

1)

原子力発電所の安全は確保できるか

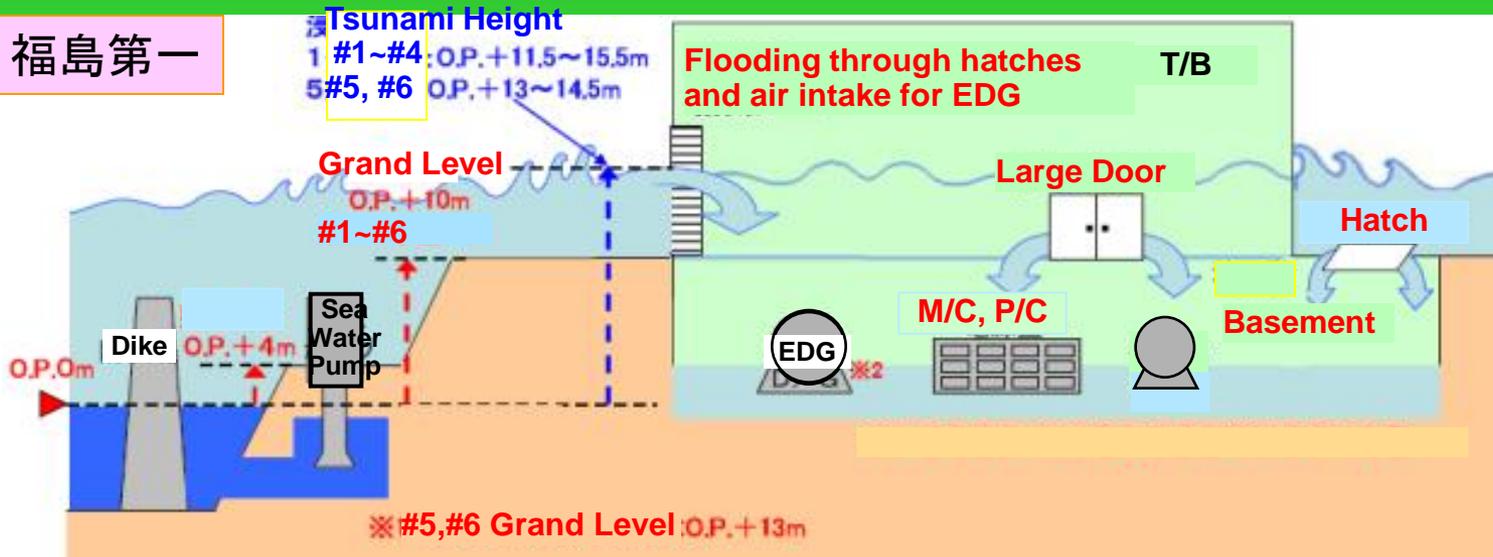
世界最高水準の安全性を目指した対策とその目標

平成24年8月4日(土)14:05~14:35

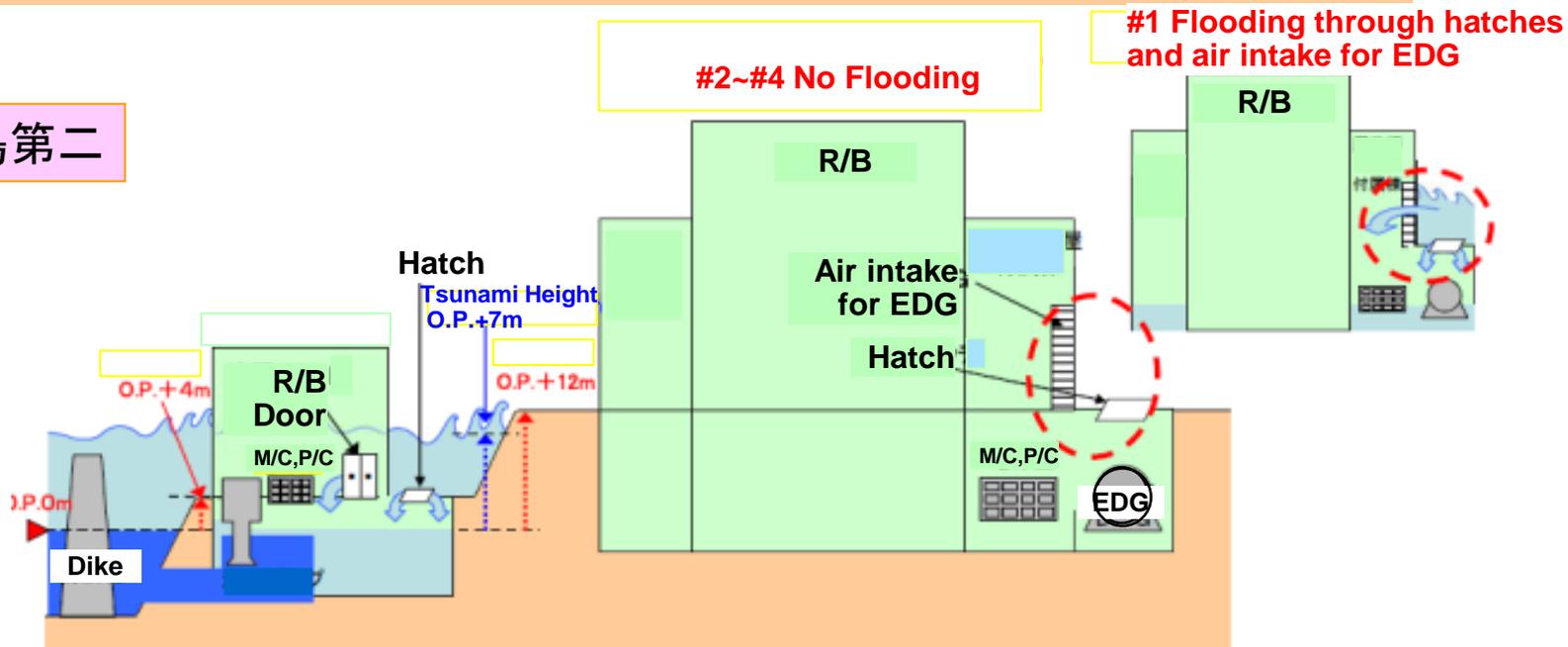
北海道大学 工学研究院
エネルギー環境システム部門
教授 奈良林 直

津波の浸水ルート

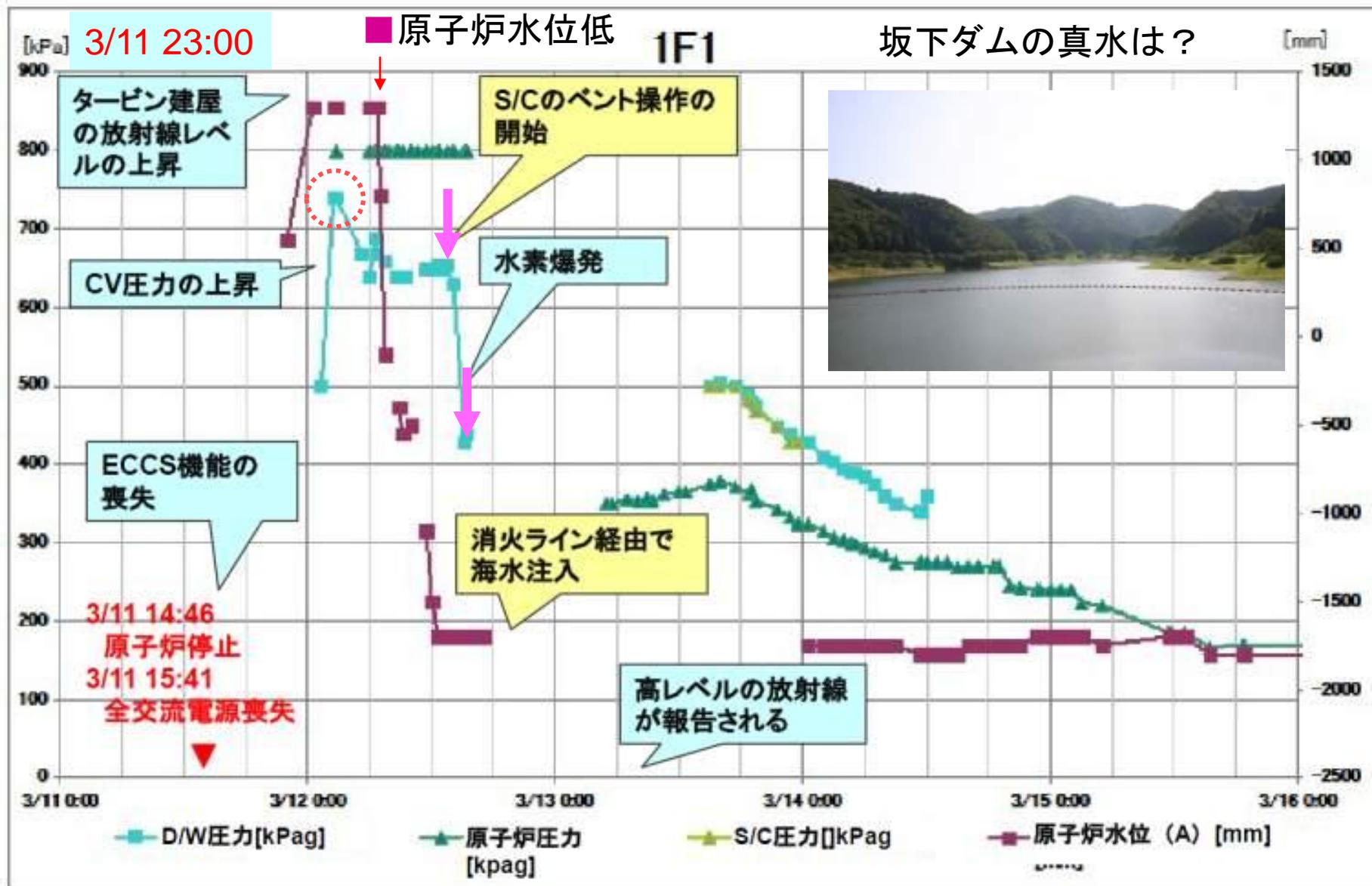
福島第一



福島第二

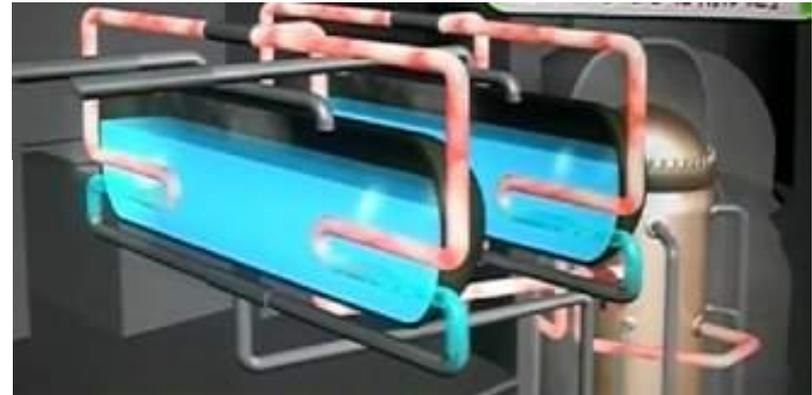
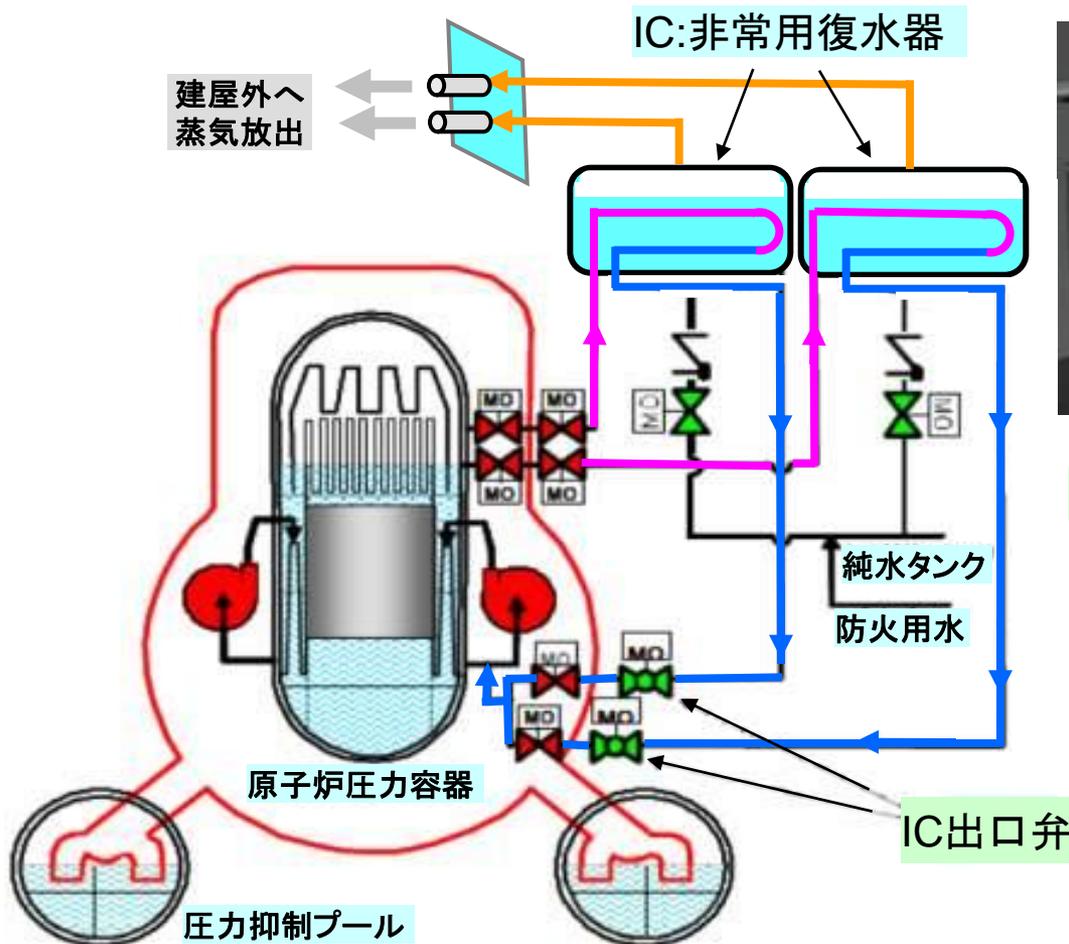


