

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34回）
資料2

福島第一原子力発電所3号機の水素爆発に寄与 した漏えい経路と爆発メカニズムの推定

2022年12月20日

FDR2022（2022年10月14日～16日, 福島県楢葉町J-village）

チャイプンファイ^a, 野崎 謙一郎^a, 末廣 祥一^a,
本多 剛^b, 溝上 暢人^b, 大和田 賢治^b, 溝上 伸也^b

^a 株式会社テプコシステムズ
^b 東京電力ホールディングス株式会社

※この資料は、FDR2022での発表内容を日本語訳したものです。

内容

- 背景と目的
- 解析条件
- 解析結果に基づく考察
 - 漏えい箇所別の建屋内ガス組成分布
 - 爆発メカニズムに関する仮説
- まとめ

背景と目的

最近の調査結果

爆発時の映像の超解像処理 [1]

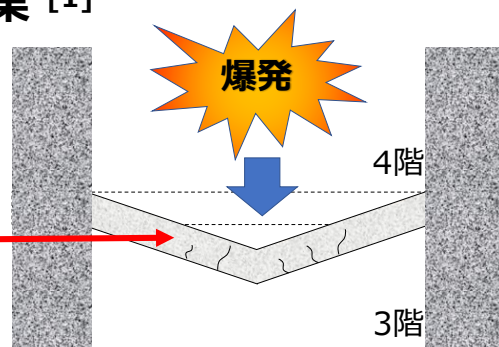


画像処理前



画像処理後

3号機原子炉建屋内部の現地調査結果 [1]



最近の調査結果から推定される状況^[1] :

- 3号機では、4階で第一段階の爆発が発生した。
- 4階の爆発に伴う建屋の変形により南東部の屋根に裂け目が生じ、火炎が発生。同時に原子炉建屋南壁が崩落した。
- 5階で第二段階の爆発が起こり、建屋天井の中央部から噴煙が吹き上げられた。
- 残存した可燃性ガスが燃え続け、原子炉建屋の屋根と思われる巨大な物体が垂直に約200m吹き上げられた。

疑問点

- なぜ最初の爆発が4階で生じたのか？
- なぜ複数の爆発の後も可燃性ガスが残存していたのか？

[1] 原子力規制委員会, “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～”, 2021年3月

背景と目的

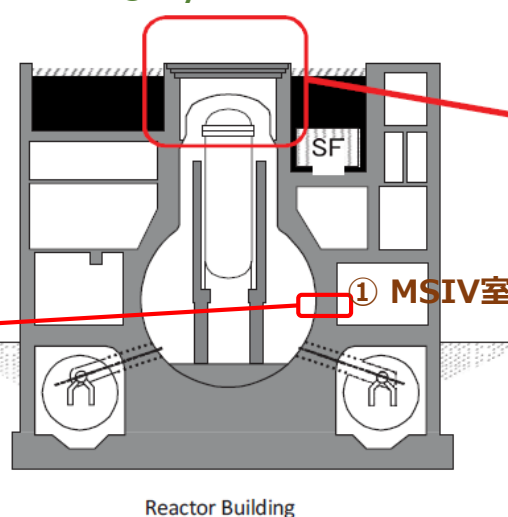
格納容器からの漏えいに関する観測事実

- ① 主蒸気隔離弁（MSIV）室の主蒸気配管D伸縮継手付近で漏えいを確認^[2]



Leak location

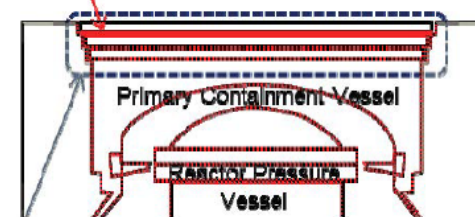
② D/Wトップヘッド



Reactor Building

Source region with high level contamination

- ② 除染後もシールドプラグ周辺では高い線量率を検出^[3]
- 爆発直後の衛星写真にて、シールドプラグ付近からの湯気の噴出を確認^[1]



Shield plug

(Trilaminar structure made of concrete with 60 cm thickness. Each layer has 11.3~11.8 m diameter and is division into three parts.)



3月14日11:04に撮影された衛星写真^[1]

