

# 「福島第一原子力発電所事故から何を学ぶか」

## 中間報告サマリー

### BWR

－ チームH2Oプロジェクト －

Revised 2011/10/28

# 最大の教訓は、津波等に対する「想定が甘かった」事ではなく、どんな事が起きても過酷事故は起こさないという「設計思想が無かった」事である

原子力安全委員会 指針集より（監修 内閣府原子力安全委員会事務局）第一部 安全審査指針27「電源喪失に対する設計上の考慮」解説

- 長期間にわたる全交流動力電源喪失は、送電線の復旧又は非常用交流電源設備の修復が期待できるので考慮する必要は無い
- 非常用交流電源設備の信頼度が、系統構成又は運用（常に稼動状態にしておくことなど）により、十分に高い場合においては、設計上全交流動力電源喪失を想定しなくてもよい

IAEAに対する日本国政府の追加報告書（第2報）より 平成23年9月 原子力災害対策本部

- （第一の教訓のグループ）…今回の事故の起因となった津波による被害は、津波の発生頻度や高さの想定が不十分であり、大規模な津波の襲来に対する対応が十分なされていなかったためにもたらされたものである。
- …国の中央防災会議は…今後の津波防災対策について、最大クラスと頻度の高いクラスの2つを想定して津波対策に取り組むことなどを含めた基本的考え方を提言した。…原子力安全・保安院は、…十分な再来周期を考慮した津波の発生頻度と十分な高さを想定する設計基準…等について検討を開始した。

国連 福島第一原発事故に対するコメントより 毎日新聞ウェブサイト 2011年9月15日11時03分

- 国連は14日、…福島第1原発事故を受けた原子力安全に関する報告書をまとめた。事故の可能性の想定が「甘すぎた」と批判した上で、事故が国際的に妥当とされてきた安全基準や非常事態での国際的な危機対応に「懸念を抱かせた」と指摘
- 報告書は「事故の教訓は、どのような事故が起きうるかの想定が甘すぎたことだ」と指摘。「世界の全原発について事故の想定を見直すべきだ」とし、「原発事故の危険性は経験や最新技術で克服できないわけではない」と記した

## いくら想定を高くしても、それ以上の事象は発生しうる

# 具体的には、2つの点を謙虚に受け止め、取り組む事が大切である

## ① 設計思想そのものが間違っていた

- 福島第一が起きた以上、今後私達は、津波の高さや地震のマグニチュード等の「事象に対する想定の大小」を中心に安全性を議論する事をやめるべきである
- 根底にあるべき設計思想は、「どんな事が起きても、炉心に対する電源と冷却機能・水源は必ず維持する。その為にどうするか」である

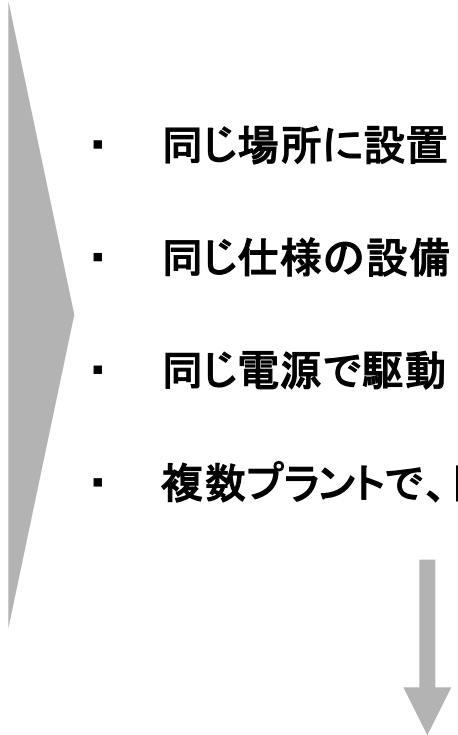
## ② 最後の砦としての「格納容器神話」が破られた

- これまでは、「炉心に想定を超える状況が発生しても、絶対に格納容器の外に放射性物質は漏れない」という考えが根底にあった(=格納容器神話)
- しかし福島第一では、炉心が溶けて圧力容器下部に溜まった場合、熔融燃料は圧力容器下部を抜けて格納容器の底辺を溶かして通過し、放射性物質を含む汚染水とガスが大量に格納容器外部に漏れる結果となったと言わざるを得ない
- 更に、福島第一で実稼動していた1・2・3号機の全てにおいて、炉心メルトダウン、格納容器の著しい損傷が起きたと言わざるを得ない
- それは、福島第一において、格納容器は「最後の防衛線」にならなかった事を意味する

# 電源・最終ヒートシンク共に「多重化」主体の安全設計だった — 「多様化」が十分になされていない

福島第一の場合

- 1号機
  - ・ 2系統ある直流電源(バッテリー)は、全てタービン建屋の地下1階に設置されていた
  - ・ 2台設置した非常用発電機(DG)は、
    - 全てタービン建屋の地下1階に設置されていた
    - 全てが「海水による水冷式」であり、冷却システムは全て海側に設置していた
- 1号機以外においても、上述と同じ様な安全対策(一式)が施されている

- 
- ・ 同じ場所に設置
  - ・ 同じ仕様の設備
  - ・ 同じ電源で駆動
  - ・ 複数プラントで、同様の安全設備

- いずれも、「同じ理由」で機能喪失した
- 「多様化」の思想がなければ、対策の数だけを増やしても、大幅なリスク削減は困難

# 「どんな事が起きても、原子炉に対する電源・冷却機能・水源を確保する」を根底の安全哲学として設計すべき — 「常用・非常用・超非常用」の3重の「安全原理」が必要

例示

## 常用

- 電源
  - ・ 外部電源
  - ・ 非常用発電機 (DG)
  - ・ 直流電源 (バッテリー)
- 冷却機能
  - ・ 各高圧冷却機能 (RCIC / HP CI等)
  - ・ 各ベント機能
  - ・ 各低圧冷却機能 (RHR等)

## 非常用

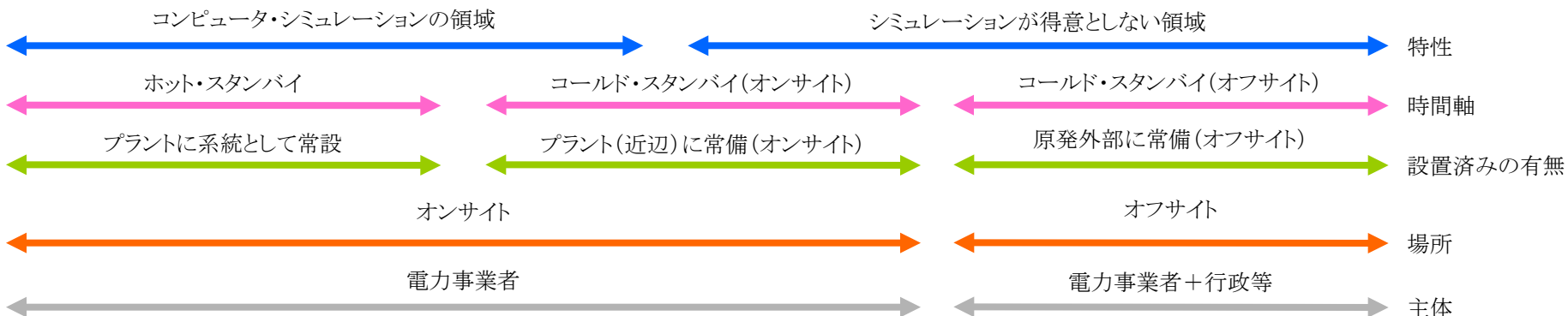
- 海側から取水トンネルを敷設し、高台に設置した電源接続口から縦溝を作り、冷却用の水源・電源を供給する
- 常用の対策が機能喪失した場合に、サイト内に常備する非常用設備で電源・冷却機能を代替する
  - － 予備バッテリー
  - － 電源車 (AC、DC、混載)
  - － 非常用DG車両
  - － ケーブル、電源盤等
  - － ポンプ等
- 電力事業者が対処する