1号機では3.11夜に格納容器漏洩



1号機の自然冷却系(IC)は弁で閉止

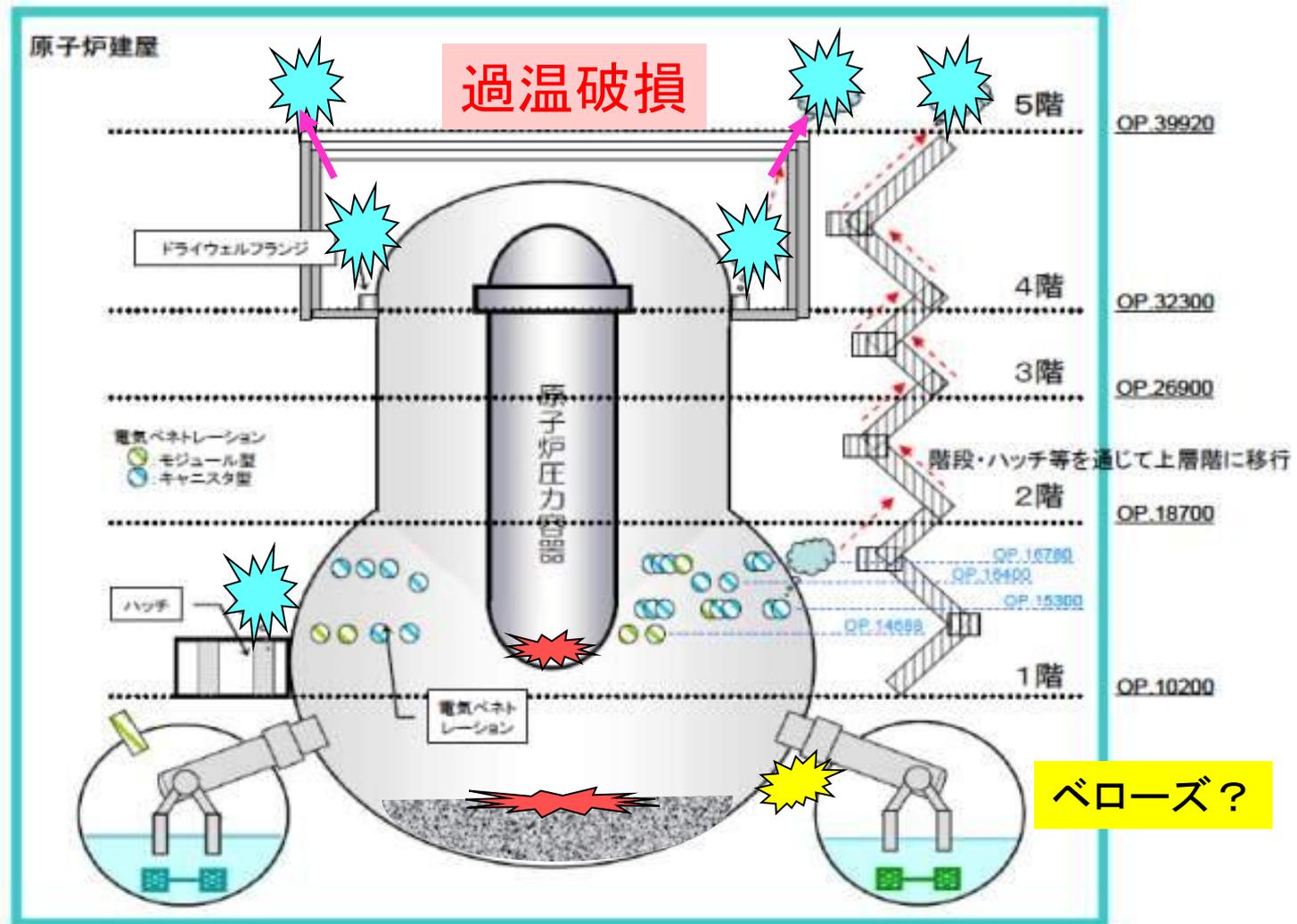
■強力な冷却・減圧性能があったが、バッテリー切れで制御盤が機能喪失。動いていたら、事故収束できた。



■2号機・3号機のRCICの蒸気タービンもバッテリー切れと圧力抑制プールの水温・圧力上昇でSR弁の減圧遅延

格納容器の過温破損・漏洩①

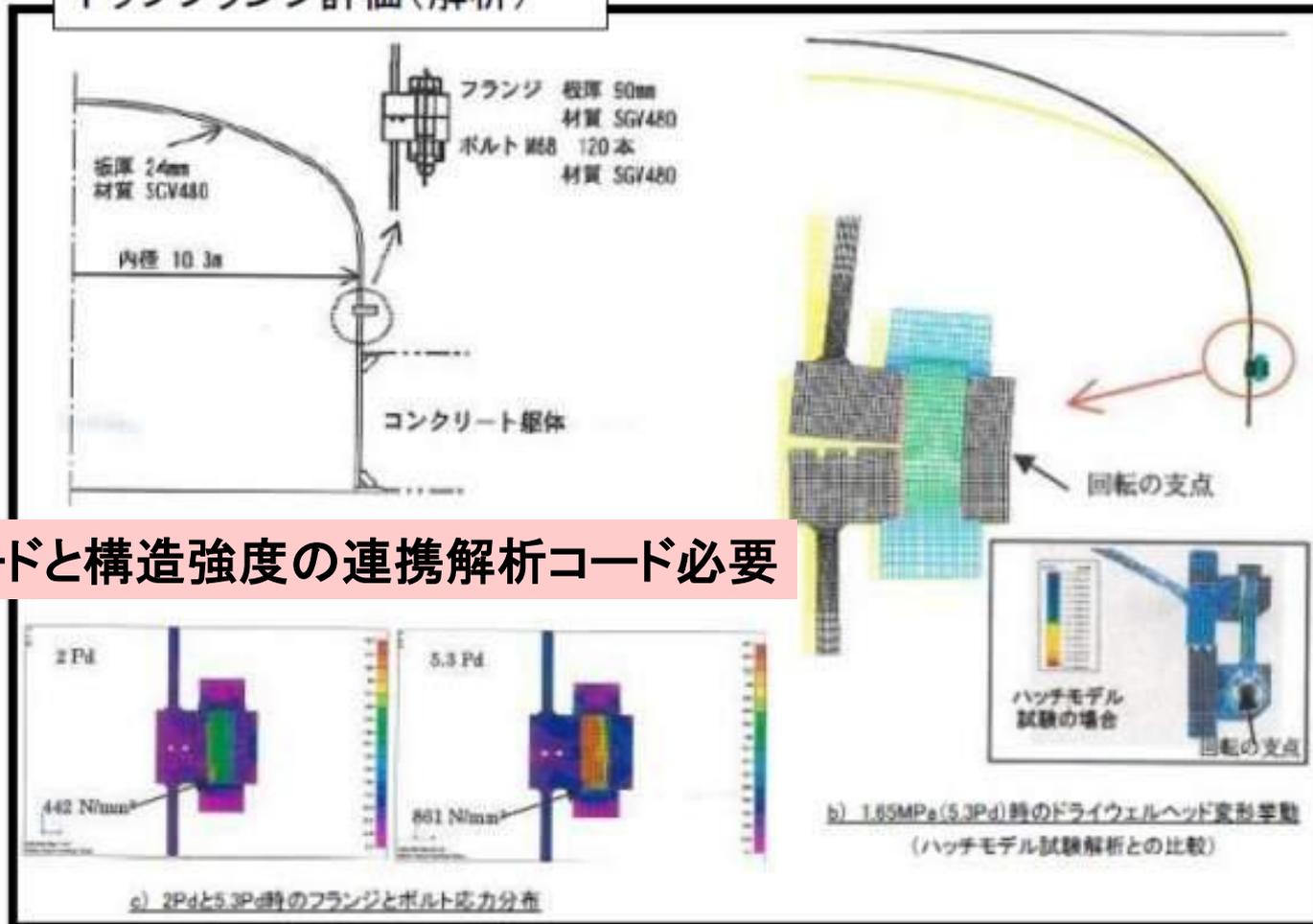
■ 格納容器のトップフランジやハッチから漏洩



格納容器からの過温破損・漏洩②

■ トップフランジの過温破損の研究成果があった

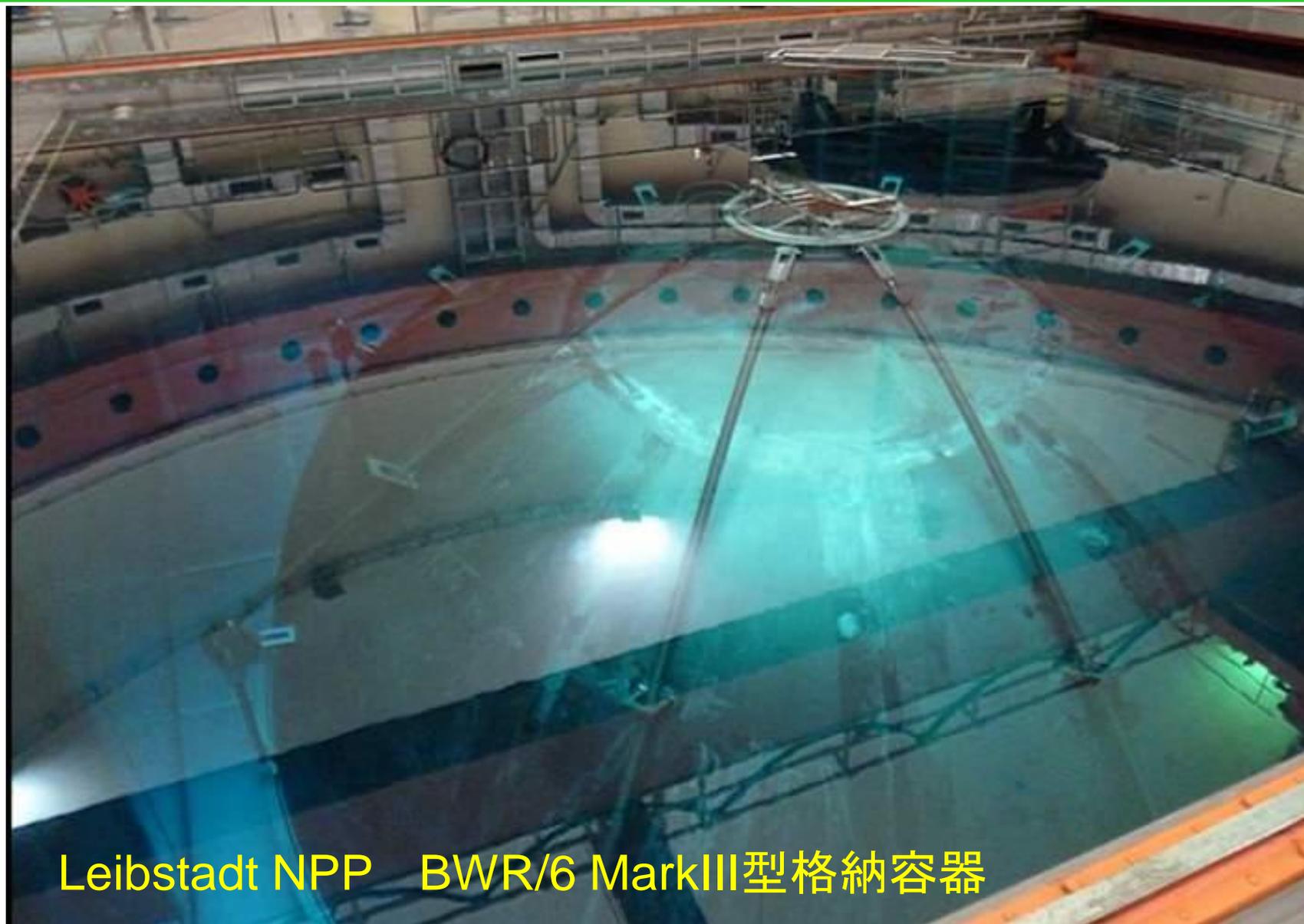
トップフランジ評価(解析)



