

【徹底討論原子力規制委員会の柏崎刈羽原発適合性審査は妥当か】

2018年6月23日 サンライフ長岡

主催:もっかい事故調

6号機・7号機格納容器 フィルターベント装置の問題点

元原発設計技術者

後藤政志

格納容器とは何か

事故が発生した時に、原子炉および原子炉系の設備や配管、ダクト、ケーブル等を覆う鋼鉄製または鉄筋コンクリート製の大きな容器で放射能の放出を抑制するための安全装置

- ◆原子炉は、開発初期には(原子炉)格納容器がなかった
- ◆原子炉を都市近郊に設置可能なように、格納容器を設置
- ◆PWR型・・・大型ドライ型／アイスコンデンサー型
- ◆BWR型・・・圧力抑制型(圧力抑制プールで蒸気を凝縮)
- ◆1990年代前半までは格納容器には”安全弁がなかった”

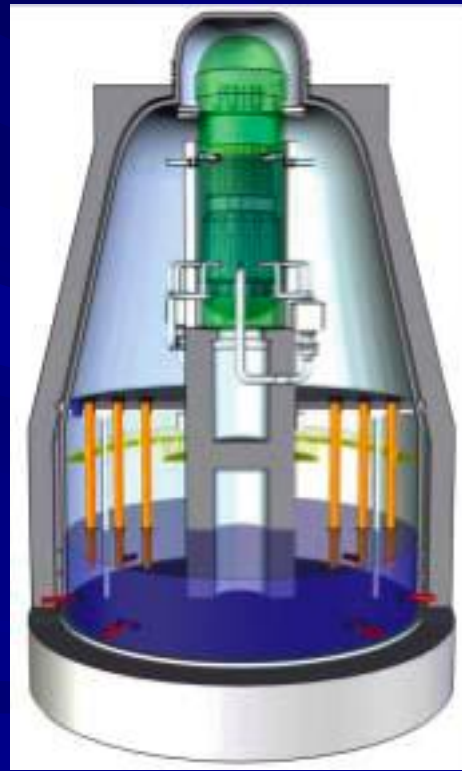
沸騰水型炉 (BWR) の格納容器

Mark-I



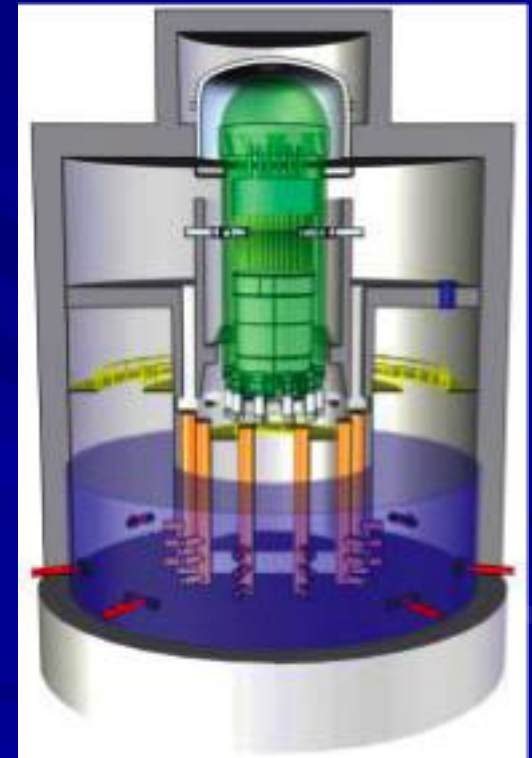
鋼板製

Mark-II



鋼板製

RCCV
(ABWR)

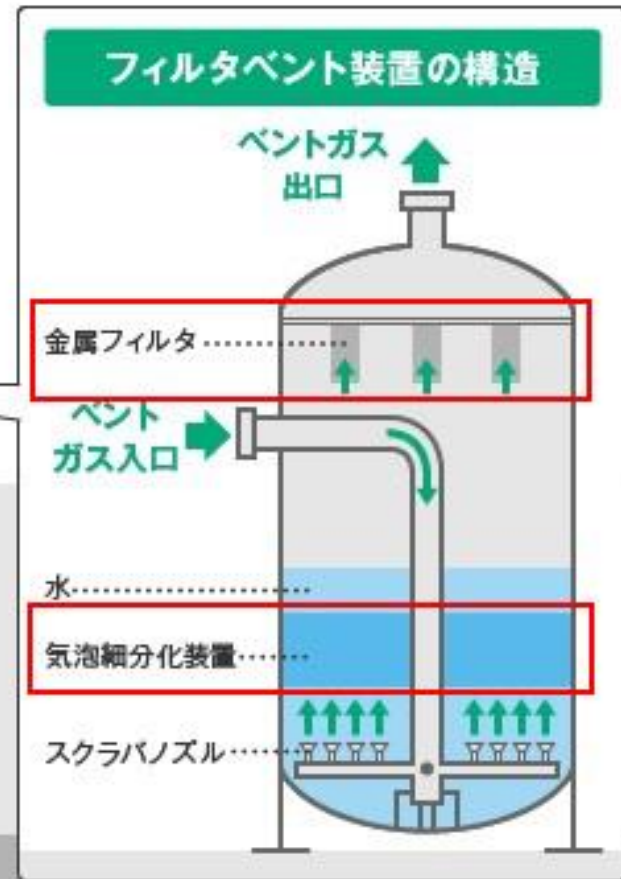
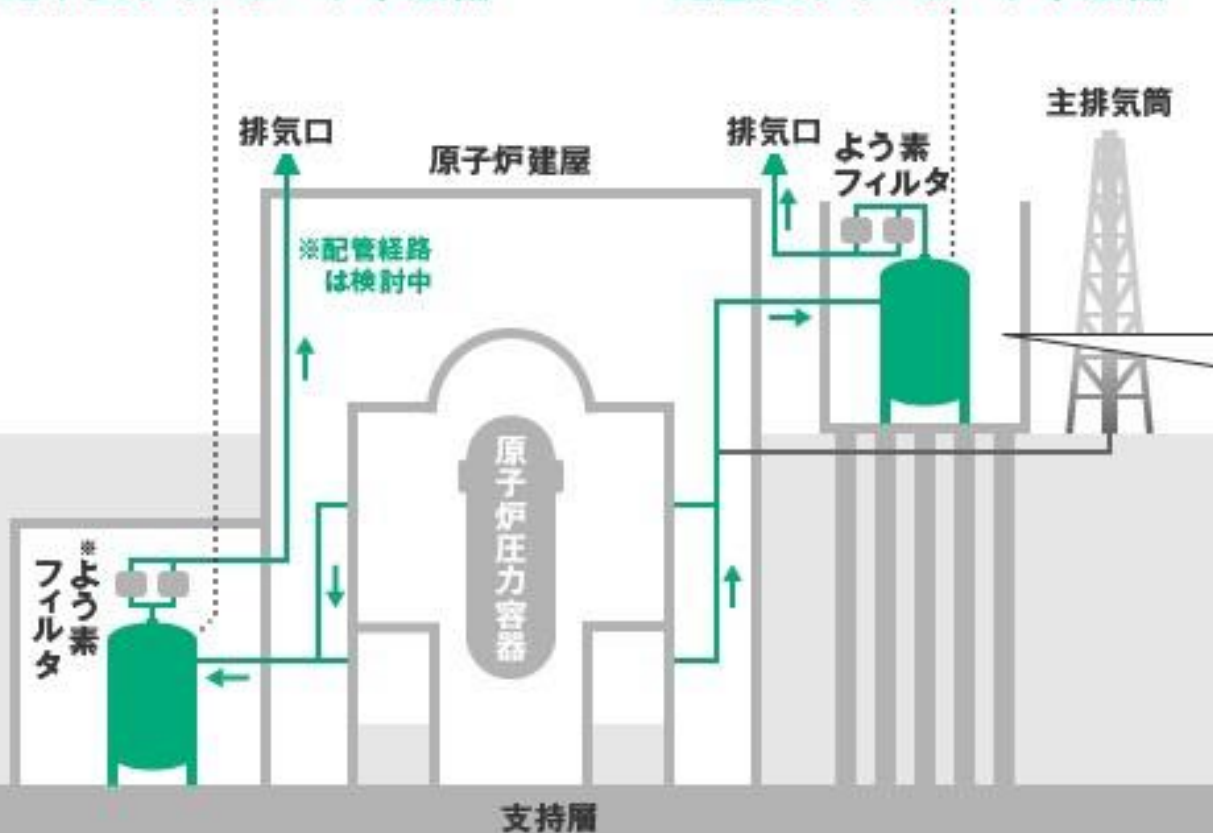


鉄筋コンクリート+ライナ鋼板

柏崎刈羽6、7号機のフィルターベント

地下式フィルタベント設備

地上式フィルタベント設備



格納容器が圧力で壊れることを防ぐため、フィルターを通してベントする。格納容器の“安全弁”の役割。“格納容器の自殺”では？

- ◆フィルターベントは、圧力抑制プールと原理は同じで、小型。
- ◆福島事故で格納容器の圧力抑制機能の信頼性が疑われるのに、同様の弱点を持つ小型のフィルターベントは果たして役に立つか？

