

2号機 3月14日 21時以降の S/C 圧力計の挙動について

1. はじめに

2号機の D/W 圧力は、RCIC 運転期間中に徐々に上昇し、RCIC 停止後、3月14日 13時頃から低下に転じる。その後、圧力容器内で発生した水素が SRV の開操作により格納容器側に移行したことによると考えられる D/W 圧力の上昇が、21時20分頃、22時40分頃に観測され、0.75MPa[abs]程度にまで上昇した。

一方、S/C 圧力は、13日3時にアクシデントマネジメント (AM) 用の S/C 圧力計により計測を開始したが、指示値が計測下限値を下回りダウンスケール (DS) の状態であった。14日4時30分から12時30分までは本設の S/C 圧力計により計測がされているが、この間は D/W 圧力と同程度の値を指示し、その後指示不良により計測が中断した。14日22時10分には AM 用 S/C 圧力計の指示値が復旧したが、D/W 圧力よりも大幅に低い値を指示していた。その後、15日6時に 0MPa[abs]を指示し、最終的に再び DS を指示した。なお、この AM 用 S/C 圧力計は、S/C ベントラインからの分岐配管上に設置された凝縮槽に繋がる基準水柱の圧力を測定するものである。

格納容器の構造上、真空破壊弁の働きにより D/W 圧力と S/C 圧力は、本来は連動した挙動を示す性質のものであるから、このような D/W 圧力と S/C 圧力の乖離は起こりえない。DS や 0MPa[abs]を指示している期間もあることから、AM 用 S/C 圧力計の方が、現実の圧力を指示していたものではない可能性が極めて高い。この問題については、本報告書において 2号機-3として課題設定している。

格納容器圧力は事故対応において非常に重要なパラメータであることから、本資料では、AM 用 S/C 圧力計が異常な指示値を示した要因について検討を行った。

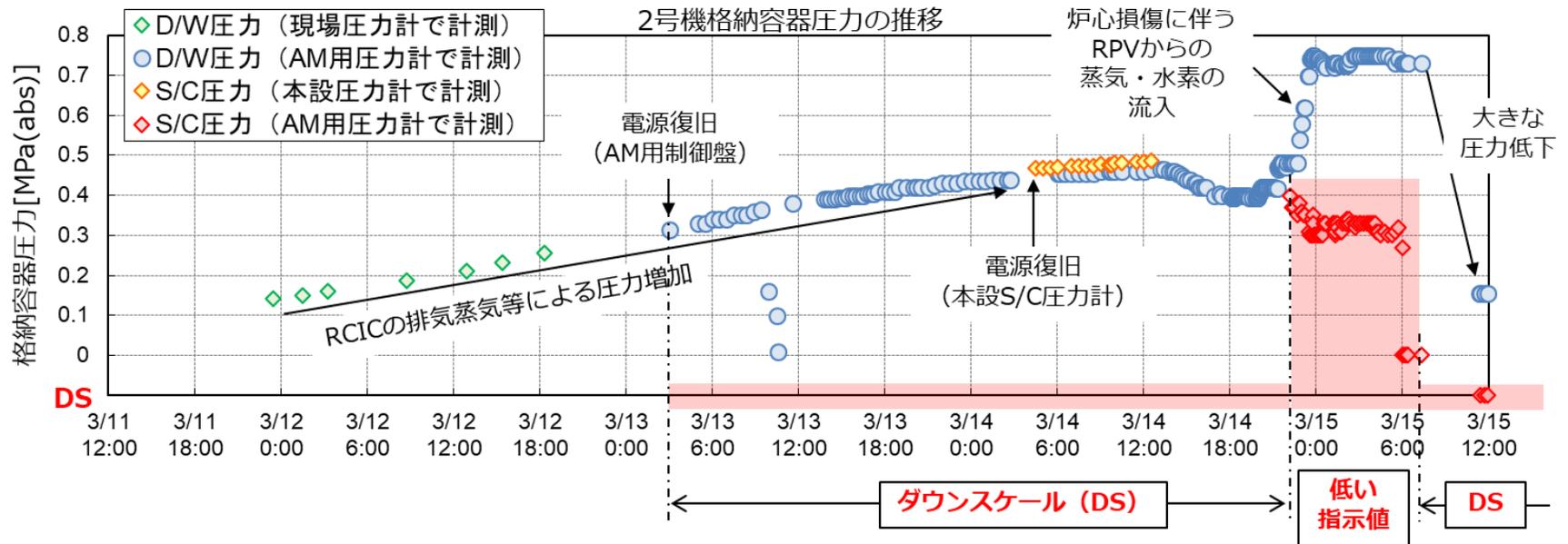


図 1.1 2号機格納容器圧力の推移

2. AM 用 S/C 圧力計の概要

本検討で着目する AM 用 S/C 圧力計の設置位置を図 2.1 に示す。AM 用 S/C 圧力計は 2 号機 R/B 地下階南東三角コーナに設置されており、設置高さは床面 (T.P. -3496) から 60cm である。圧力の検出元は S/C 気相部と接続している AM 用 S/C 水位計の凝縮槽 (設置高さ : T.P. 7119) であり、S/C 気相部の圧力変化に伴う凝縮槽配管の圧力変化を測定している。

AM 用 S/C 圧力計の測定原理を図 2.2 に示す。測定原理はダイヤフラム式を採用している。検出部では検出元の圧力変化を隔液ダイヤフラムで検知し、半導体圧力センサで電気抵抗変化に変換し、ブリッジ回路で圧力に比例した電圧に変換する。変換された電圧は増幅部で電流として出力され、中操 (AM 用制御盤) に設置された AM 用 S/C 圧力指示計で絶対圧として指示される。

AM 用 S/C 圧力計の外観図を図 2.3 に示す。当該圧力計の耐塵性や耐水性については、日本産業規格によって規定されている電気機械器具の外来固形物の侵入及び水の浸入に対する保護等級 (International Protection)[1]において、IP67 相当となっている。この等級は、耐塵性については「耐塵性 (塵埃の侵入はあってはならない。)」と定義され、また、耐水性については「規定の圧力及び時間 (水面下・15cm～1m、30 分間) で外郭を一時的に水中に沈めたとき、有害な影響を生じる量の浸入があってはならない」と定義される。したがって AM 用 S/C 圧力計は、内部に塵埃が侵入せず、一時的な水没では内部に水が浸入しない構造として設計されている。

