



資料3

福島第事故からのプラント設計に おける教訓と対策

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

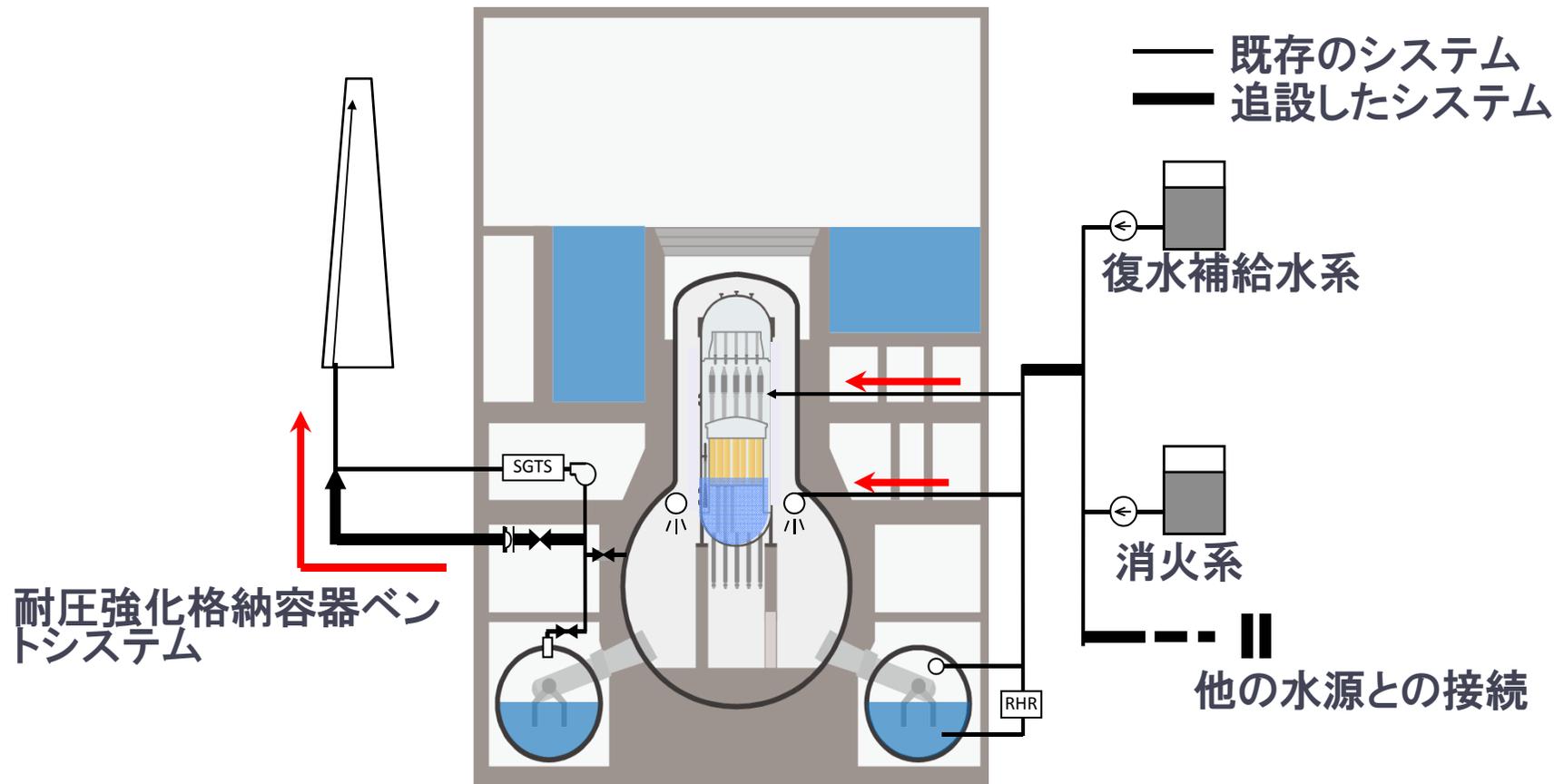
2012年2月17日

福島事故についての要約

- 福島第一発電所のプラントは、2000年にAM対策も整備されており、世界水準の安全レベルを達成していた。
- 今回の事故は、地震後約40分に襲った設計想定を超えた津波により、全交流電源喪失と最終ヒートシンク喪失を同時に引き起こしただけでなく、多重、多様に用意していた設備（AM対策設備を含む）のほとんどが機能喪失したことによるものである。
- 加えて、直流電源の喪失、メタクラ/パワーセンターの浸水、全ての低圧注水手段の喪失（水源を含む）は、あらゆる回復操作を阻むものだった。
- 低圧注水手段を長期間喪失していたために、原子炉の減圧ができずに炉心損傷を引き起こし、さらに格納容器の過温破損を防ぐことができずに土壌汚染を招いてしまった。

2000年の福島サイトのシビアアクシデント対策

- 代替注水系は既存のシステム(残留熱除去系(RHR)/低圧注水系(LPCI)、復水補給水系(MUWC)、消火系(FP))と複数の水源を用いてRPVもしくはPCVに冷却水を供給
- 耐圧強化格納容器ベントシステムでS/CもしくはD/Wから崩壊熱を除去



福島事故に対する緊急時操作手順実施の状況

全交流電源喪失(スクラム成功)

①高圧注水系による炉心冷却

- 交流電源を必要としない高圧注水系(非常用復水器(IC)(1F-1)、原子炉隔離時冷却系(RCIC)(1F-2/3)、高圧注水系(HPCI))により、高温待機状態を維持。
- SBOは約8~10時間で直流バッテリーが枯渇(高圧注水系停止)することを想定しており、高圧注水系が動作している間に非常用DG又は外部電源を復旧させ、低圧注水のラインナップを実施

②原子炉压力容器(RPV)減圧

- 低圧注水が可能となった段階で、逃がし安全弁(SRV)を手動開し、RPVを減圧。

③低圧注水系による炉心注水(代替策含む)

- 非常用DG又は外部電源が復旧した場合は、給復水系、炉心スプレイ系等により注水。
- 非常用DG又は外部電源が復旧しない場合は、消火系のディーゼル駆動消火ポンプ(D/D FP)を用いて注水。
- D/D FPも使用できない場合には、消防車を用いて注水。

④PCV冷却有
(電源復旧有)

N

⑥格納容器(PCV)除熱(PCVベント)

- 炉心損傷前は、PCVの健全性維持の観点からPCVの最高使用圧力(Pd)でウェットウェル(W/W)ベント*を実施し、W/Wベントが万が一できない場合はD/Wベントを実施。
- 炉心損傷後は、ベントまでの時間的余裕を確保し、放射性物質放出の影響緩和するためにPd~2Pdの間でW/Wベントを実施。

