

高浜発電所発電用原子炉設置変更許可
(1号及び2号原子炉施設の変更)
【使用済燃料ピットの未臨界性評価の変更】

審査会合における指摘事項の回答
(最大流量の設定について)

2019年12月17日

関西電力株式会社

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

目次

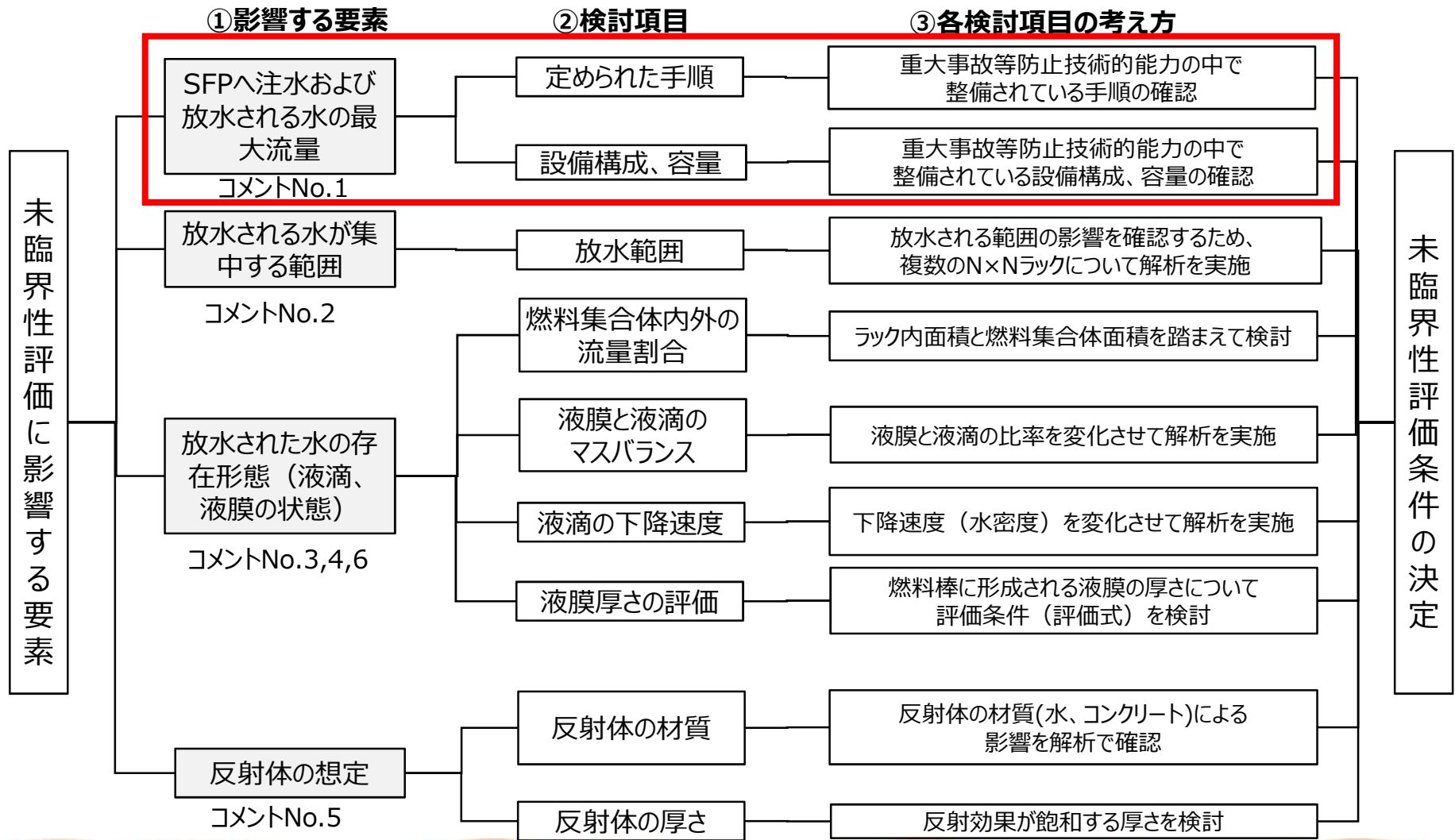
7月9日審査会合における指摘事項の回答。

No.	指摘事項	備考
1	大容量ポンプの基数等から現実的に想定しうる大規模漏えい時の最大流量（注水および放水）の考え方を整理し、説明すること。	今回ご説明
2	燃料集合体への放水について、放水が狭い領域に集中するケースも想定し評価すること。	—
3	評価にあたっては、燃料棒外表面に形成される液膜厚さ（液膜厚さの評価式を含む）、液滴の落下速度、液膜と液滴の割合等の不確かさを考慮すること。	—
4	2相モデル（気相と液相）で気相部水密度を変化させた場合の実効増倍率の影響を評価すること。また、燃料配置を変更したことによる評価の適切性を示すこと。	—
5	評価体系や反射体による保守性を説明すること。	—
6	スプレイ水の液膜または液滴への分配による影響を示すこと。	—
7	新燃料を外側に配置する領域管理について、臨界や運用上の考え方を整理し、説明すること。	—

