

さようなら原発 第21回 オンライン学習会

廃炉・解体の現状と見通し
福島第一原発の**中**はどう
なっているのか

2024年5月15日

上澤千尋

かみさわちひろ

原子力資料情報室

はなしの内容

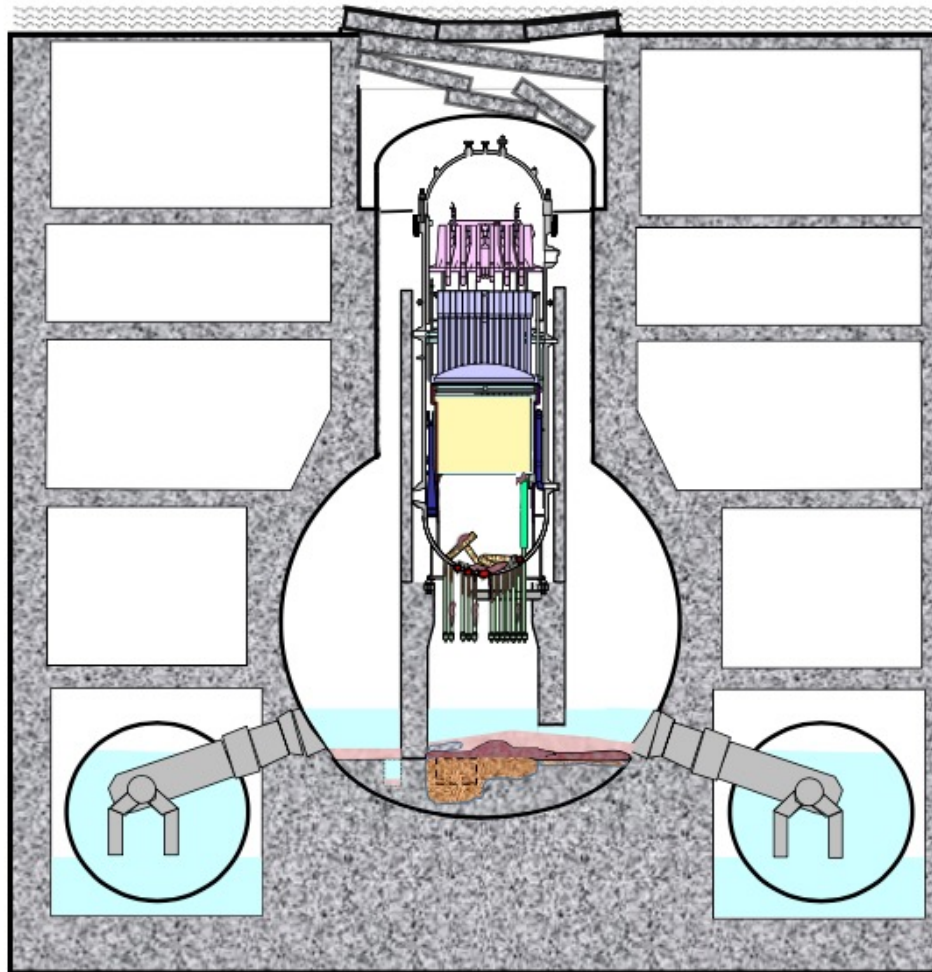
**4号炉の爆発・火災は
どのようにおきたのか？？？**

**1号炉の補機冷却系配管を
通じての汚染拡大**

(**R**eactor Building **C**losed Cooling **W**ater System)

1号炉

2018年9月推定



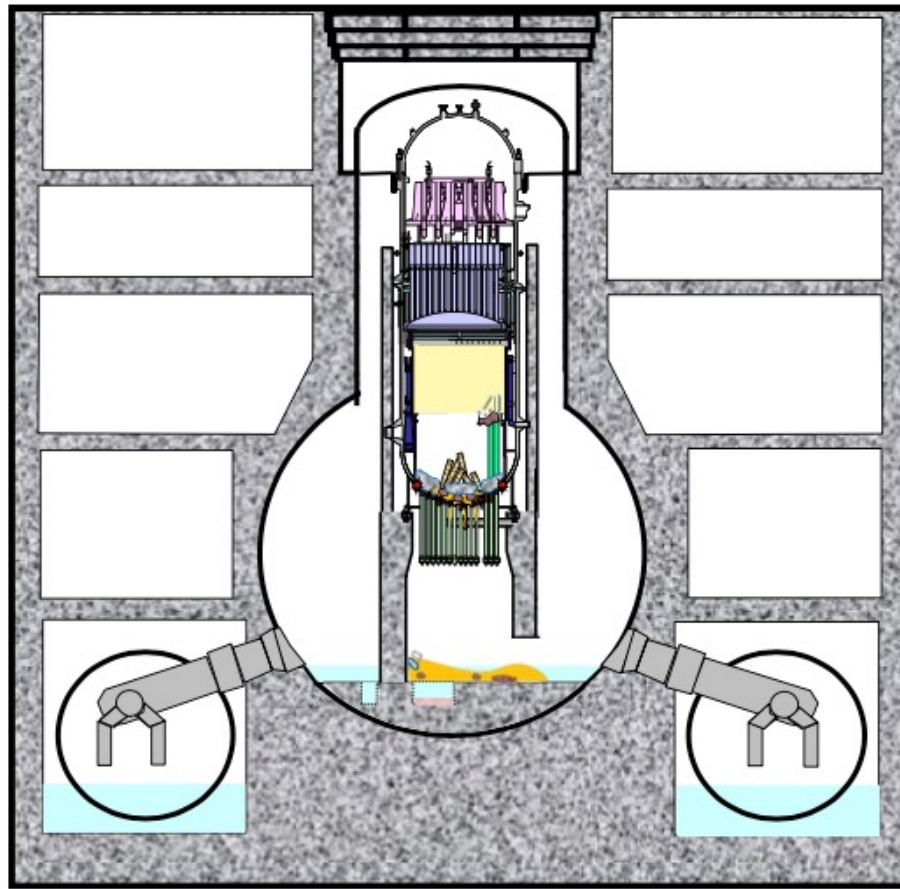
凡例

- | | | |
|--|--|---|
|  酸化物デブリ (多孔質) |  粒子状デブリ |  コンクリート混合デブリ |
|  CRGT |  破損したCRGT |  CRD |
|  CRD (内部にデブリ) |  シュラウド |  破損したシュラウド |
|  RPV破損口 |  堆積物 (材質不明) | |

図 1-1 1号機の炉心・格納容器の状況推定図

2号炉

2018年9月推定

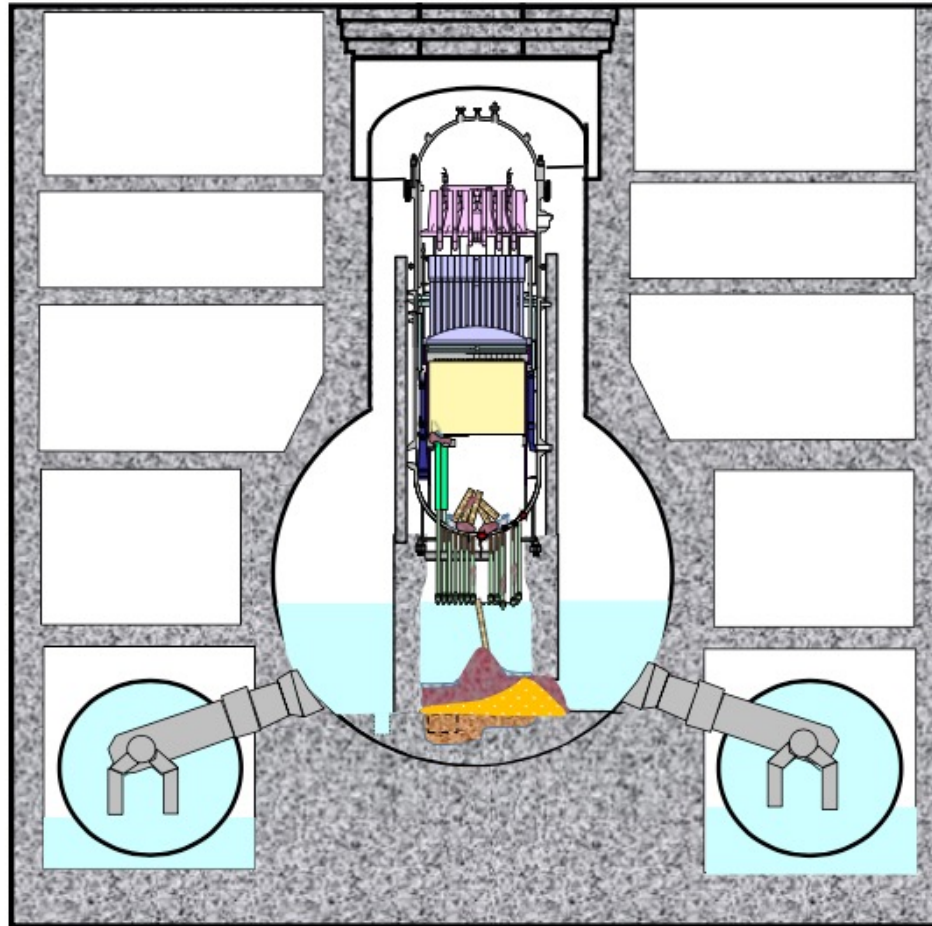


- 凡例
- | | | |
|-----------------|--------------|--------------|
| 残留燃料棒及びその残骸 | 酸化物デブリ (多孔質) | 粒子状デブリ |
| 燃料デブリ (金属を多く含む) | コンクリート混合デブリ | CRGT |
| 破損したCRGT | CRD | CRD (内部にデブリ) |
| シュラウド | ペレット | RPV破損口 |
| 上部タイプレート | 堆積物 (材質不明) | |

図 1-2 2号機の炉心・格納容器の状況推定図

3号炉

2018年9月推定



凡例

- | | | |
|----------------|-------------|-------------|
| 残留燃料棒及びその残骸 | 酸化物デブリ（多孔質） | 粒子状デブリ |
| 燃料デブリ（金属を多く含む） | コンクリート混合デブリ | CRGT |
| 破損したCRGT | CRD | CRD（内部にデブリ） |
| シュラウド | ベレット | RPV破損口 |

図 1-3 3号機の炉心・格納容器の状況推定図

**4号炉の爆発・火災は
どのようにおきたのか
→まだよくわかっていない**

第36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 事故分析の中間取りまとめ(2023年版) , 2023年03月07日

(1) 福島原子力事故調査報告書¹

東京電力ホールディングス株式会社が平成 24 年 6 月に公表した「福島原子力事故調査報告書」には、4 号機原子炉建屋内の火災について、以下の記載がある。(括弧内の記載は、文章をわかりやすくするために加筆した内容である。)