## 超非常用

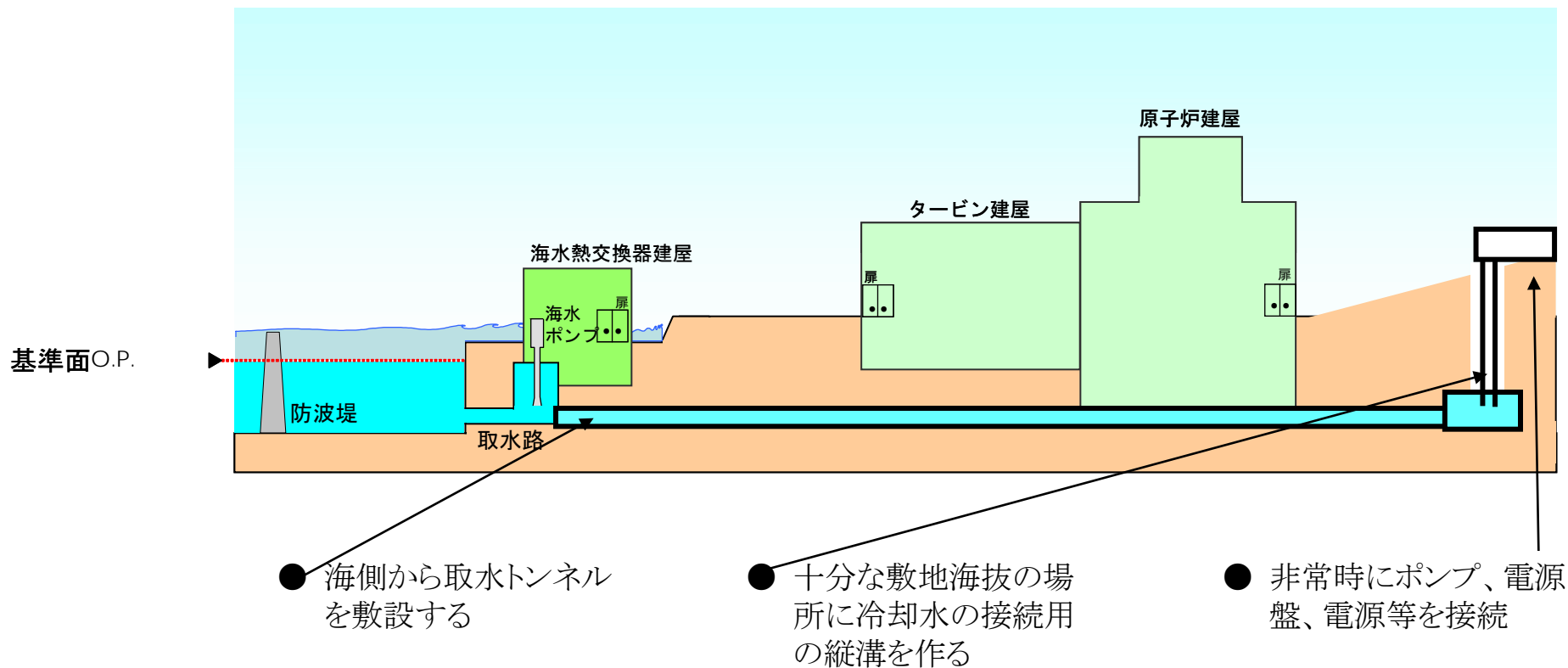
- オフサイトからヘリコプター等で電源等を搬入する
- 周辺の河川・湖・池等からの水源の供給を行う
- 電力事業者と政府・行政・自衛隊等が連携して対処する
  - － アクセス道路の確保等

## 多様化と多重化

- 異なる原理の対策 (多様性)
- 対策数を増加 (多重性)
- ホット・スタンバイとコールド・スタンバイ (時間軸)
- 常設 / 予備として備蓄 (位置づけ)
- オンサイトとオフサイト (場所)
- 電力事業者単体と行政を含めた連合体 (主体)



## 非常用対策の例 — 十分な高さの山側まで取水トンネルを敷設し、オンサイトに常備した非常用ポンプ、電源等を接続する事で冷却機能を提供する



それも困難な場合、ヘリコプター等でオフサイトから電源・ポンプ等一式を接続口まで空輸する (超非常用)

## 福島第一の教訓 — 設計思想を遥かに越えた事象が実際に起きた

### ● 原子炉の設計思想をはるかに越えた試練

- 全ての直流、交流電源の長時間喪失
- 全冷却システム喪失で、極めて短時間で炉心溶融
- ジルコニウムが酸化して大量の水素発生
- 大量の水素を逃がすシステムが無く、大爆発に至る

### ● 設計上の「非常用安全装置」が機能しなかった(全ては長期電源喪失の為)

- IC, ECCS、ほう酸水注入系、非常用ガス処理系等

### ● 地震と津波で被害を受けても、非常用電源システムが1つでも確保できていれば、冷温停止に至った

- 福島第一の5、6号機 (空冷式の非常用発電機が1台のみ健全)
- 福島第二の1～4号機 (3号機2台、4号機1台の非常用発電機が健全)

### ● 現場対応を難航させた、または、原子炉の機能を著しく阻害した個別事象

- 水没した地下に重要機器があった
  - 非常用発電装置(交流電源)
  - バッテリー(直流電源)
- 海辺の主冷却用ポンプ・モーターが津波で機能喪失した
- 水冷式非常用発電装置の冷却水が確保できなかった
- ベントの為の操作が外部から出来なかった
- 外部電源取り込みの電源盤が水没した
- 接続可能な健全な電源盤がほとんどない状況で、接続が困難であった

# 原子炉の設計思想をはるかに越えた試練 — もともとの設計が想定していない事象、または、想定していても、その度合いを超える事象が起きた

福島第一1～4号機で起きた重要事象	そもそもの設計思想	それに対して発生した事実	その意味合い
<p><b>全ての直流、交流電源の長時間喪失</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>全交流電源が喪失しても、重大事象にならない程度の短期間で復旧できる</li> <li>外部電源復旧迄の間、非常用発電機で時間を稼げる</li> <li>直流電源は、最低でも8時間程度は枯渇しない</li> <li>もし直流が枯渇しても、交流電源から充電すれば、更に延命できる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>外部交流電源、非常用発電機は、水素爆発までに復旧しなかった</li> <li>直流電源は、津波による水没等で、ほぼ全て喪失した</li> <li>水没した直流電源は、充電できなかった</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計を超える交流電源の長期喪失が発生した</li> <li>直流電源の瞬間の全喪失(水没)は、設計が想定していなかった</li> </ul>
<p><b>全冷却システム喪失で、極めて短時間で炉心溶融</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉心の高圧冷却系機能は、直流電源で制御する。</li> <li>直流電源は、すぐには枯渇しない</li> <li>よって全交流電源喪失が起きても、それが復旧する迄は、高圧冷却系で炉の水位・温度・圧力はコントロール可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>直流電源が瞬時に枯渇した為、高圧冷却系が殆ど機能しなかった(1号機)</li> <li>原子炉の水位が下がり、短時間で炉心溶融が発生した</li> <li>燃料損傷の時刻は予測できて、電源復旧・ポンプ復旧等は間に合わなかった</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計を超える電源喪失、冷却機能の喪失が発生した</li> <li>瓦礫・暗闇等の過酷環境下での短時間復旧の手順は、マニュアルで想定していなかった</li> </ul>
<p><b>ジルコニウムが酸化して大量の水素発生</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>万が一水素が発生しても、格納容器内にて窒素封入し、可燃性ガス処理系で処理すれば可燃限界以下にコントロールできる</li> <li>必要に応じてベントを実施しても、放射性物質を格納容器内に留める事が可能である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉心損傷により水素が大量発生した。</li> <li>水素は、逃がし安全弁(SRV)を介して格納容器へ移行した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉建屋への水素漏洩、爆発を設計が想定していなかった</li> <li>よって建屋内に水素を検知する仕組みは無かった</li> </ul>
<p><b>大量の水素を逃がすシステムが無く、大爆発に至る</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>従って、水素は格納容器から原子炉建屋へ漏洩し蓄積する事は無い。万が一漏洩しても、非常用ガス処理システムで換気可能である</li> <li>従って、建屋への漏洩による水素爆発は防止できる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>格納容器の高圧・高温下、シールド部分劣化や格納容器ベントラインを介して、水素は原子炉建屋上層階に漏洩し大量蓄積した(推定)。ガス処理システムが機能喪失した</li> <li>可燃領域に達した水素は、大爆発した</li> <li>現場は、水素大爆発のリスクに気づいていなかった</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>建屋に蓄積した水素を逃がす仕組みも無かった</li> <li>マニュアルは、原子炉建屋の水素爆発のリスクを管理する手順を想定していなかった</li> </ul>



