

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の
1号機ペDESTALの状況を踏まえた対応について

令和5年6月13日
原子力規制庁

原子力規制庁は、令和5年5月24日の第12回原子力規制委員会（議題5）における議論を踏まえ、東京電力に対し、以下の内容を指示した。

1. インナースカートを含むペDESTALの支持機能には期待できないという前提の下、圧力容器が沈下し、格納容器に主蒸気管相当の開口部が生じる場合も含めて、敷地境界におけるダスト飛散の影響を保守的な条件下で評価すること。なお、評価に当たっては、開口面積やダスト発生量等の条件を変化させて、複数のケースを考えること。
2. 評価の結果にかかわらず、取り得る対策についても検討すること。
3. 支持機能が失われて圧力容器が沈下した場合の圧力容器及び格納容器等がどのような状態に至るか構造上の影響に関する評価についても別途並行して行うこと。

原子力規制庁は、上記1.及び2.に関し、令和5年6月5日の第10回特定原子力施設の実実施計画の審査等に係る技術会合において、東京電力から、ペDESTALの支持機能喪失に起因する環境中への放射性ダストの放出の影響は小さいことや放出を抑制するための対策について報告を受けた。

<東京電力の評価・検討内容>

- PCV 構造物表面の汚染物が乾燥状態で剥離し環境中に放出されることによる敷地境界への影響を評価したところ、約0.03mSv/事象
- RPVに残存・付着している燃料デブリが、乾燥状態で浮遊し環境中に放出されることによる敷地境界への影響を評価したところ、約0.04mSv/事象
- ダスト飛散時における影響緩和策として、PCV均圧化や窒素封入停止策等を講じるほか、可搬式設備を用いたPCV排気の方策を検討

<規制庁からの指摘事項>

- 放出される核種を追加した場合の影響評価を確認すること
- 対策として有効と考えられる窒素封入停止の具体的な手順や窒素封入停

止した際の LCO との関係を整理すること

- 検討用地震動（900gal）を用いた構造への影響

今後、取り得る対策等の詳細や上記 3. について、東京電力から聴取する。

（参考）令和 5 年 5 月 24 日第 12 回原子力規制委員会資料 5（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の 1 号機ペDESTAL 及び原子炉補機冷却系の配管の状況を踏まえた今後の対応）

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の 1号機ペデスタル及び原子炉補機冷却系の配管の状況を踏まえた 今後の対応

令和5年5月24日
原子力規制庁

1. 趣旨

本議題は、東京電力ホールディングス株式会社（以下「東京電力」という。）の調査で福島第一原子力発電所の1号機ペデスタル内部の損傷状況が判明したこと及び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（以下「事故分析検討会」という。）において、同号機格納容器内の放射性物質が、原子炉補機冷却系（RCW）配管を經由し、原子炉建屋内のRCWサージタンク内に移行していることが確認されたことを踏まえた今後の対応の了承について諮るものである。

2. 経緯

東京電力が令和5年3月に実施した1号機原子炉格納容器の内部調査において、ペデスタル内全周でコンクリートの損傷が確認されたことから、令和5年4月14日の第107回特定原子力施設監視・評価検討会（以下「監視・評価検討会」という。）において、東京電力から、今後耐震評価を行うことのほか、ペデスタルが座屈した場合でも格納容器貫通部は損傷しないとする報告を受けた（参考1）。それに対し、原子力規制庁からは、ペデスタルの耐震評価はその前提条件の妥当性の判断が困難であることから、ペデスタルの支持機能喪失による影響の考察を確認することとしている。

また、1号機原子炉補機冷却系（RCW）を通じた原子炉格納容器からの放射性物質の漏えいについては、過去の東京電力による調査においても推認されていたが、原子力規制庁の調査で、原子炉建屋内のRCWサージタンク及びその床面で高線量部位が認められたことなどから、令和5年4月24日の第37回事故分析検討会で格納容器内の放射性物質の移行経路として特定した（参考3）。

3. 1号機ペデスタルの状況への対応（委員会了承事項）（案）

これまでの調査からコンクリートの損傷範囲や構造部材の状態はすべて把握できておらず、東京電力による耐震評価の前提条件の妥当性を判断することは困難である。また、評価結果にかかわらず、高線量下の格納容器内でペデスタルの補強を行うことも困難である。

よって、東京電力に対しては、インナースカートを含むペデスタルの支持機能には期待できないという前提の下、圧力容器を含む上部構造物が沈下し格納

容器に開口部が生じる場合も含めて、敷地外部へのダスト飛散の影響を評価すること、その結果によって対策を検討することを求めることとしたい。

その対策の検討の中では、昨年5月にペDESTALのコンクリートの一部損傷が観察された際、同年6月20日の第100回監視・評価検討会において、格納容器の圧力について現行の正圧管理から負圧管理への移行を検討するよう指示しており、この点についても、本年3月20日の第106回監視・評価検討会において原子力規制庁から示した論点（参考2）に沿って、検討することを求めることとしたい。