① 本文 p204～205

(2011 年 3 月) 15 日 9 時 38 分には (4 号機) 原子炉建屋 3 階コーナー付近で火災が発生していることが確認されたが、同日 11 時頃、自然に火が消えていることを確認した。また、(2011 年 3 月) 16 日 5 時 45 分頃にも、原子炉建屋 4 階北西部付近で炎が上がっているとの連絡があったが、同日 6 時 15 分頃、現場で火は確認できな

第36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 事故分析の中間取りまとめ(2023年版) , 2023年03月07日

かった。

② 別紙2 p111～112

平成23年3月15日(火)

9:38 4号機の原子炉建屋3階北西コーナー付近より火災が発生していることを確認、9:56 官庁等に連絡

11:00 頃 4号機の原子炉建屋の火災について、当社社員が現場確認をしたところ、自然に火が消えていることを確認、11:45 官庁等に連絡

③ 添付資料 添付5-7 (10/11)

2011年3月15日(火)

10時50分プレス発表

福島第一4号機建屋損傷(第二報)

・9:38 頃4階北西部付近にて出火を確認

13時15分プレス発表

福島第一4号機建屋損傷(第三報)

・11時頃、自然鎮火確認

第36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 事故分析の中間取りまとめ(2023年版), 2023年03月07日

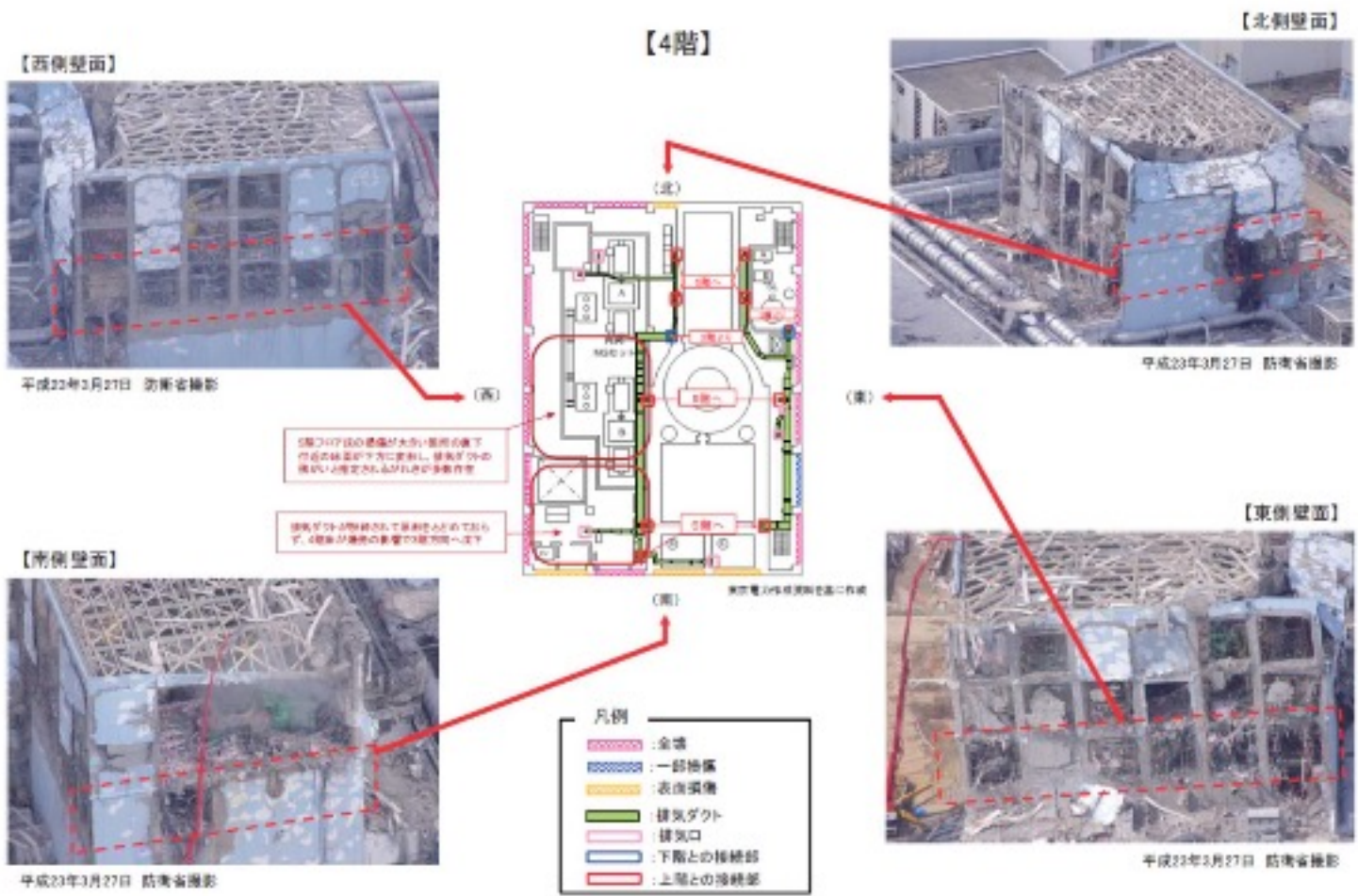


図1 4号機原子炉建屋の損傷状況⁶

第36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 事故分析の中間取りまとめ(2023年版) , 2023年03月07日



図2 2011年3月15日の4号機原子炉建屋の状況(その1)⁷

第36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 事故分析の中間取りまとめ(2023年版) , 2023年03月07日



図3 2011年3月15日の4号機原子炉建屋の状況(その2)⁸

第36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

事故分析の中間取りまとめ(2023年版), 2023年03月07日



図4 東京電力ホールディングス株式会社による公表資料
(2013年7月17日提出資料から抜粋)

第36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 事故分析の中間取りまとめ(2023年版) , 2023年03月07日

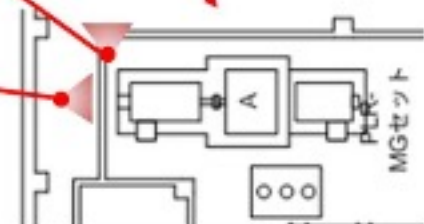
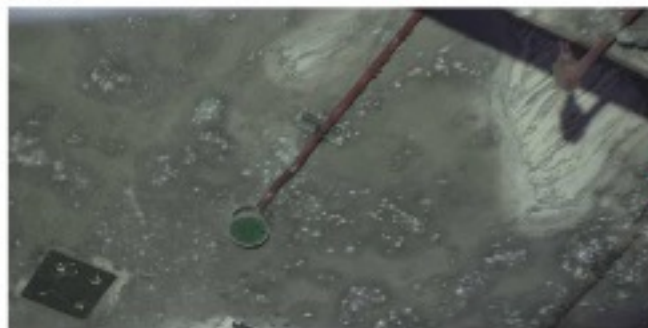
(天井付近)



天井、天井付近の壁面に焦げ、煤等、
燃焼の痕跡は確認できない



(天井)



写真は、いずれも2022年2月17日に原子力規制庁撮影

図5 天井及び天井付近の状況

第36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 事故分析の中間取りまとめ(2023年版) , 2023年03月07日



図6 柱の状況

第36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 事故分析の中間取りまとめ(2023年版) , 2023年03月07日

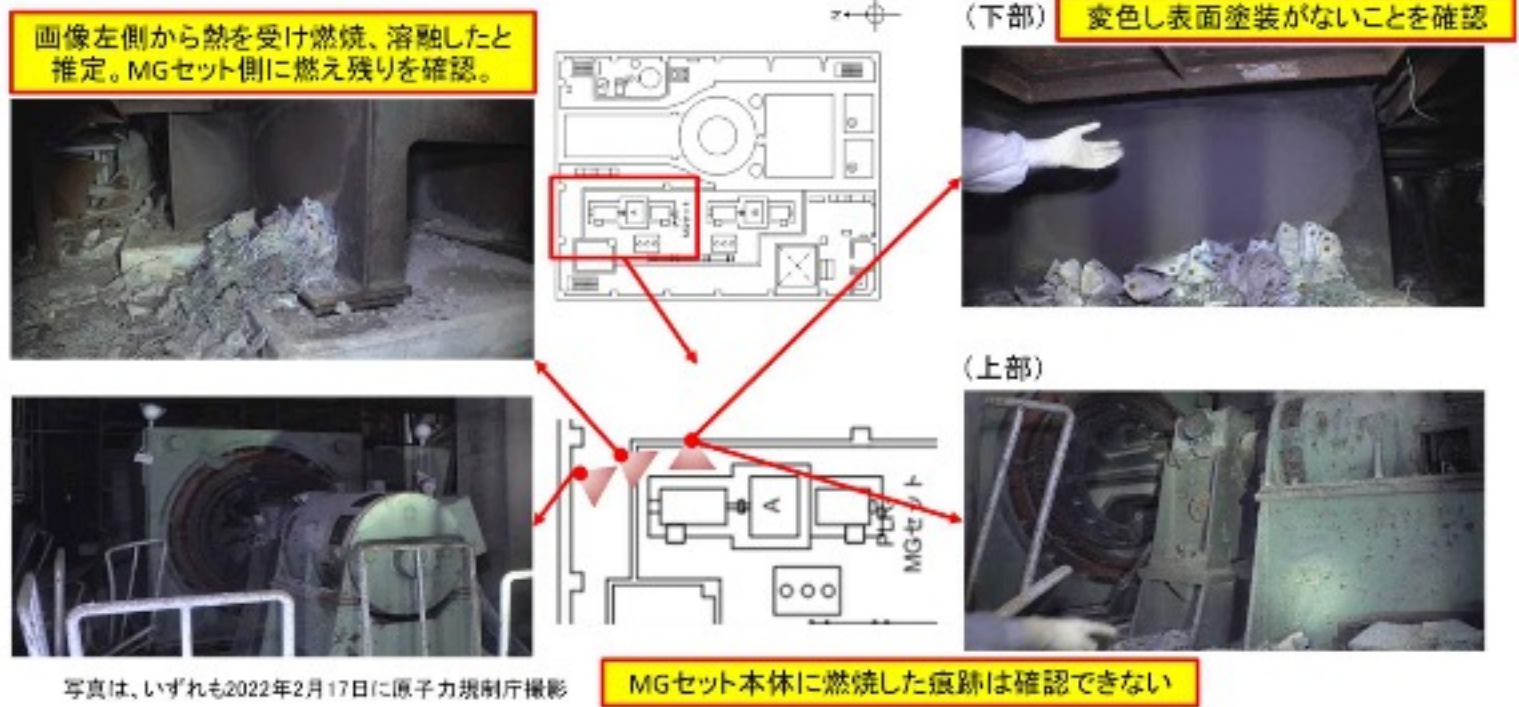


図7 MGセット(A)の北側の状況

第36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 事故分析の中間取りまとめ(2023年版) , 2023年03月07日



