

# 福島第一原子力発電所 1号機及び3号機の 事故初期高線量率の原因推定に向けて (問題提起)

2023年9月12日

東京電力福島第一原子力発電所事故対策室

安井 正也

## ( 1 ) 本日の検討のポイント

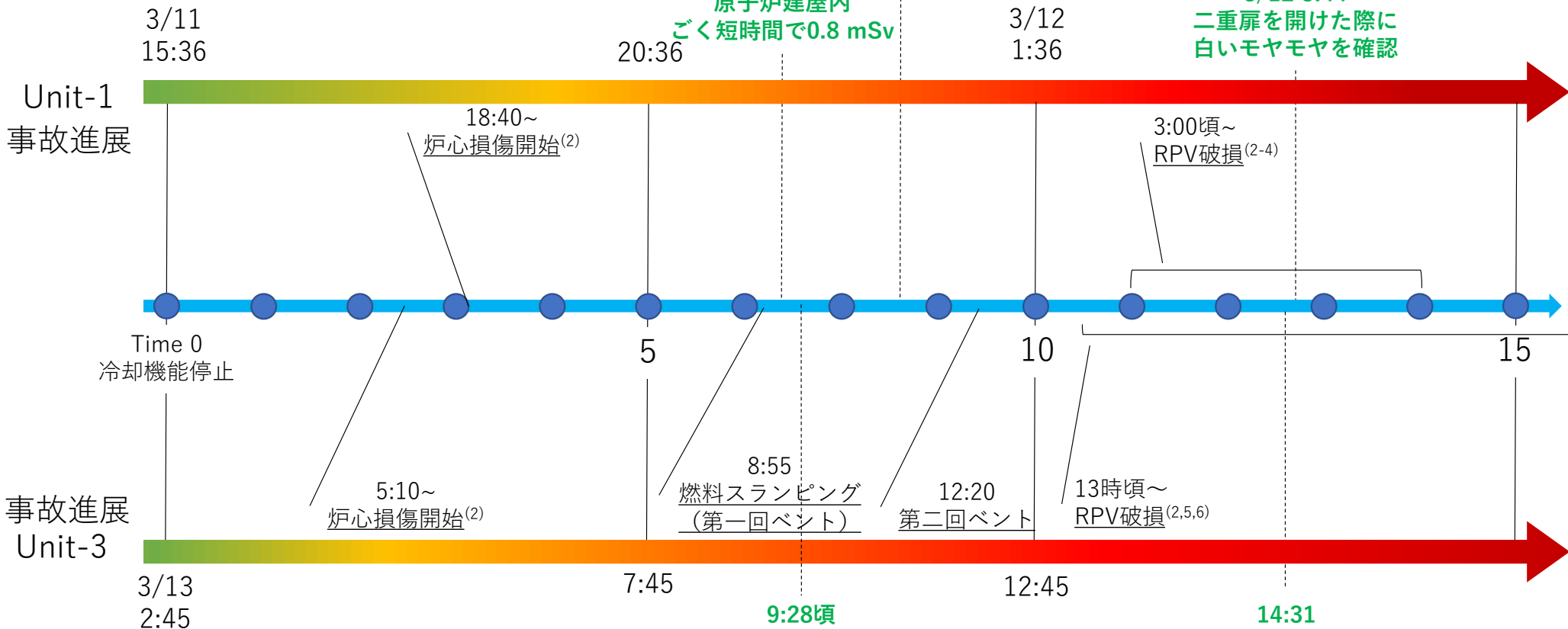
- ①1号機と3号機の事故初期の原子炉建屋内の高線量率は、類似の過程の結果と考える方が自然かもしれない。
- ②事故初期の高線量率は、格納容器からオペレーションフロア付近に放出されたものが原因ではなく、原子炉建屋1階付近から放出されたものではないか？
- ③事故初期の高線量率の原因となる具体的な漏洩箇所はどこか。

注)本資料中の「事故初期」とは、1号機については2011年3月11日午後10時前後、3号機については同年3月13日午後2時前後を指す。(後日、よりよい表現を採用する可能性あり。)

## 論点①

1号機と3号機の事故初期の原子炉建屋内の高線量率は、類似の過程の結果と考える方が自然かもしれない。

観測・線量状況<sup>(1)</sup>



(1) 東京電力ホールディングス株式会社, “福島原子力事故調査報告書、別紙2” 2012年6月20日  
 (2) 東京電力ホールディングス株式会社, “福島第一原子力発電所1~3号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討 第6回進捗報告、添付資料3” 2021年11月10日  
 (3) Tuomo Sevón, “A MELCOR model of Fukushima Daiichi Unit 1 accident”, Annals of Nuclear Energy 112 (2017), 1-11  
 (4) Gauntt et al. “MELCOR Simulations of the Severe Accident at the Fukushima Daiichi Unit 1 Reactor”, Nuclear Technology 186:2, 161-178  
 (5) 東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会, “東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ~2019年9月から2021年3月までの検討~ 別添1 8-2”, 2021年3月5日  
 (6) Tuomo Sevón, “A MELCOR model of Fukushima Daiichi Unit 3 accident”, Nuclear Engineering and Design 284 (2015), 80-90

## (参考)各種文献における記載例

### ○福島原子力事故調査報告書(平成24年6月20日、東京電力株式会社)

#### 1号機

- ✓ 11日21時51分、非常用復水器の胴側の水位と原子炉水位の確認のために原子炉建屋に入域していた運転員から、APD(警報付きポケット線量計)の数値がごく短時間に0.8mSvとなり現場確認を断念したことが中央制御室に報告された。(p128)
- ✓ 中央制御室では、一旦原子炉建屋への入域を禁止し、22時03分、発電所対策本部に状況を報告。報告を受けた発電所対策本部保安班が、現場へ出動し放射線量の測定を行ったところ、23時00分の時点でタービン建屋1階の原子炉建屋二重扉前は高い線量(北側二重扉前1.2mSv/h、南側二重扉前0.52mSv/h)であることを確認し、23時05分に発電所長は原子炉建屋への入域を禁止した。(p128)
- ✓ 12日3:44 原子炉建屋二重扉を開けたら白い“もやもや”。線量測定できず(p135)

#### 3号機

- ✓ この頃※、原子炉建屋1階は、霧が充満したようにモヤモヤと白くなり、線量計の数値が上昇して来たため、現場から退避。退避後、交換用に用意したポンベの接続部が合わない可能性が考えられたことから、協力企業作業員とともに、協力企業倉庫で接続部を探し、準備した。(別紙2、p106)(※この頃:13日9:28頃)
- ✓ 13日14:31、原子炉建屋二重扉北側で300mSv/h以上(中は白いモヤモヤ状態)、南側100mSv/hとの測定結果が報告された。また、15:28、中央制御室の3号機側の放射線量が12mSv/hとなり、移動できる運転員は4号機側に移動、プラント監視を継続。(別紙2、p106)



※1号機については、11日17:50の情報(以下のとおり)もあるが、前ページの線量率よりかなり低く、建屋内空調の停止に伴うものかもしれない。

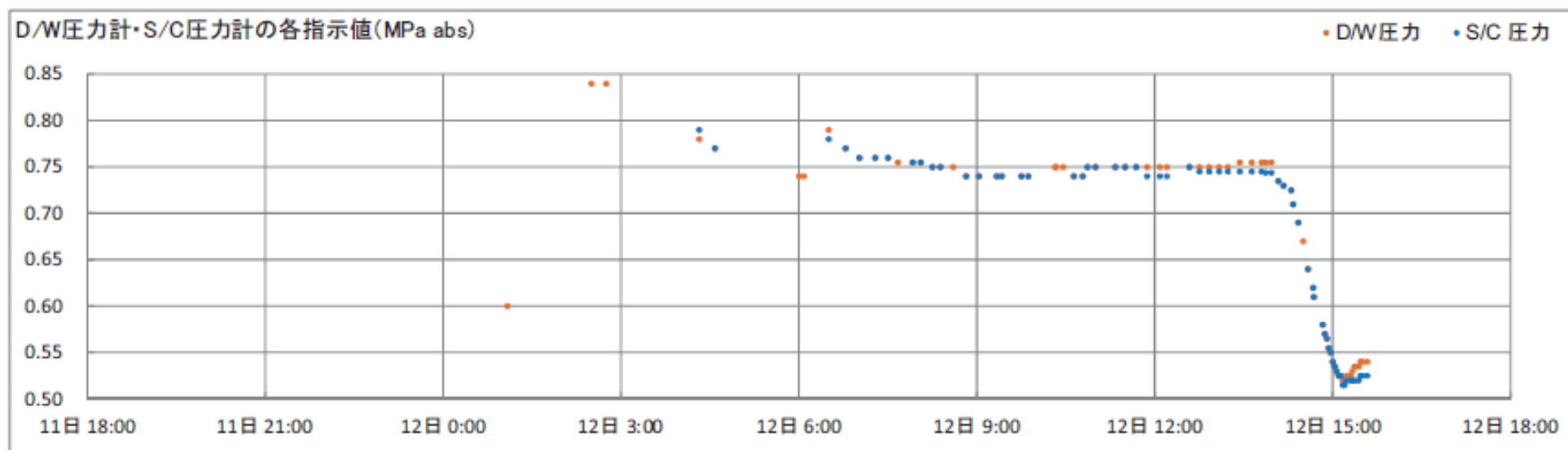
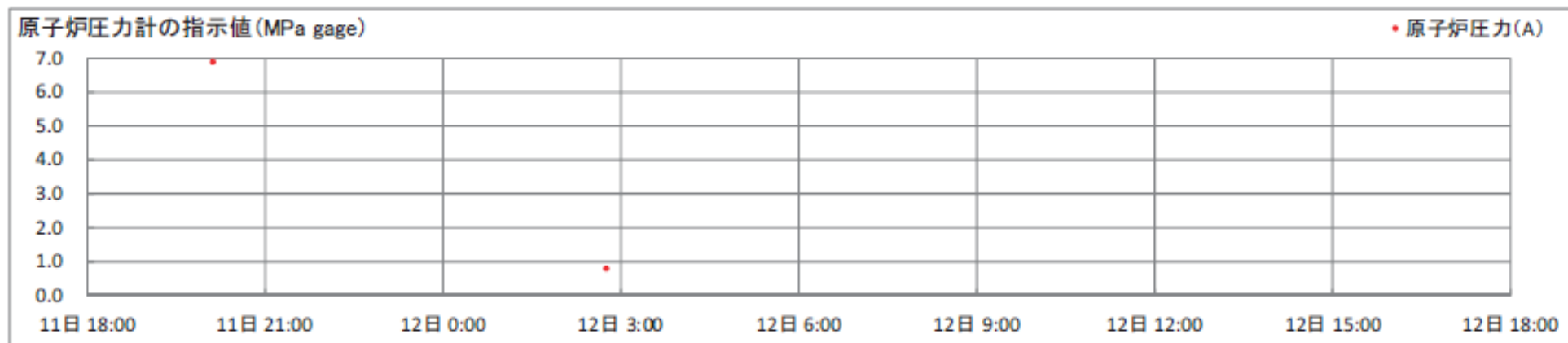
○原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書－東京電力福島原子力発電所の事故について－(平成23年6月、原子力災害対策本部)

✓ …(前略)…中央制御室ホワイトボードに記載されていた11日17時50分の外側のエアロック入ったところでの放射線モニタ指示上昇の情報…(以下略)(pIV-43)

「福島原発で何が起きたか－政府事故調技術解説－」(畑村他、日刊工業新聞社)(p56)では、17時50分(最初の放射線量異常)として「二重扉付近で線量が $2.5\mu\text{Sv/h}$ 」と記載されている。