本件につき、上記対応について了承いただきたい。

4. 1号機原子炉補機冷却系の配管の状況への対応（委員会了承事項）（案）

今回特定された原子炉格納容器からの放射性物質の移行経路は、1号機と同種の原子炉補機冷却系配管等を用いている原子炉施設の重大事故時においても成立する可能性が考えられることから、規制上の取扱いについて検討を進めることを了承いただきたい。

5. 今後の予定

3. について了承が得られれば、特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合において議論を行い、その状況について監視・評価検討会に情報共有するとともに、検討結果について原子力規制委員会に報告する。

また、4. について了承が得られれば、東京電力福島第一原子力発電所事故に関する知見の規制への取り入れに関する作業チームにおいて具体的な検討作業を進め、原子力規制委員会に報告する。

- （参考1）第107回特定原子力施設監視・評価検討会資料5-1（1号機 原子炉格納容器内部調査の状況について【東京電力】）からの抜粋
- （参考2）第106回特定原子力施設監視・評価検討会資料3-2（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におけるPCVの閉じ込め機能の維持に関する論点【原子力規制庁】）
- （参考3）第37回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 資料4（1号機原子炉補機冷却系統の現地調査の状況【原子力規制庁】）からの抜粋及び第33回同検討会 資料1-1（福島第一原子力発電所1号機の格納容器内部調査から得られた情報（前半調査とりまとめ）【東京電力】）からの一部抜粋及び加工

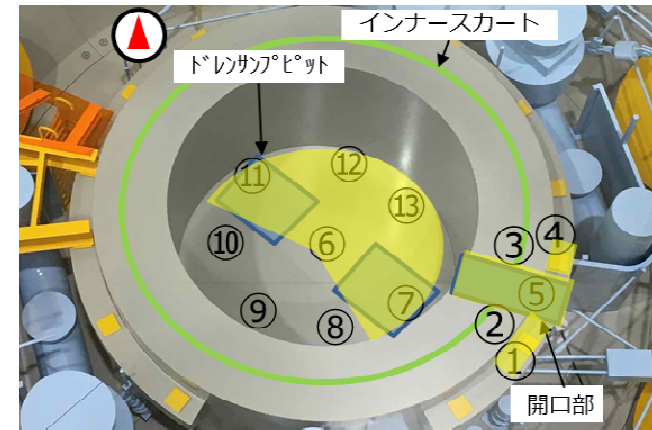
1号機 原子炉格納容器内部調査の状況について

2023年4月14日



技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
東京電力ホールディングス株式会社

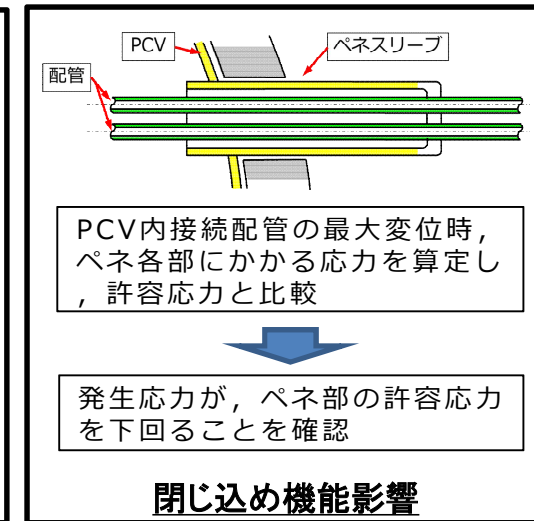
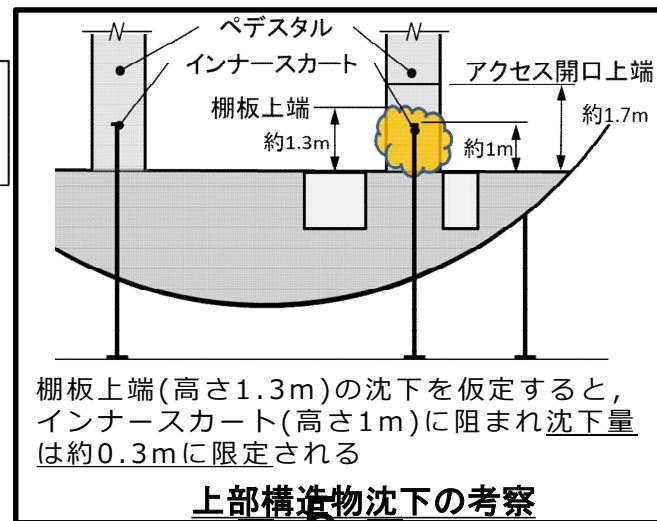
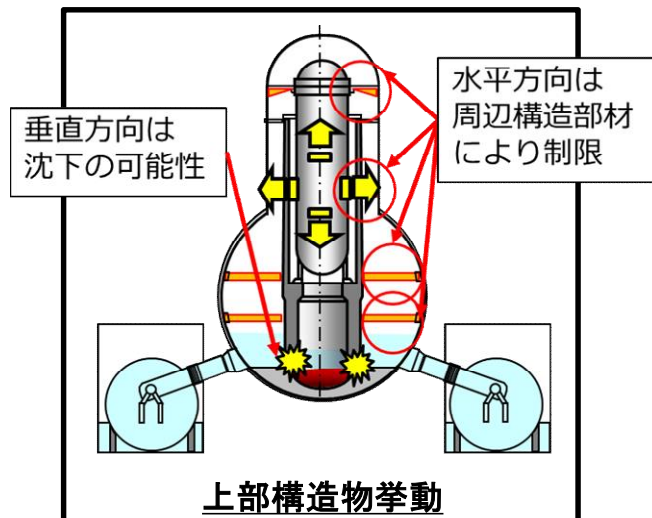
【参考】ペデスタル開口部から撮影した映像のパノラマ画像