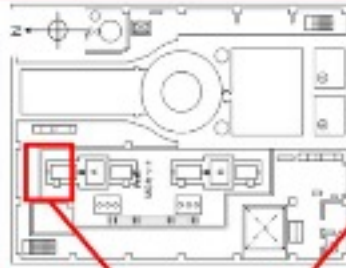
2022年2月17日原子力規制庁撮影

図8 MGセット(A)の支持構造物の状況

第36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 事故分析の中間取りまとめ(2023年版) , 2023年03月07日

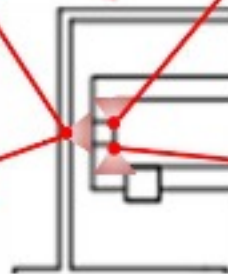
下部構造の上部、正面には変色がなく、塗装が残っていることを確認したことから、
当該箇所では燃焼が起きていなかったと推定

(上部)



下部構造の左右壁面の変色を確認

(正面)



写真は、いずれも2022年2月17日に原子力規制庁撮影

図9 MGセット(A)の北側の下部構造(内側)の状況

第36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 事故分析の中間取りまとめ(2023年版) , 2023年03月07日



写真は、いずれも2022年2月17日に原子力規制庁撮影

図10 MGセット(A)の西側(下部構造及びホース)の状況

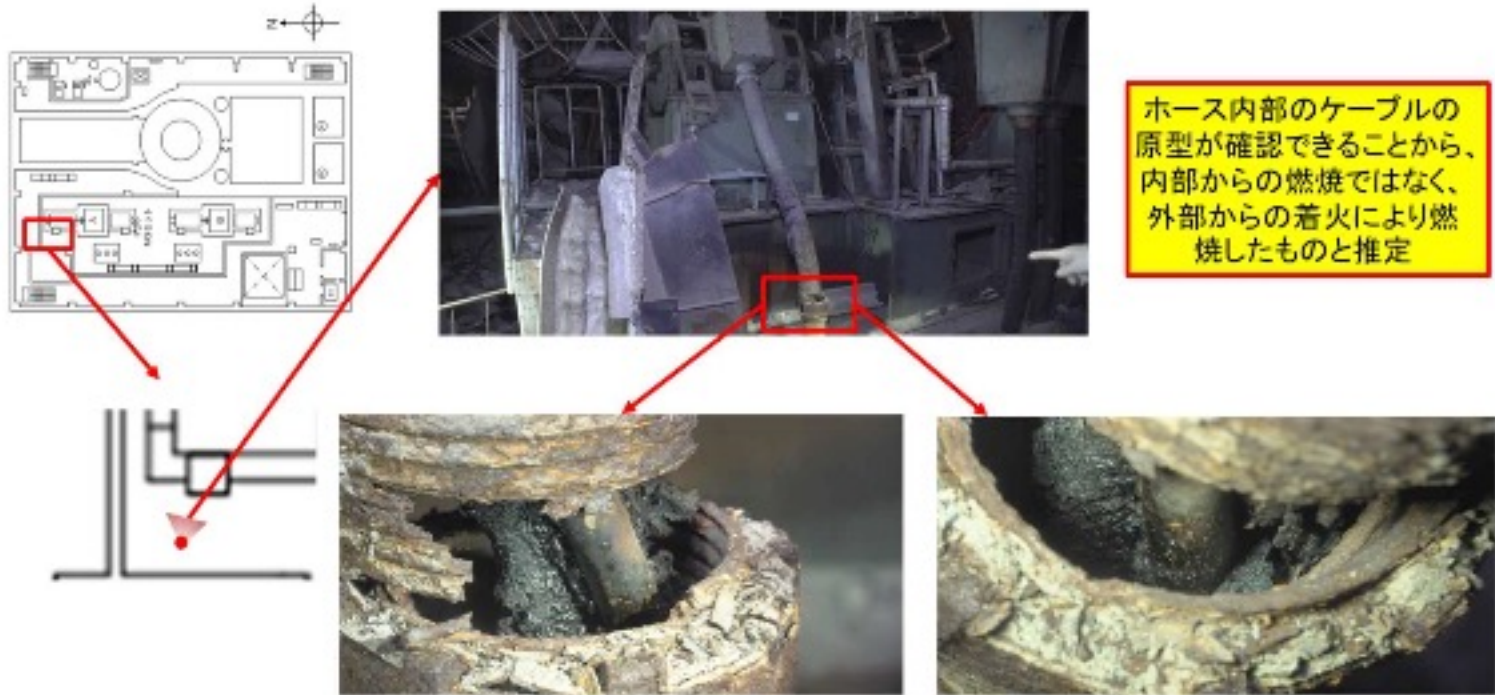
第36回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 事故分析の中間取りまとめ(2023年版) , 2023年03月07日



写真は、いずれも2022年2月17日に原子力規制庁撮影

図 1 1 MG セット (A) の西側 (下部構造及びコンクリート基礎) の状況

第36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 事故分析の中間取りまとめ(2023年版) , 2023年03月07日



写真は、いずれも2022年2月17日に原子力規制庁撮影

図 1 2 MG セット (A) の西側 (ホース内部) の状況

(2) 4号機原子炉建屋 (2023年4月12日)

(2) 4号機原子炉建屋

(1) 目的

東京電力福島第一原子力発電所事故における水素爆発による原子炉建屋への影響の理解に資するために、4号機原子炉建屋内の調査を行う。

(2) 場所

4号機原子炉建屋

(3) 調査日

2023年4月12日

(4) 調査実施者

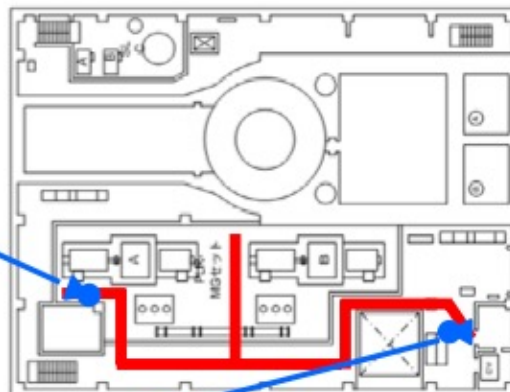
外部有識者 3名(大阪大学 村田教授、佐藤教授、牟田教授)
原子力規制庁職員 3名

(5) 被ばく線量

最大: 0.06 mSv、最小: 0.04mSv

※被ばく線量[mSv]の最大、最小は、調査実施者のうち、最も被ばく線量の高い人の値と低い人の値を1日の合計値として示した。

4号機原子炉建屋4階の確認状況

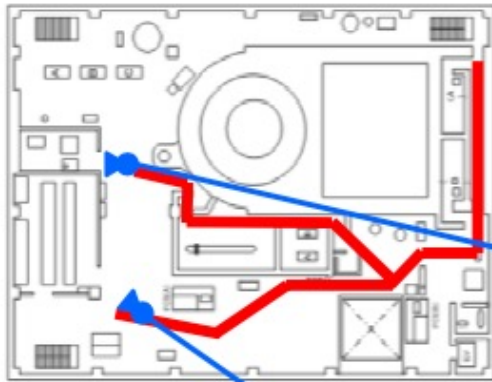


現地調査ルート
(令和5年4月12日)

写真は、いずれも2023年4月12日原子力規制庁撮影



4号機原子炉建屋3階の確認状況



現地調査ルート
(令和5年4月12日)



写真は、いずれも2023年4月12日原子力規制庁撮影

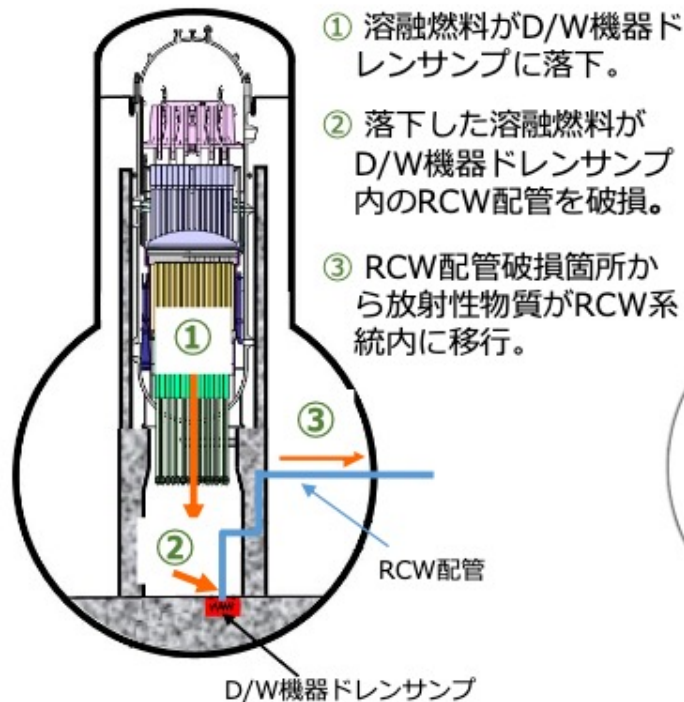
図は、東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会第10回会合資料3より抜粋、一部加工

1号炉の補機冷却系配管を 通じての汚染拡大

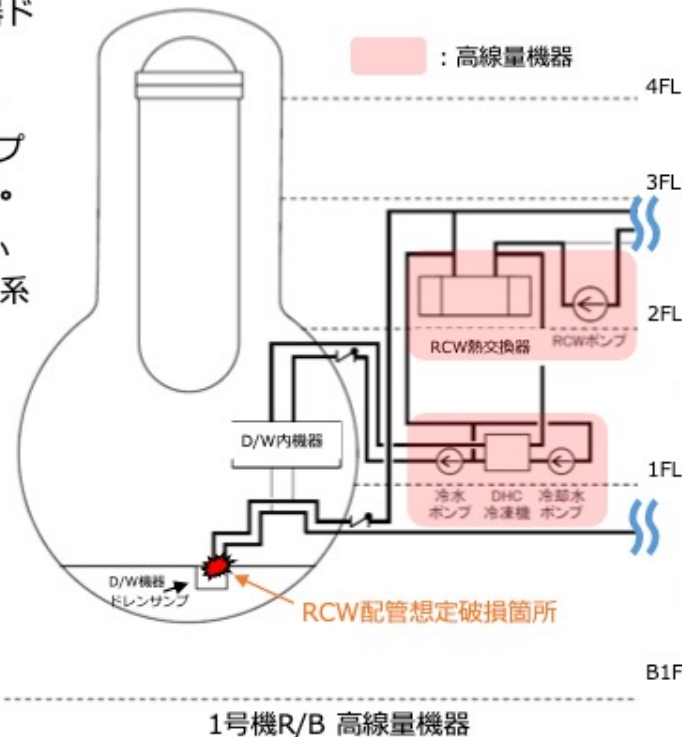
(Reactor Building Closed Cooling Water System)