# 全ての直流、交流電源の長時間喪失 — 設計思想は、ステーション・ブラックアウトが発生しても、直流電源は最低8時間は枯渇せず、短い期間での交流電源復旧を想定していた

	福島第一 1号機	福島第一 2号機	福島第一 3号機	福島第一 4号機	福島第一 5・6号機	福島第二 1～4号機	女川 1～3号機	東海第二	
外部交流電源	✕ 全6回線が地震で喪失					△ 1/4回線のみ健全	△ 1/5回線のみ健全	✕ 全2回線が地震で喪失	
非常用発電機	✕ 津波によって全て喪失					△ 1/5台のみ健全	△ ・1、2号機は全滅 ・3号機は2/3台、 4号機が1/3台健全	○ ・1、3号機は全て健全 ・2号機は1/3台が健全	○ ・2/3台が健全
直流電源	✕ 津波によって全て喪失		○ 2/2機が健全	✕ 津波によって全喪失		○ 4/4機が健全	○ 8/8機が健全	○ 6/6機が健全	○ 2/2機が健全
電源車	✕ <ul style="list-style-type: none"> <li>2号機：唯一あった電源車の接続を試みたが、1号機爆発で損壊し、接続できず</li> <li>1, 3, 4号機：使用可能電源盤調査、使用可能電源盤とのケーブル敷設に時間を要したため対応が遅延</li> </ul>					○ 海水系ポンプの復旧に使用	○ 一部電源車を使用	— 外部電源または非常用発電機が健全だった為、必要としなかった	
外部電源の復旧	✕ 水素爆発までに復旧せず					✕ 冷温停止までに復旧せず	— 当初から最低1系統の外部電源が生きていた	○ 3月13日19:37に154kV系予備が復旧	

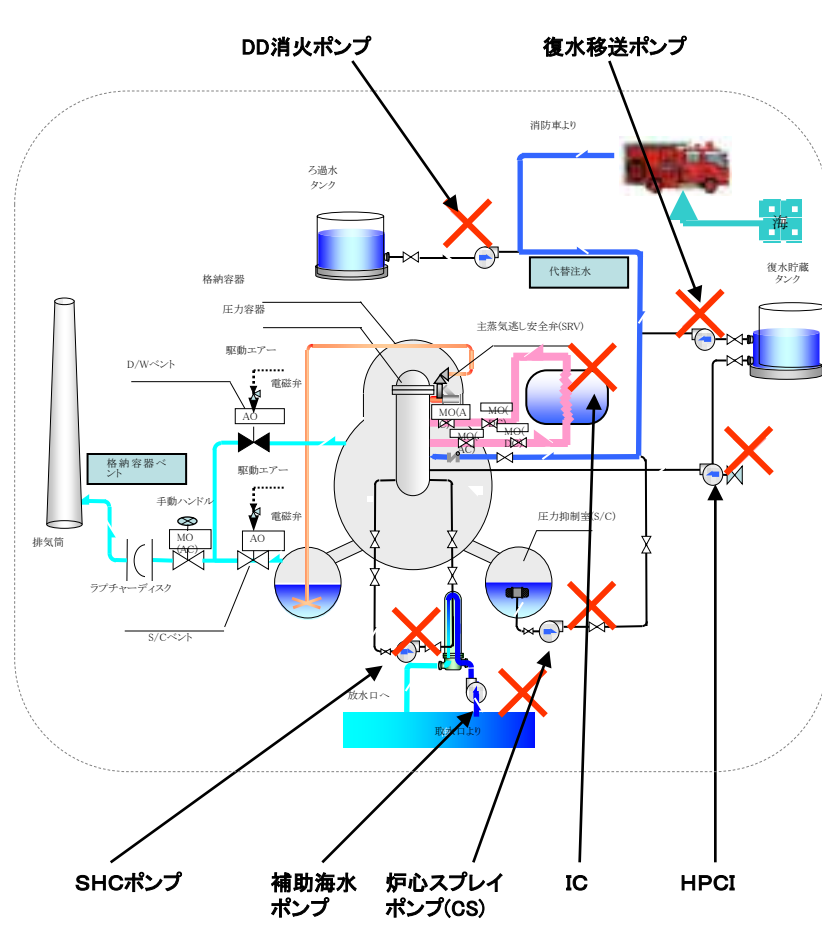
設計の想定以上の長期電源喪失が発生

# 全冷却システム喪失で極めて短時間で炉心溶融 — 全電源喪失により全冷却機能を喪失した福島第一1号機では、津波発生から2～3時間で炉心損傷開始と推定される

冷却機能の喪失と炉心溶融の有無

		第一1号機	第一2号機	第一3号機	第一4号機	第一5・6号機	福島第二	女川	東海第二
高圧冷却系	HPCI/HPCS	× 機能喪失	× 直流電源枯渇後	—	—	—	×1・2号機 電源被水等で機能喪失 ○3・4号機	×2号機 ○1.3号機	○
	IC/RCIC	× 動作後、機能喪失 (2号機は3日後)	× 直流電源枯渇後	—	—	—	○	○(確認要)	○
	SLC系	× 電源喪失による			—	—	×5号機 ○6号機	○	○(確認要)
	CRD系	× 電源喪失による			—	—	×5号機 ○6号機	○	○(確認要)
低圧冷却系	FP	× FPポンプ不動作		×	×	×5号機 ○6号機	○	△(確認要)	
	MUWC/MUWP	× 電源・モータ浸水		—	—	○	○	○(確認要)	
海水ポンプ系	CCSW/RS W/RHRS等	× 津波による海水系電源・モータの浸水		—	—	△ RHR系一部機能維持、その後復旧	△ 3号機以外全滅(電源・モータ喪失)	○ 一部浸水	
炉心損傷の開始(解析)		3/11 18:46	3/14 19:46	3/13 8:46	停止中 4号機は水素爆発 (3号機からの逆流)		稼働中 => 冷温停止へ		

福島第一1号機 冷却系喪失の全体像

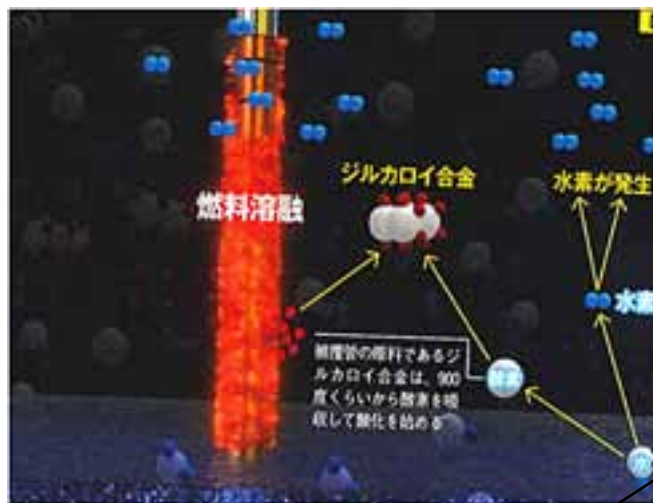


- 第一1号機では、全ての冷却機能が同時喪失した。
- 炉心への注水は、1台の消防車で行わざるを得なかった

冷却機能が停止し、燃料棒の露出から数時間で炉心損傷へ

# 電源喪失に伴う冷却機能の停止によって炉心溶融が始まり、燃料棒外側の被覆管(ジルコニウム)が酸化し、炉内で大量の水素が発生した

## 水素発生メカニズム



図出典：徹底解剖 東日本大震災(双葉社)