【参考】ペDESTALの支持機能喪失時の影響考察

- 支持機能喪失時の上部構造物（RPV/RSW/ペDESTAL他）の挙動
 - **水平方向の移動**は周辺構造部材（バルクヘッド等）に制限※され**限定的な傾斜**に留まる見込み
 - **垂直方向の移動**は周辺構造部材による支持ができず、**沈下の可能性**は否定できない
- PCV内部調査結果を踏まえた上部構造物の沈下の考察
 - 鉄筋露出の範囲が大きいアクセス開口部近傍で、鉄筋に目立った**たわみ変形が無く**、**これまでの地震**に対し**ペDESTALの支持機能は維持**されている
 - インナースカートに有意な変形が確認されていないことから、上部構造物の**沈下を仮定**した場合でも**インナースカートに阻まれ沈下量は限定される**
- ペDESTALの支持機能喪失時の閉じ込め機能への影響
 - 上部構造物接続配管取合部(PCVペネトレーション（以下、ペネ））は沈下に伴う接続配管の変位により影響を受ける可能性あり
 - ペネ部及び接続配管の簡易応力評価より、沈下に伴う接続配管の変位により**ペネ部の損傷（閉じ込め機能の喪失）には至らない**見込み

※ ペDESTAL外部の調査及び事故時温度解析の結果を踏まえ、周辺構造部材に大規模変形等は生じず移動の制限は可能な見込み

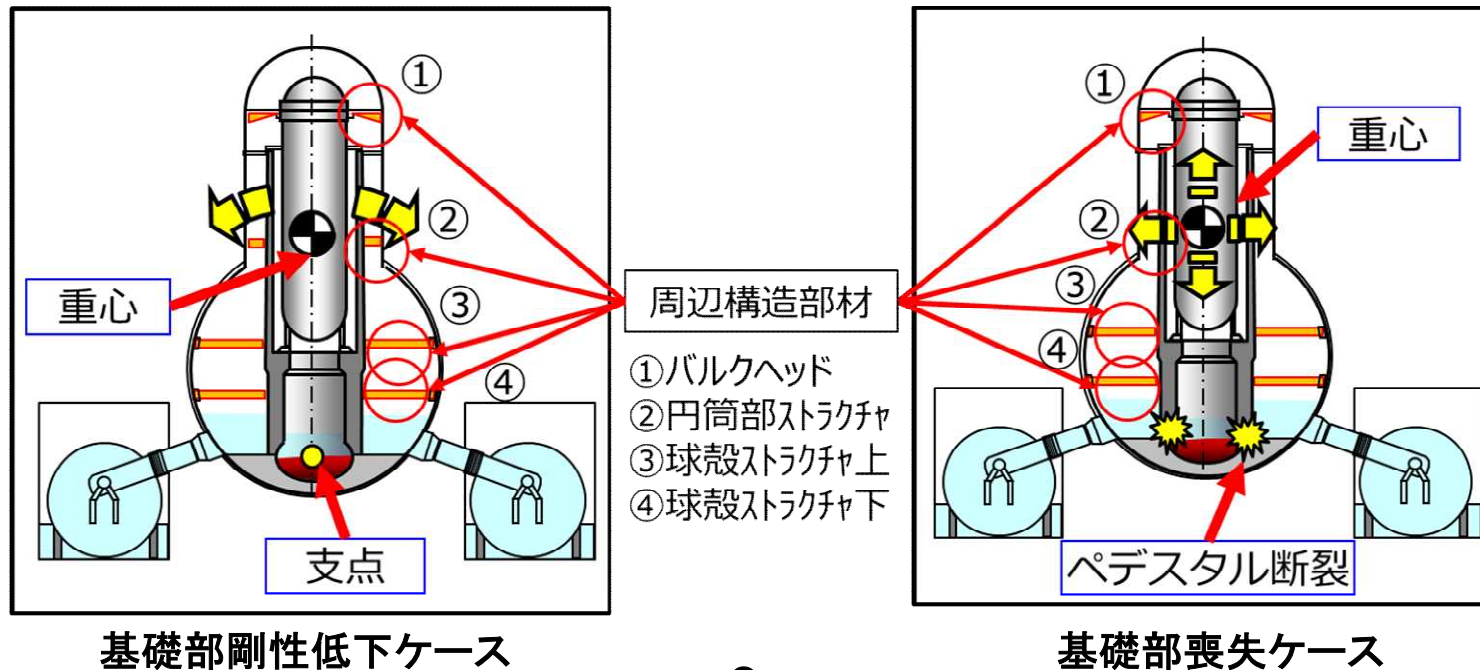


【参考】ペDESTALの支持機能喪失時の挙動に関わる考察

- ペDESTAL支持機能喪失時の、上部構造物の地震時挙動を想定する観点から、以下を実施。
 - 基礎部剛性が低下し、地震時に基礎部を支点に振られた場合の**曲げモーメント**を**水平荷重**として周辺構造部材※¹に負荷し拘束可否を評価※²（曲げモーメントに対する支持可否）
 - 基礎の一部が喪失し、**上部構造物が地震**により**水平/垂直**に振られた場合の荷重を周辺構造部材に負荷して拘束可否を評価※（上部構造物の水平/垂直移動時の支持可否）