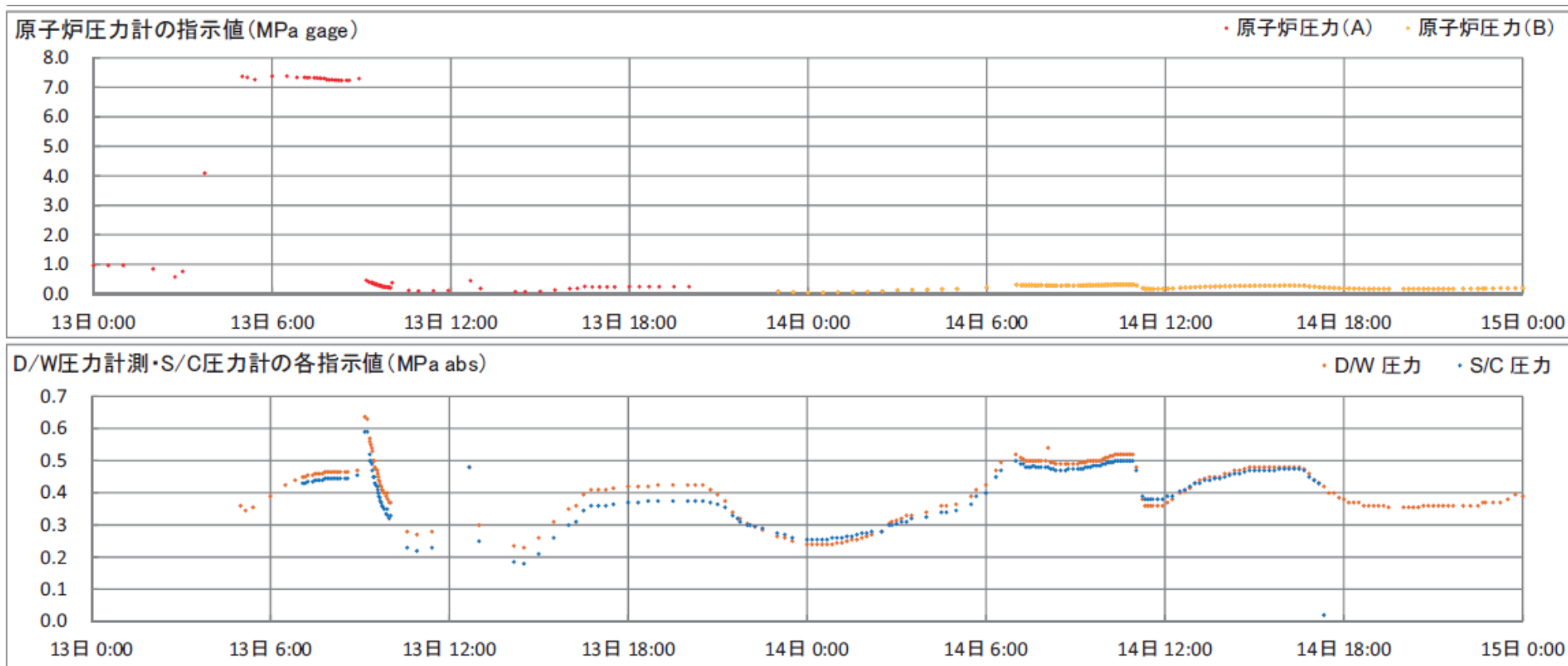
※「 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 」は、300cpm設定値の換算線量率と思われる。

## ○1号機の原子炉圧力、D/W圧力





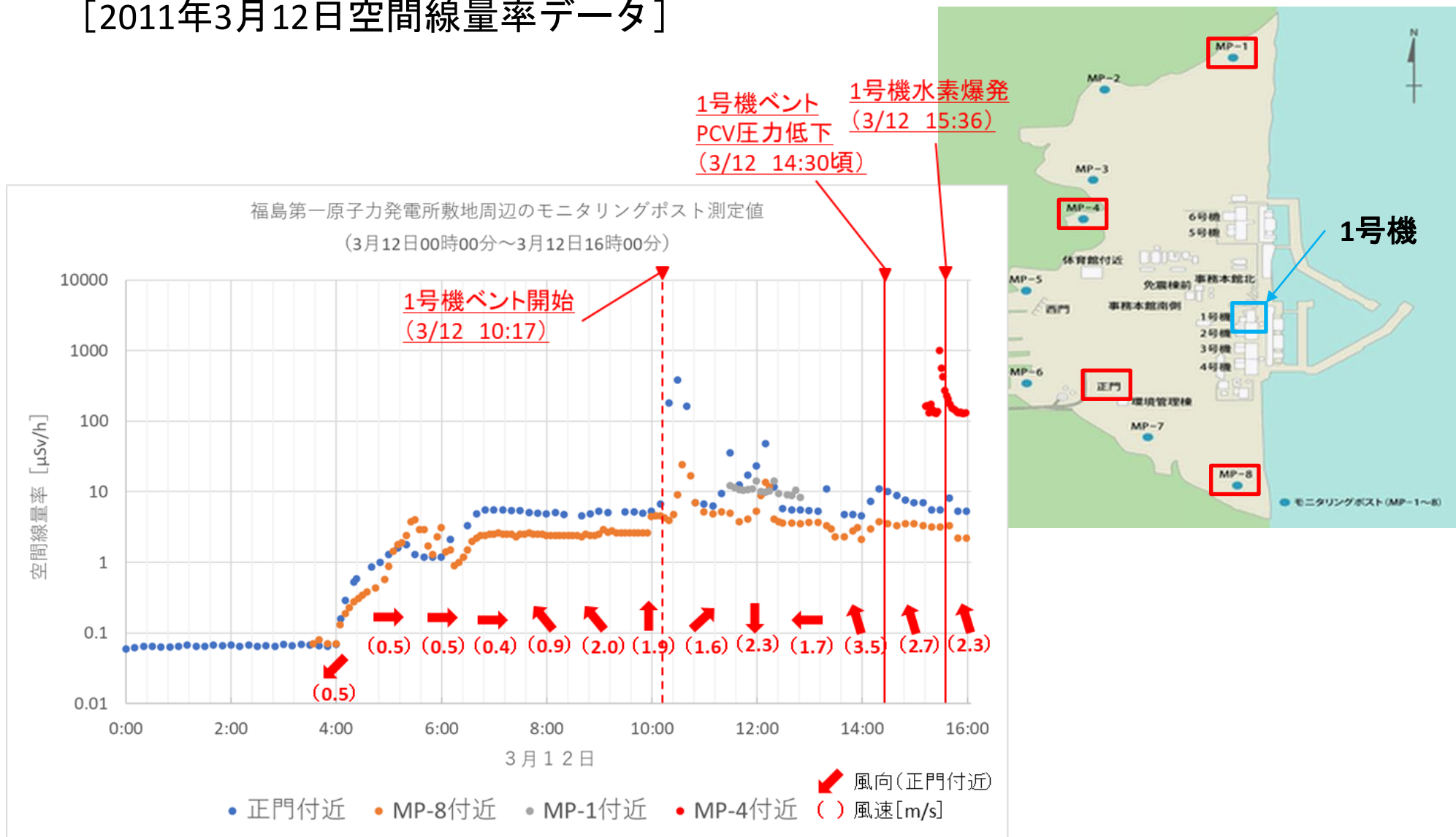
## ○3号機の原子炉圧力、D/W圧力



## 論点②

事故初期の高線量率は、格納容器からオペレーションフロア付近に放出されたものが原因ではなく、原子炉建屋1階付近から放出されたものではないか？

# ○福島第一原子力発電所敷地内のモニタリングポスト等のデータ [2011年3月12日空間線量率データ]

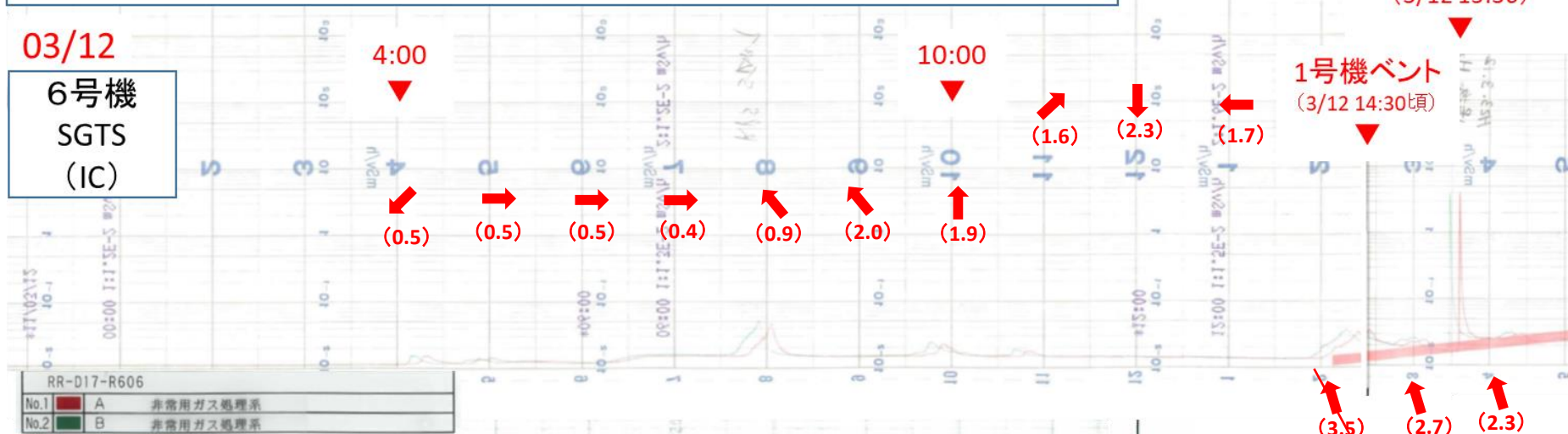


# ○発電所敷地内のプロセスモニタ等

2011年3月12日4時～10時 非常用ガス処理系(SGTS)排ガス放射線モニタ

03/12

6号機  
SGTS  
(IC)



3号機  
SGTS  
(IC)

(赤) 非常用ガス処理系放射線モニタ A (I.C)  
(緑) 非常用ガス処理系放射線モニタ B (I.C)

↙ 風向(正門付近)  
( ) 風速[m/s]

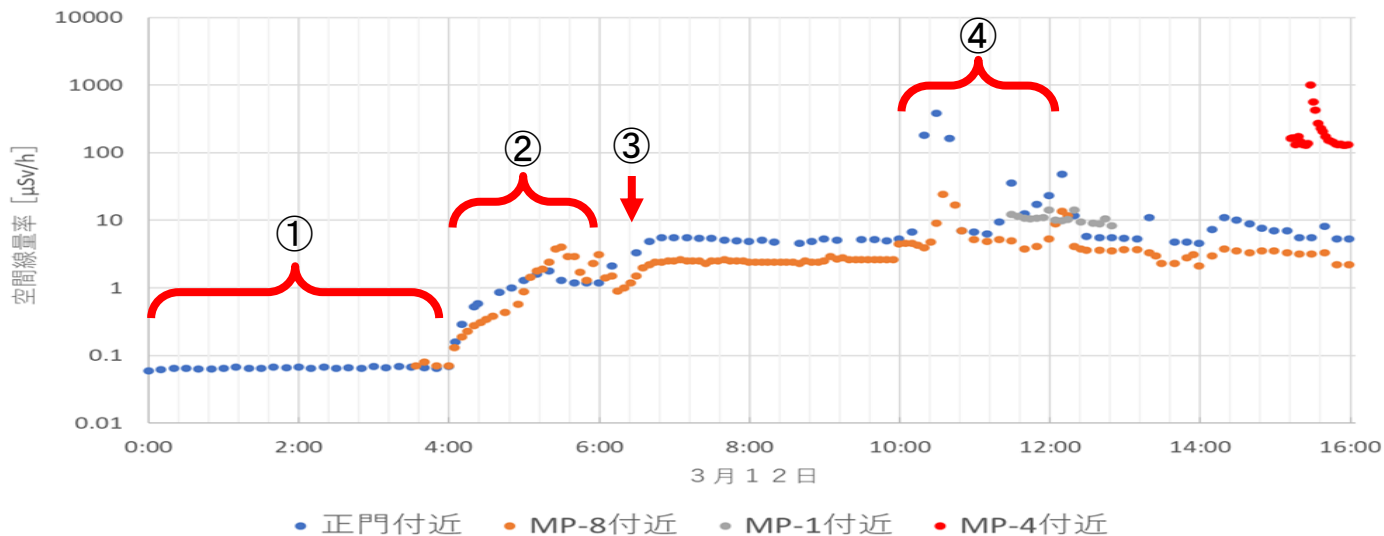
6号機SGTS排ガス  
放射線モニタ

2020年7月31日  
原子力規制庁撮影



# ○3/12のモニタリングポスト／プロセスモニタの測定値

福島第一原子力発電所敷地周辺のモニタリングポスト測定値  
(3月12日00時00分～3月12日16時00分)