熱水力コードと構造強度の連携解析コード必要

出典: (財)原子力発電技術機構:重要構造物安全評価(原子炉格納容器信頼性実証事業)に関する総括報告書:平成15年3月4、4.構造挙動試験 4.1項SCV試験

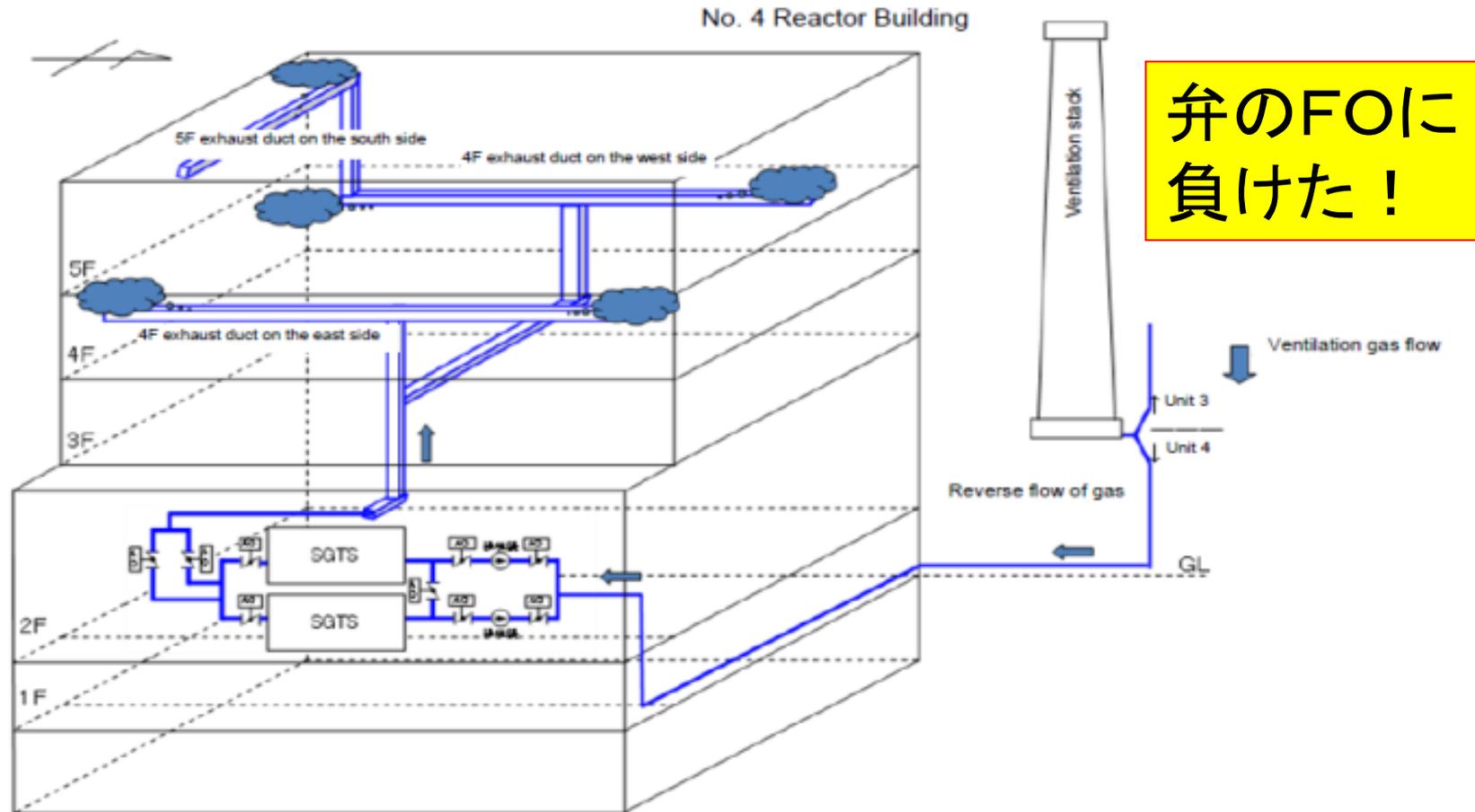
スイスの格納容器頂部はプールの底



Leibstadt NPP BWR/6 MarkIII型格納容器

4号機の水素爆発は3号機からの水素

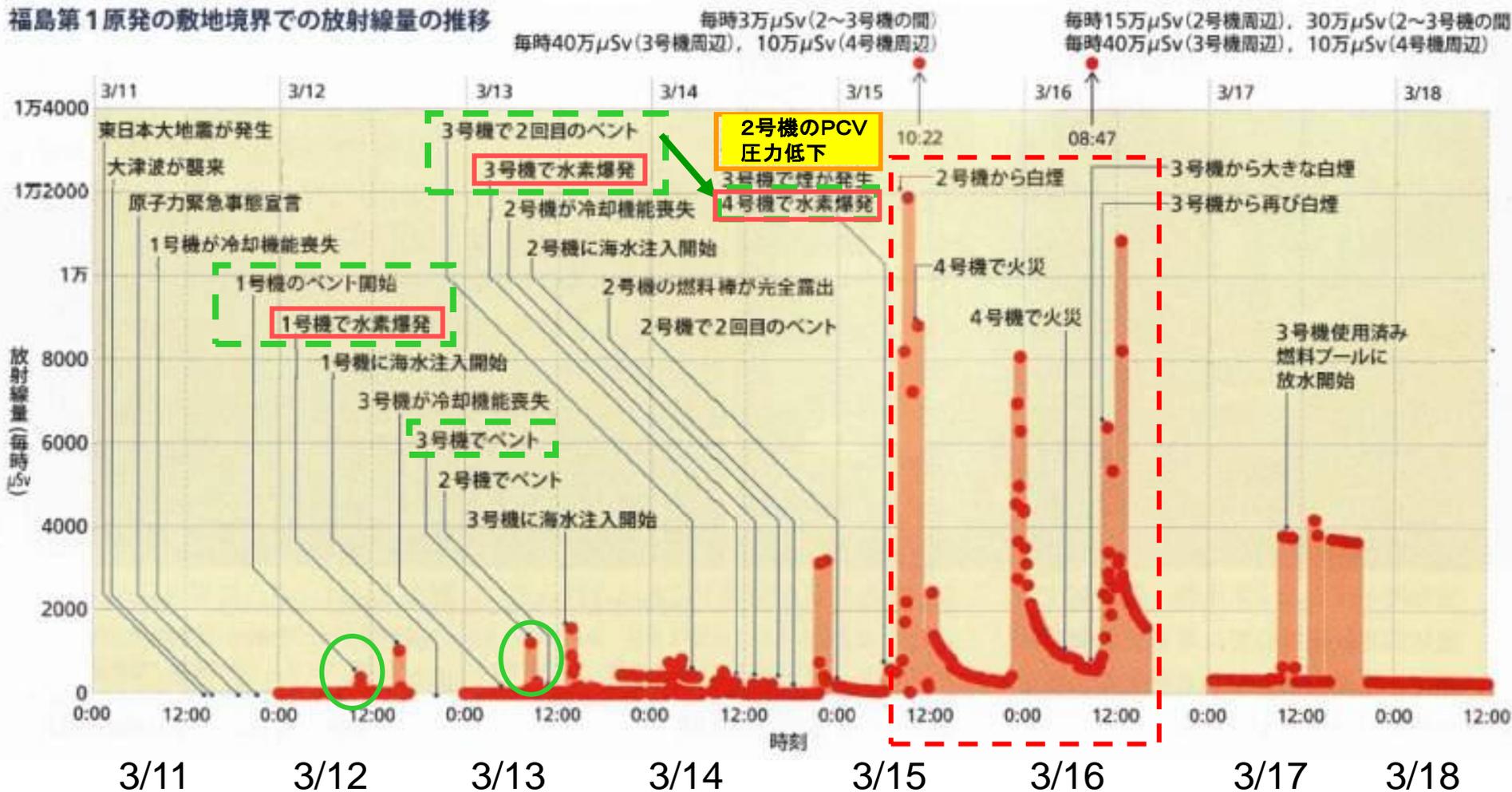
- 4号機は排気管の号機間共用に起因した3号機からの流入水素により水素爆発した可能性大
- SGT5フィルタがFPで汚染され、逆流した証拠