また、事故時に使用していた格納容器圧力計の設置場所を表 2.1 に示す。AM 用 S/C 圧力計は、他の圧力計と比較してより低い位置に設置されている。

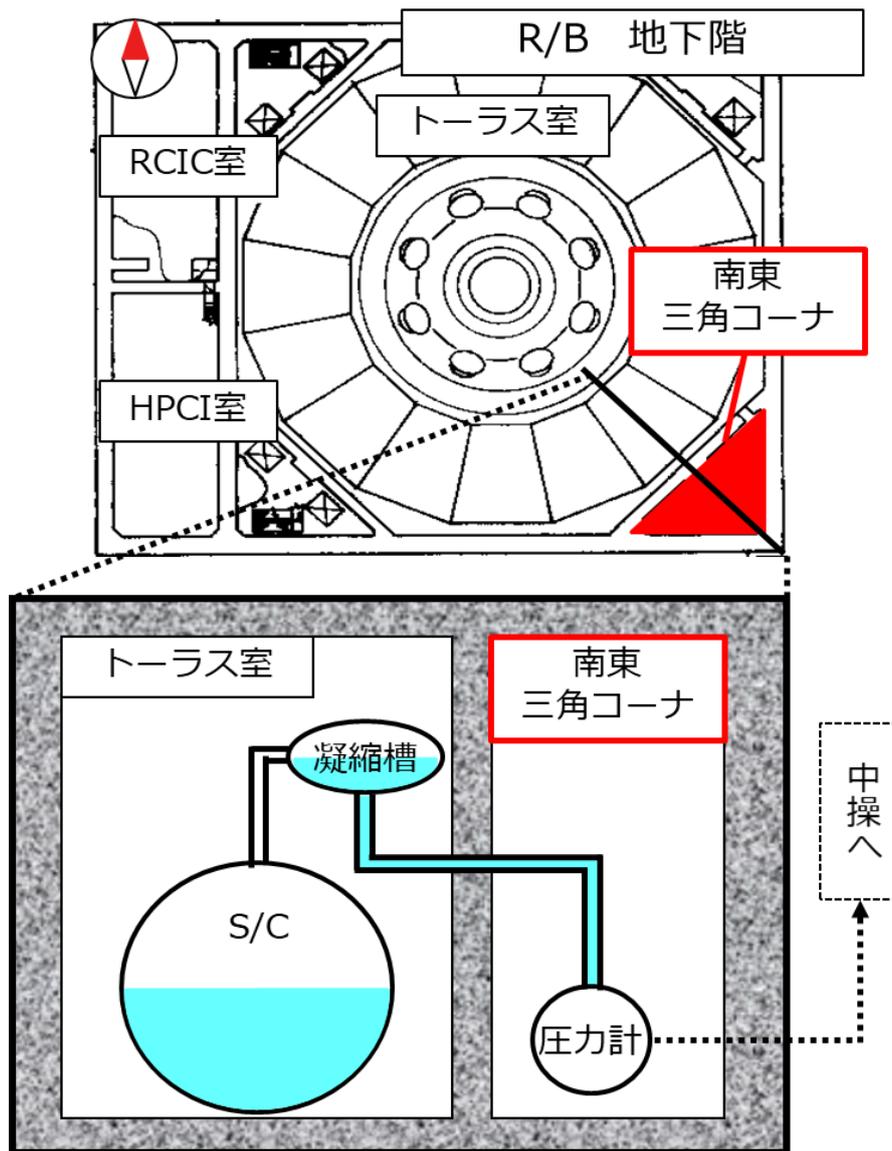


図 2.1 AM 用 S/C 圧力計の設置位置

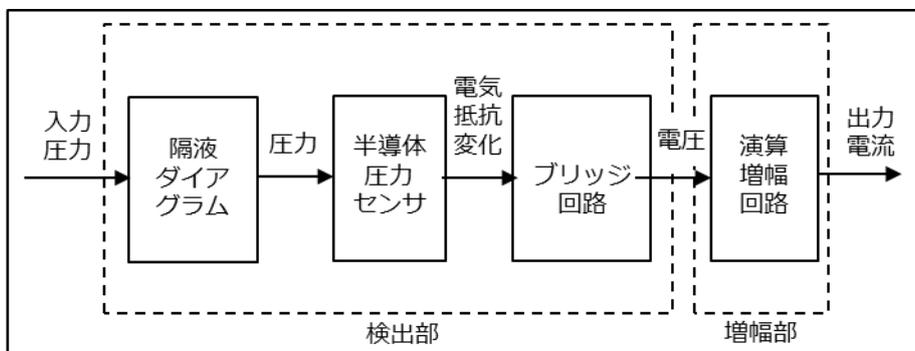


図 2.2 AM 用 S/C 圧力計の測定原理

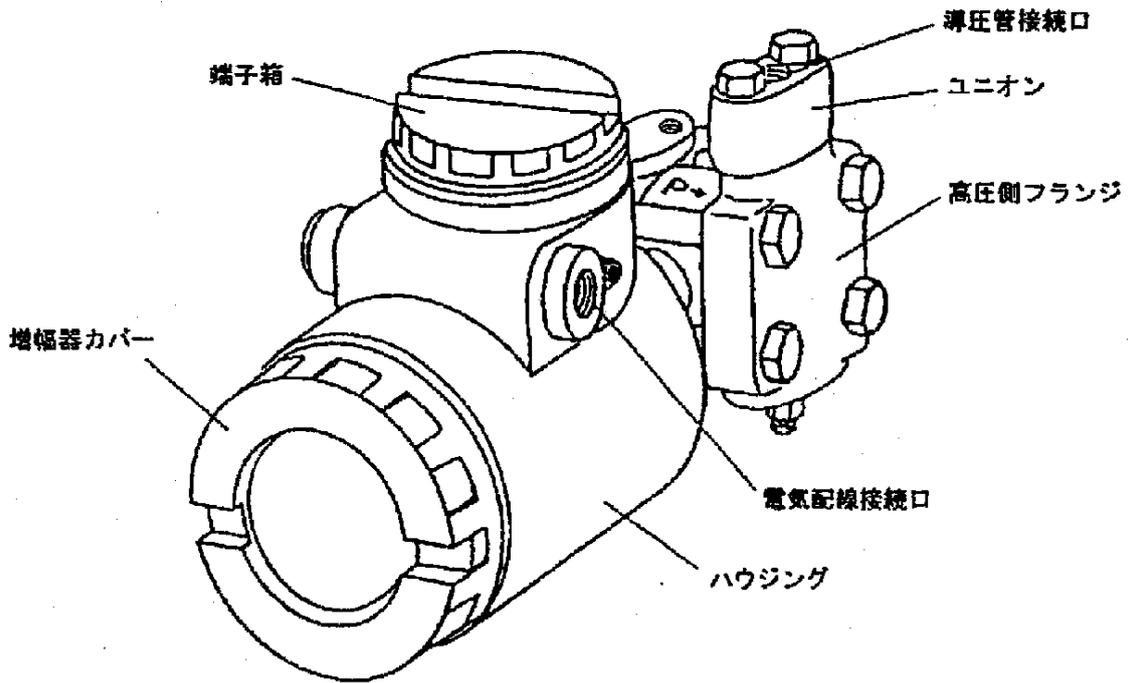


図 2.3 AM 用 S/C 圧力計の外観図

表 2.1 事故時に使用していた格納容器圧力計の設置場所

圧力計	D/W (現場)	D/W (AM 用)	S/C (本設)	S/C (AM 用)
設置場所	R/B 2 階 北西エリア (床面 : T.P. 17264)	R/B 3 階 北東エリア (床面 : T.P. 25464)	R/B 中地下階 北東三角コーナ (床面 : T.P. 2564) ※4 号機の場合	R/B 地下階 南東三角コーナ 床面から 60cm (床面 : T.P. -3496)

3. 異常な指示値を示した要因の洗い出しと分類

AM 用 S/C 圧力計が異常な指示値を示した要因は複数考えられることから、本検討では考えられる要因を可能な限り洗い出し、消去法的アプローチにより可能性を絞っていくという方針を採った。

① 機械的要因

圧力計が異常な指示値を示す要因の一つとして、圧力計本体が機械的な衝撃を受けて損傷し、圧力を検出することが不可能になると DS を示すことが考えられる。事故時に圧力計に機械的な衝撃が加わった可能性について、その要因としては、地震、他号機の爆発及び津波の衝撃が考えられる。これらについて“機械的要因”として検討を行う。

② 測定原理に関する要因

圧力計が異常な指示値を示す要因の一つとして、本来一定であるはずの凝縮槽配管内の水位が減少又は喪失することで、指示値が低下することが考えられる。事故時に凝縮槽配管内水が減少または喪失する要因として、凝縮槽配管の破断、配管内水の蒸発、何かしらの要因で気泡が生じたことによる配管内水の分断が考えられる。これらについて“測定原理に関する要因”として検討を行う。

③ 電氣的要因

圧力計が異常な指示値を示す要因の一つとして、圧力計から中操に設置された圧力指示計へ伝送する電気系統に異常が生じ、指示値の低下や DS が起こると考えられる。事故時に圧力計の電気系統に異常が生じる要因として、事故時に圧力計に接続していた「バッテリーの電圧不足」や「バッテリーの枯渇」及び、「圧力計本体やケーブルへの水の浸入」が考えられる。これらについて“電氣的要因”として検討を行う。

4. AM 用 S/C 圧力計が異常な挙動を示した要因の検討

3.にて分類した“機械的要因”、“測定原理に関する要因”及び“電氣的要因”について、各要因によって AM 用 S/C 圧力計が異常な指示値を示した可能性の検討を行う。

4.1. 機械的要因

AM 用 S/C 圧力計が異常な指示値を示す“機械的要因”として、地震、他号機の爆発や津波の衝撃により、圧力計本体が損傷する可能性が考えられる。本項目では、この“機械的要因”により AM 用 S/C 圧力計が DS を示した可能性の検討を行う。

(1) 地震及び爆発の衝撃による損傷の可能性

表 4.1.1 に 2011 年 3 月 11 日 14:46～15 日 12:00 までに 1F 立地地域で観測された東北地方太平洋沖地震の本震及び余震（震度 3 以上）の発生時刻を示す。また、表 4.1.2 に他号機の水素爆発の発生時刻を示す。これらの発生時刻を 2 号機格納容器圧力の推移と重ね合わせたものを図 4.1.1 に示す。

AM 用 S/C 圧力計を復旧する以前から複数回の地震や 1 号機の水素爆発が発生していることが分かるが、これらの影響で圧力計本体の損傷やケーブルの破断が発生した場合、DS から指示値が復帰することは考えにくいため、3 月 15 日以前にこれらの要因で圧力計が損傷した可能性は低いと考えられる。

圧力計の指示値は 3 月 15 日 6 時 2 分に急激に低下し 0MPa[abs]となったが、その前後で地震は発生していない。また、4 号機の水素爆発が至近で発生しているが、その時刻は 6 時 12 分と考えられることから、4 号機の水素爆発が指示値低下の直接の要因ではないと考えられる。

表 4.1.1 地震の発生時刻及び 1F 立地地域の震度[2][3]