## <モニタリングポスト>

- ① AM4時以前は0.1 $\mu$ Sv/h未満で安定している。
- ② AM4時頃から正門付近(1号機原子炉建屋の西南西側)、MP-8付近(同建屋の南側)がほぼ同時に同傾向で上昇し、1 $\mu$ Sv/h程度でプラトーを形成。
- ③ AM6時半頃、正門及びMP-8付近でともに数 $\mu$ Sv/h程度に上昇。
- ④ AM10時以降、小規模のピークが複数見られ、12時前後のMP-1付近(同建屋の北側)の観測データ(10 $\mu$ Sv/h程度)ともほぼ同程度の観測結果が得られている。

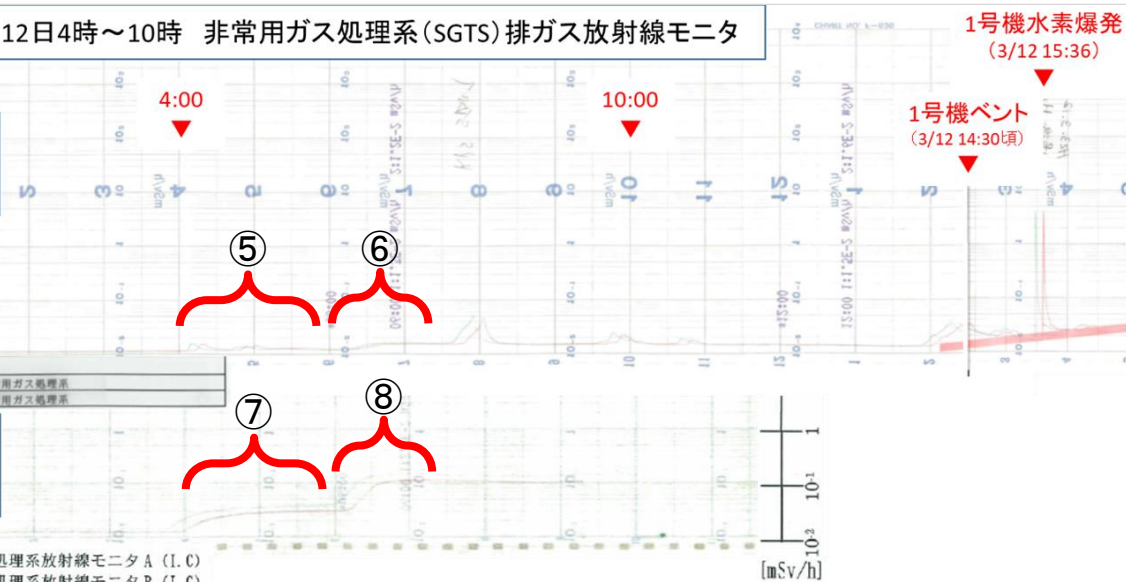
2011年3月12日4時～10時 非常用ガス処理系(SGTS)排ガス放射線モニタ

03/12

6号機  
SGTS  
(IC)

3号機  
SGTS  
(IC)

(赤) 非常用ガス処理系放射線モニタ A (I.C)  
(緑) 非常用ガス処理系放射線モニタ B (I.C)



## <6号機SGTS(IC)>

- ⑤ AM4時頃に小さく上昇し、プラトーを形成。
- ⑥ AM6時半頃に小さく上昇し、プラトーを形成。

## <3号機SGTS(IC)>

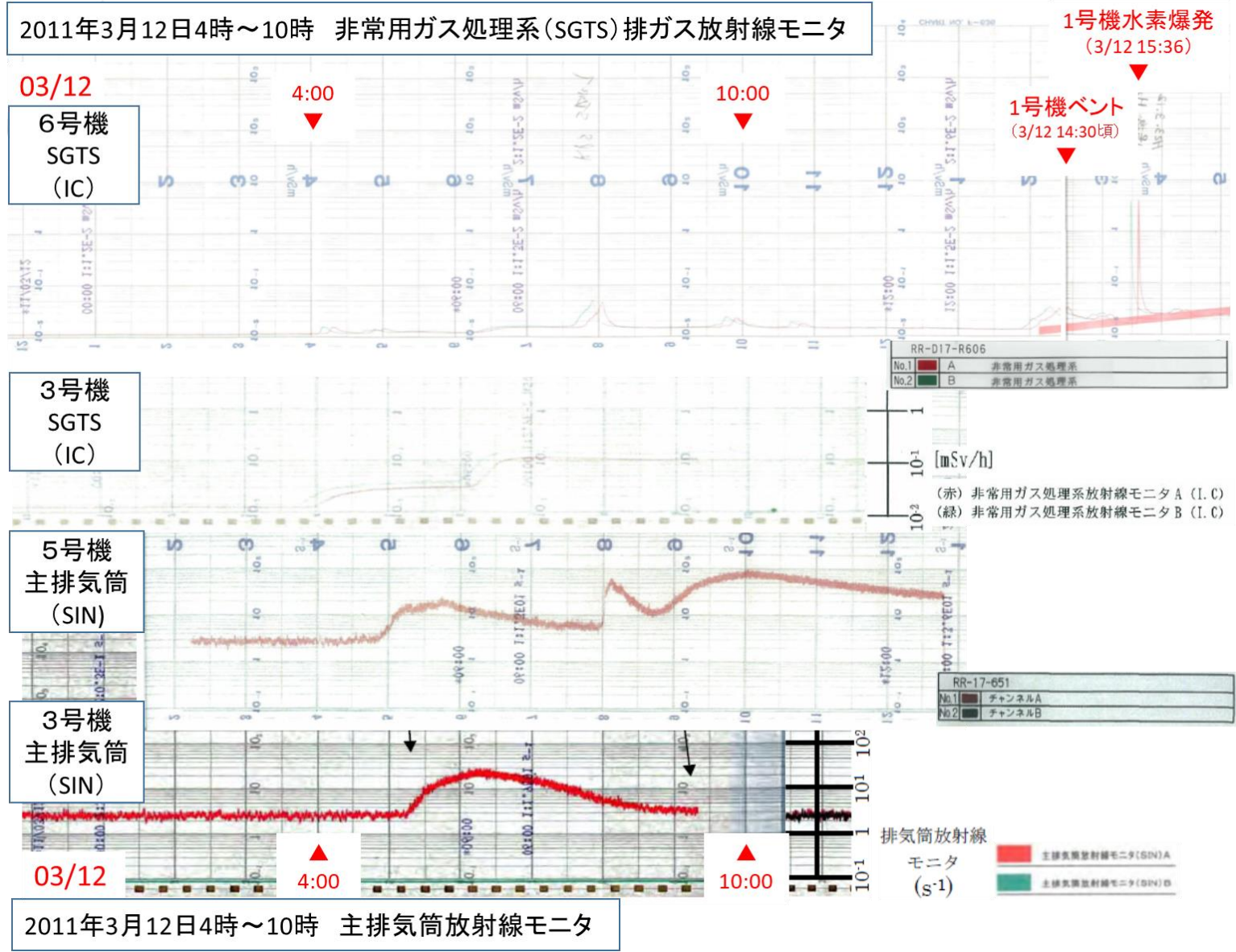
- ⑦ AM4時頃から小さく上昇し、0.02mSv/h(20 $\mu$ Sv/h)程度でプラトーを形成。
- ⑧ AM6時半頃に0.1mSv/h(100 $\mu$ Sv/h)程度に上昇し、プラトーを形成



## ○トップヘッドフランジからの漏洩開始時期についての考察

- モニタリングカーの情報やSGTS(IC)の記録から、3月12日午前4時からの放射線量率の段階的上昇は、1号機オペレーションフロア(オペフロ)付近からのスカイシャインを捉えたものと考えるべきではないか。
- つまり、1号機のトップヘッドフランジからオペフロへの漏洩は、この時間帯に開始したと考えられる。
- さらに、明示的な測定データは3月12日午前1時前後までないが、11日22時前後のドライウェル圧力は1Pdをかなり下回るものであった可能性が高い。
- 3号機については、モニタリングデータでの検証は困難だが、高線量率が確認された、3月13日14:51までの時点において、格納容器の圧力が1Pdを超えたのは、ごく短時間であり、この時間帯にトップヘッドフランジが破損したとは考えにくいのではないか。