格納容器の損傷後に放射線量率急増

3/15の2号機のPCV漏洩以降の放射線量率が急増

福島第1原発の敷地境界での放射線量の推移



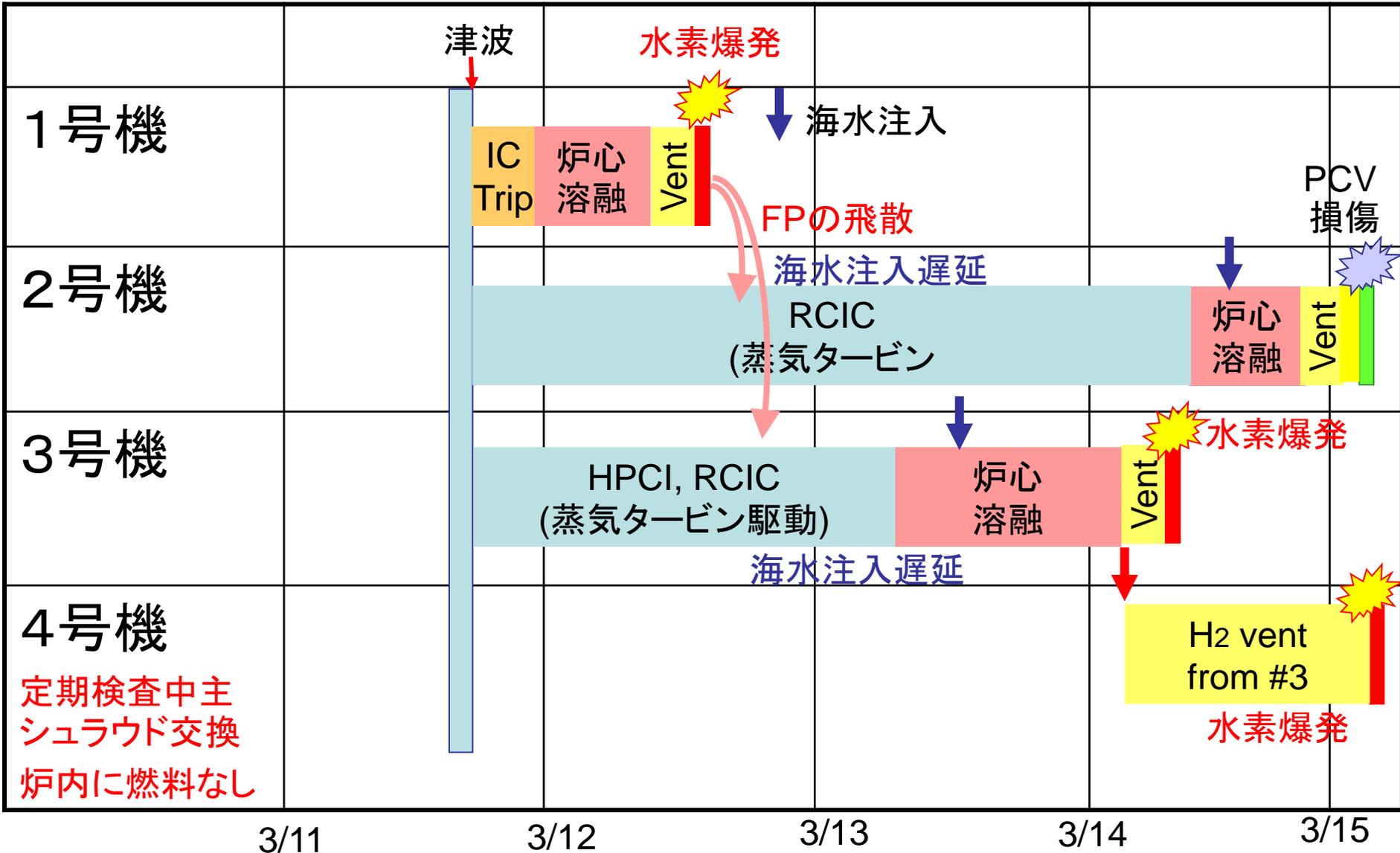
日経サイエンス7月号より

水素爆発と格納容器破損



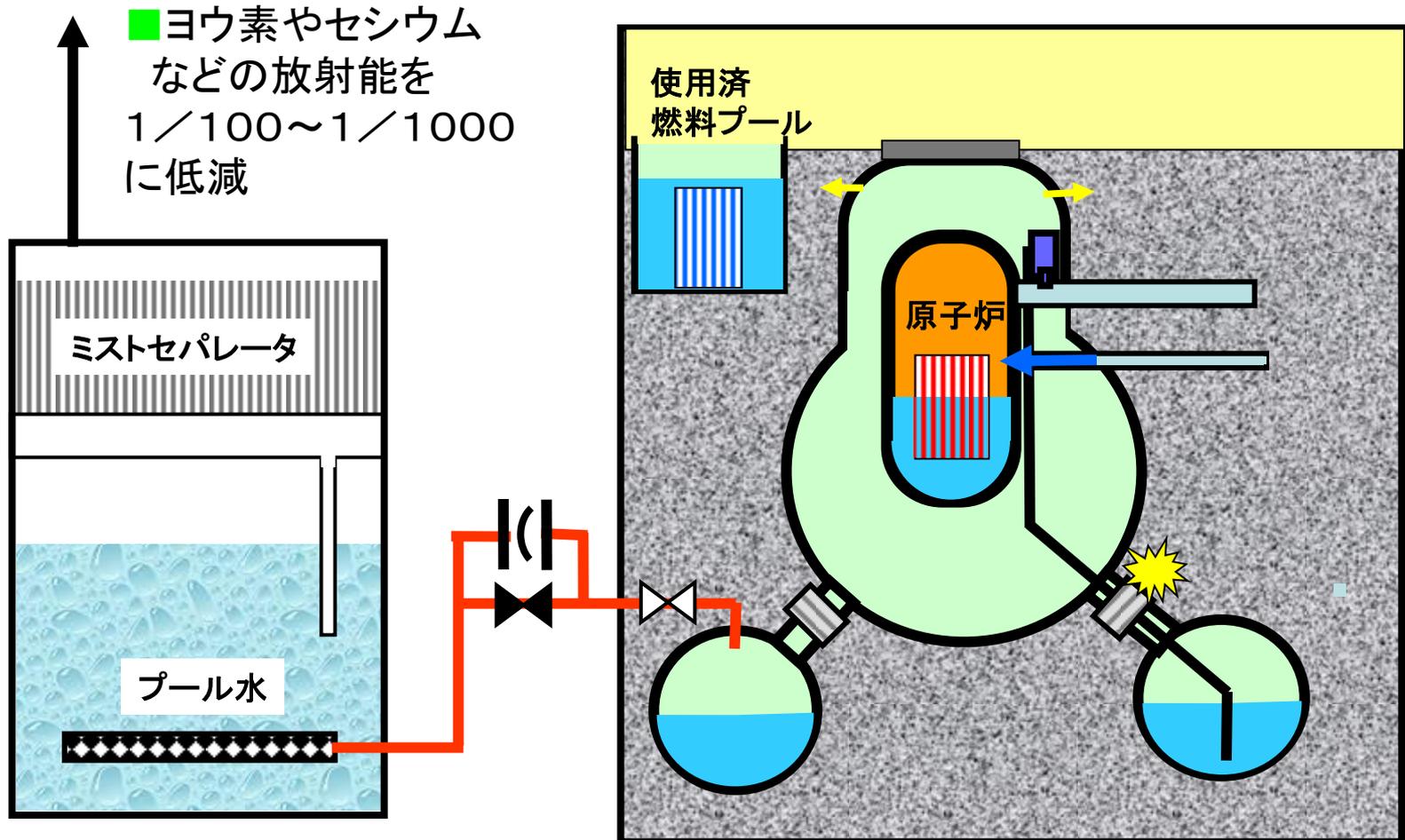
エアフォートサービス社提供

福島第一発電所過酷事故の連鎖



抜本的対策：フィルター付きベント

■チェルノブイリ事故の教訓：「例え事故が起こっても地元には迷惑をかけません」
(フランス、ドイツ、スイス、フィンランド、スウェーデンのほぼ全ての原発に設置)



フランスのショー発電所



フィルター付ベント

スイスのライプシュタット発電所



フィルター付ベント

フィルター付ベントの重要な役割

- (1)格納容器(C/V)破損の防止
- (2)放射性物質の飛散防止

福島第一原子力発電所の状況

- #1号機 格納容器0.7MPa + ベント操作+水素爆発 ~1日
- #2号機 格納容器0.7MPa + ベント失敗 + 格納容器破損 ~3.5日
- #3号機 格納容器0.6MPa +ベント操作 +水素爆発 ~3日

■ 格納容器の過圧破損と放射性物質・水素のリークや飛散を防ぐ

② フィルター付格納容器ベントシステム(FCVS)が必要

- スイスでは1992年に過酷事故対策として追加設置した
- フィルター付ベントがあれば長期にわたり注水とベントにより長期の外部電源喪失(SBO) & と冷却源喪失(LUHS)に対応可能

■ 格納容器の過温破損と水素リークを防止する

② 炉心と格納容器の特設除熱系(SEHR)が必要

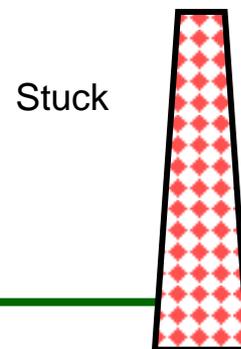
JSME visit Leibstadt NPP, Swiss, on Nov.11,2011, Prof. Okamoto

FCVS (フィルター付格納容器ベントシステム)