- 支持機能喪失時、**水平方向**はバルクヘッド等の周辺構造部材による**移動制限が可能**であり、上部構造物（RPV/RSW/ペDESTAL他）の変形は**限定的な傾斜**に留まる（**倒壊等に至らない**）が、**垂直方向の沈下は否**定できない。
 - 水平方向はSs900による荷重でも支持可能。
 - 垂直方向は周辺構造部材で支持できず、基礎が損失した分上部構造物が沈下する可能性

※ 1 ペDESTAL外部の鋼材に有意な変形が確認されておらず、同環境にある周辺構造部材も形状を維持していると判断。事故時温度解析のPCV温度を考慮しても現在も一定の剛性を有すると想定

※ 2 規格基準等に基づく評価方法ではなく、評価結果の取り扱いに注意が必要

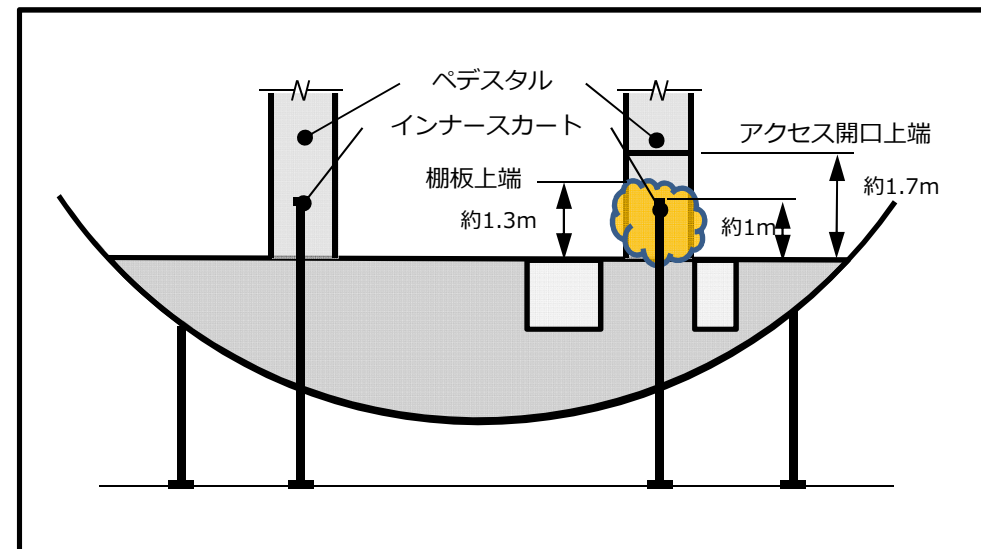


【参考】 PCV内部調査結果を踏まえた考察

- PCV内部調査結果を踏まえた上部構造物の沈下の可能性を考察
 - コンクリートが欠損して鉄筋が長く露出している場合、地震等による鉄筋の座屈、傾斜の発生が懸念されるが、以下の理由から、これまでの地震に対し、ペDESTALの支持機能は維持されていると想定。
 - ◆ アクセス開口部近傍で確認された鉄筋の露出長さ（約1.3m）を考慮すると、座屈許容応力が圧縮（引張）許容応力を下回るため、損傷の形態としては、座屈が発生すると想定。
 - ◆ 座屈は、最も弱い（鉄筋の露出長さが大きい）箇所から生じると想定されるが、内部調査では、アクセス開口部から離れるにつれてコンクリートの欠損高さが小さくなる様相を呈しており、アクセス開口部近傍から座屈が発生すると想定。
 - ◆ 内部調査では、アクセス開口部近傍の露出鉄筋（縦鉄筋）に目立ったたわみ・変形は確認されておらず、これまでの地震に対し、ペDESTALの支持機能は維持されていると想定。
 - 内部調査では、インナースカートにも有意な変形は確認されておらず、万が一、デブリによる影響高さ分（床上約1.3m）の上部構造物の沈下を仮定しても、インナースカートに阻まれ沈下量は約0.3m程度に留まると想定。