# ○3/12のモニタリングポスト／プロセスモニタの測定値（参考）



出典:東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会(第31回)資料2

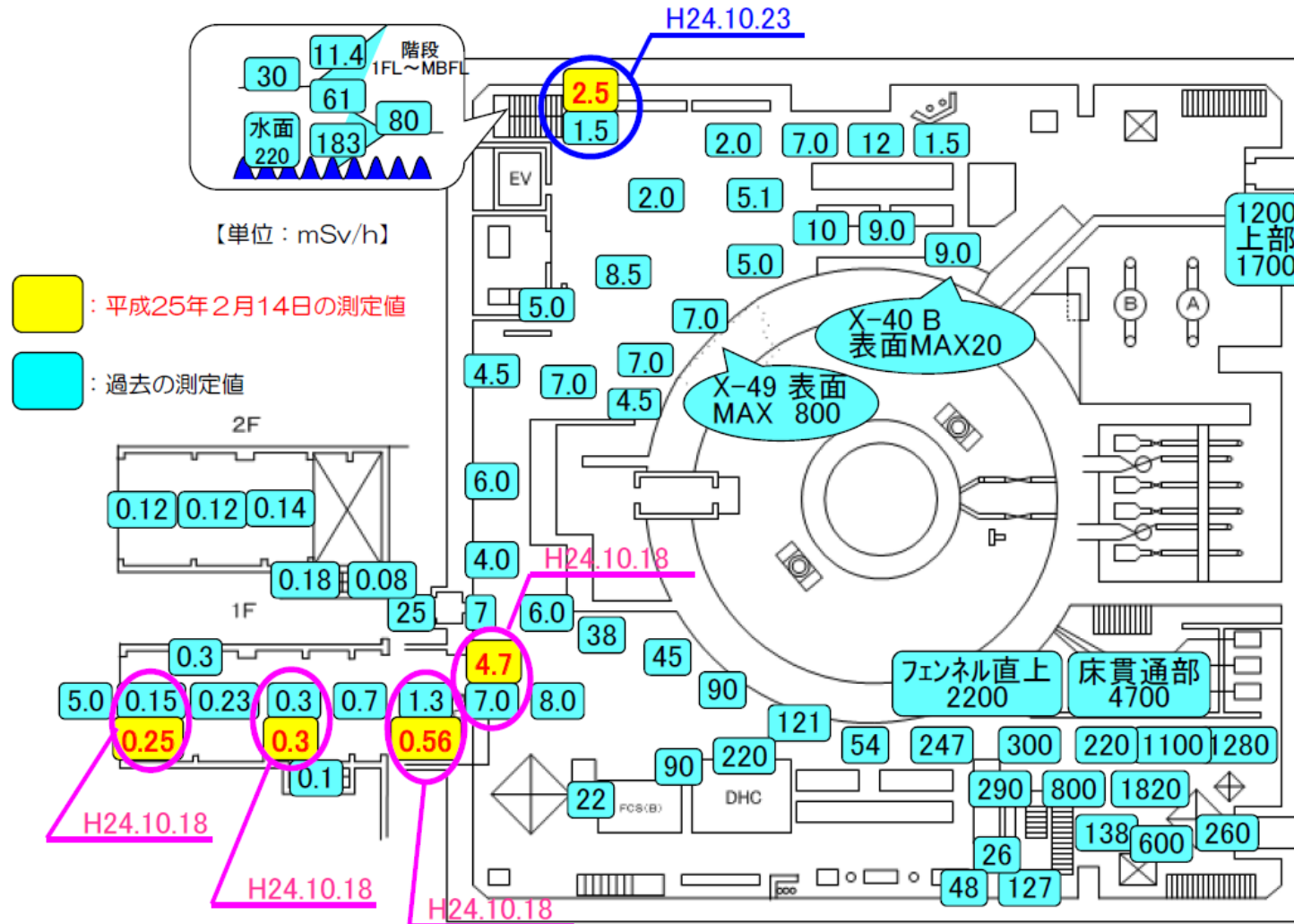
## 論点③

事故初期の高線量率の原因となる具体的な漏洩箇所はどこか。



(1) 1号機及び3号機原子炉建屋1階の  
放射線量率分布（事故後）

# 〇1号機原子炉建屋1階の空間線量率



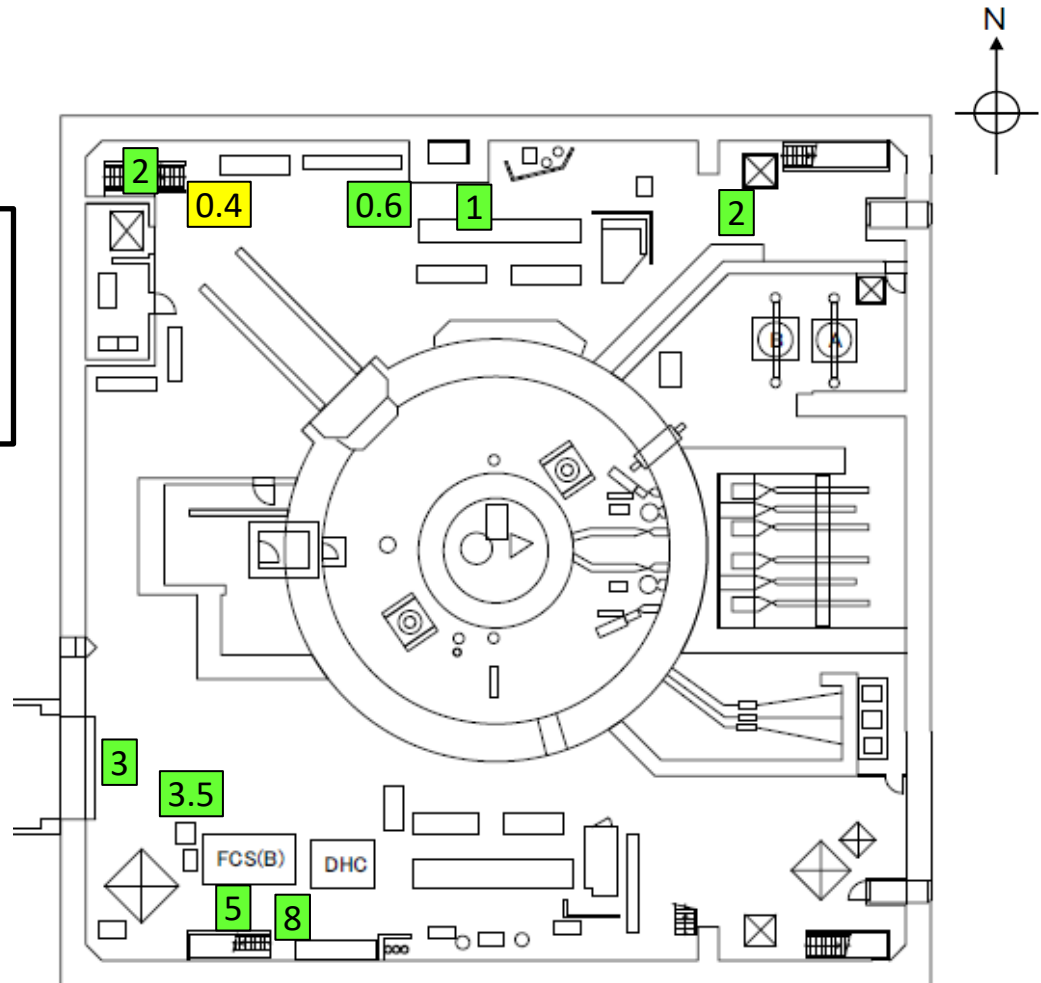
1号機 原子炉建屋 1階

# ○1号機原子炉建屋1階の空間線量率

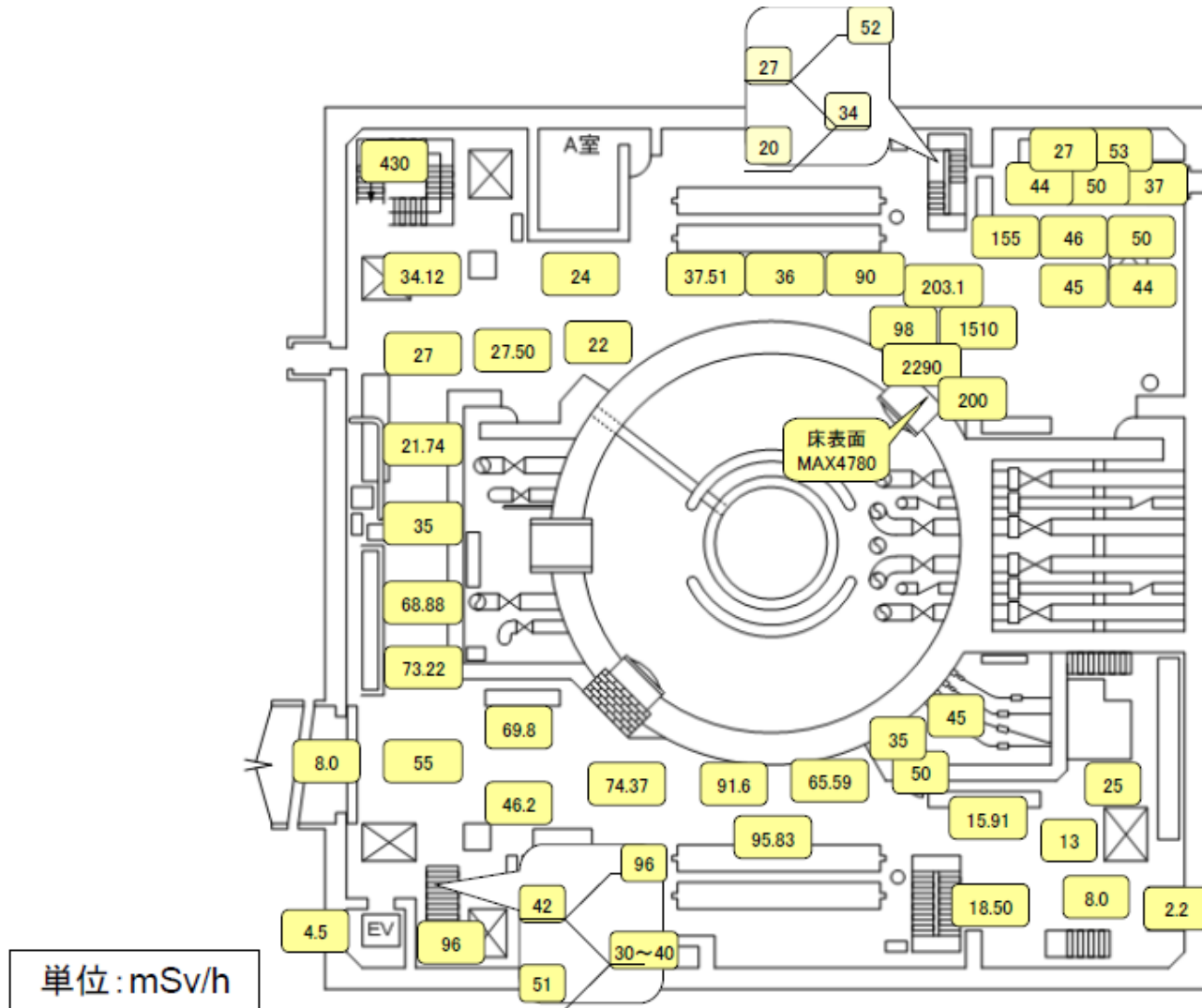
凡例

(数字) : 空間線量率 (mSv/h)  
(2023年3月23日、原子力規制庁による測定)

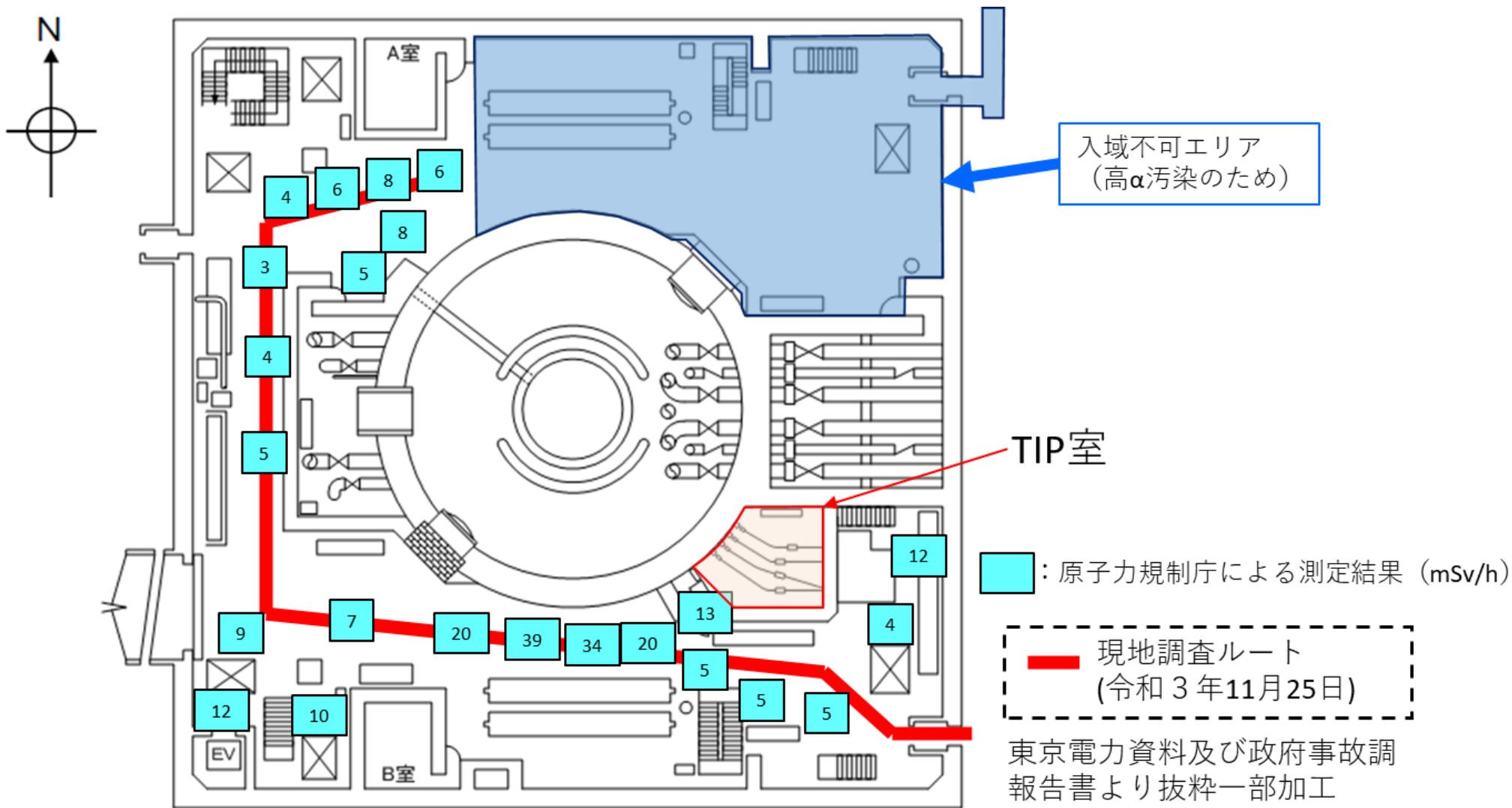
(数字) : 空間線量率 (mSv/h)  
(2023年4月13日、原子力規制庁による測定)



