

## 東京電力福島第一原子力発電所事故の技術的知見について ～中間とりまとめ（概要）～

平成24年2月20日  
原子力安全・保安院

### 1. 目的

今般の事故の発生及び事象進展について現時点までに判明している事実関係进行分析し、それらを基に技術的課題を整理することを目的とした。

### 2. 検討の範囲

- 事故発生及び事故進展に係る技術的知見の整理
  - ・現時点までの知見に基づき、事故シーケンスの各段階における重要機器の動作状況及び事故対応資機材の不足・不具合（ハード要因）を整理
- 上記の原因分析等を踏まえ、国内の他プラント等（福島第一 5・6号、福島第二、女川、東海第二）との比較を行いつつ、対策の方向性の整理。
- 意見聴取会形式にて計8回の検討を重ね、本年2月16日に中間とりまとめを実施。本年度内に最終取りまとめを予定。

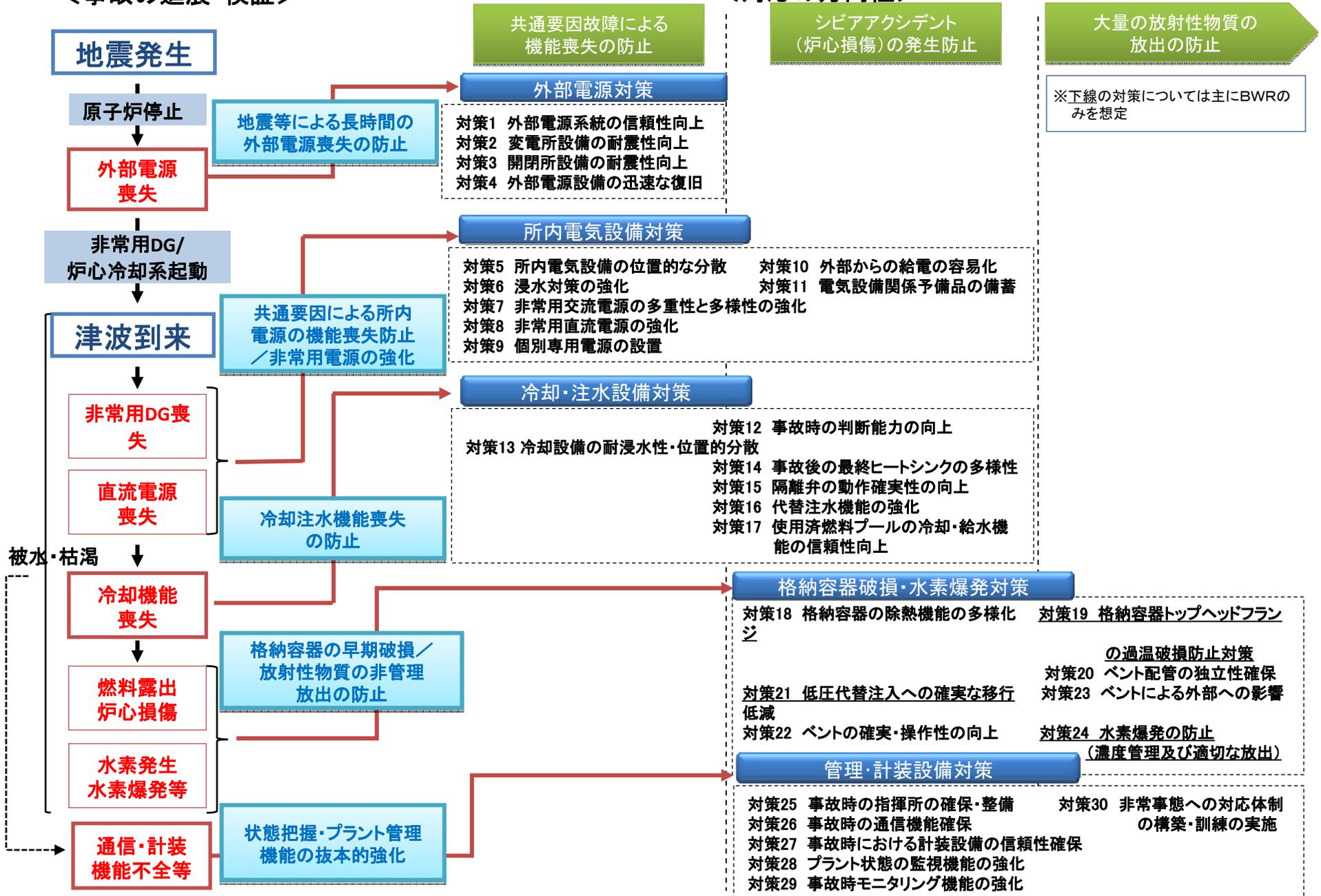
# もくじ

1. 事故のシーケンスから得られた技術的知見…………… P. 2
2. 外部電源設備について…………… P.3
3. 所内電気設備について…………… P.6
4. 冷却設備について…………… P. 13
5. 閉込機能に関する設備について……………P. 17
6. 指揮通信・計装制御設及び非常事態への対応体制について……………P.23
7. まとめ……………P.27

# 1. 事故のシーケンスから得られた技術的知見

<事故の進展・検証>

<対応の方向性>



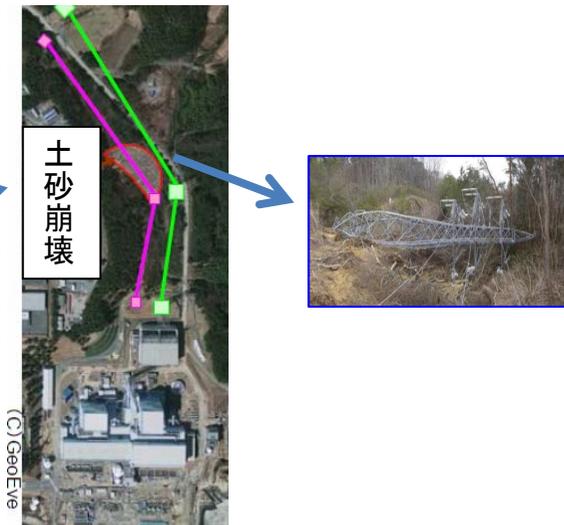
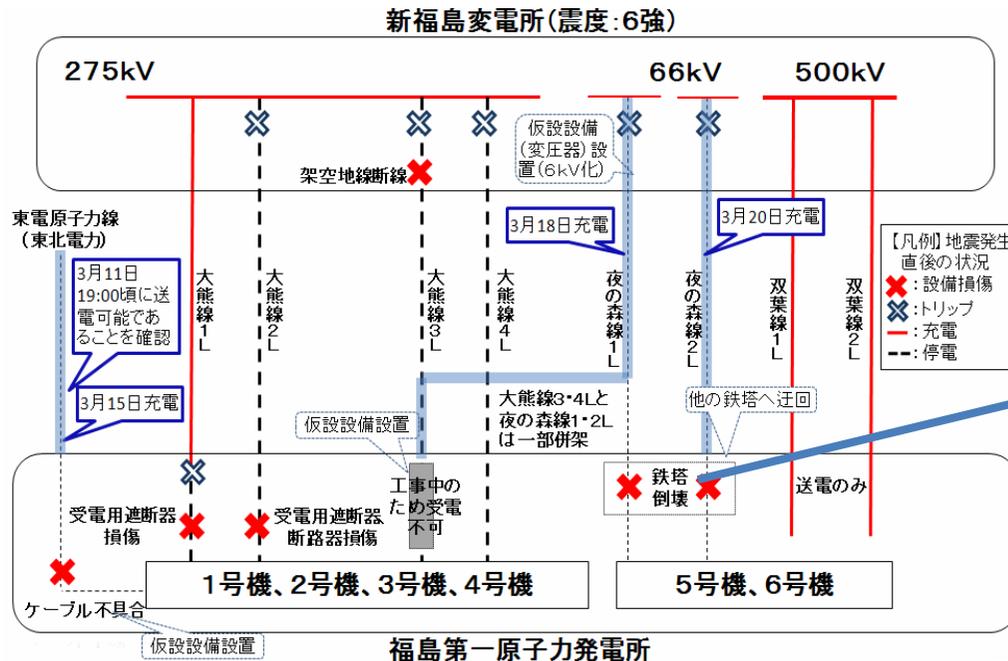
# 2-1. 外部電源設備について（被害状況）

## 〈被害の状況〉

福島第一では、開閉所の遮断器及び断路器の損傷（1・2号機）、送電線路のトリップ（3・4号機）、近傍盛土の崩壊に伴う鉄塔倒壊（5・6号機）等により、全ての外部電源を喪失。

## 〈被害の原因〉

福島第一発電所の開閉所の電気設備が損傷した原因は、今回の地震動が開閉所設備に適用される民間規格の設計基準を超過したこと等であることが判明。また、近傍盛土の崩壊に伴い送電鉄塔が倒壊。



○外部からの受電系統7系統(うち1系統は工事停止中)のすべてから受電できない「外部電源喪失」状態となった。(ただし、津波襲来までは非常用ディーゼル発電機により電源は確保されている。)