1. 大規模損壊時におけるSFP未臨界性評価条件の検討

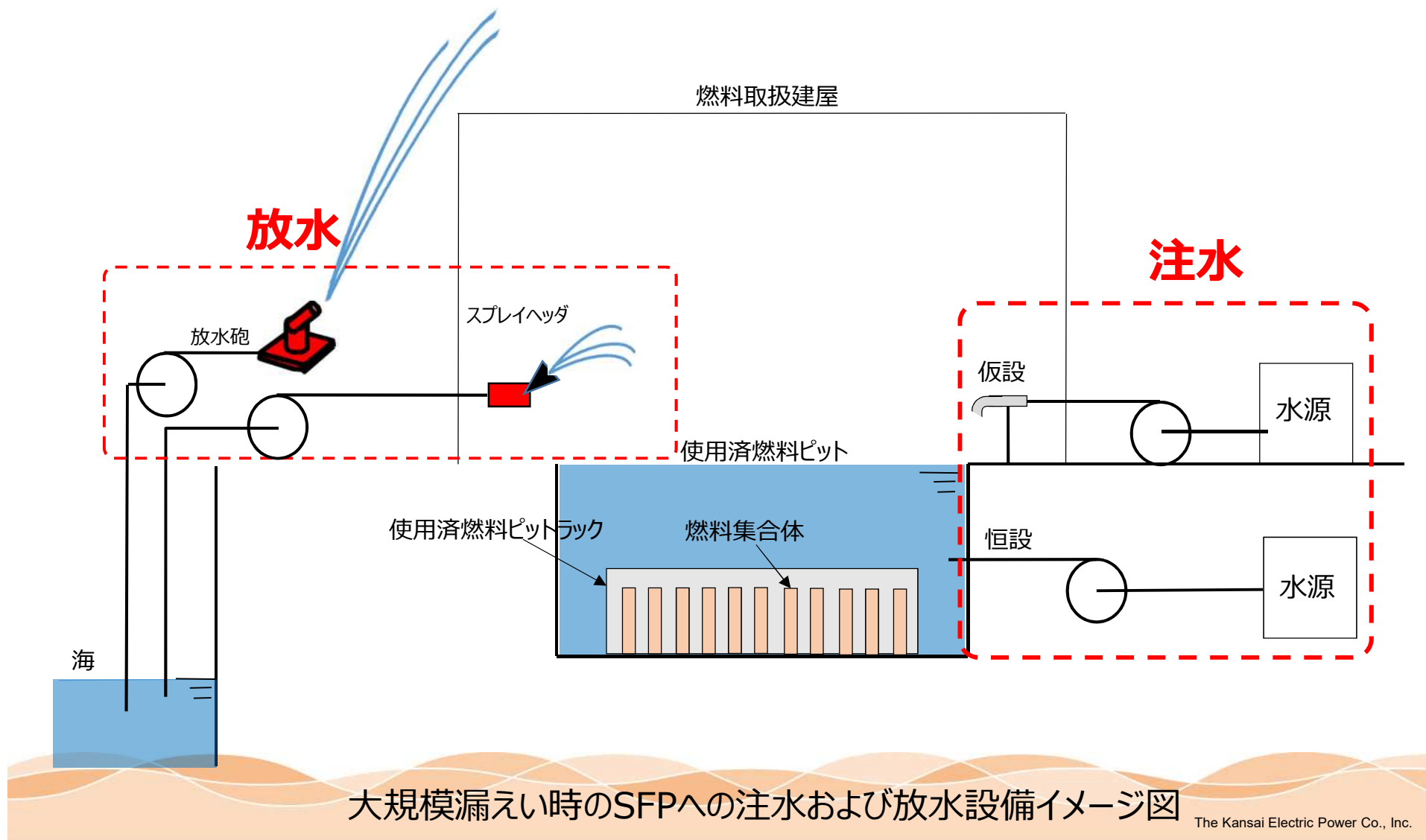
2019年7月9日の審査会合におけるコメントについて、使用済燃料ピット(以下、SFPという)未臨界性評価に影響する要素毎に分解し検討を行う。

今回ご説明



2. 大規模損壊時のSFPへの注水および放水設備イメージ

- 大規模漏えい時には、まずを注水を行い、それでも水位の低下が続く場合、スプレイヘッドや放水砲を用いて放水を行う手順となっている。次頁以降、注水による流量と放水による流量の考え方について説明する。



3. 大規模損壊時にSFPへ注水される流量の検討 (1 / 3)

<注水流量の検討>

○SFPへの注水は、右図の判断フローのとおり、水位上昇が確認できなければ、順次後段の手順へ移行することとしているため、最大の注水流量として、以下の6つ全ての合計流量を想定することとする。

- ①燃料取替用水タンクから使用済燃料ピットへの注水
- ②2次系純水タンク(2次系純水ポンプ使用)から使用済燃料ピットへの注水
- ③1,2号機淡水タンクから使用済燃料ピットへの注水
- ④2次系純水タンク(消防ポンプ使用)から使用済燃料ピットへの注水
- ⑤1次系純水タンクから使用済燃料ピットへの注水
- ⑥海水から使用済燃料ピットへの注水