【参考2】 RCW系統の汚染経緯

- 1号機RCW系統は、事故時にD/W機器ドレンサンブを冷却するRCW配管が破損したことで、放射性物質がRCW配管内に移行し、高線量化したと推定されている。



RCW系統が高線量に至った経緯（推定）



DHC設備ガンマカメラ測定画像

※ D/W(Drywell) : ドライウェル PCV(Primary Containment Vessel) : 原子炉格納容器

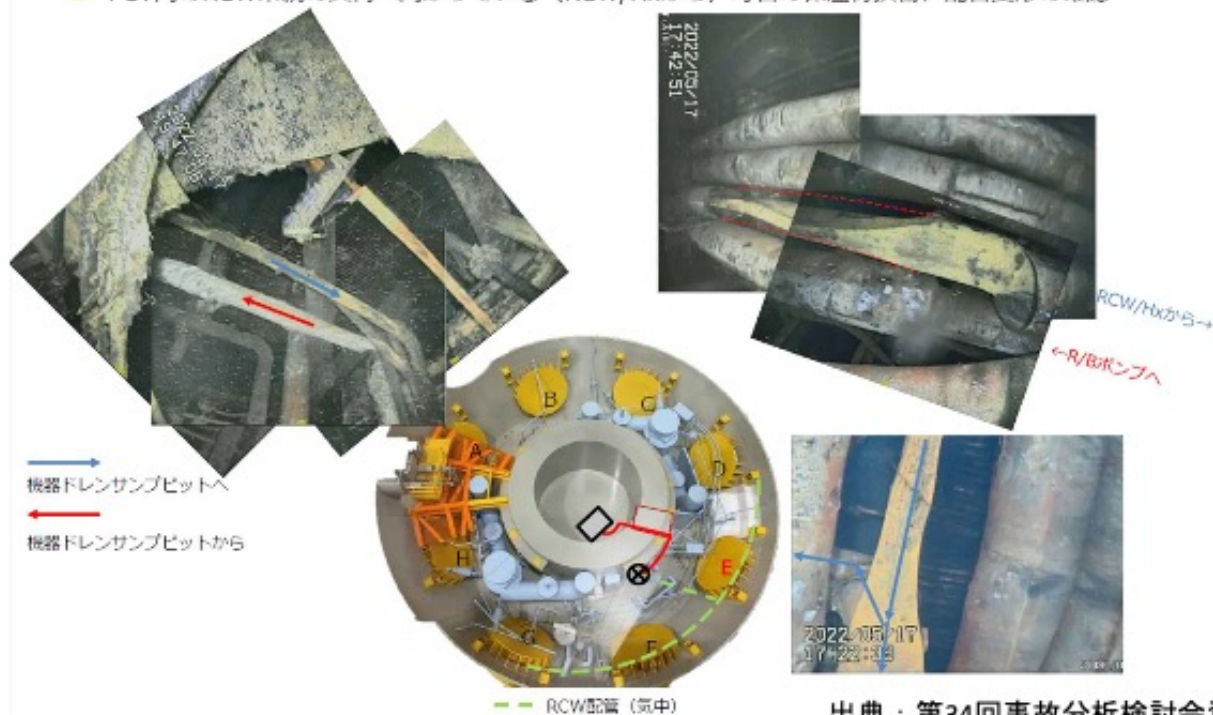
RCW配管の損傷状況について

2023年3月7日

東京電力福島第一原子力発電所事故対策室

RCW配管の損傷状況について（気中）

- 機器ドレンサンプルピットへ向かっているRCW配管の顕著な保温材被覆の損傷、配管の変位
- PCV内のRCW系統の負荷へ向かっている（RCW/Hxから）母管の保温材損傷、配管変形の確認



出典：第34回事故分析検討会資料1-2（P.2）

第36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

RCW配管の損傷状況（下から撮影されたもの）



出典：東京電力が原子力情報コーナーにおいて公開している動画より抜粋

1号機原子炉補機冷却系統の汚染状況

2023年6月22日

東京電力福島第一原子力発電所事故対策室

1号機原子炉補機冷却系統の現地調査

(1) 目的

1号機原子炉補機冷却系統(RCW系統)の熱交換器付近での水素滞留事象に関して、RCW系統のうちの4階にあるRCWサージタンクオーバーフロー配管～下階(3階)に敷設されているドレン配管、及び1階南側フロアに敷設されているRCW系配管の汚染状況を確認する。

(2) 場所 1号機原子炉建屋

(3) 調査日 2023年6月1日

(4) 調査実施者

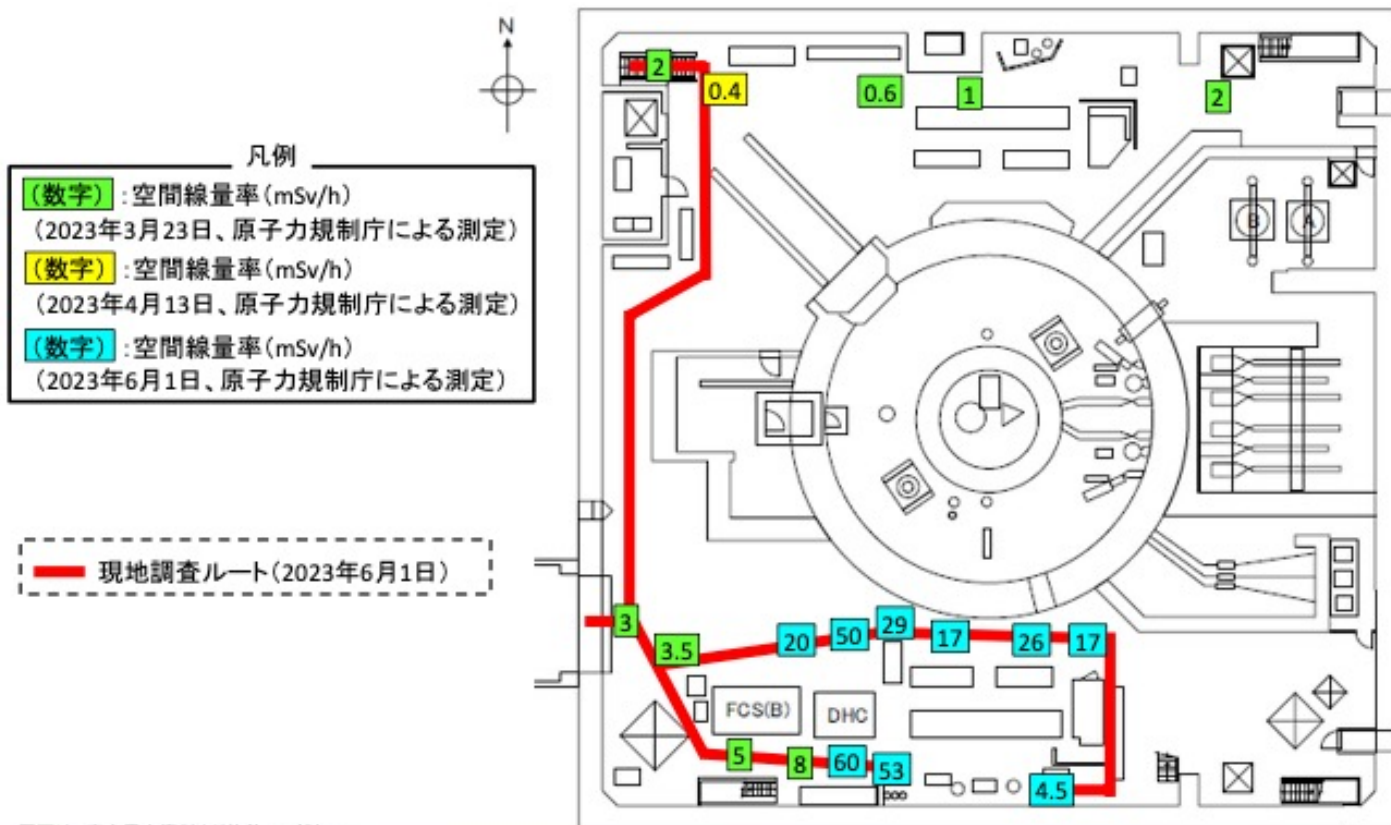
原子力規制庁職員 5名

(5) 被ばく線量

最大: 2.68mSv、最小: 2.32mSv

※被ばく線量[mSv]の最大、最小は、調査実施者のうち、最も被ばく線量の高い人の値と低い人の値を1日の合計値として示した。

調査ルート(1号機原子炉建屋1階)



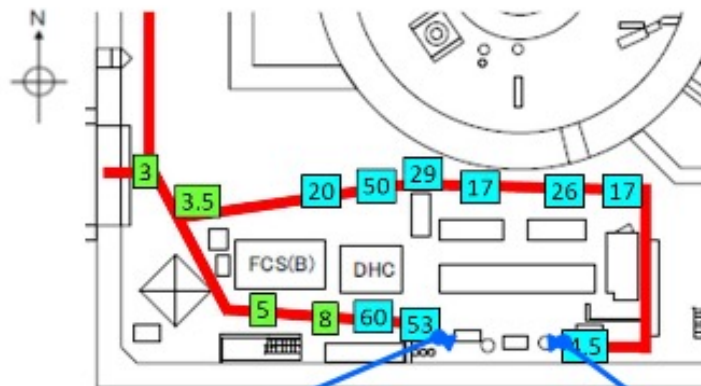
第38回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会



調査状況(1号機原子炉建屋1階)

- 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)
 - (数字) : 空間線量率 (mSv/h)
(2023年6月1日、原子力規制庁による測定)

— 現地調査ルート(2023年6月1日)



