

# 伊方発電所 3号機の安全性について

四国電力株式会社



# 目次

---

1. 安全確保の基本的な考え方と仕組み
  - 1.1 原子力発電所の仕組み
  - 1.2 五重の障壁
  - 1.3 「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」
  - 1.4 安全上重要な設備の信頼性確保
  - 1.5 事故防止に係る安全確保対策
  - 1.6 福島第一原子力発電所事故を踏まえた事故防止に係る安全確保対策の強化
  - 1.7 安全確保の考え方（小括）
  
2. 福島第一原子力発電所事故を踏まえたさらなる対応
  - 2.1 重大事故対策の整備
  - 2.2 原子力防災対策
  
3. 伊方発電所3号機の安全性のまとめ

---

## 1. 安全確保の基本的な考え方と仕組み

### 1.1 原子力発電所の仕組み

### 1.2 五重の障壁

### 1.3 「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」

### 1.4 安全上重要な設備の信頼性確保

### 1.5 事故防止に係る安全確保対策

#### ①異常発生防止対策

#### ②異常拡大防止対策

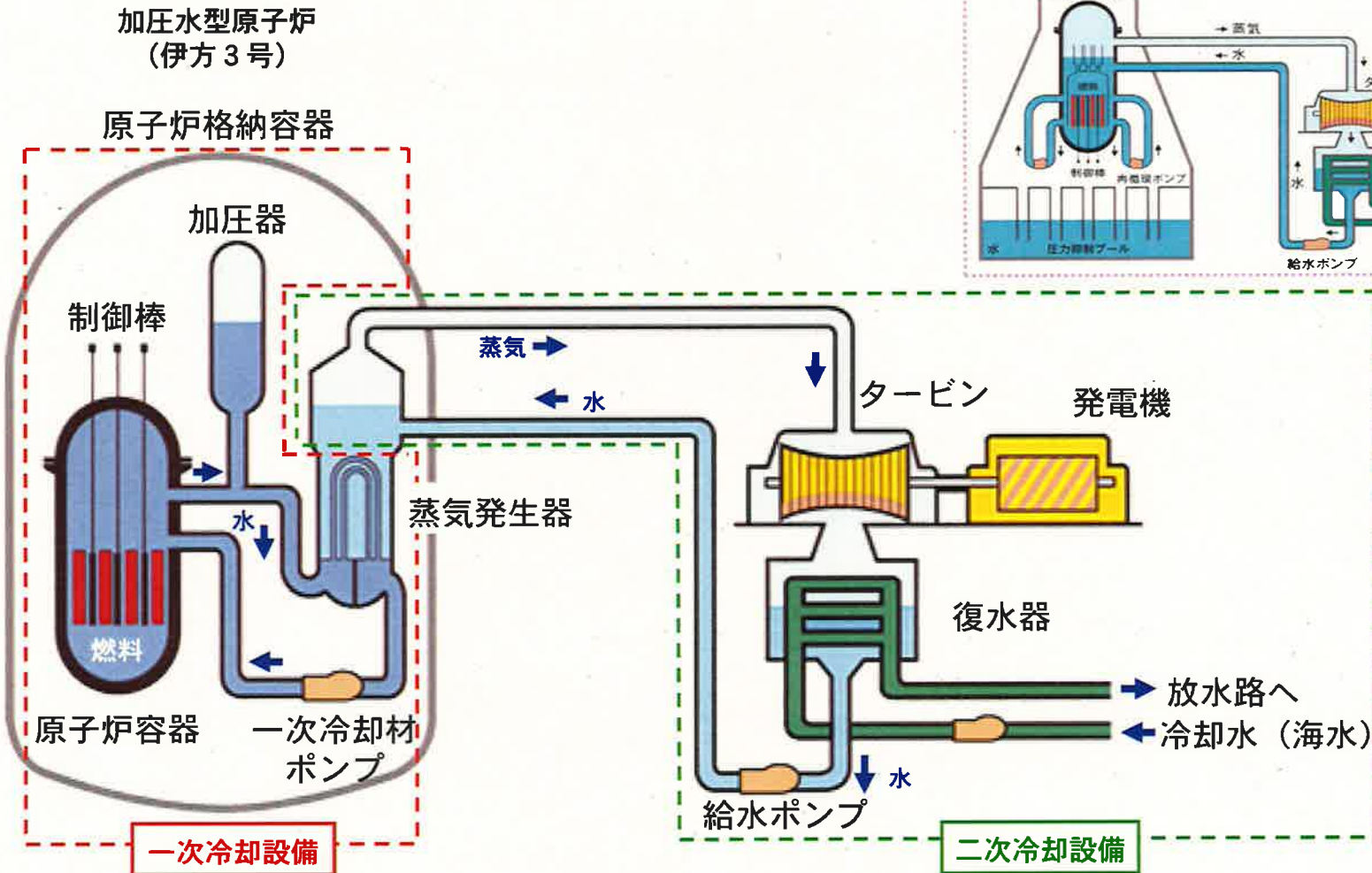
#### ③放射性物質異常放出防止対策

### 1.6 福島第一原子力発電所事故を踏まえた事故防止に係る安全確保対策の強化

### 1.7 安全確保の考え方（小括）

# 1.1 原子力発電所の仕組み

核分裂によって生じた熱エネルギーによって一次冷却材(水)を高温にし、高温となった一次冷却材の熱エネルギーを蒸気発生器で二次冷却材(水)に伝えて蒸気に変え、その蒸気でタービンを回して発電する