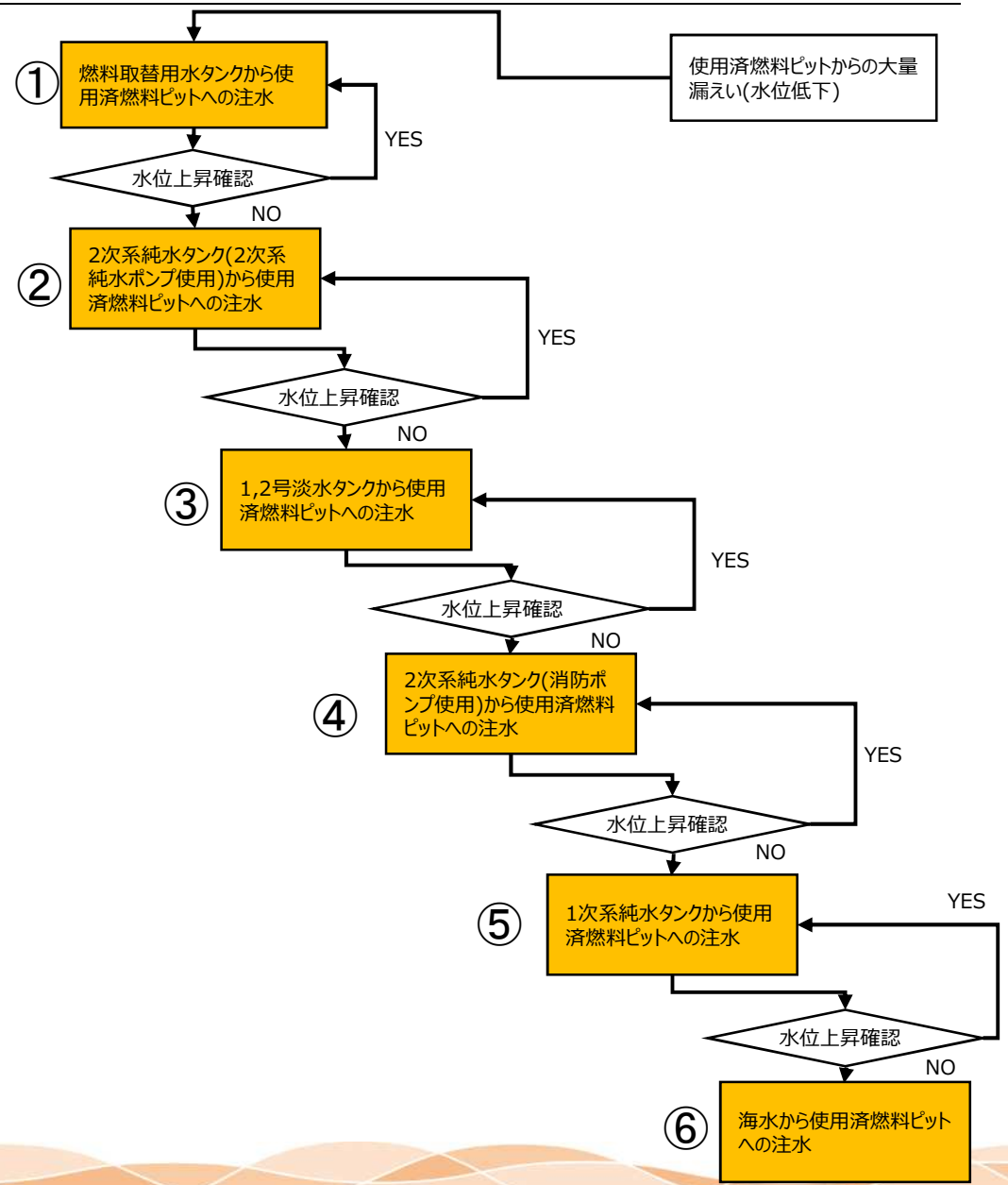


図 使用済燃料ピット漏えい発生時の対応手順 (技術的能力1.11より抜粋)

3. 大規模損壊時にSFPへ注水される流量の検討 (2 / 3)

○前頁で示した、6つの手順の設備構成は右図のとおりであり、SFPに注水される最大流量としては、これら全手順の合計流量である**713m³/h**とする。

表 各手順における流量および出典

注水手順(ポンプ)	流量	根拠
① 燃料取替用水タンク (燃料取替用水ポンプ)	30m ³ /h×2	定格流量
②-1 2次系純水タンク (2次系純水ポンプ)	5m ³ /h×3	実測値
②-2 2次系純水タンク (2次系純水ポンプ) (脱気塔経由)	30m ³ /h×2	定格流量
③ 1,2号淡水タンク (消火ポンプ-消火栓)	22m ³ /h×3×2	実測値
④ 2次系純水タンク (消防ポンプ)	96m ³ /h	ポンプ揚程曲線
⑤ 1次系純水タンク (1次系純水ポンプ)	40m ³ /h×2	定格流量
⑥ 海水 (送水車)	270m ³ /h	ポンプ揚程曲線
合計	713m³/h	-

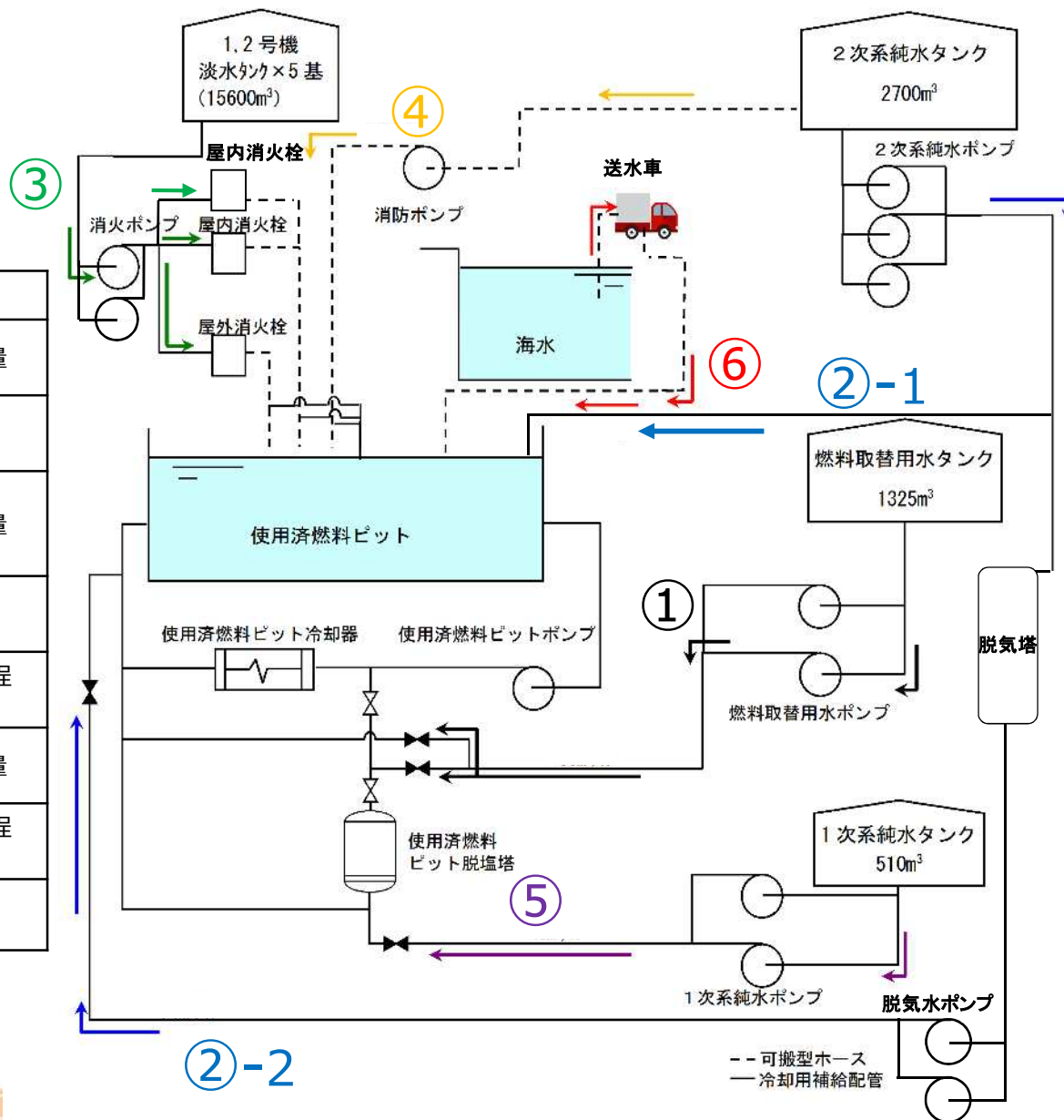


図 注水設備の構成および流量

3. 大規模損壊時にSFPへ注水される流量の検討 (3 / 3)