*: W/W(水フィルタ)を介して、ベントすることにより環境への放射性物質放出を抑制する。

⑤除熱機能有
(電源復旧、最終ヒートシンク有)

Y

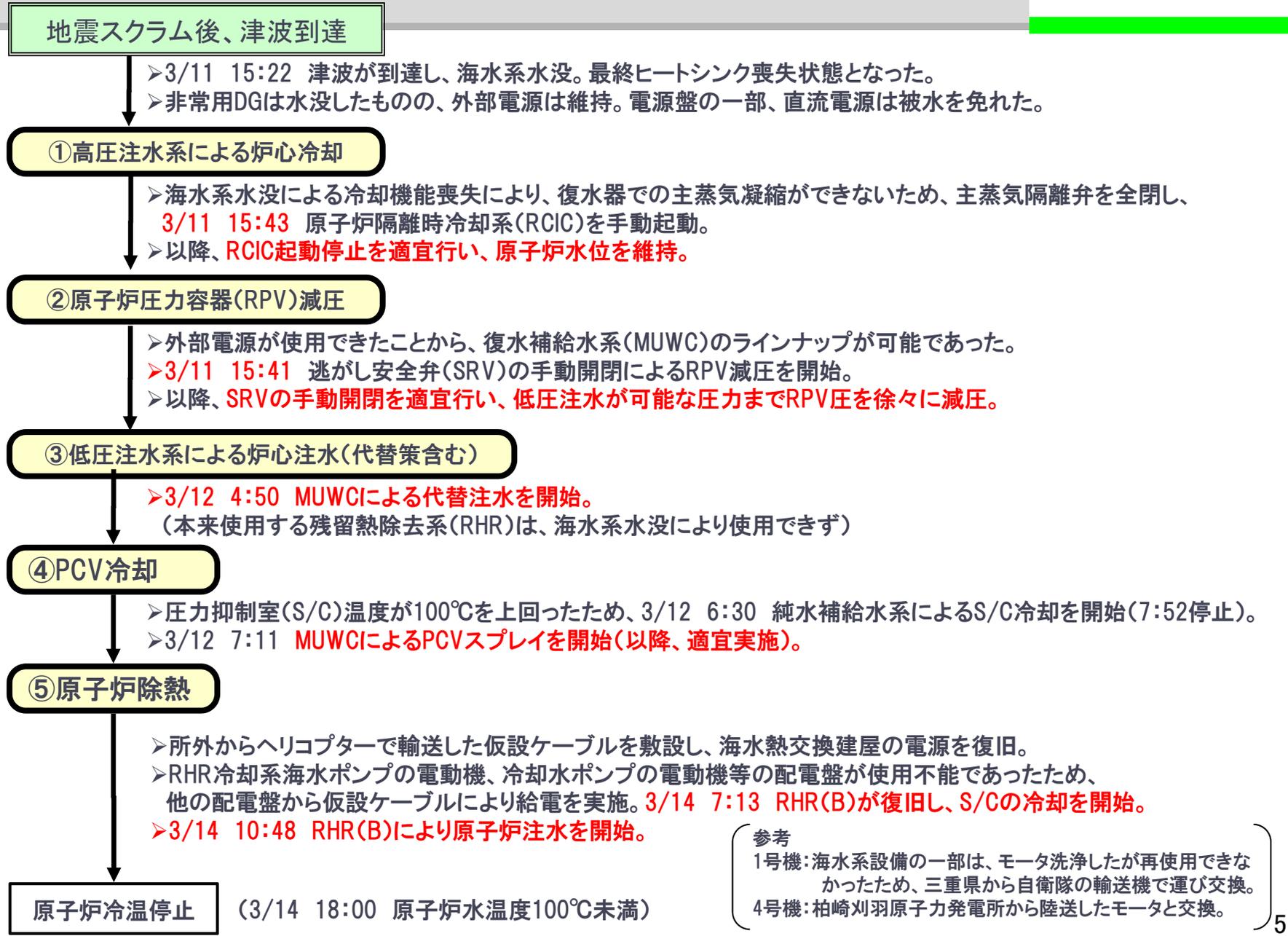
原子炉冷温停止

今回のアクシデントマネジメントの成否

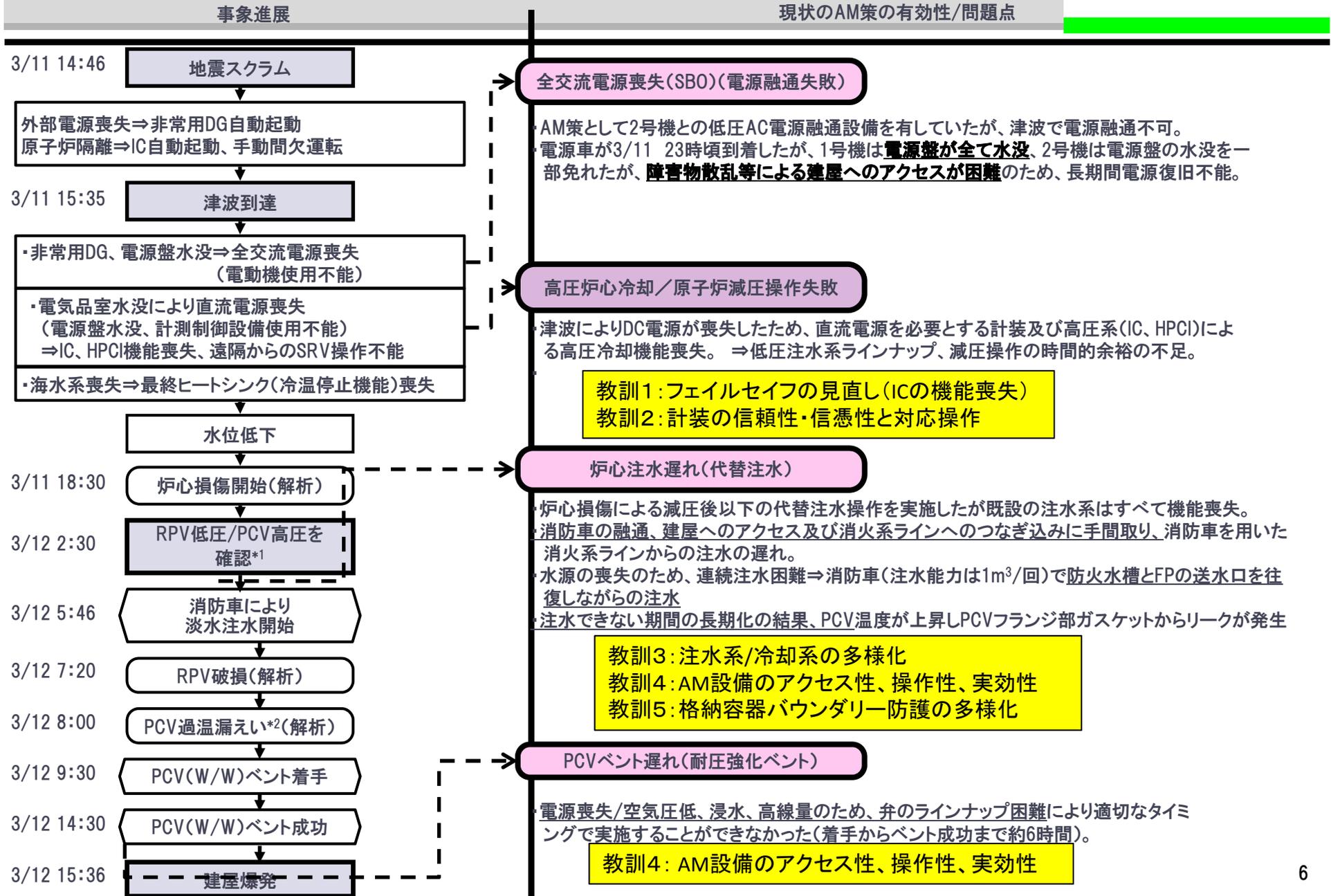
福島第一			福島第二
1号機	2号機	3号機	1~4号機
×	○	○	○
×	△ (遅延)	△ (遅延)	○
△ (遅延、容量不足)			○
△ (ベント遅延)	×	△ (ベント開状態維持困難)	○ (PCV冷却有)

