

## 志賀原子力発電所 1号機 F P C ポンプ (B) 停止に関する原因について

### 1. 事象の概要

志賀原子力発電所 1号機は燃料プール冷却浄化系（以下「F P C」という。）ポンプ (B) により使用済燃料貯蔵プールを冷却中であつたところ、2024年 1 月 1 日 16時10分に発生した令和 6 年能登半島地震（以下「地震」という。）直後に、F P C ポンプ (B) が自動停止した。その後、当該ポンプの外観点検等により異常がないことを確認したが、当該ポンプの停止要因をすぐに特定することができなかつたことから、F P C ポンプ (A) を同日 16時49分に起動した。

なお、F P C ポンプ停止前後において使用済燃料貯蔵プール水温度は29.5℃から変化はなく、使用済燃料の冷却に問題はなかつた。

（添付資料－ 1、 2、 3）

### 2. 原因調査

F P C ポンプ (B) 自動停止に至るインターロック要素、「母線電圧低」「F P C ポンプ出口流量低」「F P C ポンプ (B) 吸込圧力低」「F P C ポンプ過負荷トリップ」「スキマサージタンク水位低」の分析結果は以下のとおり。

（添付資料－ 4）

#### (1) 母線電圧低

F P C ポンプ (B) の受電元であるP/C-1DおよびM/C-1Dにおいて、上流の志賀原子力線 (275kV) の電圧低下 (約0.04秒) の影響により母線電圧低の警報が発生したが、F P C ポンプ (B) は瞬低対策として設定値 3 秒の自己保持回路を備えているため、ポンプ停止の要因ではないと推定した。

（添付資料－ 5、 6）

#### (2) F P C ポンプ出口流量低

F P C ポンプ出口配管の流量低下により F P C ポンプ (B) が自動停止するが、インターロックと同一信号を入力とする「F P C ポンプ出口流量低」の警報が発生していないことから、ポンプ停止の要因ではないと推定した。

（添付資料－ 7）

#### (3) F P C ポンプ (B) 吸込圧力低

F P C ポンプ (B) の吸込圧力低下により F P C ポンプ (B) が自動停止するが、インターロックと同一信号を入力とする「F P C ポンプ (B) 吸込圧力低」の警報が発生していないことから、ポンプ停止の要因ではないと推定した。

（添付資料－ 7）

#### (4) F P Cポンプ過負荷トリップ

F P Cポンプ (B) 過負荷によりF P Cポンプ (B) が自動停止するが、インターロックと同一信号を入力とする「F P Cポンプ過負荷トリップ」の警報が発生していないことから、ポンプ停止の要因ではないと推定した。

(添付資料－7)

#### (5) スキマサージタンク水位低低

水位計の検出原理を踏まえると、地震加速度の影響によりポンプ自動停止水位まで下がったように検出される可能性があり、「スキマサージタンク水位低低」のインターロックが動作した可能性を否定できない。

(添付資料－5、7、8、9、10)

以上のとおり、F P Cポンプ (B) の自動停止に至るインターロック要素の動作状況を分析した結果、(1) から (4) の要素がポンプ停止の要因ではないと考えられること、また、「スキマサージタンク水位低低」の動作を直接確認できる警報等はないが、水位計の検出原理を踏まえると地震加速度の影響により「スキマサージタンク水位低低」を検出した可能性を否定できないことから、「スキマサージタンク水位低低」のインターロック動作によりF P Cポンプ (B) が停止したと推定した。