## 2-2. 外部電源設備について（対策；その1）

### （要件1；原子力発電所の外部電源の信頼性向上）

#### 【技術的知見】

福島第一発電所では、後述のとおり津波により施設内の電気設備が水没・被水により機能喪失したため、外部電源が機能していたとしても受電を継続することは難しかったと考えられるが、外部電源の喪失が復旧作業を困難にする一因となるなどシビアアクシデントの進展防止を阻害する要因の一つとなった。また、外部電源を含む何らかの交流電源を利用することができた女川発電所、第二発電所及び東海第二発電所では、地震後の津波による被害を受けてもシビアアクシデントに至ることなく冷温停止に移行する等の緊急時対応を実施できたことに留意する必要がある。

外部電源の信頼性については、地域全体の停電や山間部を通る送電線路の途絶などによる外部電源喪失のリスクがあるため、原子力発電所の安全確保を外部電源に過度に依存することは適当ではない。しかしながら、東北地方太平洋沖地震に際し、交流電源確保の成否が原子力発電所の安全確保の結果に大きな差異をもたらした。

従って、シビアアクシデントのリスク低減及び事故後の復旧作業容易化のため、外部電源の信頼性を向上させることが必要。

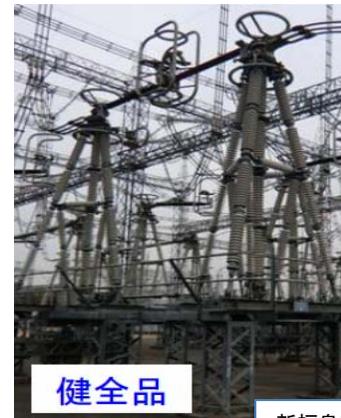
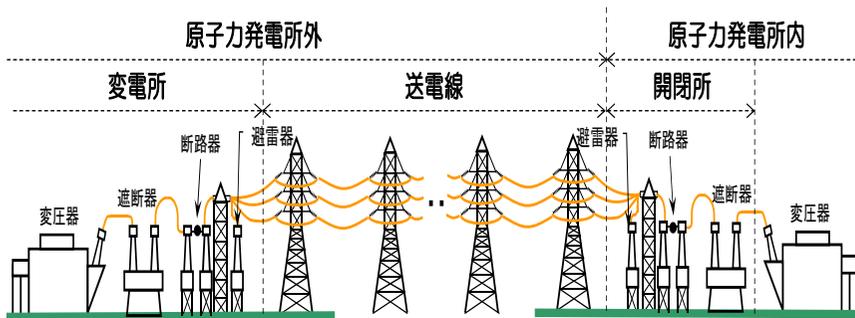
### 《対策1》

#### 外部電源系統の信頼性向上

### 《対策2》

#### 変電所設備の耐震性向上

変電所～発電所の外部電源イメージ図



新福島変電所（震度：6強）.  
東京電力HPより

## 2-2. 外部電源設備について（対策；その2）

### （要件2；原子力発電所の開閉所設備の信頼性向上）

#### 【技術的知見】

原子力発電所の開閉所設備の耐震性を向上する必要がある。

なお、変電所では、電気設備の多重化が図られており、一部の機器に損傷が発生しても当該箇所の切離し等により機能を維持できる可能性がある。原子力発電所の開閉所については、第一発電所において一部の遮断器及び断路器が地震により損傷し、これが外部電源喪失の一因となった。開閉所内の個々の送電設備は多重化されていないため、システムのどこかに損傷が発生すると外部電源喪失に繋がる可能性が高い。

### 《対策3》

#### 開閉所設備の耐震性向上



275kV空気遮断器 (ABB)  
(出典) 第1回電気設備地震対策WG資料



550kVガス絶縁開閉装置 (GIS)  
(出典) ㈱日本パワーシステムズ HP

### （要件3；外部電源の復旧の迅速化）

#### 【技術的知見】

東北地方太平洋沖地震では、遮断器のトリップによる送電の停止が多数発生した他、変電所又は送電線の電気設備が損傷したため、例えば東海第二発電所など送電までに数日以上の時間を要したケースがあった(注:東海第二発電所では非常用DGにより電源を確保)。また、外部電源による安定的な電力供給を回復できれば、シビアアクシデント等の重大な事故に至るリスクを低減することができる。

従って、地震等により損傷した外部電源設備の復旧を迅速化することが必要である。

### 《対策4》

#### 外部電源設備の迅速な復旧

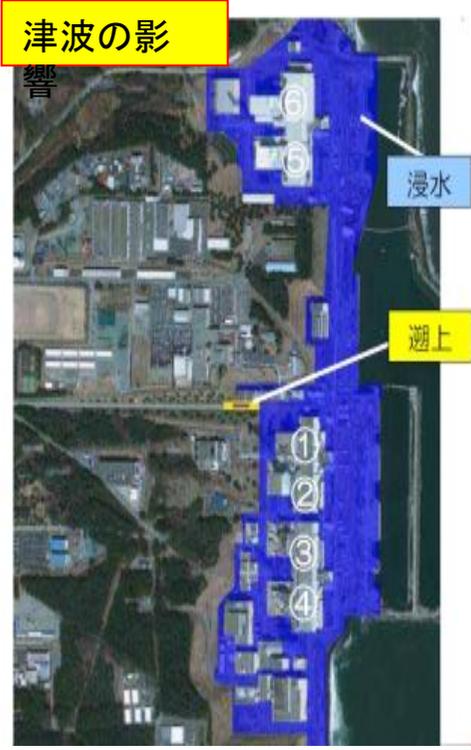
# 3-1. 所内電気設備について（被害状況）

## 〈被害の状況〉

- 福島第一発電所では、海に近いタービン建屋(T/B)及びコントロール建屋(C/B)の地下階に設置されたほとんどの電気設備が被水・水没。
- 非常用ディーゼル発電機(D/G)は、その発電機本体が被水・水没で機能を喪失したほか、本体が被水・水没を免れても、起動・運転及び電力供給に必要な直流電源、海水ポンプ、送電ラインにある配電盤(M/C、P/C)などが被水・水没したことにより機能を喪失。

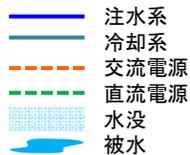
	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
非常用ディーゼル発電機	× 1A、1B (T/B地下1階)	× 2A (T/B地下1階) 2B (共用プール1階)	× 3A、3B (T/B地下1階)	× 4A (T/B地下1階) 4B (共用プール1階)	× 5A、5B (T/B地下1階)	△ 6A:R/B地下1階 6B:DG建屋1階 (使用可能) HPCS:R/B地下1階
高圧電源盤	× T/B1階	× T/B地下1階等	× T/B地下1階等	× T/B地下1階等	× T/B地下1階等	△ R/B地下2階等
パワーセンター (注)	× T/B1階等	△ T/B1階等	× T/B地下1階等	△ T/B1階等	△ T/B2階等	△ R/B地下2階等
直流電源 (バッテリー)	× C/B地下1階	× C/B地下1階等	○ T/B中地下1階	× C/B地下1階等	○ T/B地下中1階	○ T/B地下中1階等
緊急炉心冷却設備	△ 但し、ICは要検討	△ (RCICは使用可能)	△ (RCICとHPCIは使用可能)	—	—	—

×:水没や被水等により使用不可 △:一部使用不可 ○:使用可能 T/B:タービン建屋 C/B:コントロール建屋 R/B:原子炉建屋  
 (注)所内低電圧回路に使用される動力電源盤で気中遮断器(ACB)、保護継電器、付属計器をコンパクトに収納したもの。