フィルターベントは2つの使い方がある

フィルターベントに失敗すると耐圧ベントへ。それも失敗すると格納容器破壊。

原子炉注水、格納容器除熱失敗

炉心損傷前 ベントの実施

炉心損傷・(水蒸気・水素による)
格納容器の圧力上昇

ベント失敗の可能性

炉心損傷回避
格納容器損傷回避

ベント失敗
の可能性

炉心損傷後 ベントの実施

水蒸気爆発の可能性

フィルターベントを通して
放射性物質を大幅に低
減して大気放出

原子炉建屋外への
水素排出

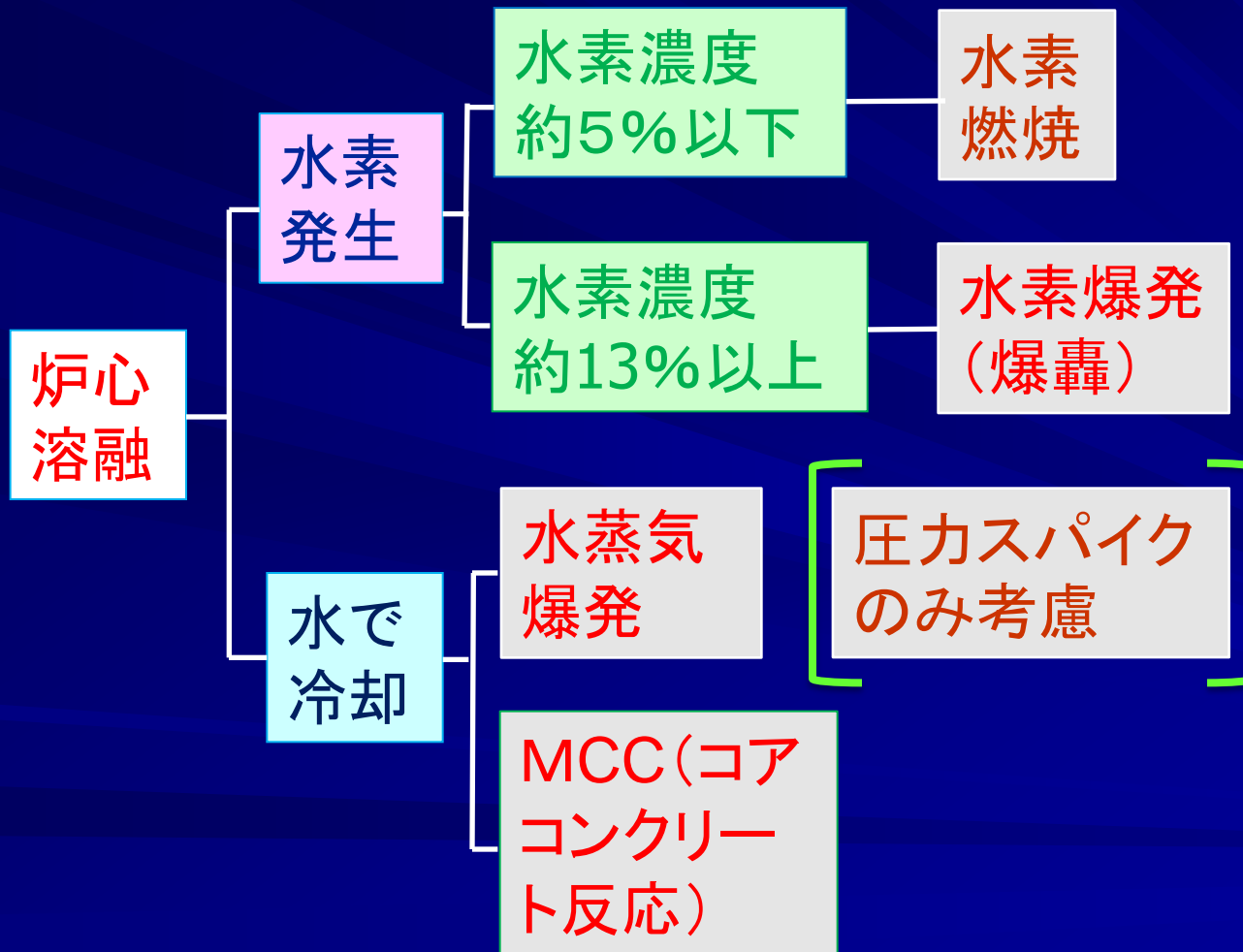
水素爆発の可能性

土壌汚染の大幅抑制

水素爆発の回避

水蒸気爆発とMCCIと水素爆発

過酷事故対策



BWRは格納容器内に窒素を封入(建屋内で爆発)

PWRは格納容器が大きく、解析で爆発は起こらないとしている。

BWR/PWRとも炉心溶融後水をはりMCCIを防ぐ。溶融炉心と水が接触すると水蒸気爆発を起こす危険。

格納容器フィルターベントシステムは信頼性がない

- ◆1992年の原子力安全委員会共通問題懇談会の検討を経てSA対策として格納容器の耐圧ベントを導入・・・福島事故前に、炉心溶融後の対策
- ◆福島事故で、W/Wベントが確実でないことがわかりフィルターベントを導入
- ◆フィルターベントは、
 - a) 大量の水素が出る
 - b) 水スクラバーの水位維持
 - c) 隔離弁・ラプチャーディスク・耐圧ベント・フィルターベント等切り替えバルブ、窒素注入バルブほか複雑なシステム
 - d) バルブ操作ほか事故時に確実に運用が難しく、単一故障基準も適用されていない(?)。機器故障、人為的ミスが懸念される。
 - e) FVが漏れると、耐圧ベント、最悪はドライウェルベントとなり得る。

⇒FVシステムは規模の大きいプラントシステムであり確実に作動する保証はない。したがって、最悪の場合、ドライウェルベントにより、放射性物質をそのまま放出することもあり得る。

◆ベントに失敗する可能性がある

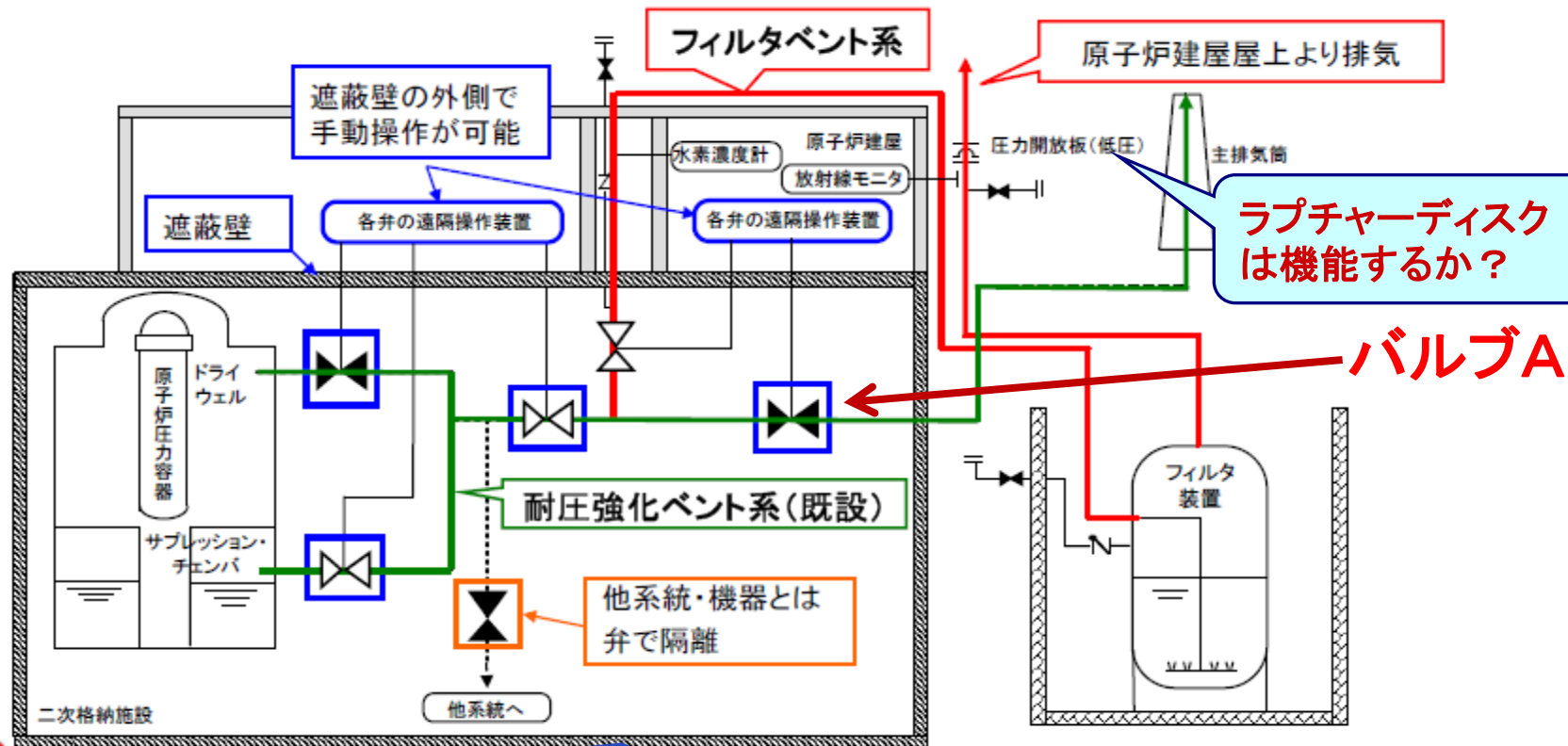
◆バルブ A が開固着すると放射性物質(FP)はそのまま放出

システムの概要

地震でバルブが固着する可能性

4

- 建設当初より設置している耐圧強化ベント系から分岐し、フィルタ装置で放射性物質を低減後、原子炉建屋屋上より排気
- 取り出し口は、ドライウェル、サプレッション・チェンバに設置
- フィルタベントの使用に必要な弁は、操作時の放射線量増加を考慮し、遮蔽壁の外側から操作可能
- 他プラントと共用せず、他の系統・機器とは弁で隔離することで、ベントガスが確実にフィルタを通過



◆フィルターベント系のどこかが損傷すればFPはそのまま放出

航空機衝突で格納容器はもつのか？

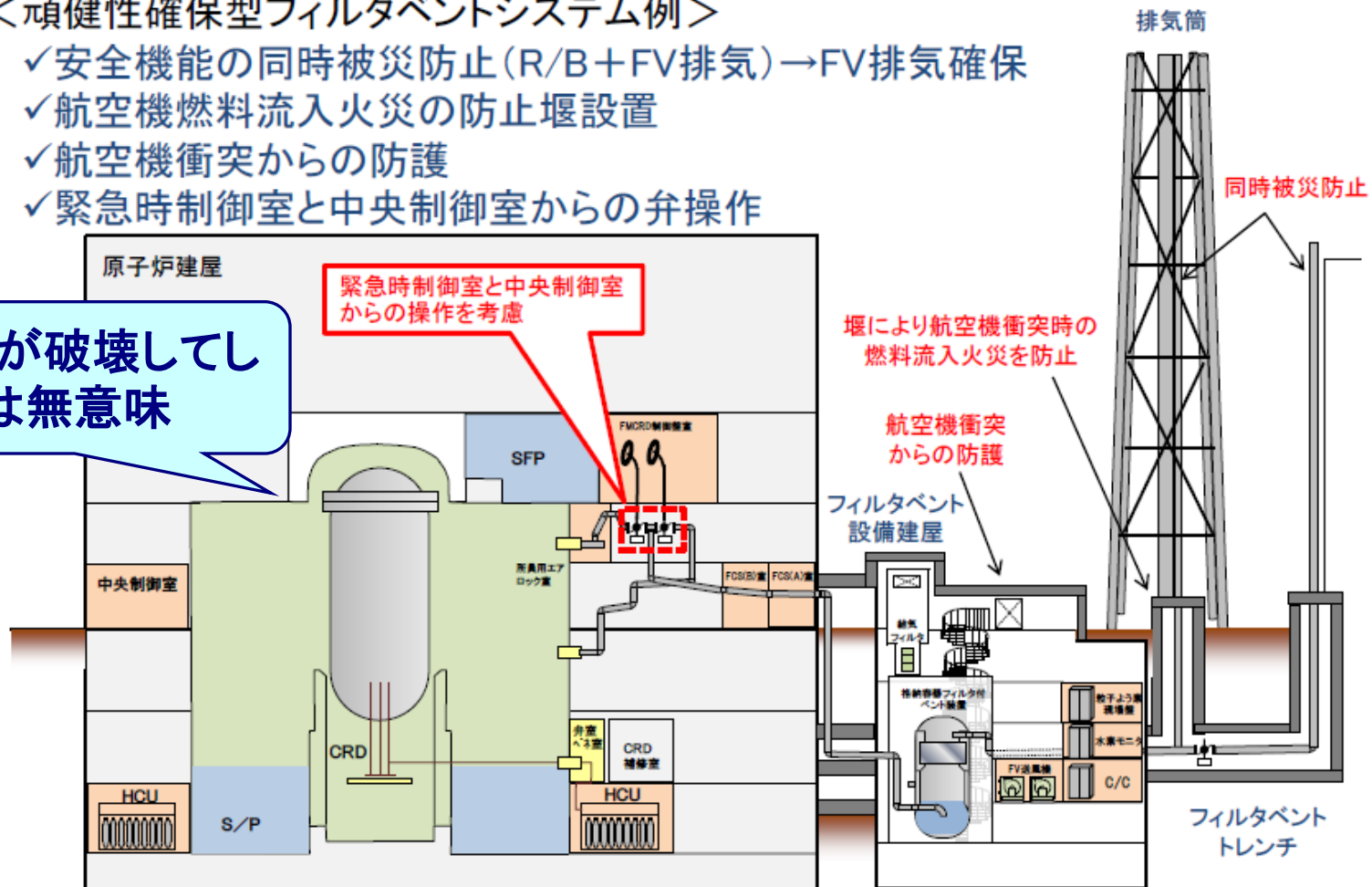
3. フィルタベントシステムの構成(3/3)