○: 成功 △: 実施できたが問題あり ×: 失敗

(1) 福島第二2号機の事象進展と運転操作(冷温停止成功例)

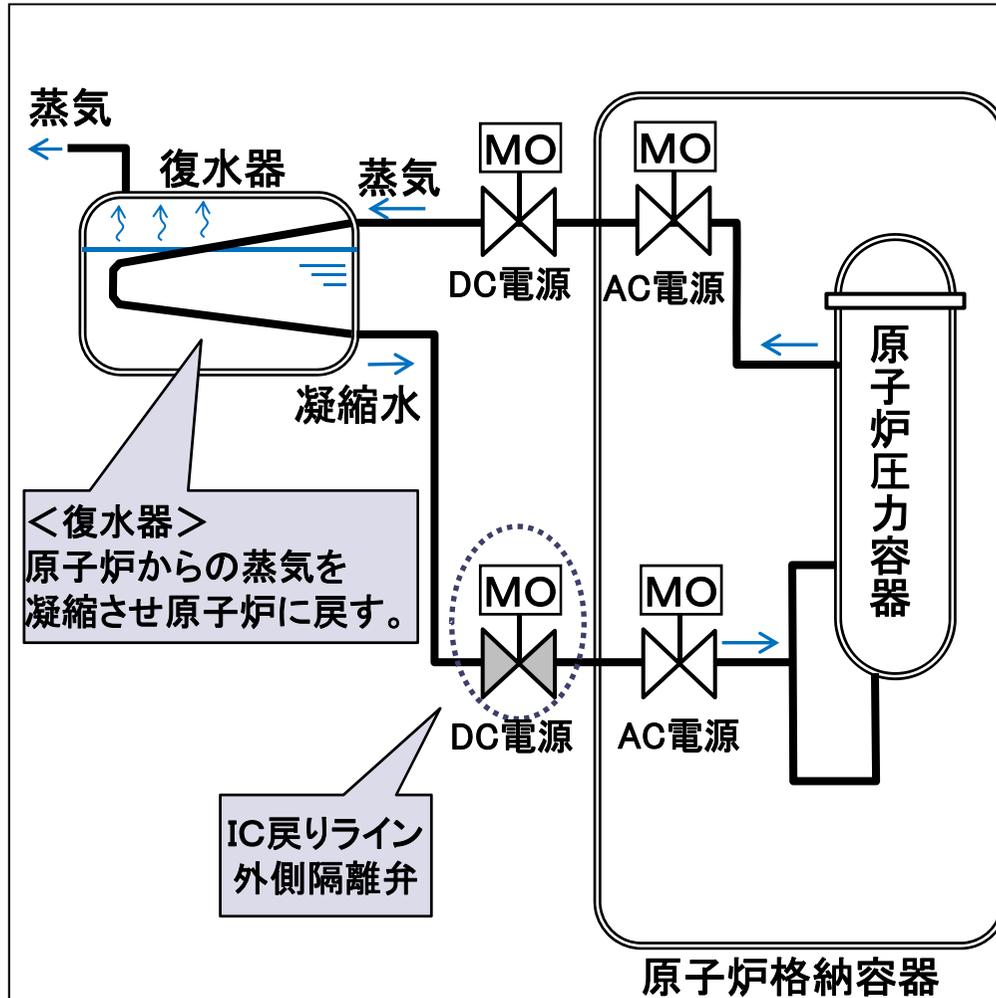


(2) 福島第一サイトの事象進展と現状のAM策の有効性/問題点 (1号機を事例として)



教訓1:フェイルセーフの見直し

ICは原子炉隔離時の冷却設備として一次系の隔離機能を優先⇒SAまで機能を期待した時のあり方



＜通常の弁動作＞

- ・IC戻りライン外側隔離弁のみ 常時「閉」。IC系起動時に「開」。
- ・配管破断検出時、全弁「自動閉」 (主蒸気漏えい防止のためのインターロック)。

＜電源喪失時の弁動作＞

- ・駆動電源が喪失した場合、開閉状態は維持される。
 - ・制御電源喪失時、駆動電源が健全であれば、「閉」。
- (バウンダリ確保を優先)

＜福島での事象＞

- ・駆動電源が残っている状態で 制御電源が喪失し、一部の弁が閉動作したと考えられる。
- (最終的な開度は、制御用/駆動用の電源喪失のタイミングによる。)