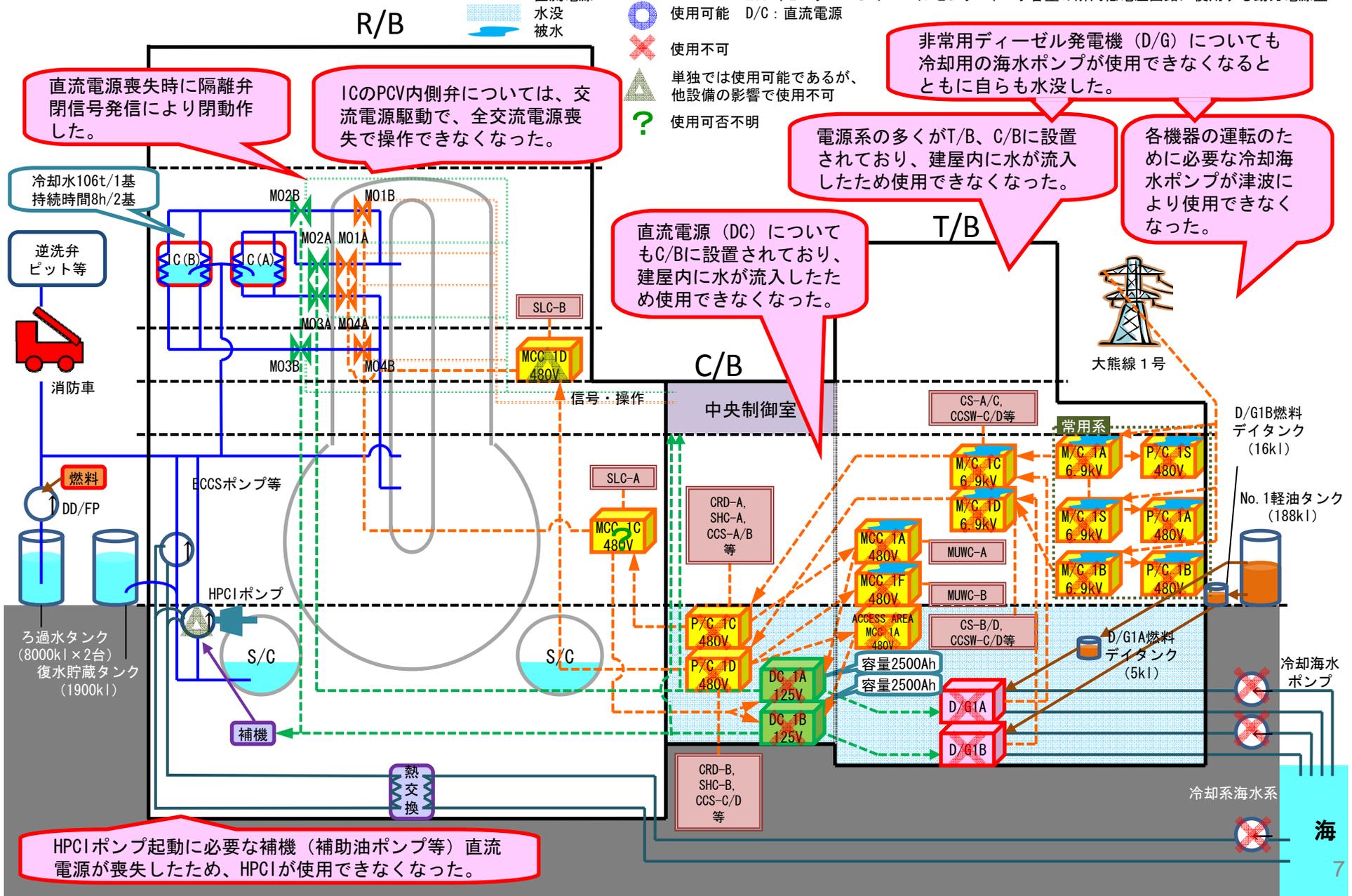


出典:福島第一原子力発電所東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について(平成23年9月9日、9月28日一部訂正、東京電力(株))を加工

# (参考)所内電源設備の被害状況(福島第一1号機の被害状況概要図)



- 負荷
- ポンプ
- 使用可能
- ✗ 使用不可
- △ 単独では使用可能であるが、他設備の影響で使用不可
- ？ 使用可否不明
- D/G : 非常用ディーゼル発電機
- M/C (高圧配電盤) : 所内高電圧回路に使用する動力電源盤
- P/C (パワーセンター) : 所内低電圧回路に使用する動力電源盤
- MCC (モーターコントロールセンター) : 小容量の所内低電圧回路に使用する動力電源盤
- D/C : 直流電源



直流電源喪失時に隔離弁閉信号発信により閉動作した。

ICのPCV内側弁については、交流電源駆動で、全交流電源喪失で操作できなくなった。

非常用ディーゼル発電機 (D/G) についても冷却用の海水ポンプが使用できなくなるとともに自らも水没した。

電源系の多くがT/B、C/Bに設置されており、建屋内に水が流入したため使用できなくなった。

各機器の運転のために必要な冷却海水ポンプが津波により使用できなくなった。

直流電源 (DC) についてもC/Bに設置されており、建屋内に水が流入したため使用できなくなった。

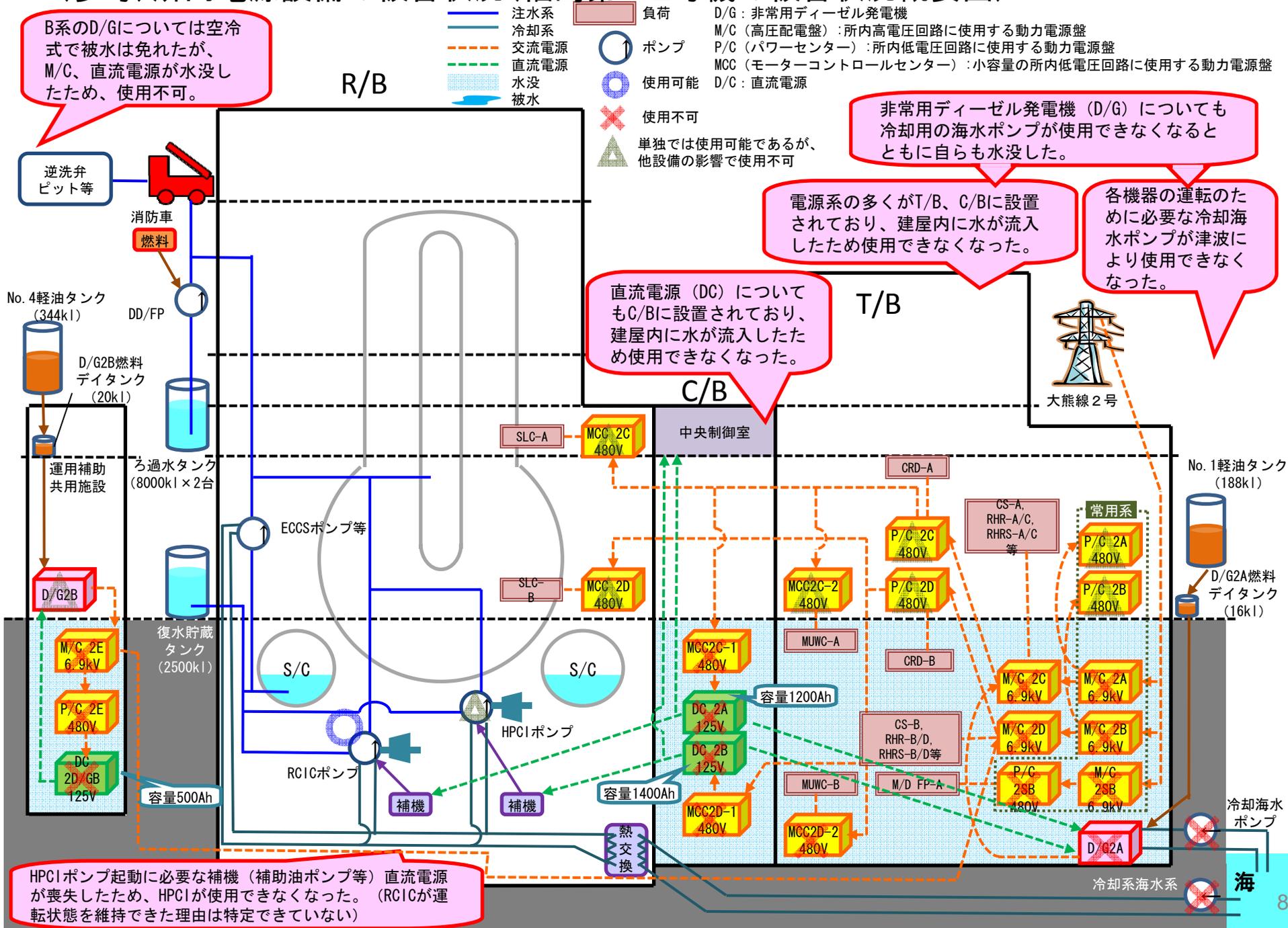
冷却水106t/1基  
持続時間8h/2基



ろ過水タンク (8000k1 × 2台)  
復水貯蔵タンク (1900k1)