＜頑健性確保型フィルタベントシステム例＞

- ✓安全機能の同時被災防止(R/B+FV排気)→FV排気確保
- ✓航空機燃料流入火災の防止堰設置
- ✓航空機衝突からの防護
- ✓緊急時制御室と中央制御室からの弁操作

格納容器が破壊してしまえばFVは無意味

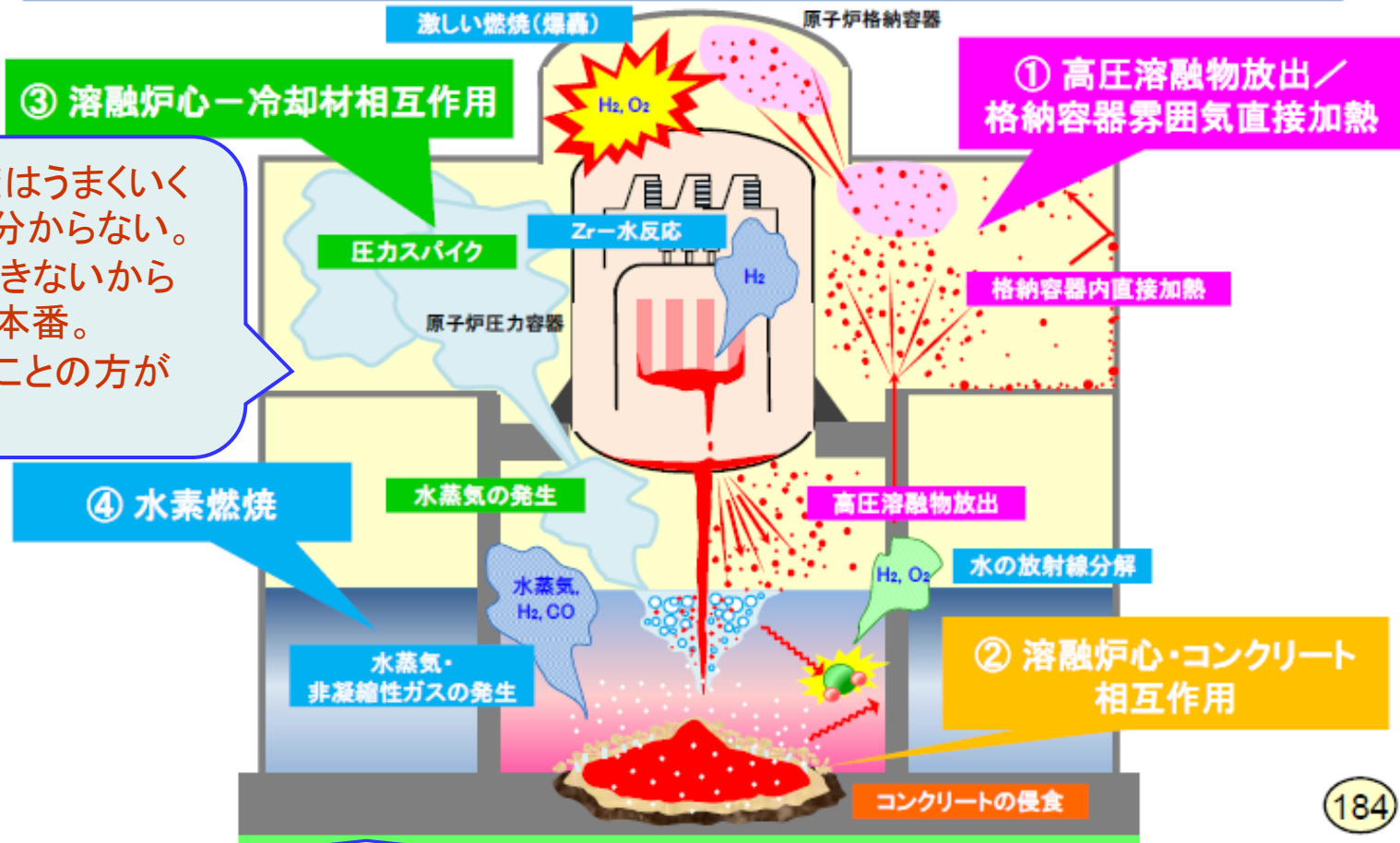


フィルターベントの安全性の考え方

- ① 「炉心溶融を確実に防ぐ」ことは困難
- ② 炉心溶融を起こしてしまったら、格納容器防護を第一に考えるべき。しかし、炉心の冷却に失敗すると格納容器の圧力が徐々に上がる。
- ③ 格納容器が圧力で破壊しないように、**格納容器ベント**する。
- ④ 放射能が出るので、**フィルターベント**で放射能を除去する。
- ⑤ しかし、フィルターベントは複雑な仕組みなので、故障しやすい。**故障すると、フィルター無しの耐圧ベント**で放射能を大量に撒き散らすことになる。
- ⑥ また、炉心溶融後は格納容器内に水を入れるので溶融物と水が反応して**水蒸気爆発**を起こし、格納容器を壊す。
- ⑦ **水蒸気爆発**を恐れて水を張らないと**コア・コンクリート反応**。

重大事故等時の原子炉格納容器の健全性に影響を与える主な現象と対策 (1/13)

- 重大事故等時の原子炉格納容器内における格納容器の健全性に影響を与える主な現象として、①高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱、②溶融炉心・コンクリート相互作用、③溶融炉心－冷却材相互作用、④水素燃焼について、現象の概要と対策を述べる。



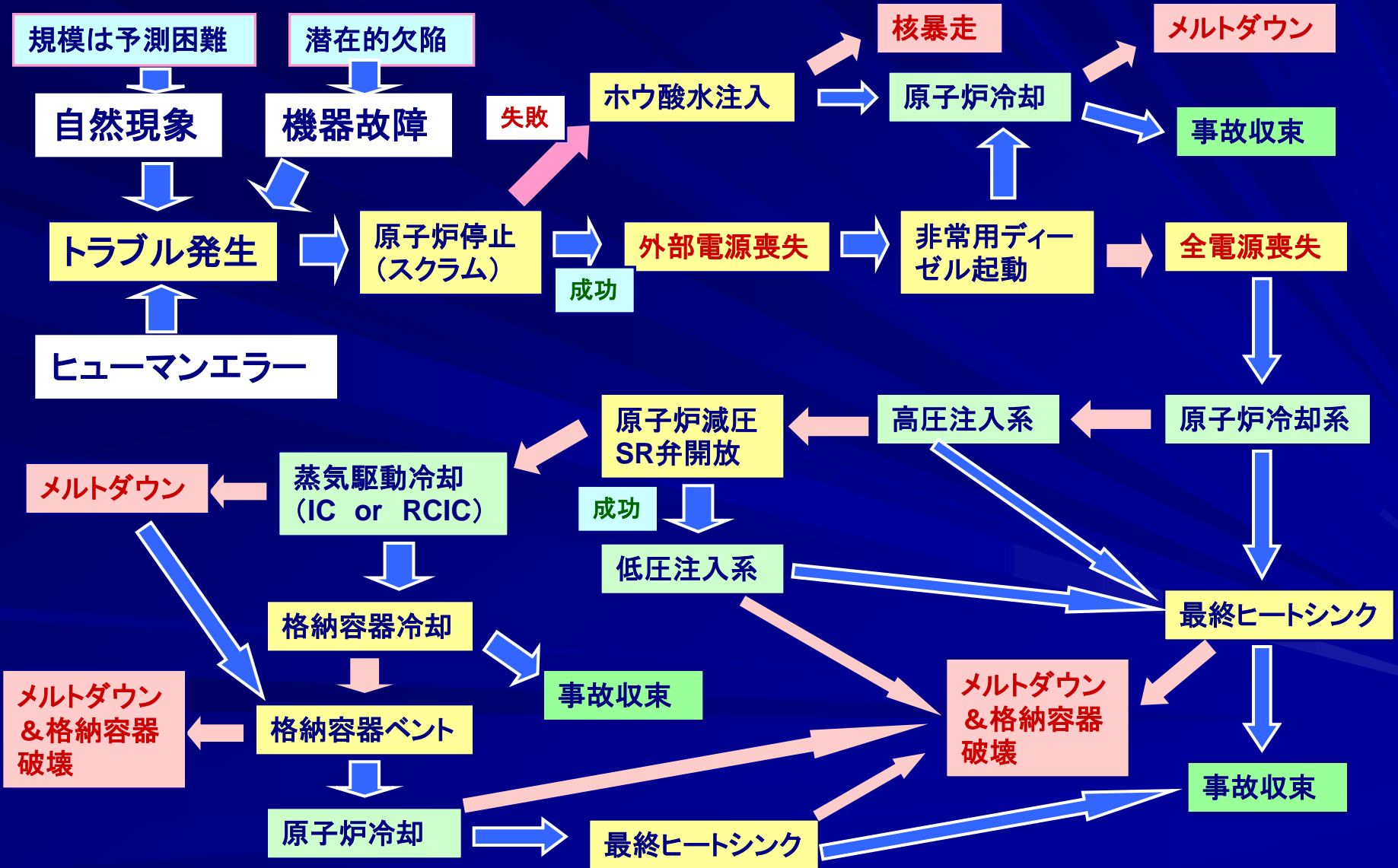
事故対策はうまくいかどうか分からない。実験ができないからぶっつけ本番。うまくいくことの方が奇跡だ。