- 電源喪失によって冷却機能が停止し、高温・高圧になった炉内では、水位が下がり、やがて燃料棒が露出
- 同時に、炉温上昇に伴い、燃料棒の外側の被覆管(ジルコニウム合金)が約900度で酸化を始め、更に温度上昇し溶融する
- 溶融した被覆管(ジルコニウム)は圧力容器内の水(水蒸気)の酸素と化学反応し、水素が大量発生した(ジルコニウム水反応)
- 東電の試算では、1・2・3号機共に、炉の水位が低下し、**燃料棒が水面に露出してから約2時間で、炉心損傷(燃料溶融)が始まる可能性**を指摘

## 炉心損傷までの所要時間(シミュレーション)

解析結果 (地震発生からの時刻)	福島第一 1号機 (水位は燃料域未満)	2号機 (水位計が正の場合)	2号機 (水位は燃料域以下)	3号機 (水位計が正の場合)	3号機 (水位は燃料域以下)
炉心の露出開始	約3時間 ・3月11日17:46	約75時間 ・3月14日17:46	約75時間 ・3月14日17:46	約40時間 ・3月13日06:46	約40時間 ・3月13日06:46
炉心の損傷開始	約4時間 ・3月11日18:46	約77時間 ・3月14日19:46	約77時間 ・3月14日19:46	約42時間 ・3月13日08:46	約42時間 ・3月13日08:46
圧力容器の破損	約15時間 ・3月12日05:46	発生に至らず	約109時間 ・3月16日03:46	発生に至らず	約66時間 ・3月14日08:46

注) 出典 平成23年5月23日 東京電力(株)「東北地方太平洋沖地震発生時の福島第一原子力発電所運転記録及び事故記録の分析と影響評価について」

・ 解析の実施日: 2011年5月16日  
 ・ 手法: 当時収集された地震発生初期の設備状態や運転操作等に関する情報を元に、それを再現するインプット情報を作成し、解析ソフトウェア: 事故解析コード(MAAP=Modular Accident Analysis Program)

# 原子炉建屋には、大量発生した水素を「検知する仕組み」や「逃がすシステム(※)」が無く、大爆発に至った

(※) 非常用ガス処理システムはあったが、電源喪失によって機能喪失  
福島第一 4号機(東側)

福島第一 1号機(東側)

福島第一 3号機(東側)

5階に水素が大量蓄積して爆発

5階と4階一部(北西)に水素が大量蓄積して爆発

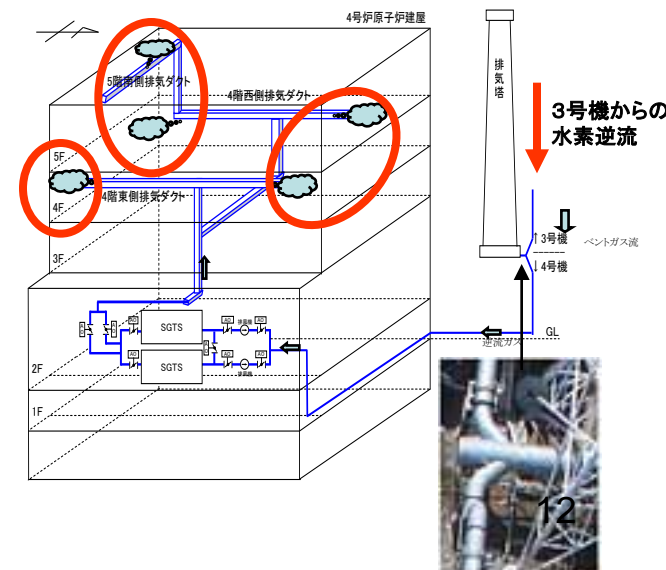
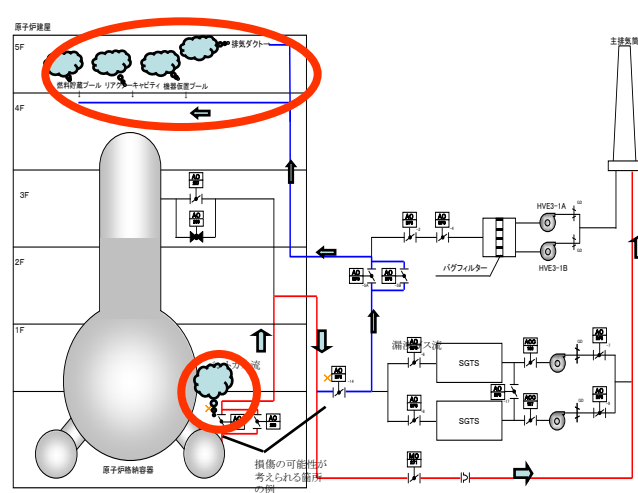
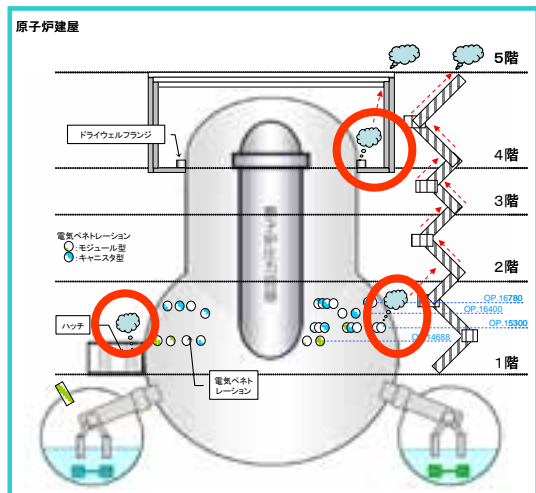
5階と4階一部(東西)に水素が大量蓄積して爆発



- 漏洩経路①(1・3号機)：水素は、格納容器の接合部、配管部分(ハッチ、ドライウェル・フランジ、電気ペネトレーション)等の機密性の小さい部分から、原子炉建屋内に漏洩したと推定される

- 漏洩経路②(1・3号機)：または、格納容器のベント時に、高温高压のガスが排気管内を流れて配管や弁に損傷が生じ、水素漏洩した可能性がある

- 漏洩経路(4号機)：3号機で発生した水素が、3・4号機で共有している非常用ガス処理系配管を通じて、4号機に逆流したと推定される



< 水素の格納様気からの漏洩経路(推定) >



# 地震と津波で被害を受けても、非常用電源システムが1つでも確保出来ていれば、冷温停止に至った — 福島第一5・6号機、東海第二、福島第二など

いずれも、外部電源が(ほぼ)全喪失したが、非常用発電機が1台(または2台)生き残った事により、冷温停止に成功した。電源確保は、注水系・冷却系につながるまでの時間確保となった (注: フロントライン(RHRポンプ)が健全である事が条件)