# ○3号機原子炉建屋1階の空間線量率



## ○3号機原子炉建屋1階の空間線量率



出典: 東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ(2023年版)  
(2023年3月7日、東京電力父子熊第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会)

## (2) 1号機原子炉建屋南東部で2013年に高線量率が観測されている理由

- 当初、1号機原子炉建屋1階南東部の床貫通部付近に高線量率(Sv/hオーダー)が計測され、TIP管経由の漏えいやトーラス室からの放射性物質が線源として懸念された。
- しかし、この線源としてはベント時に強く汚染されたAC配管の可能性が高い。

### (5) 原子炉建屋1階汚染状況調査

平成25年12月に1号機原子炉建屋1階南側の汚染状況調査として、ロボットにて線量測定及びガンマカメラ撮影を実施した結果、不活性ガス系（AC）配管やドライウェル除湿系（DHC）配管の汚染レベルが比較的高いことが確認された（図2-8）。<sup>[8]</sup>

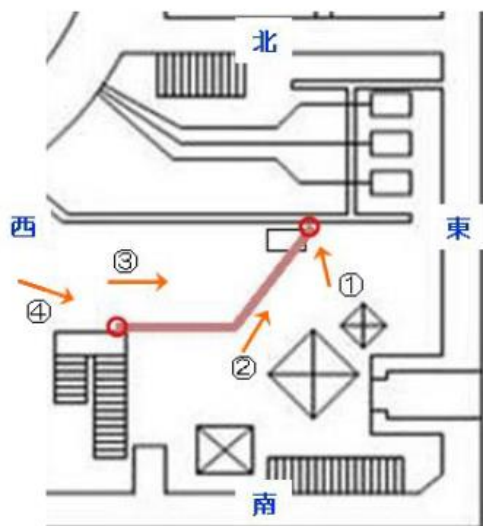


図2 不活性ガス系配管ルート  
(設置高さは約2m)



図3 ①より撮影

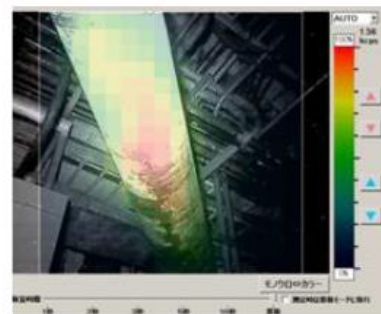


図4 ②より撮影



図5 ③より撮影



図6 ④より撮影

(原子炉建屋1階不活性ガス系配管のガンマカメラ測定結果)

### (3) 可能性のありそうな漏えい箇所



具体的な漏洩箇所を絞り込むため、可能性のありそうな漏洩箇所を列記し、順次検討する。

## 検討対象とした施設(場所)

### (a) TIP※室

※Traversing In-core Probe(移動式炉心内計測装置)

### (b) エアロック室

### (c) 機器ハッチ

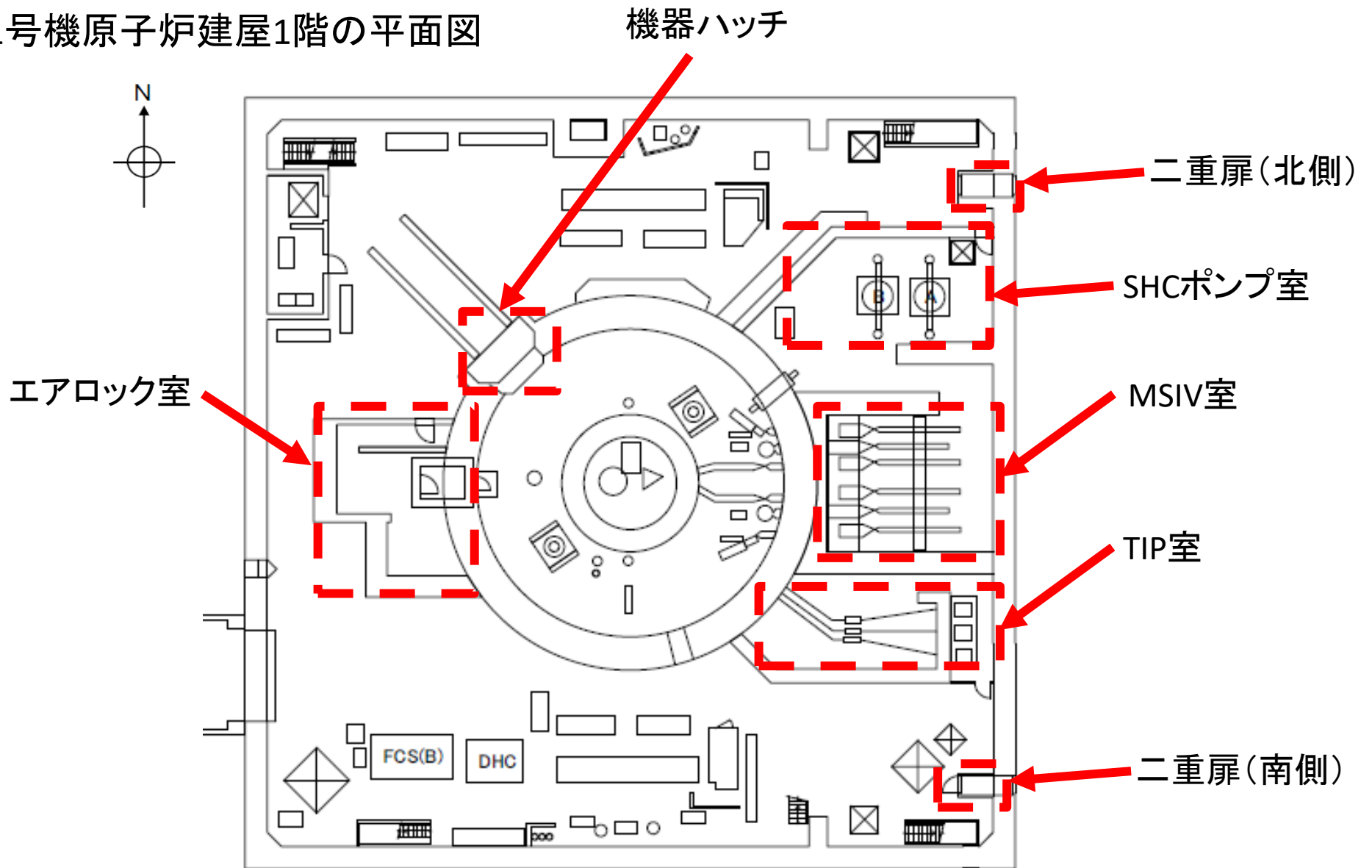
### (d) MSIV※室(東京電力資料では「主蒸気弁室」と記載。)

※main steam isolation valve(主蒸気隔離弁)

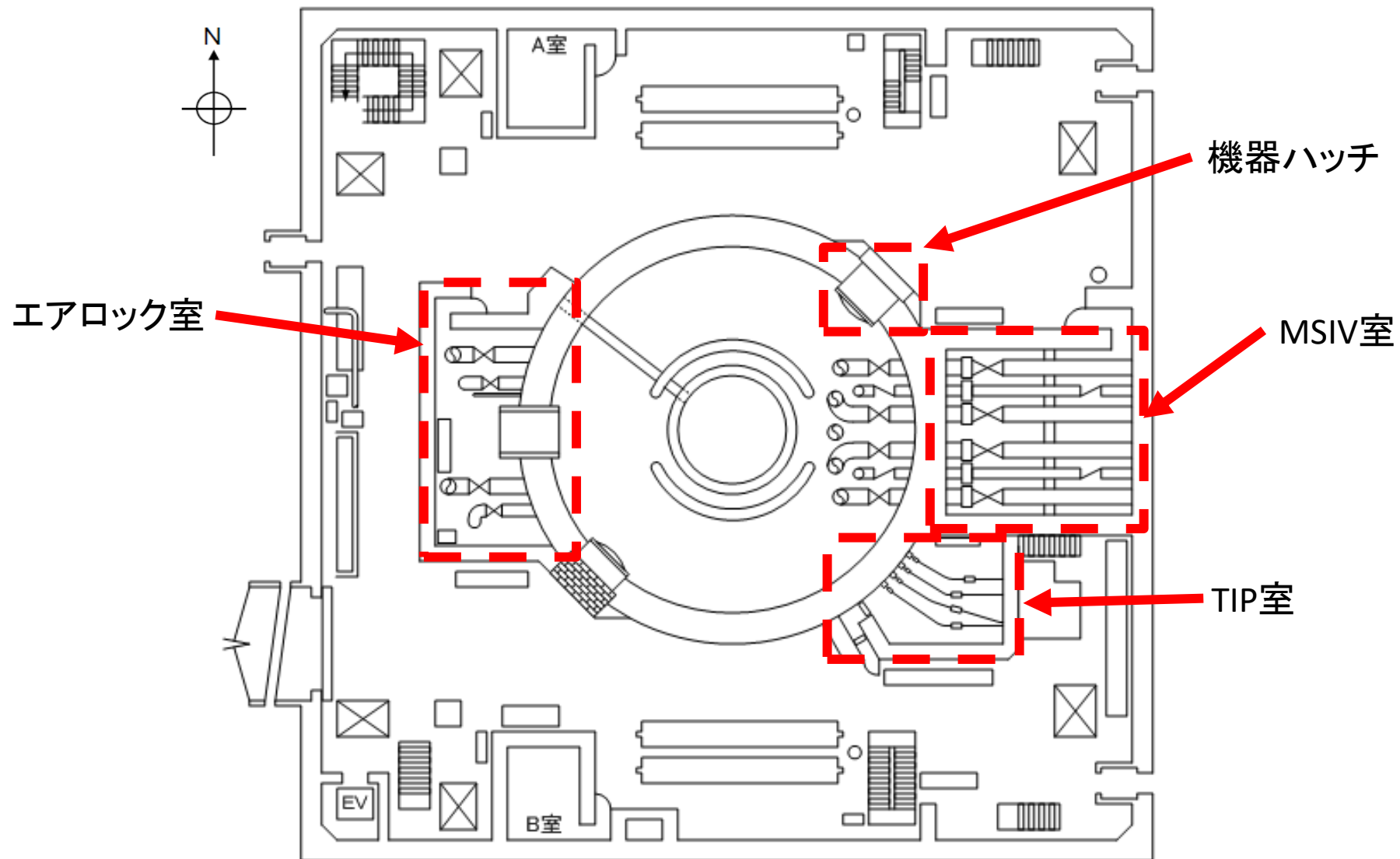
### (e) 真空破壊ライン伸縮継ぎ手部

なお、比較的小口径の個別ペネトレーションについては、格納容器内部からの有意な漏洩情報は確認されていないことから、今回の議論では扱っていない。

# ○1号機原子炉建屋1階の平面図



## ○3号機原子炉建屋1階の平面図



## (a) TIP室の可能性

東京電力は、2015年9月～10月にかけて、1号機TIP室内の空間線量率測定を実施した。測定結果は以下のとおり。

- 原子炉建屋の通常部との間の扉が設置されている区域の線量率はかなり低く、扉外で数百mSv/hの放射線量率を与える放射性物質の漏洩があったとは認め難い。
- 事故時の線量情報では、北側の二重扉付近の方が南側よりも高い傾向にあり、TIP室からの漏洩では説明しにくい。