アクセス開口部付近 調査状況

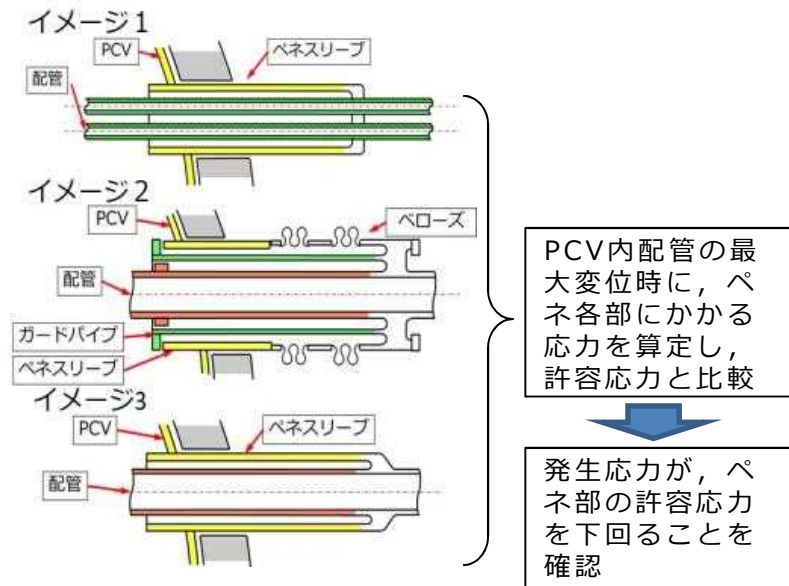
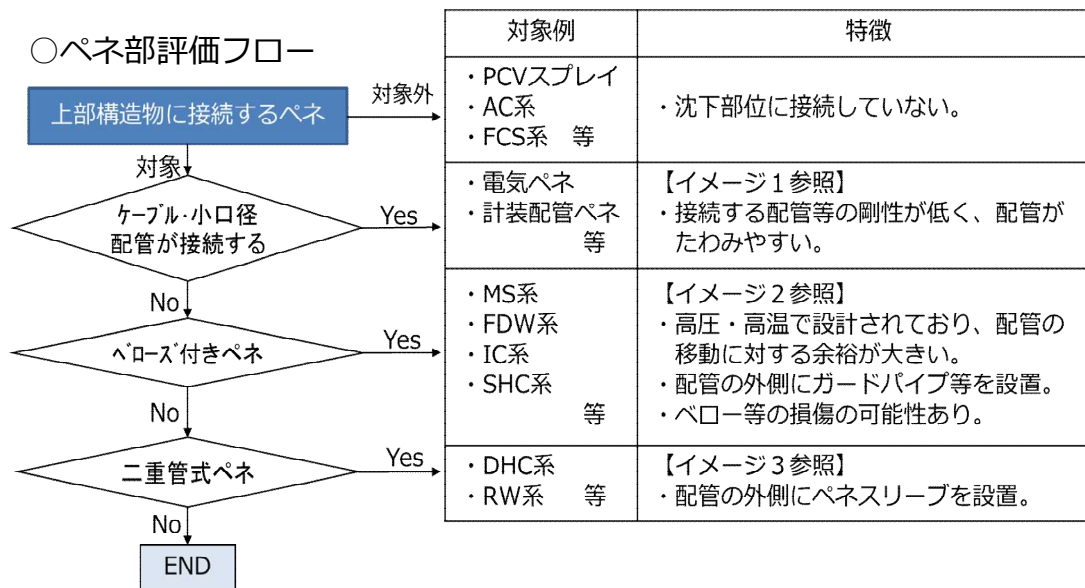


ペDESTAL基礎部断面

【参考】ペDESTALの支持機能喪失時の閉じ込め機能への影響の考察

- 万が一、上部構造物が沈下した際の閉じ込め機能に影響を及ぼす個所として、上部構造物接続配管取合部（PCVペネトレーション（以下、ペネ））を選定し影響評価
 - 閉じ込め部に影響を及ぼすPCV内接続配管（以下、接続配管）とペネ構造を整理
 - 上部構造物の沈下と共に接続配管が変位した際のペネ構造部材に与える影響を評価
- 上部構造物が沈下し接続配管にペネ径を上回る変位が発生した際も、以下の理由から **ペネ部に発生する応力は許容応力を下回り、閉じ込め機能の喪失には至らない**見込み
 - 小口径配管（及びケーブル）
接続配管の剛性は低くペネよりも優先して変形するため、ペネの健全性維持可能
 - ベローズ付きペネ、二重管式ペネ
バウンダリを構成するペネスリーブはプロセス配管より厚肉・大口径であり、接続配管が優先して変形するため、ペネの健全性維持可能