図面は、東京電力資料より抜粋、一部加工



写真は、いずれも2023年6月1日原子力規制庁撮影

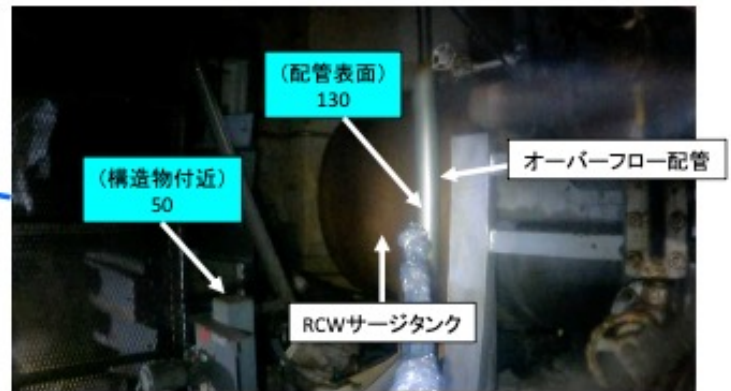
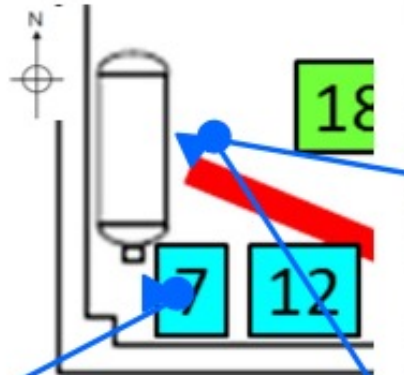
第38回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会



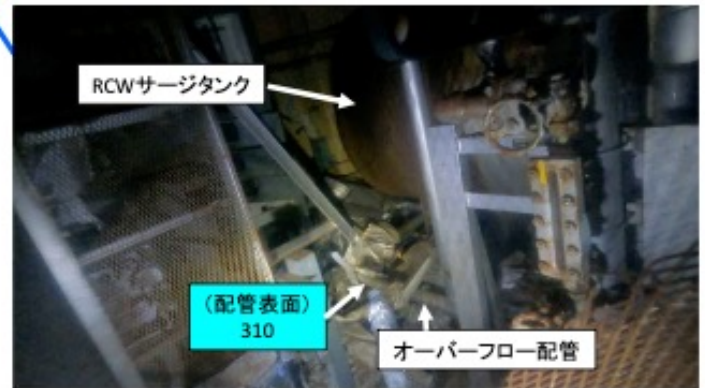
調査状況(1号機原子炉建屋4階:RCWサージタンクオーバーフロー配管)

- 凡例
- (数字) : 線量率 (mSv/h)
(2023年3月23日、原子力規制庁による測定)
 - (数字) : 線量率 (mSv/h)
(2023年4月13日、原子力規制庁による測定)
 - (数字) : 線量率 (mSv/h)
(2023年6月1日、原子力規制庁による測定)
- ※図中:空間線量率、画像中:表面線量率

— 現地調査ルート(2023年6月1日)



図面は、東京電力資料より抜粋、一部加工



写真は、いずれも2023年6月1日原子力規制庁撮影

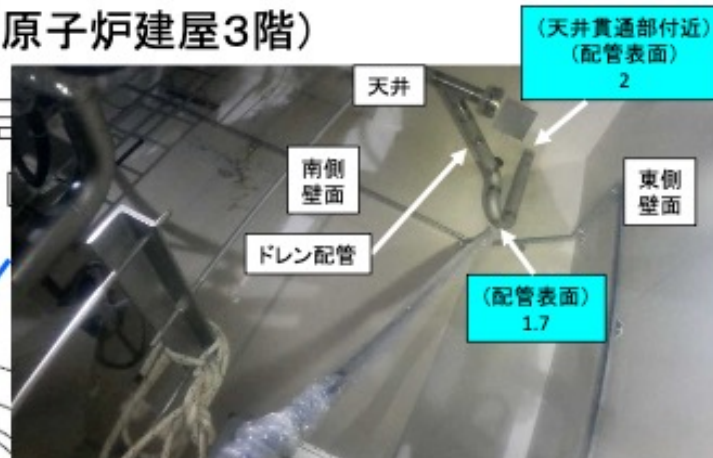
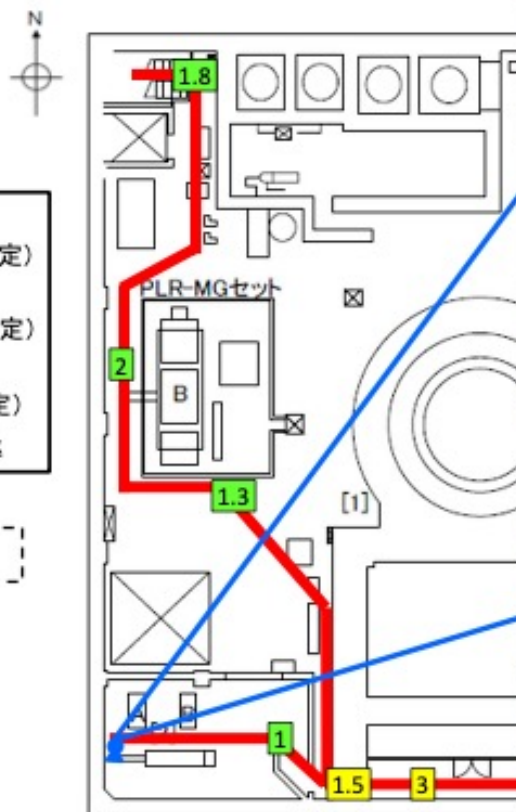
第38回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会



調査ルート及び調査状況(1号機原子炉建屋3階)

- 凡例
- (数字) : 線量率 (mSv/h)
(2023年3月23日、原子力規制庁による測定)
 - (数字) : 線量率 (mSv/h)
(2023年4月13日、原子力規制庁による測定)
 - (数字) : 線量率 (mSv/h)
(2023年6月1日、原子力規制庁による測定)
- ※図中: 空間線量率、画像中: 表面線量率

— 現地調査ルート(2023年6月1日) —

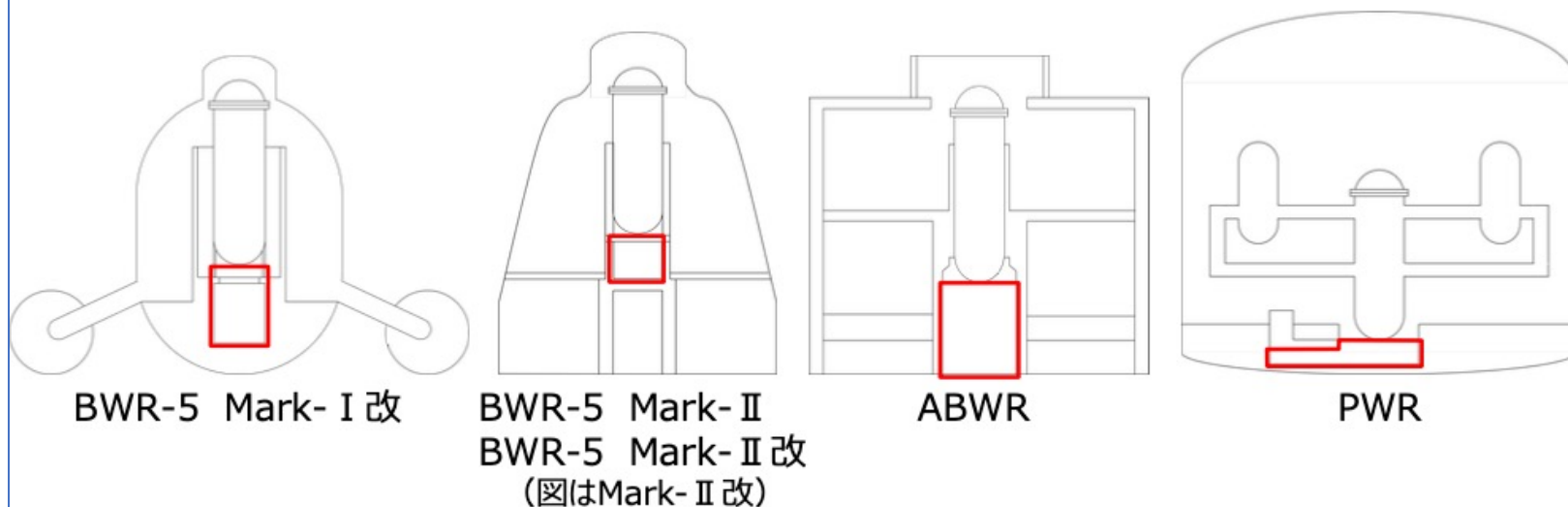


図面は、東京電力資料より抜粋、一部加工

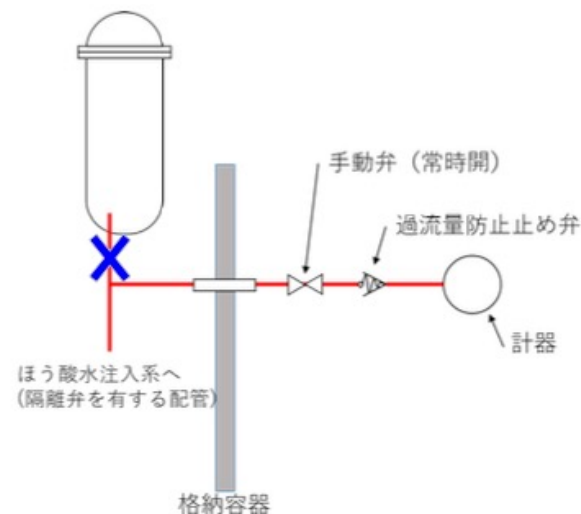
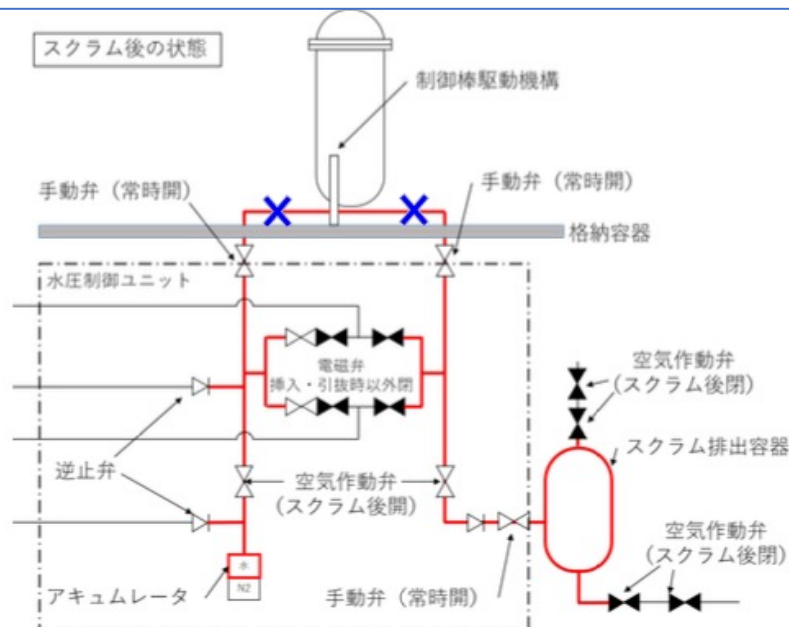
写真は、いずれも2023年6月1日原子力規制庁撮影