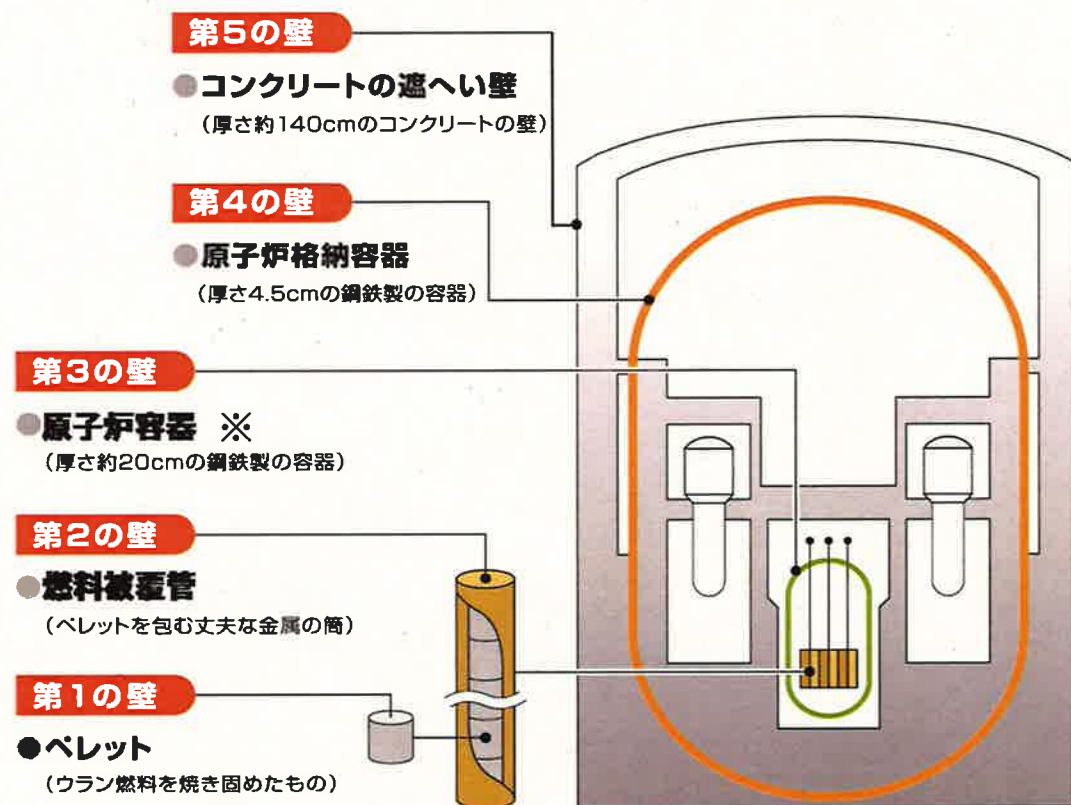


## 1.2 五重の障壁

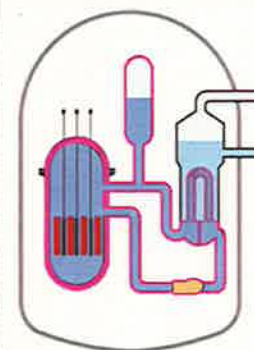
原子力発電所の危険性とは、運転に伴って炉心で生成される核分裂生成物などの放射性物質が持つ危険性



原子力発電所の安全確保とは、放射性物質を原子力発電所から出来る限り出さないことであり、このため五重の障壁で原子力発電所内に閉じ込めている



### ※ 第3の壁 (障壁)



便宜上、第3の壁(障壁)を「原子炉容器」と呼んでいるが、正確には、原子炉容器を含む「原子炉冷却材圧力バウンダリ」(左図、桃色の線で囲まれた部分)全体で障壁機能を果たしている

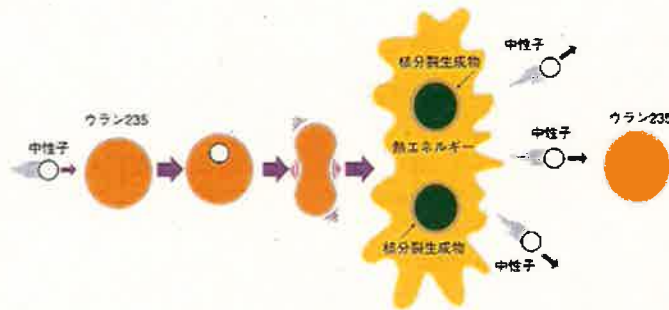
### 1.3 「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」

異常発生時にも原子炉のもつ熱エネルギーを抑制・除去することで、五重の障壁が損なわれて放射性物質が環境へ異常放出されることを防止（事故防止）



事故防止に係る安全確保対策として、原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」機能を設けている

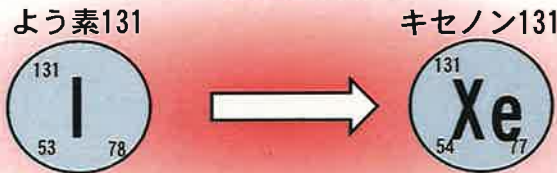
（事故防止に係る安全確保対策の全体像については8頁に記載）



核分裂によって生じた中性子により核分裂（熱エネルギーの発生）の連鎖反応が続く（臨界状態）

⇒ 「止める」

放射性崩壊の例



原子炉を運転停止した後も核分裂生成物は放射性崩壊によって崩壊熱を出し続ける

⇒ 「冷やす」

異常が拡大した場合に放射性物質が環境へ異常に放出される可能性

⇒ 「閉じ込める」

## 1.4 安全上重要な設備の信頼性確保

### 安全上重要な設備

- ① 故障、破損等の異常の発生により著しい炉心損傷を引き起こすおそれなどがある設備  
⇒ 原子炉容器、一次系配管など（異常発生を防止する設備）
- ② 異常の拡大を防止し、収束させるための設備  
⇒ 原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」ために必要な設備（異常の影響を緩和する設備）



これらの安全上重要な設備の信頼性を確保することが事故防止につながる

### 自然的立地条件を踏まえた設計

- ・ 地震、津波等サイトへの影響が考えられる自然現象を選定
  - ・ 地震、津波等について、サイト調査、文献調査によって十分に特性を把握した上で設計条件を設定
  - ・ 実際に出来上がるものは、設計条件を用いた機器評価における計算上の余裕や機器のもつ耐力等の実力値により余裕を有する
- ⇒ 選定した自然現象の特性を考慮した上で設定した条件において安全上重要な設備が故障、破損することのないように設計

## 1.4 安全上重要な設備の信頼性確保

### グレーデッドアプローチ

- 最も高い安全性を確保できるかという観点を基本として相対的なグレードを定め、そのグレードに応じて機器を設計するという考え方
- ⇒ 安全上重要な設備は、高いグレードに位置付けて設計し、重点的に維持・管理（波及的影響を与える設備も考慮）

### 単一故障の仮定

- 偶発的な機器の故障、破損が発生したと仮定しても安全機能が維持できるよう設計
- ⇒ 事故防止に係る安全上重要な設備（「止める」「冷やす」「閉じ込める」ために必要な設備）は、多重性又は多様性及び独立性を有するよう設計
- ※ 自然現象による共通要因故障は自然的立地条件を踏まえた設計によって排除する



## 1.5 事故防止に係る安全確保対策

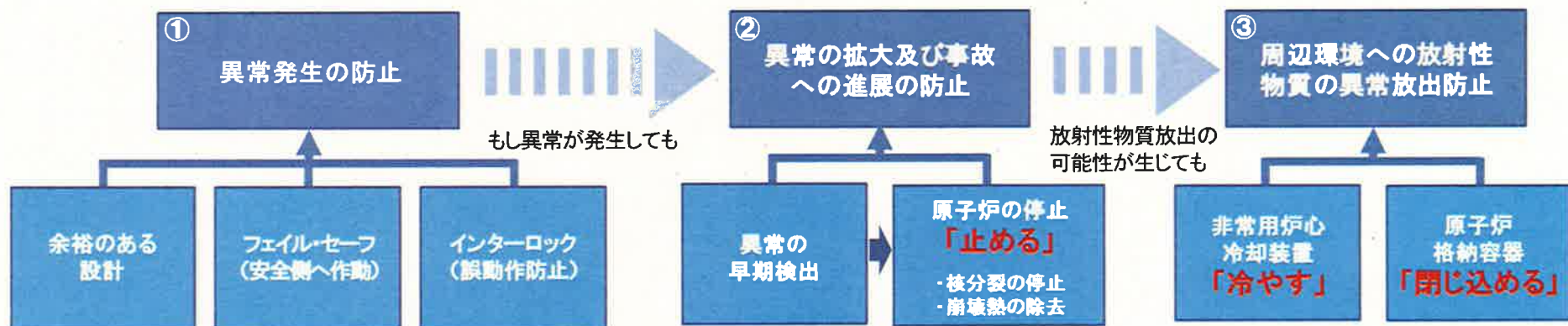
事故防止に係る安全確保対策を講じるに当たっては炉心の著しい損傷を防止し放射性物質の環境への放出を出来る限り少なくするため、