日付	発生時刻	1F 立地地域（大熊町）の震度（※は双葉町）
3/11	14:46	6 強
3/11	14:51	4
3/11	14:54	4
3/11	14:58	4
3/11	15:06	3
3/11	15:08	3
3/11	15:12	4
3/11	15:15	4
3/11	15:25	3
3/11	16:14	3
3/11	16:28	5 弱
3/11	16:30	5 弱
3/11	17:12	3
3/11	17:19	3
3/11	17:40	4
3/11	20:36	3
3/12	10:47	3
3/12	22:15	5 弱
3/13	8:24	4 [※]
3/14	10:02	3 [※]
3/14	15:12	3 [※]

（東北地方太平洋沖地震の余震活動の領域内で発生したマグニチュード 6.5 以上もしくは震度 5 弱以上を観測した地震のうち、1F 立地地域で震度 3 以上を観測した地震を整理した。）

表 4.1.2 他号機の水素爆発の発生時刻

号機	発生時刻
1 号機	3/12 15:36
3 号機	3/14 11:01
4 号機	3/15 6:12

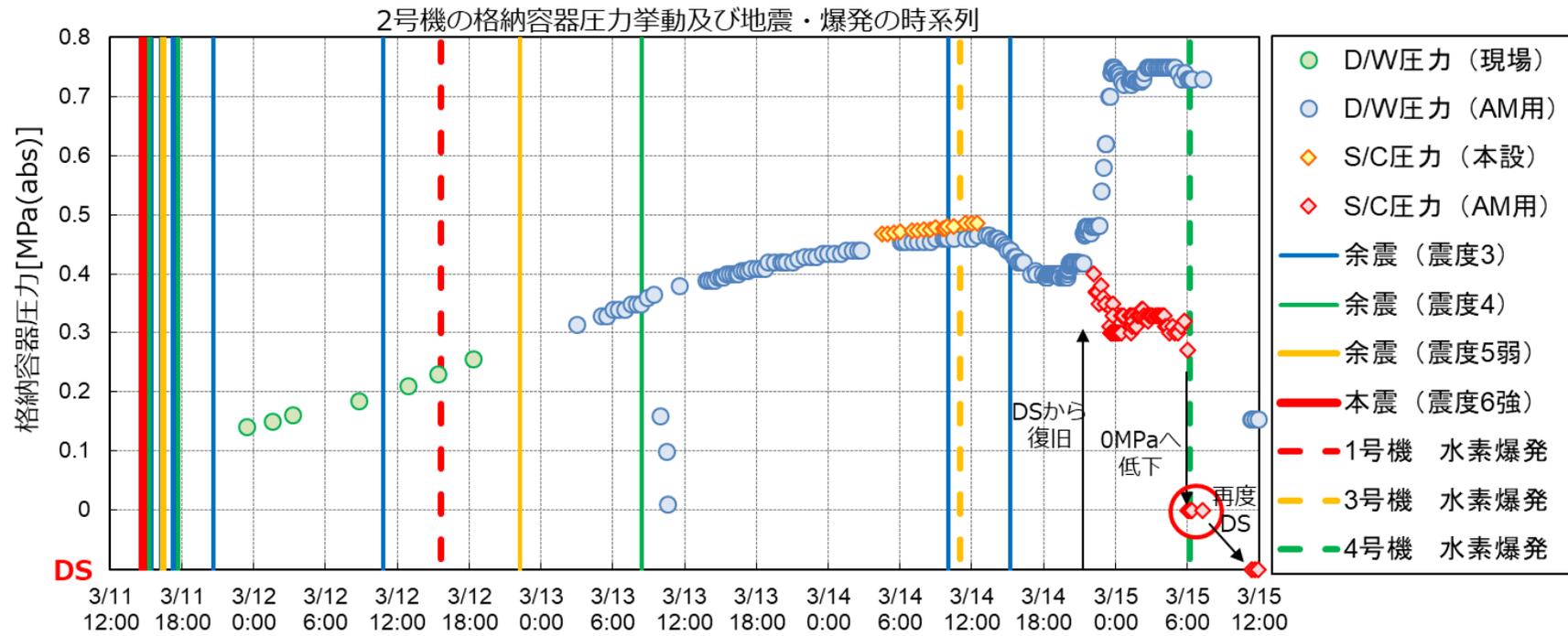


図 4.1.1 2号機格納容器圧力の推移及び地震・爆発の時系列

(2) 津波の衝撃による損傷の可能性

表 4.1.3 及び図 4.1.2 に AM 用 S/C 圧力計の設置位置である R/B 地下階南東三角コーナへの津波の浸入経路（直接、横から、上から、下から）について整理した結果を示す。

屋外から直接の浸入可能性について、南東三角コーナは地下階に位置しているため、屋外に繋がる開口部はなく、津波が直接浸入する可能性はない。

横からの浸入可能性について、三角コーナはトールラス室及び T/B と隣接しており、それぞれと接する壁面には配管貫通部が存在することから、壁貫通部を通じて横から浸入した可能性が考えられる。

上からの浸入可能性について、南東三角コーナには上部階と繋がるハッチや階段室があるため、1 階や中地下階を経由して津波が浸入した可能性が考えられる。

下からの浸入可能性について、南東三角コーナにはファンネルがあり、サンプルを経由して 1 階や地下階の他の部屋と繋がっていることから、ファンネルを経由して津波が浸入した可能性が考えられる。なお、南東三角コーナには床ドレンサンプルがあり、サンプルポンプが廃棄物処理系配管と接続されているが、ポンプ吐出側には逆止弁があるため、廃棄物処理系を逆流して津波が浸入した可能性は低いと考えられる。

以上より、南東三角コーナへの津波の浸入経路は複数あるが、いずれも直接の浸入ではないことから津波が波力を保ったまま到達することは難しく、津波の衝撃によって圧力計が損傷した可能性は低いと考えられる。

表 4.1.3 南東三角コーナへの津波の浸入経路

浸入経路	浸入の可能性	
屋外との開口部（直接）	×	屋外と直接繋がる開口部なし
壁貫通部（横から）	○	トールラス室及び T/B の連通部から浸入
1 階及び中地下階（上から）	○	CS ポンプ上部のハッチや階段室から浸入
ファンネル（下から）	○	1 階や地下階南西コーナからサンプル経路で逆流
床ドレンサンプル（下から）	×	廃棄物処理系の配管を逆流して津波が浸入（サンプルポンプの吐出側に逆止弁があり可能性は低い）

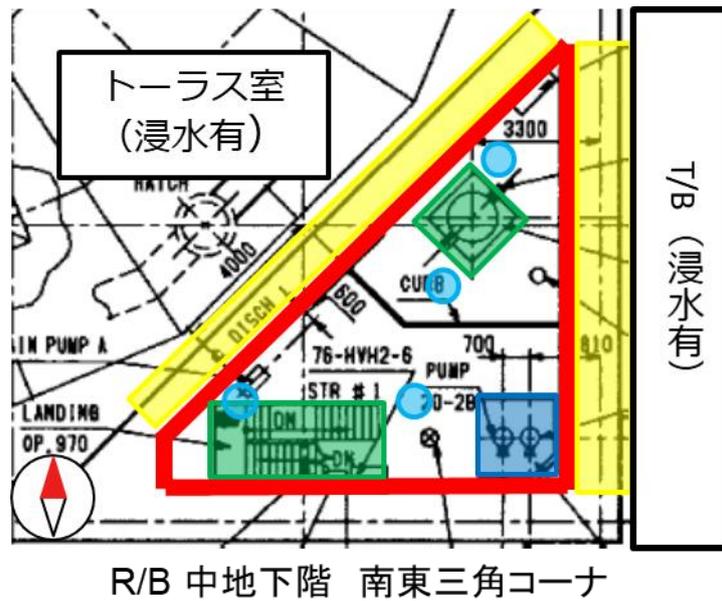


図 4.1.2 南東三角コーナへの津波の浸入経路（図中の色は表 4.1.3 と対応）

(3) 検討結果のまとめ

地震、他号機の爆発及び津波の衝撃によって、AM 用 S/C 圧力計本体が損傷し DS を示した可能性を検討した。検討の結果、S/C 圧力の挙動変化のタイミングと地震及び他号機の爆発のタイミングが一致しないこと、また、津波が三角コーナに浸入するまでに波力が低下していたと考えられることから、これらの“機械的要因”によって AM 用 S/C 圧力計が DS を示した可能性は低いと考えられる。

4.2. 測定原理に関する要因

AM用 S/C 圧力計が低い指示値を示す“測定原理に関する要因”として、凝縮槽配管内水の減少または喪失が考えられる。

本項目では、この“測定原理に関する要因”により AM用 S/C 圧力計が低い指示値を示した可能性の検討を行う。

(1) 測定原理に関する要因の影響について

測定原理に関する要因を検討するにあたり、この要因によりどの程度指示値が影響を受けるのか検討した。

凝縮槽配管内水が全て喪失した場合を想定すると、凝縮槽と圧力計の高低差は約 10m であり、この高さ分の水圧に相当する約 0.1MPa が減少することになる。一方、図 4.2.1 に示す実測値を確認すると、D/W 圧力と指示値低下中の S/C 圧力との差は約 0.4MPa を維持しており、凝縮槽配管内水が全て喪失しても指示値低下を説明することは難しいと考えられる。したがって、以降の検討では、“測定原理に関する要因”が部分的に寄与した可能性について検討する。