炉心溶融し、さらに格納容器内にデブリが出ると事故の収束は極めて困難になる。

なぜ新規規制基準は安全性を確保できないのか

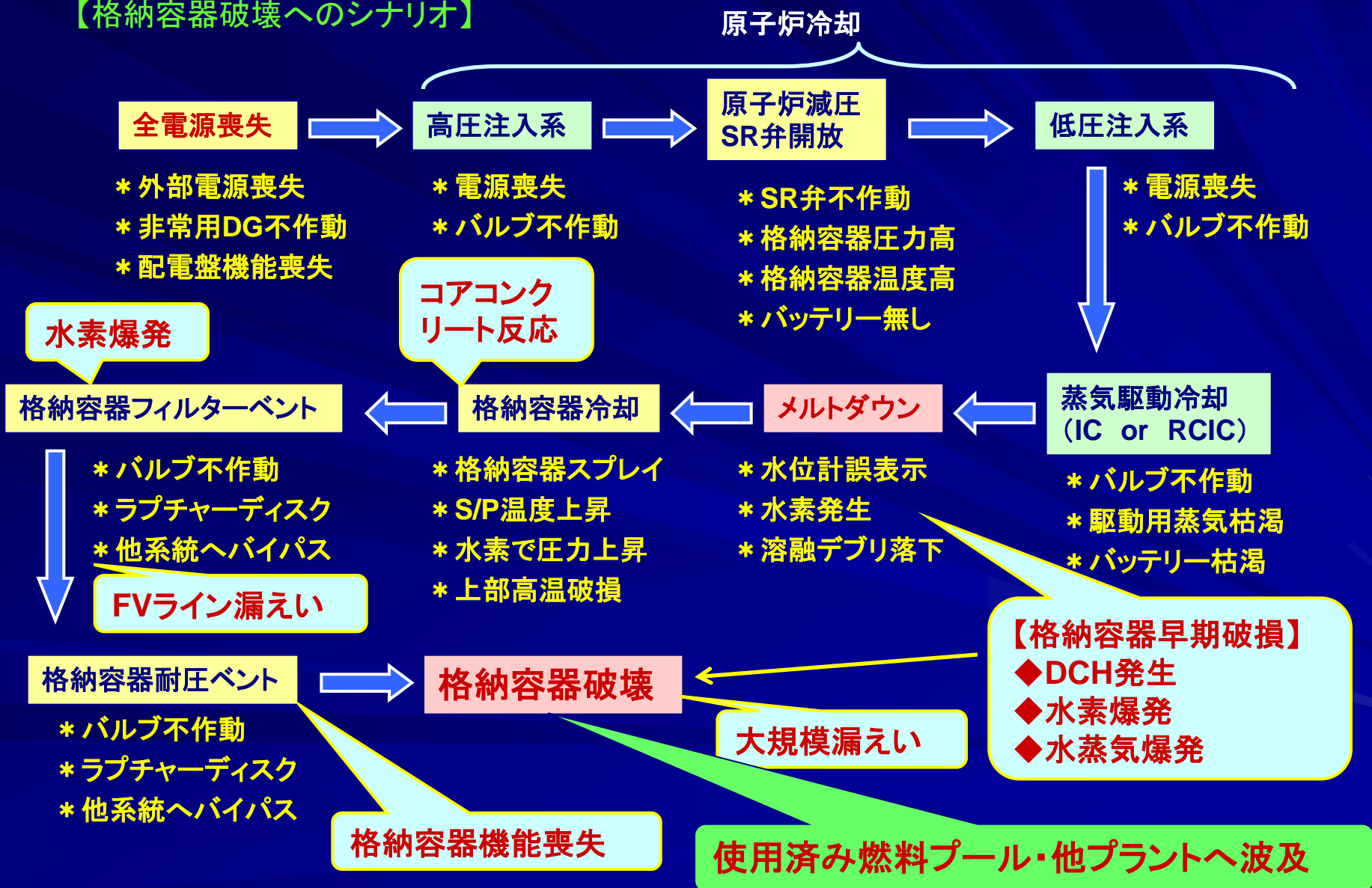
【格納容器ベントに関わる過酷事故シナリオ】

追加資料 後藤



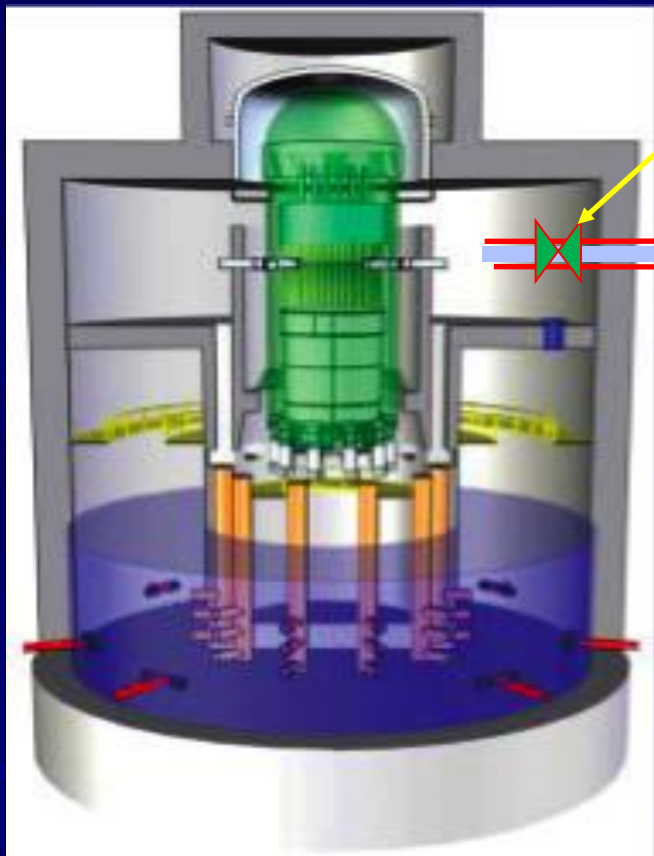
なぜ新規制基準は安全性を確保できないのか

【格納容器破壊へのシナリオ】



安全性の考え方 —格納容器隔離弁を例に—

ABWR型格納容器



格納容器を貫通する配管

- * 隔離弁が2つ(壁の内外)
- * 隔離弁の役割
 - ⇒ 事故時に隔離弁を閉じる (放射能を閉じ込める)
 - ⇒ 冷却用の水を入れるため 隔離弁を開く

安全性の考え方

- ① 状態を把握する ⇒ センサーで検出可能か？
- ② 操作をする ⇒ 隔離弁を開くか閉じる
- ③ 適切に操作できたか確認する ⇒ センサーで

フェールセーフにする

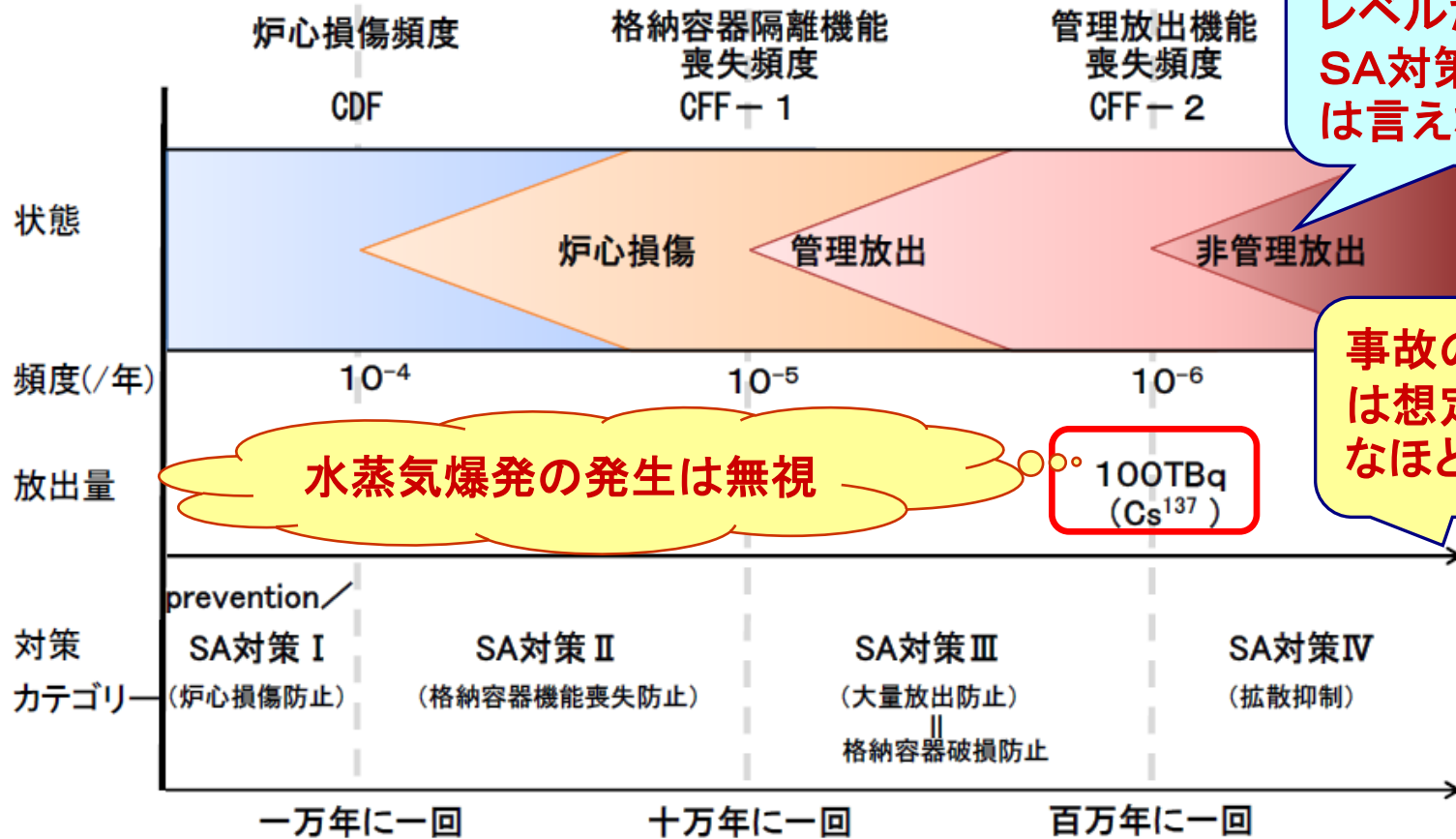
- ① 故障したら、安全側に！ ⇒ バルブを閉じるか開くか
- ② 電源が落ちると、バルブは閉じる？
- ③ 1号機の非常用復水器(IC)のフェールクローズ

格納容器に、冷却水を通す貫通部があることが問題！

最悪の事故は発生しうる、発生確率も2桁位大きい。

資料6-2

放射性物質放出量と発生頻度との関係（概念図）



ご清聴

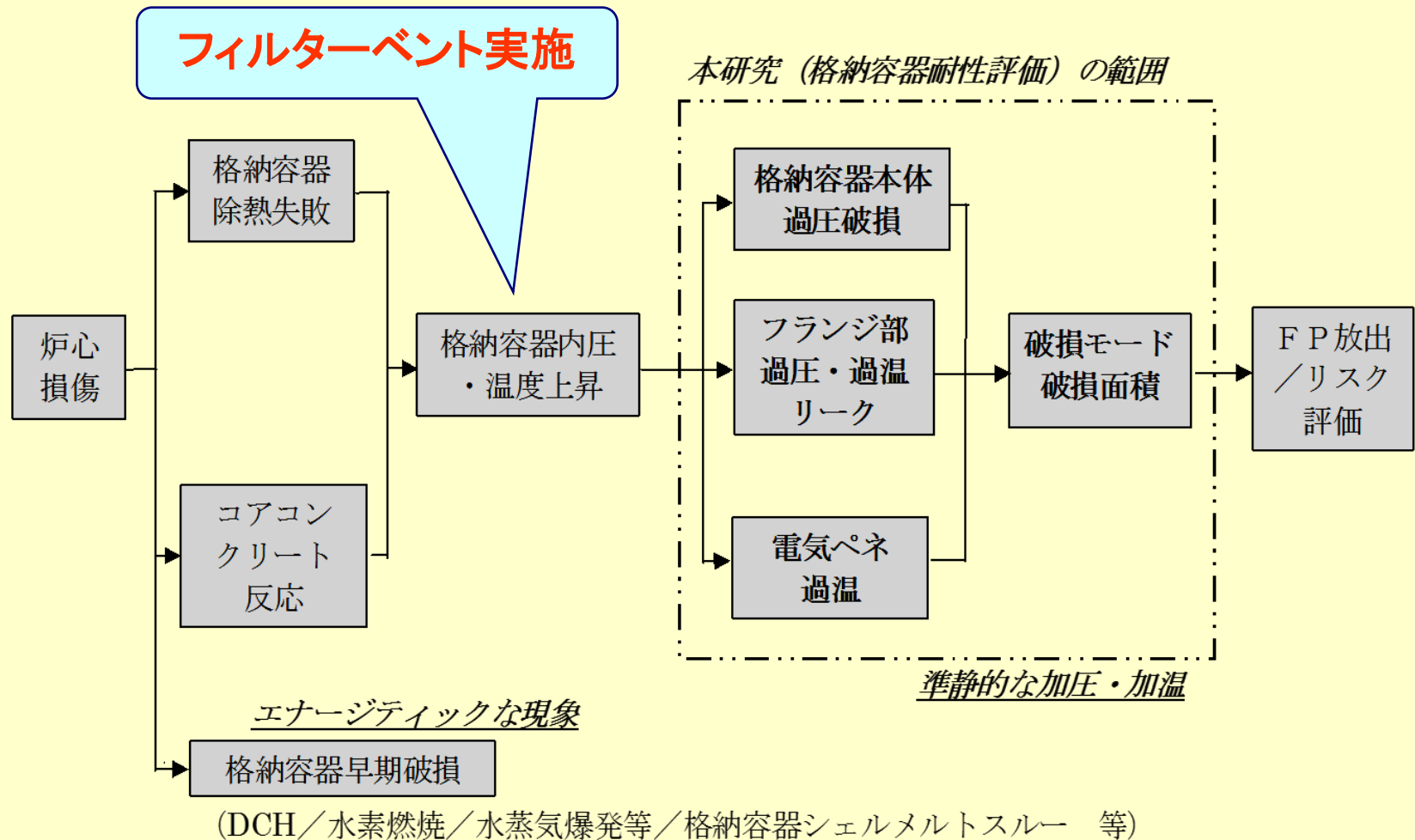
ありがとうございました

◆事前配布資料訂正のお願い(p.2下から5行目)