- ・ 通常運転時における「①異常の発生の防止」
- ・ 異常発生時における「②異常の拡大及び事故への進展の防止（異常拡大防止）」
- ・ 放射性物質放出の可能性が生じた場合における「③放射性物質の異常放出防止」

の防護策を考慮して設計

①～③の防護策は深層防護の考え方を採用したもの

深層防護とは後段に期待せずそれぞれの段階で最善を尽くすことにより信頼性を向上させる多段階の防護策を講じることである



## 1.5 事故防止に係る安全確保対策 (①異常発生防止対策)

### ① 異常の発生の防止

- ・ 事故防止の観点からは、そもそも異常が発生することを未然に防止することがきわめて重要

#### 余裕のある設計

- ・ 原子力発電所の設備は、設計において地震力（基準地震動）、圧力等の荷重や温度、放射線などを考慮した設計条件を保守的に定め、十分な余裕を持たせるとともに、使用する材料には強度等の特性に優れ、かつ、欠陥の無い信頼性の高い品質のものを使用する

#### フェイル・セーフ、インターロック

- ・ フェイル・セーフ：系統や機器に異常が生じた場合でも安全側に作動する仕組み

(例えば、制御棒駆動装置用の電源が何らかの原因で切れた場合に、制御棒の自重により制御棒が自動的に炉内に落下し、原子炉を安全に停止できるようになっている)

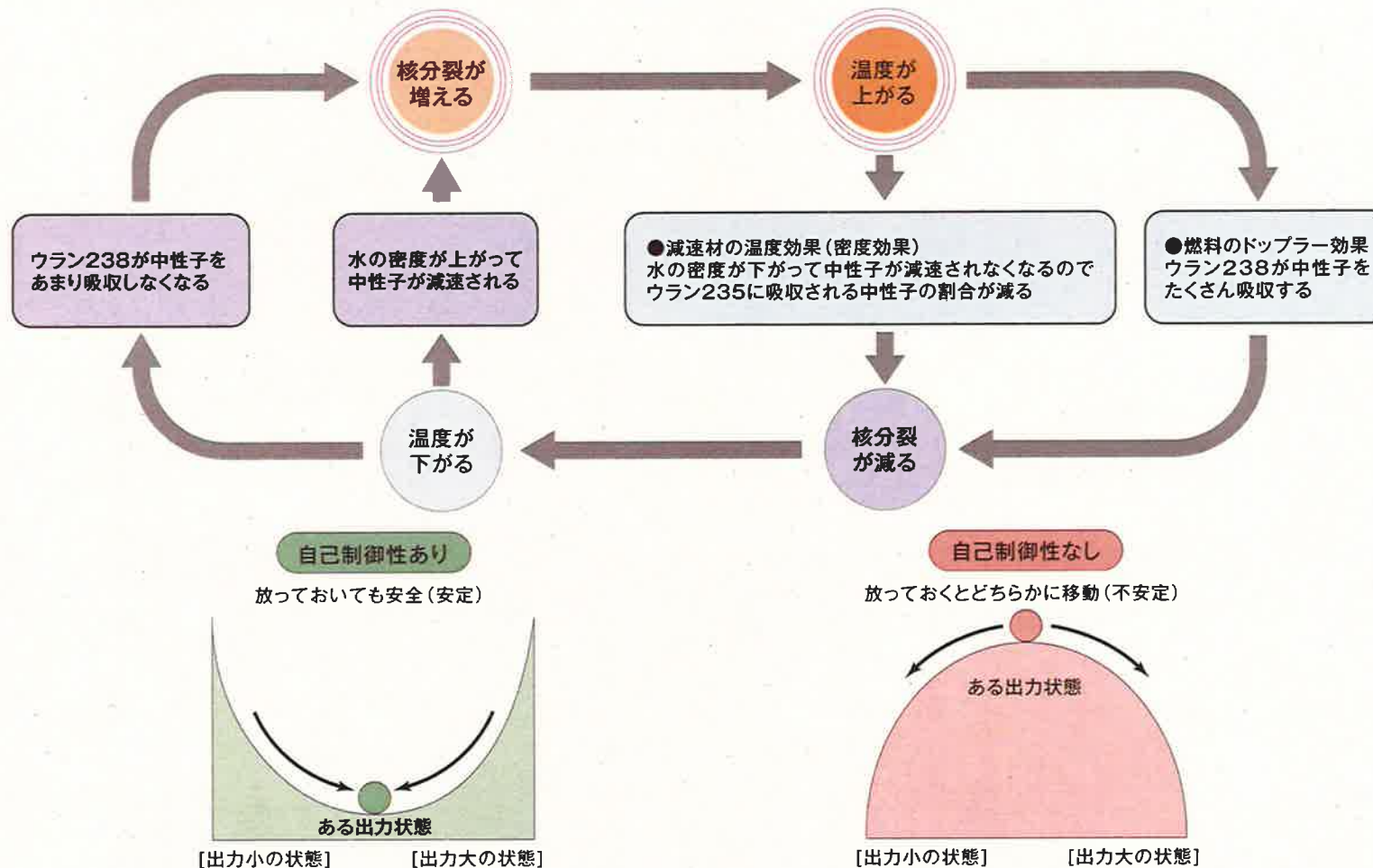
- ・ インターロック：誤操作により異常が発生することが無いよう、条件が整わなければ操作が出来ないような仕組み

(例えば、運転員が誤って制御棒を引き抜く操作をしたとしても、ある出力以上では制御棒の引抜きが出来ないようになっている)

## 1.5 事故防止に係る安全確保対策 (①異常発生防止対策)

### 自己制御性を有する原子炉の採用

何らかの原因で核分裂反応が増加し炉心の出力が上昇したとしても、核分裂を抑制する作用が働くという性質（自己制御性）を有する原子炉を採用することにより、安定した制御ができる