以 上

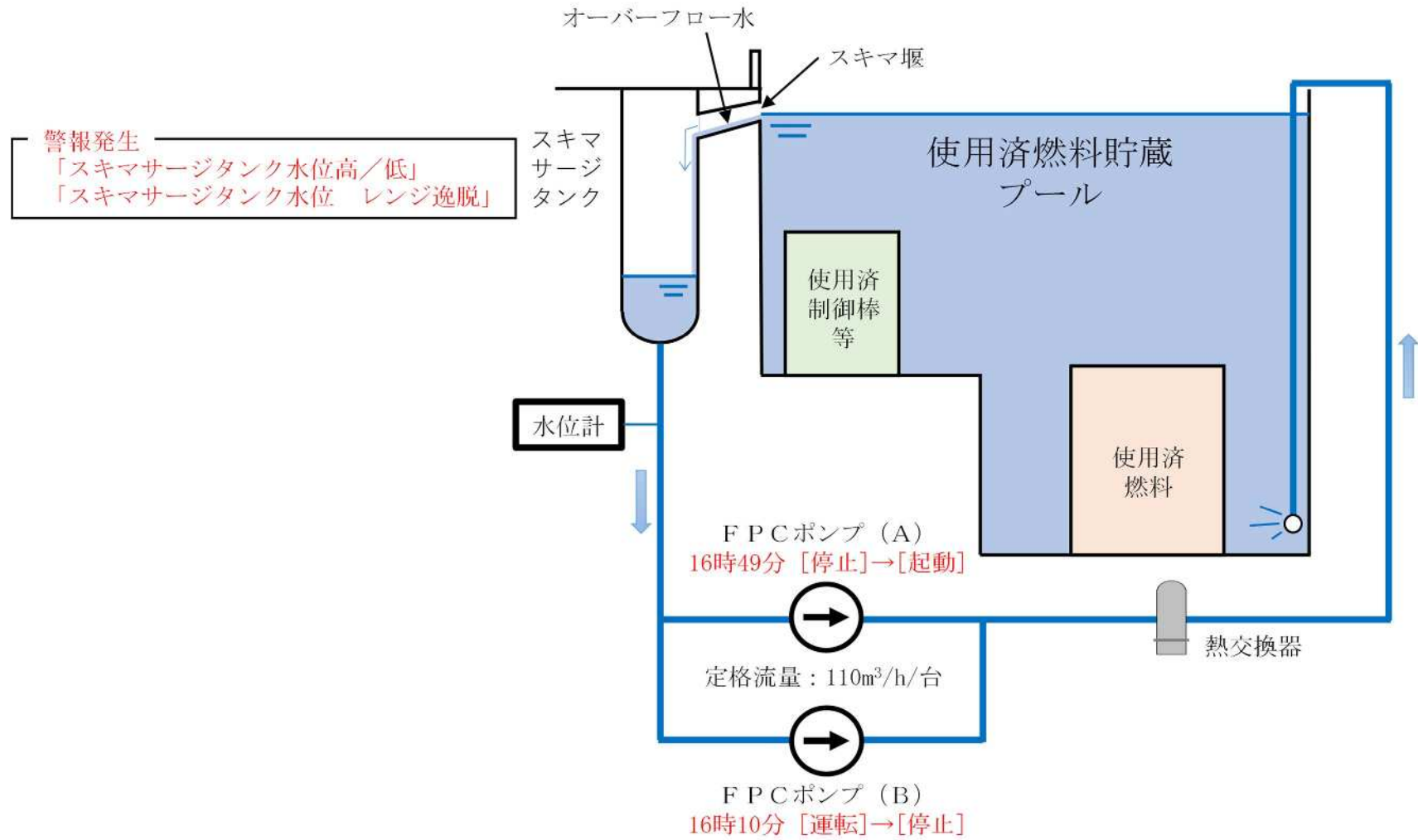
#### 【添付資料】

- 添付資料－1 F P Cポンプの停止・再起動の時系列
- 添付資料－2 F P C系統概要図
- 添付資料－3 使用済燃料貯蔵プール水温度記録 (チャート)
- 添付資料－4 F P Cポンプ (B) 停止に関する要因分析図
- 添付資料－5 志賀原子力線 (275kV) 母線電圧のオシロチャート
- 添付資料－6 F P Cポンプ自己保持回路 (展開接続図)
- 添付資料－7 A N Nタイパー (抜粋)
- 添付資料－8 スキマサージタンクの水位について
- 添付資料－9 水位計電源について
- 添付資料－10 地震時におけるスキマサージタンク水位変動メカニズム

## F P Cポンプの停止・再起動の時系列

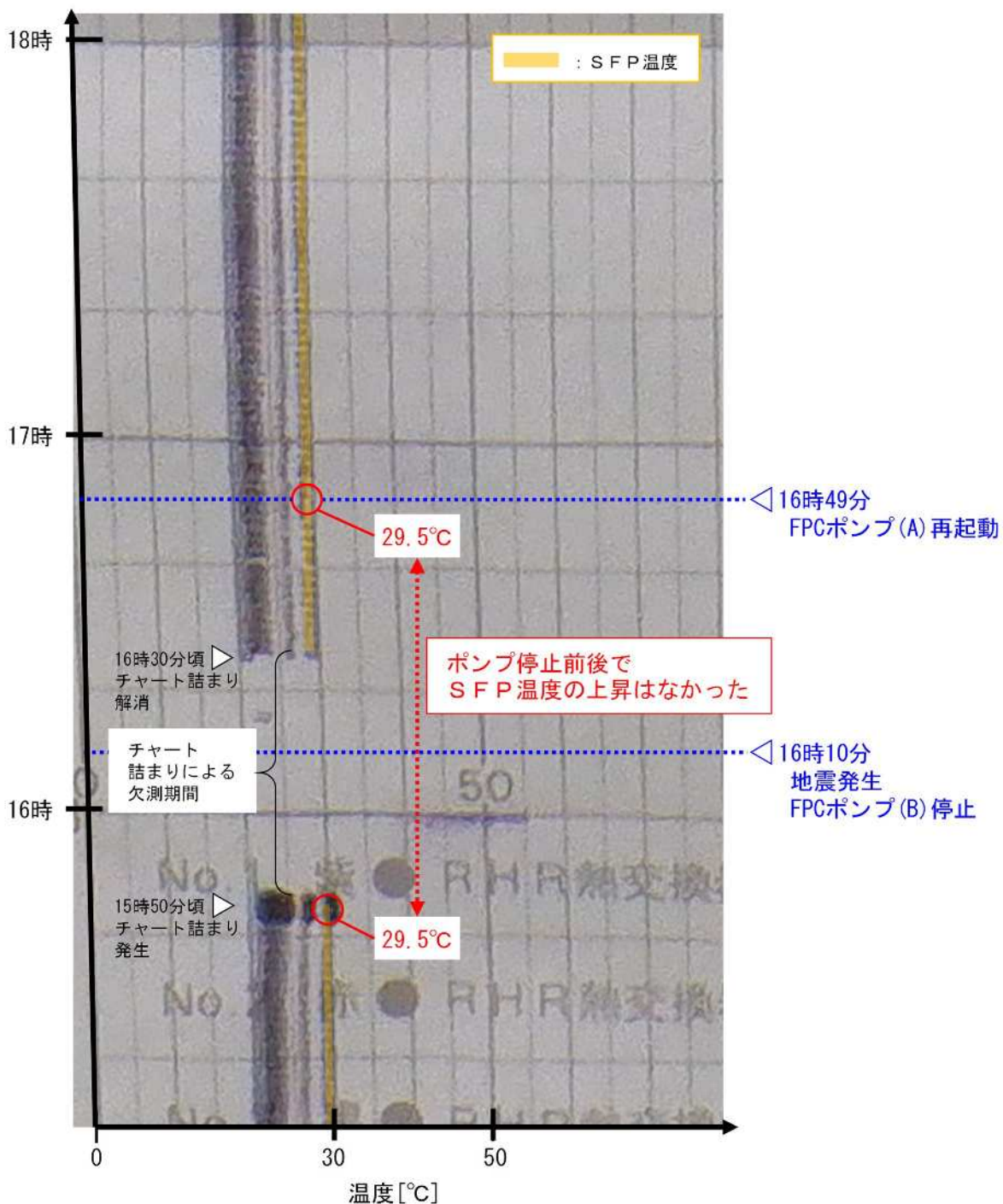
時系列	
1月1日(月)	
地震発生前	志賀1号機F P Cポンプ(B)により使用済燃料貯蔵プールを冷却 (使用済燃料貯蔵プール水温度: 29.5℃)
16時10分	地震発生 M/C-1A, 1B, 1C, 1D, 1H母線電圧低警報発生 P/C-1A, 1B, 1C, 1D母線電圧低警報発生 スキマサージタンク水位高/低警報発生 <u>志賀1号機F P Cポンプ(B)停止</u> スキマサージタンク水位 レンジ逸脱(16時10分正常復帰)
16時11分	～25分頃 地震により警報が多数発生したため、中央制御室にて状況確認
16時16分頃	志賀1号機F P Cポンプ(B)停止を運転員が認知
16時35分	～49分頃 F P C再起動手順の確認、現場移動、現場での状態確認、再起動のための 系統構成を実施
16時49分	志賀1号機F P Cポンプ(A)起動 (使用済燃料貯蔵プール水温度: 29.5℃ 変化なし)

# F P C 系統概要図



### 使用済燃料貯蔵プール水温度記録 (チャート)

志賀1号機の使用済燃料貯蔵プール水温度(以下「SFP温度」という。)のチャートでは、地震発生前からチャート詰まりが発生しており、SFP温度を確認できない期間があった。しかしながら、チャート詰まり発生時点のSFP温度とFPCポンプ再起動時点の温度が一致していることから、FPCポンプが停止中にSFP温度が上昇していないことを確認した。