17

この検討の目的

- 水素爆発に寄与した格納容器の主要な漏えい位置の推定
- 格納容器の漏えいが水素爆発事象に影響を与えたメカニズムの推定

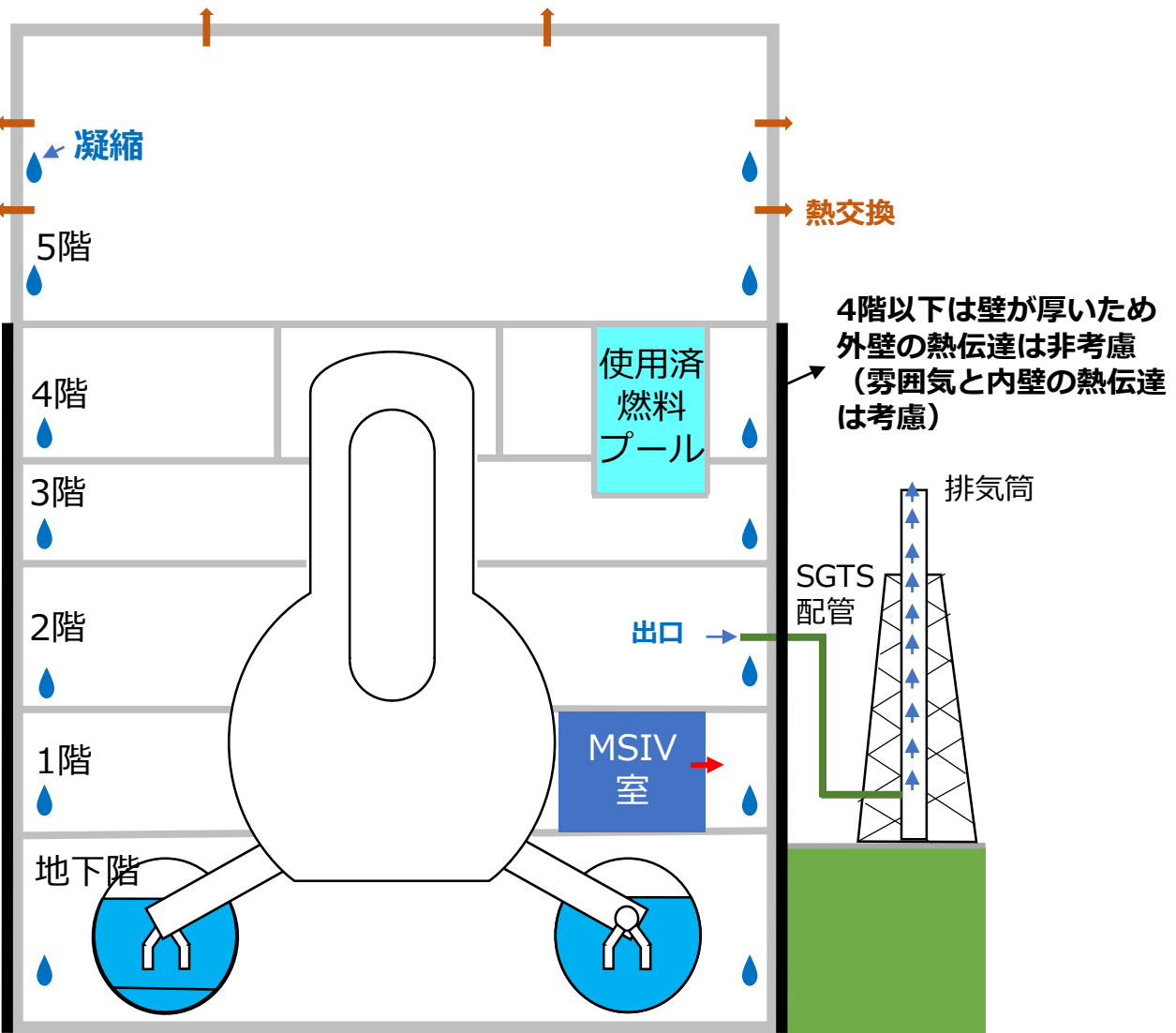
[1] 原子力規制委員会, “東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ～2019年9月から2021年3月までの検討～”, 2021年3月

[2] 東京電力株式会社, “福島第一原子力発電所3号機主蒸気隔離弁（MSIV）室内調査結果”, 2014年5月

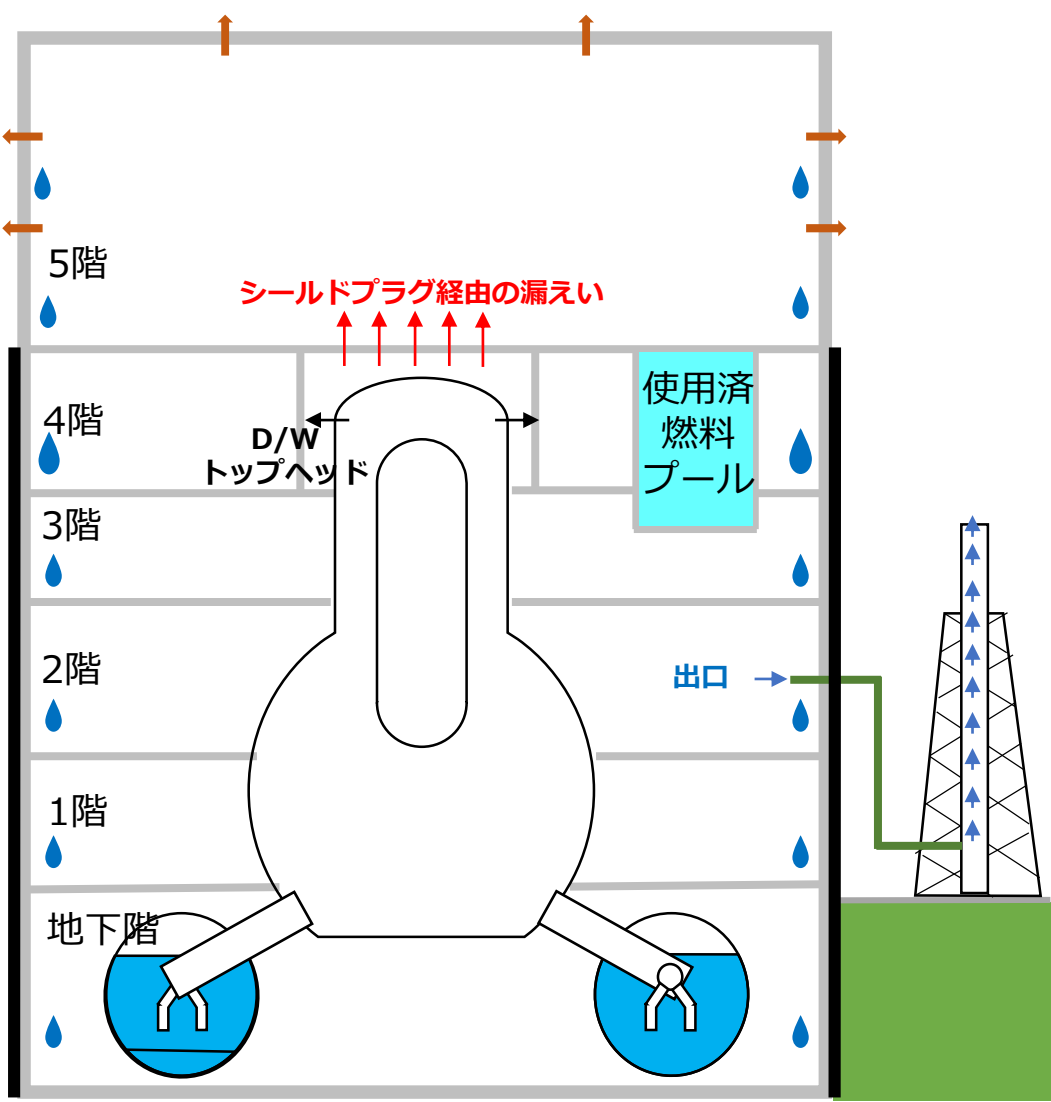
[3] Hiratama, H., Investigation of Main Radiation Source above Shield Plug of Unit 3 at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, ICRS-13 & RPSD-2016, 2017