HPCIポンプ起動に必要な補機 (補助油ポンプ等) 直流電源が喪失したため、HPCIが使用できなくなった。

# (参考)所内電源設備の被害状況(福島第一2号機の被害状況概要図)



# (参考)所内電源設備の被害状況(福島第一3号機の被害状況概要図)

- 注水系
- 冷却系
- 交流電源
- 直流電源
- 水没
- 被水

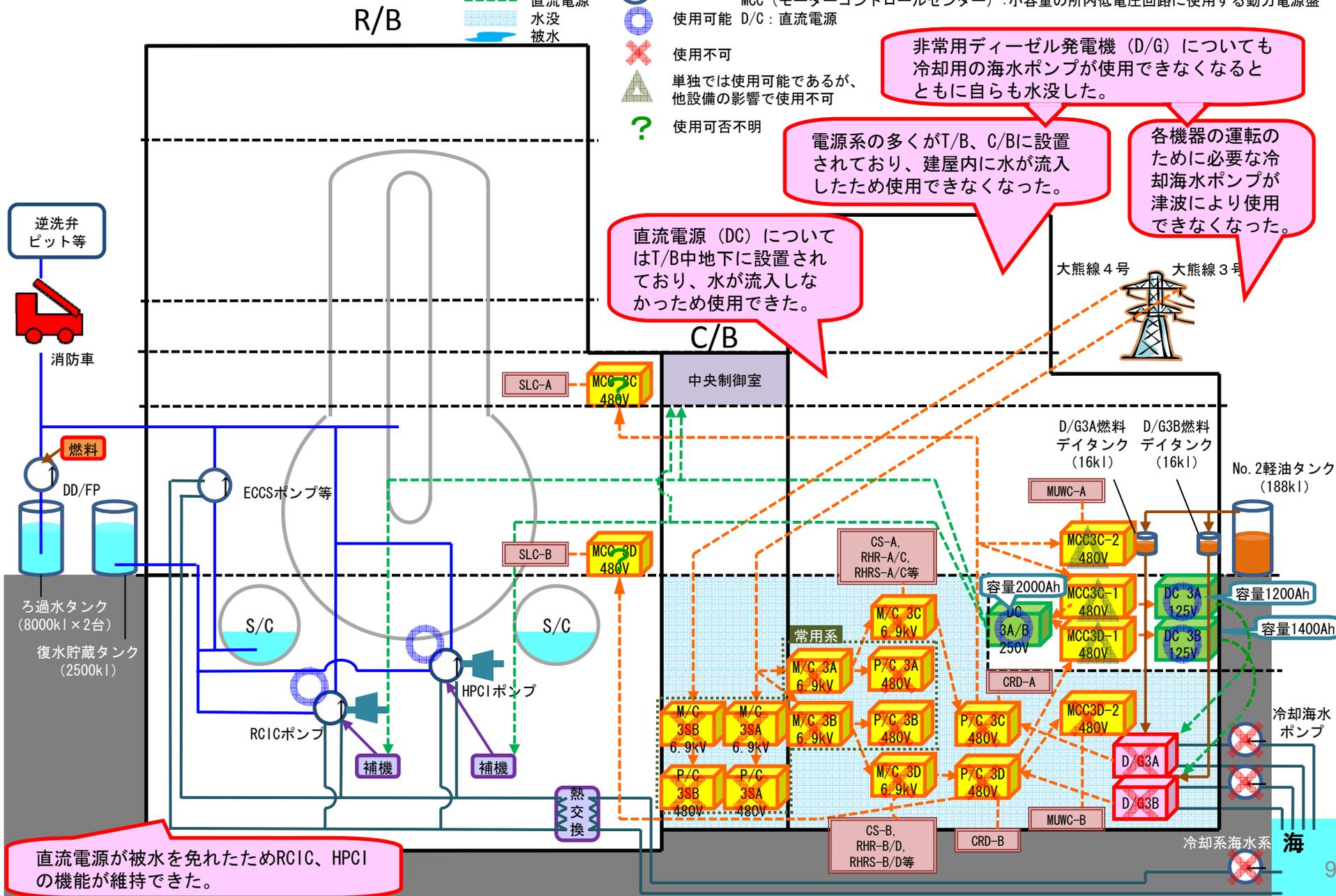
- 負荷
  - ポンプ
  - 使用可能
  - × 使用不可
  - △ 単独では使用可能であるが、他設備の影響で使用不可
  - ? 使用可否不明
- D/G : 非常用ディーゼル発電機  
M/C (高圧配電盤) : 所内高電圧回路に使用する動力電源盤  
P/C (パワーセンター) : 所内低電圧回路に使用する動力電源盤  
MCC (モーターコントロールセンター) : 小容量の所内低電圧回路に使用する動力電源盤  
D/C : 直流電源

非常用ディーゼル発電機 (D/G) についても冷却用の海水ポンプが使用できなくなるとともに自らも水没した。

電源系の多くがT/B、C/Bに設置されており、建屋内に水が流入したため使用できなくなった。

各機器の運転のために必要な冷却海水ポンプが津波により使用できなくなった。

直流電源 (DC) についてはT/B中地下に設置されており、水が流入しなかったため使用できた。



直流電源が被水を免れたためRCIC、HPCIの機能が維持できた。

## 3-2. 所内電気設備について（対策；その1）

### （要件4；所内電気設備の共通要因故障による機能喪失の防止）

#### 【技術的知見】

海に近く海水が流入したタービン建屋(T/B)やコントロール建屋(C/B)の地下など低い階に設置されていた電気設備は、そのほとんどが被水等により機能が喪失した。また、同一建屋の同一階に設置されていた機器は、今回は津波による被水・水没という共通要因により、同時に機能を喪失した。更に、津波が共通要因故障を引き起こし、多重故障による1～4号機間を通じた電気設備の機能喪失が生じたため、代替機能を短時間で用意することができず復旧に長時間を要した。(5,6号機は、1-4号機とは電力融通ができるようにはなっていなかった)

従って、共通要因故障による機能喪失を防止することが極めて重要であり、非常用電気設備の十分な多様性と独立性を確保する必要がある。また、電気系統の各階層(M/C、P/C、MCC等)のいずれかでの単一の故障により、電気系統としての機能を喪失することを防止する必要がある。

#### 《対策5》

所内電気設備の位置的な分散

#### 《対策6》

浸水対策の強化



非常用発電機の高台設置の例  
(中部電力HPより)



水密扉の例(四国電力HPより)

## 3-2. 所内電気設備について（対策；その2）

### （要件5；非常用交流電源の強化）

#### 【技術的知見】

非常用ディーゼル発電機(D/G)が津波により機能喪失に至ったため、非常用D/Gから電気の供給を受けるはずであった各種の安全設備が機能を失った。非常用D/Gは設備自体が被水・水没していなくとも、ディーゼル機関等の冷却系の一部である海水ポンプが津波により破損したため、機能はしなかったと推定される。また、燃料供給、起動・制御に必要な直流電源、送電先の配源盤のいずれかが機能喪失すると使用できなくなった。

従って、上記の共通要因故障の防止に加え、更なる非常用交流電源の多重性と多様性の強化が必要である。

### 《対策7》

#### 非常用交流電源の多重性と多様性の強化



空冷式非常用発電機  
(関西電力HPより)

### （要件6；非常用直流電源の強化）

#### 【技術的知見】

長期全交流電源喪失下での直流電源喪失により、原子炉の状態を検知する計器類が機能を喪失し、状態把握が著しく困難になった。また、弁開閉のみならず、RCICやHPCIの起動・制御ができなくなったことを踏まえ、交流電源が使用できない状況下では直流電源を維持することが必要不可欠であった。今回の事故では、交流電源が喪失してから長期に亘り復旧させることができず、これに備えるべき非常用直流電源の蓄電容量が数時間と短かったため、冷却機能等を長時間維持することができなかった。

従って、蓄電池の大容量化を含めた抜本的な非常用直流電源の強化が必要である。

### 《対策8》

#### 非常用直流電源の強化

### 《対策9》

#### 個別専用電源の設置



12V蓄電池室の例



250V蓄電池室の例

## 3-2. 所内電気設備について（対策；その3）

### （要件7；事故時・事故後の対応・復旧の迅速化）

#### 【技術的知見】

交流電源の復旧作業は、地震や津波、爆発等による劣悪な環境の中、P/Cや電源車等から仮設の配電盤やケーブル等を機器毎に敷設することになり、長時間を要した。交流電源の復旧に時間を要する中、計器類の直流電源はバッテリーを収集することから始める必要があった。このため、直流電源が機能していた3号機においても交流電源が復旧する前にバッテリーが枯渇し、炉心損傷等への進展を招くこととなった。

従って、全電源喪失時等の緊急事態において、別途用意されている電源車や発電機などの給電口への繋ぎ込みで即時に対応できることが基本であるが、その上で更に種々の困難な状況を想定し、マニュアルを整備するとともに、所内電源設備の復旧作業を迅速に行うための必要資機材の備蓄が必要である。

#### 《対策10》

外部からの給電の容易化

#### 《対策11》

電気設備関係予備品の備蓄



屋外給電口  
（四国電力HPより）

# 4-1. 冷却設備について（被害状況）

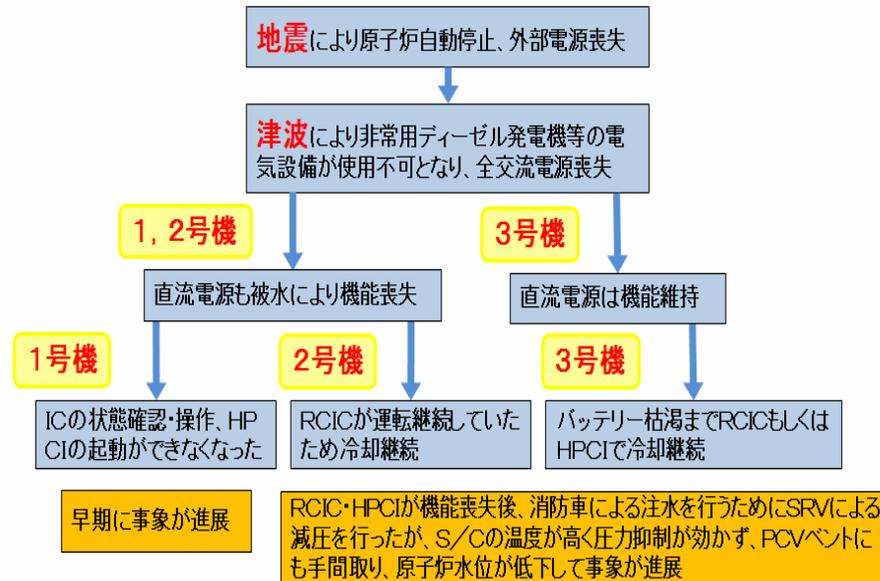
## 〈被害の状況〉

○福島第一発電所1～4号機では、津波の影響により全交流電源が喪失（1・2・4号機にあつては直流電源を含め全電源喪失）し、常用系の原子炉冷却系や余熱除去系が使用不能となり、海水系（原子炉で発生する熱やDG等の補機で発生する熱を海に放出するための系統）も機能喪失し、一時的に作動した非電源駆動の高圧注水系も停止し、最終的に原子炉及び使用済燃料プールの冷却機能喪失に至った。（ただし4号機は原子炉から全燃料を取り出した状態であつたため原子炉冷却機能喪失による問題は顕在化しなかった。）