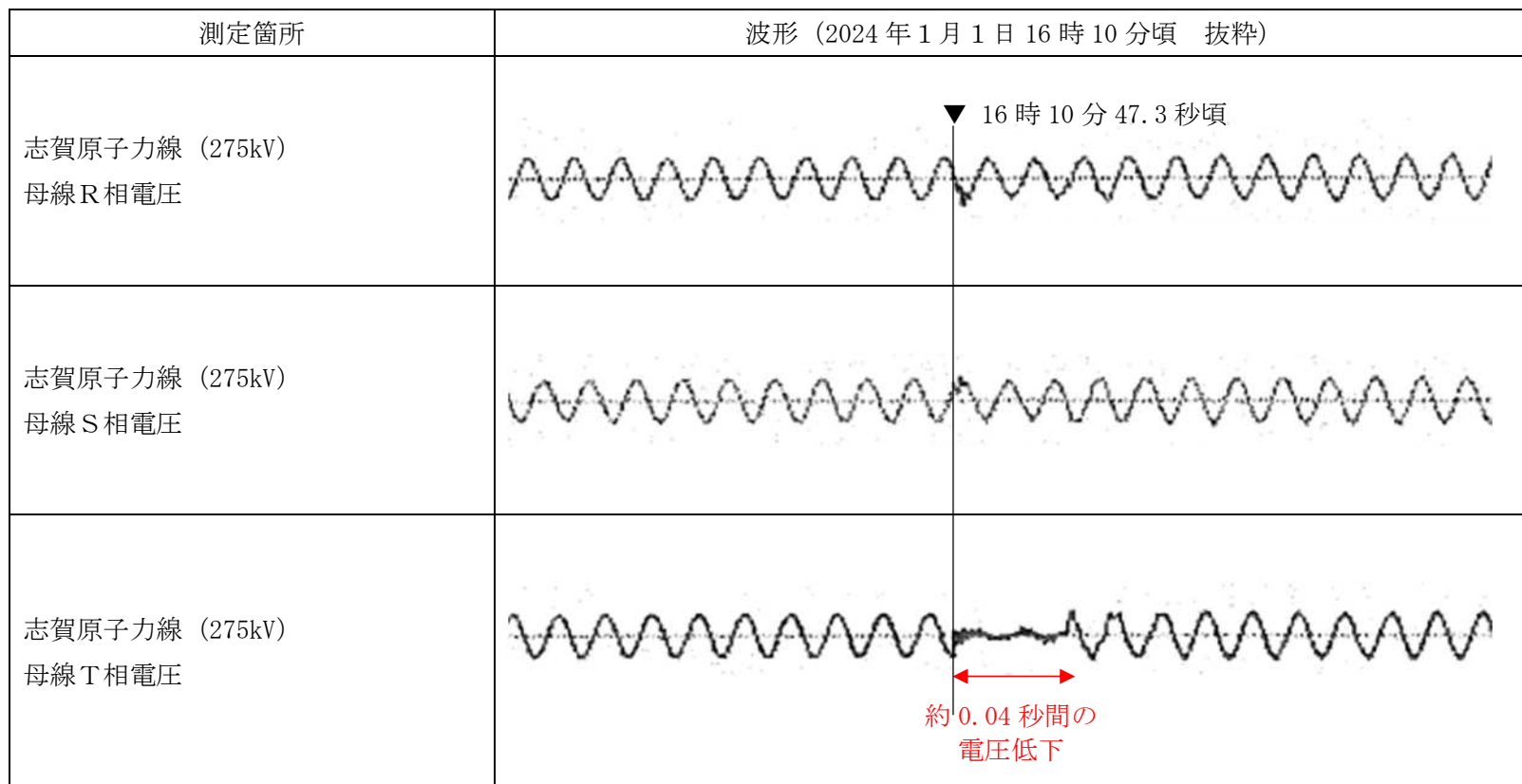


F P Cポンプ（B）停止に関する要因分析図

事象	要因 (インターロック 要素)	要因説明	調査内容	調査結果	判定
FPCポンプ (B)の自動 停止	母線電圧低	FPCポンプ(B) の受電電圧が 低下した	・発生警報 確認 ・インター ロックの 確認	地震発生後にFPCポンプ(B)の受電元であるP/C-1DおよびM/C-1Dの母線電圧低の警報が発生し、即時復帰していたことを確認した。この要因は上流の志賀原子力線(275kV)の電圧低下(T相にて約0.04秒)によるものであった。FPCポンプは瞬低対策として備えられた自己保持回路のタイマー設定時間が3秒であり、電圧低下時間はタイマー設定時間よりも短いため、FPCポンプ(B)が自動停止した要因ではないと推定した。(添付資料-5、6)	×
	FPCポンプ 出口流量低	FPCポンプ(B) の出口配管の 流量が低下した	発生警報 確認	「FPCポンプ出口流量低」の警報が発生していないことを確認した。警報とポンプ停止に至るインターロックの信号を発信するリレーは同一であることから、「FPCポンプ出口流量低」はFPCポンプ(B)が自動停止した要因ではないと推定した。(添付資料-7)	×
	FPCポンプ (B)吸込 圧力低	FPCポンプ(B) の吸込圧力が 低下した	発生警報 確認	「FPCポンプ(B)吸込圧力低」の警報が発生していないことを確認した。警報とポンプ停止に至るインターロックの信号を発信するリレーは同一であることから、「FPCポンプ(B)吸込圧力低」はFPCポンプ(B)が自動停止した要因ではないと推定した。(添付資料-7)	×
	FPCポンプ 過負荷 トリップ	FPCポンプ(B) の異常等により 過負荷が発生した	発生警報 確認	FPCポンプ(B)の過負荷トリップに関する警報が発生していないことを確認した。警報とポンプ停止に至るインターロックの信号を発信するリレーは同一であることから、「FPCポンプ過負荷トリップ」はFPCポンプ(B)が自動停止した要因ではないと推定した。(添付資料-7)	×
			外観点検	外観点検の結果、FPCポンプ(B)の現場の状態に異常がないことを確認した。	×
スキマサー ジタンク 水位低低	スキマサー ジタンク外への 水の異常流出 によりスキマ サージタンク 実水位が低下 した	・設計図書 確認 ・発生警報 確認 ・水位記録 確認 ・漏えい 確認		FPCポンプ(B)の自動停止と同じタイミングで「スキマサージタンク水位高/低」および「スキマサージタンク水位レンジ逸脱」の警報が発生し、その後「スキマサージタンク水位レンジ逸脱」について、即時復帰していることを確認した。スキマサージタンク水位の記録において、水位低低まで水位が低下した記録がないことを確認した。FPCポンプの定格流量と地震発生からポンプ停止までの時間より、水位低低の水位まで排水できないことを確認した。タンクや配管の破損による水の漏えいが発生していないことを確認した。以上により、スキマサージタンクの実水位は低下していないことから、FPCポンプ(B)が自動停止した要因ではないと推定した。(添付資料-7、8)	×
	計器電源の瞬 低による水位 計の出力が低 下した	・設計図書 確認 ・水位計 出力特性 確認 ・発生警報 確認		FPCポンプ(B)の自動停止と同じタイミングで「スキマサージタンク水位高/低」および「スキマサージタンク水位レンジ逸脱」の警報が発生していることを確認した。水位計の出力特性として、計器電源の電圧低下(0.03秒以上)により水位計の出力が低下することが確認されている。水位計の受電元のP/C、M/Cにおいて母線電圧低が発生しており、この要因は上流の志賀原子力線(275kV)の電圧低下(T相にて約0.04秒)によるものであった。しかし、水位計の計器電源はR、S相から受電していることから電圧低下は発生しなかった。このため、水位計の出力低下はなく、FPCポンプ(B)が自動停止した要因ではないと推定した。(添付資料-5、7、9)	×
	地震加速度の 影響で水位が 自動停止水位 まで下がった ように検出し た	・設計図書 確認 ・発生警報 確認		FPCポンプ(B)の自動停止と同じタイミングで「スキマサージタンク水位高/低」および「スキマサージタンク水位レンジ逸脱」の警報が発生していることを確認した。水位計の検出原理を踏まえると、地震加速度の影響によりポンプ自動停止水位まで下がったように検出される可能性があり、「スキマサージタンク水位低低」のインターロックが動作した可能性を否定できないことから、本要素によりFPCポンプ(B)が自動停止したと推定した。(添付資料-7、10)	△