○ペネ部評価フロー



【参考】RPV等の傾斜・沈下により想定されるダスト飛散の影響と方策の効果

【ダスト飛散の影響】

- **RPV等の傾斜・沈下が生じても、周辺の公衆に対し、著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない**と考察
 - RPV等の傾斜、沈下により想定されるペDESTAL内、PCV底部の一部の燃料デブリの粉碎によるダスト飛散や、衝撃、振動による構造材に付着しているダストの舞い上がり等については、PCV内は湿潤環境となっているため、PCV内のダスト濃度の増加は**限定的**※と考えられる
 - RPV等の傾斜・沈下により発生するダスト濃度の推定は不確かさが大きく敷地境界線量の定量評価は難しい
 - 仮に、2019年6月4日に実施した1号機AWJ作業時と同程度のダスト濃度が発生した場合の敷地境界線量は概略で 10^{-3} mSv/事象オーダーと評価
(なお当該AWJ作業時に、環境中のダスト濃度に有意な変動は確認されていない)

※ 乾燥状態でのダスト飛散の実例として、2021年2月および2022年3月の地震（双葉町・大熊町：震度6弱）時の1・2号機の原子炉建屋および1～3号機のタービン建屋内のダスト濃度が、通常の変動幅より1桁程度の一時的な増加に留まったことを踏まえると、湿潤状態では同程度以下と想定。また、同地震時におけるPCVガス管理設備のダストモニタに有意な上昇がないことを確認。

【方策の効果】

- **機動的対応**：ダスト飛散抑制に関わる対応（地震でPCVガス管理設備機能喪失した時の可搬式設備を用いたPCV排気）
 - PCVガス管理設備に代わるフィルターを介した排気
 - 窒素封入停止策と相まってPCV負圧側へ移行
- **PCV閉じ込め強化**：PCV均圧、窒素封入停止策、大型カバーによるPCVからの直接放出量の低減
 - PCV均圧…PCV圧力を微正圧から均圧にすることでPCVからの直接放出量を低減
 - 窒素封入停止策…異常確認時にPCVからの直接放出量を低減
 - 大型カバー…PCVからの直接放出を抑制し、大部分をフィルター経由放出とすることで放出量を低減