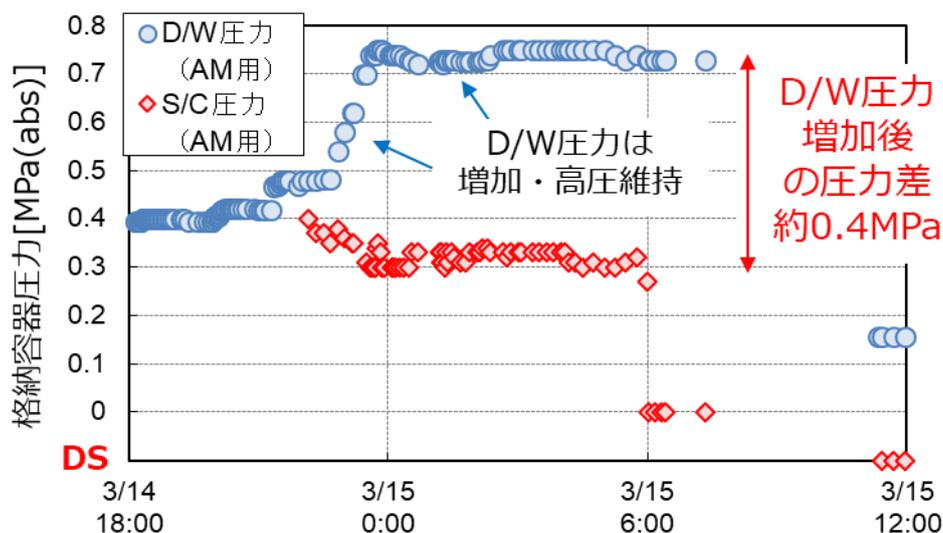


図 4.2.1 3月14日18時以降の2号機格納容器圧力

(2) 配管内水が減少・喪失する可能性の検討

凝縮槽配管内水が減少または喪失する現象として、「配管内水の蒸発」「配管の破断による配管内水のリーク」「気泡の発生による配管内水の分断」が考えられる。これらの現象が発生した可能性について検討する。(図 4.2.2 参照)

① 配管内水の蒸発

配管内水が蒸発する原因として、配管内水の温度が上昇した可能性、格納容器圧力の低下に伴い配管内水の飽和温度が低下し配管内水が減圧沸騰した可能性が考えられる。

配管内水の温度上昇に関して、凝縮槽が設置されているトーラス室内では、3月12日以降に入口扉を開けた際、蒸気が出てきて、室内が熱くて入れる状況ではなかったことが確認されている[4]。トーラス室は大気圧下であり、3月14日に測定したS/Cの温度は134℃程度であったことから、確認された蒸気はトーラス室に浸入した海水が高温のS/Cに接触して発生したと考えられるが、大気圧下であることからトーラス室気相部の温度は100℃以下と考えられ、配管内水がトーラス室より温められることで温度が上昇し、結果として配管内水が蒸発したという可能性は低いと考えられる。

配管内水の飽和温度の低下による減圧沸騰に関して、格納容器の構造上D/W圧力とS/C圧力は連動するものであるから、AM用S/C圧力計が低い指示値を示していた時間帯の実際のS/C圧力はD/W圧力と同程度の高圧を維持していたと考えられる(図4.2.1参照)。したがって、配管内も高圧を維持しており、配管内水の飽和温度が低下し減圧沸騰した可能性は低いと考えられる。

以上より、配管内水が蒸発した可能性は低いと考えられる。

② 配管の破断による配管内水のリーク

凝縮槽配管が地震等の衝撃で破断(あるいは一部損傷)し配管内水のリークがあった場合、S/C内の気体も同時に当該箇所から放出され、着目している時間帯は炉心損傷後であるため、周囲の空間線量が上昇する可能性が考えられるが、事故後のトーラス室内及び中地下階南東三角コーナの測定結果(図4.2.3参照)から、凝縮槽配管がある南東側は、他の場所と比べても線量率に大差はない。

以上より、配管の破断及び配管内水のリークがあった可能性は低いと考えられる。

③ 気泡の発生による配管内水の分断

配管内水に溶解している気体が温度上昇に伴って気泡として発生し、発生した気泡が一ヶ所に集合・合体することで配管内水を分断した可能性を考える。配管内水の分断による圧力計の挙動は、気泡の位置、大きさ、形状などの条件に不確かさが大きく、指示値がどのように変化するか推定が困難であることから、指示値低下に寄与した可能性は否定できない。ただし、配管内水が全て蒸発した際の指示値の低下0.1MPaを超える変化になることは考えにくい。したがって、この事象が仮に起こったとしても、指示値に与える影響は支配的ではないと考

えられる。

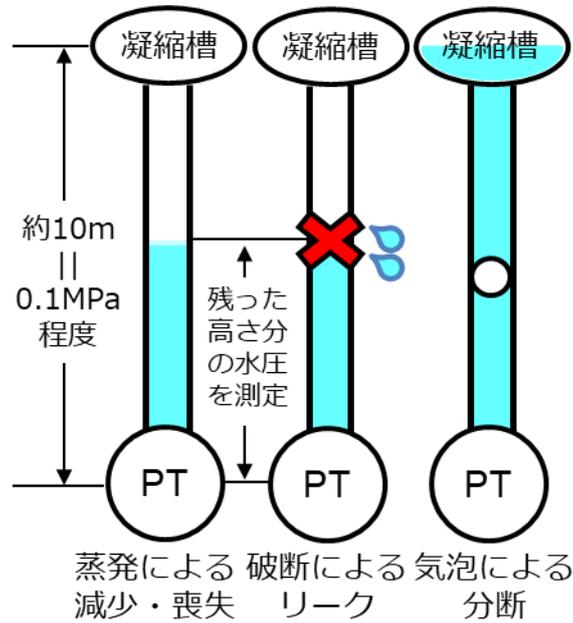


図 4.2.2 凝縮槽配管内水の減少及び喪失のイメージ

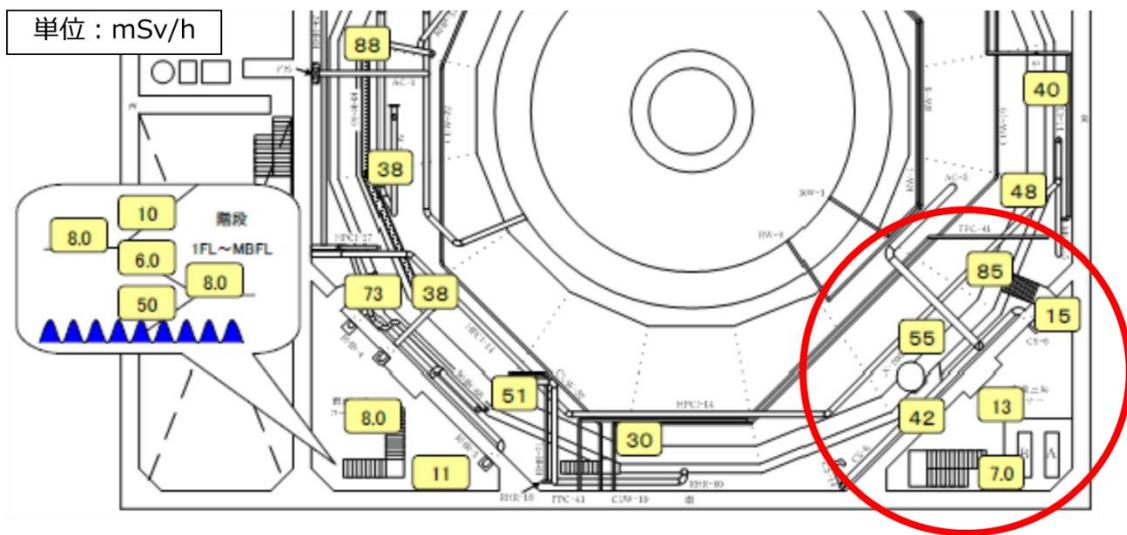


図 4.2.3 事故後の空間線量率の測定結果（2011年4月～2014年2月）[5]
（トーラス室キャットウォーク、中地下階南東三角コーナ）

（3） 検討結果のまとめ

以上の検討より、“測定原理に関する要因”のうち、気泡の発生による配管内水の分断があった可能性は否定できない。しかし、指示値低下への寄与は小さく、主要な要因ではないと考えられる。