3. 調査① 落下するデブリの直接的な影響を受ける可能性がある範囲

原子炉圧力容器から落下するデブリの直接的な影響を受ける可能性がある範囲は、原子炉圧力容器の下部で、かつ壁面・床面で区画された空間であり、BWRではペDESTAL内（ABWR以外）または下部ドライウェル内（ABWR）、PWRでは原子炉下部キャビティ内が該当する。（下図参照）



赤枠内：落下するデブリの直接的な影響を受ける可能性がある範囲



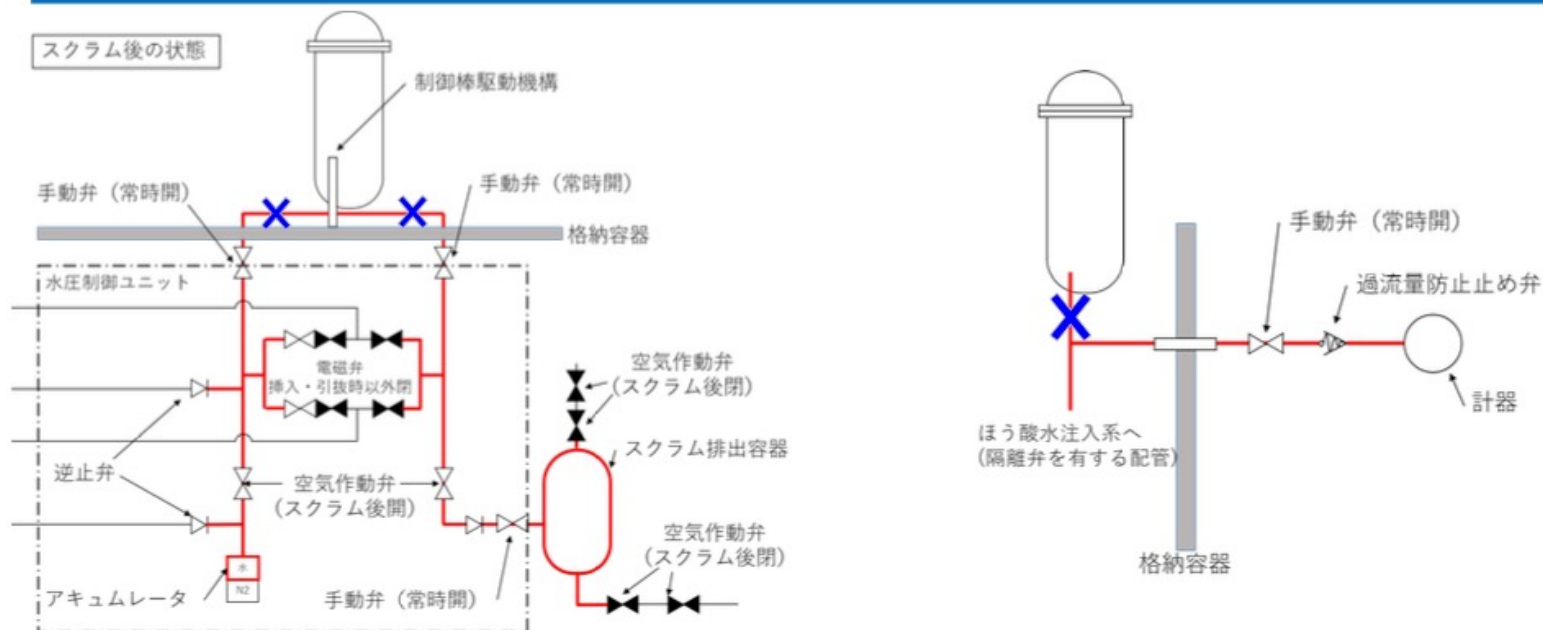
【制御棒駆動系挿入引抜配管】(BWRの例)

水圧制御ユニットの逆止弁・アキュムレータ・電磁弁、スクラム排出容器により、閉じた系であり、弁等を含めて炉圧以上の圧力を前提とした設計である。また、配管は小口径であり、格納容器から水圧制御ユニットに至るまでの配管の長さを考慮すると、配管からの放熱により、これらの弁等がSA環境のような厳しい環境になることはなく、構造健全性は確保されと考えられる。

【計装配管】(炉内圧力計装配管の例)

計器までの配管であり、閉じた系となっている。また、計装配管は計器を含めて運転中の炉水温度・炉圧を前提とした設計である。

3. 調査① BWRの調査結果 (まとめ)



【制御棒駆動系挿入引抜配管】(BWRの例)

水圧制御ユニットの逆止弁・アクムレータ・電磁弁、スクラム排出容器により、閉じた系であり、弁等を含めて炉圧以上の圧力を前提とした設計である。また、配管は小口径であり、格納容器から水圧制御ユニットに至るまでの配管の長さを考慮すると、配管からの放熱により、これらの弁等がSA環境のような厳しい環境になることはなく、構造健全性は確保されと考えられる。

【計装配管】(炉内圧力計装配管の例)

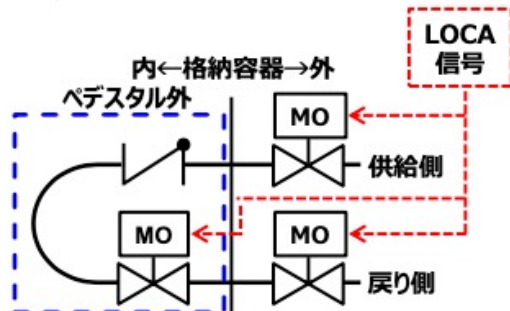
計器までの配管であり、閉じた系となっている。また、計装配管は計器を含めて運転中の炉水温度・炉圧を前提とした設計である。

3. 調査① BWRの調査結果 (RCW配管のまとめ)

当該知見の起因となった配管であるRCW配管の調査結果を以下にまとめる。

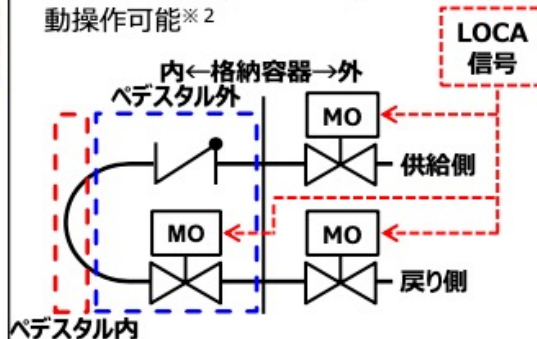
BWR-5 (Mark-I 改)

- ・配管はペDESTAL外のみを通過
- ・供給配管内側を逆止弁、供給配管外側・戻り配管内側／外側を電動弁で構成
- ・電動弁は非常用電源から電源供給（新規制基準適合後は、非常用電源喪失時には代替交流電源設備により電源供給可能）
- ・電動弁はLOCA信号で自動隔離及び遠隔手動操作可能※¹



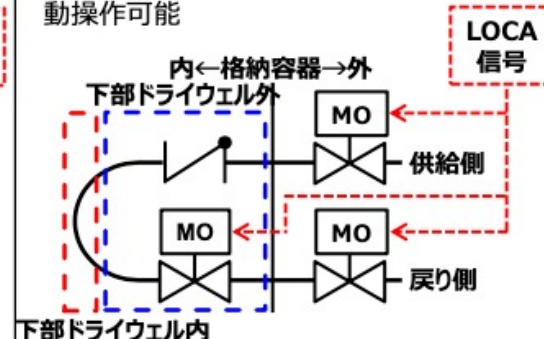
BWR-5 (Mark-II・Mark-II改)

- ・配管の一部はペDESTAL内を通過（機器ドレンサンブ冷却）
- ・供給配管内側を逆止弁、供給配管外側・戻り配管内側／外側を電動弁で構成※²
- ・電動弁は非常用電源から電源供給（新規制基準適合後は、非常用電源喪失時には代替交流電源設備により電源供給可能）
- ・電動弁はLOCA信号で自動隔離及び遠隔手動操作可能※²



ABWR (RCCV)

- ・配管の一部は下部ドライウェル内を通過（低電導度廃液サンブ冷却）
- ・供給配管内側を逆止弁、供給配管外側・戻り配管内側／外側を電動弁で構成
- ・電動弁は非常用電源から電源供給（新規制基準適合後は、非常用電源喪失時には代替交流電源設備により電源供給可能）
- ・電動弁はLOCA信号で自動隔離及び遠隔手動操作可能