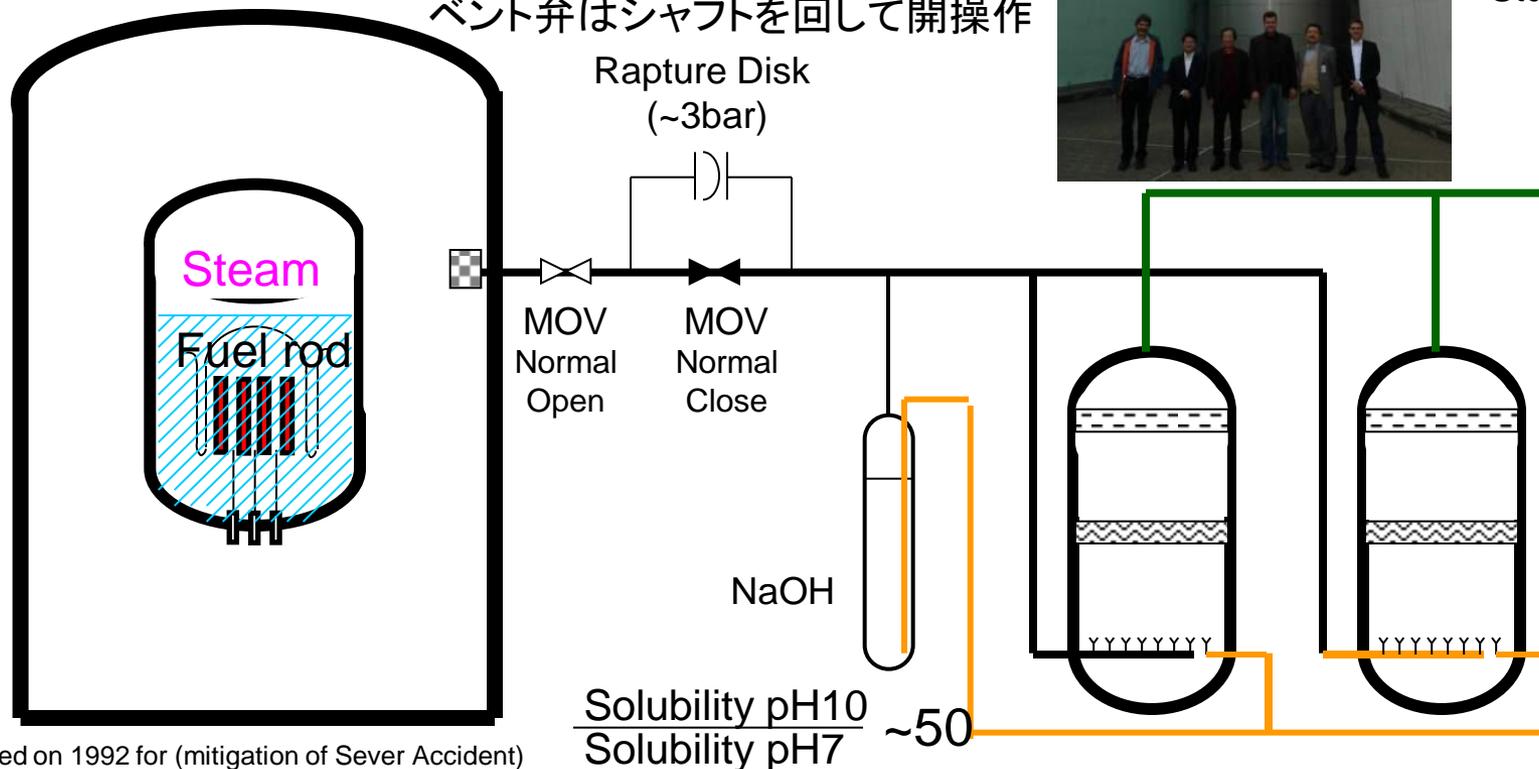
■ ベント系の周到な準備がなされている



濾過係数: DF
 > 1000 エアロゾル
 > 100 I₂



ベント弁はシャフトを回して開操作



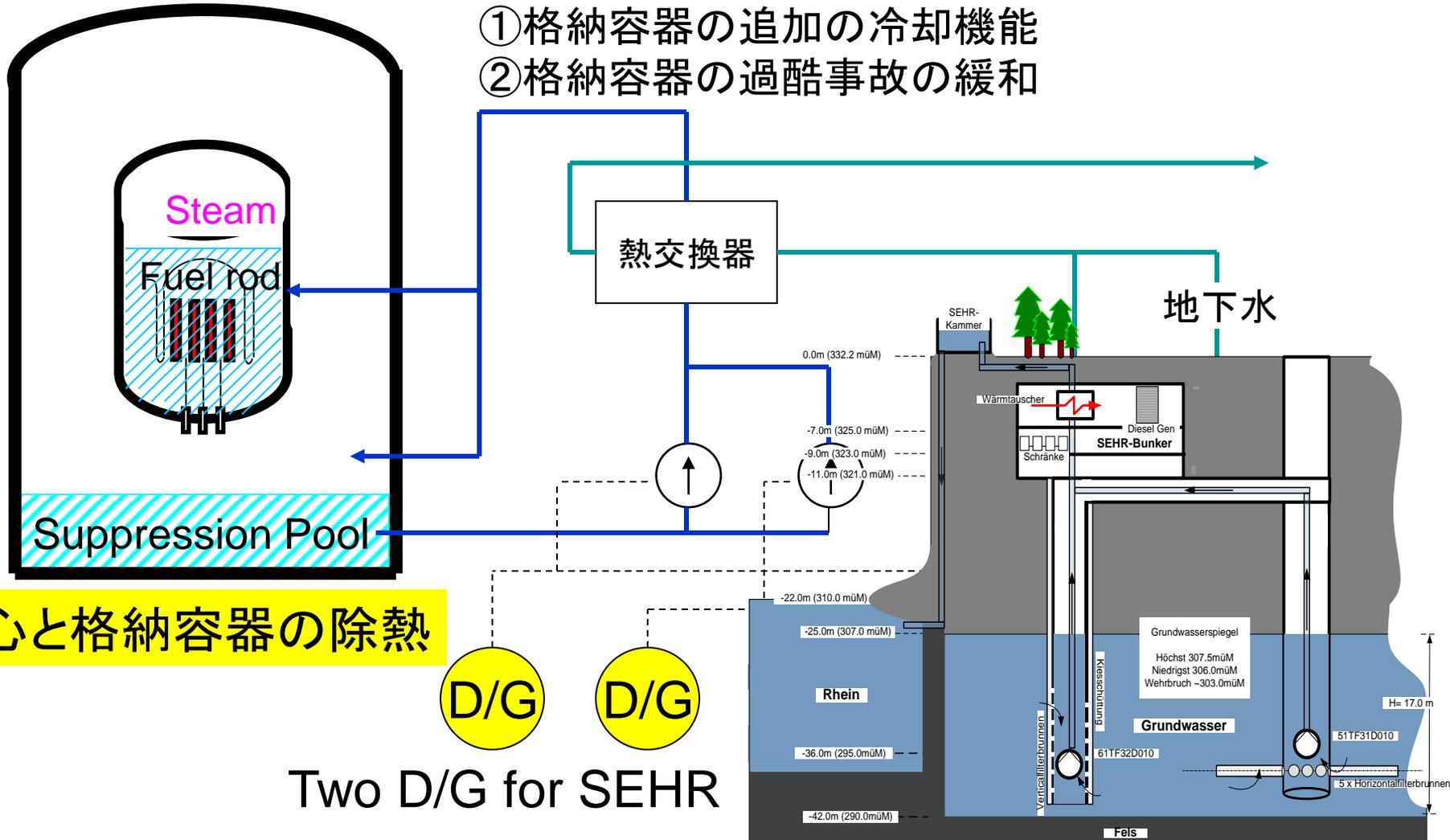
Backfitted on 1992 for (mitigation of Sever Accident)

SEHR (特設非常用除熱システム)

SEHR (Special Emergency Heat Removal System)

■ 米TMI事故の直後に設置

- ① 格納容器の追加の冷却機能
- ② 格納容器の過酷事故の緩和



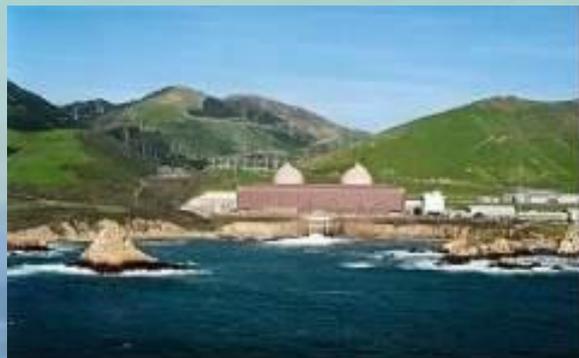
炉心と格納容器の除熱

D/G D/G

Two D/G for SEHR

海外の地震・津波対策(米国)

サンフランシスコのデュアボロキャニオン発電所



福島原発事故の安全規制の反省

- 建設工事開始
 - 工事計画の認可
 - 溶接検査
 - 燃料体検査
- 建設完了
 - 使用前検査
 - 保安規定認可
- 運転開始
 - 定期検査
 - 保安検査
 - 立ち入り検査
- 品質保証
 - 膨大な書類
 - 保安規定違反

福島第一原発事故の反省

- TMI事故以降の過酷事故の対応が事業者の自主的取り組みになっていた
- 外部電源喪失は8時間程度で良いとされていた
- 津波の想定高さが5～6mと甘かった
- ヒートシンク(冷却源)が喪失すると原子炉水位低下・炉心損傷・水素発生・格納容器内圧上昇・水素爆発による建屋壁の損傷など、5重の壁が一気に破壊された→安全と思いこみ、常に新しい知見を取り入れて改善していくという、仕組みが安全規制に無かった
- 欧州で設置されていたフィルター付きベントが無かった。

福島第一原発事故の原因と対策

地震で受電設備が破損した(外部電源喪失)



受電設備の耐震性向上
(碍子対策、ガス遮断器採用)

津波で非常用電源や電源盤、直流が使用不能



ドアの水密化と高台に電源車・配電盤・バッテリー設置

原子炉が空焚きとなって炉心溶融・水素発生した



多様な冷却源と注水手段を確保、安全弁や除熱の強化

格納容器が破損して放射能・水素をリークした



速やかなベントと格納容器冷却、フィルター付ベント

立ち遅れた原子力規制の抜本的改革と自衛隊を含めた国の原子力防災の初動体制の強化

ドアの水密化と高台の電源

防潮扉



原子炉建屋

防潮壁

閉鎖

防潮板



M/C: メタクラ
P/C: パワーセンタ
MCC: モータコントロールセンタ
RHR: 残留熱除去系

緊急用メタクラ 空冷式GTG

③ポンプモータに
直接給電

海水機器建屋

タービン建屋

原子炉建屋

①高台の電源車と
メタクラから給電



500 kVA電源車

500 kVA電源車

②電源車から原子炉建屋内
電源盤に給電

A photograph of a large industrial building under construction. The building is grey and has several large, rectangular openings. Scaffolding is visible around the building, and a worker in a light blue jacket and white hard hat is standing in the foreground for scale. The building is surrounded by other industrial structures.

海拔15m

防潮壁と防潮扉

原子炉建屋を要塞にして、
ECCSの注水系を強化

1号機の敷地高さ5m、7号機は12m

高台のガスタービン電源車



※空冷式GTG：空冷式ガスタービン発電機車
M/C：メタクラ
P/C：パワーセンタ
MCC：モータコントロールセンタ
RHR：残留熱除去系

緊急用メタクラ

空冷式GTG



から原子炉建屋内
に給電

電源の耐津波強化対策事例

■ 開閉所の高台設置やガスタービン電源車の配備（北電）



■ ガスタービン発電機と電源盤の高台設置（中部電力）

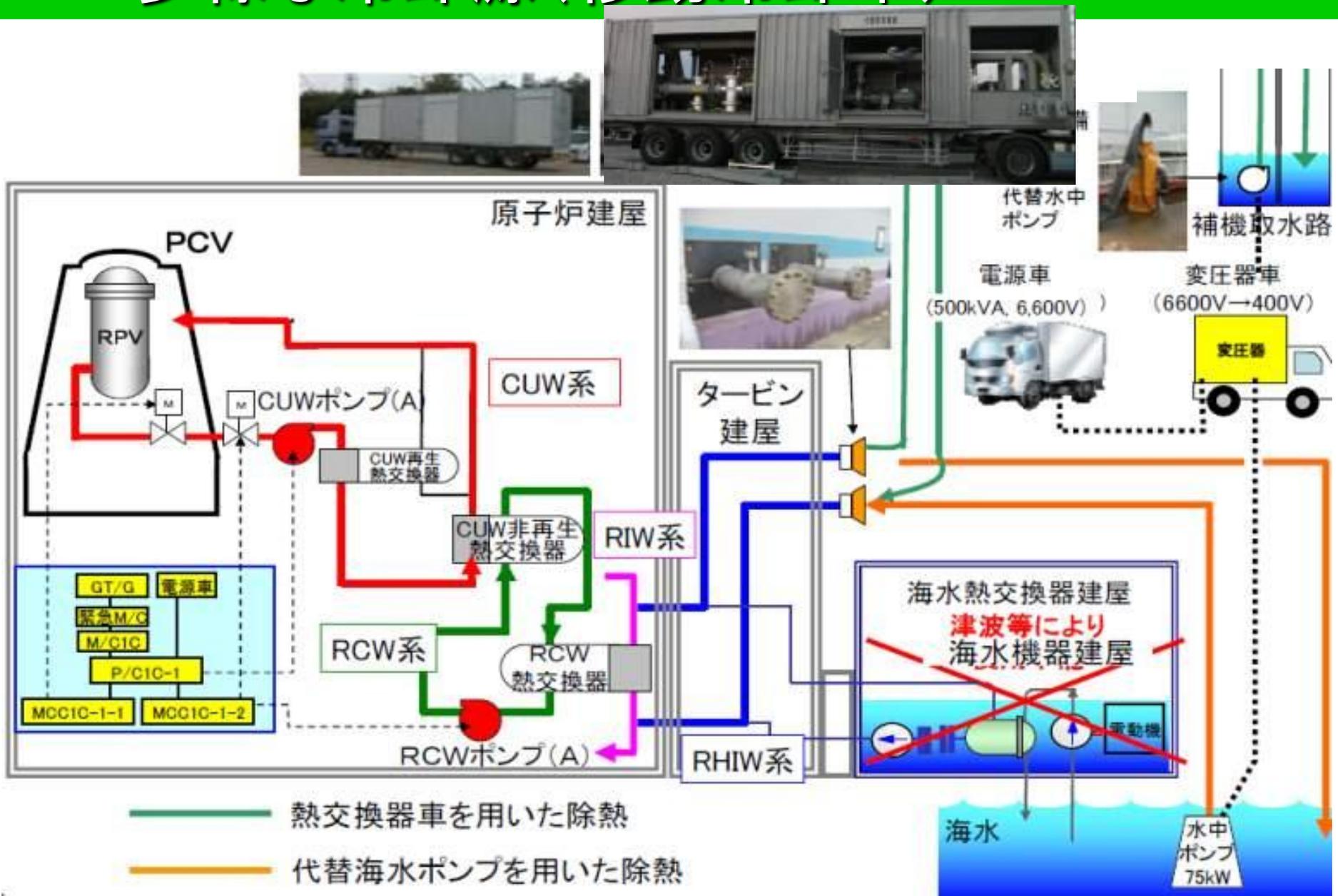


定格出力 4,000kVA
電圧 3,300~6,600V
【ガスタービン】
定格出力 4,700PS

消防車と移動冷却車（熱交換器車）



多様な冷却源（移動冷却車）



1) 原子力発電所の安全は確保できるか



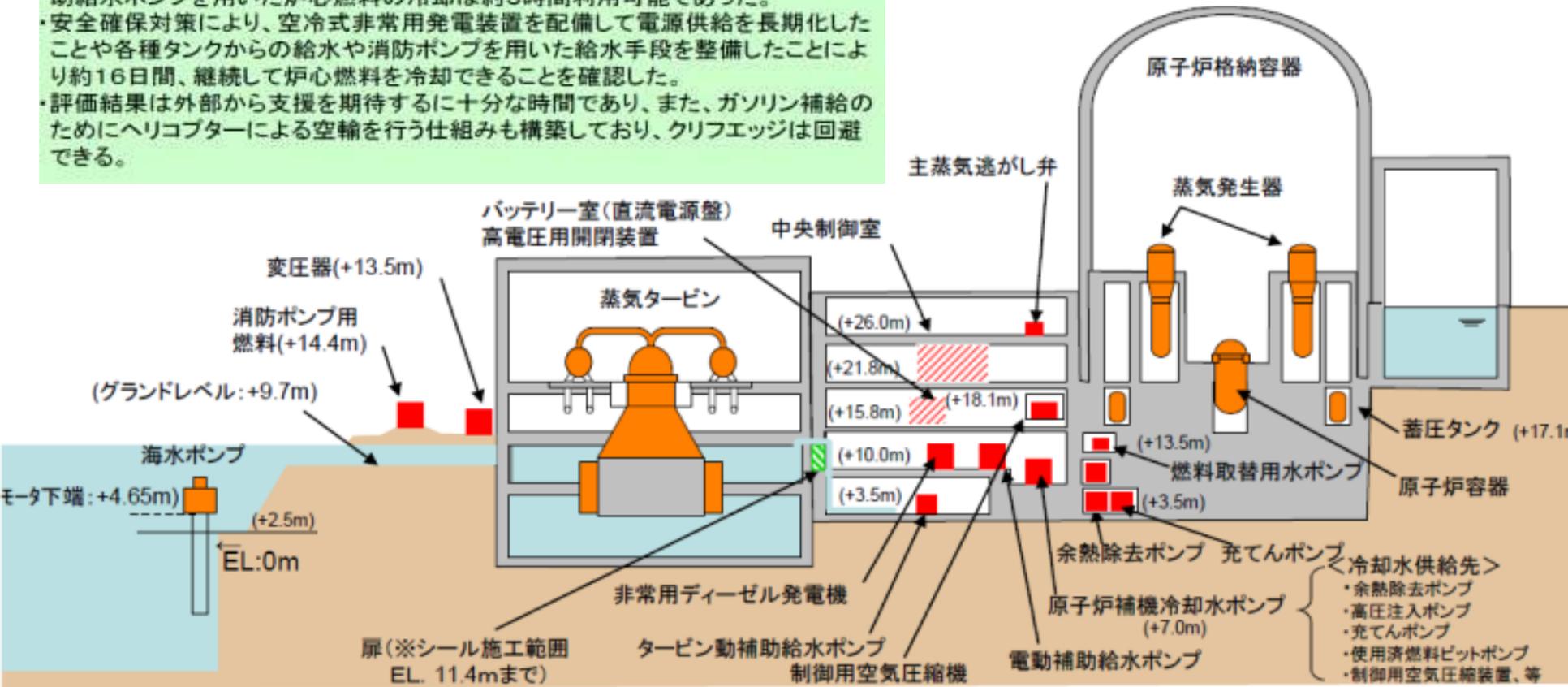
北海道大学 奈良林 直

3-2-26

関西電力大飯発電所の浸水対策

■ 11.4mの高さまでドアの水密シール工事を実施する

- ・安全確保対策を講じる以前では、電源が蓄電池のみであったため、タービン動補助給水ポンプを用いた炉心燃料の冷却は約5時間利用可能であった。
- ・安全確保対策により、空冷式非常用発電装置を配備して電源供給を長期化したことや各種タンクからの給水や消防ポンプを用いた給水手段を整備したことにより約16日間、継続して炉心燃料を冷却できることを確認した。
- ・評価結果は外部から支援を期待するに十分な時間であり、また、ガソリン補給のためにヘリコプターによる空輸を行う仕組みも構築しており、クリフエッジは回避できる。