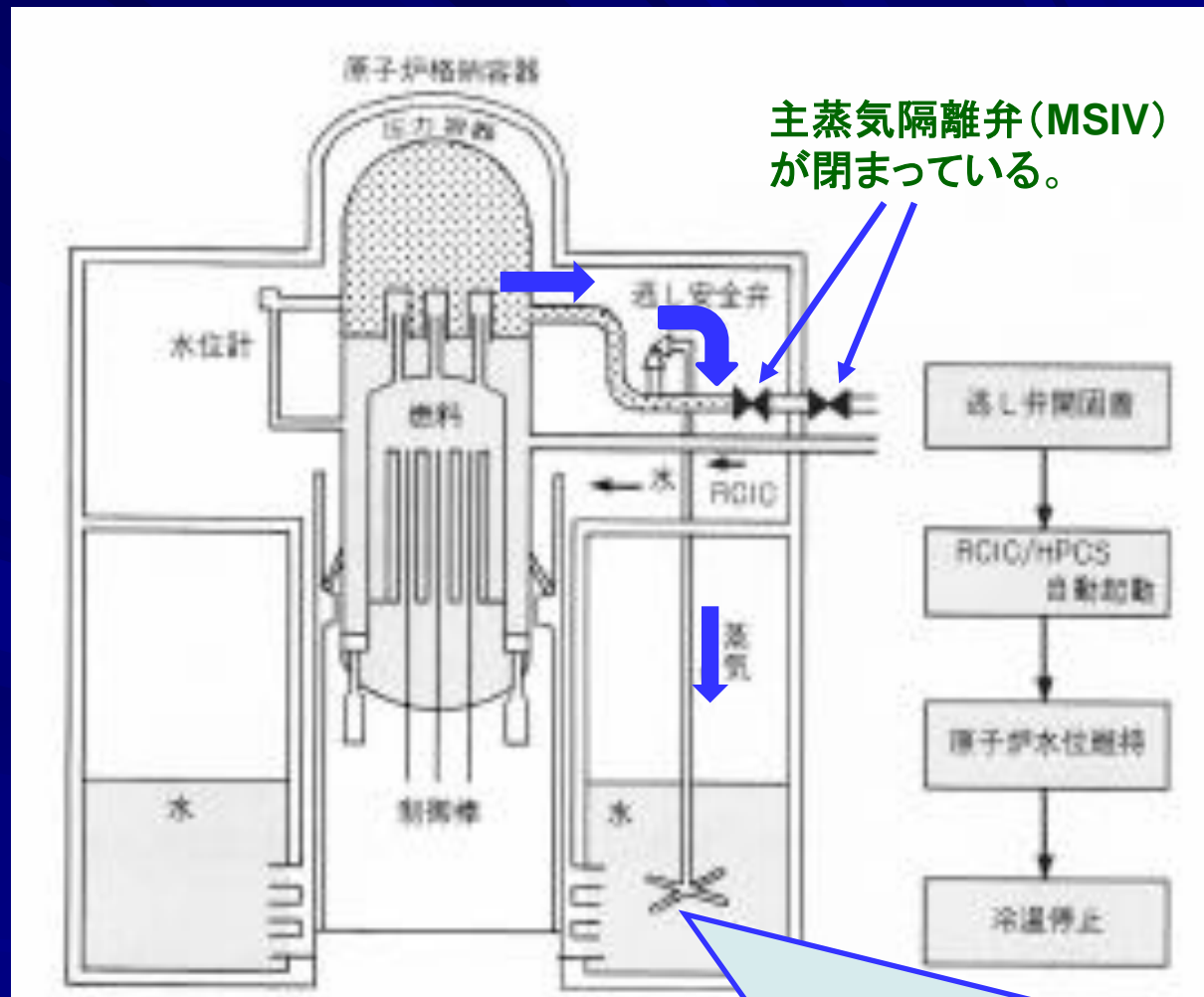
格納容器直接破壊(DCH) ⇒ 格納容器直接加熱(DCH)

【以下参考資料】

格納容器耐性評価の位置付け



原子炉停止時、逃がし安全弁作動S/P水温上昇

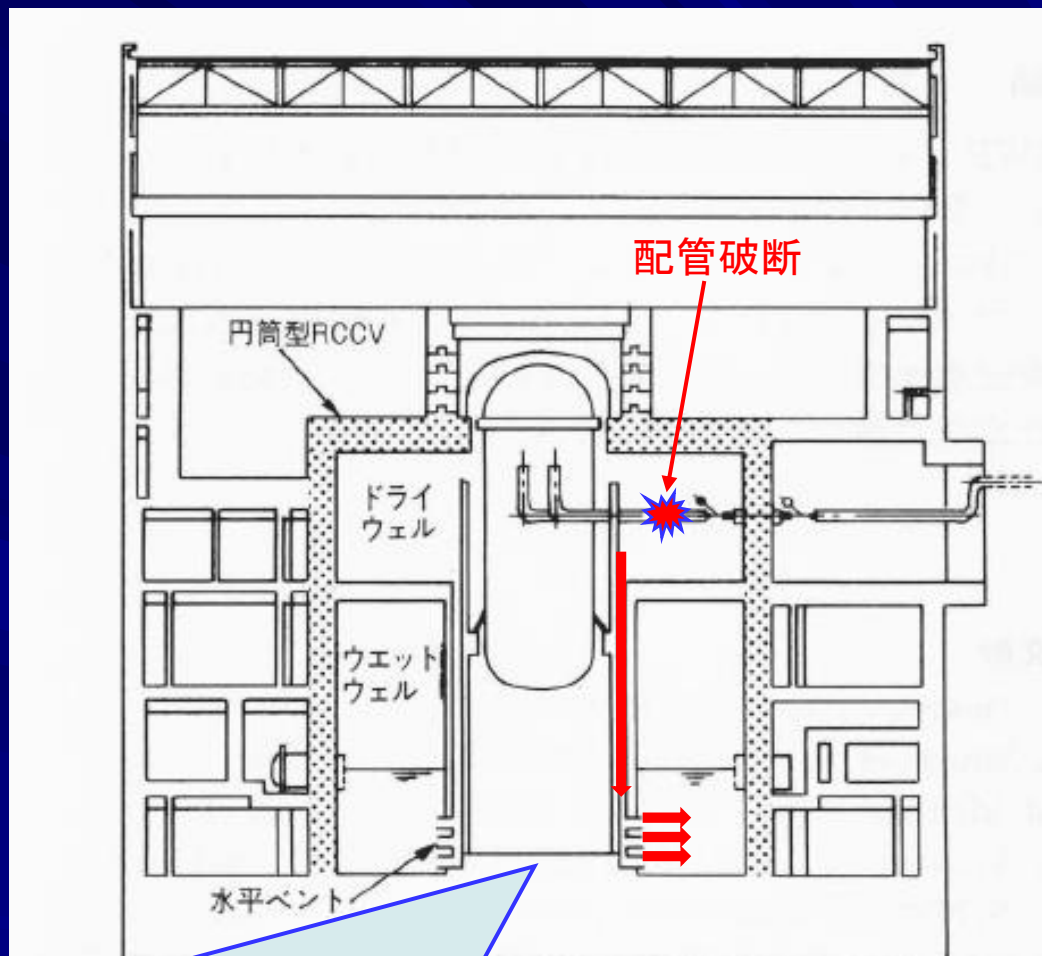


原子炉内の蒸気は逃がし安全弁 (SR弁) からXクエンチャーの穴から水中に噴出し蒸気凝縮で体積を小さく (圧力を抑制) する。しかし、長時間続けると水温が上がってしまう。

炉心損傷後のSR弁の機能喪失？

- ◆ 格納容器の設計圧以上になると、SRVが背圧で作動しない可能性が指摘されている。
- ◆ SRV等の機器の設計条件および過酷事故(重大事故)時格納容器の設計条件の情報交換上の齟齬があったのではないか？東電および原発メーカー、(バルブ)機器メーカーの正確な情報を確認すべき。
- ◆ これは、単なる故障ではない。技術情報のやり取りで、設計基準と過酷事故基準のダブルスタンダードが、混乱を招いている可能性が高い。
- ◆ この問題は、原子力エンジニアリング管理上の重要問題だ。

配管破断等 (LOCA時) ECCS作動、水蒸気をS/Pへベント



配管破断時の水平ベント管は上部と下部では水圧が異なるため凝縮性能に差ができる。特に、苛酷事故時に、圧力抑制プール水の水位が変わると、凝縮性能が問題になる。様々な条件で試験がされていない。