解析条件 (解析はGOTHICコードを使用)

① MSIV室経由の漏えい

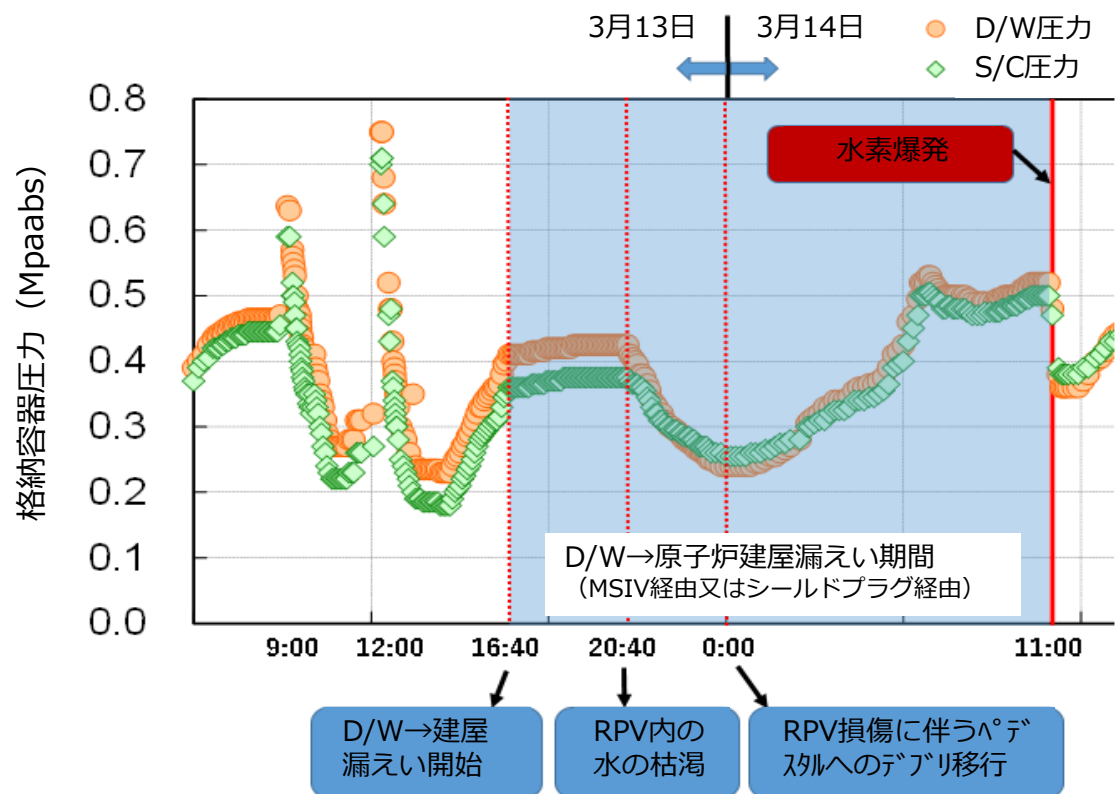


② シールドプラグ経由の漏えい

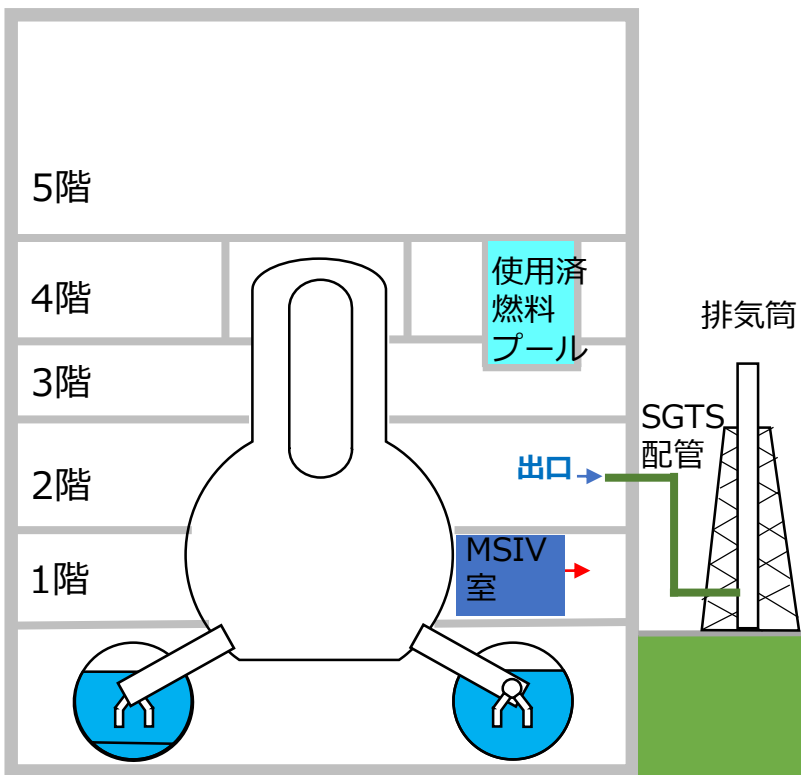


解析条件 (シナリオの想定と漏えい条件)

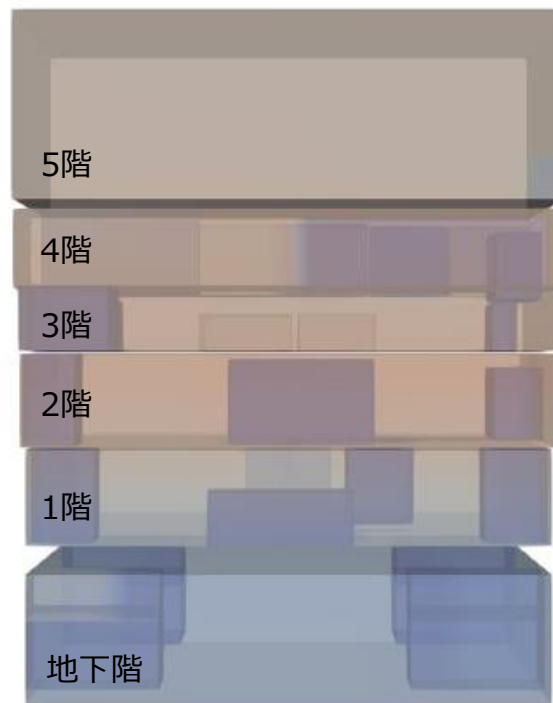
- 格納容器圧力の挙動から、D/Wから原子炉建屋への直接漏えいは3月13日16:40 から開始したと想定。