○ 各手順における最大流量は、未臨界性評価が厳しくなるよう流量が大きくなる様に設定した。具体的には以下のとおり。

(1) 恒設設備を使用する手順

- a. 当該ポンプ1台を用いて実際の敷設ラインで通水した実測値があるものについては、実測値にポンプの数を乗じた値とした。
 また、手順③ 1,2号淡水タンク(消火ポンプ-消火栓)については、実測値が消火栓1か所と接続した場合の値であり、SFP周りに接続可能な箇所が複数あることから、接続可能な消火栓の数も乗じた値とした。
 対象手順：②-1 2次系純水タンク(2次系純水ポンプ)
 ③ 1,2号淡水タンク(消火ポンプ-消火栓)
- b. 実測値がないものについては、流量を過大に評価するため、定格流量に台数を乗じた値(配管の圧損は考慮しない)とした。
 対象手順：① 燃料取替用水タンク(燃料取替用水ポンプ)
 ⑤ 1次系純水タンク(1次系純水ポンプ)
- c. 後段に容量の小さいポンプがあるものは、後段のポンプの定格流量に台数を乗じた値(配管の圧損は考慮しない)とした。
 対象手順：②-2 2次系純水タンク(脱気塔経由)

表 各手順における流量の設定方針

注水手順(ポンプ)	流量	根拠	設定方針
① 燃料取替用水タンク(燃料取替用水ポンプ)	30m ³ /h×2※1	定格流量	(1)-b
②-1 2次系純水タンク(2次系純水ポンプ)	5m ³ /h×3※1	実測値	(1)-a
②-2 2次系純水タンク(2次系純水ポンプ)(脱気塔経由)	30m ³ /h※2×2※1	定格流量	(1)-c
③ 1,2号淡水タンク(消火ポンプ-消火栓)	22m ³ /h×3※3×2※1	実測値	(1)-a
④ 2次系純水タンク(消防ポンプ)	96m ³ /h※4	ポンプ揚程曲線	(2)
⑤ 1次系純水タンク(1次系純水ポンプ)	40m ³ /h×2※1	定格流量	(1)-b
⑥ 海水(送水車)	270m ³ /h※4	ポンプ揚程曲線	(2)
合計	713m³/h	-	

※1 ポンプ台数。なお手順②-2については脱気水ポンプの台数。
 ※2 脱気水ポンプの定格流量。
 ※3 消火栓の数(屋内消火栓2か所、屋外消火栓1か所)。
 ※4 ポンプ揚程曲線の最大値を想定した。

(2) 可搬型設備を使用する手順

- ポンプの揚程曲線から得られる最大値(ホースの圧損は考慮しない)とした。
 対象手順：④ 2次系純水タンク(消防ポンプ)
 ⑥ 海水(送水車)

4. 大規模損壊時にSFPへ放水される流量の検討 (1 / 6)