BWR型格納容器の過酷事故時の性能

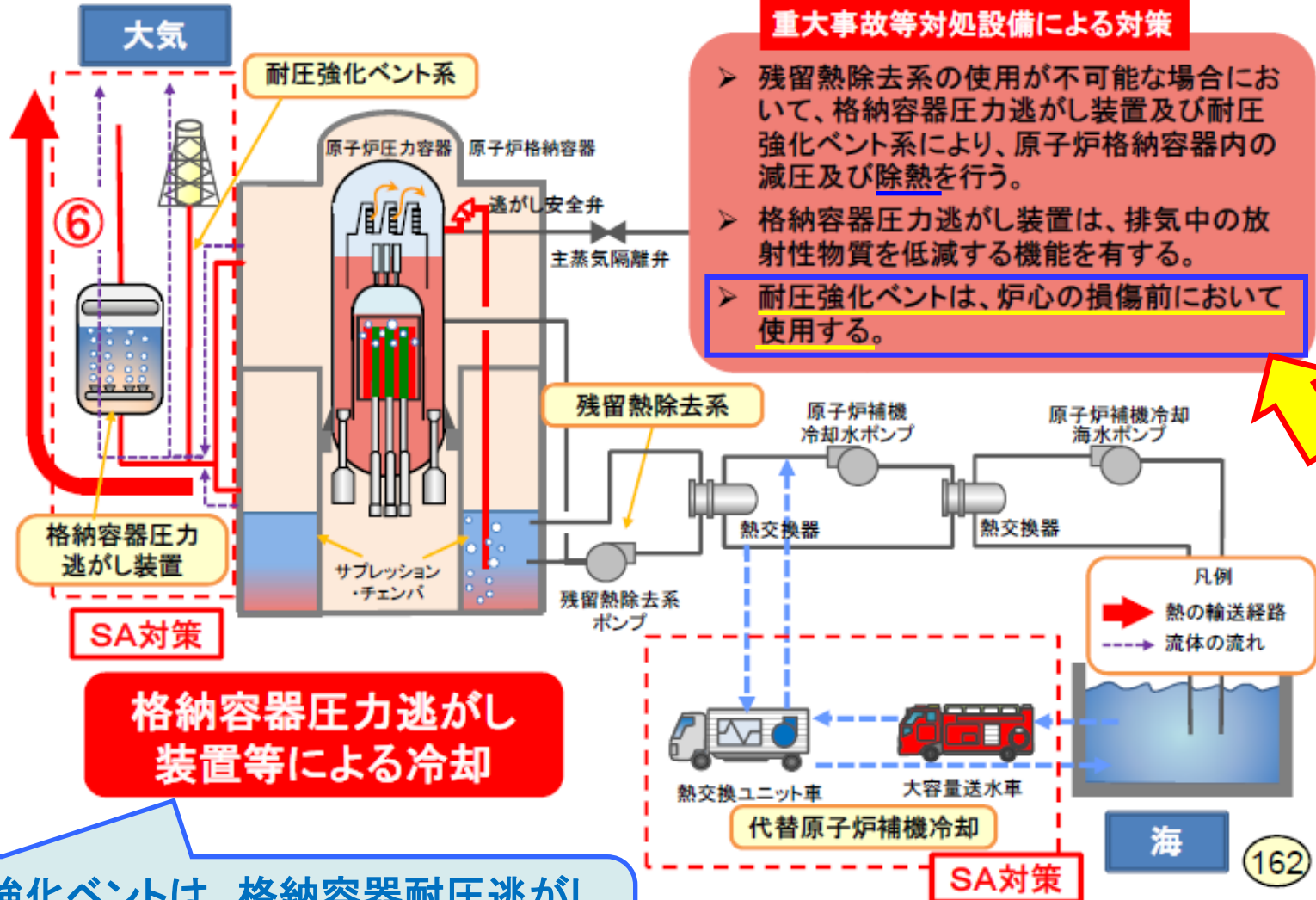
最新型のABWRは、最も早くベントが必要！

格納容器型式	マークⅠ 改良型	マークⅡ 改良型	ABWR RCCV
原子炉型式	BWR-5	BWR-5	ABWR
全空間容積(m ³)	14100	14400	13400
最高使用圧力(kg/cm ²)	4.35	3.16	3.16
S/P水量(m ³)	3800	4000	3600
熱出力(MWt)	3293	3293	3926
空間容積／熱出力 (m ³ ／MWt)	4.28	4.37	3.41
S/P水量／熱出力 (m ³ ／MWt)	1.15	1.21	0.92

容積も水量
も最小

原子炉を「冷やす」ための手段(9/9)

BWRの事例



重大事故等対処設備による対策

- 残留熱除去系の使用が不可能な場合において、格納容器圧力逃がし装置及び耐圧強化ベント系により、原子炉格納容器内の減圧及び除熱を行う。
- 格納容器圧力逃がし装置は、排気中の放射性物質を低減する機能を有する。
- 耐圧強化ベントは、炉心の損傷前において使用する。

SA対策

格納容器圧力逃がし装置等による冷却

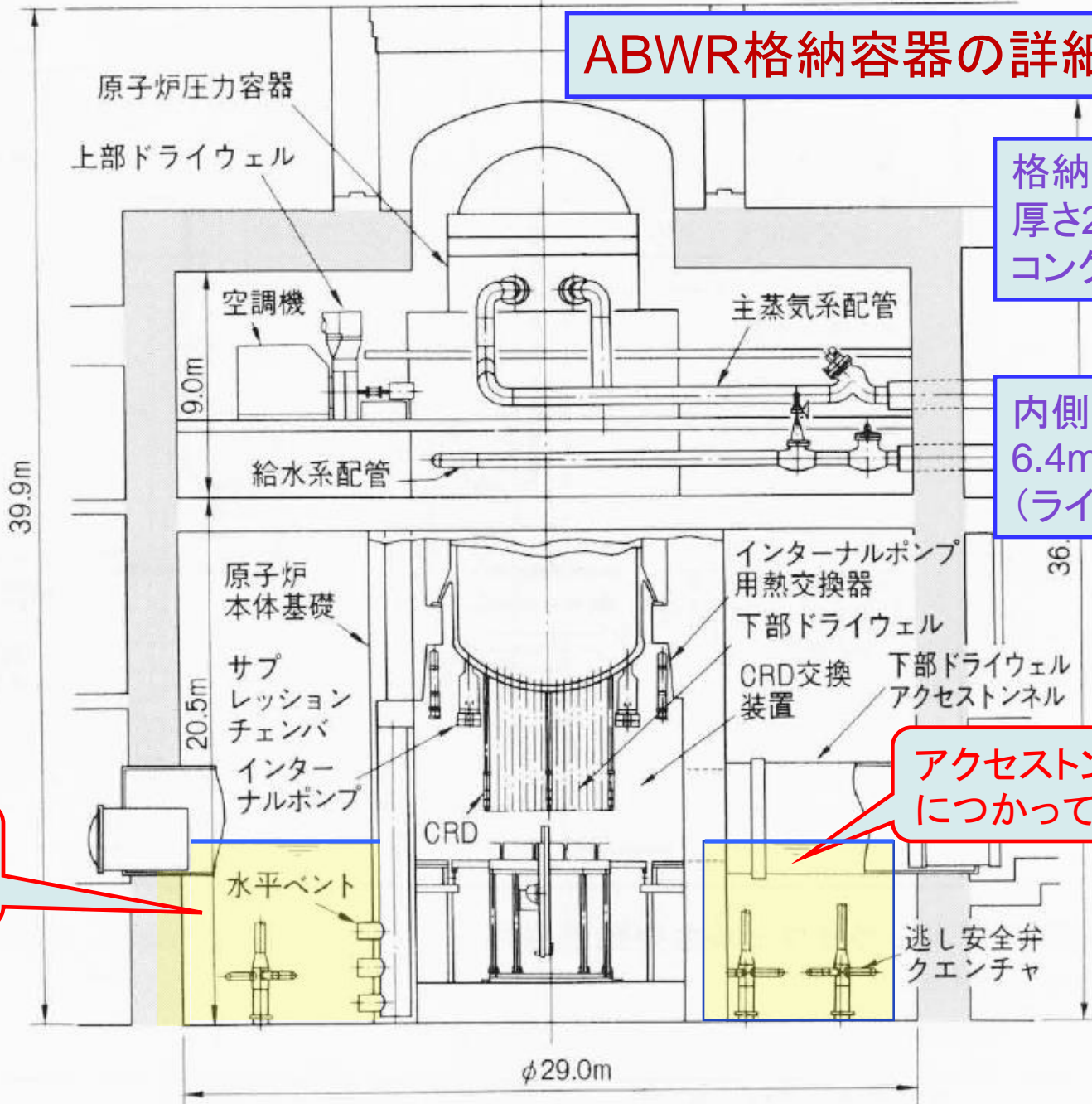
耐圧強化ベントは、格納容器耐圧逃がし装置(フィルターベント)が使えなくなっても最後には使うことになる。

耐圧ベントはFPをばらまく。耐圧ベント失敗は格納容器破壊へ(最悪シナリオ)

凡例
 → 熱の輸送経路
 - - - 流体の流れ

代替原子炉補機冷却
 SA対策

ABWR格納容器の詳細



格納容器の壁厚さ2mの鉄筋コンクリート製

内側に厚さ6.4mmの鋼板(ライナー)

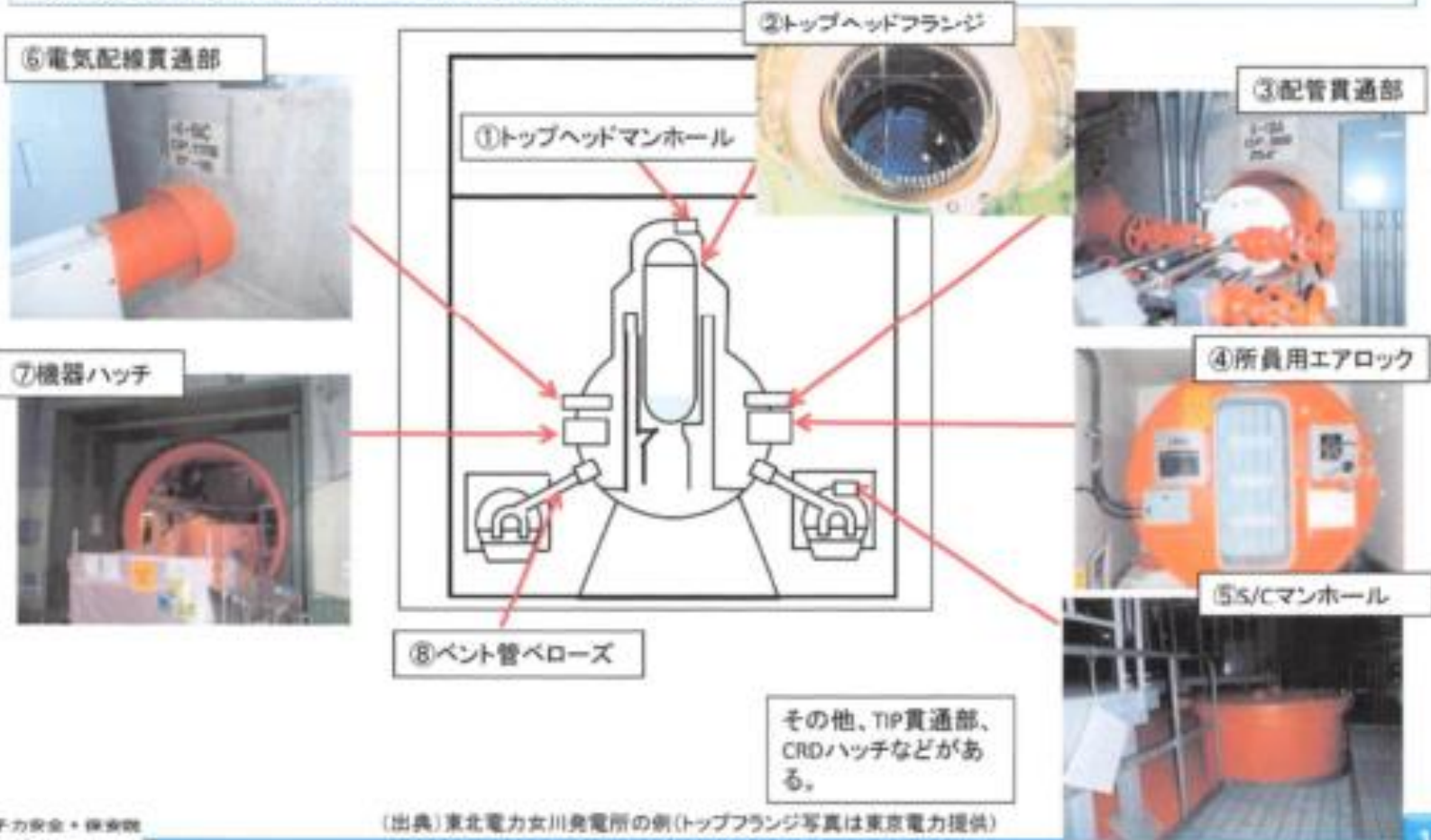
圧力抑制プール水

アクセストンネルは水につかっている。

注：略語説明 CRD(制御棒駆動機構)

格納容器貫通部の有機シール材は温度に弱い

原子炉格納容器には接合部や貫通部が存在し、有機シール材(シリコンゴム等)を充填させることにより気密性を確保している。以下の接合部や貫通部については、今回の事象において漏えいの可能性が指摘される主な箇所であり、具体的な漏えい経路について次頁以降にて検討する。