■原子炉水位、圧力、温度などのAM実施上必要な計装の信頼性/信憑性が重要

- DC電源喪失時のバックアップ⇒小容量でも迅速さ
- 計測器の適用レンジの拡大と環境条件の見直し⇒設計条件での精度とSA時の精度要求の違いを考慮

■信憑性を確認する別の手段を確保することは重要

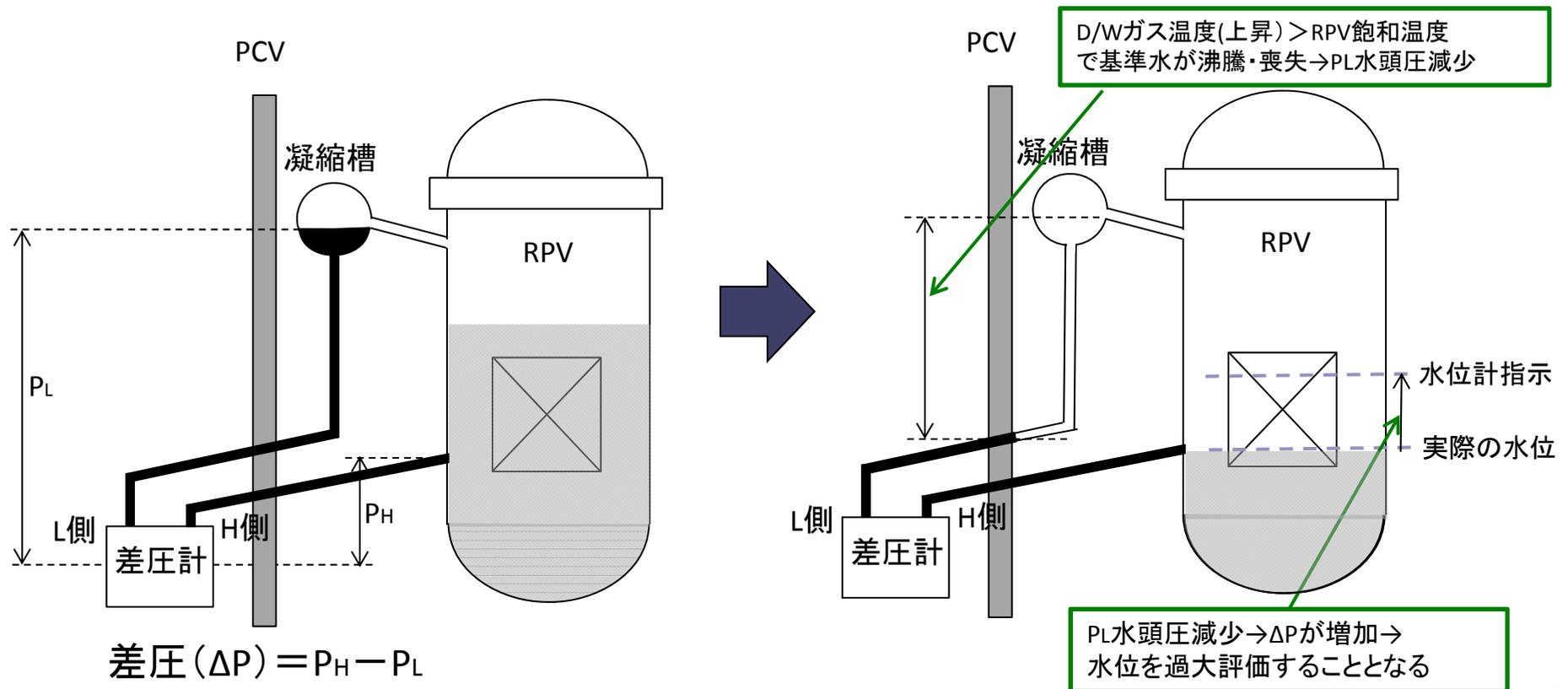
- 嘘をついている計測器を見抜くことの難しさ⇒棄却の判断ができるだけでも十分

■信憑性が無いと判断した場合のAM手順と訓練が重要

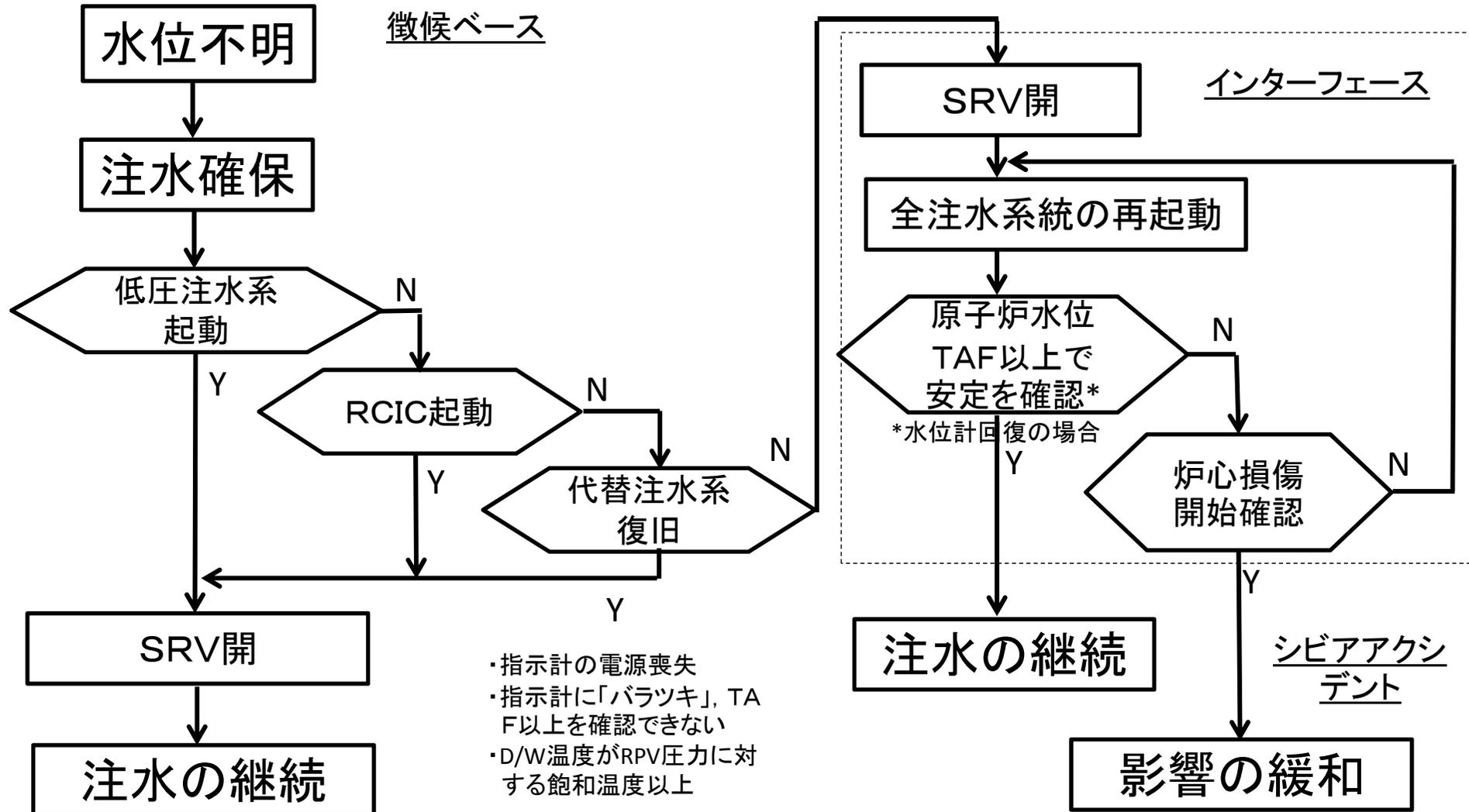
- 計測不能な状態でのAM手段を充実

◆水位計の事例

原子力プラントでは原子炉水位計装として差圧式水位計を使用しているが、福島事故ではPCV内温度が高く、基準水位とするPCV内の凝縮槽と計装配管内の水が蒸発して基準水位が喪失し、正確な計測が出来ていないと判断されている (IAEA政府報告書より)



◆水位不明時の対応フローチャート



- ・指示計の電源喪失
- ・指示計に「バラツキ」, TAF以上を確認できない
- ・D/W温度がRPV圧力に対する飽和温度以上