## 1.5 事故防止に係る安全確保対策（②異常拡大防止対策）

### ② 異常の拡大及び事故への進展の防止

- ・ 何らかの異常が発生した場合、その異常の拡大及び事故への進展を防止するため

(1) 異常の発生を早期にかつ確実に検出

(2) 必要に応じて原子炉を停止する

ことが重要

#### (1) 異常を早期に検出

- ・ 何らかの異常が発生した場合、この異常の発生を早期にかつ確実に検出する計測制御装置を設置

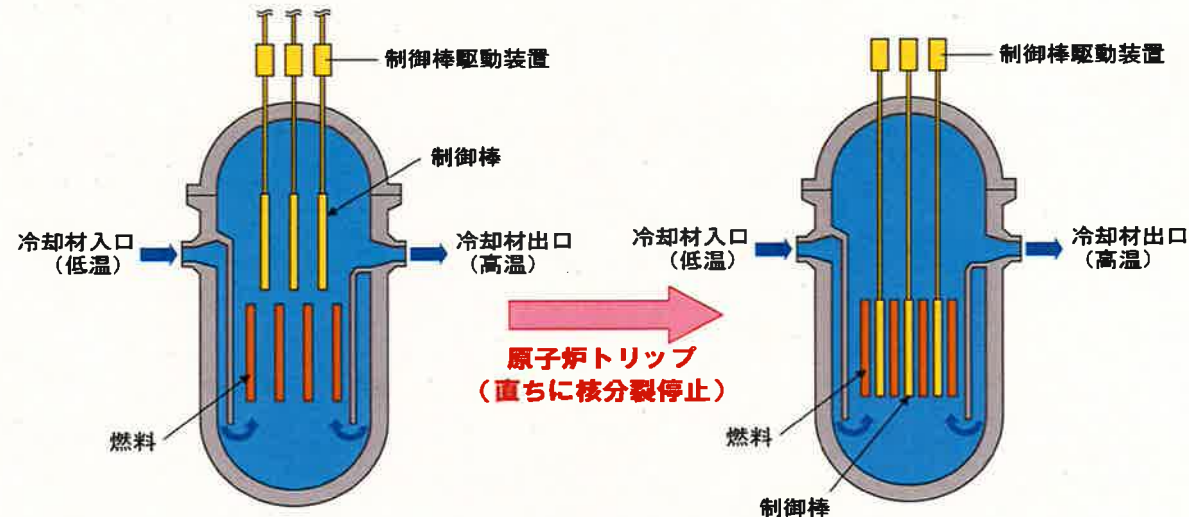
検出項目（例）	検出器
原子炉の運転状況に係る異常の兆候	中性子束検出器、一次冷却材温度計検出器、加圧器圧力検出器など
燃料被覆管からの核分裂生成物の漏えい	一次冷却材モニタ (一次冷却材の放射線量を測定) など
一次冷却系からの漏えい	加圧器圧力検出器、原子炉格納容器内圧力など

## 1.5 事故防止に係る安全確保対策 (②異常拡大防止対策)

### (2) 原子炉の停止 (止める)

#### 核分裂反応の停止

- ・ 異常の発生又はその兆候を検知  
⇒ 必要に応じ運転員が原子炉の停止操作を行い原子炉を停止
- ・ 炉心の健全性が維持できないような異常な状態となるおそれがある場合  
⇒ 計測制御装置から自動的に発せられる「原子炉トリップ信号」により制御棒が自重で落下し、炉心に挿入されることにより原子炉が緊急停止 (制御棒により中性子を吸収し核分裂反応を止める)



## 1.5 事故防止に係る安全確保対策 (②異常拡大防止対策)

### 崩壊熱の除去

核分裂反応が停止しても燃料は核分裂反応に伴って生じた不安定な放射性核による崩壊熱を発する

⇒ 原子炉を冷却して、崩壊熱を除去する必要



- 通常の停止操作は、まず蒸気発生器を用いて原子炉の冷却を行い、一定の温度（及び圧力）まで低下した後は余熱除去系を用いた冷却に切り替え

#### 蒸気発生器を用いた原子炉の冷却

- ・ 通常運転中は主給水ポンプを用いて蒸気発生器に二次冷却材を供給
- ・ 蒸気発生器で一次冷却材の熱を二次冷却材に伝えて一次冷却材（原子炉）を冷却

（ 異常発生時に主給水ポンプが故障等によって使用できない場合にも、核分裂反応を停止した後、補助給水ポンプ（電動（2台）、タービン動（1台））によって蒸気発生器に給水を継続し原子炉を冷却することができる ）

#### 余熱除去系を用いた原子炉の冷却

- ・ 余熱除去ポンプ（低圧注入系と兼用）と余熱除去冷却器で一次冷却材（原子炉）を冷却（参考図 参照）

## 1.5 事故防止に係る安全確保対策（③放射性物質異常放出防止対策）

### ③ 周辺環境への放射性物質の放出防止

仮に異常が発生し拡大した場合

- ⇒ 第1～3の障壁の損傷またはそのおそれが生じている  
(一次冷却材配管が破断した場合は、原子炉を緊急停止しても一次冷却材が失われるため炉心冷却できない等)



(1) 第1～3の障壁の損傷の進展を防ぎ、格納容器内に放出される放射性物質を抑制するため、炉心で発生する崩壊熱を除去（冷却）することが必要

- ⇒ 非常用炉心冷却設備（ECCS）で冷やす

(2) 最終的な障壁である第4、5の障壁の健全性を確保し、放射性物質の異常な放出を防止し施設内に閉じ込めることが重要

- ⇒ 原子炉格納容器内の圧力が上昇しても、原子炉格納容器スプレイで圧力を下げ、原子炉格納容器の機能を維持  
⇒ 原子炉格納容器内の放射性物質がコンクリート遮へい壁の外へ漏えいすることを抑制



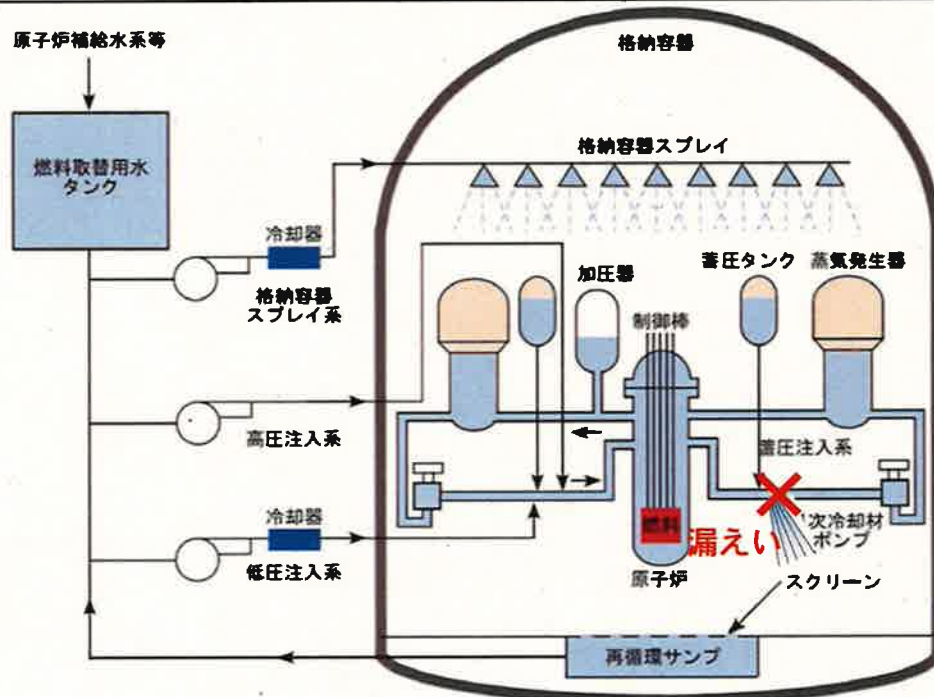
異常が拡大した場合でも環境への放射性物質の放出を出来る限り少なくする

## 1.5 事故防止に係る安全確保対策 (③放射性物質異常放出防止対策)

### (1) ECCS (冷やす)

一次系の配管が破断し、高温、高圧の一次冷却材（水）が原子炉格納容器内に漏えいし、蒸気発生器を用いた通常の二次系による冷却が行えないというような事象を一次冷却材喪失事象（LOCA）と呼び、LOCAの発生時にはECCSによりホウ酸水を炉心に注入して冷却する

①高圧注入系（2系統） 高圧注入ポンプ、関連配管から構成	一次冷却材配管の破断規模が小さく冷却材の流出量が少ない場合には、一次系の圧力が早期に減圧しないため、炉心に高圧状態の冷却水を注入
②蓄圧注入系（3系統） 蓄圧タンク、関連配管より構成	一次冷却材配管の破断規模が大きく、一次系の圧力が早期に減圧する場合に、低圧注入系等からの冷却水が炉心に達するまでの間、窒素ガスで加圧されたタンク内のホウ酸水を自動で注入（電源不要）
③低圧注入系（2系統） 余熱除去（低圧注入）ポンプと冷却器、関連配管から構成	一次冷却材配管の破断規模が大きく冷却材の流出量が多い場合には、一次系の圧力が低くなるため炉心に多くの冷却水を注入