過酷事故時の格納容器最高 使用温度200°Cは無理？

- ◆ 格納容器の過熱破損が懸念される・・・200°Cは甘い？
- ◆ 福島原発では、格納容器上部は相当高温になった
- ◆ 格納容器の設計条件171°C、過酷事故条件200°Cは局所的な高温を考えると非現実的ではないか？

また、「注水が確保されていない状態ではフィルター
イベントを実施しても格納容器の過温破損を防止
できない」(東電)

⇒であるならば、確実に冷却できることが必須と考えられる。

- ◆ シリコンゴムを改良EPDM(改良エチレンプロピレンゴム)に変えても、水蒸気雰囲気中の劣化が改善されるが、耐熱温度は200°Cからたいして改善されない。

原子炉格納容器スプレイヘッダー

(格納容器内に冷却水を噴霧する)

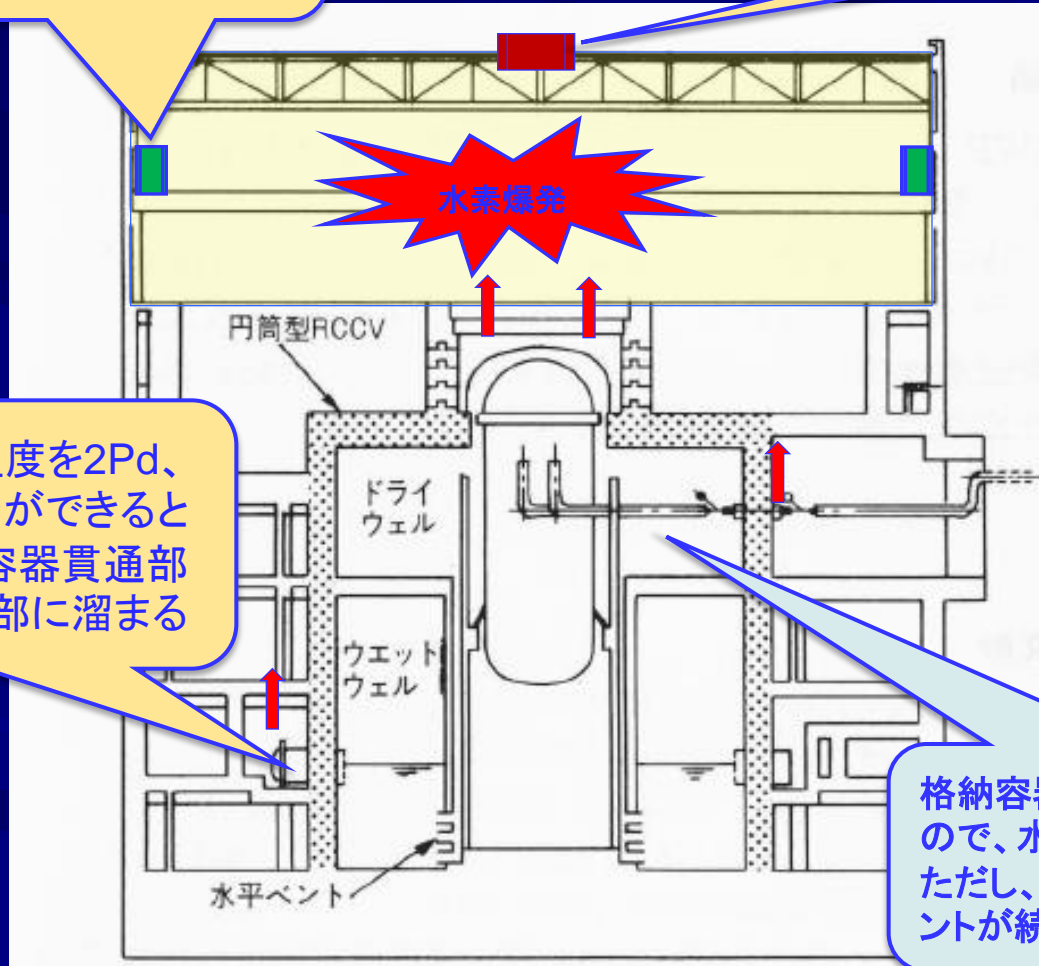
一度も水で試験をしていない。錆やゴミでスプレイノズルが詰まる可能性が懸念。

格納容器スプレイヘッダー

水素爆発の危険性

水素の処理装置をつけても、重大事故時に発生する水素の量が多すぎて処理できない。

一定以上の濃度になったら水素を逃がすために開ける仕組みにする。



格納容器の圧力温度を2Pd、200°Cに抑えることができるとは限らない。格納容器貫通部から水素がもれ上部に溜まる

原子炉建屋は二次格納施設で、やたらと開けるわけにはいかない。開けるタイミングは、水素濃度計の濃度により判断することになる。センサの誤作動や機能喪失、人為的ミスなどでタイミングが遅れると爆発する可能性がある。福島事故をきちんと反省すべきだ。

格納容器内は窒素を充填しているので、水素爆発は置きにくい。ただし、事故が進展し格納容器ベントが続くと爆発の危険性

水素の静的触媒式再結合装置は役に立たない

- ◆ 事故時の水素の濃度推定で、「格納容器圧力が2Pdになった際の漏えい率を評価し、それに余裕をとった10%/dayを静的触媒式再結合装置の設計の前提」ことは根拠がない。
- ◆ 高温時の水素漏えい量など、より厳しい条件で評価しておかないと、水素の処理能力が不十分になり、福島事故と同様、原子炉建屋内水素爆発を起こしかねない。
- ◆ 炉心熔融時の水素ガスの発生量は、数百キログラム（例えば、900kgから800kg等）になるところ、その全量近くが発生するものとして対策を立てるべきである。

格納容器の破損モード(壊れ方)

* 早期破損モード: エナジーティックな破壊

- ・DCH(Direct Containment Heating)
- ・再臨界
- ・水素爆発(Detonation)
- ・デブリ接触(マーク I 型)
- ・水蒸気爆発(炉内/格納容器内)
- ・MCCI(コア・コンクリート反応)

格納容器が爆発的に
壊れると福島事故の
被害レベルでは
すまない!