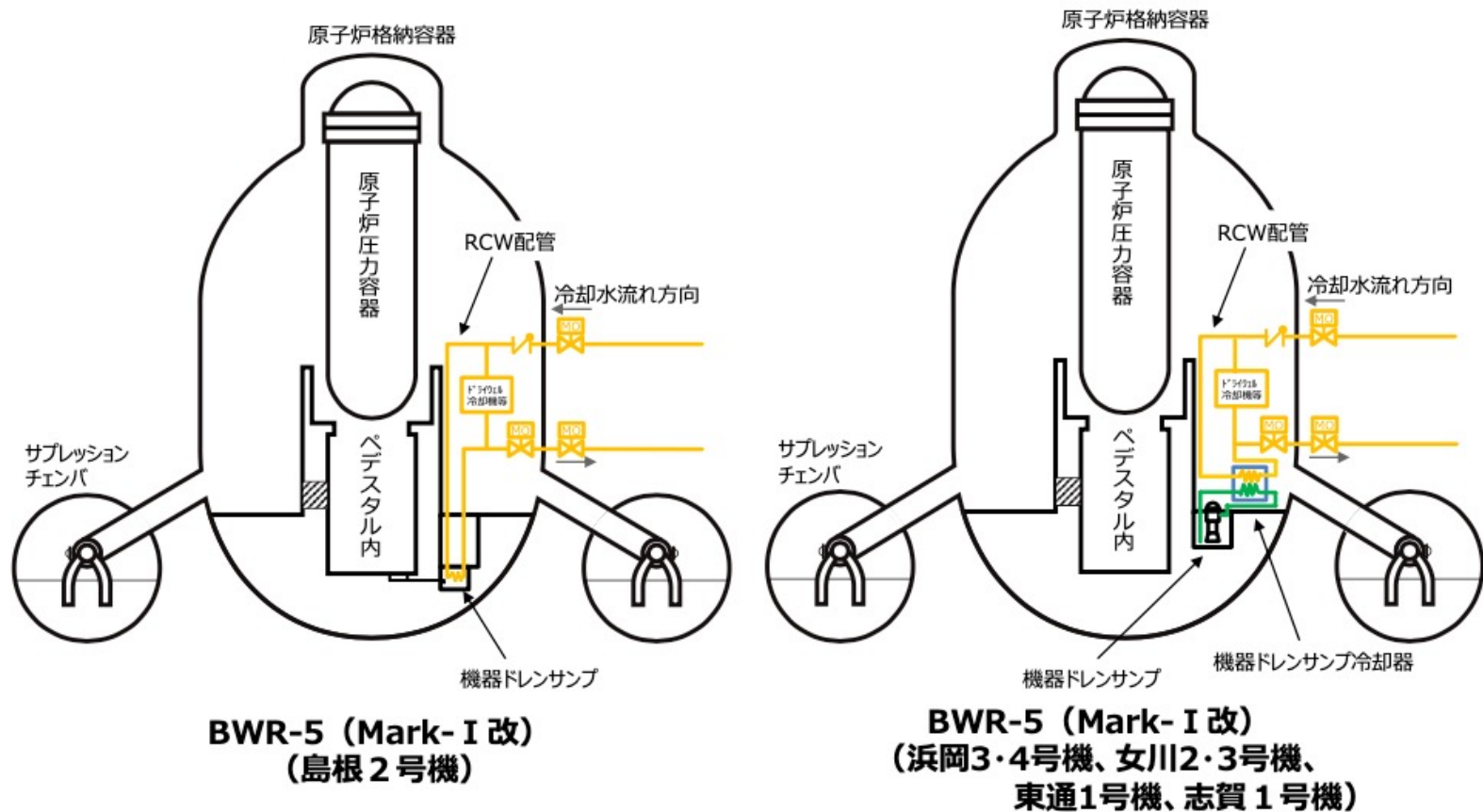


※¹：志賀1号機、島根2号機は、LOCA信号による自動隔離機能を有していないが、RCW配管はペDESTAL外のみを通過していることから、デブリの影響を受けない。

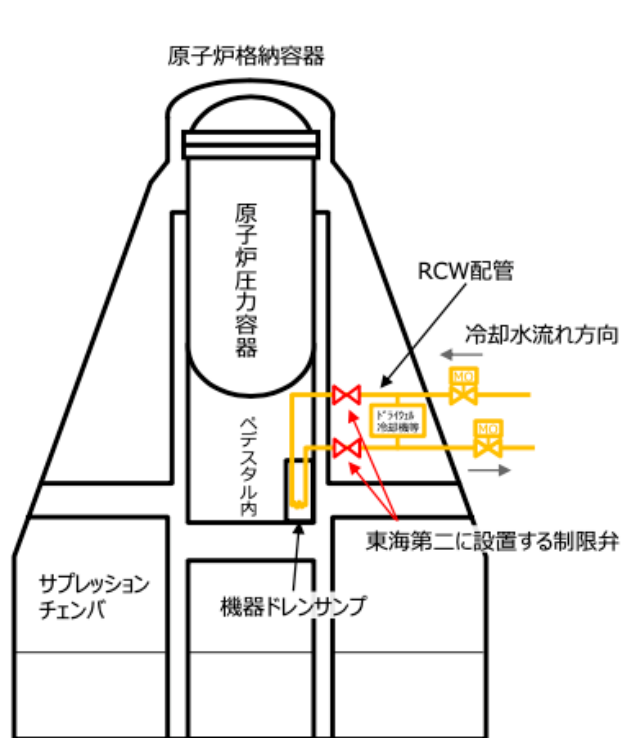
※²：Mark-IIは格納容器内側隔離弁及びLOCA信号による自動隔離機能を有していない（遠隔手動操作は可能）が、東海第二では新規制基準対応にて事故時にペDESTAL内への水の流入を制限するための弁をペDESTAL外に設置し、LOCA信号で自動閉することとしている。（21ページ参照）

プラント型式によってはRCW配管の一部がペDESTAL（下部ドライウェル）を通過しているものの、いずれのプラントも隔離弁が設置されており、前述の理由から格納容器外（原子炉建屋）へのリークパスとなることはないと考えられる。

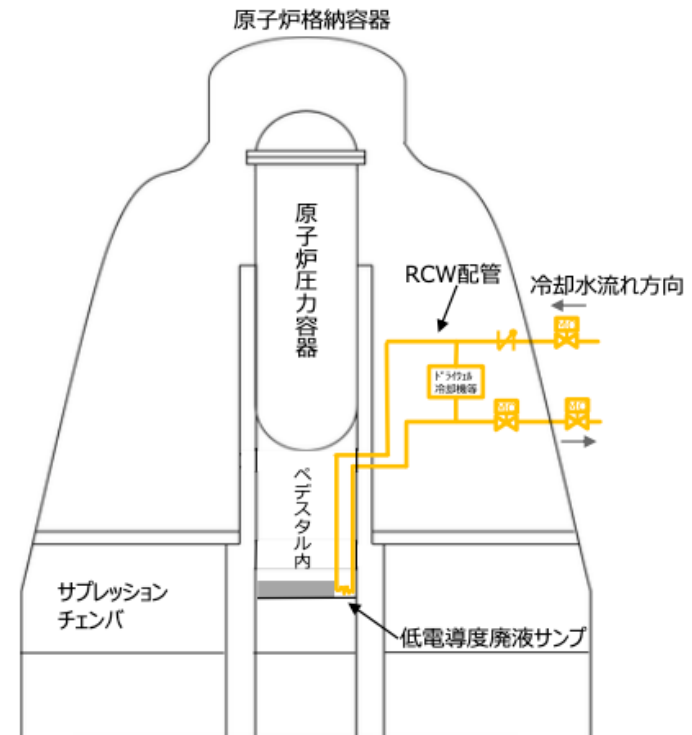
3. 調査① BWRの調査結果 (格納容器内のRCW配管の設置状況)



3. 調査① BWRの調査結果 (格納容器内のRCW配管の設置状況)

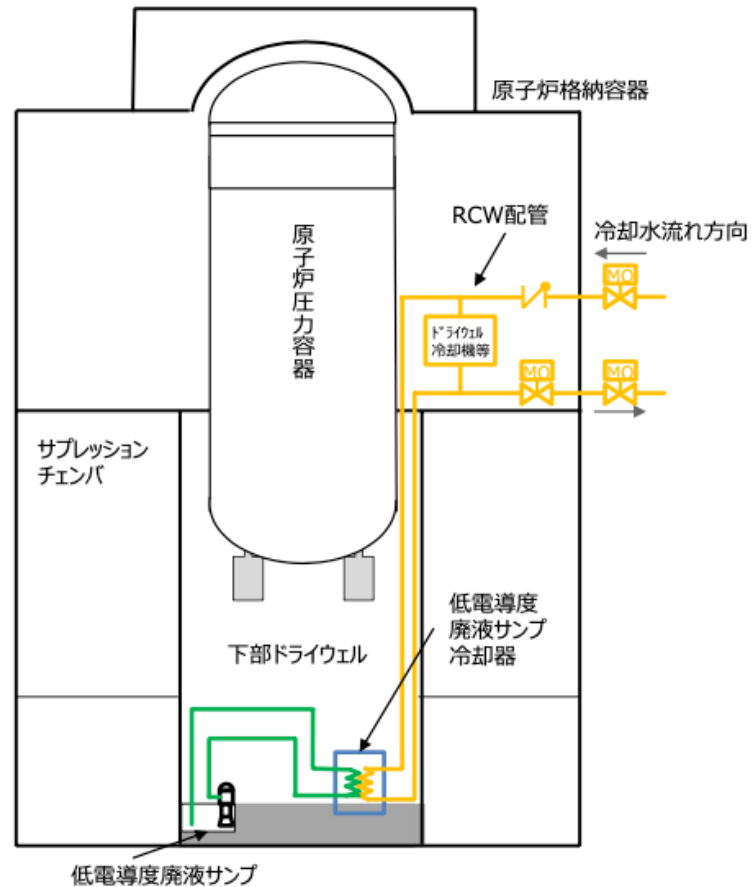


BWR-5 (Mark-II)



BWR-5 (Mark-II改)

3. 調査① BWRの調査結果 (格納容器内のRCW配管の設置状況)



ABWR (RCCV)

3. 調査① PWRの調査結果（高浜3号機の例及びまとめ）

[高浜3号機の例]

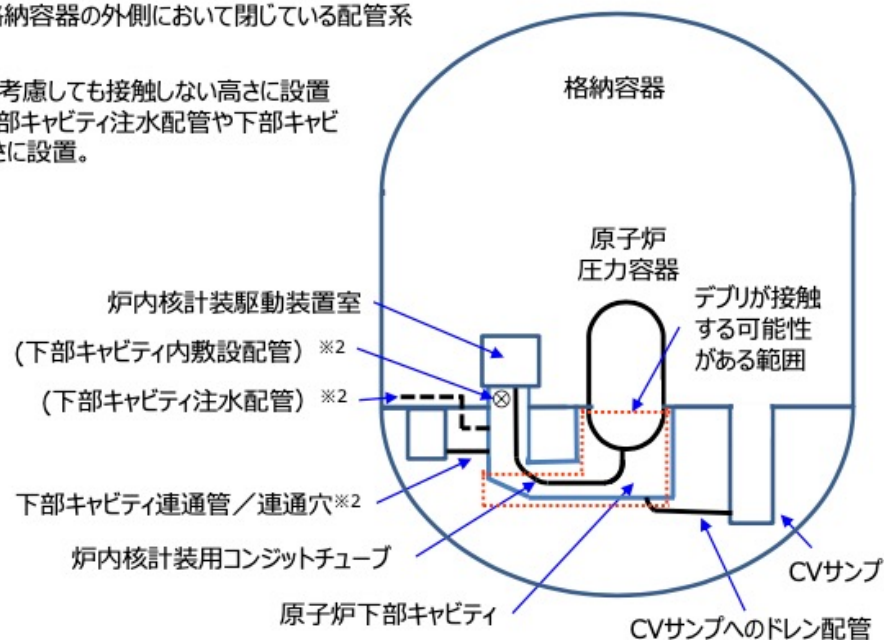
抽出条件に該当する配管	配管構成※1	隔離弁設置要求	隔離弁の設置状況・設計等		隔離弁以外による漏えい抑止
			内側	外側	
炉内核計装用コンジットチューブ	-				
CVサンブへのドレン配管	-				