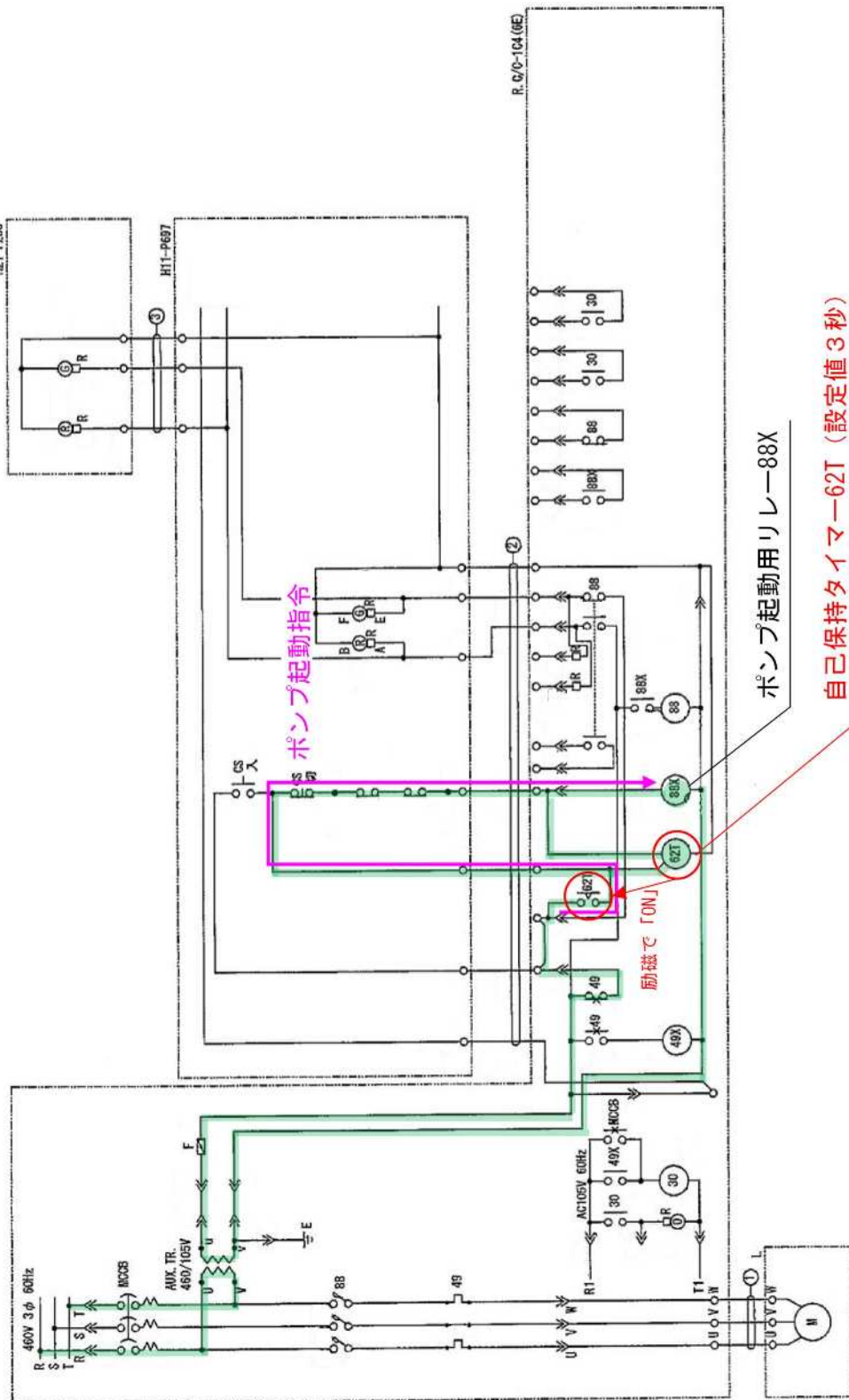
### 志賀原子力線（275kV）母線電圧のオシロチャート

地震発生の際に、志賀原子力線（275 kV）のT相において約 0.04 秒間の電圧低下が発生。  
 この結果、M/C、P/Cにおいて「母線電圧低」警報が発生。



F P Cポンプ自己保持回路 (展開接続図)

— : ポンプ運転中における制御回路通電箇所 (自己保持回路周りのみ)



自己保持タイマー-62Tは、停電が3秒未満であればポンプ起動指令を保持するため、3秒未満の瞬低でポンプは停止しない。



## ANNタイパー（抜粋）

000001

000002

\*\*\* 日付 2024年01月01日 \*\*\*

000018	2024/01/01	16:10:45	G41CD791	FPC ポンプ(B) 起動	停止	
000028	2024/01/01	16:10:47	G41CA286	スキマサージタンク水位	レンジ逸脱	
000039	2024/01/01	16:10:48	G41CA286	スキマサージタンク水位	レンジ逸脱	正常復帰
000067	2024/01/01	16:10:56	G41CA286	スキマサージタンク水位	レンジ逸脱	
000076	2024/01/01	16:10:57	G41CA286	スキマサージタンク水位	レンジ逸脱	正常復帰
000714	2024/01/01	16:49:15	G41CD790	FPC ポンプ(A) 起動	起動	

※：地震発生後において、FPCポンプ自動停止に至るインターロック要素  
「FPCポンプ出口流量低」「FPCポンプ（B）吸込圧力低」  
「FPCポンプ過負荷トリップ」に関連した警報は発生していなかった。