	福島第一 1号機	福島第一 2号機	福島第一 3号機	福島第一 4号機	福島第一 5・6号機	福島第二 1~4号機	女川 1~3号機	東海第二
外部交流電源	✗ 全6回線が地震で喪失					△ 1/4回線のみ健全	△ 1/5回線のみ健全	✗ 全2回線が地震で喪失
非常用発電機	✗ 津波によって全て喪失				△ 1/5台のみ健全(融通)	△ ・1,2号機は全滅 ・3号機は2/3台が健全 ・4号機は1/3台が健全	○ ・1,3号機は全て健全 ・2号機は1/3台が健全	○ 2/3台が健全
直流電源(A系、B系)	✗ 津波によって全て喪失	○ 2/2機が健全		✗ 津波によって全喪失	○ 4/4機が健全	○ 8/8機が健全	○ 6/6機が健全	○ 2/2機が健全
高圧冷却系(IC/RCIC等)	✗ しばらく動作後、機能喪失	✗ 直流電源枯渇後停止	— 冷温停止中			○	△ 女川2号機以外	
低圧冷却系(MUWC/MUWP等)	✗ 電源喪失による				○ 電源融通	○	○ (確認要)	
低圧冷却系海水ポンプ(CCSW/RSW/RHRS等)	✗ 津波による海水系電源・モータの浸水					△ 3号機以外全滅(電源・モータ水没)	○ 一部浸水	○ 一部浸水

炉心損傷 / 水素爆発(または損傷)

冷温停止へ移行



# 水没した地下に重要機器があった - 非常用電源装置(交流)、バッテリー(直流)

● 津波高さと敷地高さの差が大きい程被害が広がった ⇒ 1F1~4:5.5m, 1F5/6:1.5m, 女川:0m, 東海2:-2.6m

● 津波遡上高より遥かに低い場所に設置した電源の喪失が致命傷となった

	第一1号機	第一2号機	第一3号機	第一4号機	第一5・6号機	福島第二	女川	東海第二
浸水の高さ (主要建屋設置エリア)	O.P. 約 <b>15.5m</b> (T.P. = O.P.+0.727m)				O.P.約 <b>14.5m</b> (T.P.= O.P.+0.727m)	O.P.約 <b>14.5m</b> (T.P.=O.P.+0.727m)	O.P.約 <b>13m</b> (T.P.=O.P.+0.74m)	H.P. <b>6.3m</b> (T.P.= H.P.-0.89m)
敷地の海抜 (主要建屋)	O.P. <b>10m</b>				O.P. <b>13m</b>	O.P. <b>12m</b>	O.P. <b>13.8m</b>	H.P. <b>8.9m</b>
非常用発電機の設置高さ	O.P. <b>4.9m</b> (A) O.P. <b>2m</b> (B)	O.P. <b>1.9m</b> (A) O.P. <b>10.2m</b> (B) (空冷)	O.P. <b>1.9m</b> (A/B)	O.P. <b>1.9m</b> (A) O.P. <b>10.2m</b> (B) (空冷)	5号機 O.P. <b>4.9m</b> (A)/(B) 6号機 O.P. <b>5.8m</b> (A)/(H) O.P. <b>13.2m</b> (B) (空冷、生き残る)	O.P. <b>0m</b> (1~4号A/B/H)	O.P. <b>0.5m</b> (1号A/B) O.P. <b>14m</b> (2/3号A/B/H)	H.P. <b>1.6m</b> (A/B/H)
直流主母線盤の設置高さ (A), (B)系	<b>タービン建屋B1F</b> O.P. <b>4.9m</b>	同左 O.P. <b>1.9m</b>	同左 O.P. <b>6.5m</b>	同左 O.P. <b>1.9m</b>	同左(5, 6号) O.P. <b>9.5m</b>	<b>制御建屋2F</b> (1, 2号) <b>制御建屋1F</b> (3,4号) O.P. <b>18m</b> (1/2号A/B) O.P. <b>12.2m</b> (3/4号A/B)	<b>制御建屋1F</b> (1号) <b>制御建屋B1F</b> (2号) <b>アウターB1F</b> (3号) O.P. <b>9.5m</b> (1号A/B) O.P. <b>7m</b> (2号A/B) O.P. <b>5m</b> (3号A/B)	<b>アウターB1F</b> H.P. <b>9.1m</b> (バッテリー設置箇所)
非常用発電機の喪失?	× 浸水により喪失	× A系:浸水により B系:電源盤浸水により喪失	× 浸水により喪失	× A系:浸水により B系:電源盤浸水により喪失	○ 6号機:1台使用可	○ 3号機で2台、4号機で1台使用可	○ 1,3号機で全台、2号機で1台使用可	○ 2台使用可
直流電源の喪失?	× 浸水により機能喪失		○	× 浸水により喪失	○ 使用可能			
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>•O.P.:小名浜港工事基準面</li> <li>•T. P.:東京湾平均海面</li> </ul>					<ul style="list-style-type: none"> <li>•O.P.:女川の基準面</li> <li>•地震による地殻変動-1m考慮</li> <li>•H.P.:日立港工事基準面</li> </ul>		15

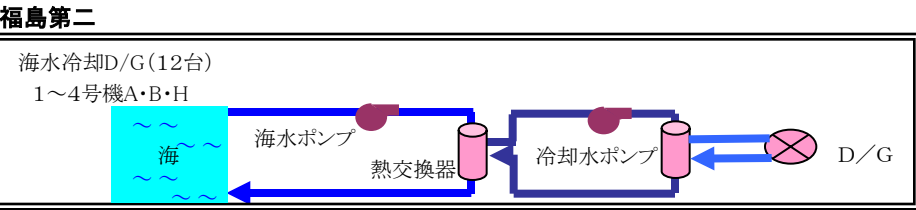
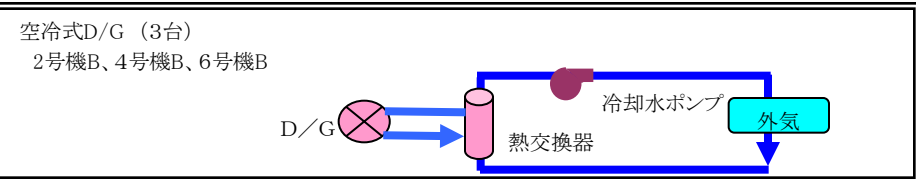
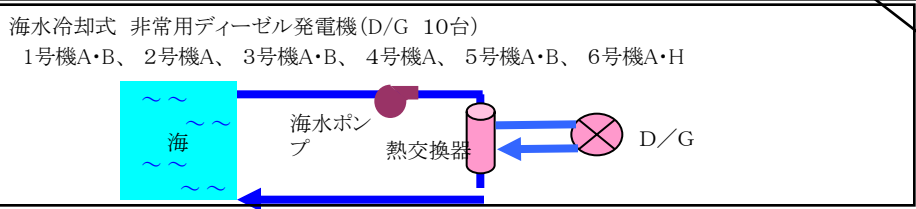
# 海辺の主冷却用モーターとポンプが津波で機能喪失した — 福島第一は合計13台の非常用発電機があったが、空冷式の1台を残し全て機能喪失。冷却設備が海側にある海水冷却式が特に弱い

各プラントの非常用発電機の機能喪失

D/G	福島第一												福島第二								東北電力 女川						東海第二	
	1号機		2号機		3号機		4号機		5号機		6号機		1号機		2号機		3号機		4号機		1号機		2号機		3号機		東海第二	
	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否
非常用	DG1A	×	DG2A	×	DG3A	×	DG4A	×	DG5A(※2)	×	DG6A	×	DG1A	×	DG2A	×	DG3A	×	DG4A	×	DG1A	○	DG2A	○	DG3A	○	DG2C(※2)	×
	DG1B	×	DG2B(空冷)	×	DG3B	×	DG4B(空冷)	×	DG5B(※2)	×	DG6B(空冷)	○	DG1B	×	DG2B	×	DG3B	○	DG4B	×	DG1B	○	DG2B(※2)	×	DG3B	○	DG2D	○
											HPCS DG	×	DG1H	×	DG2H	×	DG3H	○	DG4H	○			DG2H(※2)	×	DG3H	○	DG2H	○