4.3. 電氣的要因

AM 用 S/C 圧力計が DS を示す“電氣的要因”として、「バッテリーの枯渇」及び「津波の浸水による圧力計本体やケーブルにおける電氣系統の異常」が考えられる。また、低い指示値を示す電氣的な要因として、「バッテリーの電圧不足」及び「津波の浸水による圧力計本体やケーブルにおける電氣系統の異常」が考えられる。

本項目では、これらの“電氣的要因”により AM 用 S/C 圧力計が DS や低い指示値を示した可能性の検討を行う。

(1) バッテリーの枯渇や供給電圧不足の可能性

事故当時、AM 用 S/C 圧力計の電源は、3 月 13 日 3 時頃に 1/2 号中央制御室に設置されている AM 用制御盤 (9-99 盤) にバッテリーが接続されることにより、復旧した。バッテリーは、AM 用 D/W 圧力計と AM 用 S/C 圧力計で並列に接続され、2 つの圧力計で電源を共有する形となっていた (図 4.3.1 参照)。バッテリー接続後、AM 用 S/C 圧力計は DS の状態であったが、AM 用 D/W 圧力計は指示値が復帰し、その後計測を継続していた (図 1.1 参照)。また、バッテリーは適宜交換を行い、継続的に電源を供給していた。このことから、AM 用 S/C 圧力計のみバッテリーが枯渇した可能性はないと考えられる。

AM 用制御盤にバッテリーを接続する前には、AM 用 S/C 圧力計及び AM 用 D/W 圧力計の動作に必要な電圧 (24V) があることを確認し、接続を行っていた。また、指示が復帰した AM 用 D/W 圧力計は、以下の理由からおおむね正しい値を示していたと考えられる。

- ・ トーラス室内に設置されており、ダイアフラム式で S/C 気相部圧力を測定している本設の S/C 圧力計と近い値を示していた期間があること (図 1.1 参照)
- ・ D/W 圧力の測定値について、事故進展の推定や SRV 開閉の情報をふまえ、原子炉圧力の変化と照らし合わせても、特段計器の信頼性を疑うような挙動がみられないと考えられること。(添付資料 2-9 及び図 4.3.2 参照)

したがって、バッテリーからの供給電圧が不足していた可能性は低いと考えられる。

以上より、バッテリーの枯渇や供給電圧不足によって、AM 用 S/C 圧力計が DS や低い指示値を示した可能性は低いと考えられる。

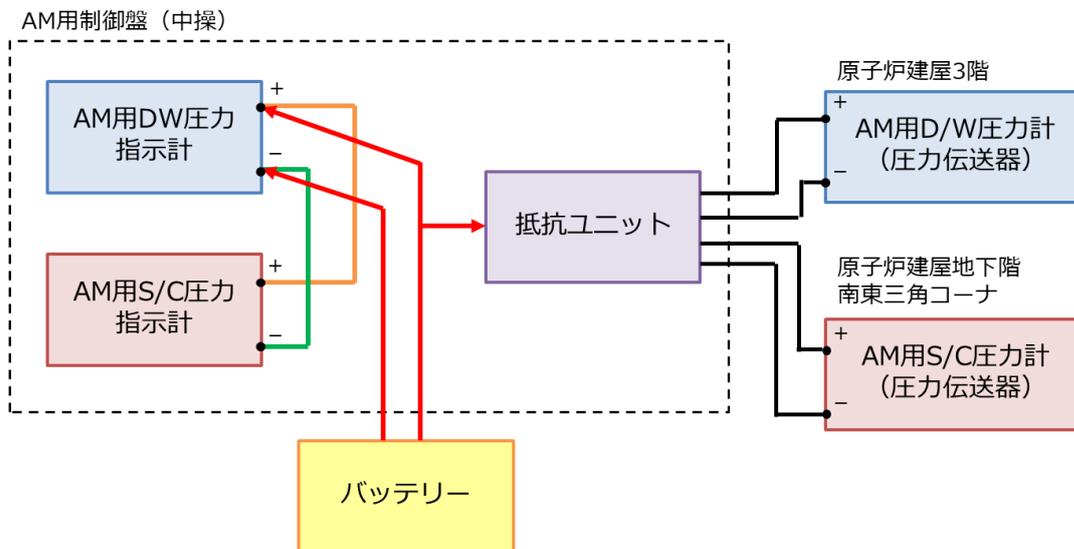


図 4.3.1 AM 用制御盤へのバッテリーの接続状況（概略図）

（赤線で示すように、バッテリーは AM 用 D/W 圧力指示計へ接続されているが、黄色の線で示すように＋端子、及び緑の線で示すように－端子が AM 用 D/W 圧力指示計と AM 用 S/C 圧力指示計で繋がっているため、二つの圧力指示計はバッテリーを共有していた。また、AM 用 D/W 圧力計（圧力伝送器）及び AM 用 S/C 圧力計（圧力伝送器）は紫色で示す抵抗ユニットに接続されており、赤線で示すようにバッテリーはこの抵抗ユニットにも接続されているため、二つの圧力計（圧力伝送器）もバッテリーを共有していた。）

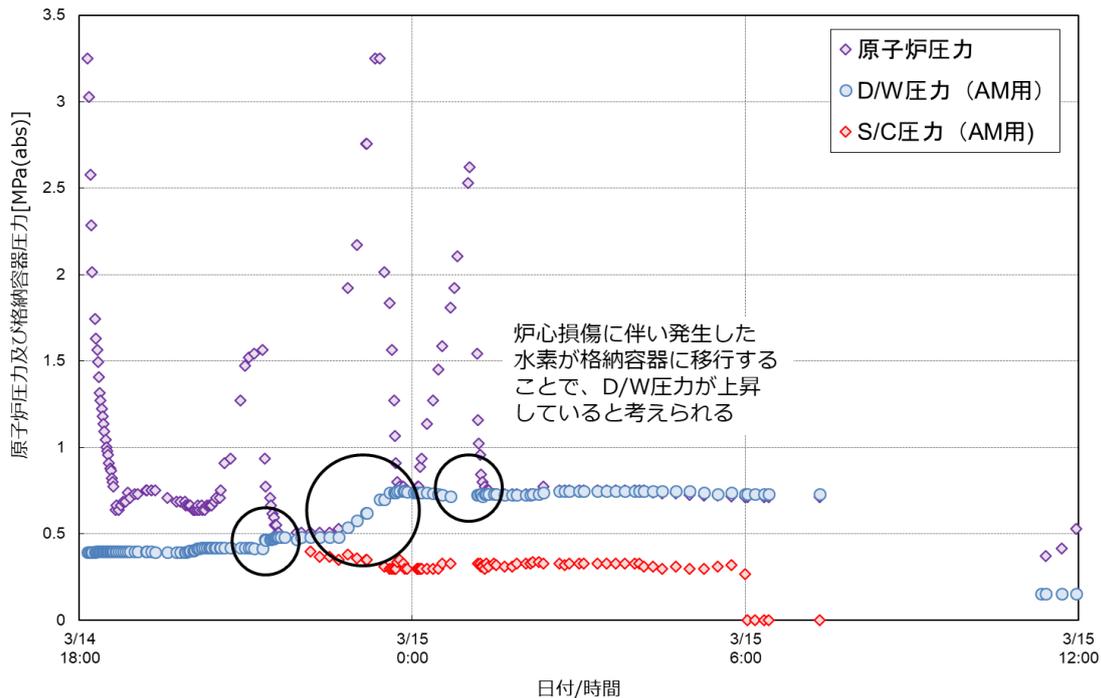


図 4.3.2 2号機3月14日18時以降における
原子炉圧力及び格納容器圧力の推移

(2) ケーブルにおける電氣的異常の可能性

「2. AM用S/C圧力計の概要」で述べた通り、R/B地下1階南東三角コーナに設置されているAM用S/C圧力計と、1/2号中央制御室に設置されているAM用S/C圧力指示計は1本のケーブルで繋がっており、途中に中継端子等は存在しない。また、ケーブルの水没によって被覆が劣化し、絶縁低下が発生する可能性があるが、被覆の劣化が海水の接触から2~3日で急速に進展するとは考えにくい。したがって、南東コーナから中央制御室までのケーブルの水没によって電氣的異常が発生した可能性は低いと考えられる。

(3) AM用S/C圧力計本体における電氣的異常の可能性

① AM用S/C圧力計の水没による圧力計内部への浸水可能性

「4.1.(2)津波の衝撃による損傷の可能性」にて検討した通り、AM用S/C圧力計が設置されているR/B地下1階南東三角コーナには津波が浸入した可能性の高いことが明らかになった。本項目では、電氣的異常が発生する前段として、津波の浸入により圧力計が水没し、さらに圧力計内部へ浸水した可能性について検討する。