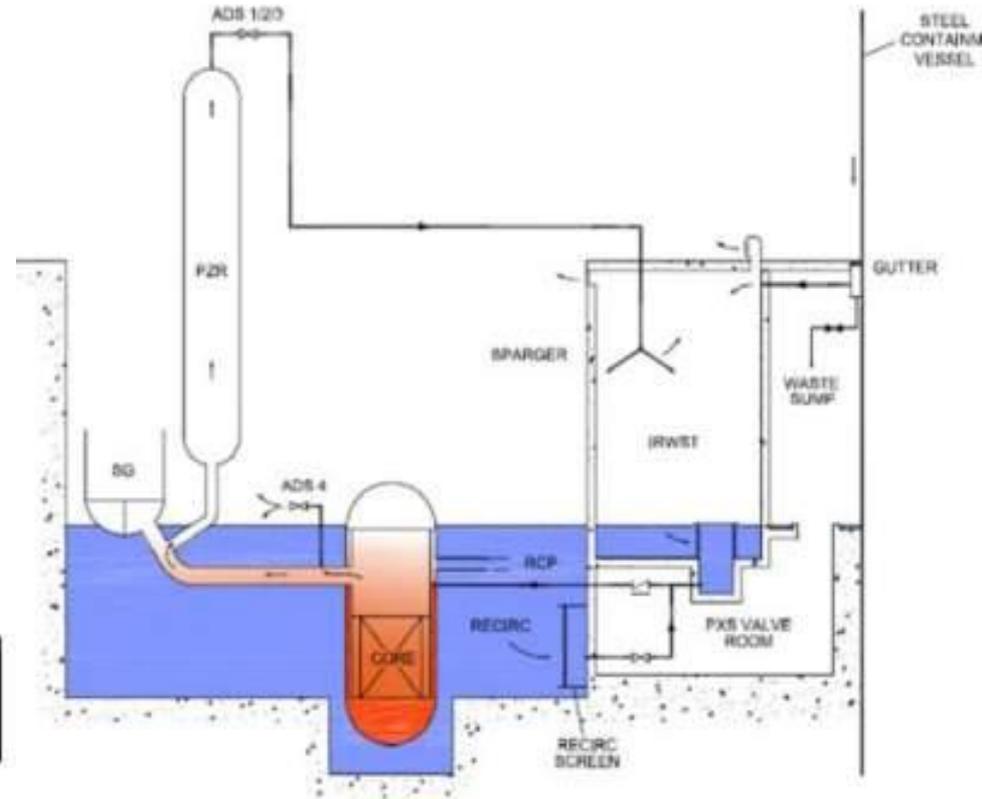
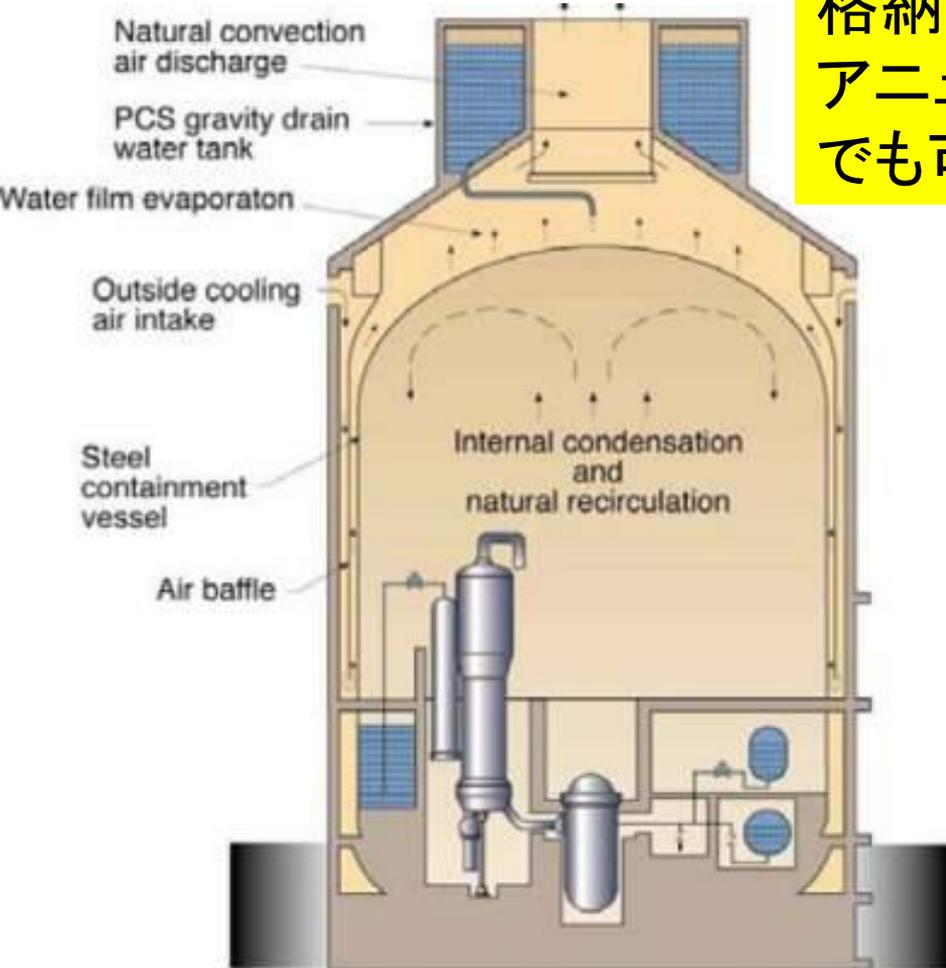


経済産業省原子力安全保安院のHP公開資料より

AP1000のCV冷却を現行PWRに

■ 外部注水に頼らずに、自然冷却で事故収束

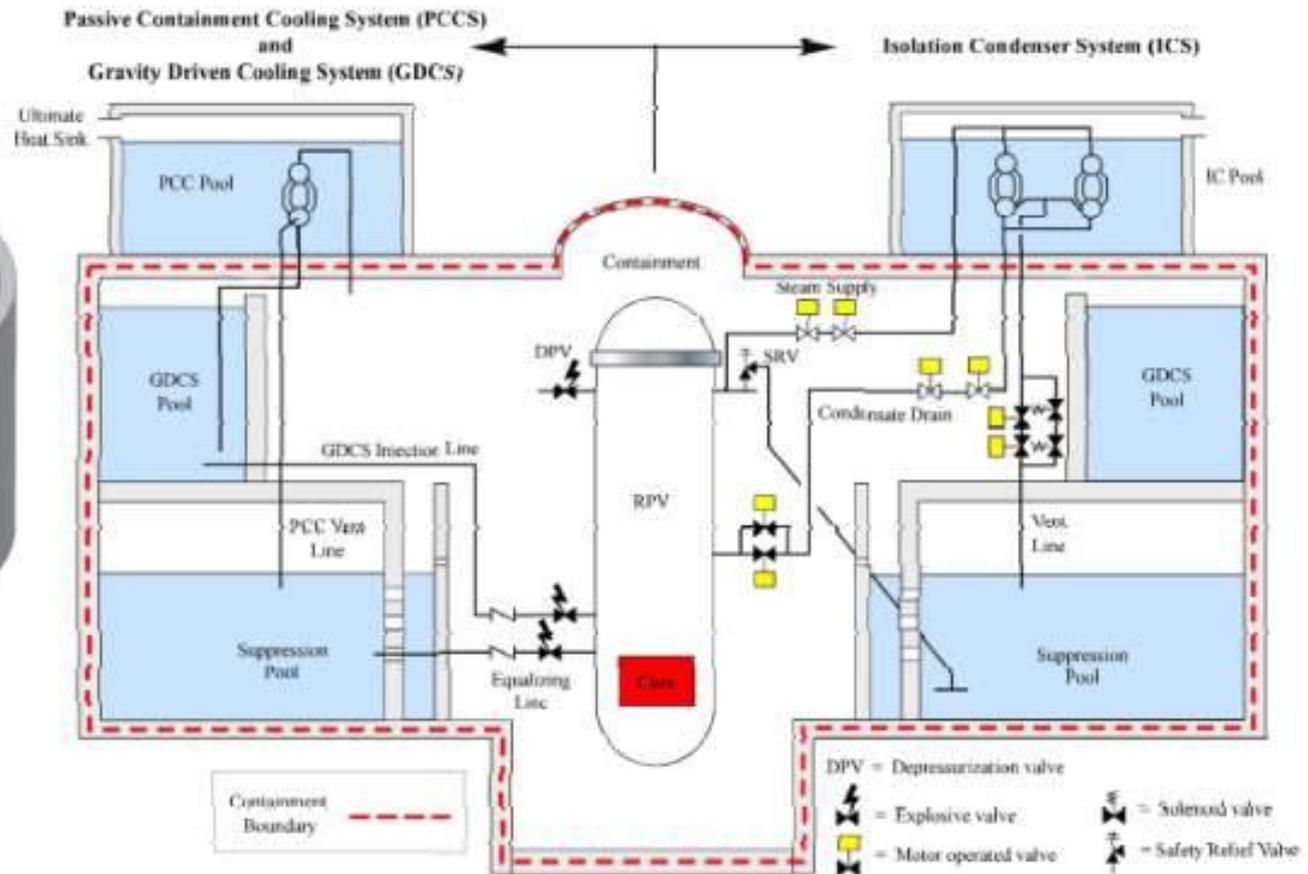
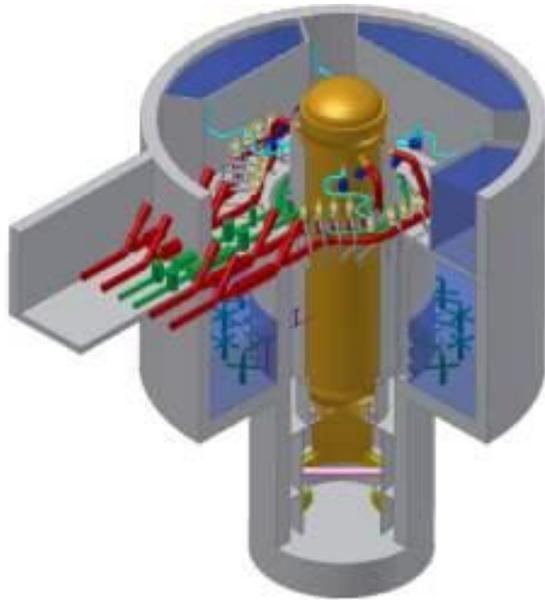
格納容器の上部フランジやPWRの
アニュラス部の散水冷却は現行プラント
でも可能