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における
PCVの閉じ込め機能の維持に関する論点

令和5年3月20日

原子力規制庁

【1号機格納容器内部調査で観察されたペDESTALの状況を踏まえた原子力規制庁の見解】

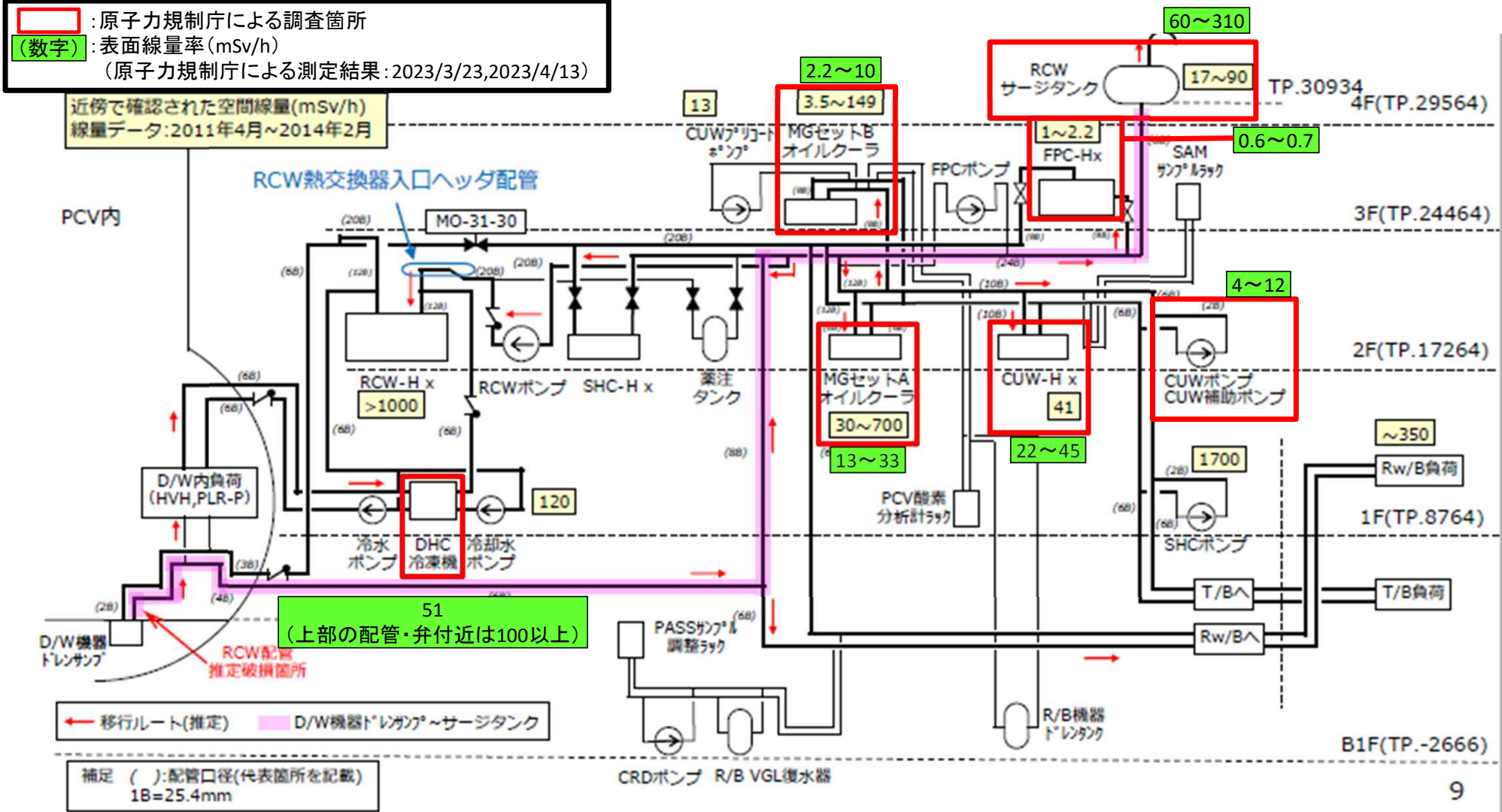
- ・ 東京電力ホールディングス株式会社（以下「東京電力」という。）が1号機原子炉格納容器内部調査で観察できているペDESTALの状況は極一部であり、ペDESTALの耐震評価の前提条件等を具体的に議論できる段階ではない。よって、ペDESTALの支持機能への影響及びそれに伴うリスクについて現時点で具体的な議論及び考察をすることは困難である。
- ・ この状況を踏まえ、仮にペDESTALが圧力容器を支えきれなくなった場合に、どのような事態が生じるのか等をあらかじめ検討しておくことは重要と考え、昨年6月の第100回特定原子力施設監視・評価検討会において、仮に支持機能の低下に起因して格納容器の損傷が拡大した際にダストによる環境への影響をできる限り小さくするため、格納容器の圧力について現行の正圧管理から負圧管理への移行を検討するよう指示した。また、地震によって格納容器開口部が拡大することも考えられることから、この指示は、2号機、3号機も対象に含む。
- ・ その後、1号機RCW熱交換器入口ヘッダ配管で高濃度の水素及び空気中と同程度の濃度の酸素の存在が確認されたことを踏まえ、令和5年3月1日に改定した東京電力福島第一原子力発電所の中期的リスクの低減目標マップには、2023年度の目標として「格納容器内部の閉じ込め機能維持方針策定（水素対策含む）」を設定した。

【PCVの閉じ込め機能維持に関する論点】

- ・ 東京電力が負圧化への課題としている3点に関し、以下の具体的な論点について特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合において議論を行う。東京電力には、当該議論を踏まえ、2023年度中に格納容器内部の閉じ込め機能維持方針を策定することを求める。
 - 「水素爆発⇒可燃限界を超えない管理が必要」
 - PCVを負圧化した場合の水素・酸素の流入量の評価と流入に伴う水素爆発リスク
 - 今後予定しているS/C水位低下によって水封が解かれ、S/Cに接続している配管から水素を含む気体が逆流する可能性
 - 空気の流量管理を含めたPCVの試験的負圧化の計画策定
 - 「PCV腐食の加速：構造健全性（耐震強度等）への影響」
 - 負圧化した場合の酸素流入量と流量管理から想定されるPCV内の酸素濃度

