

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 添-1-043 改1
提出年月日	2020年1月10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

2020年1月
東京電力ホールディングス株式会社

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

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	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	8
3.5 評価結果	9
3.5.1 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	9

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、V-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系ポンプ、高圧炉心注水系ポンプ及び原子炉隔離時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高圧代替注水系ポンプ、復水移送ポンプ、ほう酸水注入系ポンプ、可搬型代替注水ポンプ（A-2級）（6,7号機共用（以下同じ。））及び大容量送水車（海水取水用）（6,7号機共用（以下同じ。））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压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压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、異物管理されたほう酸水注入系貯蔵タンク、復水貯蔵槽、淡水貯水池又は防火水槽を水源とするため、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車（海水取水用）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。

また、海から取水する可能性のある大容量送水車（海水取水用）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。

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。

評価に当たっては、平成18年8月17日付け平成18・07・31原第44号にて認可された工事計画の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10号にて認可された工事計画の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」として原子炉压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) |
| ・ 高圧炉心注水系ポンプ | (水源：復水貯蔵槽又はサプレッションプール) |
| ・ 原子炉隔離時冷却系ポンプ | (水源：復水貯蔵槽又はサプレッションプール) |
| ・ 高圧代替注水系ポンプ | (水源：復水貯蔵槽) |
| ・ 復水移送ポンプ* | (水源：復水貯蔵槽) |
| ・ ほう酸水注入系ポンプ | (水源：ほう酸水注入系貯蔵タンク) |
| ・ 可搬型代替注水ポンプ (A-2級) * | (水源：淡水貯水池又は防火水槽) |
| ・ 大容量送水車 (海水取水用) | (水源：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ポンプは、溶融炉心の原子炉格納容器下部（下部ド

ライウエル) への落下を遅延又は防止するために原子炉压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。

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压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。

大容量送水車（海水取水用）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、大容量送水車（海水取水用）は、付属品である水中ポンプにより、大容量送水車（海水取水用）の必要 NPSH を上回る押込水頭が大容量送水車（海水取水用）の吸込側にかかるように設計されており、大容量送水車（海水取水用）の有効 NPSH は十分確保されることから、評価対象外とする。

可搬型代替注水ポンプ（A-2級）は、水源側に設置するものを評価対象とし、下流側に設置する可搬型代替注水ポンプ（A-2級）は、配置上の高低差、敷設されるホース長さを考慮しても必要 NPSH を上回る押込水頭が下流側に設置する可搬型代替注水ポンプ（A-2級）の吸込側に掛かるように設計されており、下流側に設置する可搬型代替注水ポンプ（A-2級）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 (954m³/h) (水源：サプレッションプール)
- ・ 高圧炉心注水系ポンプ (727m³/h) (水源：サプレッションプール)
- ・ 原子炉隔離時冷却系ポンプ (188m³/h) (水源：サプレッションプール)
- ・ 高圧代替注水系ポンプ (182m³/h) (水源：復水貯蔵槽)

・復水移送ポンプ (水源：復水貯蔵槽)

(m³/h)

・可搬型代替注水ポンプ (A-2級) (水源：防火水槽)

(65m³/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、高圧炉心注水系ポンプ及び原子炉隔離時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。

(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、高圧炉心注水系ポンプ及び原子炉隔離時冷却系ポンプに対して、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、残留熱除去系ポンプ、高圧炉心注水系ポンプ及び原子炉隔離時冷却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、サプレッションプールを水源とするポンプは、設計基準対象施設としての使用条件を超えて運転しないため、個別評価不要とする。

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*	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	設計基準事故時に包絡	無	—	—
	c	全交流動力電源喪失	RHR	設計基準事故時に包絡	無	—	—
	d	崩壊熱除去機能喪失	RHR	設計基準事故時に包絡	無	—	—
	e	原子炉停止機能喪失	HPCF, RCIC	設計基準事故時に包絡	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	HPCF, RCIC	設計基準事故時に包絡	無	—	—

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：S/P：サプレッションプール，LOCA：原子炉冷却材喪失事故，RHR：残留熱除去系ポンプ，HPCF：高圧炉心注水系ポンプ，RCIC：原子炉隔離時冷却系ポンプ

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、高圧代替注水系ポンプ、復水移送ポンプ及び可搬型代替注水系ポンプ（A-2級）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、復水貯蔵槽は重大事故等時の運転温度を考慮し66℃、防火水槽は水温が40℃を下回るため、保守的に40℃とする。

b. 水源の水位

高圧代替注水系ポンプ運転時の水源の最低水位は、復水貯蔵槽の水位低警報発信水位とする。

復水移送ポンプ運転時の水源の最低水位は、復水貯蔵槽の定検時復水移送ポンプ停止水位とする。

可搬型代替注水系ポンプ（A-2級）運転時の最低水位は、保守的に防火水槽の設置レベルとする。

c. 水源の液面に作用する圧力

復水貯蔵槽及び防火水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。

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	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 ($H_a + H_s - H_1 - h_s$)	<input type="text"/>