ESBWRのICを現行BWRに

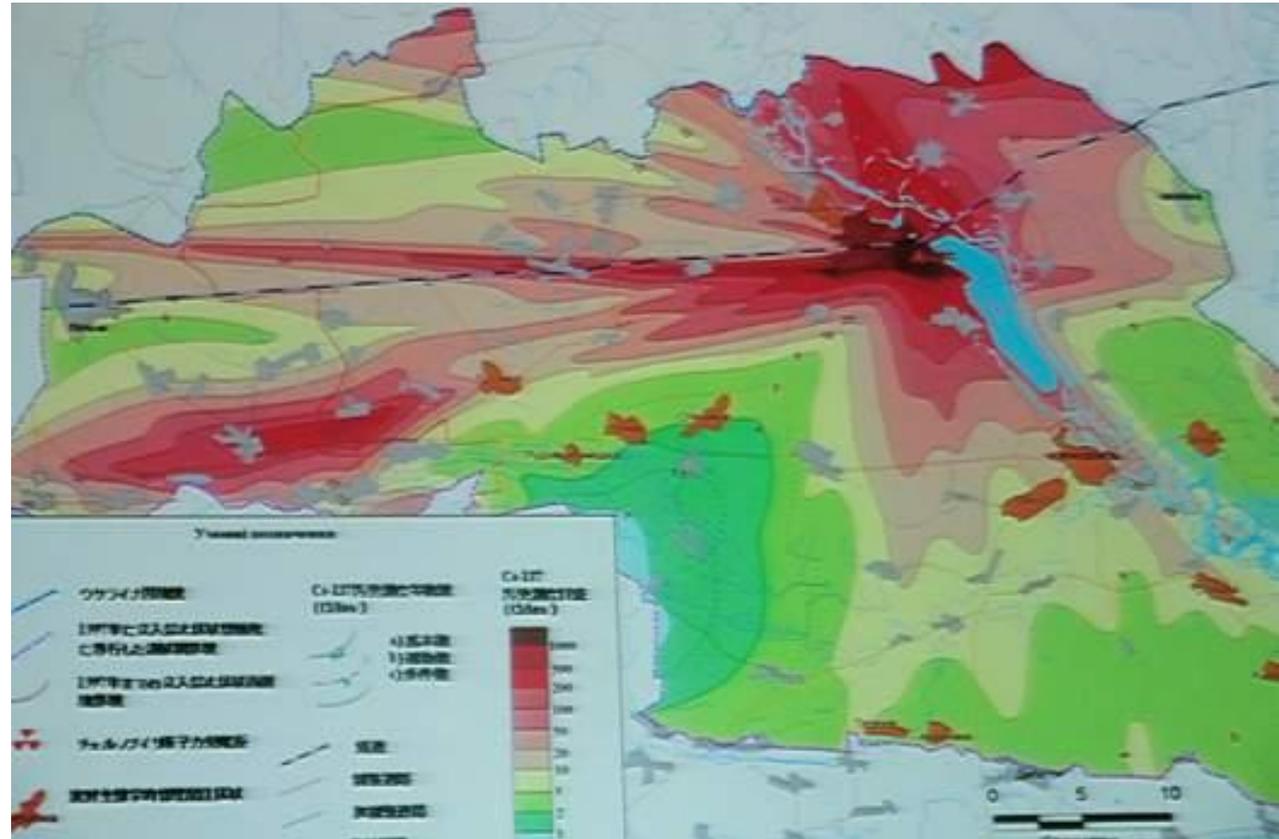
■ 外部注水に頼らずに、自然冷却で事故収束

■ 非常用復水器 (IC) をオペフロ機器ピットに設置を！



チェルノブイリ事故のウクライナの悲劇

- 日本とウクライナと似ている。石油などの資源がない。91年に独立をし、ウクライナにある全部の原子力発電所を止めた(当時の電力の50%が原子力)。
国会議員が「ここにいる人たちは皆死ぬかもしれない」と言って、パニック発生。
- 原子力発電所をやめて、5年以上経ったら、経済破綻。塗炭の苦しみ。自殺急増。
- 2年間経済破綻のなかで原子力を使わざるを得ないと分かって反対派は減った。93年に法律を改正して原子力を再稼働させた。
- 安全性向上に注力。新たに3基稼働させ、現在15基。更に2030年までに2基建設。
- 電力は必要だし、原発を止めると、燃料代がものすごくかかる。
- 原発で公害もなくなった。



まとめ

- 福島第1原発1～4号機の事故は、しっかりした事前検討や対策がなされていれば早期に収束できた。
- フランスやスイスでは米TMIやチェルノブイリ原発事故の教訓を活かして冷却源の強化やフィルタードベントを設置し、米国では津波対策をとっていた。
- ①高台の電源とECCSポンプの水密化による炉心注水
②崩壊熱除去 ③格納容器過温破損防止と④フィルター付きベントを設置することが重要。
- ④3.5世代原子炉のパッシブ冷却系の既存炉への適用
- 太陽光など再生可能エネルギーだけでは原子力を置き換えるほど十分なエネルギーを賄えない。
- 福島第一原発事故の教訓を活かして世界一の安全性を確保し、その計画のもとに、原発の運転再開を！

米：サウステキサスプロジェクトの運転中保全



PWR 131万kW



EDG 6MW

米:リバーベント(BWR)の運転中保全

A Strong Nuclear Safety Culture



TARGET
ZERO
ACCIDENTS



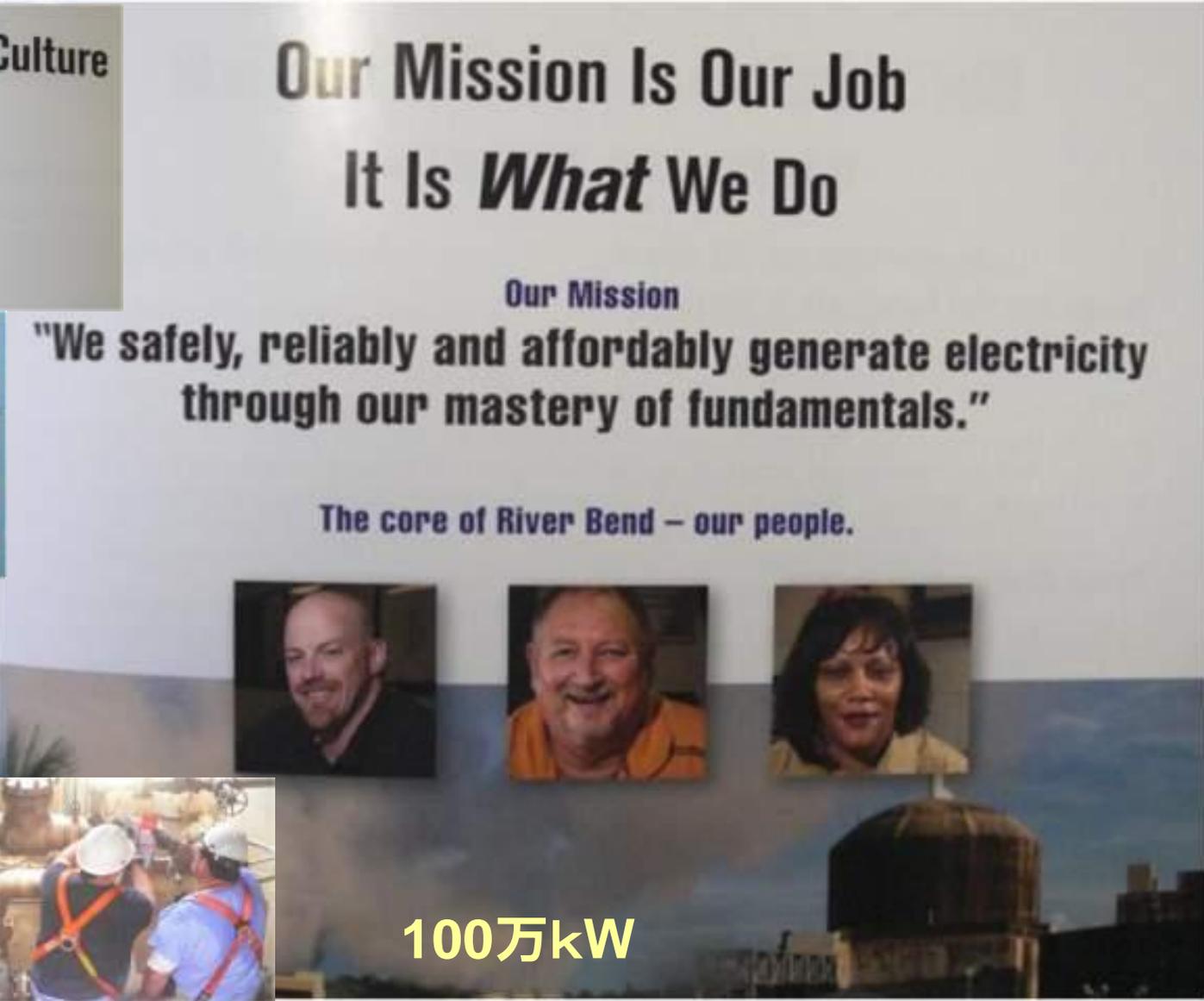
Our Mission Is Our Job
It Is *What We Do*

Our Mission
"We safely, reliably and affordably generate electricity through our mastery of fundamentals."

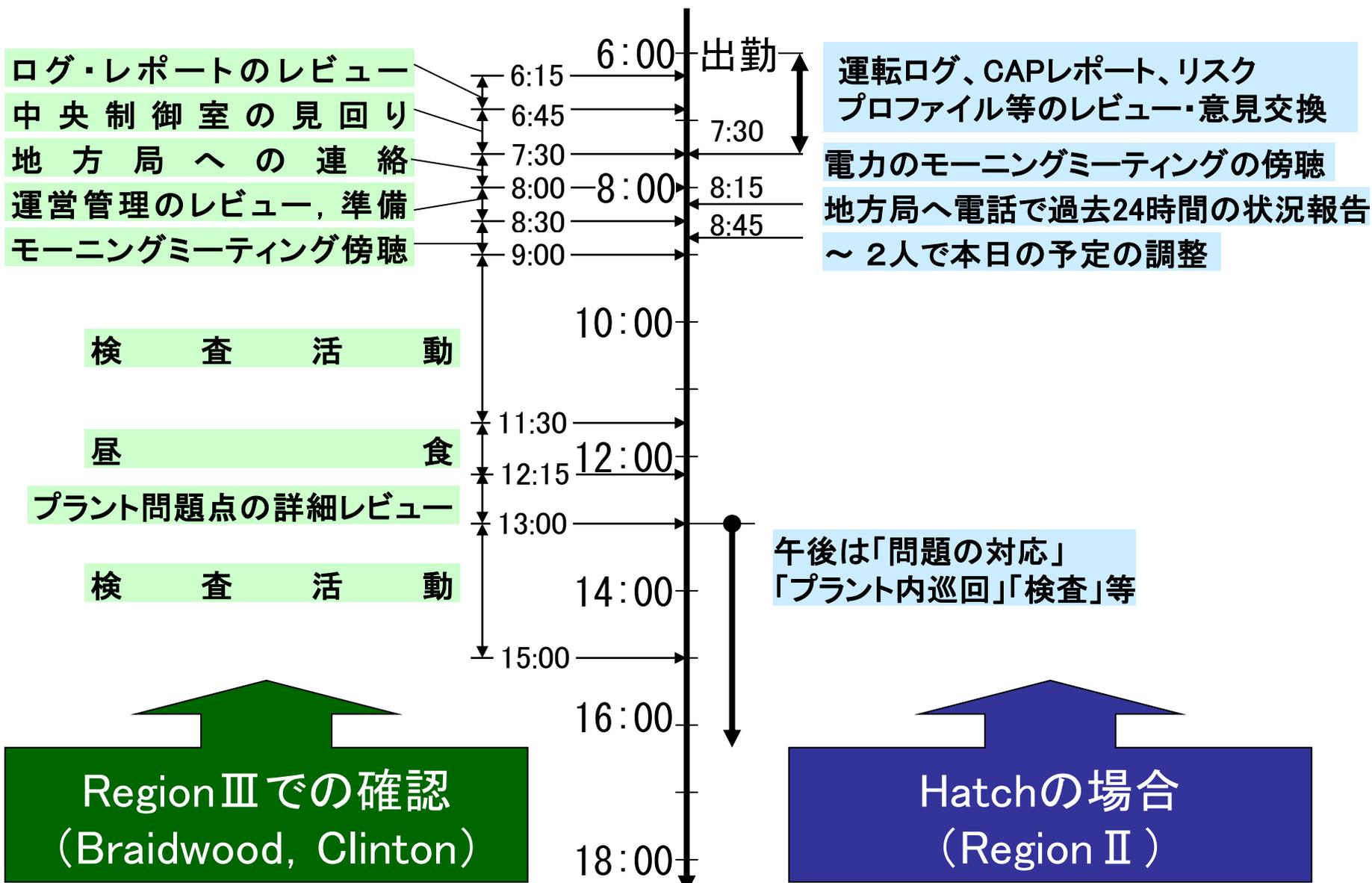
The core of River Bend – our people.