### (2) 原子炉格納容器スプレイ設備 (閉じ込める)

(2系統)

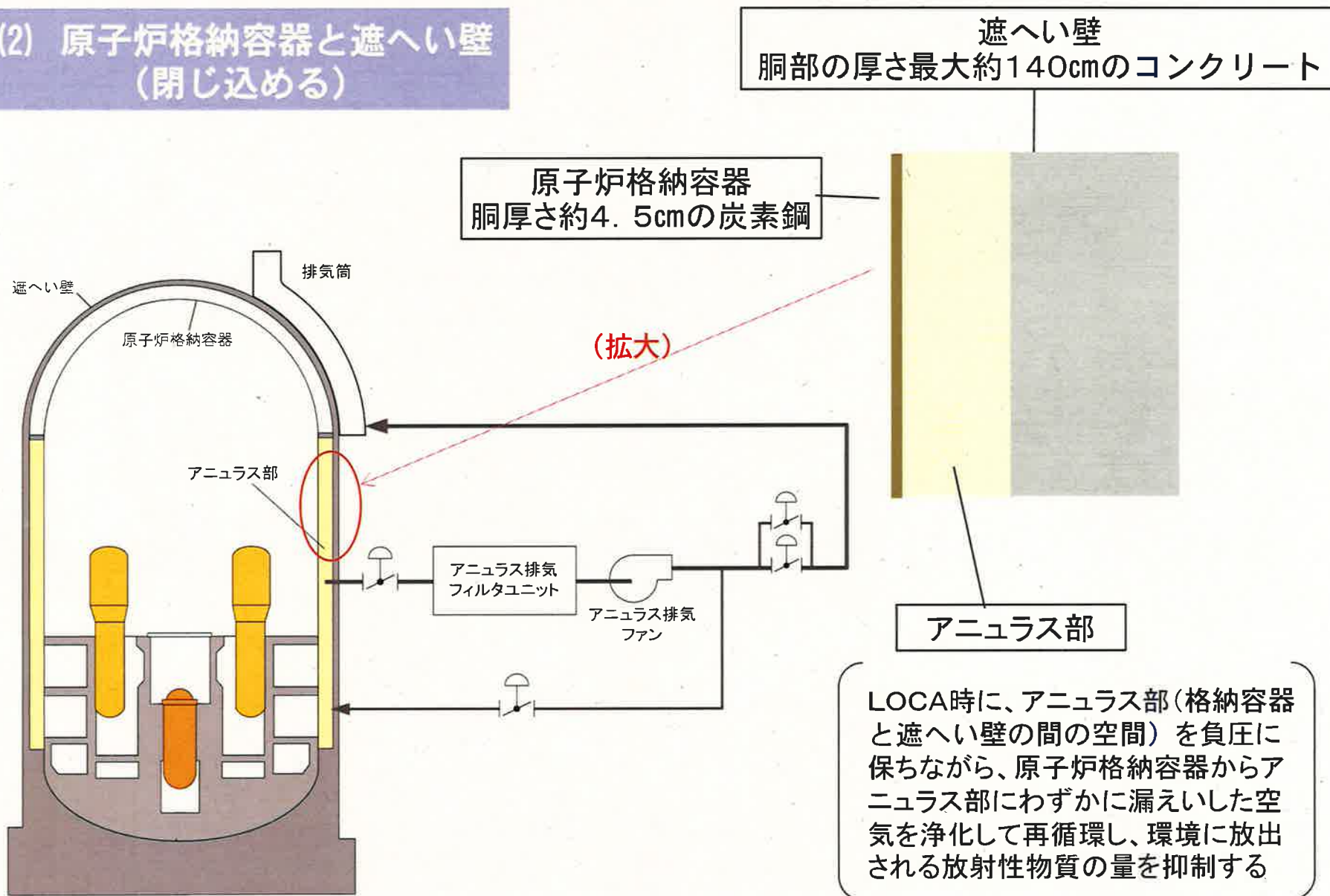
- ・スプレイ水によって格納容器内の蒸気を凝縮させ、原子炉格納容器の圧力を低下させる（健全性維持）
- ・スプレイ水によって空気中に浮遊する放射性物質を取り込み除去する（漏えい防止）