- 水密強化やプラント配置の対策は重要だが、設備設計の条件を超えた「想定外」での機能喪失も考慮
 - プラント外からの救援/支援も含めた多様化

- 水源まで含めて機能維持の達成も考慮
 - サイト内、サイト外からの水の融通を含めた水源の多様化

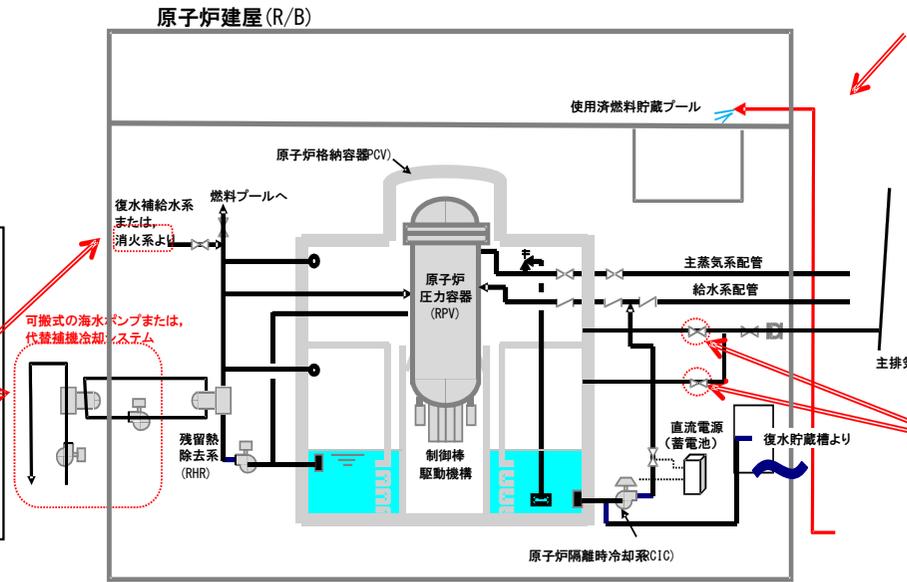
- 常設の設備も設計想定を超えると機能喪失の可能性も考慮
 - 常設の設備だけではなく仮設の設備も含めた多様化

- 想定外の事態でも対応することも考慮
 - 多様なシナリオに対応できるようなAM設備と手順
 - 想定外の場合でも炉心注水、格納容器注水を実行できるような柔軟性のあるAM設備と手順

注水系/冷却系の多様化の例

◆緊急時の最終的な除熱機能確保

- ・原子炉の注水・冷却機能強化 (消防車配備)
- ・可搬式の水中ポンプによる除熱機能確保
- ・空冷式の除熱システムによる除熱機能確保

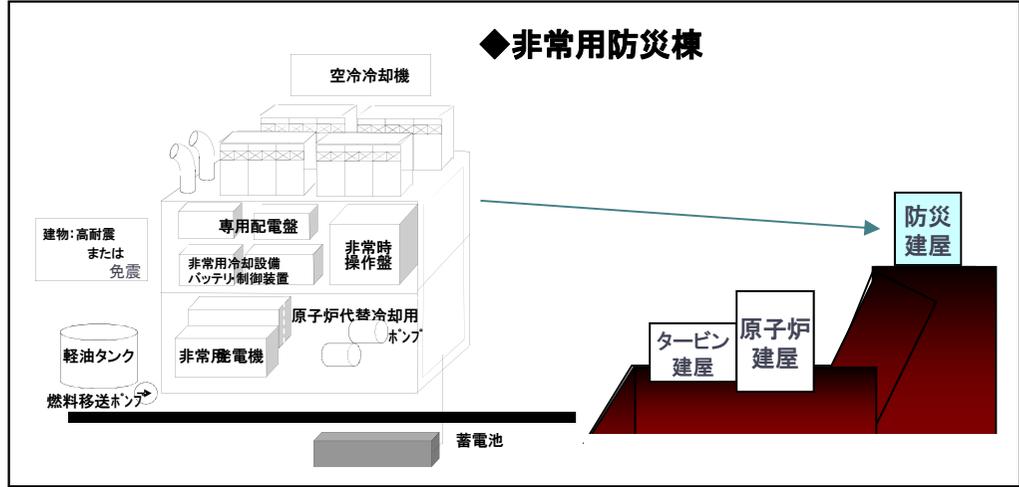
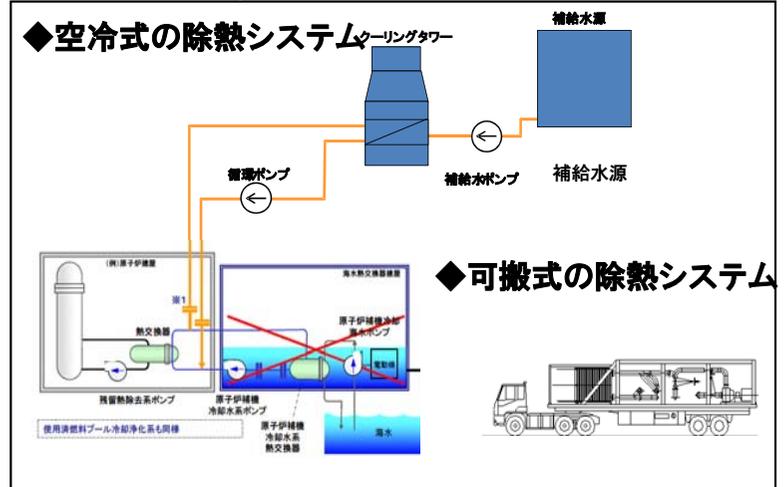