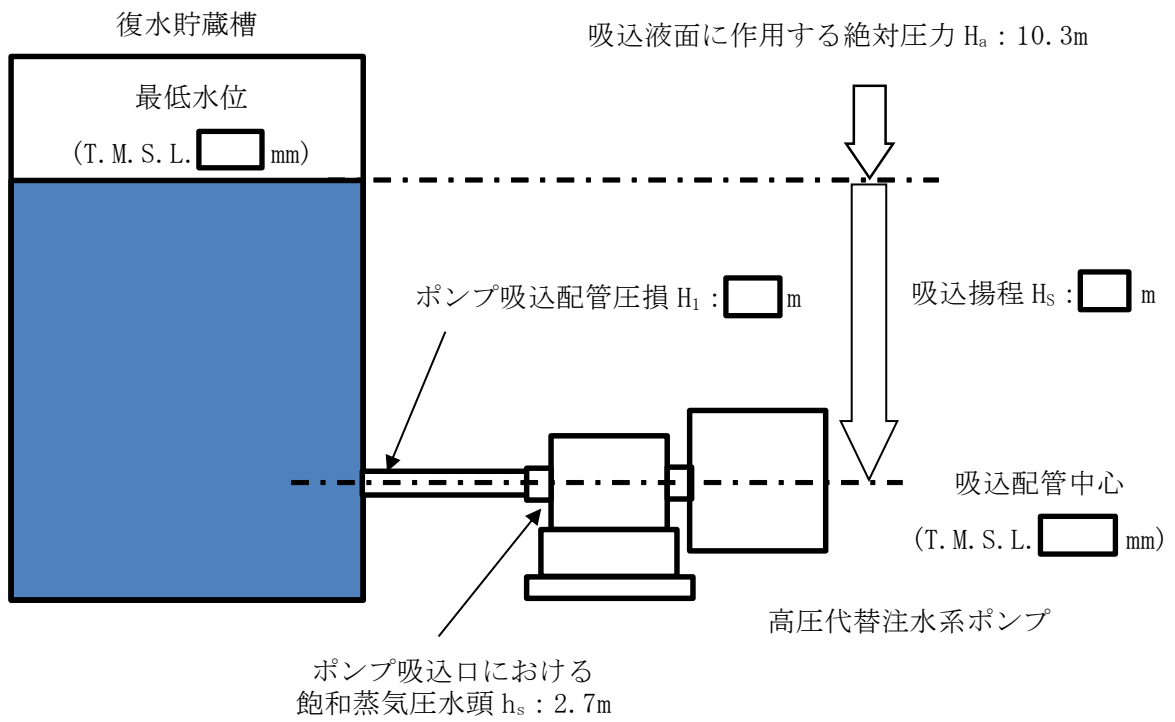
b. 有効 NPSH 評価結果

高圧代替注水系ポンプの有効 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代替注水系ポンプの有効 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
高圧代替注水系ポンプ	<input type="text"/>	<input type="text"/>



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

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

図 3-1 高圧代替注水系ポンプの有効 NPSH 評価の概略図

(2) 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3-4に示す。また、有効 NPSH 評価の概略図を図3-2に示す。

表3-4 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 ：吸込み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 ($H_a + H_s - H_1 - h_s$)	<input type="text"/>