- 漏えい流量はD/W圧力に比例して変化すると仮定。単位圧力当たりの漏えい流量は、得られた解析結果が爆発時の映像や原子炉建屋調査結果による観察結果と整合するように調整。
 - 上記の調整の結果、漏えい期間中の水蒸気と水素の総漏えい量はそれぞれ75トン、650kgとした。
 - その他の有機可燃性ガスの分布挙動は水素と同等と仮定し、この解析では水素のみを考慮した。



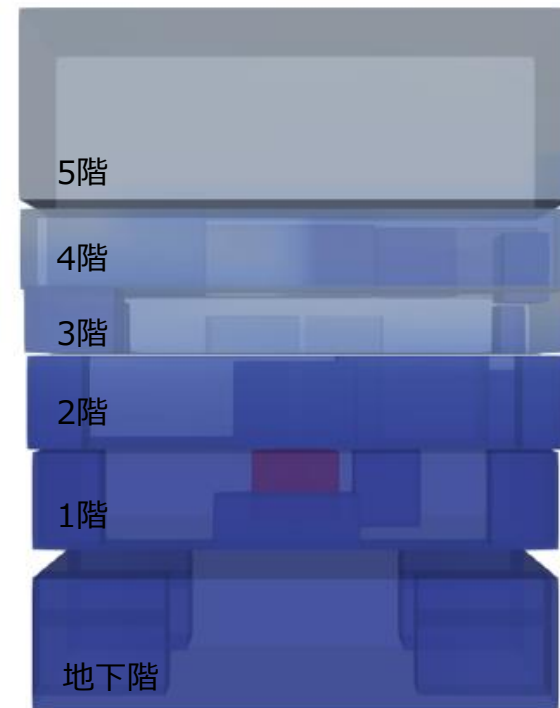
解析結果に基づく考察 (①MSIV室経由の漏えい)