まず、現場の情報から地下階の浸水状況について推定する。南東三角コーナへ

の津波の浸入経路となった可能性が高いファンネル及び壁面貫通部について、ファンネルはサンブを通じて地下階の各部屋と連通しており、また、三角コーナとトーラス室間の壁面には床上 5cm～500cm の範囲で貫通部が存在している。さらに、事故後長期にわたり地下階の滞留水水位は連動して変化していることから、事故当初から地下階各部屋の水位は連動して変化していた可能性が高いと考えられる（図 4.3.3 参照）。また、事故当時確認された地下階の浸水状況として、3月12日1時頃に北西三角コーナ（RCIC 室の扉前）にて長靴に水が入らない程度の水位があり、RCIC 室の扉を開けると水が RCIC 室から流出したことが確認された。この時点で地下階の水位は床上 30cm 程度であった可能性がある。その後、3月12日2時12分には RCIC 室前の水位が上昇しており、扉を開けるとゆっくりと水が流出する状況にあったことが確認された。このことから、地下階の水位は3月12日1時頃の床上 30cm 程度であった状態から、徐々に上昇した可能性が考えられる。

次に、プラントパラメータに基づいて地下階の浸水状況について推定する。2号機は津波到達以降も3月14日9時頃まで RCIC の運転が継続していたが、その期間の D/W 圧力の上昇は、崩壊熱から想定される上昇よりも緩やかなものである。これは、トーラス室が浸水し、S/C が外部から冷却されたためと推定している（添付資料 2-2 参照）。その後、3月15日午前中に D/W 圧力が大きく低下しているが、これは格納容器からの漏えいが発生したことに加え、トーラス室水位が S/C 水位を上回り S/C 気相部が冷却されることで、S/C 内水蒸気の凝縮が促進され、減圧に寄与した可能性があると推定している（添付資料 2-16 参照）。これらの推定から、トーラス室水位は継続して上昇していた可能性が考えられる。

以上より、南東三角コーナの水位は、着目している3月12日から15日の期間において床上 30cm 程度から継続して上昇し、床上 60cm の高さに設置されている AM 用 S/C 圧力計が水没した可能性が高いと考えられる（図 4.3.4 参照）。

したがって、AM 用 S/C 圧力計が長時間水没した影響により、電気配線接続口から海水が浸入し、圧力計の端子部が浸水した可能性が考えられる（図 4.3.5 参照）。また、実際にメーカーにて行われた同型の圧力計の水没試験においても、電気配線接続口から内部に水が浸入し端子部が浸水する結果や、浸水高さを上げると圧力伝送器の基盤部へ水滴が浸入する結果が得られている。（図 4.3.6、図 4.3.7、図 4.3.8 参照）。したがって、事故当時も AM 用 S/C 圧力計の水没によって内部に海水が浸入し、端子部や基盤部が浸水した可能性は高いと考えられる。