<放水流量の検討>

○SFPへの放水は、右図の判断フローに基づき、以下の3つの手順の中から実施される。

- ①送水車によるスプレー
- ②化学消防自動車によるスプレー
- ③大容量ポンプ(放水砲用)による放水

○これらの手順で使用する各設備の保有台数を次頁に示す。

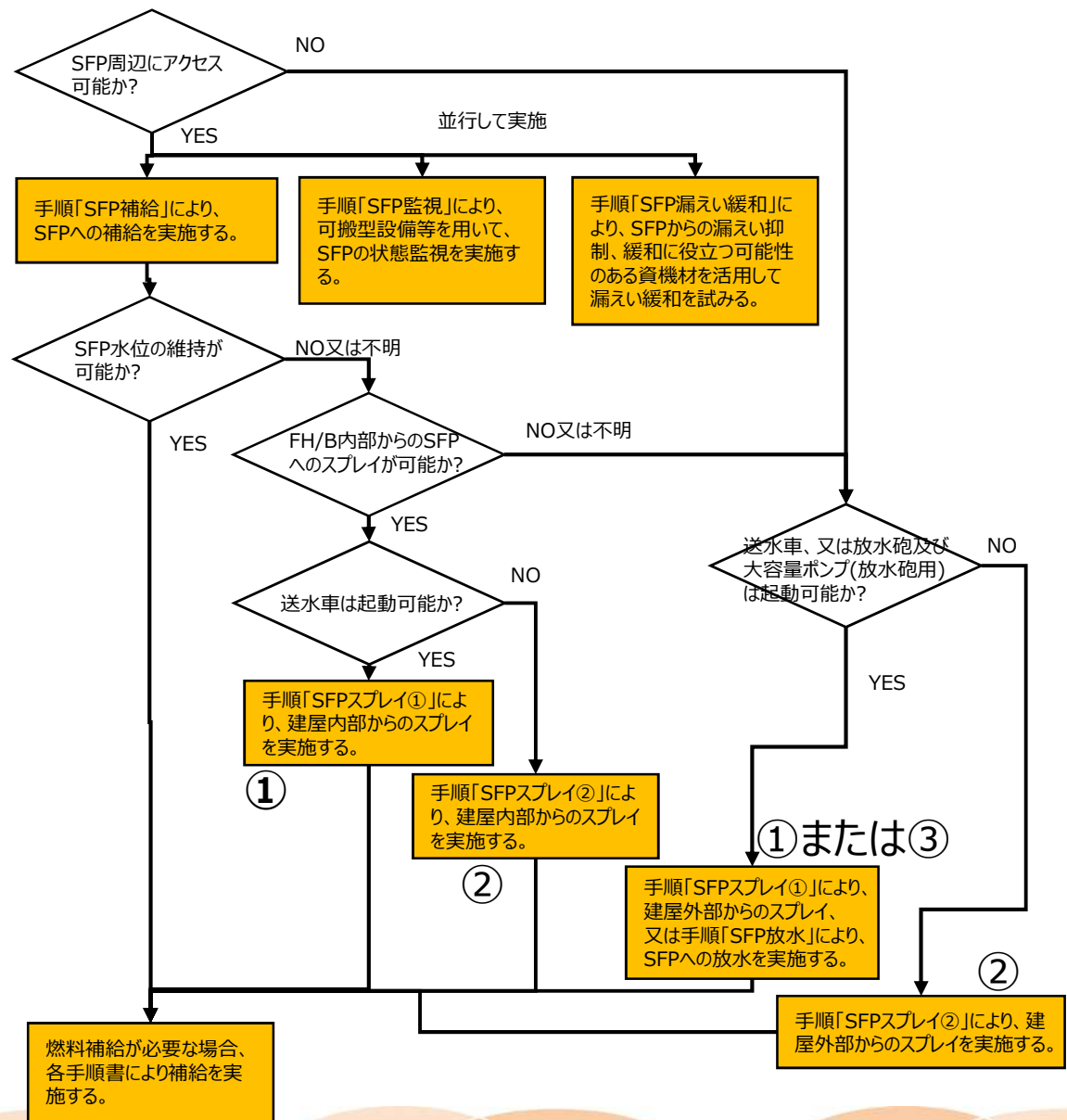


図 放水手順実施の判断フロー (大規模損壊まとめ添付資料より抜粋)

4. 大規模損壊時にSFPへ放水される流量の検討（2 / 6）

○大規模損壊時にSFPへ放水する3つの手順の設備保有台数は表のとおり。

○なお大規模損壊時は、原則号炉間の設備融通は行わないこととしている。各ユニットにおいて独立した体制（設備、要員等）の確保が困難な場合にのみ、速やかに担当ユニットの作業に戻ることができる車両型のSA設備（送水車等）と要員は融通可能としているが、敷設後の移動が困難なホース等の融通は行わない。すなわち、3,4u側の設備を用いて追加で敷設することは想定しない。

表 高浜1,2号炉における大規模損壊時にSFPへスプレイ・放水する設備の保有台数

設備		台数				備考
		T1用	T2用	予備	T1,2計	
手順① または 手順②	スプレイヘッド	1台	1台	1台 (T1,2共用)	3台	
	送水車	2台	2台	1台 (T1,2共用)	5台	SFP注水でも使用する ため必要数nの 2倍の台数を保有
	化学消防自動車	1台		なし	1台	
手順③	大容量ポンプ (放水砲用)	2台		1台 (T1,2共用)	3台	
	放水砲	1台	1台	1台 (T1,2共用)	3台	

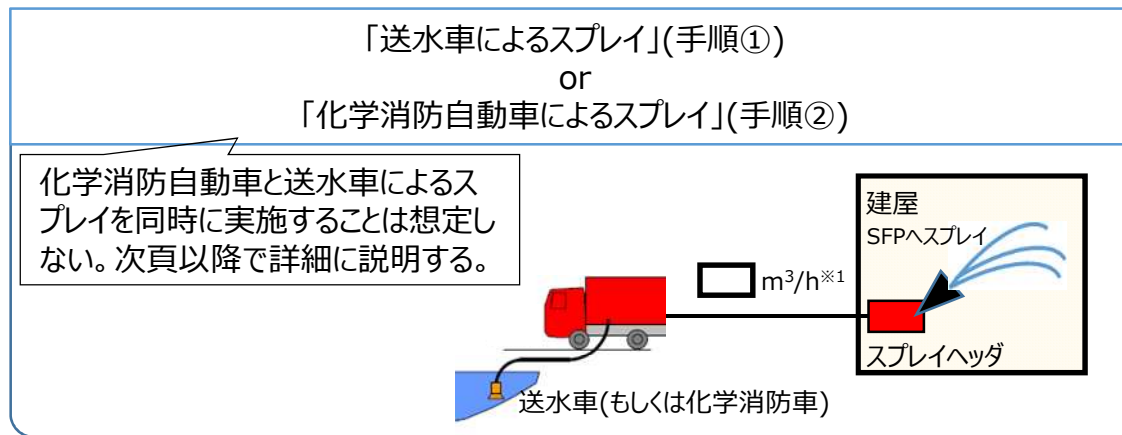
4. 大規模損壊時にSFPへ放水される流量の検討 (3 / 6)

○大規模損壊時の判断フローおよび設備の保有台数から想定される最大流量の組み合わせは右図のとおりであり、SFPに放水される最大流量としては、これらの合計流量である $\square \text{m}^3/\text{h}$ とする。

表 各手順における流量および出典

手順	流量	根拠
①送水車によるスプレイ or ②化学消防自動車によるスプレイ	$\square \text{m}^3/\text{h}$	スプレイヘッドの仕様上限 ^{※1}
③大容量ポンプ(放水砲用)による放水	$\square \text{m}^3/\text{h}$	ポンプ揚程曲線 ^{※2}
合計	$\square \text{m}^3/\text{h}$	-

※1：スプレイヘッドの最大流量を想定した。
 ※2：大容量ポンプは、3種類が配備されており、最も容量の大きいポンプと2番目に容量が大きいポンプの直列を想定。低い方の容量が律速となるので、その場合、低い方の流量が各号炉に2等分し $\square \text{m}^3/\text{h}$ とした。