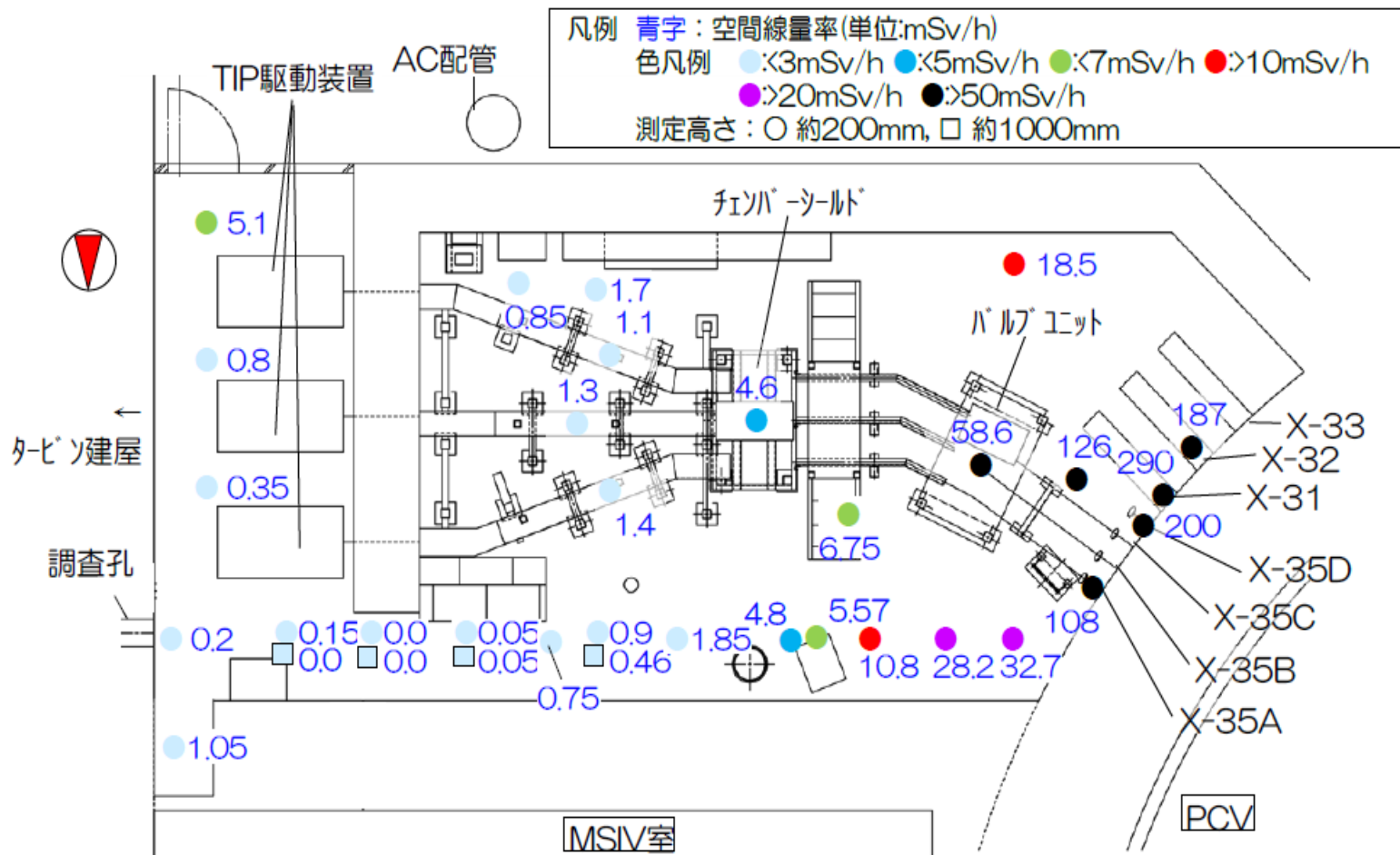


図 2-14 T1P 室内空間線量率測定結果<sup>[12]</sup>

出典：福島第一原子力発電所1～3号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討第5回進捗報告  
(平成29年12月25日、東京電力ホールディングス株式会社)添付資料4

## (b) エアロック室からの可能性

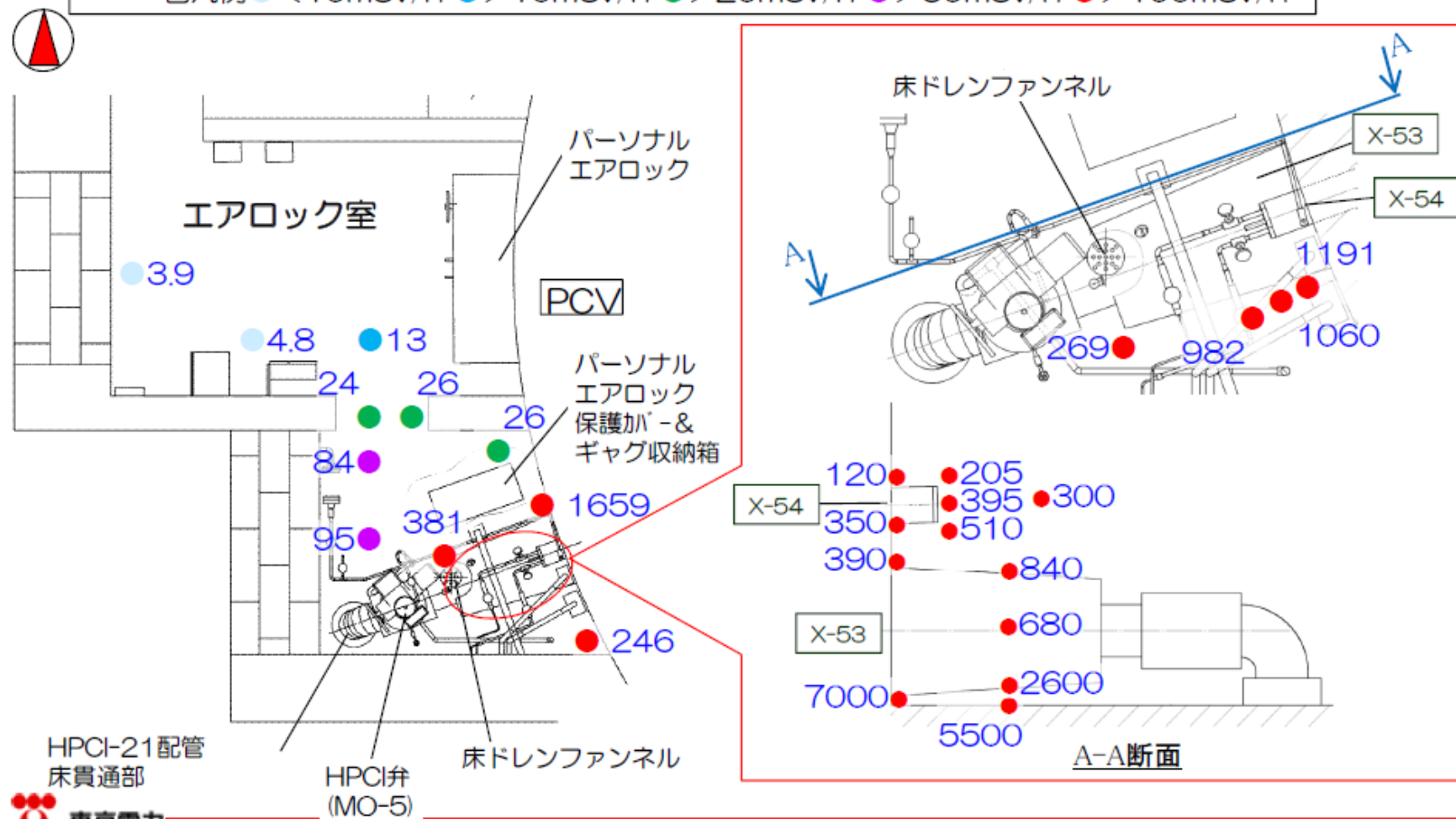
- 東電の測定によれば、1号機エアロック室内X-53ペネのカーバ一部の線量率が高い。（1号機のペネトレーション類は、炉心が落下した後の高温高圧下で影響を受けた可能性が高い。）
- エアロック室内の線量率が高いとは言えない。

## 5-1. エアロック室調査結果（空間線量率）

■ X-53付け根床面に近づくると7000mSv/hと非常に高い。

凡例 青字：空間線量率(単位:mSv/h)

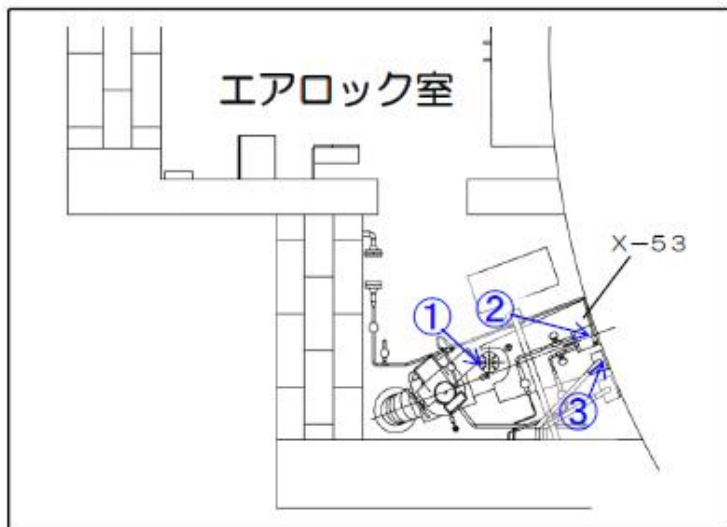
色凡例 ● <10mSv/h ● >10mSv/h ● >20mSv/h ● >50mSv/h ● >100mSv/h





## 5-2. エアロック室調査結果（光学カメラ撮影①）

### ■ HPCI蒸気管ペネX-53について



- HPCI配管とベローズカバーの隙間に漏洩痕がある（2013年調査結果と同じ）。（写真①）
- ベローズカバーと生体遮へい壁の付け根部分に漏洩痕あり（写真②）。なお当該付け根部周辺がもっとも雰囲気線量が高い。
- X-53ペネ周り（ベローズカバー、床、壁面）に白い粉上の堆積物あり（サンプル採取済）。