(凡例) ○:健全 ×:機能喪失  
\*1 電源盤水没により機能喪失 \*2 冷却系(海水)喪失による機能喪失

### 福島第一：非常用発電機の概要



- 合計24台の非常用発電機が機能喪失したが、その原因は冷却機能喪失の方が5割以上多い(オレンジがピンクより多い)
  - 発電機(または電源盤)の水没: 9件 (ピンク)
  - 冷却機能(モーター・ポンプ等)の機能喪失: 15件 (オレンジ)
- 前項の傾向は、原子炉建屋への津波浸水が比較的軽微だった第一5・6号機、福島第二を見ると顕著である
  - 第一5・6号機: 4/4が海側の冷却機能喪失
  - 福島第二: 同、6/9
- 非常用発電機自体は健全であっても、その冷却機能を海側に設置している場合、津波に対してかなり脆弱である
  - 福島第一で唯一生き残った6号機の1台は、空冷式で海側に冷却装置がなかった



# 水冷式非常用発電装置の冷却水が確保できなかった

	第一 1号機	第一 2号機	第一 3号機	第一 4号機	第一5・6号機	福島第二	女川	東海第二
非常用発電機の冷却水の有無	× 喪失 (海水冷却)				○ 空冷式の1台のみが使用可能(6号機)。  残りの4台は全喪失 (海水冷却式)	○ 全12台の内、3・4号機の3台が使用可能  残り9台は喪失 (8台が海水冷却・中間ループ喪失、1台が中間ループ喪失)	○ 1, 3号機は全て使用可  2号機は2台喪失 (1台が中間ループ・海水冷却喪失、1台は中間ループ喪失)	○ 2台が使用可 1台は喪失 (海水冷却)
その後の復旧の有無	× 復旧できず				○ 被水した6号機A系の海水ポンプの復旧後、A系非常用発電機が運転再開	○ 保守点検・モータ取替え、仮設電源の繋ぎ込み等を実施し、全号機ともB系の海水冷却系を復旧	○ 被水したポンプ、弁を工場にて点検補修後復旧 DGは待機状態	○ 被水したポンプを点検復旧  DGは待機状態

注： 関連する電源盤、電源母線等の供給経路が健全である事が条件

# ベントの為の操作が外部から出来なかった - ベント準備に多大な時間を要し、適切なタイミングで実行できなかった

ベント開放の成否

	第一1号機	第一2号機	第一3号機	第一4号機	第一5・6号機	福島第二	女川 東海第二
W/Wベントの成否	△ ベント弁の開放は成功したが、その直後に水素爆発	× ベントライン構成するもラプチャーディスク動作圧力に達せず	△ 一旦弁の開放に成功したが、開放状態を維持する事に難航した	-	-	-	-
D/Wベントの成否	-	× ベントライン構成したがその状態を維持できず	-	-	-	-	-

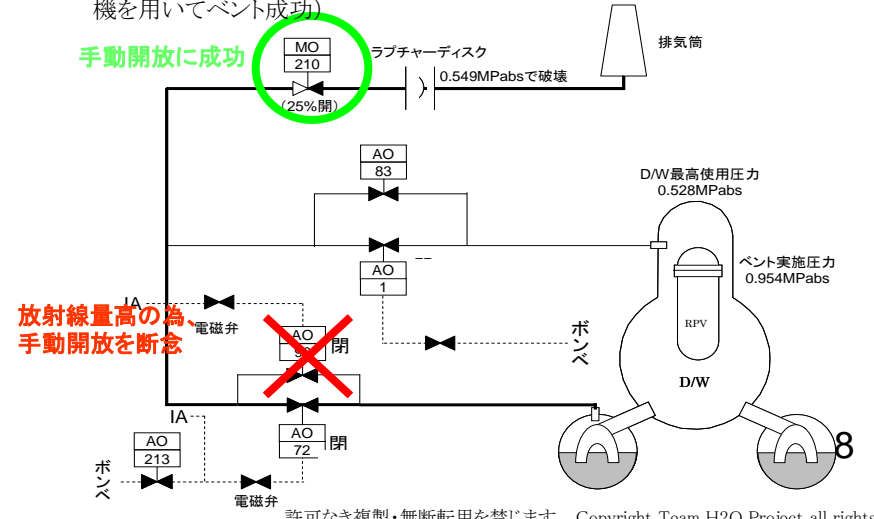
○:ベント成功 - :ベント未実施 ×:ベント失敗

- 暗闇、通信障害、中央操作室のパラメータ喪失、頻発する余震、上昇する放射線量、散乱するガレキ等が作業障害となり、電源喪失と重層し、通常のベント操作は不能であった。また、人力等によるベント操作も極めて難航した
- その結果、有効なタイミングでのベントが実行できなかった

## 津波直後、第一1号機は、全ての注水機能と格納容器ベント機能を喪失…

設備名	状態	被害状況	応用動作	備考 (2E1)
注水設備	×	電源喪失(油ポンプ)	-	○ RCIC、MUWCにより注水(非常用電源系使用可能)
高圧注水系(HPCI)	×	電源・海水喪失	-	
給復水系(FDW)	×	電源・海水系喪失	-	
炉心スプレイ系(CS)	×	電源・海水系喪失	-	
停止時冷却系(SHC)	×	電源・海水系喪失	-	
復水補給水系(MUWC)	×	電源喪失、モータ被水	-	
消火系(FP)	×	D/D FP起動不可	消防車使用	
PCVベント設備	×	電源喪失/空気圧低	} 仮設電源 仮設空気圧縮機 手動操作	△ ポンペを仮設で設置し対応
S/Cベント弁 弁番号:AO-1601-72	×	電源喪失/空気圧低		
S/Cベントバイパス弁 弁番号:AO-1601-90	×	電源喪失/空気圧低		
D/Wベント弁 弁番号:AO-1601-1	×	電源喪失/空気圧低		
D/Wベントバイパス弁 弁番号:AO-1601-83	×	電源喪失/空気圧低		
PCVベント弁 弁番号:MO-1601-210	×	電源喪失		

…その後、手動でベントを試みたが、放射線量の上昇等により、地下のベント弁の開放を断念し、ベント失敗(その後仮設空気圧縮機を用いてベント成功)



# 外部電源を取り込む電源盤が殆ど水没した第一1~4号機では、冷温停止への収束に失敗した

- 爆発した1~4号機では、主要な電源盤(M/C、P/C)の殆どが機能喪失。
- 特に1・3号機は全滅。

福島第一										
1号機		2号機		3号機		4号機		6号機		
電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	
DG1A	×	DG2A	×	DG3A	×	DG4A	×	DG5A※2	×	
DG1B	×	DG2B(空冷)※1	×	DG3B	×	DG4B(空冷)※1	×	DG5B※2	×	
								HPCS DG	×	
M/C 1C	×	M/C 2C	×	M/C 3C	×	M/C 4C	×	M/C 5C	×	
M/C 1D	×	M/C 2D	×	M/C 3D	×	M/C 4D	×	M/C 5D	×	
								HPCS DG M/C	○	
M/C 1A	×	M/C 2A	×	M/C 3A	×	M/C 4A	×	M/C 5A	×	
M/C 1B	×	M/C 2B	×	M/C 3B	×	M/C 4B	×	M/C 5B	×	
M/C 1S	×	M/C 2SA	×	M/C 3SA	×	M/C 4SA	×	M/C 5SA-1	×	
								M/C 5SA-2	×	
								M/C 5SB-1	×	
								M/C 5SB-2	×	
P/C 1C	×	P/C 2C	○	P/C 3C	×	P/C 4C	○	P/C 5C	×	
P/C 1D	×	P/C 2D	○	P/C 3D	×	P/C 4D	○	P/C 5D	×	
								P/C 6E	○	
P/C 1A	×	P/C 2A	×	P/C 3A	×	P/C 4A	×	P/C 5A	×	
P/C 1B	×	P/C 2A-1	×	P/C 3B	×	P/C 4B	○	P/C 5A-1	○	
								P/C 6A-2	×	
								P/C 5B-1	○	
								P/C 6B-1	×	
								P/C 5B-2	×	
								P/C 6B-2	×	
								P/C 5SA-1	×	
								P/C 5SA-2	×	
								P/C 5SB	×	
1	DC125V主母線盤1A	×	DC125V主母線盤2A	×	DC125V主母線盤3A	○	DC125V主母線盤4A	×	DC125V主母線盤5A	○
2	DC125V主母線盤1B	×	DC125V主母線盤2B	×	DC125V主母線盤3B	○	DC125V主母線盤4B	×	DC125V主母線盤5B	○
5										
DC										