◆緊急時の使用済み燃料貯蔵プールの冷却確保

- ・外部注水口の設置
- ・専用注水ラインの設置

◆緊急時の最終的な除熱機能確保

- ・原子炉格納容器の減圧に使用する空気作動弁に窒素を供給する機能の確保

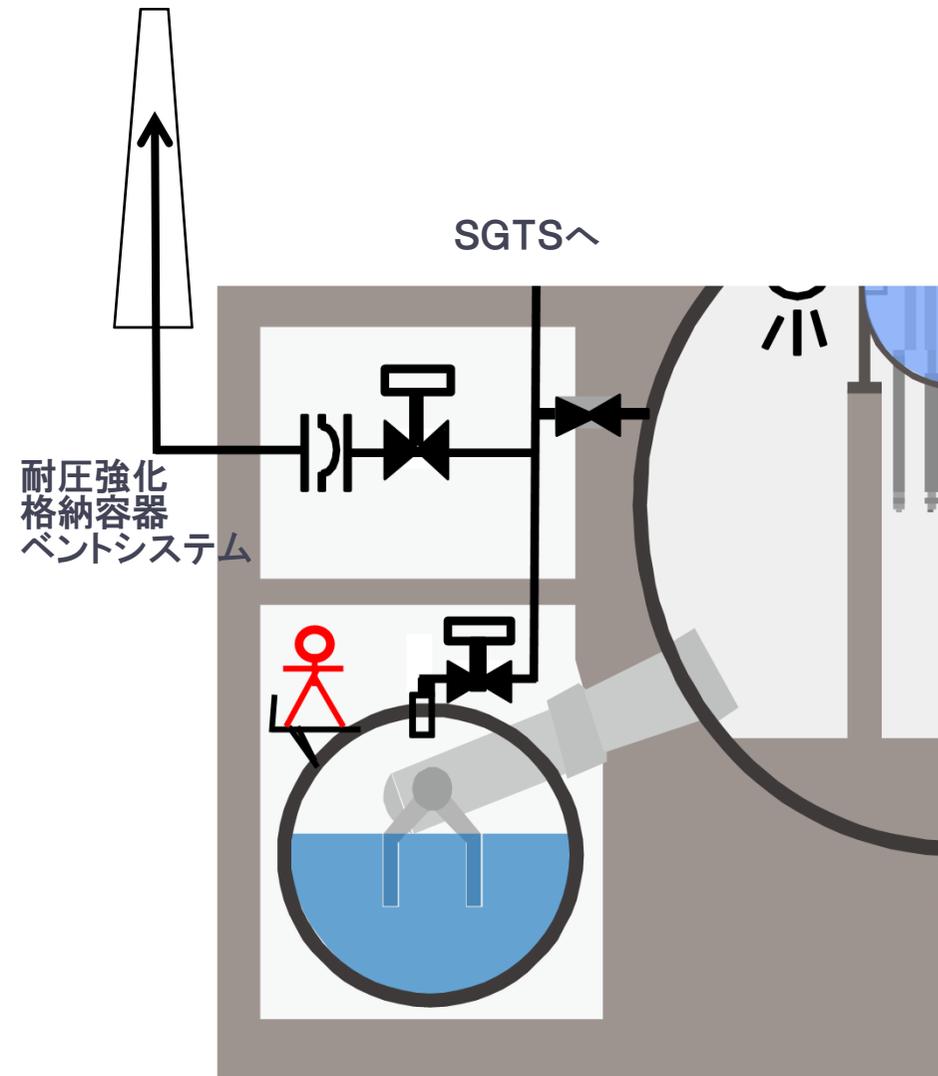
WWベント弁のアクセス性とラプチャーディスクの問題

◆ アクセス性と操作性の問題事例

- ・WWベント弁がバウンダリー近傍に設置していたために、手動開実施する上でアクセスと操作に困難
- ・外部から注水実施時に繋ぎこみ先へのアクセスが困難
- ・外部から注水のバイパスがあり、炉心への有効な注水に遅れが発生

◆ 実効性の問題事例

- ・ラプチャーディスクは誤操作によるバウンダリー機能喪失を防止するために設置していたが、タイムリーなWWベント実施の障害



アクセシビリティ、操作性、実行性の改善

◆アクセシビリティの改善例

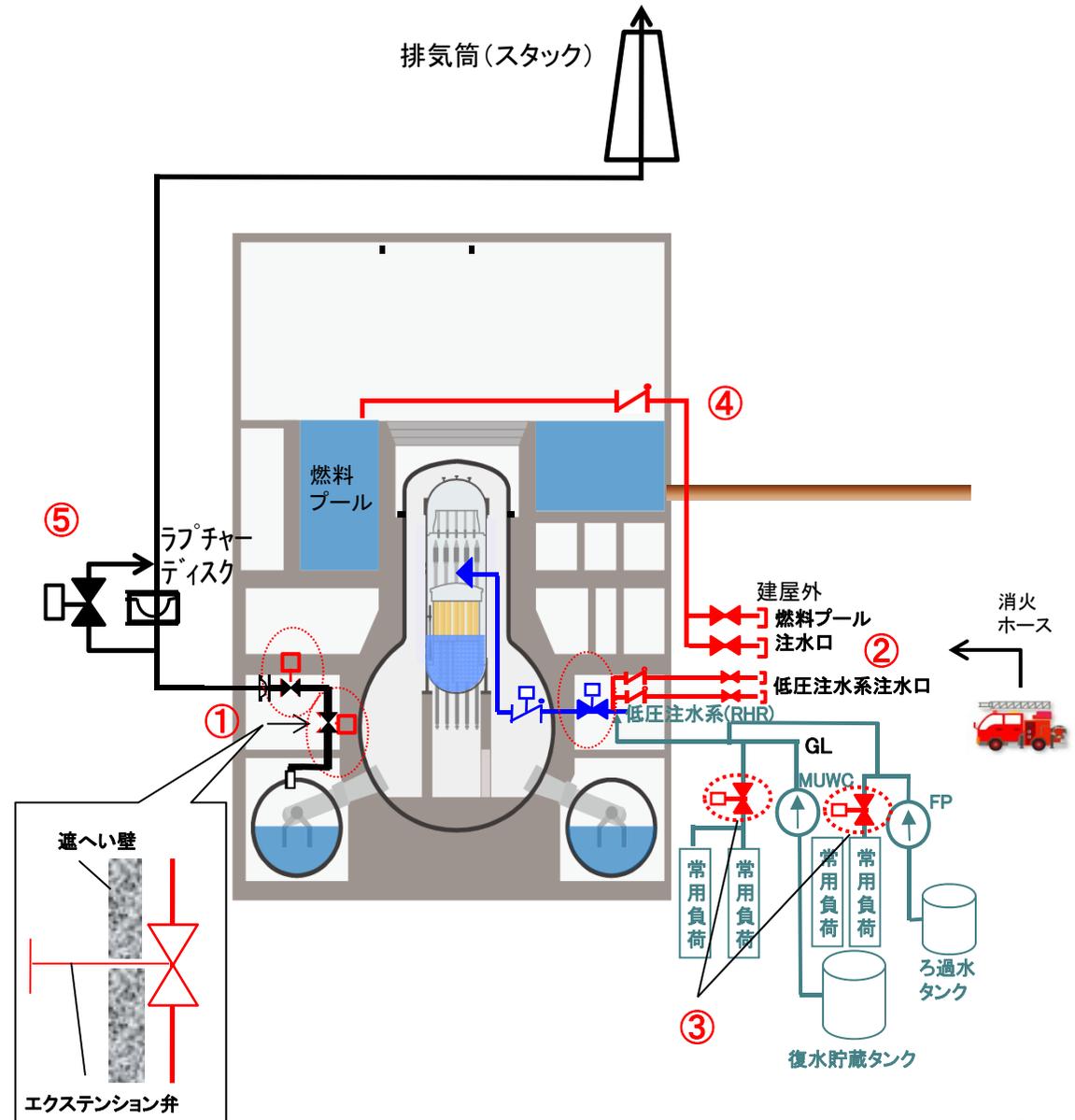
- ① 遠隔手動ハンドルを追加により、操作時の被曝を低減
- ② 代替注水の注水口の分散配置により、容易に接続可能な構成