漏えい箇所のイメージ



水素体積%



水蒸気体積%

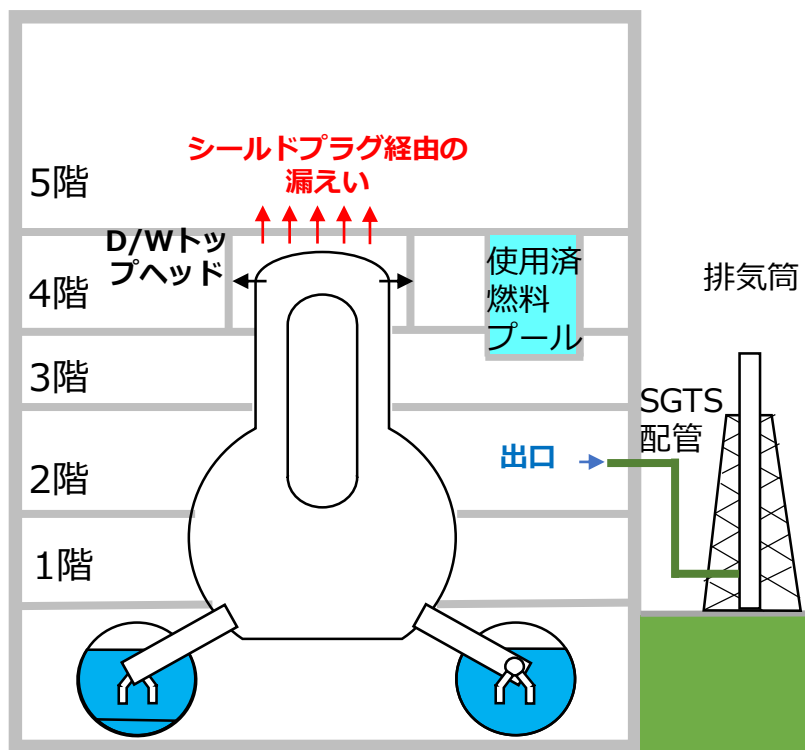
爆発発生時（3月14日11時1分）のガス組成分布の解析結果

- R/B 全体の流れにより、ガスの種類による成層化が防止されている。
- 漏えいガスの移行により3階以上の上層階は下層階に比べ温度が高くなり、水蒸気圧が高くなる。

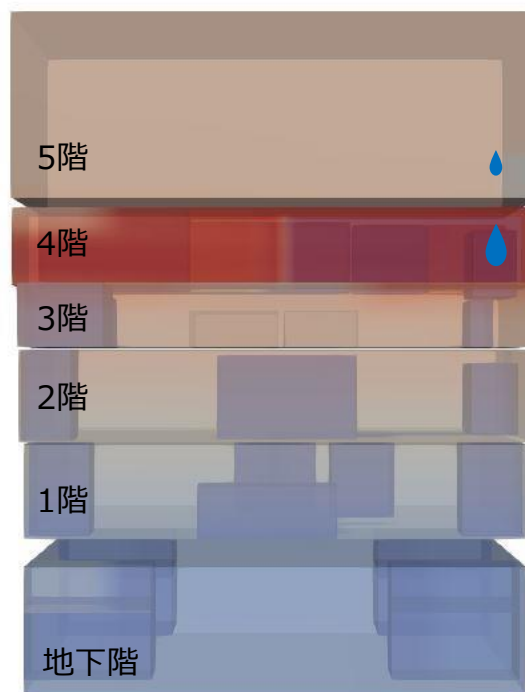


- MSIV室経由で漏えいが発生した場合、水素の分布は原子炉建屋内で比較的均一となる。
- 3階以上の上層階は、下層階に比べて高い水蒸気割合となる。

解析結果に基づく考察 (②シールドプラグ経由の漏えい)



漏えい箇所のイメージ



水素体積%



空気体積%

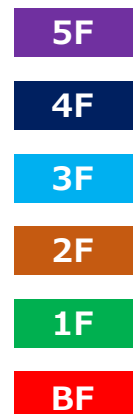
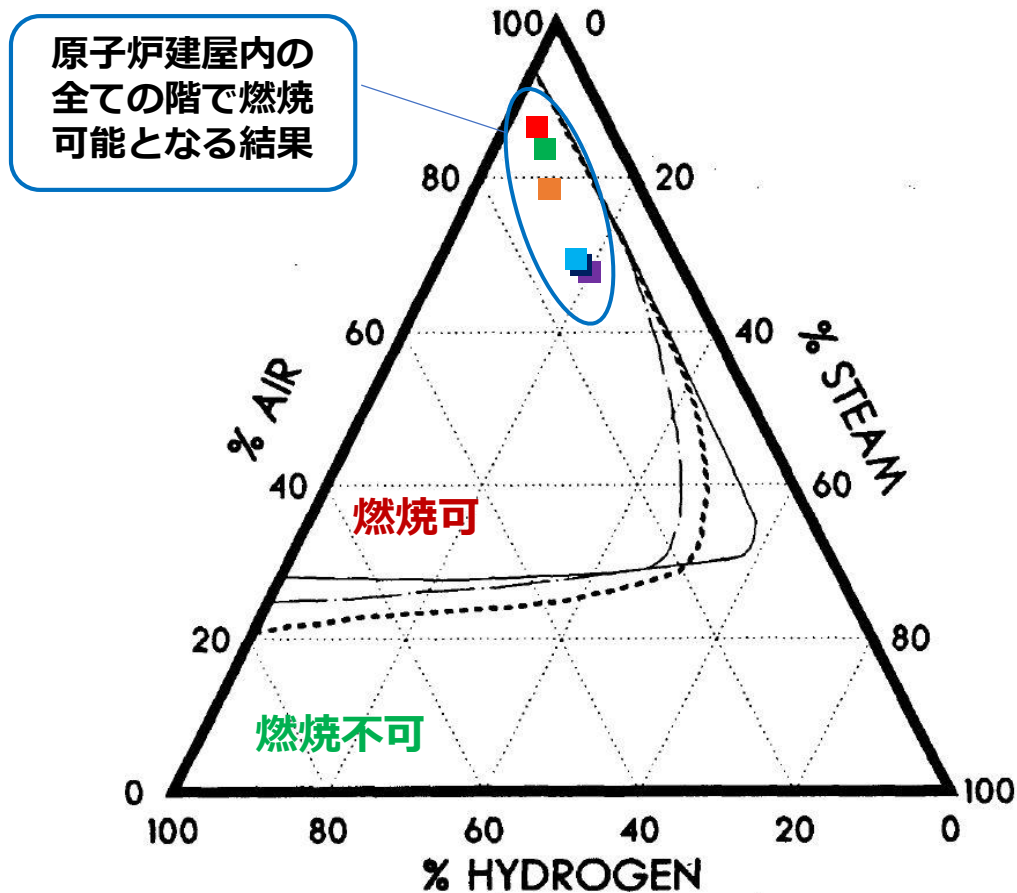
爆発発生時（3月14日11時1分）のガス組成分布の解析結果