福島第二					
1号機		2号機		4号機	
電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	使用可否
DG1A	×	DG2A	×	DG3A	×
DG1B	×	DG2B	×	DG3B	○
DG1H	×	DG2H	×	DG3H	○
M/C 1C	×	M/C 2C	○	M/C 3C	○
M/C 1D	○	M/C 2D	○	M/C 3D	○
M/C 1H	×	M/C 2H	○	M/C 3H	○
M/C 1A-1	○	M/C 2A-1	○	M/C 3A-1	○
M/C 1A-2	○	M/C 2A-2	○	M/C 3A-2	○
M/C 1B-1	○	M/C 2B-1	○	M/C 3B-1	○
M/C 1B-2	○	M/C 2B-2	○	M/C 3B-2	○
M/C 1SA-1	○			M/C 3SA-1	○
M/C 1SA-2	○			M/C 3SA-2	○
M/C 1SB-1	○			M/C 3SB-1	○
M/C 1SB-2	○			M/C 3SB-2	○
P/C 1C-1	×	P/C 2C-1	○	P/C 3C-1	○
P/C 1C-2	×	P/C 2C-2	×	P/C 3C-2	×
P/C 1D-1	○	P/C 2D-1	○	P/C 3D-1	○
P/C 1D-2	×	P/C 2D-2	×	P/C 3D-2	×
P/C 1A-1	○	P/C 2A-1	○	P/C 3A-1	○
P/C 1A-2	○	P/C 2A-2	○	P/C 3A-2	○
P/C 1B-1	○	P/C 2B-1	○	P/C 3B-1	○
P/C 1B-2	○	P/C 2B-2	○	P/C 3B-2	○
P/C 1SA	○			P/C 3SA	○
P/C 1SB	○			P/C 3SB	○
DC125V主母線盤A	○	DC125V主母線盤A	○	DC125V主母線盤A	○
DC125V主母線盤B	○	DC125V主母線盤B	○	DC125V主母線盤B	○

東北電力 女川					
1号機		2号機		3号機	
電源盤	使用可否	電源盤	使用可否	電源盤	
DG A	○	DG A	○	DG A	○
DG B	○	DG B	×	DG B	○
		HPCS D/G	×	HPCS D/G	○
M/C6-1C	○	M/C6-2C	○	M/C6-3C	○
M/C6-1D	○	M/C6-2D	○	M/C6-3D	○
		M/C6-2H	○	M/C6-3H	○
M/C6-1A	×	M/C6-2A	○	M/C6-3A	○
M/C6-1B	×	M/C6-2B	○	M/C6-3B	○
M/C6-1S	×	M/C6-2SA-1	○	M/C6-3SA-1	○
M/C6-1E	×	M/C6-2SB-1	○	M/C6-3SB-1	○
		M/C6-2SA-2	○	M/C6-3SA-2	○
		M/C6-2SB-2	○	M/C6-3SB-2	○
P/C 4-1C	○	P/C 4-2C	○	P/C 4-3C-1	○
P/C 4-1D	○	P/C 4-2D	○	P/C 4-3C-2	○
				P/C 4-3D-1	○
P/C 4-1A	×	P/C 4-2A	○	P/C 4-3D-2	○
P/C 4-1B	×	P/C 4-2B	○	P/C 4-3A-1	○
P/C 4-1S	×	P/C 4-2SA	○	P/C 4-3A-2	○
		P/C 4-2SB	○	P/C 4-3B-1	○
				P/C 4-3B-2	○
				P/C 4-3SA-1	○
				P/C 4-3SB-1	○
				P/C 4-3SA-2	○
				P/C 4-3SB-2	○
125V直流主母線盤1A	○	125V直流主母線盤2A	○	125V直流主母線盤3A	○
125V直流主母線盤1B	○	125V直流主母線盤2B	○	125V直流主母線盤3B	○

東海第二	
電源盤	使用可否
DG2C	×
DG2D	○
DG2H	○
M/C-2C	×
M/C-2D	○
M/C-HPCS	○
M/C-2A-1	×
M/C-2A-2	×
M/C-2B-1	×
M/C-2B-2	×
M/C-2E	×
P/C2C	×
P/C2D	○
P/C 2A	×
P/C 2B	×
P/C 2S	×

外部電源									
全6回線が地震で喪失									

外部電源					
3/4回線が地震で喪失 (富岡線1L 500kVのみ受電継続)					

外部電源				
4/5回線が地震で喪失 (松島幹線1L 275kVのみ健全)				

外部電源	
全6回線が地震で喪失	

許可なき複製・無断転用を禁じます。Copyright Team H2O Project all rights reserved

(凡例)○:健全 ×:機能喪失 \*1 電源盤水没により機能喪失 \*2 冷却系(海水)喪失による機能喪失

直流電源のH系については、記載を割愛した  
以下の機能喪失有無は、事務局推定による  
・女川のM/C、P/C電源盤、東海第二のP/C電源場

## 電源車に接続可能な健全な電源盤がほとんどない状況で、接続が困難であった

### 電源車の手配

- 津波直後の電源車の到着(高圧電源車)
  - － 11日22時頃: 第一陣1台が到着
  - － 12日1:20頃: 4台が到着(累計5台)
  - － 12日3:00頃: 7台が到着(累計12台)
  
- 同(低圧電源車)
  - － 11日23:30頃: 自衛隊によって2台到着
  - － 12日 7:00頃: 更に3台到着

### 接続の難航

- 3月12日の早朝までに、ある程度の電源車が集まっていた
- しかし、接続先の電源盤(M/C、P/C)が水没した為、活用できるもの自体が少なかった事、その特定に時間がかかった事等が重層し、接続に難航した
- また、ガレキ、余震、通信、重機不足等も重なり、電源車を接続する為のラインの構成・準備に時間を要し、接続が難航した
- 福島第一2号機は、1号機の水素爆発によって、準備していた接続作業が振り出しに戻った

# 対策のサマリー①

## 電源の確保

冷却機能の確保

制御室機能の確保

ベント機能の確保

水素爆発の防止

災害対策マニュアル  
／インフラ等

## 具体的対策／ガイドライン

### 電源の確保（電源なくなれば、原子炉冷却は直ぐにできなくなる）

#### 外部交流電源の確保

- 水密性・耐圧の確保もしくは高所設置
- 外部電源の耐震性向上、送電経路の多重化、社内融通可能とする

#### 非常用ディーゼル発電機(DG)の確保

- 水密性・耐圧の確保もしくは高所設置
- DG電気融通機能の強化：全てのDGを、全ての原子炉に共有できる多重化を計る(5・6号機は融通できたが、1-4号機には融通できなかった)
- 空冷式DG・ガスタービン等の増設(生き残ったのは空冷式だった(海水ポンプ、海水循環が不要))
- 重油タンク・軽油タンクの高所設置
- 地震スクラム時のDG自動起動の採用

#### 交流電源の確保

- 水密性・耐圧の確保もしくは高所設置
- 交流電源の融通(M/C、P/C間の融通)
- 電源車の強化
  - ・ 常設、増台、設置場所の見直し
  - ・ 電源車の種類を増やす：直流、交流、直・交流混載、発電機付き、DG搭載など
- 電源車・予備電源等の空輸移動の積極活用(原子炉建屋屋上・周辺にヘリパッドを設置)
- 電源ケーブルの配備、端末処理のための工具類最適配備
- 電源車から電源盤への接続箇所の複数設置と耐水性の確保