## スキマサージタンクの水位について

スキマサージタンクの水位が 550mm になると「スキマサージタンク水位低低」のインターロックが動作して、F P C ポンプが停止する。

地震発生前のスキマサージタンクの水位は 1,497mm であったことから、水位が 550mm になるためには、地震発生からポンプ停止までの間に、約 4.3m<sup>3</sup>※<sup>1</sup>のスキマサージタンク内の水（以下「タンク水」という。）がタンク外へ流出する必要がある。（図 1）

このため、スキマサージタンクの水位低下に関する以下の状況について確認した。

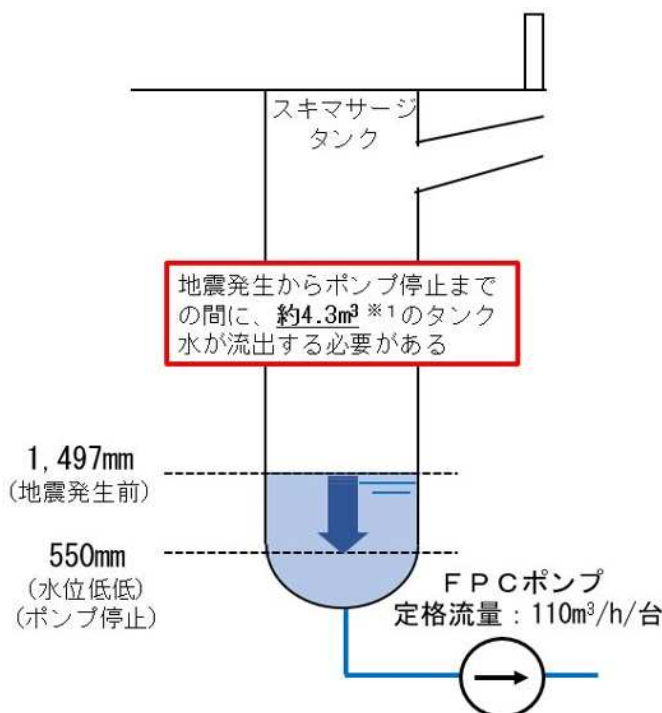


図 1 スキマサージタンク水位の変動

※ 1：地震発生前のスキマサージタンク水位約 1,500mm とポンプ停止水位約 550mm の水位差(1.5m-0.55m) × 4.54m<sup>2</sup>(スキマサージタンク総断面積)より算出

### 1. 警報の発生状況について

地震発生時（1月1日16時10分）に「スキマサージタンク水位高/低」および「スキマサージタンク水位レンジ逸脱」の警報が発生し、その後、「スキマサージタンク水位レンジ逸脱」について、即時復帰していることをANNタイパーで確認した。（添付資料－ 7）

## 2. スキマサージタンク水位の記録（トレンド）について

スキマサージタンク水位の記録を確認したところ、サンプリング周期が1分間であるため記録できていない可能性はあるが、550mmまで水位が低下した記録は確認されなかった。（図2）

- ・地震発生前：1,497mm
- ・地震発生時：1,461mm

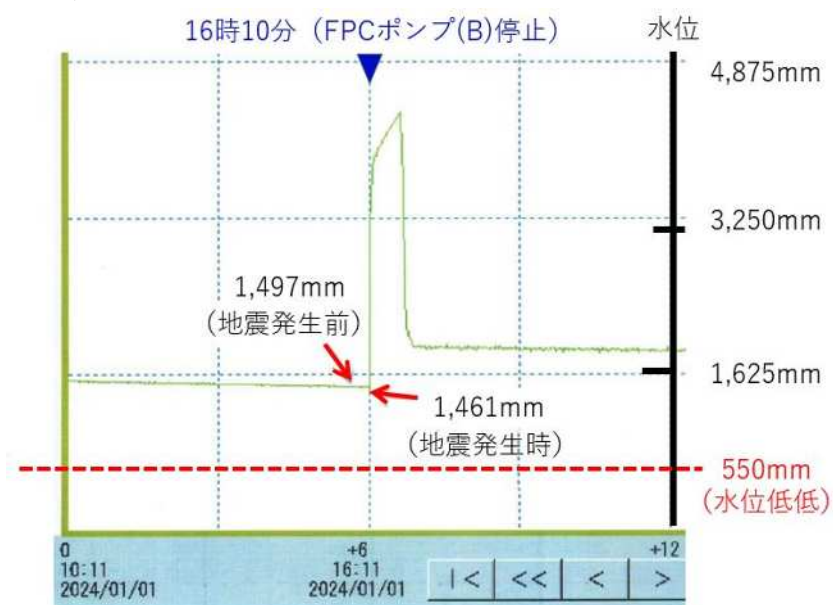


図2 スキマサージタンク水位

## 3. F P Cポンプの運転による排水の可能性について

通常時において、使用済燃料貯蔵プールからスキマサージタンクにオーバーフローしたプール水をF P Cポンプにて使用済燃料貯蔵プールへ送る循環運転をしている。

F P Cポンプが自動停止する水位になるには、タンク水が約4.3m<sup>3</sup>流出する必要があるが、F P Cポンプの定格流量から算出すると4.3m<sup>3</sup>流出するには約2分20秒\*<sup>2</sup>を要する。実際には、地震発生からポンプ停止まで20秒程度であり、2分20秒に比べて短時間であることから、タンク水は550mmまで低下していないと考えられる。

※2：F P Cポンプ1台の定格流量は110 m<sup>3</sup>/h (1.8 m<sup>3</sup>/min)。  $\frac{4.3 \text{ m}^3}{1.8 \text{ m}^3/\text{min}} \approx 2 \text{ 分 } 20 \text{ 秒}$

## 4. タンクや配管の損傷による漏えいの可能性について

地震後の保安確認により、タンクや配管の損傷等による漏えいがないことを確認\*<sup>3</sup>しており、漏えいによって、スキマサージタンクの水位は550mmまで低下していないと考えられる。