- 連続的な漏えいにより5階が高温となり、凝縮が抑えられ、水蒸気圧が高くなった。それにより、空気が徐々に4階に押し下げられている。
- 4階は5階よりも温度が低いため、凝縮が進み、水蒸気圧は抑えられている。

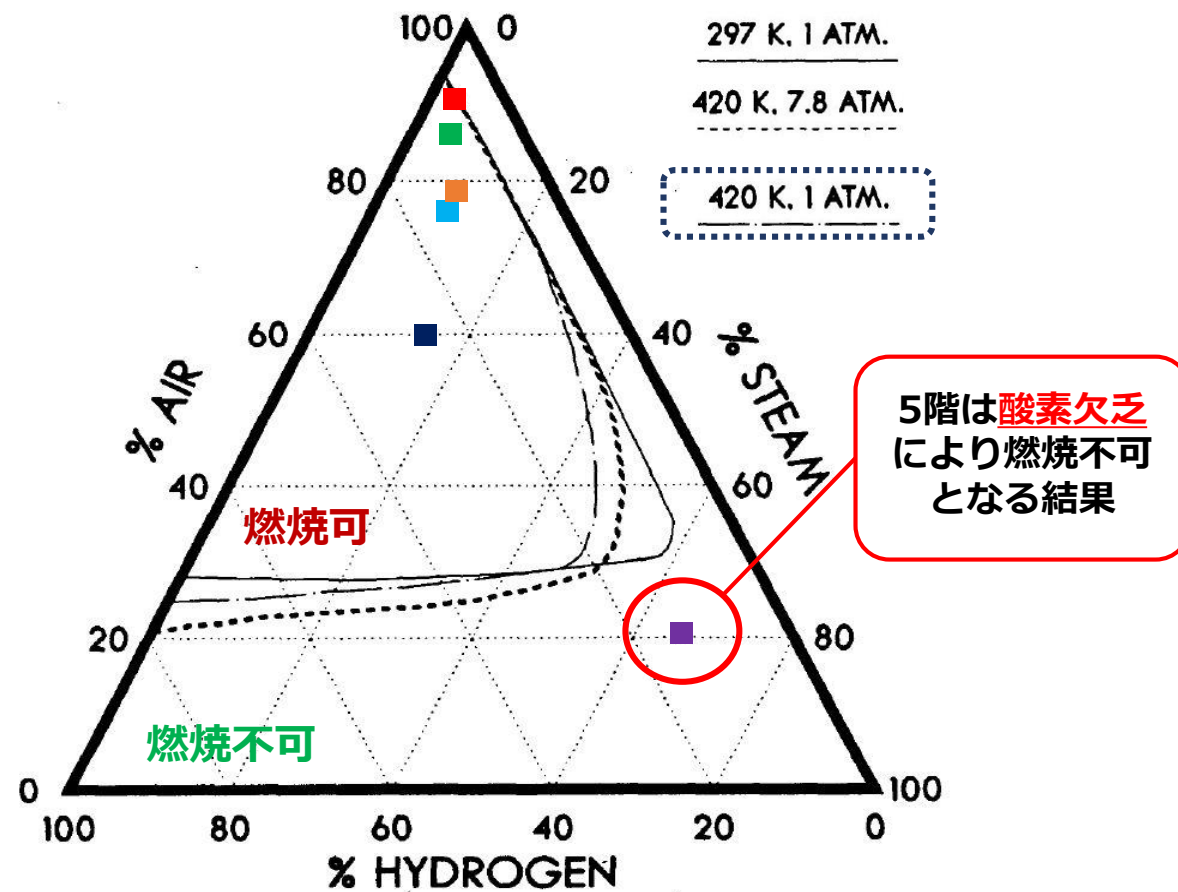
- シールドプラグ経由の漏えいの場合、5階の空気の濃度が低下する。
- 4階の水素濃度が他の階に比べて高くなる。