◆操作性の改善例

- ③ 常用負荷への隔離弁追設により、容易にバイパス対策可能な構成
- ④ 燃料プールへの代替注水専用ライン追設により、容易に注水可能な構成

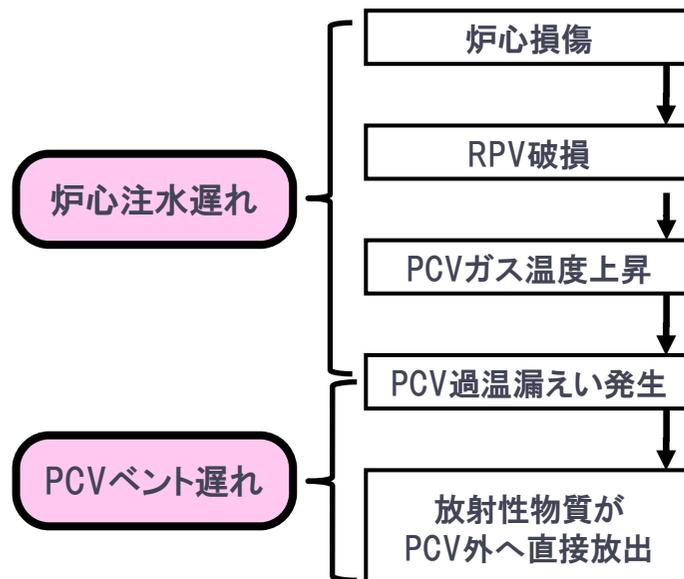
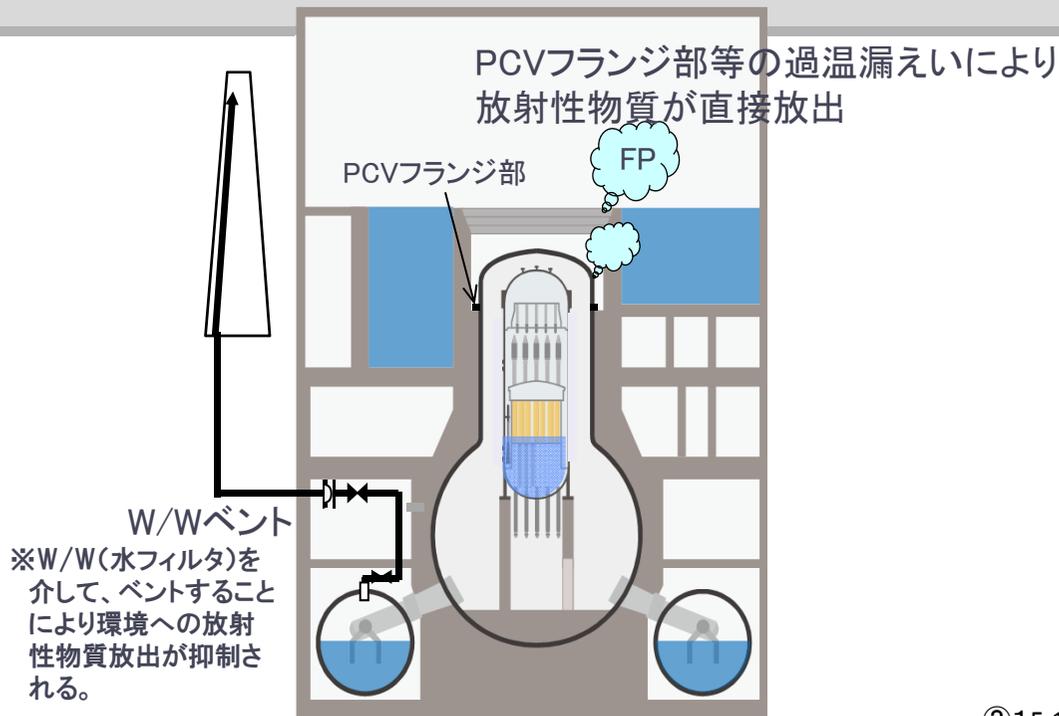
◆実行性の改善例