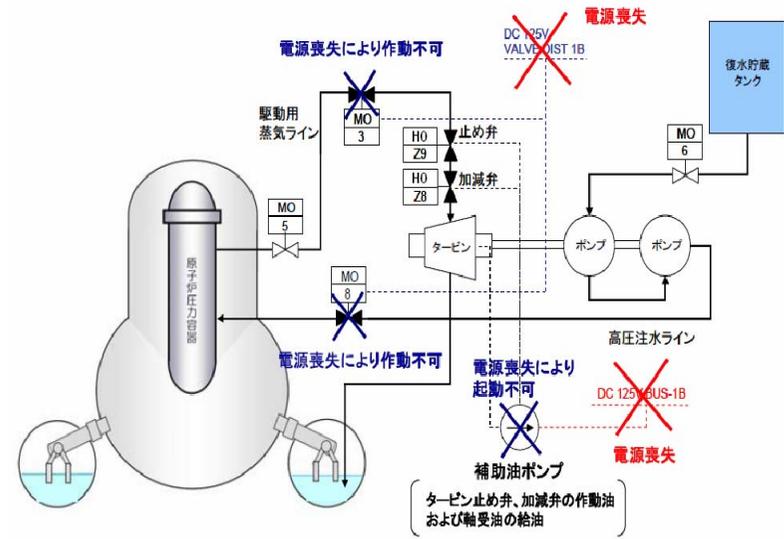
1号機は、全交流電源喪失に加え、直流電源も失われ、冷却系が操作不能となり、早期に事象が進展した。

2号機は、1号機同様直流電源も喪失したが、RCICが機能していたため冷却を継続。RCICが機能喪失して事象が進展した。

3号機は、直流電源が機能しておりRCIC、HPCIの作動により冷却を継続。バッテリー枯渇などで機能喪失して事象が進展した。



## 福島第一1～3号機における事象の進展（概要）



高圧注水系の系統概要図（1号機）

出典：福島第一原子力発電所東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について（平成23年9月9日、9月28日一部訂正、東京電力(株)）

## 4-2. 冷却設備について（対策；その1）

### （要件8；初期対応における的確な判断）

#### 【技術的知見】

福島第一1号機では中央制御室での監視・操作機能が喪失し、また現場が照明を失うなど劣悪な環境にあったため、状況把握に時間を要し、ICの状況確認・対応操作などを早期に行うことができなかった。PCV圧力の確認ができるようになった時点では既に最高使用圧力の1.5倍を超える状況に至っており、炉心状態の把握の遅れが操作の遅れに直結した。また、整備されている手順は、全電源喪失などの状況を想定したものではなく、現場での作業を前提としていなかったことから高線量下の現場で作業を行う際にも装備の準備等で時間を要するなど運転員の負荷も大きかったと考えられる。

従って、全電源喪失時など対応時間に余裕のない状態、特に崩壊熱の大きい初期などにおいて、的確な判断を行えるハードとソフトが必要である。

### 《対策12》

#### 事故時の判断能力の向上

### （要件9；冷却設備の共通要因故障による機能喪失の防止）

#### 【技術的知見】

津波により、注水設備等のポンプ本体には被害がほとんどなかったものの、電源や、補機冷却系の海水ポンプが機能喪失するなどにより原子炉冷却系の多くが機能喪失した。さらに注水のための水源が限定され、水源確保に時間を要した。RCIC、HPCIは地下階に設置されており、今回は浸水で機能喪失したわけではないが、最終的には浸水した。2・3号機では、RCICやHPCIがしばらく機能していたが、残留熱除去系が機能喪失した状態が続いたことから、S/Cはその間に温度・圧力が上昇し、圧力抑制機能を喪失した。一方で残留熱除去系の復旧ができた第一発電所5・6号機、第二発電所1・2・4号機においては、一時的に圧力抑制機能が喪失したプラントもあったものの、最終的には冷温停止に移行することができた。

従って、共通要因故障による機能喪失を防止することが極めて重要であり、冷却機能の維持には、注水設備だけではなく、水源、補機、残留熱除去系、最終ヒートシンク等の関連機器を含めた冷却設備全体の多様性及び独立性を確保する必要がある。

### 《対策13》

#### 冷却設備の耐浸水性・位置的分散

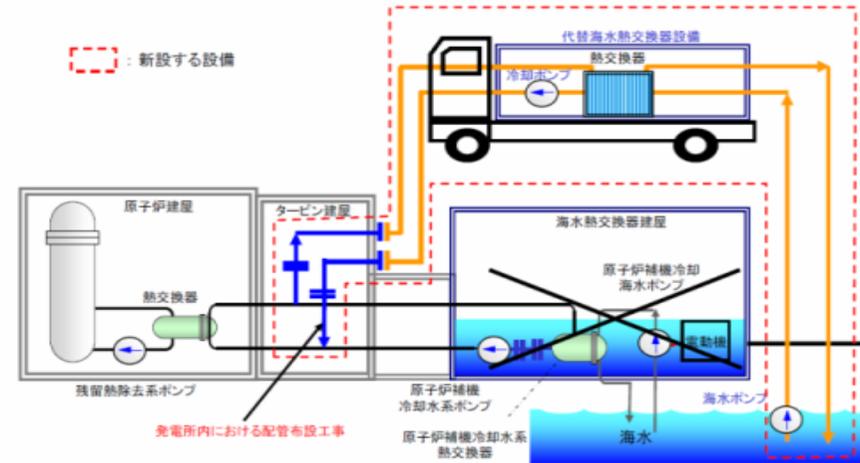


水密扉の例（四国電力HPより）

## 4-2. 冷却設備について（対策；その2）

### 《対策14》

#### 事故後の最終ヒートシンクの多様性



出典：東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所プレス発表資料(平成23年9月22日)

### (要件10;注水機能の強化)

#### 【技術的知見】

冷却系統(原子炉注水設備・原子炉減圧設備等)のうち蒸気を抽出するIC、HPCI、RCICにおいて、放射性物質の閉じ込めの観点から当該系統での漏えいの可能性を検知した場合、蒸気を抽出する系統の隔離弁が閉止するものがある。これらの隔離弁は駆動用電源等を喪失すると作動させることができず、有効なシビアアクシデント対策を講ずるのに大きな障害となることがある。

設計上の本来目的ではないが、原子炉冷却のためのバックアップとして交流電源がなくても注水できるD/D-FPもT/B地下に設置されていたため、津波で被害を受け最終的には使用できなかったものがある。D/D-FPに代わる消防車についても燃料切れで注水停止や注水遅れが発生した。また、消火系の配管からの漏えいなどによる水圧低下を防止するための隔離作業なども必要であった。

従って、シビアアクシデント時に迅速に注水できるよう、隔離弁の動作確実性を向上させるとともに、代替注水機能を強化する必要がある。

### 《対策15》

#### 隔離弁・SRVの動作確実性の向上

### 《対策16》

#### 代替注水機能の強化

## 4-2. 冷却設備について（対策；その3）

### （要件11；使用済燃料貯蔵における異常時の除熱性能の確保）

#### 【技術的知見】

各号機の使用済燃料プールでは、電源喪失、水素爆発による冷却浄化系配管の損傷等により冷却・水補給機能が喪失し、また、海水系も津波により機能喪失した結果、水冷による冷却機能は容易に復旧できなかった。一方で、空冷であった共用プールは電源回復とともに冷却が可能となり、また、乾式貯蔵キャスクは冷却に問題は生じなかった。1・3・4号機では建屋上部から冷却水を補給することができたものの、高所への継続的な注水手段の確保には時間がかかった。使用済燃料プールの冷却については、原子炉に比べると時間余裕はあるものの、貯蔵している燃料に含まれる放射性物質の総量が炉心よりも多くなることもあり、また原子炉のような閉じ込め機能がないことから、冷却機能を喪失し、貯蔵していた燃料が損傷した場合には環境に与える影響がより大きくなる可能性を有している。

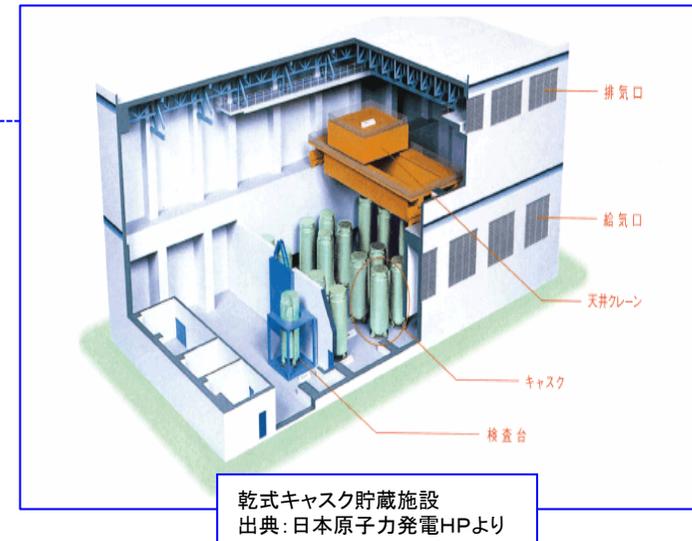
従って、使用済燃料プールの冷却・給水機能の信頼性向上が必要である。

### 《対策17》

#### 使用済燃料プールの冷却・給水機能の信頼性向上



4号機のSFP水中の状態



出典：福島第一原子力発電所東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について（平成23年9月9日、9月28日一部訂正、東京電力(株)）