解析結果に基づく考察

① MSIV室経由の漏えい



② シールドプラグ経由の漏えい



爆発時（3月14日11時1分）の各階の燃焼可否の判定

解析結果に基づく考察

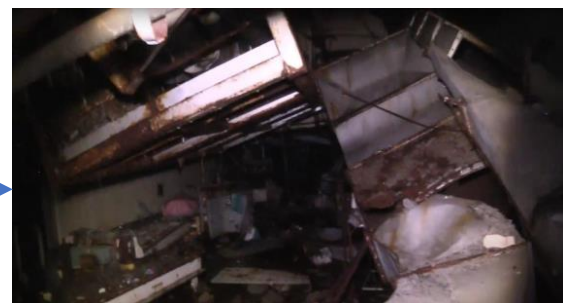
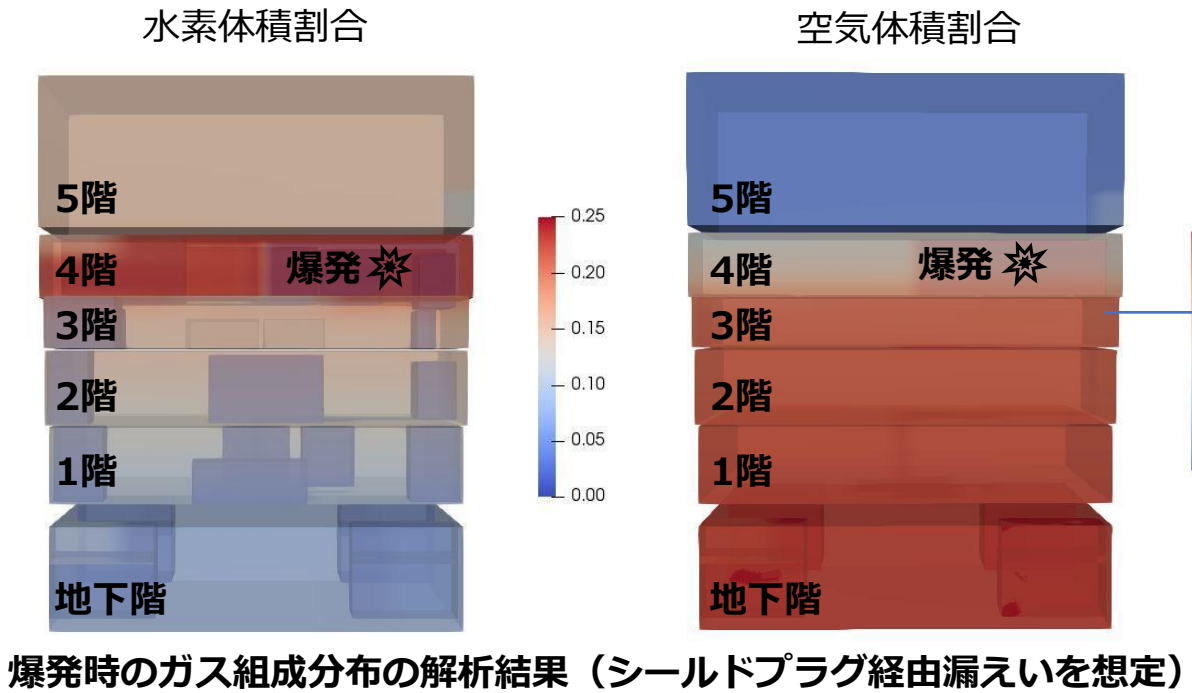
計算結果 観測事実 からの推定	① MSIV室経由の漏えい	② シールドプラグ経由の漏えい
4階で最初の爆発が発生	<p style="text-align: center;">○</p> <ul style="list-style-type: none"> 4階で爆発が起きたとしても矛盾はない 	<p style="text-align: center;">○</p> <ul style="list-style-type: none"> 4階は水素や空気の濃度が比較的高く、5階は酸素欠乏により燃焼不可となっている
多段階の爆発後も可燃性ガスが残存	<p style="text-align: center;">×</p> <ul style="list-style-type: none"> 十分な酸素があれば、爆発によってほとんどの可燃性ガスは消費されるはず 	<p style="text-align: center;">○</p> <ul style="list-style-type: none"> 酸素不足によって爆発後も可燃性ガスが消費しきれずに残っていた

解析結果に基づく考察 爆発メカニズムに関する仮説（1）



超解像処理された爆発映像 [1]

緑：超解像処理映像や現地調査による結論[1]
 赤：解析結果に基づく仮説

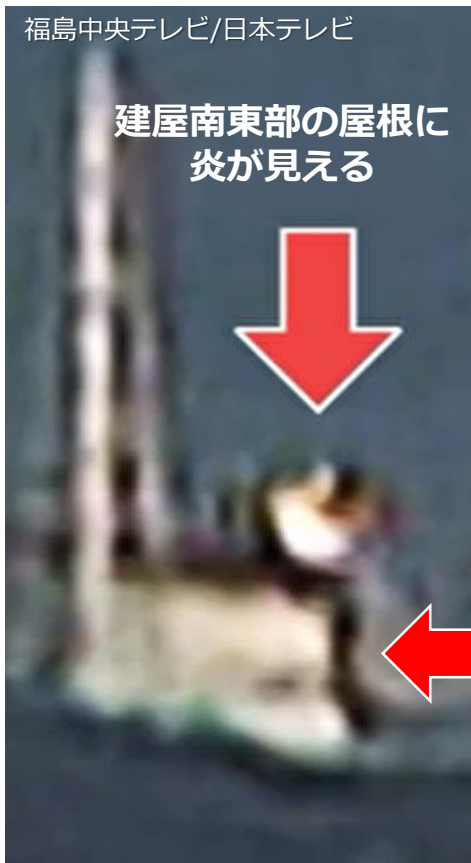


4階での爆発の衝撃で3階の天井の一部が崩落[1]

- 第一段階の爆発は4階で発生。
- この爆発は、4階に比較的高い濃度の水素と空気が存在したために生じた。

[1] 原子力規制委員会, “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～”, 2021年3月
 FDR2022 (2022年10月14日～16日, 福島県楡葉町J-village)