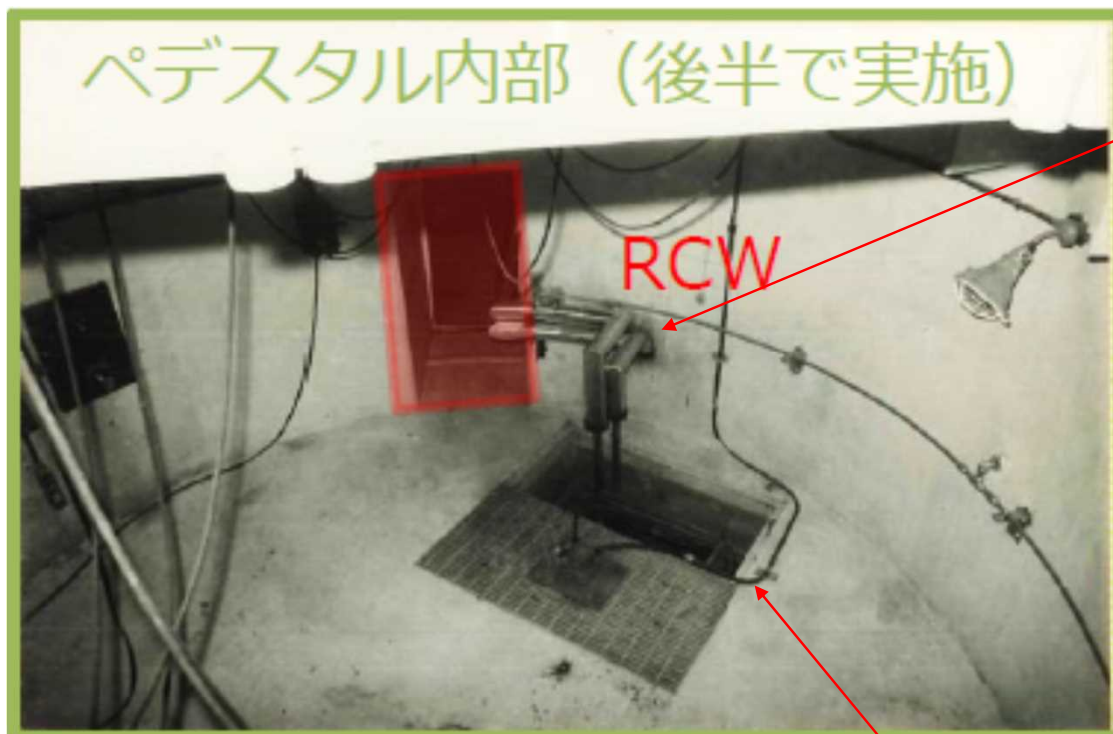
- 酸素濃度に伴うPCV及びRPVを支持する鋼材その他安全を確保する上で必要な鋼材の腐食進展評価
- それらの鋼材の強度に対する具体的な影響評価
- 「デブリ等の性状変化リスク：酸化による微粒子化」
 - 負圧化した場合の酸素流入量と流量管理から想定されるPCV内の酸素濃度
 - 酸素濃度に伴うデブリの酸化進展評価
 - デブリの酸化による廃炉作業への影響

調査箇所及び線量率測定結果



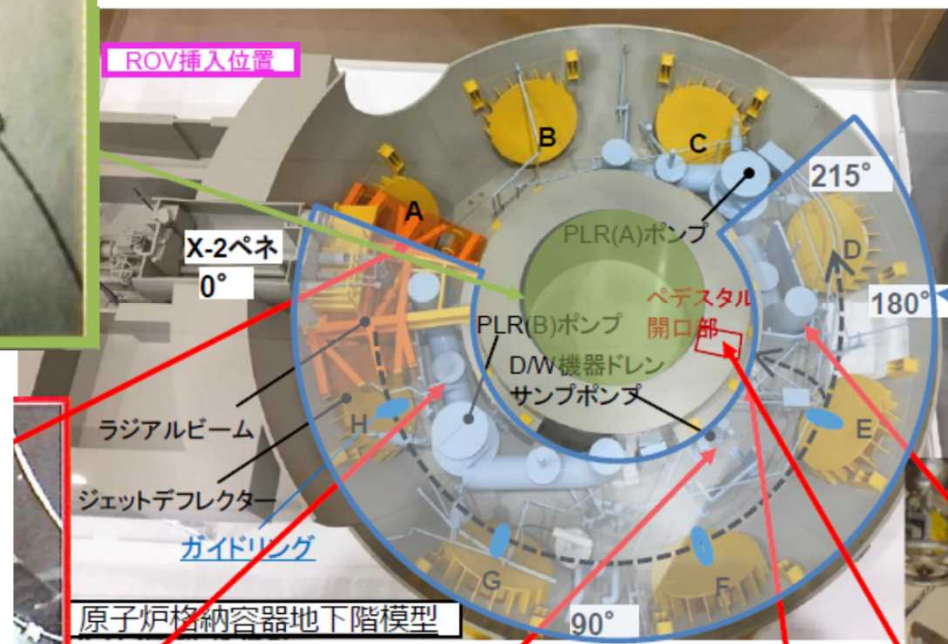
東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会(第36回)資料2-1から抜粋、一部追記

格納容器地下階の事故前の状況について



1号機ペデスタル内部に設置された
原子炉補機冷却系 (RCW) の配管

1号機ペデスタル内部に設置された
ドライウェル (D/W) 機器ドレンサンプ



第33回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 資料1-1 (福島第一原子力発電所1号機の格納容器内部調査から得られた情報 (前半調査とりまとめ) 東京電力ホールディングス株式会社) より、一部抜粋及び加工