# 5-1. 閉込機能に関する設備について（被害状況1）

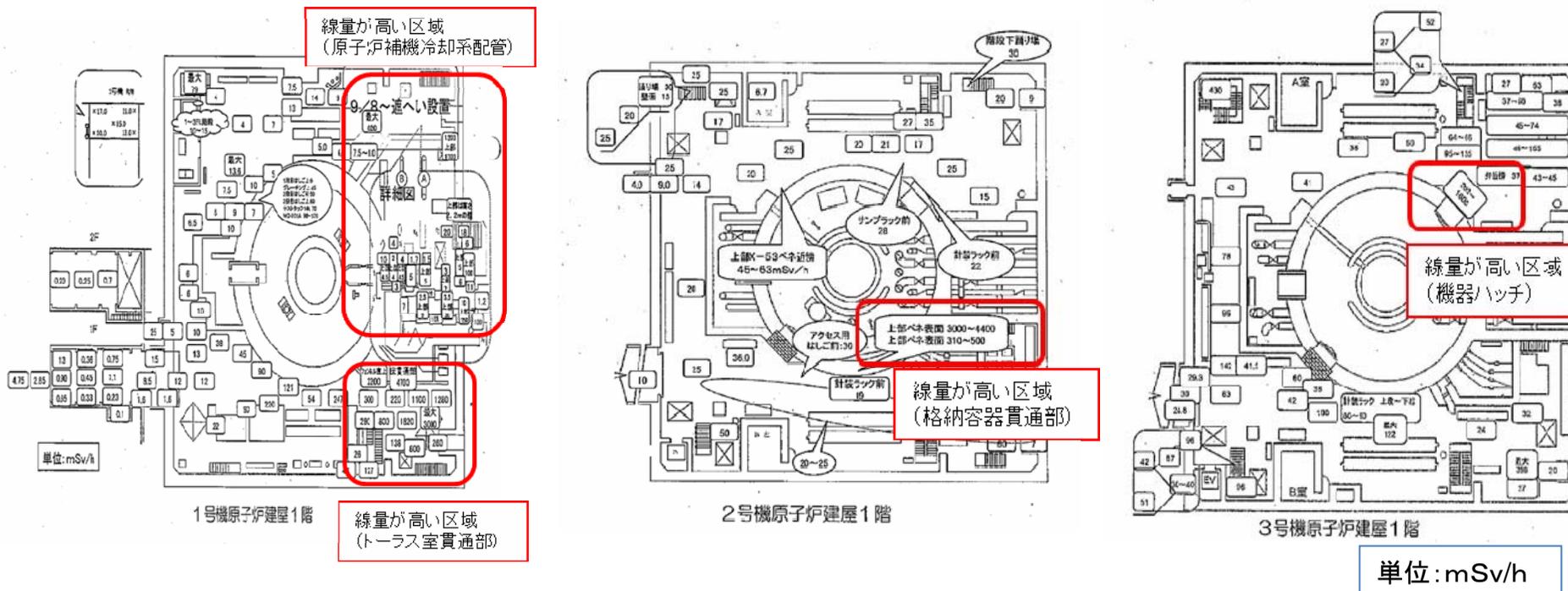
〈被害の状況〉

＜格納容器の破損等による放射性物質の漏えい＞

○福島第一発電所1-3号機においては、格納容器(PCV)ベント操作を行う前に、格納容器からの漏えいが生じた可能性が高い。漏えいが生じた可能性のある具体的な箇所としては、トップフランジ、格納容器貫通部、機器ハッチ等が挙げられる。

○漏えいのメカニズムとしては、過圧のみによる破損の可能性は考えにくい。過圧に加えて、トップフランジ、格納容器貫通部、機器ハッチ等に使用されている有機シール材(シリコンゴム、エポキシ樹脂等)が圧力容器からの熱輻射等による高温(250℃以上)下において劣化して漏えいが生じた可能性が高い。

(線量測定結果(局所:原子炉補機冷却系、貫通部、機器ハッチ))



○各号機とも各階と比べると、局所的には高い線量が測定されている箇所が存在する。

○2号機では、原子炉建屋1階の格納容器貫通部表面、3号機では、原子炉建屋1階機器ハッチ周辺である。

○1号機では、原子炉建屋1階のトラス室貫通部付近に加えて、原子炉補機冷却系(RCW)の配管付近の線量が高いが、これは2階のRCW熱交換器が設置されている付近も高いことから配管内の放射線物質の寄与が大きいと考えられる。

## 5-1. 閉込機能に関する設備について（被害状況2）

〈被害の状況〉

〈ベントによる建屋への水素の逆流〉

○4号機については、3号機で発生した水素が4号機の非常用ガス処理系(SGTS)・建屋換気系に流入し、水素爆発を起こしたと考えられる。

〈ベント操作の実際の流れと問題点〉

○完全電源喪失と最終ヒートシンク(第一発電所の場合は海水による冷却系)の機能喪失により、PCVからの除熱機能としてはPCVベントのみが実施可能なものであった。しかしながら、ベント弁操作において、電源喪失により照明が無くなったこと、事故により現場環境が悪化したこと、圧縮空気の系統での漏えいが原因と思われるボンベ内圧縮空気の枯渇などにより円滑に作業を行うことが困難であった。

○2号機において水素爆発が発生しなかった理由としては、1号機の水素爆発の影響により、偶然ブローアウトパネルが解放され、滞留していた水素が建屋外に放出され、水素爆発を免れたものと推測されている。

○解析の結果、ブローアウトパネル相当の放出口(φ5m)を仮定した場合には、各階の水素濃度が爆轟条件である15%を下回ることから、ブローアウトパネルの開放により、水素爆発が回避された可能性がある。



1号機(23.3.12撮影)



2号機(23.3.20撮影)



3号機(23.3.16撮影)



4号機(23.3.15撮影)

ブローアウトパネルが開放

(出典)東京電力HP資料、東京電力  
福島原子力事故調査に加筆

## 5-2. 閉込機能に関する設備について（対策；その1）

### （要件12；格納容器の過圧・過温破損防止）

#### 【技術的知見】

福島第一発電所1～3号機においては、PCVベント操作を行う前に、PCVからの漏えいが生じた可能性が高い。漏えいが生じた可能性のある箇所としては、トップフランジ、格納容器貫通部、機器ハッチ等が考えられる。漏えいのメカニズムについては、過去の安全研究成果によれば過圧のみによる破損の可能性は考え難く、過圧に加えて、トップフランジ、格納容器貫通部、機器ハッチ等に使用されている有機シール材（シリコンゴム、エポキシ樹脂等）が熱輻射等による高温（250℃以上）下において劣化して漏えいが生じた可能性が高い。

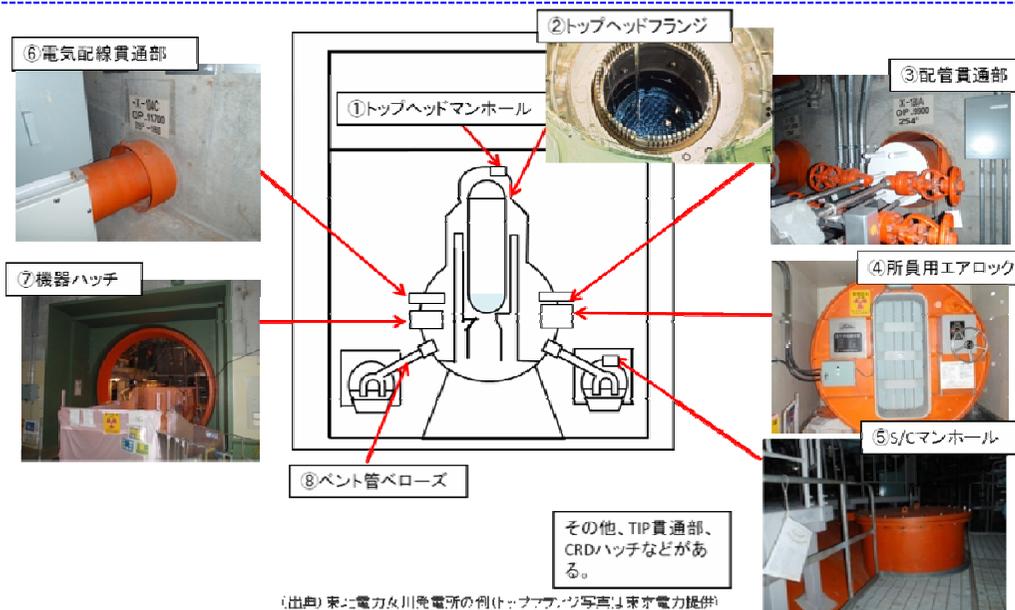
従って、PCVの過圧と過温を防止する必要がある。

### 《対策18》

格納容器の除熱機能の多様化

### 《対策19》

格納容器トップヘッドフランジの過温破損防止対策



# 5-2. 閉込機能に関する設備について（対策；その2）

## （要件13；着実なベント操作の実施による低圧注水への移行）

### 【技術的知見】

ベントには、格納容器内の蒸気や非凝縮性ガス等を外部に排出し除熱と減圧を行う機能が期待されている。ベント弁操作において、電源喪失により照明が無くなったこと、事故により現場環境が悪化したこと、圧縮空気の系統での漏えいによるポンプの枯渇などにより作業が困難となった。特に、3号機では、HPCIを停止させた後、代替低圧注水(D/D-FP:ディーゼル駆動消火水ポンプを用いた注水)への移行を行うため、SRVの開操作を行ったものの動作しなかったため、原子炉圧力が上昇し、代替低圧注水(D/D-FP)の吐出圧では注水ができず、水位が低下し炉心の露出に至った。なお、海外では、フィルタベントを前提として早期にベントによる減圧を行うこととしている例、ラプチャーディスクをPCV設計圧力以下で作動させる設計としている例がある。

