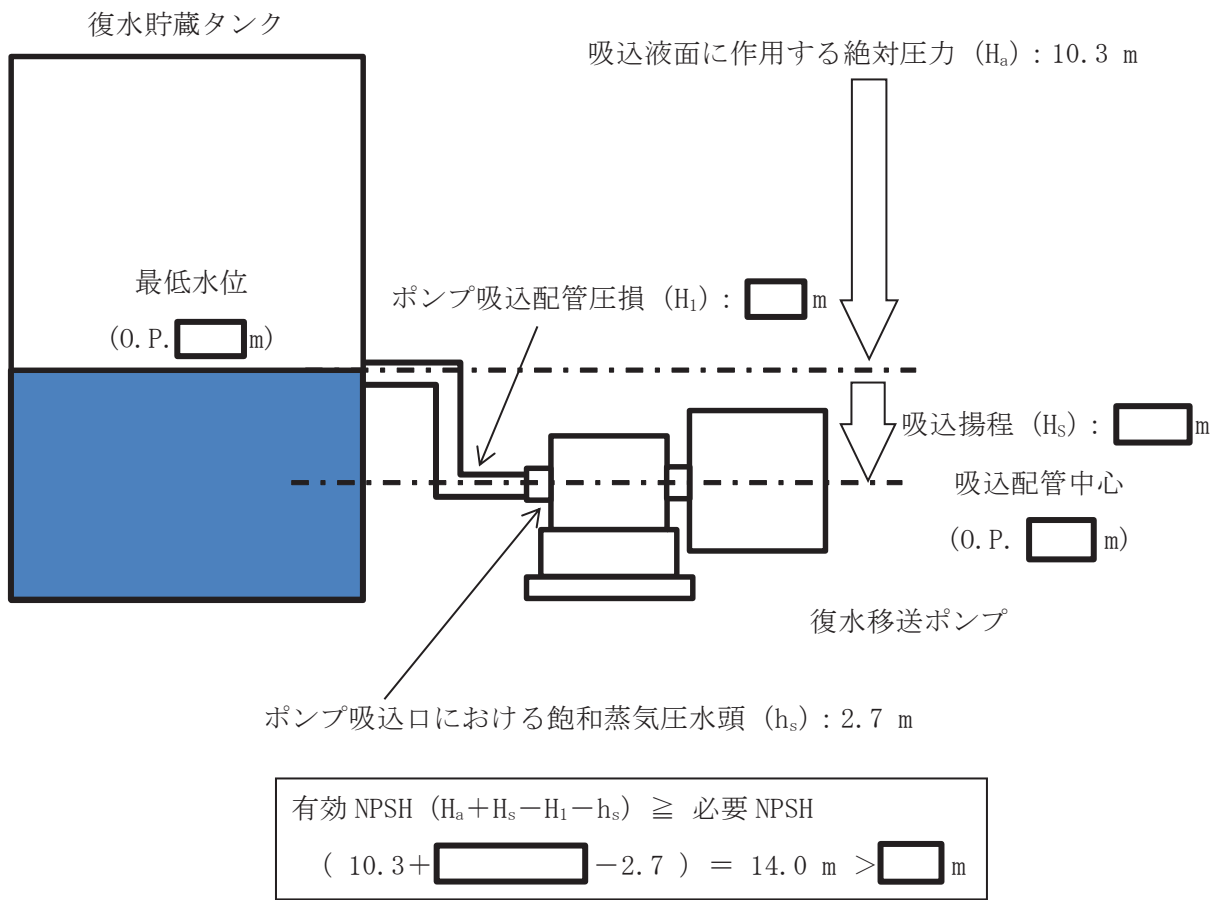


図 3-4 復水移送ポンプの有効 NPSH 評価の概略図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。