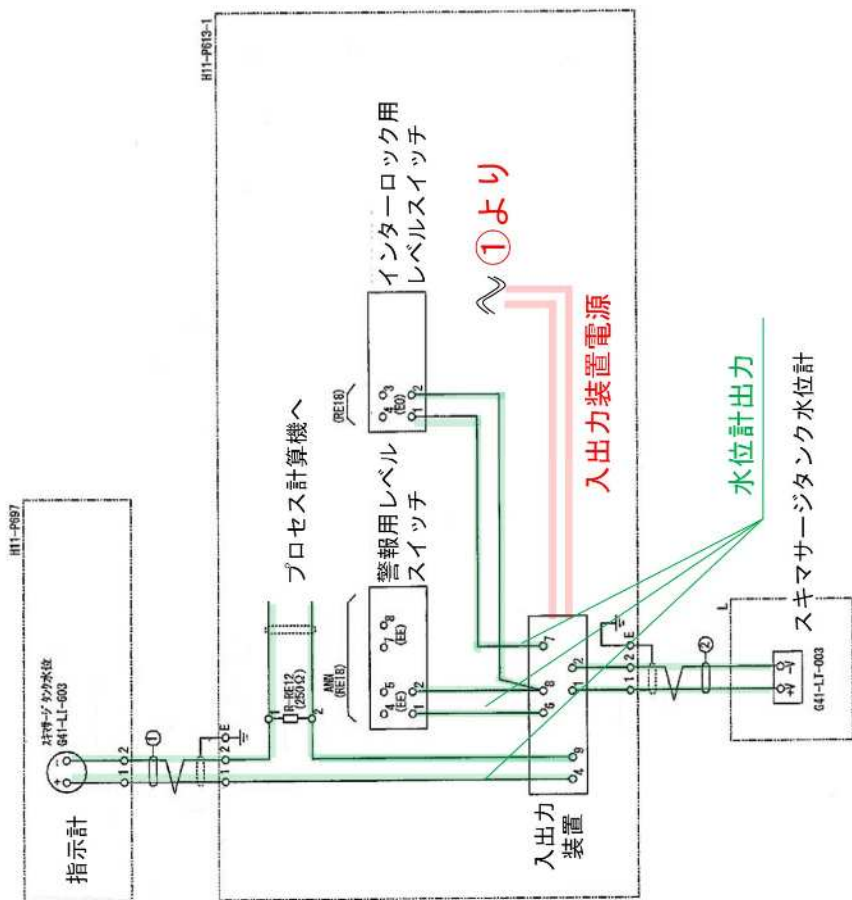
※3：スロッシングにより使用済燃料貯蔵プールから約0.1 m<sup>3</sup>のプール水の漏えいが確認されているが、タンクや配管以外からのプール水流出であるため、スキマサージタンク水位の低下には寄与しない

## 5. 結論

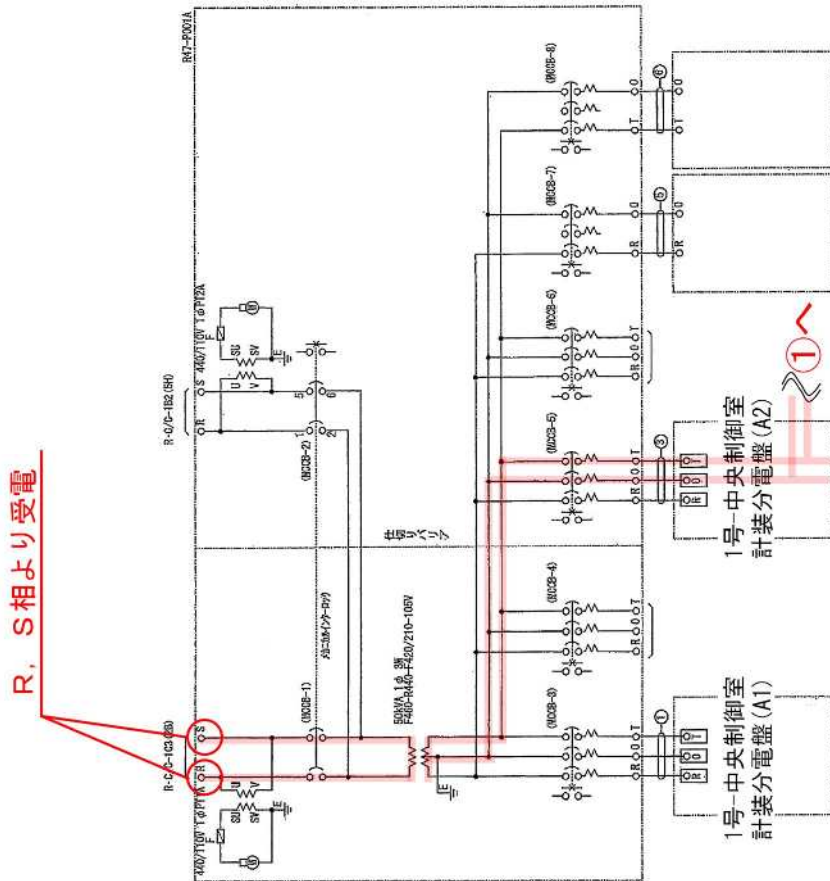
以上のことから、スキマサージタンクの実水位は550mmまで低下しておらず、実水位の低下により「スキマサージタンク水位低低」のインターロックは動作していないものと推定した。

水位計電源について

計装回路



電源回路



スキマサージング水位計は入出力装置から電源を供給されており、入出力装置電源の電圧低下が0.03秒間以上の場合は、水位計の出力が低下することが確認されている。しかし、電圧低下が確認されたのはT相のみであるため、R、S相から受電している本計器は、母線受電電圧低下による影響を受けることはない。(添付資料-5)

## 地震時におけるスキマサージタンク水位変動メカニズム

### 1. スキマサージタンク水位計の検出原理

スキマサージタンク水位計はタンク水から受ける圧力（水頭圧）により水位を検出している。

(図1)

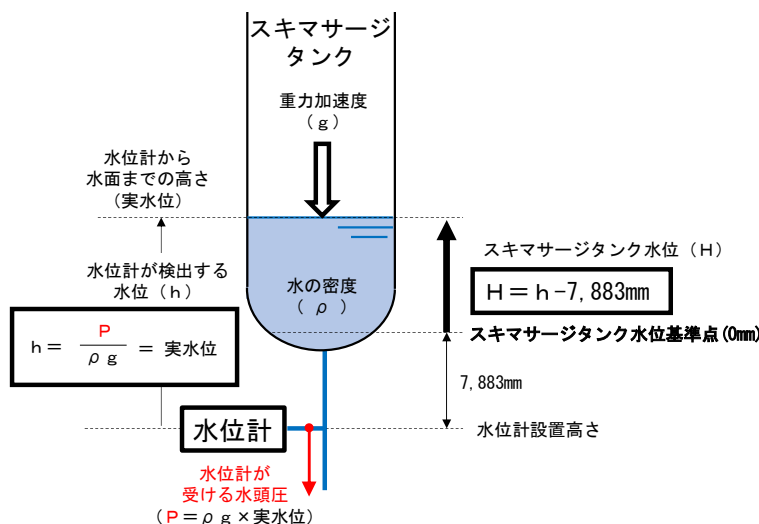


図1 スキマサージタンク水位計の検出原理 (通常時)

### 2. 能登半島地震による水位変動

地震によりスキマサージタンクに下向き鉛直地震加速度 (Da: 重力加速度と同じ向き) が加わると、タンク水が受ける加速度が相対的に減少することから、スキマサージタンク水位計が水から受ける圧力 (P') は  $\rho g'$  と実水位の積となり、地震前よりも圧力が低下する。結果として、水位が下がったように検出されると考えられる。(図2)