※ECCS及び原子炉格納容器スプレイ設備は、送電線より供給される外部電源がなくても発電所内の非常用ディーゼル発電機で動かすことができる



# 1.5 事故防止に係る安全確保対策 (③放射性物質異常放出防止対策)

## (2) 原子炉格納容器と遮へい壁 (閉じ込める)



## 1.6 福島第一原子力発電所事故を踏まえた事故防止に係る安全確保対策の強化

### 福島第一原子力発電所事故

東北地方太平洋沖地震が発生、原子炉は緊急停止



その後の津波で複数の安全上重要な設備が機能を喪失

〔 全交流電源の喪失  
海水ポンプの機能喪失 〕



原子炉を「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」機能が  
働かず五重の障壁の全てが喪失



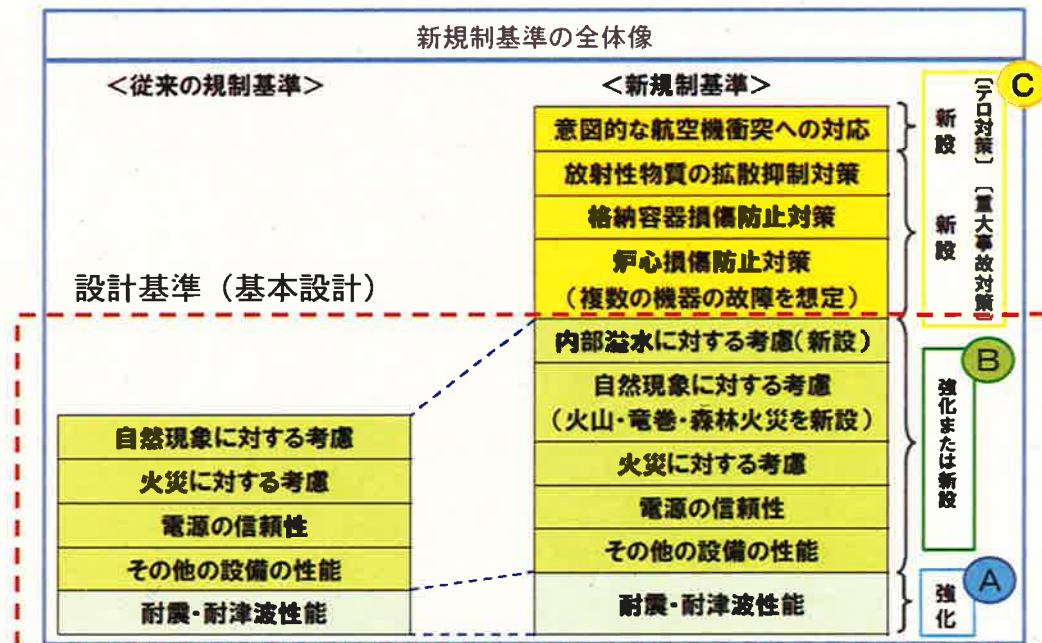
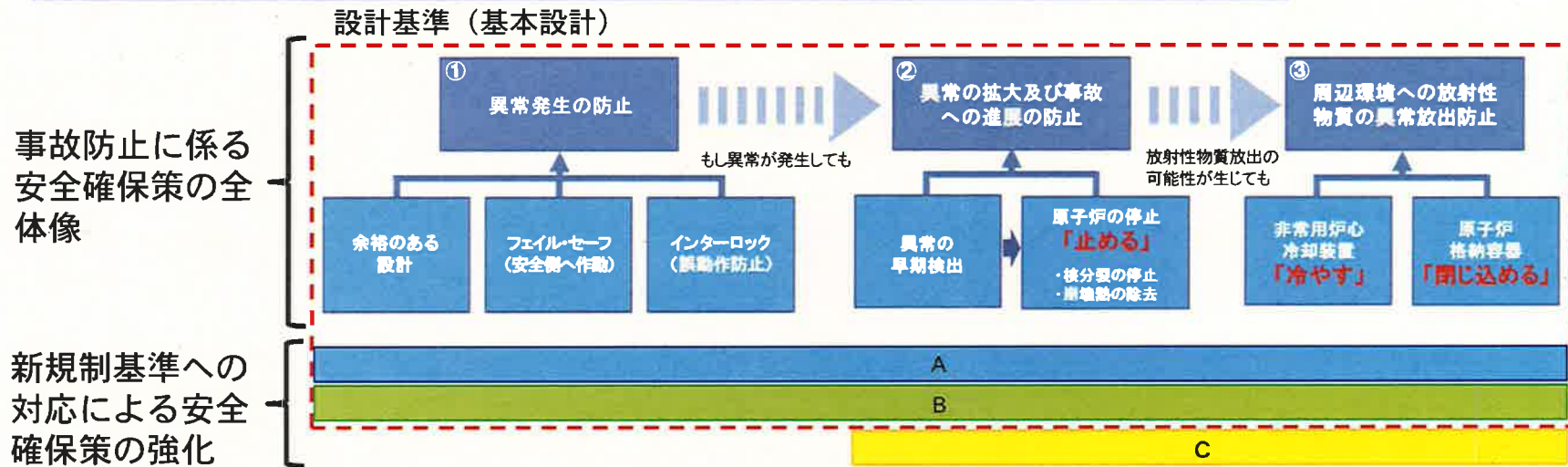
事故防止に失敗し、環境に放射性物質が大量に放出される重大事故が発生

⇒ 結果的に、自然的立地条件（津波の影響）の把握が不十分

自然的立地条件の見直し、再検討を行い対策することで、事故防止に係る安全確保対策を強化することが重要

# 1.6 福島第一原子力発電所事故を踏まえた事故防止に係る安全確保対策の強化

## 事故防止に係る安全確保の考え方と新規制基準の関係（イメージ）



## 1.6 福島第一原子力発電所事故を踏まえた事故防止に係る安全確保対策の強化

### 耐震性の例(より余裕を持たせた評価)

#### より余裕を持たせた評価

断層の長さをより長く想定して評価するなどして不確かさをより安全側に考慮  
⇒ 基準地震動  $S_s$  として11波を策定 (うち1波の最大加速度は650ガル)



#### 設備の信頼性の強化

新たに設定した基準地震動  $S_s$  によって安全上重要な設備が影響を受けること  
がないよう確認、必要に応じ耐震性向上工事を実施



直流電源装置 (対策前)

支持構造物の取付



直流電源装置 (対策後)

耐震性向上対策の例

## 1.6 福島第一原子力発電所事故を踏まえた事故防止に係る安全確保対策の強化

### 竜巻対策の例

竜巻の影響によって安全上重要な設備が影響を受けないよう防護壁を設置



海水ピットポンプ室（飛来物対策前）



海水ピットポンプ室（飛来物対策後）

### 溢水対策の例

溢水の影響により安全上重要な設備が安全機能を失わないよう建屋の入口等に水密扉を設置



従来扉（扉の厚さ約4cm）



水密扉（扉の厚さ約15cm）

## 1.7 安全確保の考え方（小括）

「原子力発電所の安全確保」とは、出来る限り放射性物質を環境に放出しないようにすること

### 物理的障壁

- 五重の障壁を設けて、放射性物質を閉じ込める

### 事故防止に係る安全確保対策

- 異常発生を防止を図るとともに、万一の異常発生時においても、深層防護の考え方に基づく事故防止に係る安全確保対策によって、原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」ことで全ての障壁の機能喪失を防止
- 福島第一原子力発電所事故を踏まえ、自然的立地条件の見直し、再検討を行い対策することで、事故防止に係る安全確保対策を強化



本件 3 号機において、五重の障壁の全ての障壁が機能喪失して放射性物質が環境に大量に放出される具体的危険性はない

---

## **2. 福島第一原子力発電所事故を踏まえたさらなる対応**

### **2.1 重大事故対策の整備**

### **2.2 原子力防災対策**

## 2.1 重大事故対策の整備

### 重大事故対策の位置づけ

#### (設計基準)

自然的立地条件等に対してより余裕を持たせた評価を行い、例えば地震については耐震性向上工事を実施したり、竜巻については新たな防護策を講じることで安全上重要な設備の信頼性を強化することで原子力施設の安全性を確保