+

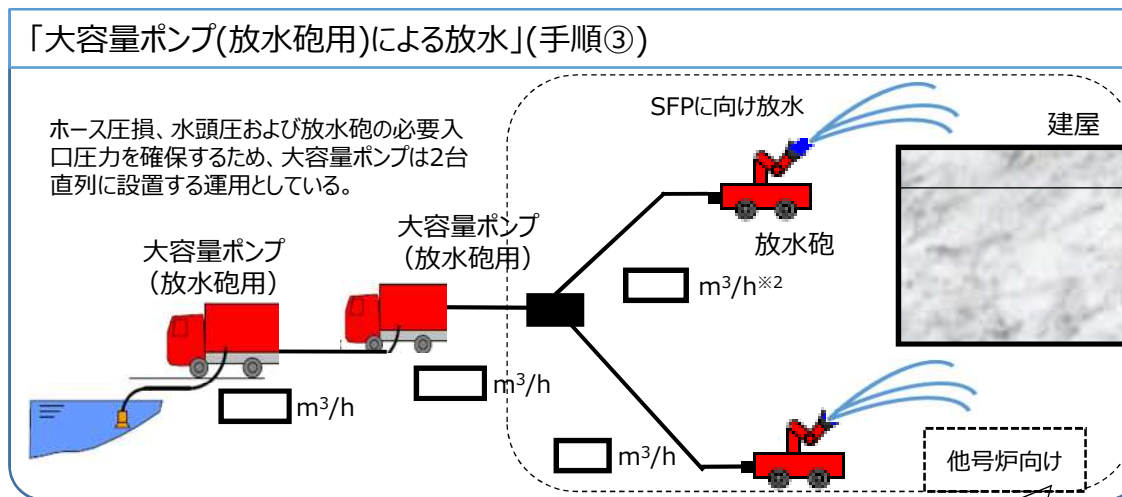


図 放水設備の設備構成および流量

同時発災に備えるため、各号炉の放水砲は、各号炉向けに設置することとし、他号炉向けの放水砲の流量は考慮しない。片号炉発災時の運用については次頁以降で詳細に説明する。

4. 大規模損壊時にSFPへ放水される流量の検討（4 / 6）

○各手順における最大流量の設定の考え方は以下のとおり。なお、判断フローでは、建屋内でスプレイを実施出来ない場合に放水砲を使用することになり、スプレイと放水砲は同時に実施しないこととなっているが、流量を過大に評価するために、スプレイ実施後に追加で建屋外から放水砲により放水することを想定する。

(1)スプレイヘッドを用いて放水する手順

対象手順：送水車によるスプレイ、化学消防自動車によるスプレイ

化学消防自動車によるスプレイ手順は送水車が起動できない場合の手順であり、且つスプレイヘッドの配備台数は各号炉に1台であることから、化学消防自動車によるスプレイと送水車によるスプレイを同時に実施することは想定しない。

なお最大流量については、ポンプの性能ではなくスプレイヘッド仕様の上限である m³/h を保守的に設定する。

(スプレイヘッドで放水する際は、評価上 m³/h 以上で実施することとしており、仕様上限の m³/h で放水することは考え難い。)

(2)放水砲を用いて放水する手順

対象手順：大容量ポンプ(放水砲用)による放水

大容量ポンプ(放水砲用)による放水は、大容量ポンプ（放水砲用）を2台直列に接続し、2台目のポンプ出口から分岐管で各号炉向けに2ラインに分岐させ、各ラインの最後に放水砲を接続し、放水する(参考1参照 [評価上は m³/h 以上で放水])。最大流量は保守的に、配備されている3種類の大容量ポンプ（放水砲用）のうち、最も容量の大きいポンプと2番目に容量が大きいポンプの直列を想定し、また各ポンプの容量はそれぞれのポンプの揚程曲線の最大値を想定した。ポンプを直列に接続した場合、低い方の容量が律速となるので、低い方の流量が各号炉に2等分されるとし、 m³/h とした。

また、通常は建屋が存在することからSFPに全量流入しないが、流入流量を過大に見積もるため保守的に全量流入することとする。なお、上述の対応については高浜1,2号炉同時発災を想定したものであるが、片号炉のみ被災した場合の運用については次頁以降で説明する。

表 大容量ポンプの容量の比較

型式	HS900 (1、2号炉共用)	HS900N (1、2号炉共用)	HS1200 (予備)
工認記載値	<input type="text"/> m ³ /h以上		
公称値	<input type="text"/> m ³ /h	<input type="text"/> m ³ /h	<input type="text"/> m ³ /h
揚程曲線上の最大値	<input type="text"/> m ³ /h	<input type="text"/> m ³ /h	<input type="text"/> m ³ /h

4. 大規模損壊時にSFPへ放水される流量の検討（5 / 6）

【高浜1, 2号炉のうち片号炉のみ発災した場合の放水砲の運用】

○ SFP水が大量に漏えいした場合の対応手順については、プラント状態が一番厳しくなる両号炉発災時にも適用できるよう、片号炉のみ発災した場合でも両号炉向けに放水ラインを敷設する。

○ 片号炉のみが被災した場合、被災していない号炉向けの放水砲の水が、被災した号炉のSFPに流入する可能性は否定できないことから、被災していない号炉向けの放水砲からの流入量について検討した。

＜被災していない号炉向けの放水砲設置場所の検討（1号が被災し、2号は被災していない場合の例）＞

・被災した号炉に対しては、損壊箇所や風向き等の天候状況を考慮し、適切な位置に1台を設置をするが、被災していない号炉向けの放水砲については、その後に発災した場合にも問題なく事故対応が可能な位置（原子炉格納容器の頂部付近に放水が届く位置）に設置する。

・必要入口圧力 MPaで放水した場合の放水軌跡から、格納容器頂部へ放水を届かせるには放水砲の上下角度を約70°以上に設定し、且つ格納容器中心位置から約 m離れた位置に設置する必要がある。具体的な設置可能箇所は下右図の半径約 mの範囲内になり、建屋との干渉を回避すると下右図の赤丸で示した箇所が候補となる。