- ※1： A：原子炉冷却材圧力バウンダリに連絡している配管系のうち格納容器の外側で閉じていない配管系
 B：格納容器の内側において開口している配管系のうち格納容器の外側で閉じていない配管系
 C内：格納容器の内側において閉じている配管系 C外：格納容器の外側において閉じている配管系
 -：格納容器外への経路無し

- ※2：原子炉下部キャビティ内での開口部は、デブリの落下／拡がりを考慮しても接触しない高さに設置され、影響を受けない。一部のプラントに設置される、原子炉下部キャビティ注水配管や下部キャビティ上部の敷設配管（右図括弧内）も、デブリと接触しない高さに設置。

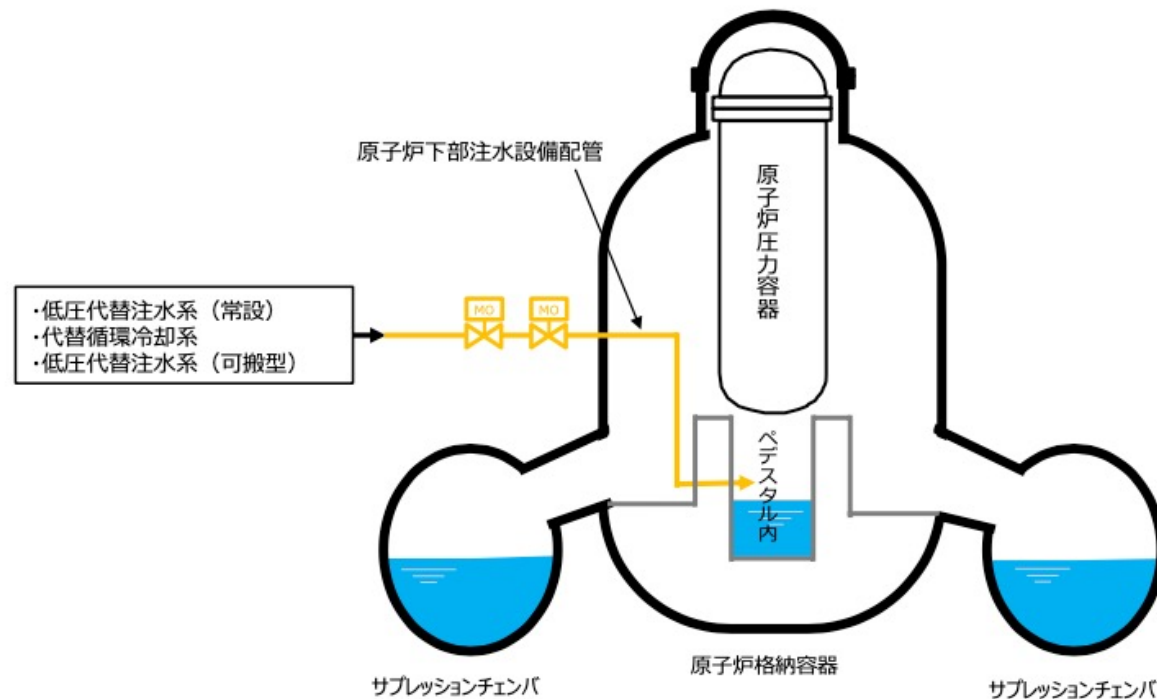
[まとめ]

原子炉圧力容器から落下するデブリの影響を受ける可能性がある配管はあるものの、格納容器を貫通する配管はなく、格納容器外へのリークパスは形成されない。



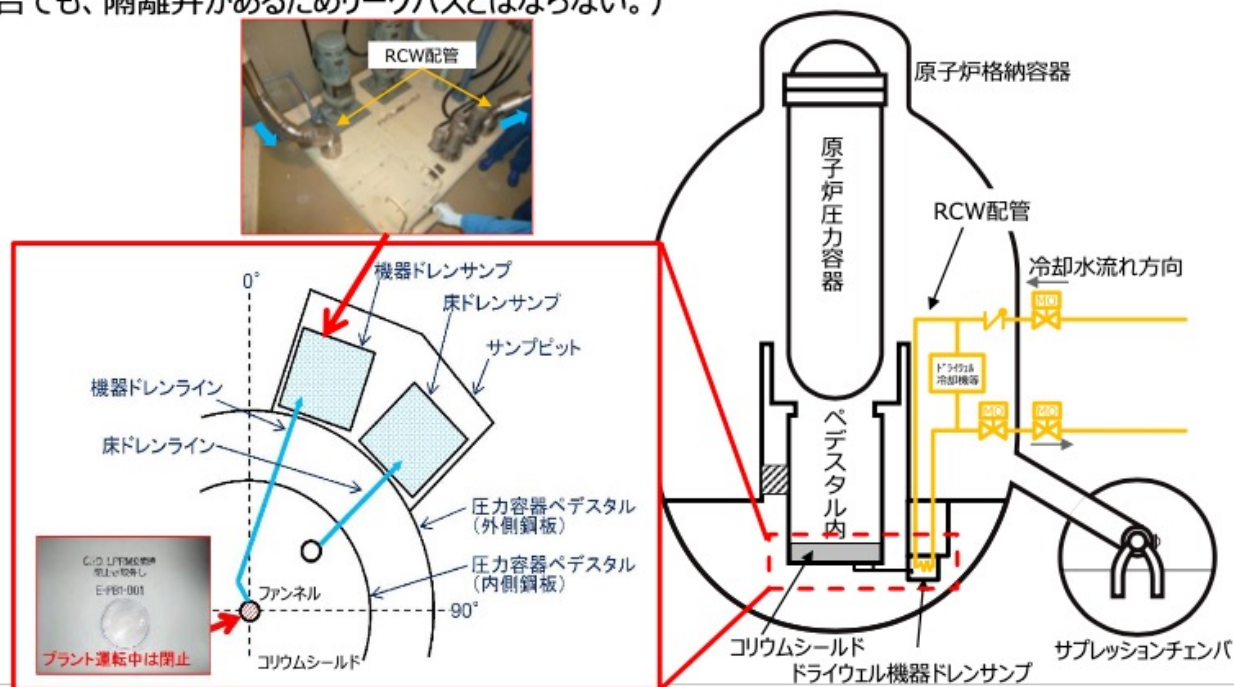
4. 調査② 原子炉格納容器下部注水設備（女川2号機の例）

- 原子炉格納容器下部注水設備は、デブリを冷却することを目的とし事故時に原子炉格納容器下部（ペDESTル内）へ注水する設備である。
- デブリがペDESTル内に落下した場合、注水によりデブリを冷却することにより、デブリが配管に影響を与える可能性が低減する。



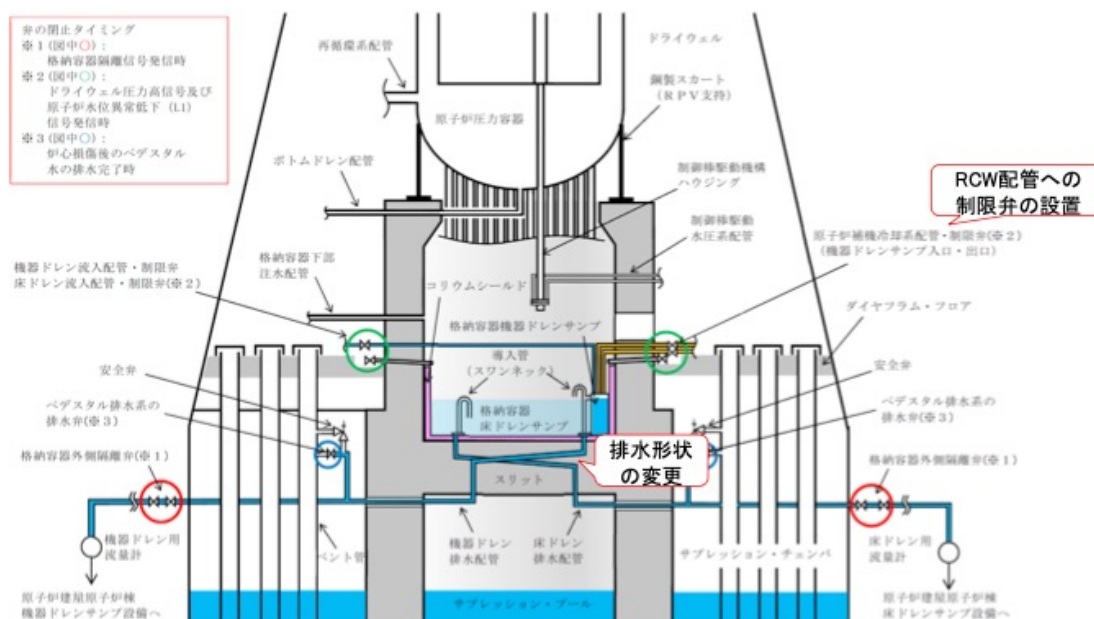
4. 調査② コリウムシールド（島根2号機の例）

- ベDESTAL外に設置しているドライウェル機器ドレンサンプ（以下「機器ドレンサンプ」という。）を冷却するため、RCW配管が機器ドレンサンプ内を通過している。
- デブリがベDESTAL内へ落下した場合においても機器ドレンサンプ等へのデブリの流入を抑制し、デブリが原子炉格納容器バウンダリに接触することを防止するための設備として、コリウムシールドを設置している。また、プラント運転中にベDESTAL内で発生する機器ドレンはないことから、プラント運転中はファンネルを閉止している。
- これらの対策は、デブリが機器ドレンサンプを通過するRCW配管を破損させることを防ぐことが期待できる。（なお、仮に破損した場合でも、隔離弁があるためリークパスとはならない。）



4. 調査② 格納容器ドレンサンプの排水形状の変更、RCW配管への制限弁の設置（東海第二）

- ペDESTAL内に落下したデブリが格納容器ドレンサンプの排水流路に流入することを想定した場合でも、デブリが凝固停止するように床スラブ内の排水形状をスリット状に変更する。この対策により、デブリのサブレスジョン・チェンバ側への移行を防止することに期待できる。
- 事故が発生した場合にペDESTAL内への水の流入を制限するため、RCW配管に制限弁を設置する（ペDESTAL外）。制限弁はSA電源からの給電が可能な電動弁とするとともに、PCV圧力高信号及びRPV水位異常低下により自動閉する。また、環境条件として200℃・2Pdを想定し設計を行う。この対策により、仮にペDESTAL内でRCW配管が損傷しても、制限弁を閉止することでRCW配管を経由した放射性物質の格納容器外への放出の抑制に期待できる。



参考 Mark- I の格納容器内のRCW配管の設置状況（島根1号機）

ペDESTル内に設置しているドライウェル機器ドレンサンプを冷却するためにRCW配管を設置している。