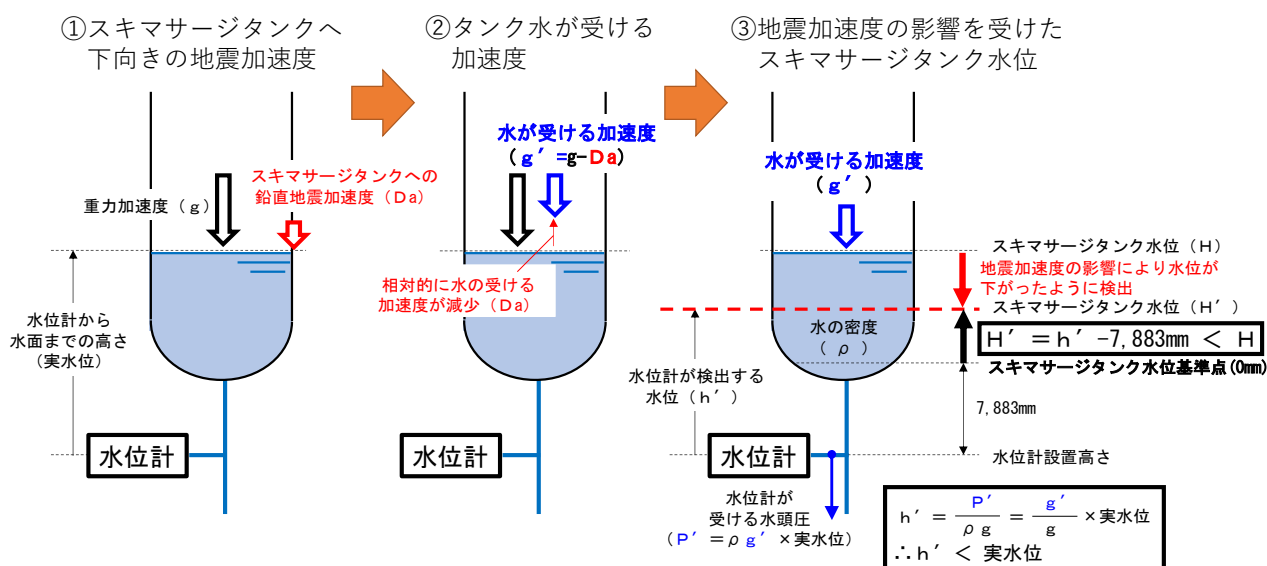


図2 地震時における水位変動メカニズム

今回の地震では、志賀1号機の原子炉建屋地下2階に設置されている震度計にて鉛直地震加速度として最大 329.9gal を観測している。この加速度が仮にスキマサージタンクに下向きに加わった場合、当該水位計で検出される水位は前頁に基づくと-1,658mm<sup>※1</sup>と水位が下がったように検出され、「スキマサージタンク水位高/低」(1,100mm)および「スキマサージタンク水位 レンジ逸脱」(0mm)の警報が発生するとともに「スキマサージタンク水位低低」(550mm)のインターロックが動作しFPCポンプ(B)が停止した可能性があると推定した。(図3)

※1：算出式

$$H' = \frac{g'}{g} \times \text{実水位} - 7,883\text{mm} = \frac{650.8\text{gal}}{980.7\text{gal}} \times 9,380\text{mm} - 7,883\text{mm} = -1,658\text{mm}$$

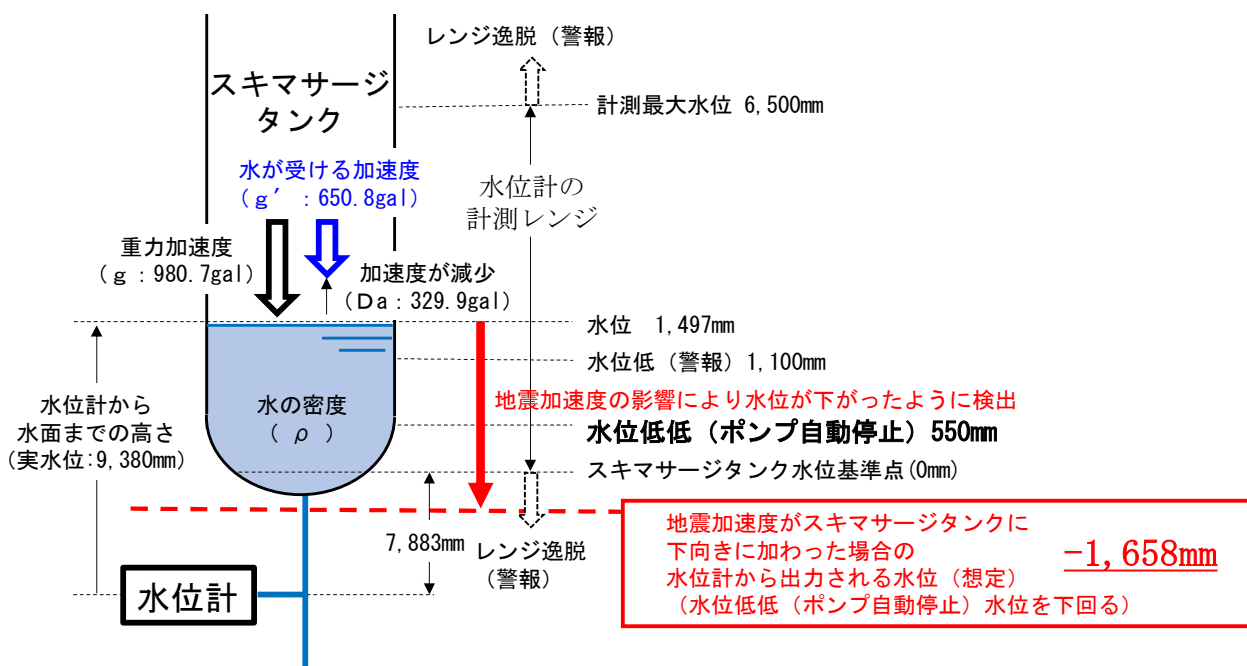


図3 地震時における水位計の水位変動

(参考1) 類似水位計の水位変動

スキマサージタンク水位計と同様の検出原理（水頭圧により水位を検出）である類似水位計について、同様の事象が発生していないか記録確認（チャート、トレンド等）した。その結果、地震発生直後に短時間で指示値が大きく変動し、時間経過とともに地震発生前の指示値に収束するという、スキマサージタンク水位計と同じような挙動となっている水位計（原子炉水位<sup>※2</sup>）があった。地震発生時は、原子炉への水の流入がない状況であり、地震加速度の影響と考えられる原子炉水位の変動は最大で約2.5mであった。（図4）