・1号炉に近い放水砲設置可能位置(赤丸)から、1号炉の使用済燃料ピットまでの距離は約 mである。



図 放水砲による放水軌跡（最大射程）
（必要入口圧力 Mpaで放水した場合）

図 放水軌跡を踏まえた被災していない号炉への放水砲設置可能位置

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

4. 大規模損壊時にSFPへ放水される流量の検討（6 / 6）

- 被災していない号炉向けの放水砲設置位置から被災号炉のSFPまでの距離約□mに対し、放水砲の上下角度を最大射程(水の到達距離)が長くなる約30°として放水した場合の最大射程は約□mであるため、一部の放水はSFPに流入する可能性がある。
- しかし、以下に示すとおり、被災していない号炉からの放水による流量は、限定的であることから考慮しないこととする。
 - ・ 放水の着水範囲と、被災していない号炉向けの放水砲から被災号炉のSFPまでの距離を比較すると、放水の大半がSFPに到達する前に地面に落下すると考えられる。
 - ・ また、放水された水の密度は着水範囲の中央部が高く、最大射程付近では放水された水の密度は低くなるため、SFPに流入する量はさらに低下する。
 - ・ その上、仮に建屋が全壊したとしても、がれき類が存在すると考えられるため、SFPに流入する量はさらに限定的となる。

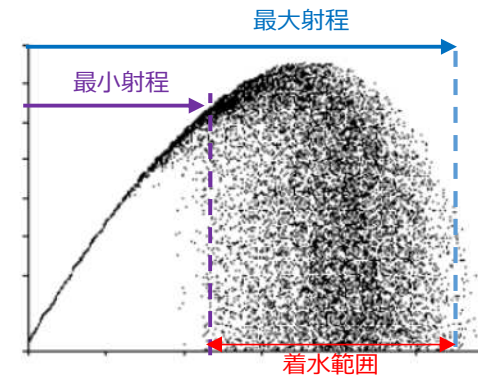


図 放水時の最大射程および最小射程

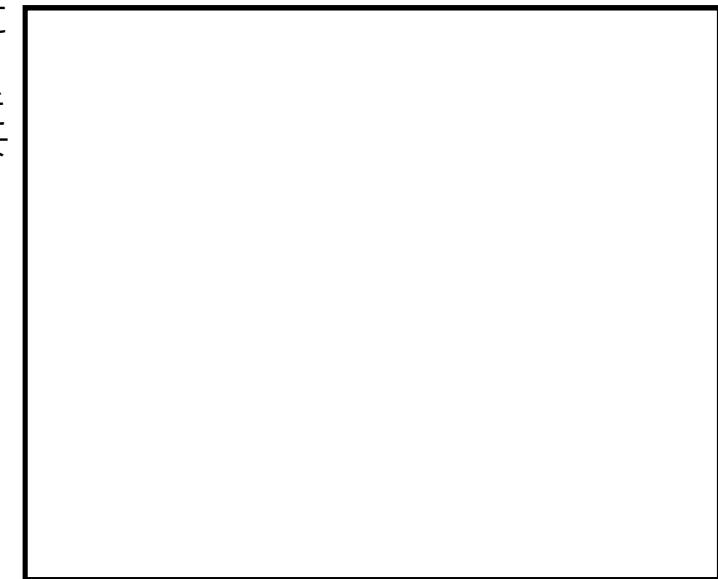


図 放水砲の放水軌跡（最大射程および最小射程）および着水範囲

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

5. 大規模損壊時にSFPへ流入する最大流量(注水および放水される最大流量)

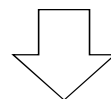
12

<注水流量 (最大値) >

○大規模損壊時の判断フローに基づく6つの注水手順から最大流量の組み合わせを検討した結果、保守的に6つの手順の最大流量を全て合算し、最大注水流量は**713 m³/h**とした。

<放水流量 (最大値) >

○大規模損壊時の判断フローに基づく3つの放水手順から最大流量の組み合わせを検討した結果、スプレイヘッドによる放水に放水砲による放水を加算し、最大放水流量は**□ m³/h**とした。



以上より、手順上および設備構成、容量上想定される、SFPに流入する最大流量を以下のとおりとする。

<注水と放水の合計流量 (最大値) >

注水713 m³/h + 放水□ m³/h = □ m³/h

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<参考 1> 大容量ポンプ（放水砲用） – 放水砲の運用について

- 敷設ルートについては、2つのアクセスルートから事故時の状況に応じ、どちらか一方を選定する。
- ホースの圧損、水頭圧および放水砲の必要入口圧力(□ MPa)を確保するため、大容量ポンプ（放水砲用）は2台直列に設置する。
- 2台目の大容量ポンプ（放水砲用） 出口から分岐管を用いて2ラインに分岐させ、各号炉に1台の放水砲を用いて放水することで、高浜1,2両号炉が発災した場合でも対応可能である。