従って、ベントの実施及び代替低圧注水への移行をできるだけ早期に確実にに行えることが必要である。なお、ベントの実施時期とラプチャーディスクを含めたベントシステムの考え方を適切なシビアアクシデント対策の実施という観点から見直す必要がある。

### 《対策20》

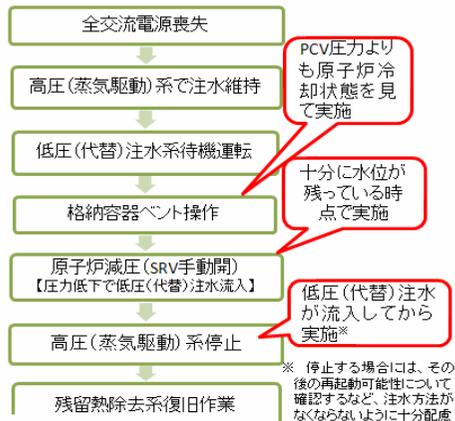
### 低圧代替注水への確実な移行

### 《対策21》

### ベントの確実性・操作性の向上

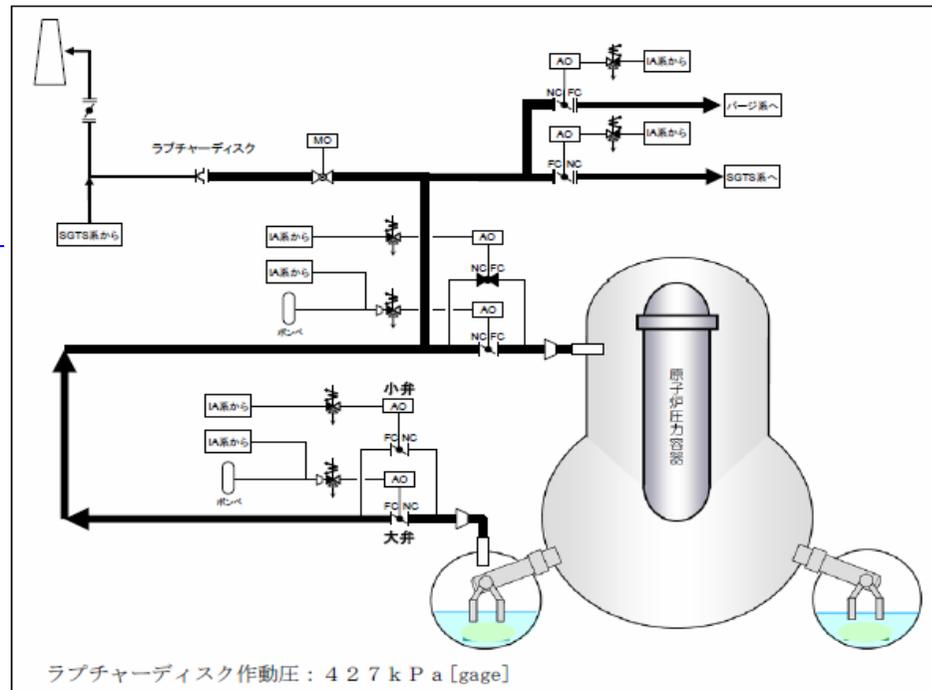
### 《対策22》

### ベントによる外部環境への影響の低減



### 低圧注水への移行に係る手順

3号機 PCVベント図（3月11日地震発生前）



# 5-2. 閉込機能に関する設備について（対策；その3）

## （要件14；ベントによる建屋の水素逆流防止）

【技術的知見】

4号機については、3号機で発生した水素が4号機のSGTS・建屋換気系に流入し、水素爆発を起こしたと考えられる。流入の原因は、3号機と4号機が排気筒を共用しているにも関わらず、3号機のベント操作時に4号機側のSGTS出口弁を隔離する手順となっておらず、実際に隔離操作が実施されていなかったこと、及び4号機のみ逆流防止ダンパが設置されていなかったことが考えられる。その他の号機について、少なくとも3号機についてはSGTS出口弁の隔離操作が実施されていなかったこと、また3号機SGTSフィルタの線量率が入口側と出口側で大きく変化しておらず明確な方向性が見られないことから、建屋側への一方向的な逆流はないものの、逆流そのものは否定し難いと考えられる。

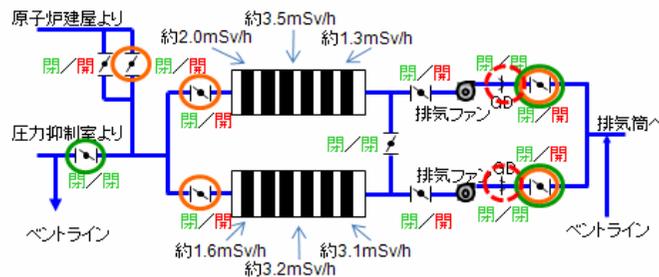
従って、ベント実施時に建屋への水素の逆流を防止することが必要である。

## 《対策23》

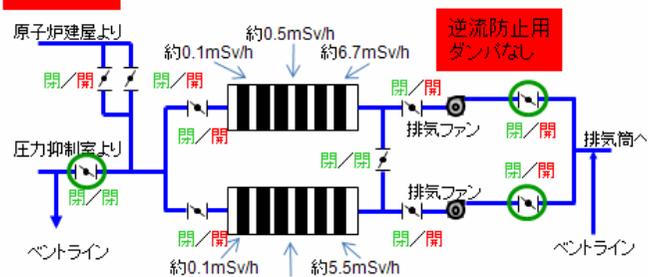
### ベントの配管の独立性確保

3号機

非常用ガス処理系

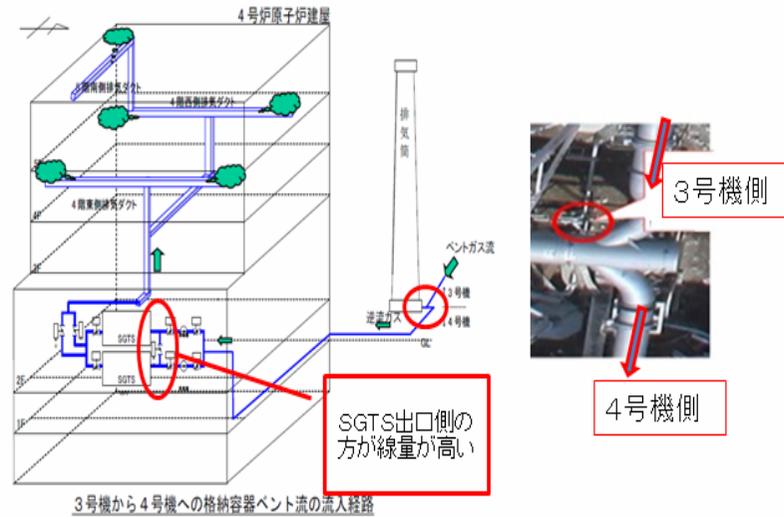


4号機



○：現場調査で全開を確認されているもの ○：ベントの際の隔離弁 ○：逆流防止用ダンパ

格納容器ベントでの建屋側への逆流の可能性(3号機⇒4号機)



出典：福島第一原子力発電所東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について（平成23年9月9日、9月28日一部訂正、東京電力(株)）に加筆