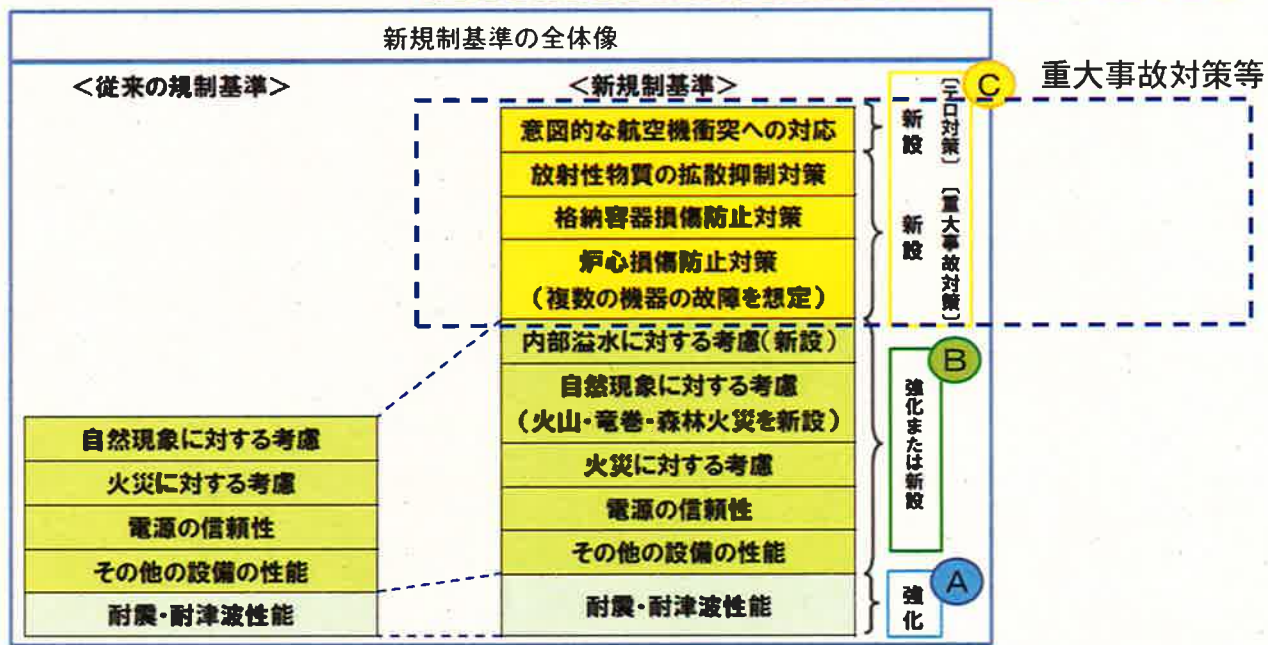
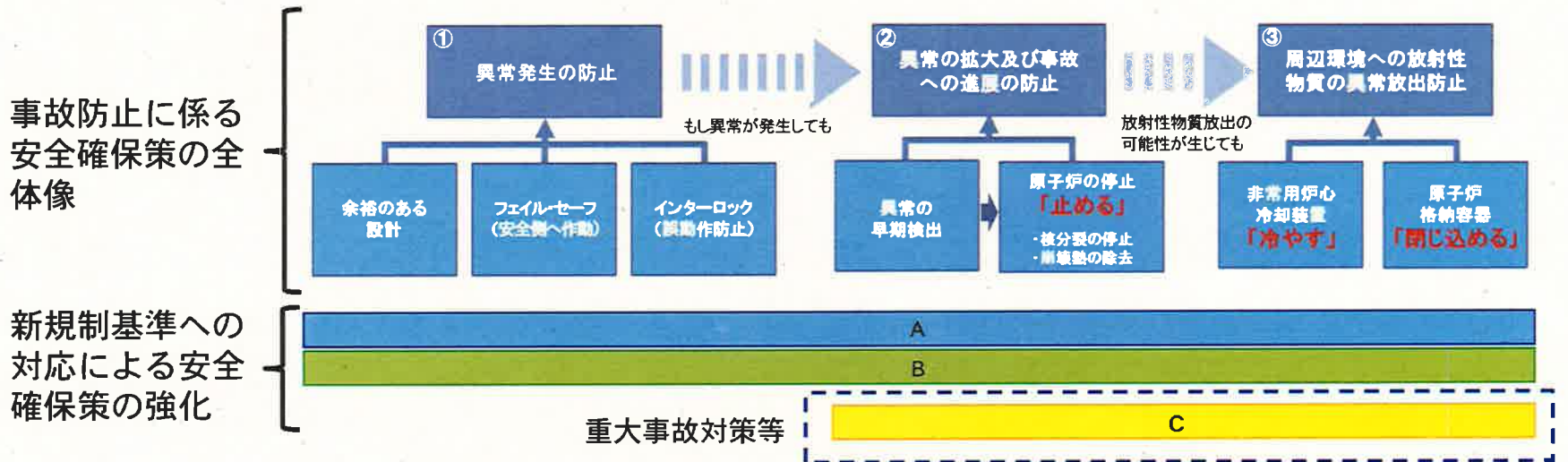
#### (重大事故対策)

事故防止に係る安全確保対策を十分に講じているが、福島第一原子力発電所事故の発生を踏まえ、さらなる対応として、深層防護の観点からも有効と考えられる重大事故対策を発電所内に整備



## 2.1 重大事故対策の整備

### さらなる対応と新規規制基準の関係 (イメージ)



## 2.1 重大事故対策の整備

### 重大事故対策の整備

重大事故に至るおそれがある場合に「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」ためのさらなる対策を整備

(例)

- ・「止める」機能の対策  
制御棒による自動での原子炉停止機能が喪失した場合に原子炉出力を自動で抑制し、最終的に原子炉を未臨界に移行するための手段の整備
- ・「冷やす」機能の対策  
ECCSが働かない場合でも冷却水を供給する手段等の整備
- ・「閉じ込める」機能の対策  
原子炉格納容器内の圧力上昇の抑制手段、水素爆発防止手段等の整備
- ・電源設備の信頼性向上  
止める、冷やす、閉じ込めるために必要な設備に電力を供給できるよう電源設備の信頼性を向上



重大事故に至るおそれがある場合でも、第4、第5の障壁の機能を維持し放射性物質の環境への放出を出来る限り少なくする

## 2.1 重大事故対策の整備

### 「冷やす」機能の対策

ECCSが働かない場合でも冷却水を供給する手段等の整備

⇒ 炉心の損傷防止のため炉心等に冷却水を注入するための代替ポンプやポンプ車を追加配備

(例)

<炉心の冷却機能の多様化>

(既設)

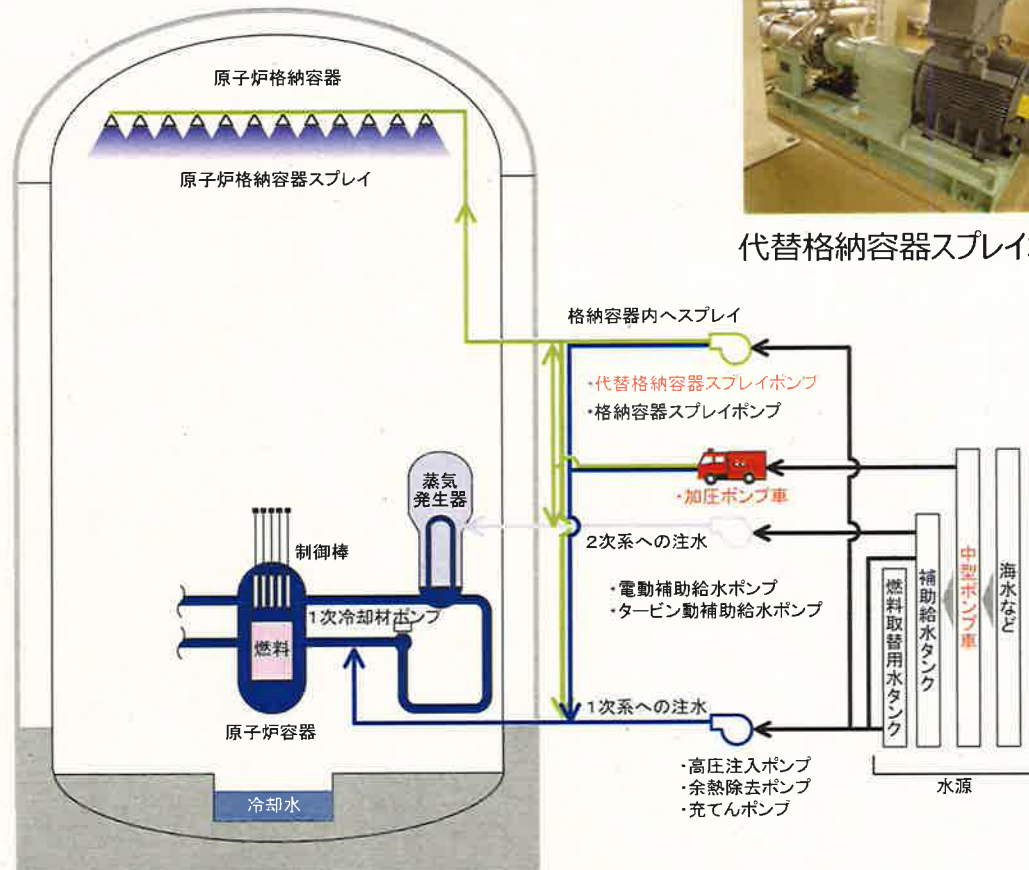
- ・格納容器スプレイポンプ
- ・電動補助給水ポンプ、タービン動補助給水ポンプ
- ・高圧注入ポンプ
- ・充てんポンプ など