写真①：X-53ベローズカバー接続部



写真②：X-53貫通部左下側



写真③：X-53貫通部右下側





## (c) 機器ハッチからの可能性

- 3号機では、機器ハッチ（内外で二重になっている）の内側ハッチに漏えいの痕跡があり、外側ハッチには若干の移動の痕跡が見られ、高線量率の水たまりも確認された。
- 2015年9月に東京電力が実施した調査により、機器ハッチの漏えいは確認されなかったとしている。
- 1号機では特段の高線量率は確認されなかったと報告されている。
- ただし、付近にあるX-49ペネに高線量が測定されている（p18参照）。

#### (4) 3号機原子炉格納容器機器ハッチ調査

原子炉格納容器の漏えい箇所の調査として、原子炉建屋1階の格納容器機器ハッチの調査を平成27年9月9日に実施した。この格納容器機器ハッチ部では、遮蔽用のシールドプラグが移動しており、シールドプラグ移動用のレールの溝やその付近に高線量の水たまりが確認されていた（平成23年）ことから、機器ハッチシール部から格納容器内滞留水が漏洩している可能性があると考えられた。

本調査にてシールドプラグの開口部から小型カメラを挿入し、機器ハッチの状況を確認した。図4-4撮影した機器ハッチの写真を示す。機器ハッチからの漏洩は確認されず、機器ハッチ自体の変形も確認されなかった。また、機器ハッチ前に保管されていた定期検査用の資材に損傷は確認されなかった。一方、機器ハッチの塗膜ははがれ落ちており、機器ハッチ前には塗膜片等の堆積が確認された。

機器ハッチ前のシールドプラグが本来設置してある場所では、上部より雨水または結露水と思われる水の滴下があり、床面は湿っているような状態であった。また、シールドプラグ移動用レールの溝には水たまりが確認された。

## ○3号機原子炉格納容器機器ハッチ調査

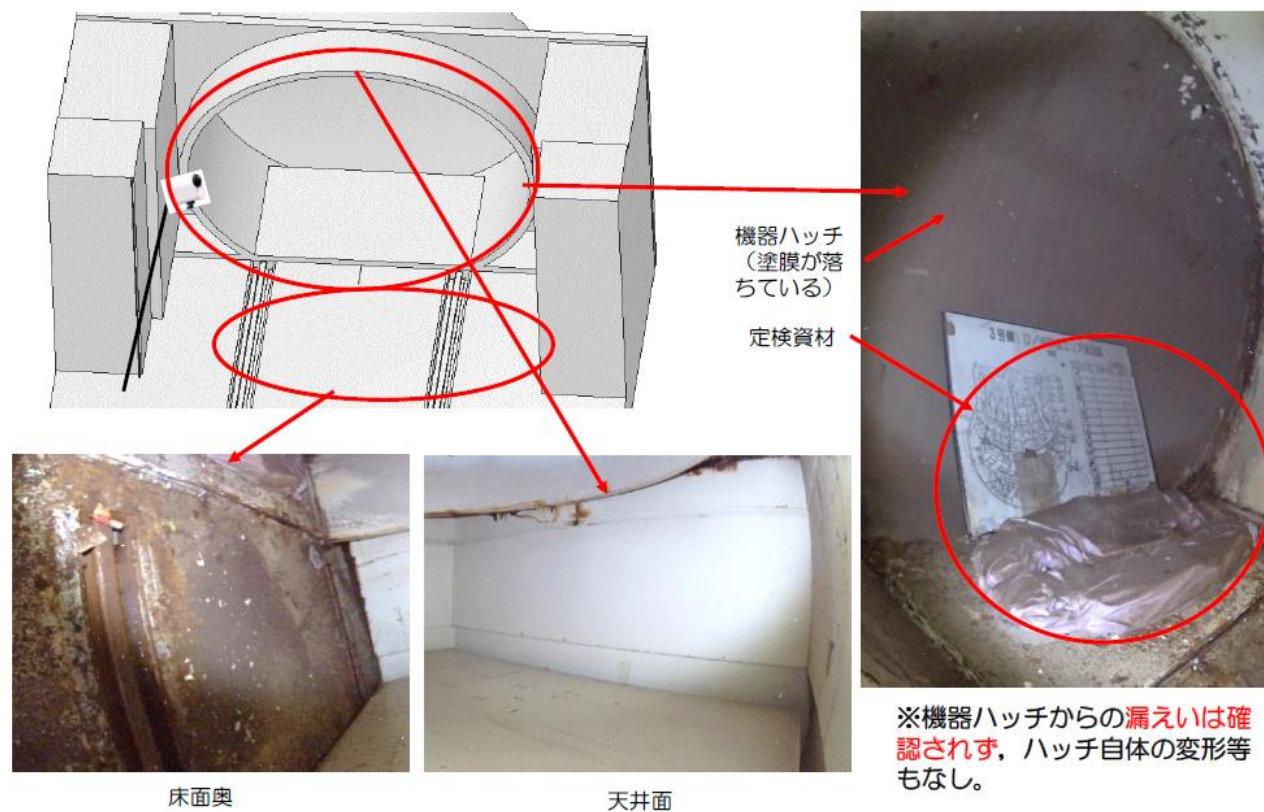


図 4-4 機器ハッチの写真<sup>[37]</sup>

[37] 【資料3】 個別の計画毎の進捗状況、廃炉・汚染水対策チーム会合第22回事務局会議配付資料、平成27年10月1日

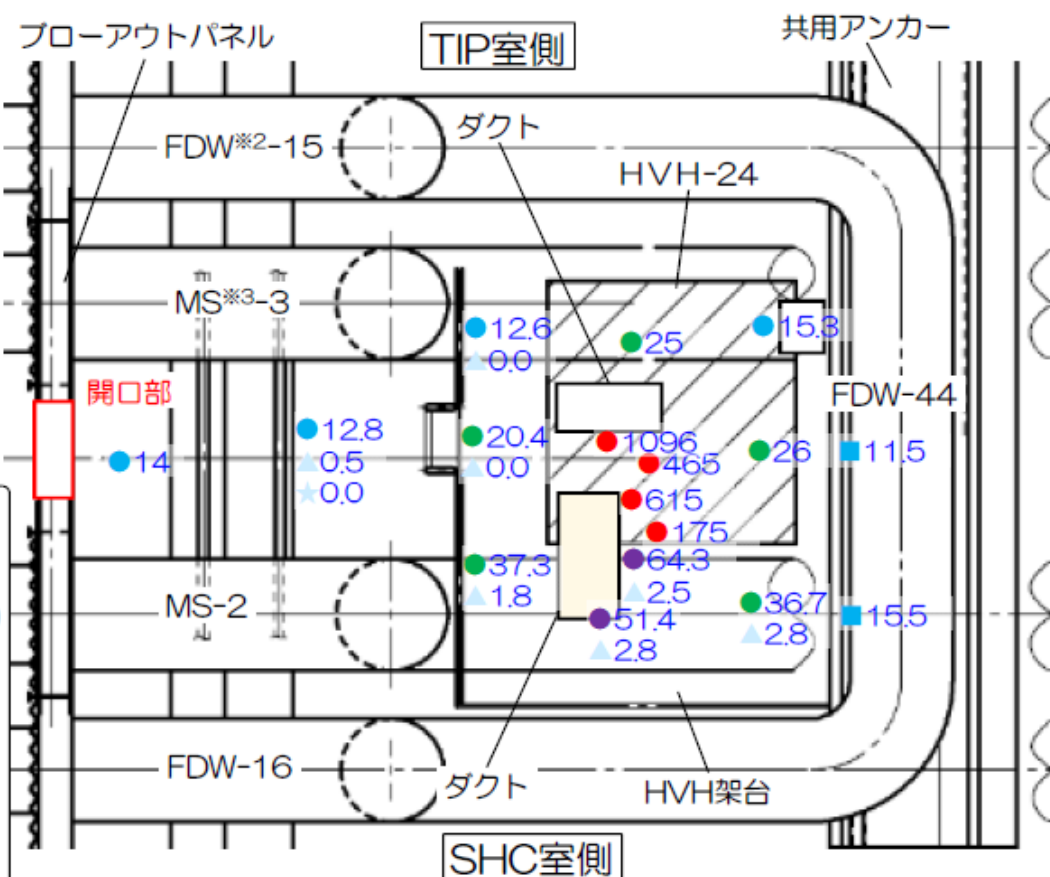
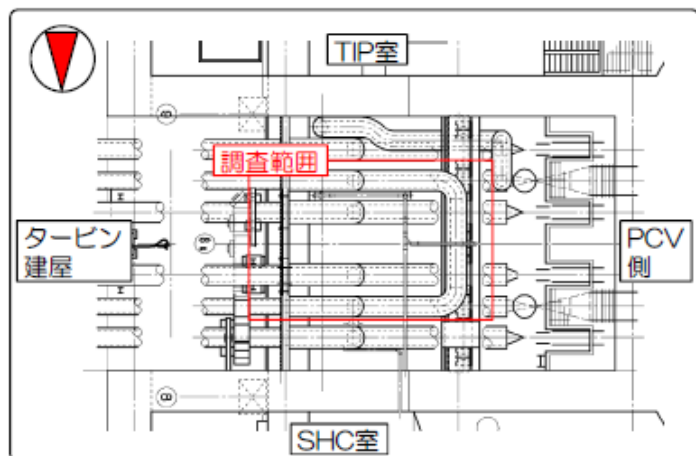
## (d) MSIV室からの可能性

- 3号機では、格納容器内から注入水の外部への漏えい箇所は、主蒸気管貫通部であると認識されている。
- 1号機では、2015年11月に東京電力によるMSIV室の調査が実施されている。
- その結果、主蒸気管貫通部には強い汚染は見られなかったとしつつ、同室内のHVHダクト天板部に局所的に非常に強い汚染があるとしている。
- 2号機については強い汚染は確認されていない。

※2号機原子炉建屋一階MSIV室調査結果について（2013年4月25日、東京電力株式会社）

## 4-1. 主蒸気弁室調査結果（空間線量率）

■HVH※1天板およびダクト付近の線量が高く、HVH架台上および床面付近は線量が低い

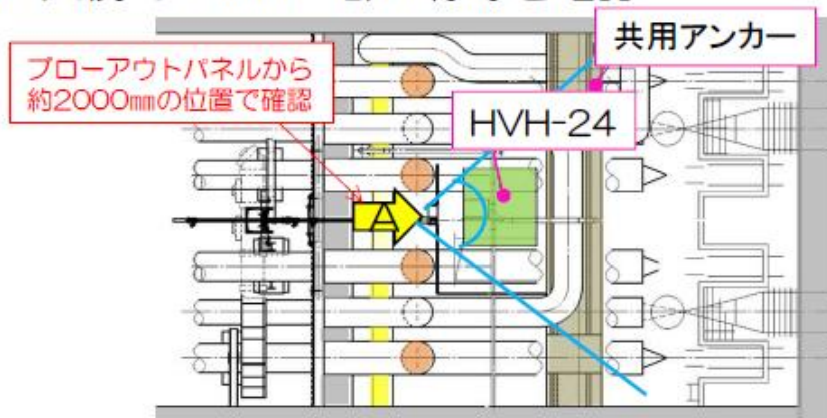


※1：Heating and Ventilation Handling Unit(給排気ユニット, 換気空調ユニット)  
 ※2：Feed Water System(原子炉給水系)  
 ※3：Main Steam(主蒸気系)