- ⑤ ラプチャーディスクをバイパス可能な構成もしくはラプチャーディスクの削除



教訓5: 格納容器バウンダリー防護の多様化

事象進展

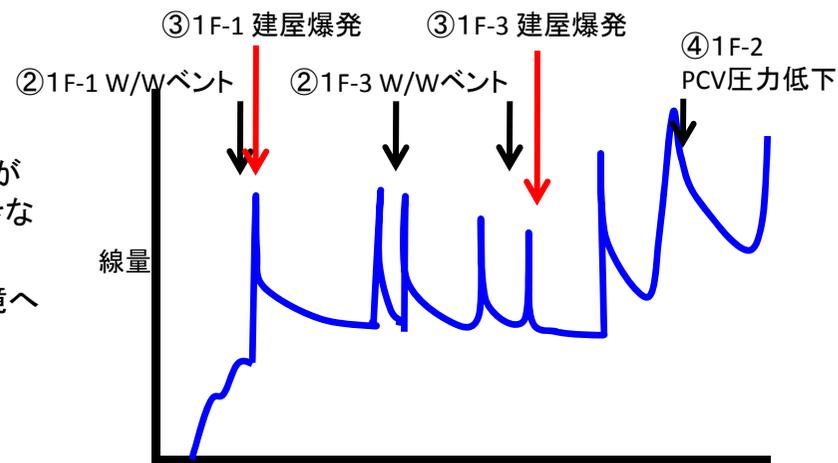


● 福島第一サイトのW/Wベントの状況

- 代替注水遅れ及びPCVベント遅れにより、ベント前にPCV過温リークが発生し、W/Wベントによる放射性物質放出抑制を効果的に実施できなかった可能性が大
- バックグラウンド上昇の主要因は、R/BIに直接放出されたFPの環境への直接放出

● 対策

- 注水機能の強化により過温シーケンスを回避
- 過圧シーケンスは、WWベントによりバウンダリー防護
- さらに、非金属部の直接冷却(原子炉ウエルへの水張, 注水等)で過温シーケンスへの余裕向上

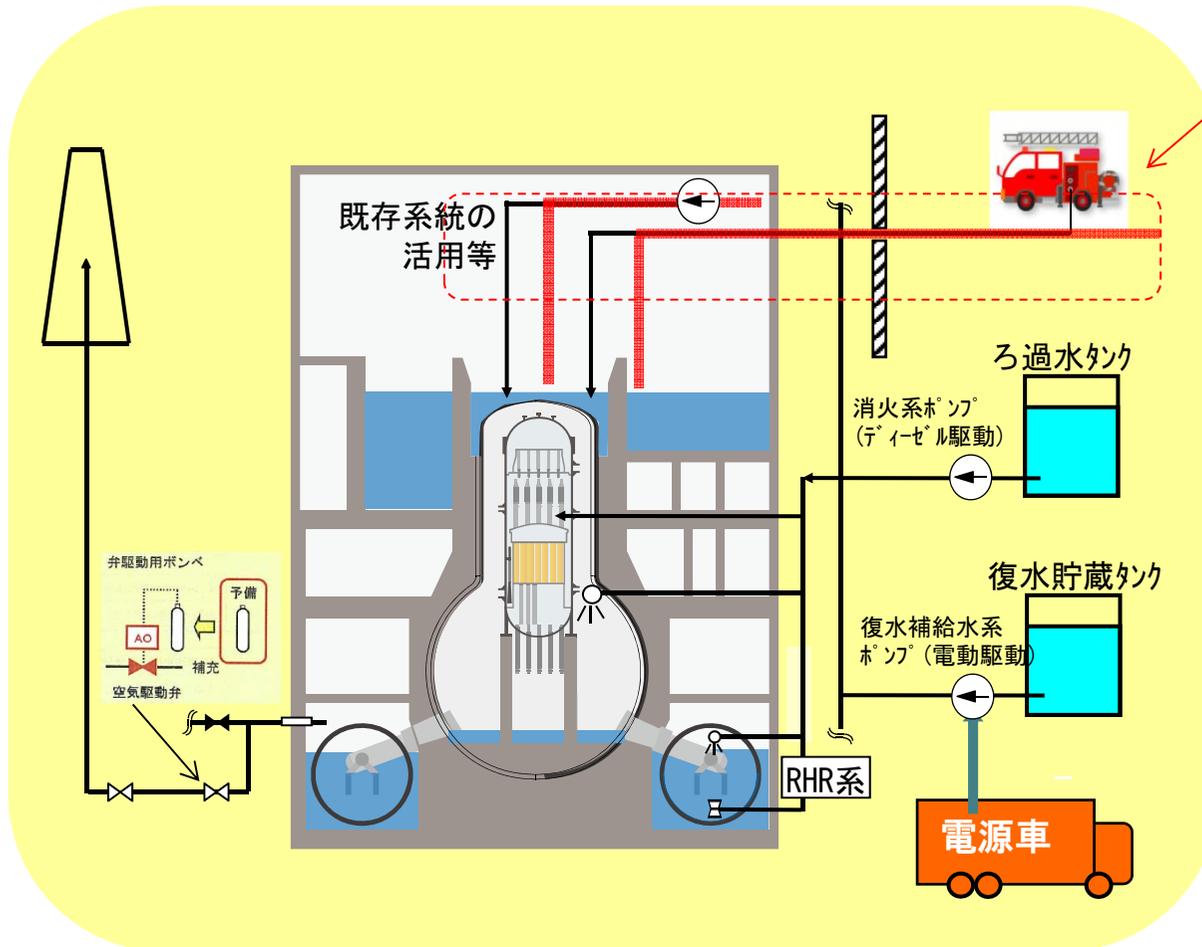
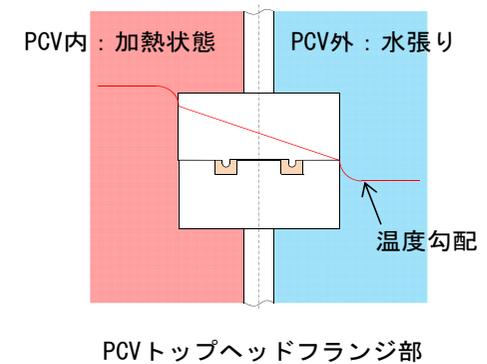


- | | | |
|------------------------|------------------------|--|
| ①W/Wベント以前からバックグラウンドの上昇 | ②W/Wベント時の線量の影響は確認できない。 | ③1F-1/1F-3建屋爆発及び④1F-2PCV圧力低下以降にバックグラウンドが上昇 |
|------------------------|------------------------|--|

非金属部の冷却の強化:PCVトップヘッドの冷却対策の例

- 原子炉ウェル水張り, あるいは注水冷却によりPCVトップヘッドのフランジを冷却

PCVトップヘッドの冷却対策



■ 自然の脅威に真正面から立ち向かうことの限界

- 地震も津波も想定を超えた事態に対する対策が重要
- 想定を超えた自然災害はプラント安全設計とは別の防災の「備え」

■ 「備えあれば憂いなし」と言いながら・・・

- 原子力災害法はあっても、その実行性が無かった
- 事業者の「備え」に加えて行政の「備え」が必要

■ 格納容器防護の重要性の再認識

- 格納容器の過温破損により土壌汚染が発生
- 格納容器の過温破損を如何にして守るかが重要

想定を超えた自然災害が発生しても「格納容器を守りきる備え」を行政と事業者において多面的に整備