(新設)

- ・代替格納容器スプレイポンプ
- ・中型ポンプ車など



中型ポンプ車



代替格納容器スプレイポンプ

## 2.1 重大事故対策の整備

### 電源設備の信頼性向上

福島第一原子力発電所事故では外部電源及び非常用ディーゼル発電機からの電力供給が喪失したことが事故の大きな要因となったことを踏まえて、止める、冷やす、閉じ込めるために必要な設備へ電力を供給できるように電源設備の信頼性を向上

#### 従来の電源

- ・ 外部電源（送電線）
- ・ 非常用ディーゼル発電機（2台）
- ・ 蓄電池



重油タンク（非常用DG用）

設計基準（基本設計）

重大事故対策等

#### 従来の電源の強化

- ・ 非常用ディーゼル発電機の燃料備蓄の増強（3.5日分→7日分）
- ・ 蓄電池の増強

#### 追加の電源

- ・ 空冷式非常用発電装置
- ・ 号機間連絡ケーブル（タイライン）
- ・ 配電線
- ・ 電源車
- ・ 可搬型直流電源装置



空冷式非常用発電装置

## 2.2 原子力防災対策

### 原子力防災対策

- 住民の避難計画（原子力災害対策特別措置法および災害対策基本法に基づき、原子力災害対策重点区域である30km圏（PAZ: ~5km、UPZ: ~30km）の範囲について作成）をはじめ、原子力防災対策に関する計画として「伊方地域の緊急時対応」（内閣府）が策定されている
- 同計画については、伊方地域原子力防災協議会（平成27年8月26日開催）や国の原子力防災会議（平成27年10月6日開催）において、具体的かつ合理的であることが確認されている
- 当社も参画した平成27年度原子力総合防災訓練（11月8～9日）の結果を踏まえ、同計画の見直し（伊方地域原子力防災協議会（平成28年7月14日開催））を行うことにより、さらなる実効性の向上を図っている

---

### **3. 伊方発電所3号機の安全性のまとめ**

### 3. 伊方発電所3号機の安全性のまとめ

#### 物理的障壁

- 五重の障壁を設けて放射性物質を閉じ込めている

#### 事故防止に係る安全確保対策

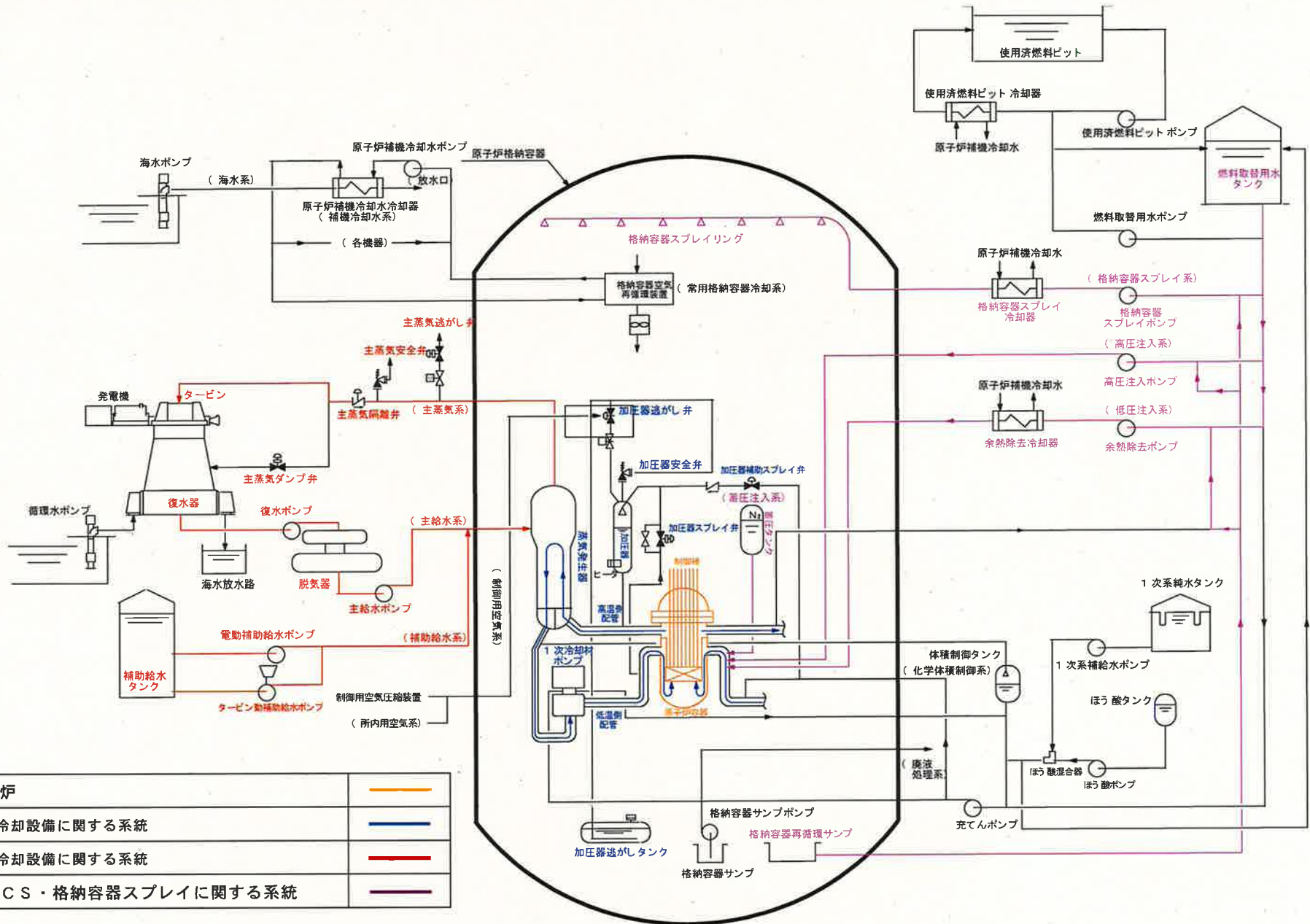
- 異常発生を防止を図るとともに、万一の異常発生時においても、深層防護の考え方に基づく事故防止に係る安全確保対策によって、原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」ことで全ての障壁の機能喪失を防止
- 福島第一原子力発電所事故を踏まえ、自然的立地条件の見直し、再検討を行い対策することで、事故防止に係る安全確保対策を強化

#### さらなる対応（重大事故対策等）

- 事故防止に係る安全確保対策を十分に講じているが、福島第一原子力発電所事故の発生を踏まえ、さらなる対応として、深層防護の観点からも有効と考えられる重大事故対策を発電所内に整備

したがって、本件3号機において、五重の障壁の全ての障壁が機能喪失して放射性物質が環境に大量に放出される具体的危険性はない

# 参考図 伊方発電所3号機の基本構成



原子炉	—
一次冷却設備に関する系統	—
二次冷却設備に関する系統	—
ECCS・格納容器スプレイに関する系統	—