## 4-2. 主蒸気弁室調査結果（γカメラ、3Dデータ）

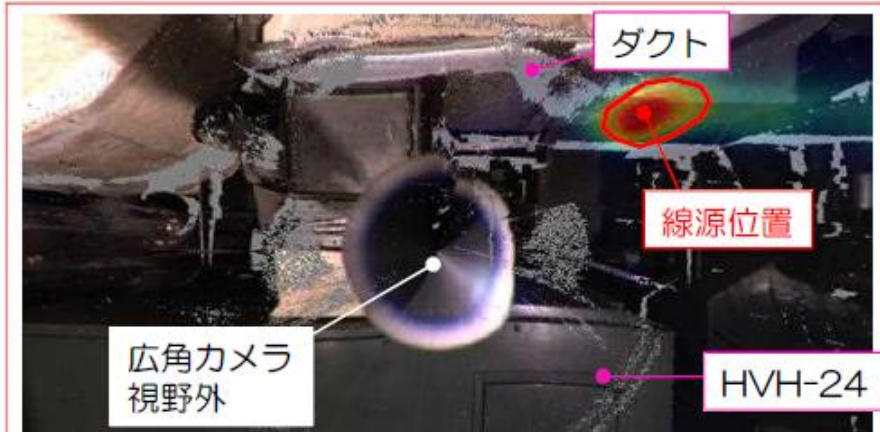
### ■ A矢視でHVH上部に線源を確認



### ● 3Dスキャンデータ



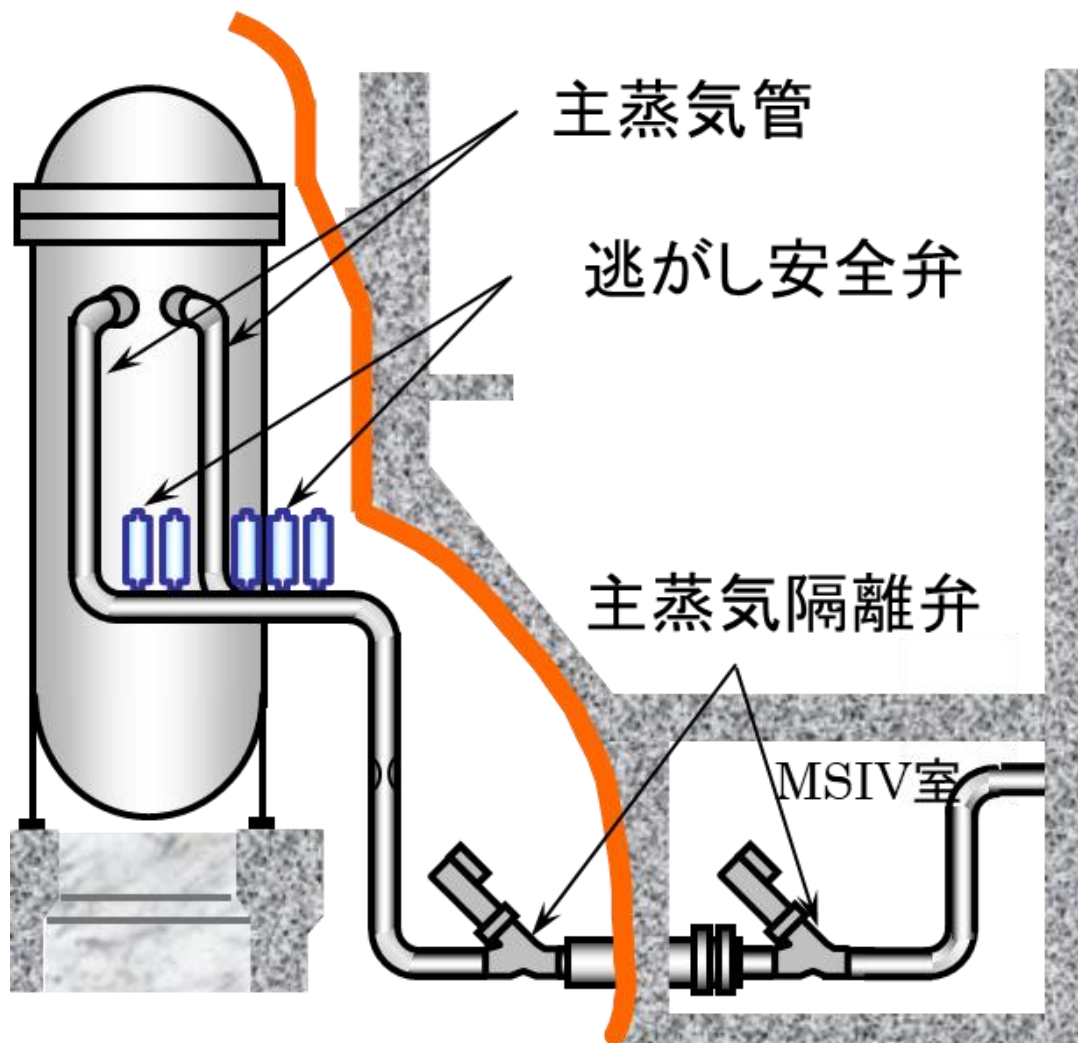
### ● γカメラデータ



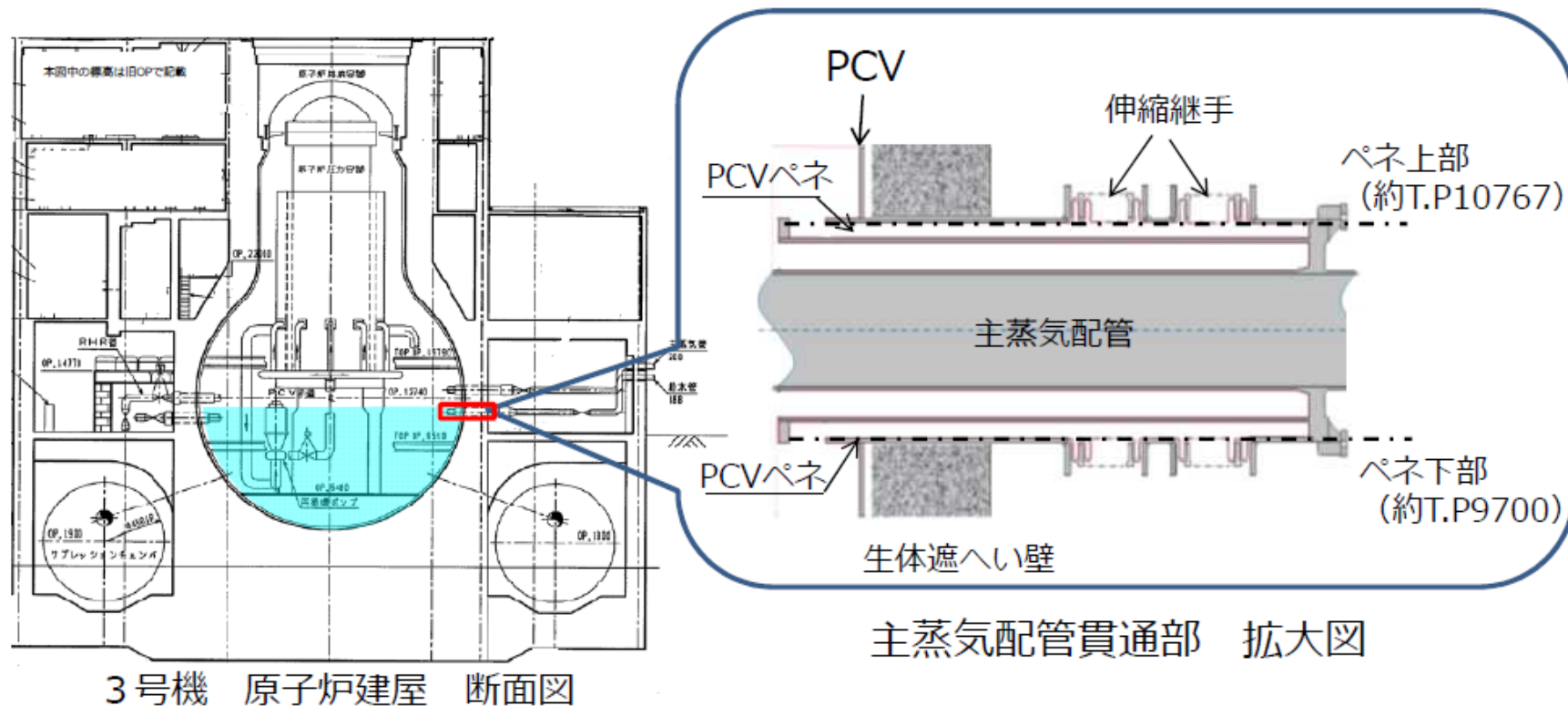
- γカメラ設定位置の雰囲気線量率：約20.8mSv/h
- 線源位置からの寄与：約1.4mSv/h

- γカメラデータからHVH上部ダクトが線源の可能性あることを確認
- 線量率測定結果より、HVH天板に高線量率部位があることを確認

## ○主蒸気管（概略図）



# ○主蒸気管（格納容器貫通部）（3号機）



出典：3号機原子炉注水停止試験結果（速報）及び原子炉注水停止試験時のMSIV室内の状況について  
（2021年4月27日、東京電力ホールディングス株式会社）



## 東京電力による1号機MSIV室調査に関する論点（1/2）

- HVHシステムが強い放射線源をこの時点で内包することは考えにくいのではないか。
- HVHシステム内部に強い放射線源があった場合、「天板」に存在するのは不自然ではないか。
- MSIV室の上の階の強力な線源が原因とするには、放射線量の分布が局所的すぎるのではないか。
- いずれにせよ、この強い放射線源である放射性物質は、格納容器内部から移行したと考えるべきではないのか。

## 東京電力によるMSIV室調査に関する論点（2/2）

- MSIV室は、隣接するSHCポンプ室を經由して原子炉建屋1階に繋がっている。接続する扉上部付近には、1000mSv/h以上の放射線量率が測定されている。
- しかし、RCW系統を經由してSHCポンプが汚染することでこのような高線量率がもたらされることは考えにくい。

## (e) 真空破壊ライン伸縮継ぎ手部からの可能性

※3号機には適用できない。

- 平成23年6月に原子炉建屋1階南東の床面の配管貫通部から蒸気の噴出が確認されている。
- 平成26年5月に、ベント管（X-5E）近傍の漏えい箇所を真空破壊ライン伸縮継ぎ手保護カバーからであると特定された。
- ベント管（X-5E）は、ペDESTAL開口部のほぼ正面に位置し、圧力容器から落下した高温の溶融物がジェットデフレクター裏のベント管内に回り込んだ形跡がある。
- X-5Eの位置は、原子炉建屋の東南東に当たり、北側の二重扉の方が南側の二重扉より線量率が高いこととは不整合であるが、途中経路上の障害物の状況によって、位置関係と放射線量率が逆転する可能性もある。

## 真空破壊ライン伸縮継ぎ手部からの可能性

- 損傷が地震時生じたとする場合、スクラム後の格納容器内圧上昇の履歴から大規模なものはありませんが、今回の議論においてどの程度の参考になるかは未解明（他の確認方法があるかは東電から追加説明。）
- もう一つの可能性としては、落下炉心の一部がジェットデフレクターを通過して、何らかの形で真空破壊ライン伸縮継ぎ手部を破損させたことが考えられるが、この場合、3月11日午後10時前後の時点で、相当規模の炉心落下が生じている必要があるが、かなり困難があるのではないかと考えられる。
- 1号機原子炉建屋1階の放射線量率データによると、トラス室から1階に通じる北東コーナーの階段部分の放射線量率は余り高くない。

# 論点の暫定整理案

(※個々の判定の妥当性は検討会での議論対象)

	1号機	3号機
TIP室	×	×
エアロック室	×	×
機器ハッチ	×	△
MSIV室	△	○
真空破壊ライン 伸縮継ぎ手部	△	×