解析結果に基づく考察 爆発メカニズムに関する仮説（2）

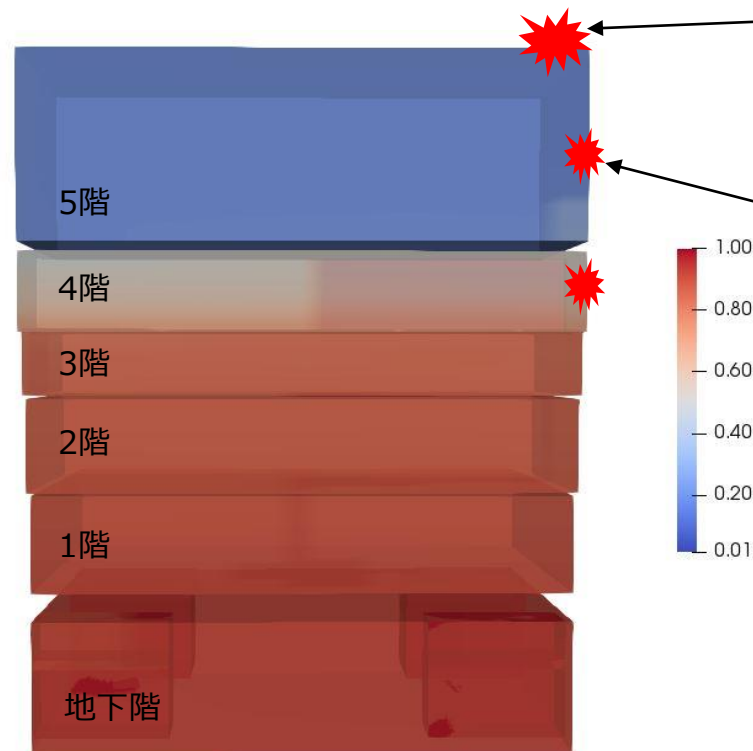


南側壁の崩落

超解像処理された爆発映像 [1]

緑：超解像処理映像や現地調査による結論[1]

赤：解析結果に基づく仮説



爆発時の空気体積割合の解析結果
(シールドプラグ経由漏えいを想定)

- 南東の屋根に裂け目が発生。
- 裂け目から流れ出た5階のガスの酸素の割合が増加して燃焼。

- 南側の壁が崩落。
- 崩落した隙間から5階に空気が供給され、5階は徐々に燃焼可能な状態に移行。

[1] 原子力規制委員会，“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～”，2021年3月

解析結果に基づく考察

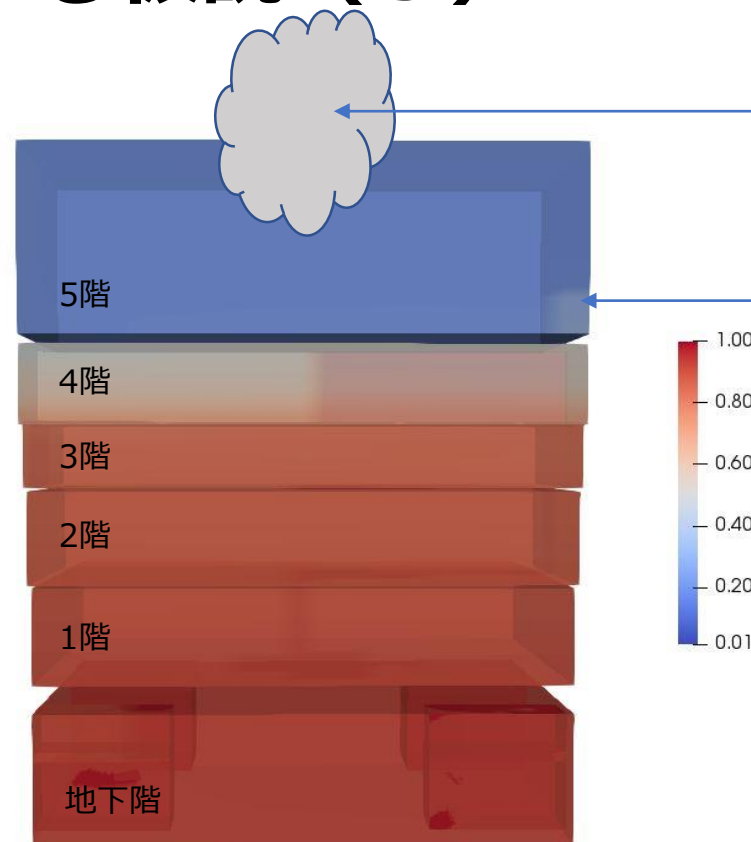
爆発メカニズムに関する仮説（3）



超解像処理された爆発映像 [1]

緑：超解像処理映像や現地調査による結論[1]

赤：解析結果に基づく仮説



爆発時の空气体積割合の解析結果
(シールドプラグ経由漏えいを想定)

- 残存した可燃性ガスが燃え続け、原子炉建屋の屋根と思われる巨大な物体が垂直に約200m吹き上げられた。

- 5階では酸素欠乏状態であったために、複数回の爆発後も可燃性ガスが残っていた。

[1] 原子力規制委員会，“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～”，2021年3月

まとめ

- 3号機原子炉建屋爆発時の漏えいガス分布を、事故後の調査結果等に基づいて2つの漏えい箇所を想定してシミュレーションした。
- MSIV室経由の漏えいを想定したケースでは、原子炉建屋全体が燃烧可能となった。シールドプラグ経由の漏えいを仮定したケースでは、5階が酸素欠乏により燃烧不可となった一方で、4階以下は燃烧可能となり、特に4階は水素濃度が高くなった。
- 超高解像度処理された爆発時の映像等とシミュレーション結果の比較から、シールドプラグ経由の漏えいを想定したケースの方が、複数回の爆発や噴煙の上昇をより良く説明できることが分かった。
- 上記の検討に基づき、爆発の進展メカニズムに関する仮説を提案した。