※2：定検時のみ原子炉水位の監視を行う計器。

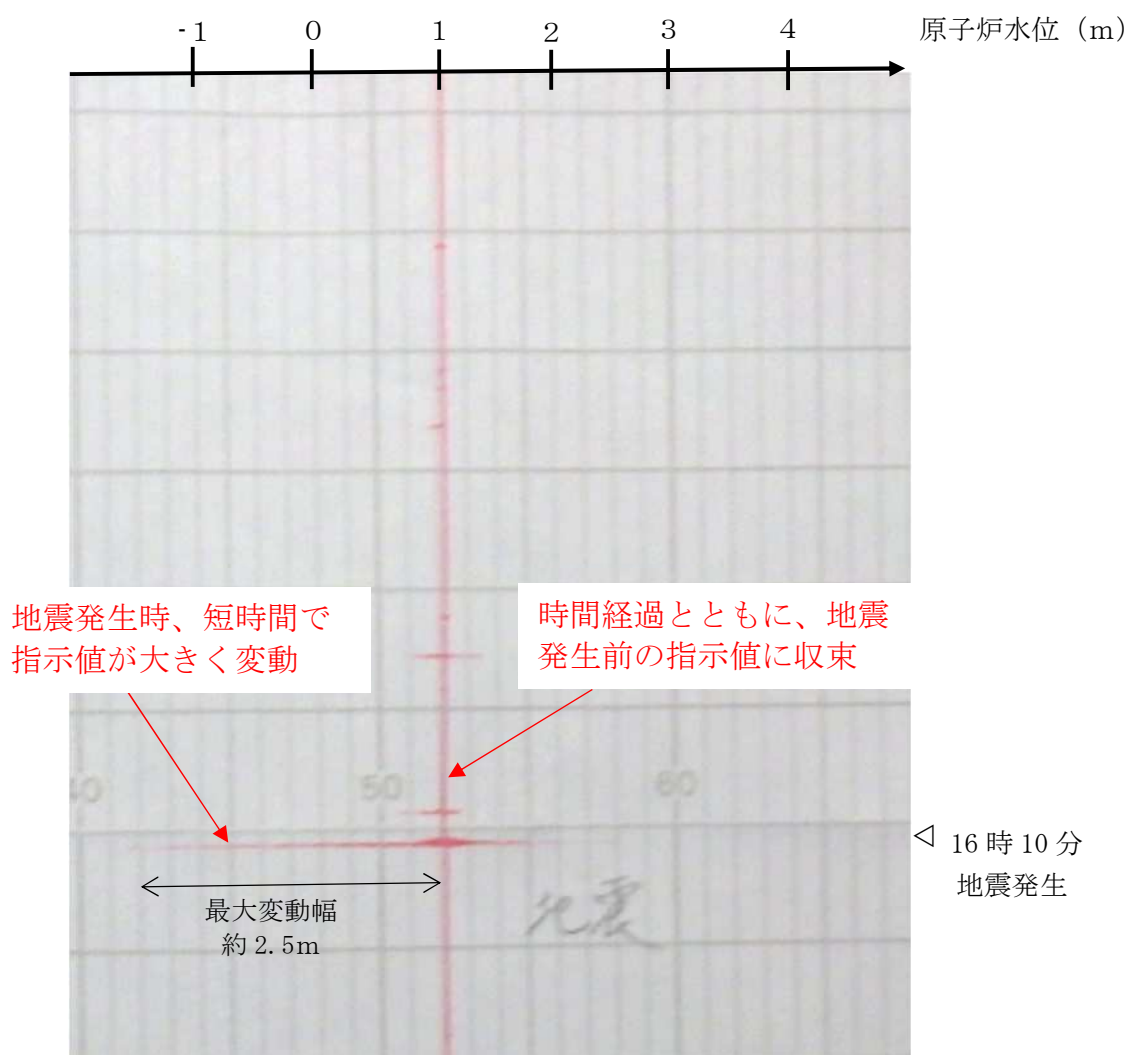


図4 原子炉水位記録（チャート）

(参考2) 志賀2号機スキマサージタンク水位計の挙動

志賀1号機のFPCポンプが停止した一方で、志賀2号機のFPCポンプは運転継続できていた。これは、志賀2号機のスキマサージタンクの水位計は志賀1号機と設置高さが異なっており、地震加速度から受ける影響が小さかったことから、「スキマサージタンク水位低低」の設定値を下回らなかったため、自動停止のインターロックが動作せず運転継続できたものと推定した。(図5)

なお、地震加速度を考慮した志賀2号機スキマサージタンク水位は 1,079mm<sup>※3</sup>であったと推定される。

※3：算出式

$$H' = \frac{g'}{g} \times \text{実水位} - 500\text{mm} = \frac{650.8\text{gal}}{980.7\text{gal}} \times 1,879\text{mm} - 500\text{mm} = 1,079\text{mm}$$

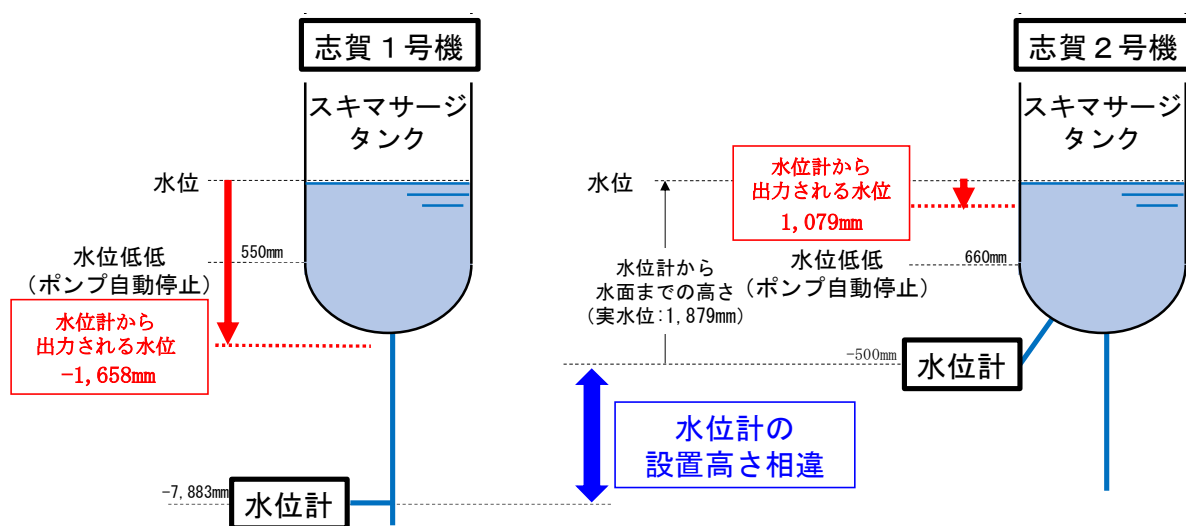


図5 スキマサージタンク水位計の挙動