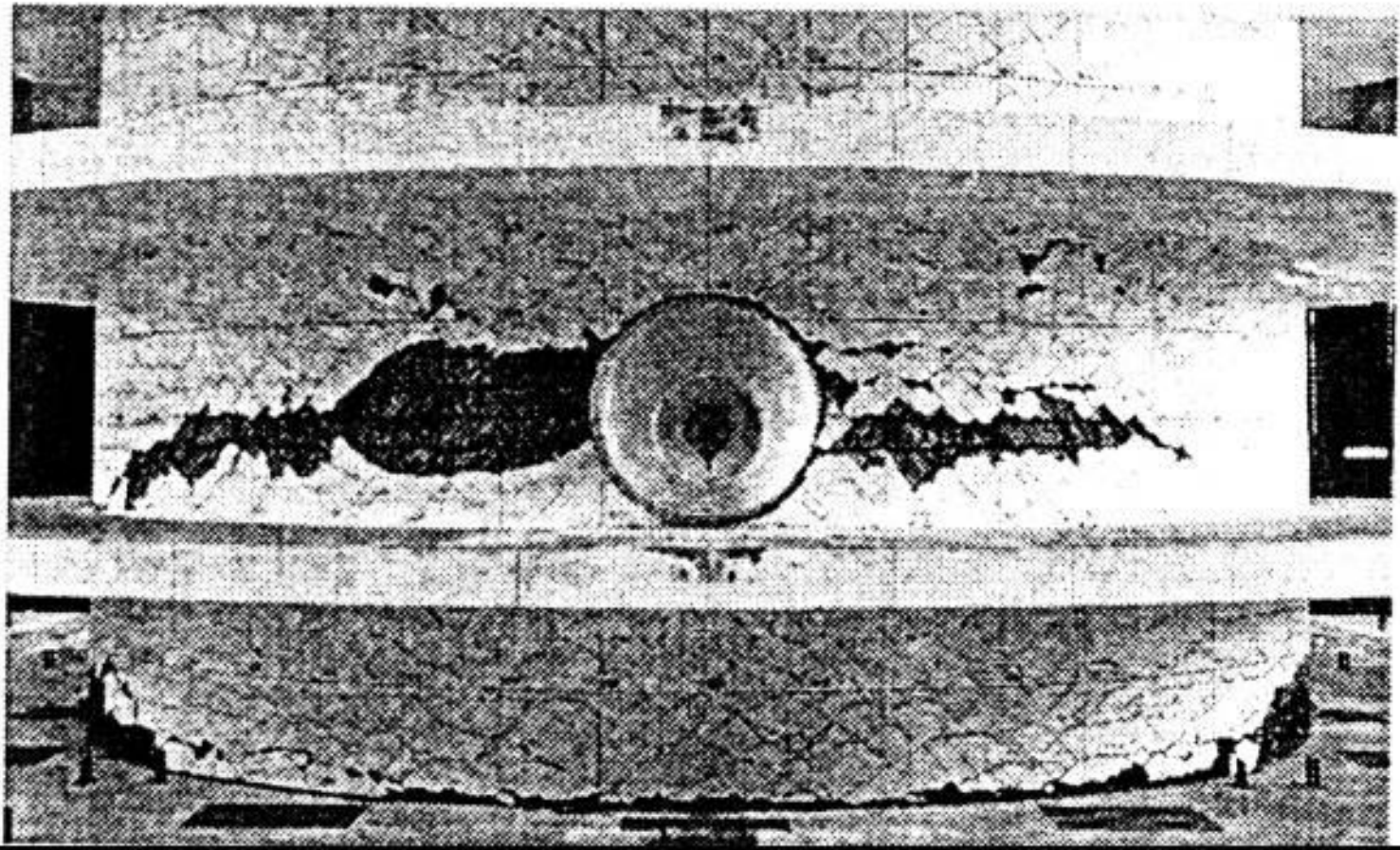
* 準静的な過圧・過温モード

⇒格納容器ベントは事故シナリオのひとつ

多度津RCCV耐震試験体

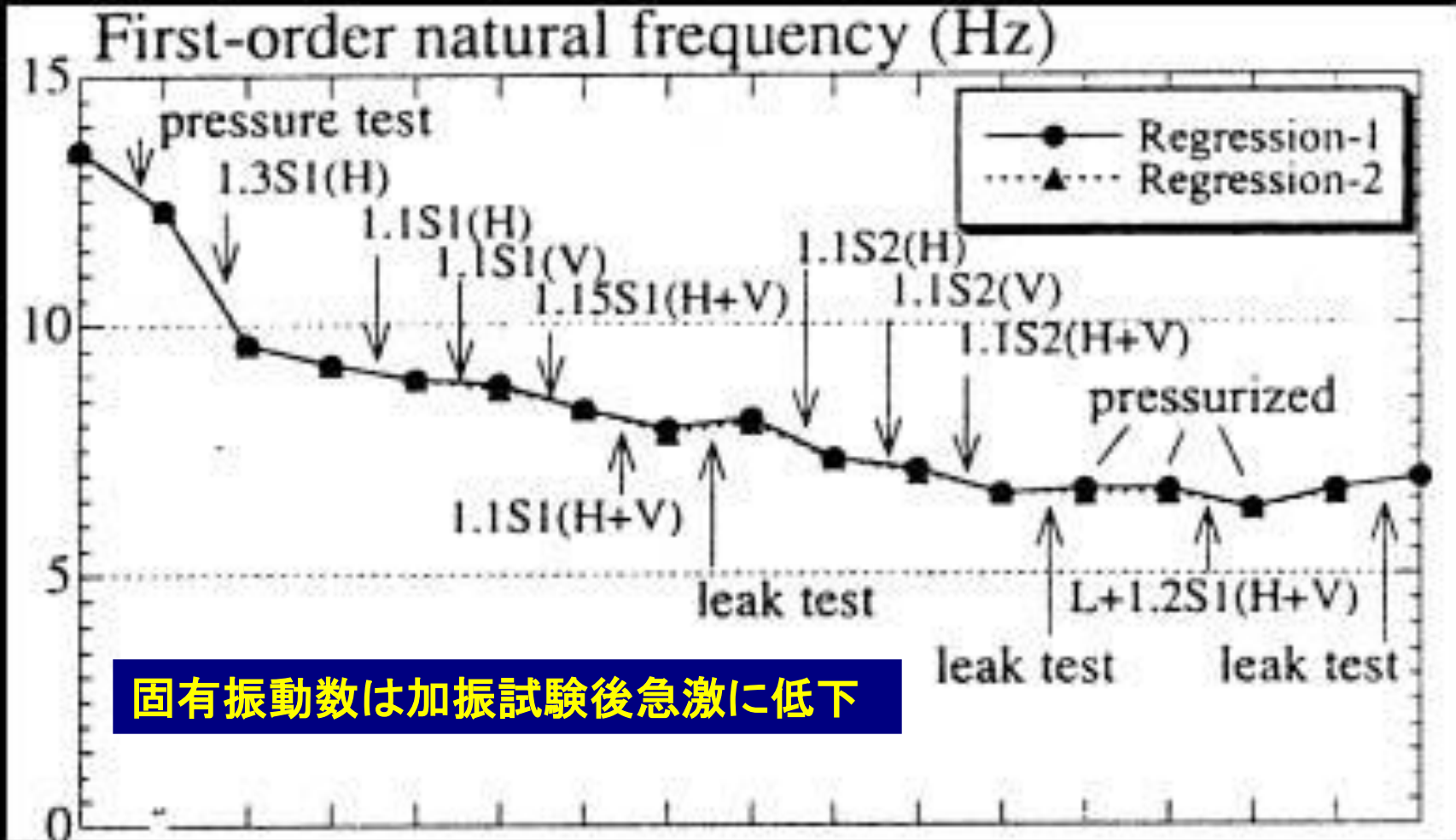


RCCV耐震実証試験



試験体開口部亀裂(試験終了後)

RCCV耐震実証試験 固有振動数変化



固有振動数は加振試験後急激に低下

繰り返し地震動で固有振動数大幅低下。耐震設計上問題。

プレストレストコンクリート 製格納容器 (PCCV)

ドライ型鋼製格納容器 (SCV)

PWR

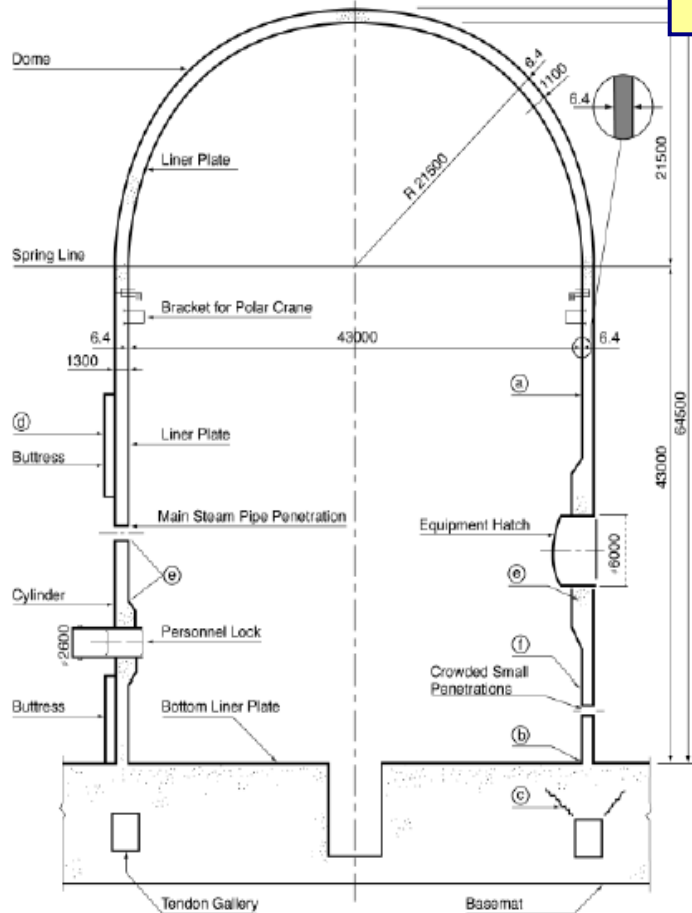


Figure 2.1. Elevation of PCCV Prototype and Potential Failure Locations

直径約43m、壁厚約1.3m、
鋼製ライナー6.4mm (テンドンの健全性)

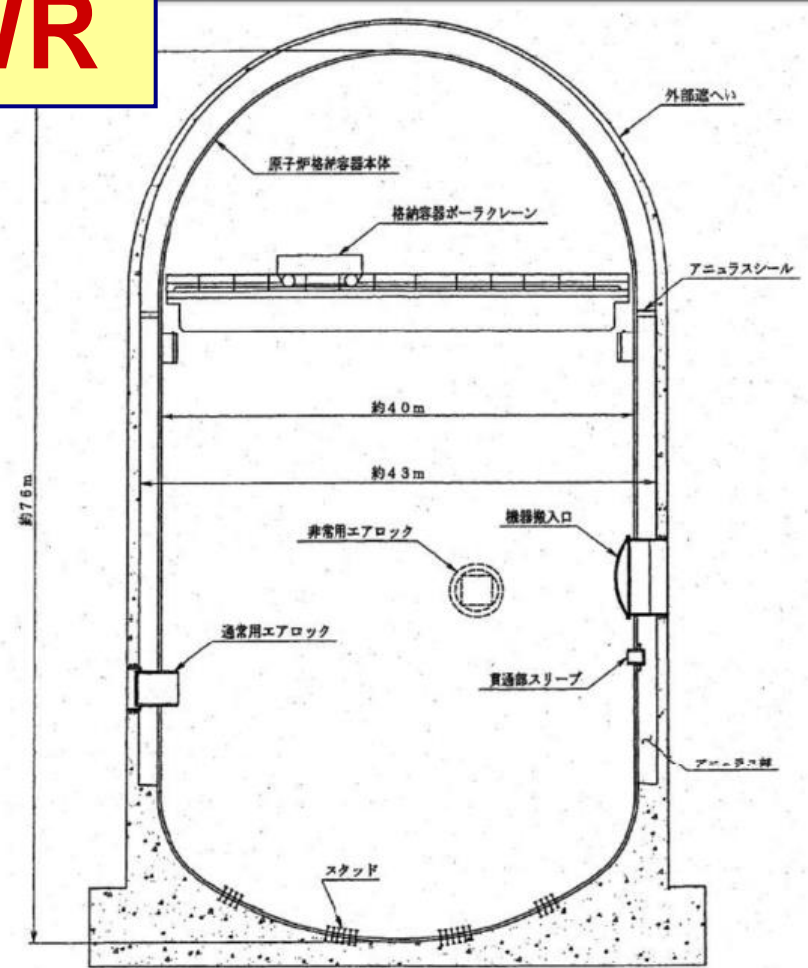


図2 原子炉格納容器本体

直径約40m内外、鋼板約44mm程度
(鋼板の座屈強度)

九州電力は昨年2月頃、玄海原発では「万が一の事故の際においても、放射性物質の放出量は福島第一原発事故時の約2000分の1の4.5テラベクレルであることが確認されました」と記載したリーフレットを原発周辺住民1万500戸（玄海町・唐津市7500戸と佐賀・長崎・福岡3県の区長3000人）に配布した。

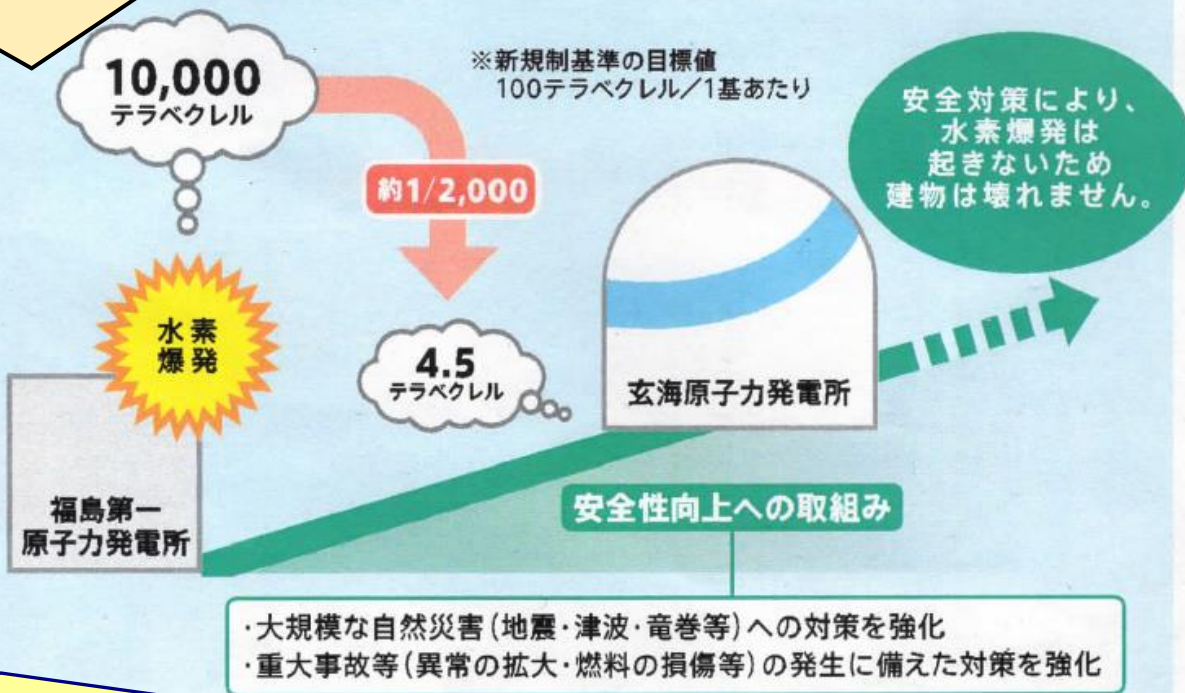
先月11日、原子力規制委員会の更田委員長は玄海原発周辺11自治体首長らとの意見交換会の場で「最悪でもここまでしか出しませんという言い方は、一種の神話だ」と指摘、山口・佐賀県知事も「安全神話につながるような考え方はあってはならない」と県議会で批判しました。それを受けて、九電は瓜生社長肝いりの「2000分の1」が記載されたこのリーフレットの利用を撤回・中止しました。（以上市民団体の抗議文より）

回収された九州電力玄海原発のパンフ

水素爆発が格納容器を破壊したらこの百倍ではすまない？

重大事故時の放射性物質の放出量

新たに設置した設備や対策により、重大事故が発生した場合でも格納容器は破損せず、放射性物質（セシウム137）の放出量は、「4.5テラベクレル（1基あたり）」になることが、原子力規制委員会で確認されました。このため、UPZ圏内（発電所から概ね5～30km）の住民の皆さまは、事故が起きてもすぐに避難する必要はなく、屋内退避（家屋等に留まること）していただくことになります。



『安全対策をしたら最悪の事故は起きない？』

「安全に終わりはありません」

私たちは、新規制基準を遵守することはもちろんのこと、常に国内外の知見を求め、地域の皆さまの声もお聴きし、自主的・継続的な活動を積み重ねることで、絶えず安全性向上に取り組んでまいります。