100万kW



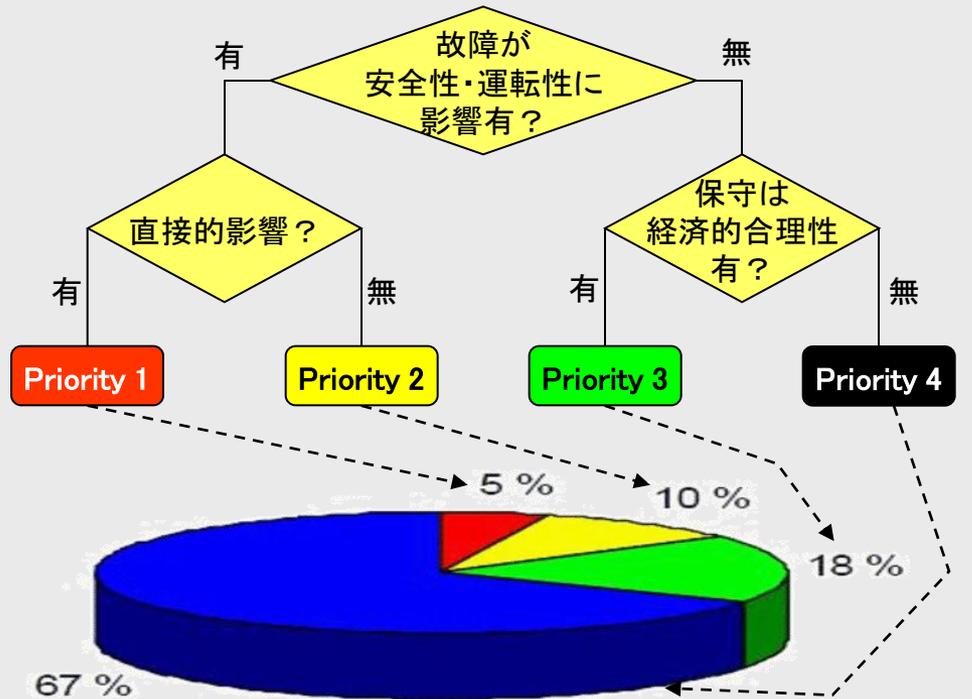
米国NRCの常駐検査官の1日



フィンランド

安全且つ良好な運転実績を支えるもの

状態監視保全



Priority 1

Priority 2

Priority 3

Priority 4

状態監視保全を主とした
予防保全

事後保全

予備品の充実

- ☐ 2万2600品の予備品を保管
 - 状態監視で予知したら、運転中保全により即時交換可能
- ☐ 取替方式⇒短期計画停止
 - 例: 主変圧器は5日で取替完了

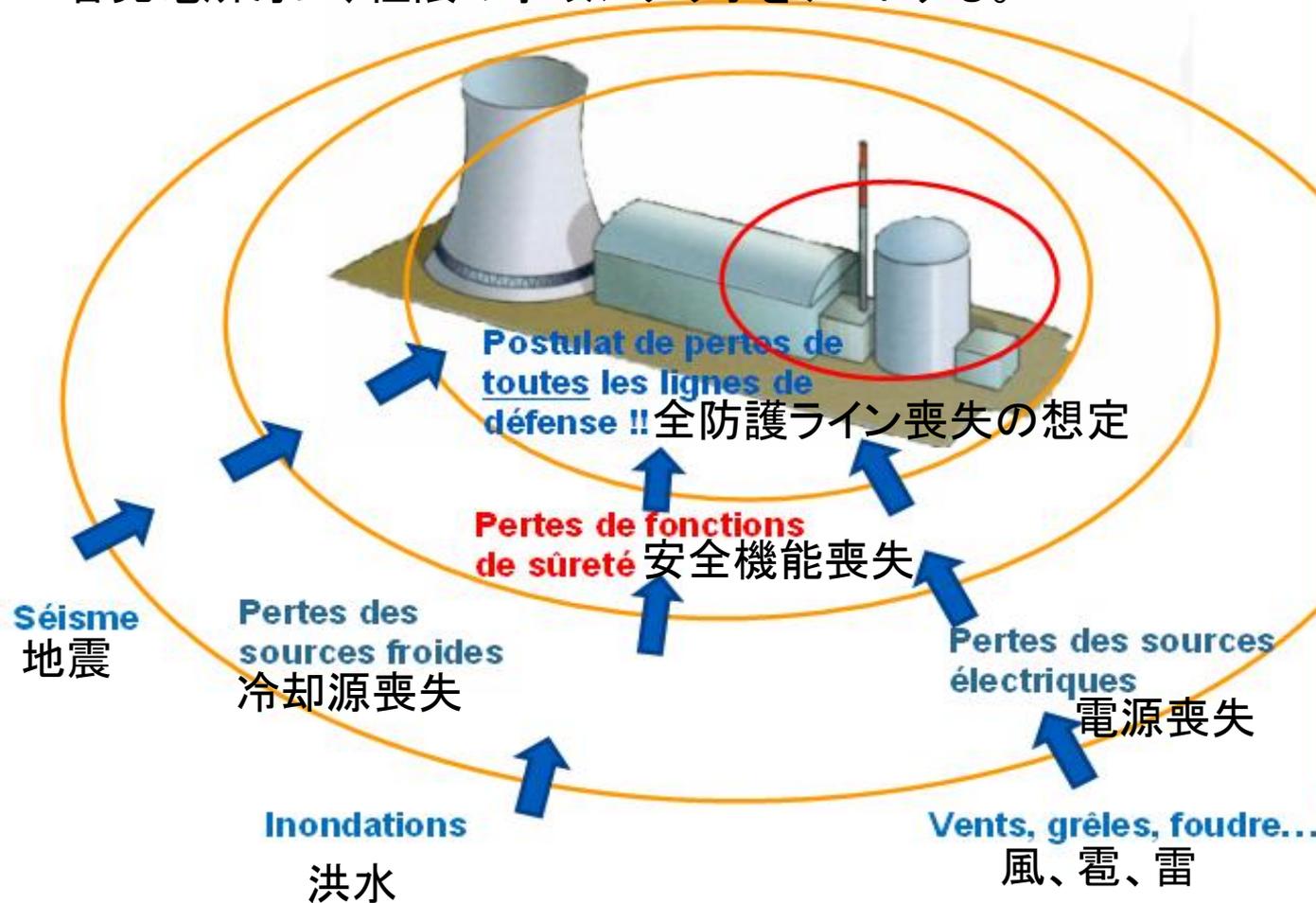
安全を大前提とした規制

- ☐ 違反行為は厳しく(警察を使ってでもプラント停止を辞さない)
 - ☐ プラント起動前に計画停止に応じて安全を確認し許可を出す
- ⇕
- ☐ 検査の効率性は重視し、休日でも夜でも検査に立ち会う
 - ☐ 停止工程に沿った検査計画

フランスのストレステスト・深層防護

Tests sur les trois lignes de défense

- 原子炉を内的・外的起因事象による災害から守る **3段階防護ラインのテスト**
- 'ストレステスト' ECS は10年検査で通常考慮される枠を超えて装置をテストする。
- 各発電所毎に、極限の事故シナリオをテストする。



Les ECS permettent de tester les installations au delà des seuils habituellement pris en compte en visite décennale.

Il s'agit de tester des scénarios accidentels extrêmes sur chacune des centrales

フランスの事故収束はEDF緊急支援隊が対応

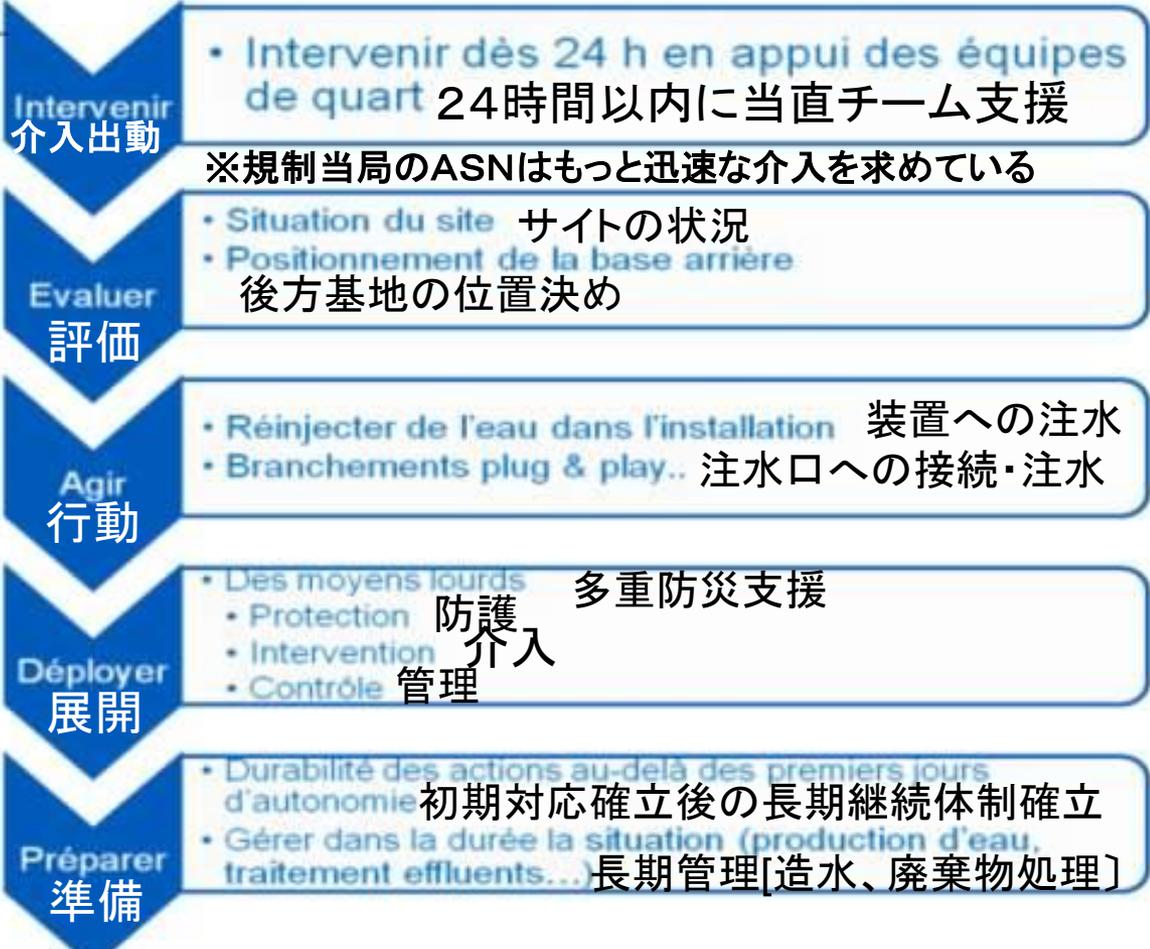
■ EDF(フランス電力庁)原子力緊急支援隊、迅速に出動

Force d'Action Rapide Nucléaire

Objectifs : rétablir ou pérenniser le refroidissement des réacteurs en cherchant à éviter la fusion du cœur et tout rejet significatif
目的: 炉心溶融とあらゆる放射性物質の飛散を避けるため、炉の冷却を復旧・継続する

Missions :

任務



自衛隊の災害救助船の提案

万一の場合の迅速な支援を行う災害救助船が必要

全交流電源喪失は数時間が勝負！

- 閣僚・原子力安全委員・事業者幹部の官邸への緊急招聘
- ガスタービン発電機を搭載したヘリによる迅速な電源供給
- 電源盤・バッテリー・モーター・注水ポンプなどの空輸
- 医療・病院・除染・水・食料・燃料・宿泊・会議・通信基地機能



日本の災害と今後のリスク

① 3.11大地震(M9.0)

② 3.11大津波(死者約2万人)

③ 3.11～福島第一原発事故

④ 今年の夏の大停電

熱中症や病院の停電で亡くなる人のリスクは非常に高い

⑤ 日本経済の破綻・空洞化

(ウクライナの二の舞) 自殺者の急増