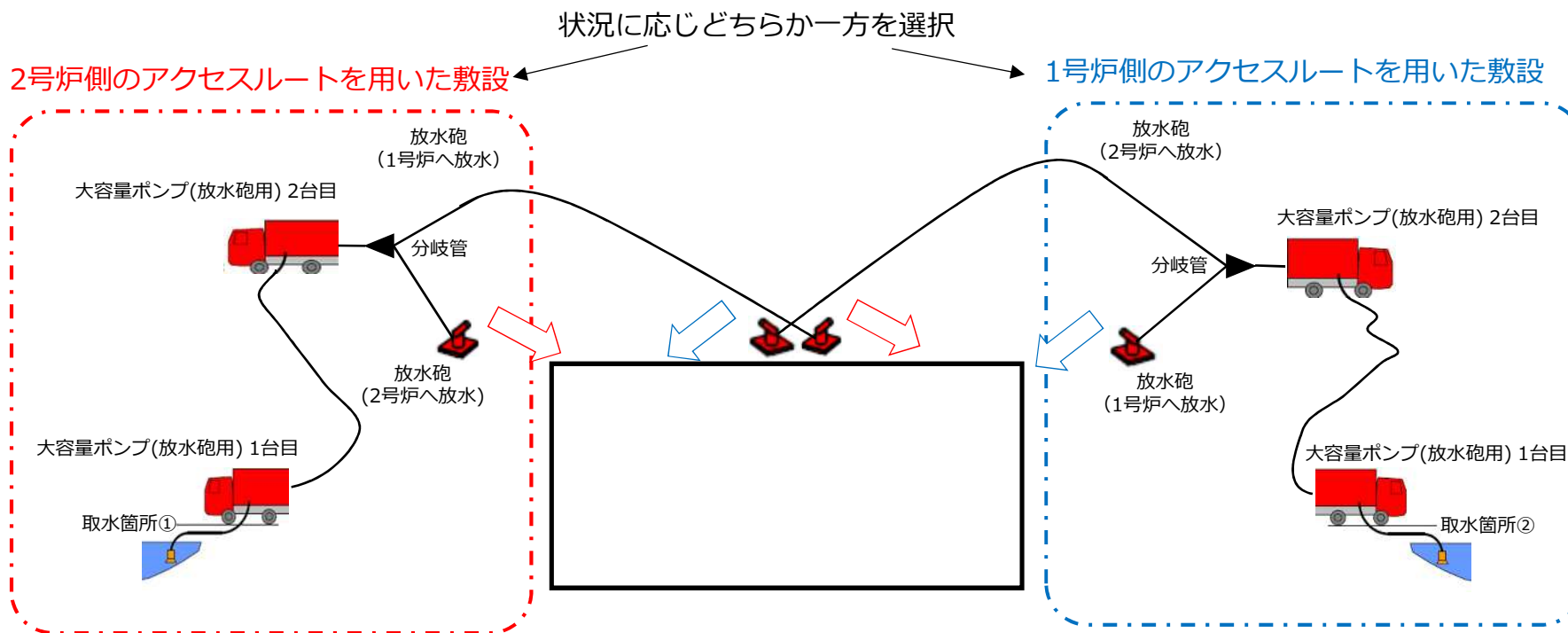


図 大容量ポンプ（放水砲用） – 放水砲 ライン敷設（概略図）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<参考2> 大容量ポンプ（放水砲用）－放水砲 ライン敷設（設備設置場所）

- 大容量ポンプ（放水砲用）は、E.L.約 mの取水場所に1台目を、E.L.約 mの建屋背面道路付近に2台目を設置する。
- 放水砲の設置位置は、風向き等の天候状態に応じて最も効果的な方角を選定し、各号炉の建屋へ1台の放水砲により放水する。

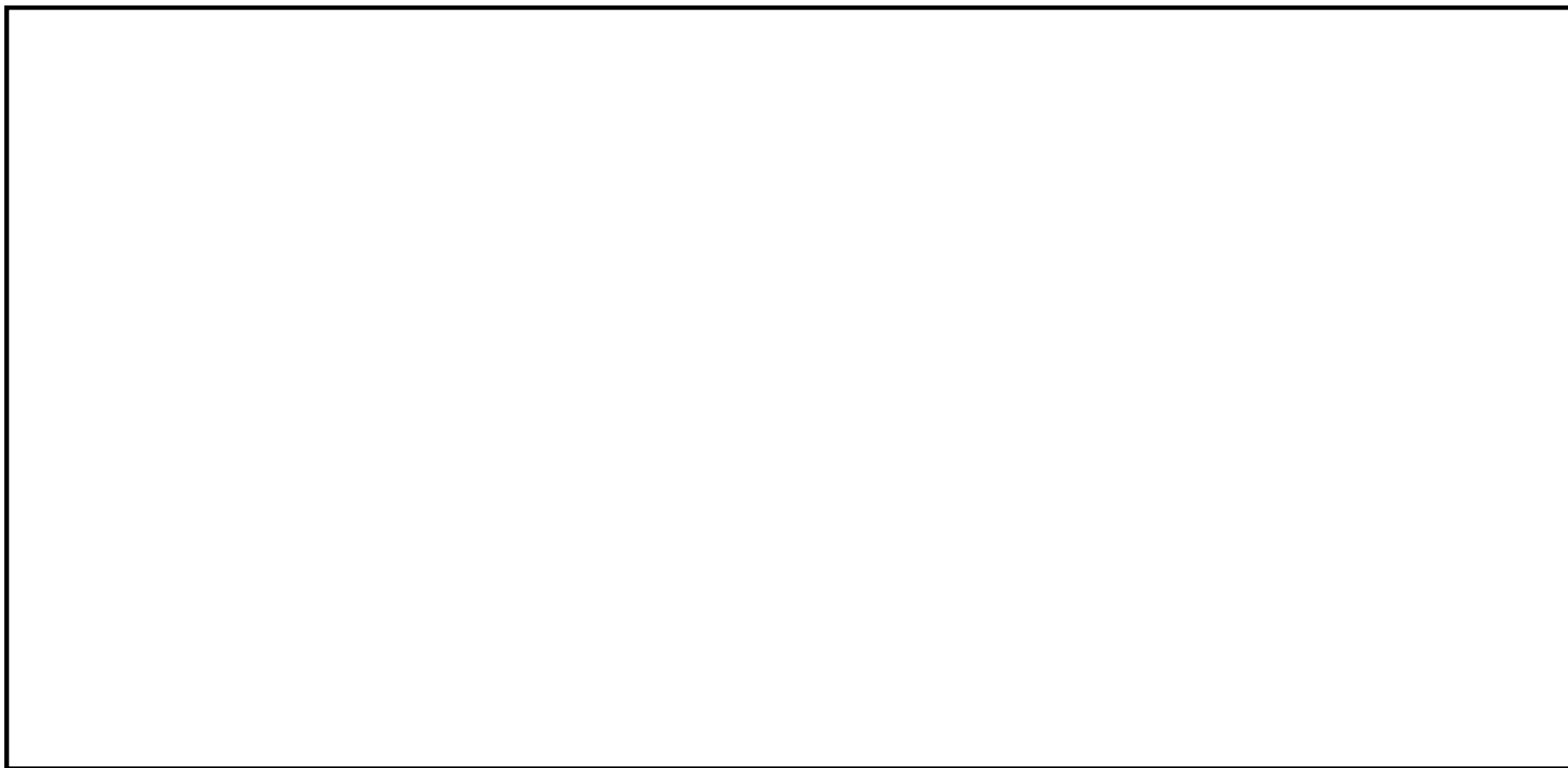


図 大容量ポンプ（放水砲用）－放水砲 ライン敷設時の設備設置場所

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。