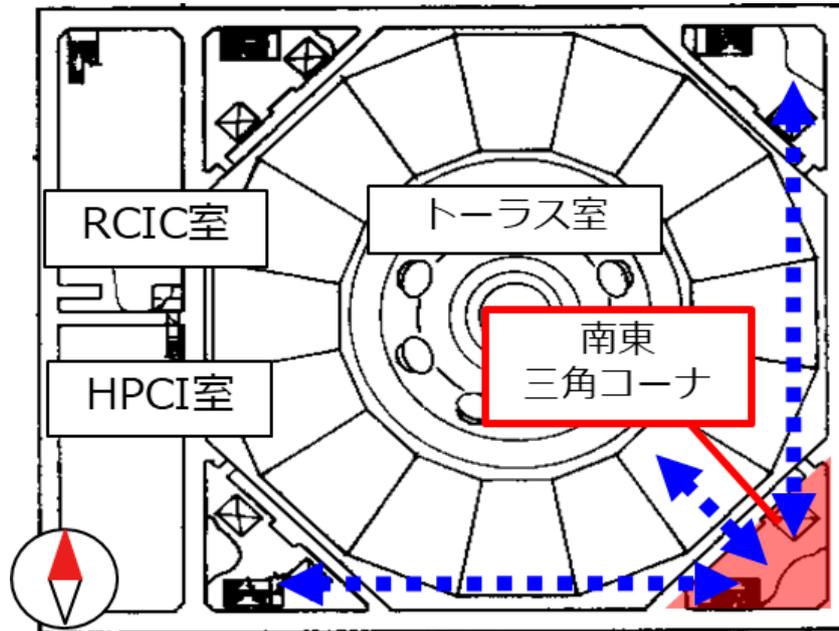


図 4.3.3 南東三角コーナにおけるファンネル／配管貫通部を通じた各部屋との水の連通（イメージ）

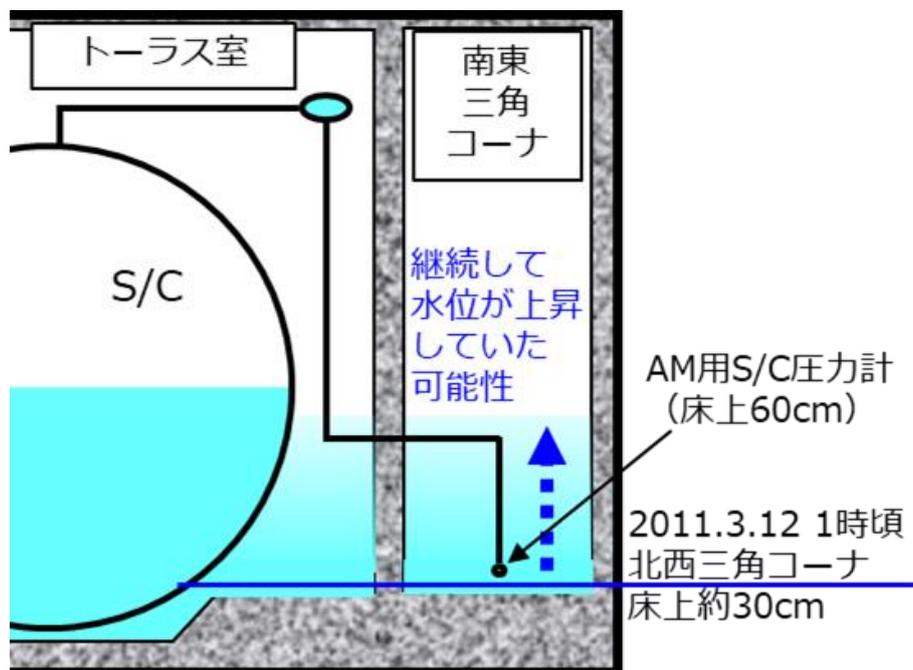


図 4.3.4 2号機 R/B 地下階の水位変化（イメージ）

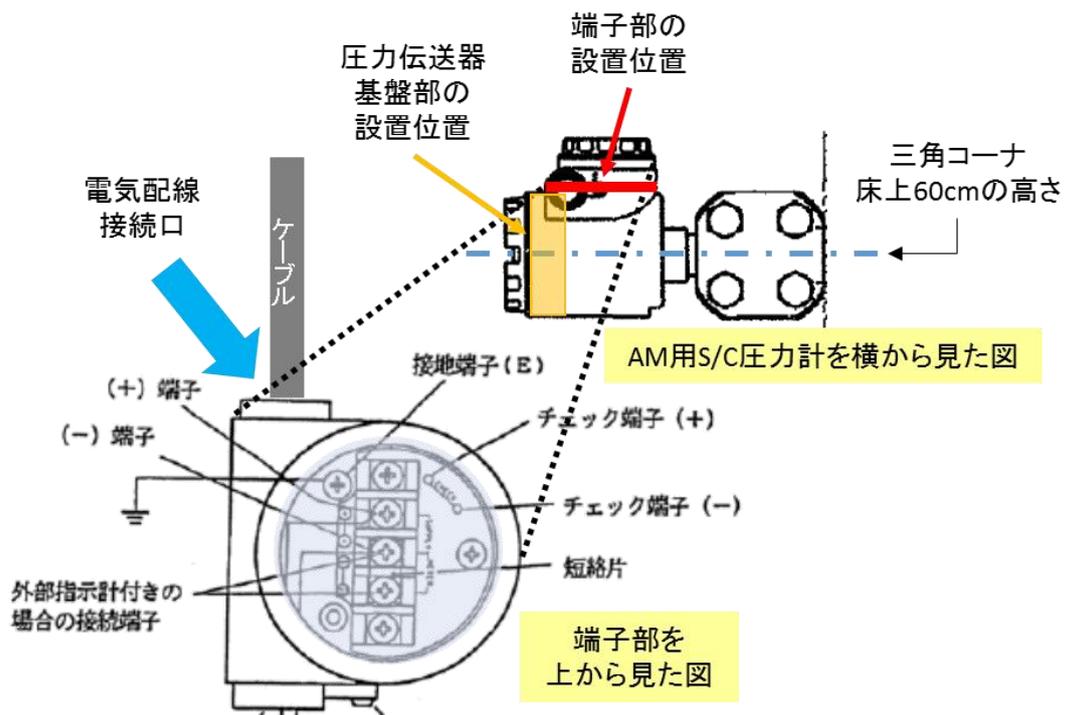
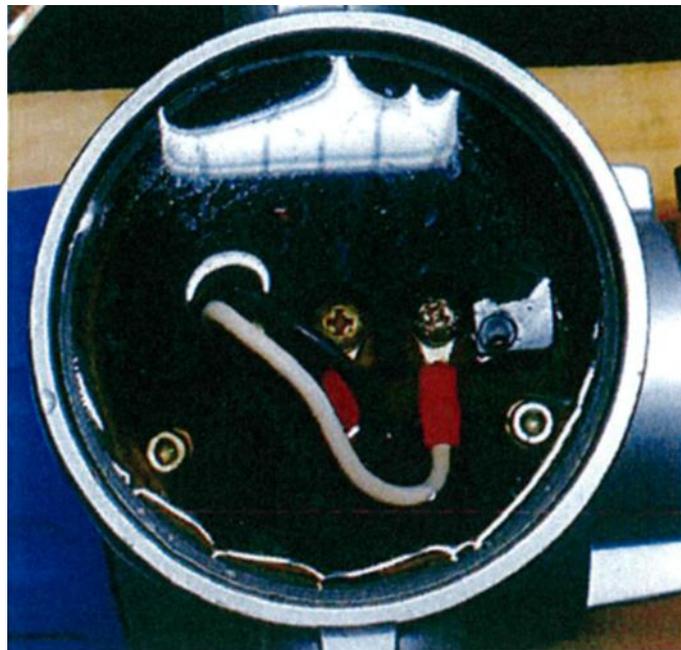
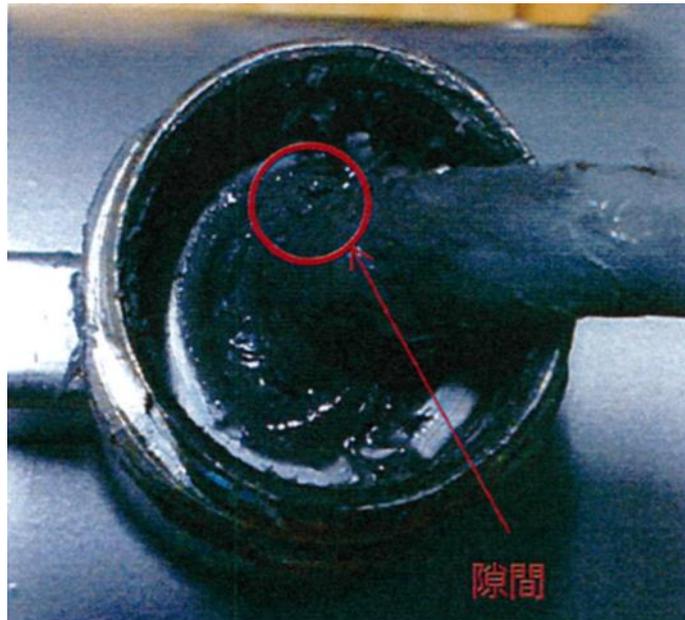


図 4.3.5 AM 用 S/C 圧力計の概略図



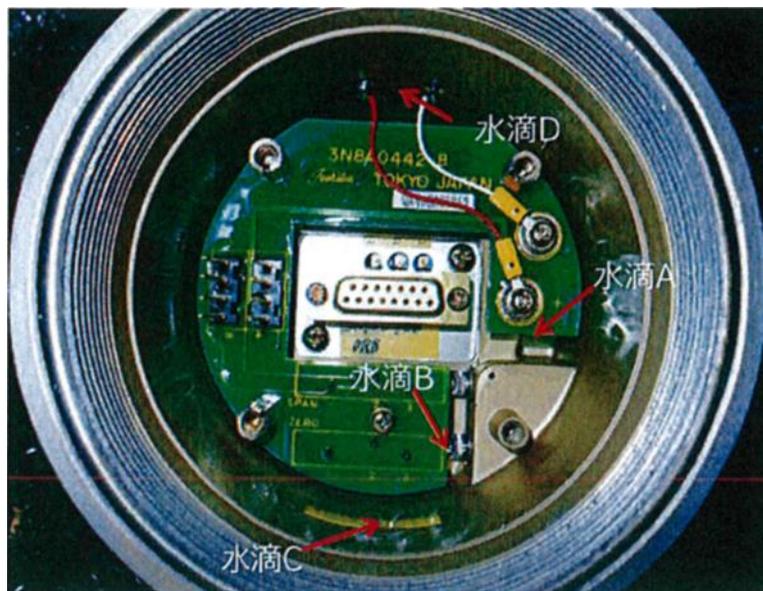
試験後の端子部の浸水状況

図 4.3.6 圧力計の水没試験後の端子部の写真
(1.3m の浸水高さへ 4 時間の浸水を想定)



電気配線接続口のトスシールの隙間

図 4.3.7 圧力計の水没試験後の電気配線接続口の写真
(1.3m の浸水高さへ 4 時間の浸水を想定)



試験後の基盤部の水滴浸入状況

図 4.3.8 圧力計の水没試験後の圧力伝送器の基盤部の写真
(18m の浸水高さへ 4 時間の浸水を想定)

② 圧力計の水没による電気系統の異常の可能性

圧力計の水没に伴う端子部や基盤部の浸水によって、「短絡」「地絡」「絶縁低下」のような電氣的異常が発生すると考えられる。これらの電氣的異常の発生プロセスは複数考えられ、以下にその一例として端子部における電氣的異常の発生プロセスを示す。なお、基盤部においても同様のプロセスにより電氣的異常が発生する可能性は十分考えられる。

- A) 短絡：海水の接触により、(+) 端子と (-) 端子が電氣的に繋がり、短絡電流を発生させる。短絡は中操にある AM 用 S/C 圧力指示計に到達する電流を増加させる方向に働く。
- B) 地絡：海水の接触により、(+) 端子と (-) 端子が接地端子や圧力計のケース（主原料はアルミ合金）と電氣的に繋がり、電流が大地に漏れていく。地絡は AM 用 S/C 圧力指示計へ到達する電流を減少させる方向に働く。
- C) 絶縁低下：(+) 端子又は (-) 端子に繋がるケーブルの被覆の端部から海水が被覆内部に浸入することで、海水を伝って電流がケーブルの外に流れてしまい、結果して絶縁性が低下しているような状態になると考えられる。絶縁低下は AM 用 S/C 圧力指示計へ到達する電流を減少させる方向に働く。

また、電氣的異常の発生プロセスに関与すると考えられる (+) 端子、(-) 端子、地絡端子、圧力計ケース内側の距離はいずれも 10~20mm 程度と小さい。

(図 4.3.9 参照)、したがって、端子部が浸水すると、これらの端子等の海水との接触度合いは同程度となるため、短絡、地絡、絶縁低下が単独で起こるとは考えにくく、電氣的異常は複合的に起こった可能性が高いと考えられる。

「2. AM 用 S/C 圧力計の概要」で述べた通り、AM 用 S/C 圧力計は、ダイヤフラムで受圧した S/C の気相部圧力を基盤部で抵抗に変換し、回路に流れる電流の変化から S/C 圧力を計測するものである。S/C 圧力 0~1MPa[abs]に対応する電流は 4~20mA と設定されており、これらの電氣的異常が複合的に起これば、AM 用 S/C 圧力指示計へ到達する電流を減少させる方向に働くことも考えられ、DS や D/W 圧力と約 0.4MPa 乖離した低い指示値を示すことも十分に可能であると考えられる。