## 5-2. 閉込機能に関する設備について（対策；その4）

### （要件15；水素爆発の防止）

#### 【技術的知見】

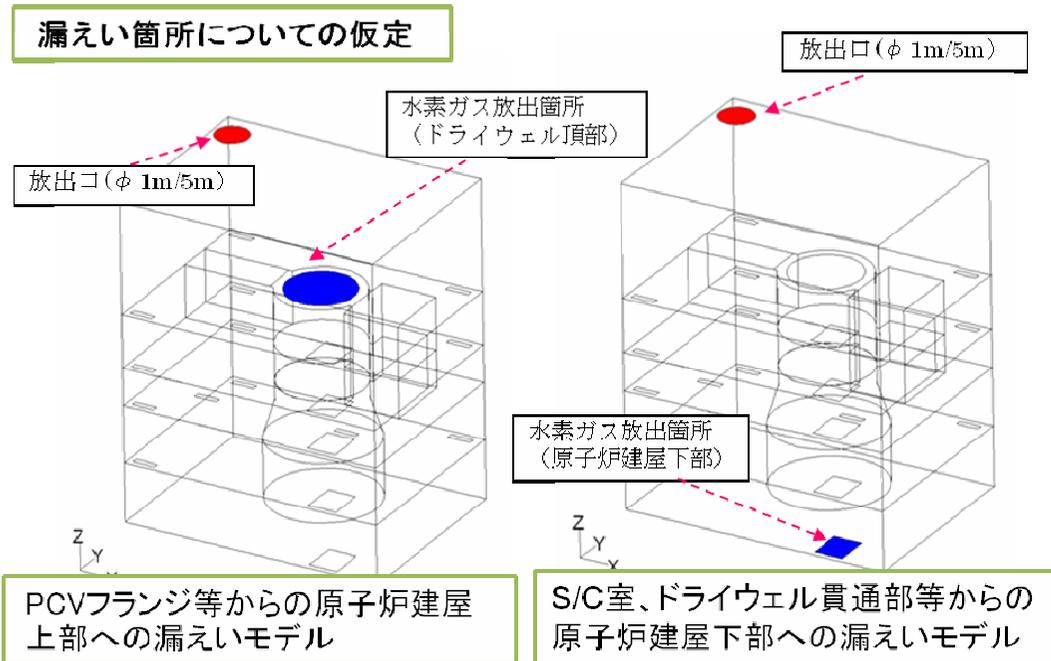
JNESによる解析の結果によれば、R/B最上階にブローアウトパネル相当の放出口(φ5m)を仮定した場合には、各階の水素濃度が爆轟条件である15%を下回る。さらに、1階に2m<sup>2</sup>の開口部を追加すると、より厳しい水素漏えい率(100kg/h)を想定したとしても、各階の水素濃度は4%を下回る結果となった。

従って、水素爆発防止の観点からは、最上階に放出口及び1階に開口部を設けることが有効と考えられる。

しかしながら、ブローアウトパネルの開放は放射性物質を含んだ建屋内の気体が直接放出されることを意味するため、放射性物質の放出を抑制する機能をもった水素排出設備又は再結合装置等を整備することを前提とした上で、対応の方向性について検討するべきである。

### 《対策24》

### 水素爆発の防止(濃度管理及び適切な放出)



## 6-1. 指揮・計装制御設備及び非常事態への対応体制について（被害状況）

### 〈被害の状況〉

- 通信設備の殆どが電源喪失等により使用できなくなったため、中央制御室と現場との連絡に支障が生じ、通常は短時間で済む作業に多大な時間を要した。中央操作室等の作業環境についても、事象の進展に伴い放射性物質が流入し、事故時対応に支障が生じた。
- 津波による電源喪失によりプラント状態を把握する計器が使用できず、持ち込んだバッテリーを接続して測定を行わざるを得なかったため、監視機能は限定的になった。また、後からの校正結果によれば、原子炉水位などは基準水位が変動し適切な値が示されなかったものと考えられる。

		1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
計装設備	原子炉圧力容器温度計	津波による電源（非常用交流）喪失により監視不可。		津波による電源（非常用交流）喪失により監視不可。	定検停止中で全燃料を使用済燃料プールに取り出し中のため監視不要。	定検停止中であり、格納容器関係は監視不要。復旧操作を行う上で必要な炉内水位・圧力は直流電源で監視可能。（バッテリーは6号機からの電源融通で維持できた。）	非常用電源が確保されたため監視可能。
	格納容器内温度計			直流電源枯渇により監視不可。			
	事故時炉内水位計	津波による電源（非常用交流）喪失により監視不可。その後バッテリー、発電機等を用いて復旧。	津波による電源（非常用交流）喪失により監視不可。その後バッテリー等を用いて復旧。	直流電源枯渇により監視不可。その後バッテリーを用いて復旧。			
	事故時炉内圧力計						
	格納容器圧力計						
	格納容器雰囲気モニタ（CAMS）			津波による電源（非常用交流）喪失により監視不可。その後バッテリー等を用いて復旧。			
	エリアモニタ			津波による電源（非常用交流）喪失により監視不可			
モニタリングポスト	複数の常用電源に接続した無停電電源装置から給電していたが、津波により中央制御室等での監視不可。モニタリングカーによる測定実施。						

出典：福島原子力事故調査報告書（中間報告）（平成23年12月2日、東京電力（株）  
その他聞き取り情報等を含む

## 6-2. 指揮・計装制御設備及び非常事態への対応体制について（対策；その1）

### （要件16；指揮・通信設備の信頼性向上）

#### 【技術的知見】

通信設備のほとんどが電源喪失等により使用できなくなり、中央制御室と現場との連絡に大きな支障を生じたため、本来であれば迅速な対応が必要とされる事故時において、復旧作業等に多大な時間を要することとなった。また、事故時におけるプラント状態把握のための緊急時対応情報システムについても、それ自身は免震重要棟に設置されていたため損傷は免れたが、1・2号機では津波の影響でプロセス計算機が機能喪失し、3号機等ではパケット回線での伝送が不安定な状態にあったため、結果として活用することができなかった。また、こうした通信機能を活用するための前提となる中央操作室等の作業環境についても、事象の進展に伴い放射性物質が流入し、事故時対応に支障が生じた。

第一発電所1～3号機において、全交流電源喪失、冷却機能喪失、閉込機能喪失の各段階で、事故時対応の遅延や作業環境の悪さにより適時の対策を講じることができず、事象の進展をくい止められなかった状況が多々見られる。事故事象の進展には、直接的には、電源設備、冷却設備、閉込設備等の設備・機器の不全が影響しているが、その背景には指揮・通信設備が十分に機能しなかったことの影響も大きいと考えられる。

従って、自然災害及び事故等の非常時においても通信機能を確保するとともに、こうした通信機能を活用するための前提となる中央操作室や事故時の指揮所が十分に機能を発揮できるよう環境を整備する必要がある。

### 《対策25》

事故時の指揮所の確保・整備

### 《対策26》

事故時の通信機能確保

## 6-2. 指揮・計装制御設備及び非常事態への対応体制について（対策；その2）

### （要件17；計装設備の信頼性向上について）

#### 【技術的知見】

津波による電源喪失によりプラント状態を把握する計器が使用できず、持ち込んだバッテリーを接続して測定を行わざるを得なかったため、監視機能は限定的になった。後からの校正結果によれば、原子炉水位などは基準水位が変動し適切な値が示されなかったものと考えられる。更に、PCV内が高温、高圧の水蒸気雰囲気となり、測定できない計器が出るとともに、測定された指示値にもばらつきが見られた。さらに、計器の点検等はR/Bに入る必要があり、高線量作業になるなど困難であった。なお、校正条件と測定時の環境の相違から、補正が必要な計器もあった。従って、事故時においても計装設備の信頼性を確保しプラントの状況を正確に把握することが必要。また、施設外の状況を確認する上で重要な役割をもっているモニタリングポストは、複数の常用電源に接続した無停電電源装置から給電していたが、津波により中央制御室等での監視ができなくなり、使用できなくなった。電源復旧後も、周囲の汚染によりバックグラウンドが高くなり、原子炉からの放出の影響に対する監視が難しくなった。

従って、全交流電源喪失などにおいても、外部への放射性物質の放出を的確に把握するため、事故時にモニタリング機能が喪失することがないように措置する必要がある。

### 《対策27》

事故時における計装設備の信頼性確保

### 《対策28》

プラント状態の監視機能の強化

### 《対策29》

事故時モニタリング機能の強化



モニタリングポストの例  
出典：東京電力HPより

## 6-2. 指揮・計装制御設備及び非常事態への対応体制について（対策；その3）

### （要件18；非常事態への対応整備）

#### 【技術的知見】

今回の事故においては、事故状況下において必要となる設備について、予備品の確保や使用時の状況を想定した事前の操作訓練等が必ずしも十分とは言えず、また被害を被った設備の復旧作業に必要な人材を迅速に招集するなど、事故対応時の体制も事前に適切に構築されていなかった。

そのため、シビアアクシデントへの対応も含めて、あらゆる状況を想定した上で、事前に必要なマニュアルや情報の整備、人員配置等の体制の構築、設備系統に熟知し適切な運転操作等を担保する訓練の実施等を適切に実施することが必要。

### 《対策30》

#### 非常事態への対応体制の構築・訓練の実施

## 7. まとめ

○事故の発生及び進展に関する分析を踏まえ、現時点で分かる限りの技術的知見を教訓として抽出し、それに対応する対策の提案を中間的に取りまとめた。

○対策の中には、今回のような地震・津波が襲来しても炉心損傷に至る事故の発生及び進展を防止するため、既に事業者に指示し実行に移されている「緊急安全対策」が含まれる。具体的には、所内の非常用電源設備や代替注水設備の強化・多様化、ベントの操作性の向上、非常時の対応体制の充実などである。

○また、これらの信頼性を更に向上させる対策のほか、炉心損傷に至る事故が仮に発生したとしても、大量の放射性物質の放出を防止するための対策として、ベントによる外部への影響を低減する対策 や水素爆発防止対策などが含まれる。

○原子力安全・保安院としては、更に技術的知見を広く収集し、本中間取りまとめの内容の充実を図っていく予定である。また、これまでの原子力安全規制に欠けていた点や反省すべき点を踏まえ、特にシビアアクシデント対策の強化に取り組んでいく。