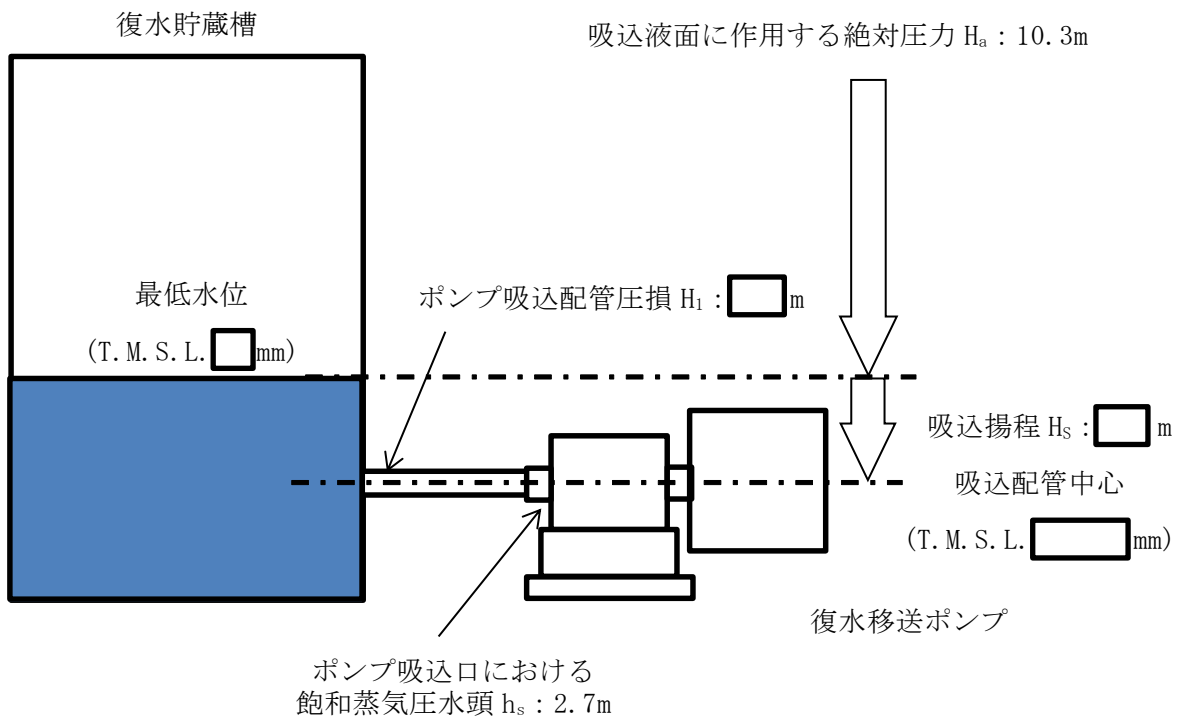
b. 有効 NPSH 評価結果

復水移送ポンプの有効 NPSH 評価結果を表3-5に示す。表3-5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3-5 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	<input type="text"/>	<input type="text"/>



有効 NPSH $(H_a + H_s - H_1 - h_s) \geq \text{必要 NPSH}$ $(10.3 + [] - [] - 2.7) = [] \text{ m} > [] \text{ m}$

図 3-2 復水移送ポンプの有効 NPSH 評価の概略図

(3) 可搬型代替注水ポンプ (A-2級) の有効 NPSH 評価結果

a. 有効 NPSH の算定結果

可搬型代替注水ポンプ (A-2級) 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 可搬型代替注水ポンプ (A-2級) 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	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	0.8
有効 NPSH ($H_a + H_s - H_1 - h_s$)	<input type="text"/>

b. 有効 NPSH 評価結果

可搬型代替注水ポンプ (A-2級) 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可搬型代替注水ポンプ (A-2級) の有効 NPSH は、必要 NPSH を上回っており、可搬型代替注水ポンプ (A-2級) の運転状態において、必要 NPSH は確保されている。

表3-7 可搬型代替注水ポンプ (A-2級) の有効 NPSH 評価結果

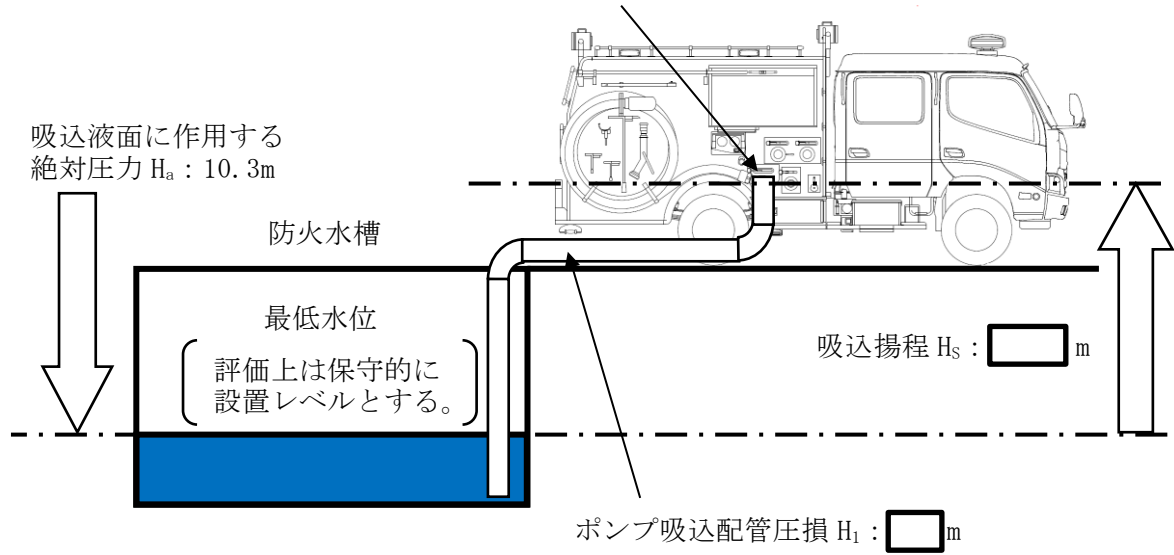
(単位：m)

	必要 NPSH	有効 NPSH
		重大事故等時
可搬型代替注水ポンプ (A-2 級)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

屋外

ポンプ吸込口における
飽和蒸気圧水頭 $h_s : 0.8\text{m}$

可搬型代替注水ポンプ (A-2 級)



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

$$(10.3 - \square - \square - 0.8) = \square\text{m} > \square\text{m}$$

図3-3 可搬型代替注水ポンプ (A-2級) の有効 NPSH 評価の概略図