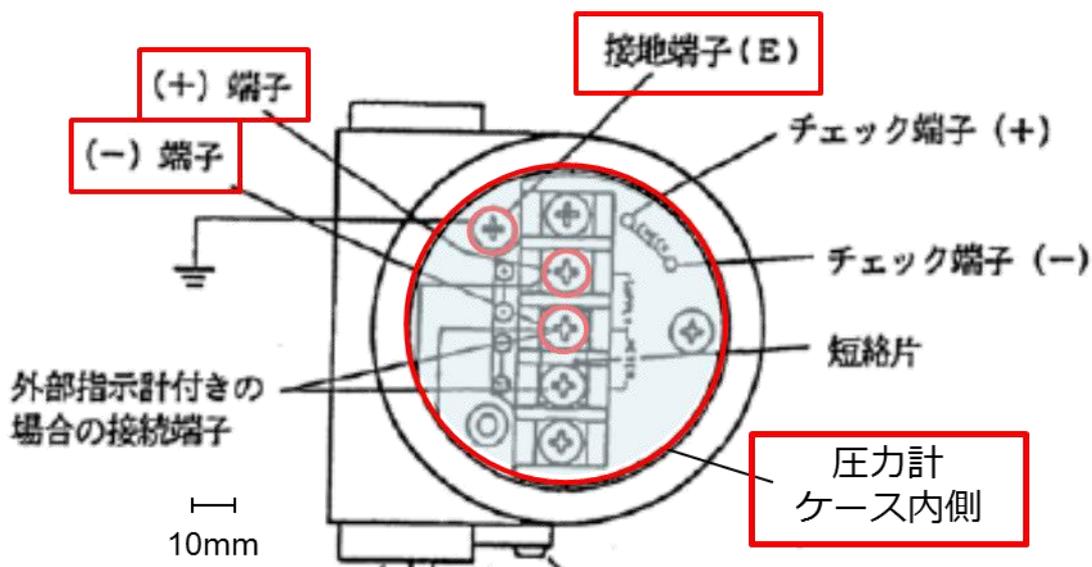


図 4.3.9 AM 用 S/C 圧力計端子部の拡大図

(4) 検討結果のまとめ

以上の検討より、AM 用 S/C 圧力計が水没したことによる“電氣的要因”によって、DS や D/W 圧力と乖離した指示値を示した可能性があると考えられる。

このように、3 月 14 日 22 時 10 分に DS から指示値が復旧し、3 月 15 日 11 時 25 分に再度 DS を指示した理由については、“電氣的要因”が主要因であると考えられるものの、事故当時の圧力計内部への浸水状況や浸水による電氣的異常の発生状況等に不確かさが大きいため、なぜ DS から指示値が復旧したのか、そしてなぜ再び DS を指示するようになったのか、詳細を推定することは困難である。

なお、今回推定した“電氣的要因”は事故進展（原子炉圧力容器内、格納容器内の状態変化）に関わらず発生することから、AM 用 S/C 圧力計が示した DS 以外の指示値について、何かしら事故進展を反映した値となっている可能性は低いと考えられる。

5. 柏崎刈羽原子力発電所の安全対策との関連

本検討より、AM 用 S/C 圧力計にみられた指示値低下や DS は、圧力計が設置されている R/B 地下階南東の三角コーナへ津波に伴い海水が浸入し圧力計が水没したことによって、電氣的異常が発生したことが原因である可能性が高いことが明らかになった。そのため、事故時にプラントパラメータを正しく把握するためには、重要な計測機器に対して、外部溢水及び内部溢水への対策が必要である。柏崎刈羽原子力発電所では以下に示すとおりこれらの対策を講じている。

(1) 津波（外部溢水）対策

- 外郭防護
 - ・ 敷地高さによる津波の遡上防止
 - ・ 取水槽閉止板の設置による建屋内への津波の流入防止
- 内郭防護
 - ・ 水密扉の設置、貫通部止水処置等による海水配管破断時の浸水防護重点化範囲への津波の流入防止。
 - ・ R/B 外周扉の水密化等による屋外タンク破損時の浸水の防止
- 取水性確保
 - ・ 海水貯留堰の設置による引き波時の海水ポンプの取水性確保

(2) 内部溢水対策

- 発生防止
 - ・ 溢水源の隔離・水抜き運用、溢水源の移設、溢水源の耐震性確保等
- 拡大防止
 - ・ 扉、貫通部、ハッチ等の止水処置
 - ・ 排水誘導経路の構築
- 影響防止
 - ・ シール処置等による防滴仕様の向上（図 5.1 参照）、設備の移設（設置高さを上げる等）など

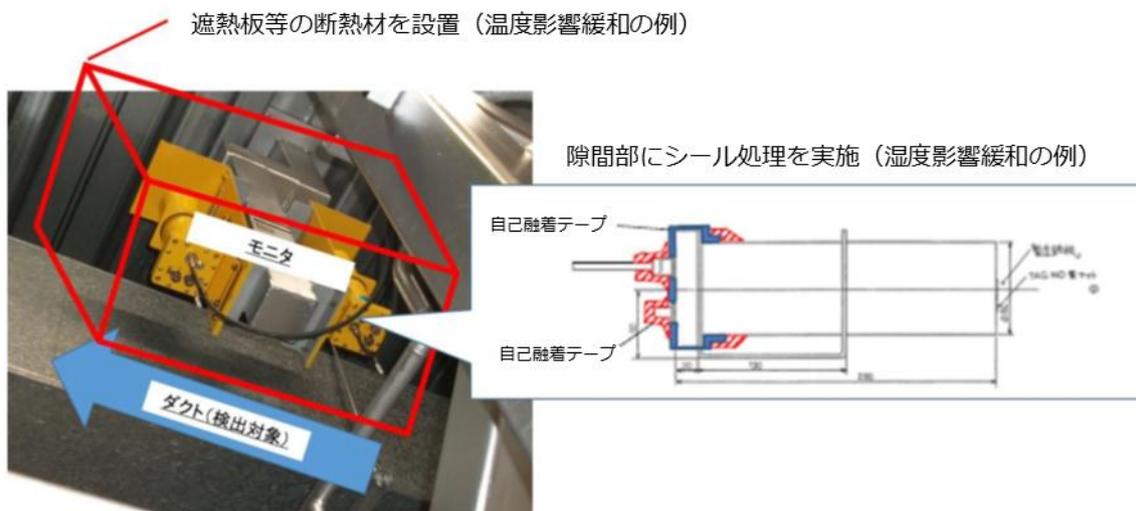


図 5.1 気体廃棄物処理系設備エリア排気モニターへの内部溢水対策

(3) 計測機器の機能喪失時の対応

計測機器の機能喪失時の対応として、重大事故等に対処するために監視することが必要なパラメータ（主要パラメータ）を計測することが困難になった場合において、当該パラメータを推定するための手段（代替パラメータ）を整備している。ここで主要パラメータと代替パラメータは内部溢水を起因として同時に監視不能とならないことを評価により確認している。

例) S/C 圧力に対する代替パラメータ

- ①D/W 圧力（D/W と S/C ベント管又は真空破壊弁で均圧されることを利用）
- ②S/C 気体温度（飽和温度・圧力の関係から推定）
- ③S/C 圧力の常用監視計器

(4) 緊急対策要員及び運転員の教育・訓練

緊急時対策要員（運転員含む）に対しては、重大事故の現象に対する幅広い知識を付与するため、役割に応じてアクシデントマネジメントの概要について教育するとともに、重大事故時の物理挙動やパラメータ挙動等の教育を実施している。また、運転員に対しては、中央制御室を模擬したシミュレータで操作において判断に用いる監視計器の故障等を模擬し、関連パラメータによる事象判断能力等の対応能力向上を図る訓練を実施している。

6. まとめ

本資料では、3月14日21時以降に2号機AM用S/C圧力計が異常な指示値（DS及び指示値低下）を示した要因を洗い出し、各要因の可能性を検討した。検討の結果から消去法的に考えると、AM用S/C圧力計の水没によって内部に海水が浸入し、端子部に電氣的異常が発生したことによる“電氣的要因”が、AM用S/C圧力計がDSや低い指示値を示した主要因であると考えられる。検討結果を表6.1に示す。

なお、“電氣的要因”に加えてその他の要因が複合的に起こった可能性について、DSについては“機械的要因”で検討した通り、DSから指示値が復旧したことと、3月15日に再度DSを示したタイミングが地震や爆発の発生時刻と一致しないことから、“機械的要因”が複合的に起こった可能性は低いと考えられる。また、指示値の低下については“測定原理に関する要因”で検討した通り、気泡の発生による凝縮槽配管内水の分断があった可能性は否定できないが、指示値の低下への寄与は小さいと考えられる。

表 6.1 検討結果の整理

要因の分類	検討結果	検討結果の詳細	
機械的要因	×	×	地震の衝撃による圧力計本体の損傷
		×	他号機の爆発の衝撃による圧力計本体の損傷
		×	津波の衝撃による圧力計本体の損傷
測定原理に関する要因	×	×	凝縮槽配管内水の蒸発による減少
		×	凝縮槽配管の破断による配管内水のリーク
		×	気泡による凝縮槽配管内水の分断
電氣的要因	○	×	バッテリーの枯渇・電源不足
		○	本体内部への海水浸入による電氣的異常（短絡、地絡、絶縁低下）

参考文献

- [1] 日本産業標準調査会 JISC0920 電気機械器具の外郭による保護等級（I Pコード）
- [2] “余震活動の領域内で発生したM6.5以上もしくは震度5弱以上を観測した地震”，気象庁HP
https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011_03_11_tohoku/aftershock.html
- [3] “震度データベース検索”，気象庁HP
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html>
- [4] “福島原子力事故調査報告書 別紙2”，東京電力株式会社，2012年6月24日
https://www.tepco.co.jp/decommission/information/accident_investigation/pdf/120620j0305.pdf
- [5] “建屋内の空間線量率について”，東京電力株式会社，2014年3月27日
<https://www.tepco.co.jp/decommission/data/surveymap/pdf/2017/sv-u2-20140327-j.pdf>