#### 直流電源の確保

- 水密性・耐圧の確保もしくは高所設置
- 直流電源の容量アップ(8時間から24時間以上の長時間対応へ)
- 直流電源が被災し使用できなくなった場合のための移動式バッテリー車及びケーブルの配備

注) 保安院指示文書との比較

- 黒文字＝有り
- 赤文字＝スコープ外

## 対策のサマリー②

### 具体的対策/ガイドライン

電源の確保

冷却機能の確保

制御室機能の確保

ベント機能の確保

水素爆発の防止

災害対策マニュアル  
/インフラ等

**冷却機能の確保** (冷却がなくなれば数時間でメルトダウンが起る。メルトダウンは水素の大量発生を招く)

- 水源の強化:貯水槽、貯水池、湖、河川、海等から複数個所からの給水とその受水経路方法の確立
- 消防車の必要台数の確保と必要ホース数の確保、高所設置
- 消防車からの注水接続箇所の複数設置
- 高圧・低圧冷却系設備の水密性・耐圧性の確保もしくは高所設置
- 海水建屋の水密性、耐圧性の確保
- モータの洗浄装置の設置もしくは予備品化
- 代替炉心冷却系(独立した水源・電源・注水系統等)を有すること
- ウェットウェルベントによるフィード・アンド・ブリードの実施(冷温停止移行までのヒートシンク確保)
- 可搬式水中ポンプの準備

**使用済み燃料プールの監視**

- 温度・水位監視の徹底(ハード、ソフト両面での対応要求)

**制御室機能の確保**

- 監視の確保は重要。計器類が監視不能とならないようバッテリーを予備として準備。
- 中央制御室環境の維持・向上
- 防護服、防護マスク、線量計等についての適正保管

**ベント機能の確保**

- ベントの論理の再考(有効性が不明確)+ラプチャーディスクの設計思想再考(設計圧等)
- ベントライン操作弁設置場所の再検討(操作性重視)
- ラプチャーディスクが動作しなかったことに鑑み、弁開閉方式への見直し検討(弁方式の変更)
- 原子炉の減圧機能が複数手段とすることの検討(SR弁の直流電源に頼らない仕組み検討等)
- 電源喪失時でもベントライン構成が迅速に出来るよう仮設電源、駆動用ポンペを準備。
- SR弁の減圧操作を確実に実施するため中央操作室近傍にバッテリーを準備。

注) 保安院指示文書との比較

- 黒文字=有り
- 赤文字=スコープ外

# 対策のサマリー③

## 具体的対策/ガイドライン

電源の確保

冷却機能の確保

制御室機能の確保

ベント機能の確保

水素爆発の防止

災害対策マニュアル  
/インフラ等

### 水素爆発の防止

- 格納容器の気密性の機能強化：PCVヘッドフランジ、電気ペネトレーション、ハッチ等のシール部の部材見直し、高温・高圧への耐性強化
- 万一水素が大量発生した場合の、建屋閉鎖空間での滞留防止
  - ・ 水素検出器の閉鎖空間への設置(独自電源またはRFで信号発信)
  - ・ ベント時に格納容器内への窒素封入の確実な実施
- 水素ベント天蓋の設計(リモート駆動+手動など+核分裂ガスなどの吸着フィルター)

### 災害対策マニュアル(AM)の整備

- AMの再設計：常設する水源・電源で何時間もたせるか？それまでに、いかに外部からの応援体制を完了するか？等の確実な実施のために
  - ・ 「現場にある水源・電源で、最悪でも何時間もたせるか？」について明確に数値設定し、その運用のマニュアルを設計
  - ・ 同時に、前項の時間内で、追加の電源・水源・資材等の供給、現場での設置完了等を、必ず完了する為の体制整備と運用マニュアルの設計
  - ・ 上記項目が実施可能であることを確認できる定期的な訓練の実施。(夜間・休日における全号機同時などの過酷条件での訓練も含め)

### インフラの強化

- 地震後の発電所への運転員の集合、緊急時対策室要員確保など(設定時間内の集合。大規模災害を想定した代替集合場所の選定(例、米国は100yd以遠)など)
- 発電所までのアクセス確保(道路・橋梁の補強など)
- 地震後・津波発生後のプラント間のアクセス性向上のため
  - ・ 基幹道路の補強(液状化対策含む)
  - ・ 瓦礫除去用重機の適切台数配備と運転者の確保
  - ・ 地震・津波に強い移動経路の確保(地割れ・流動化しない、マンホールの無い等の移動通路・経路の建設)
  - ・ 重油タンクの固定
- 運転員や事故復旧班の作業者との緊急時対策室や中央制御室との通信手段が切断され、タイムリーな報告が不可能であったことから適切な情報手段及び必要数の確保。

注) 保安院指示文書との比較

- 黒文字=有り
- 赤文字=スコープ外



# 新潟県知事は、「原発再稼動において、意思決定メカニズムも含めた福島第一の検証が必須であり、それを加味しないコンピュータ・シミュレーションを行っても本質的ではない」とコメント

新潟県 泉田知事のコメント(9月14日 定例会見より抜粋)

- 質問 「ストレステストだが、政府が評価結果についてIAEAにも参加してもらおうということのようだが、それについては？」
- 知事：「**本質的ではない**。つまり、福島原発で何が起きたのか、これはメカニズム、機械だけではない。どのタイミングで海水注入を決断すべきだったのか、それは誰がすべきなのか、その意志決定がなければ、数千億円するプラントを廃棄するという前提で、**本当に決断できるんでしょうか**というところも、**意志決定メカニズムも含めて検証しなければいけない**と思っている。

大量の放射性物質を放出せざるを得なかったのか、これはIAEAの報告書でも総理自らが現場に介入しすぎという指摘が出ている。**そういった点も含めて、意志決定メカニズム、誰がどう責任を取って、どうするんだという検証なしにストレステストをやりましたと言ってもしょうがない。**

IAEAに見てもらっても配管が破断しているのか、していないのか、そこの経験を踏まえ、**コンピューター上で今までの知見でプログラム回すのにどういう意味があるのか**ということ、**まあやらないよりやった方がいいでしょう**という以上のものではない。」

その意味合い

- **技術と組織の両面での再発防止策の検討が必須**
- **技術的な観点：設計思想にまで遡った福島第一の検証、教訓、対策の洗い出しが必要**
- **組織的な観点：前項で得た対策を確実に実行していく為に必要となる組織・意思決定メカニズムの条件を洗い出す**
  - ・ 再発防止を最優先に置いた意思決定メカニズムの再設計（本店、技術支援センター、オフサイト・センター、中央制御室）
  - ・ 対策実行の体制と役割分担の設計（事業者、政府、自治体等）
- **研修、訓練の強化：教訓から得た対策・体制が、実際に機能する為の**実地訓練が必須****
  - ・ 福島第一と同一事象を明確に想定した研修、訓練プログラム
  - ・ プログラムの導入・実施・検証・改善スケジュール
  - ・ 海外事例の研究など

**今後の対策においては、技術的な側面だけではなく、地元参加型の意思決定、体制、訓練等の仕組みが必須**



## その為には今後のアクシデント・マネジメント(AM)の設計において、次の様なミッションに取り組む事が極めて重要

### 安全の最優先

- 人命尊重の為に、「原子炉の安全確保」と「地元の安全確保」が、全てに対して優先される仕組み(安全文化の醸成)
- 水素爆発と放射性物質漏洩の絶対的な阻止(福島の新発防止)

### リアルタイム型 情報共有NW

- 重大事故(またはそのリスクの)発生時には、全関係者がリアルタイムかつ透明に情報共有できるネットワーク
- AM領域に入った事が分かり、その後の進展が双方向で共有・協議できる仕組み

### 地元の参画

- 地元の安全について、地元自治体が情報を共有し、判断出来る仕組み
- その為に、地方自治における原子力の専門家やアドバイザー等の人材強化
- 教育・研修やトレーニングの推進・強化

### 透明・迅速な 意思決定

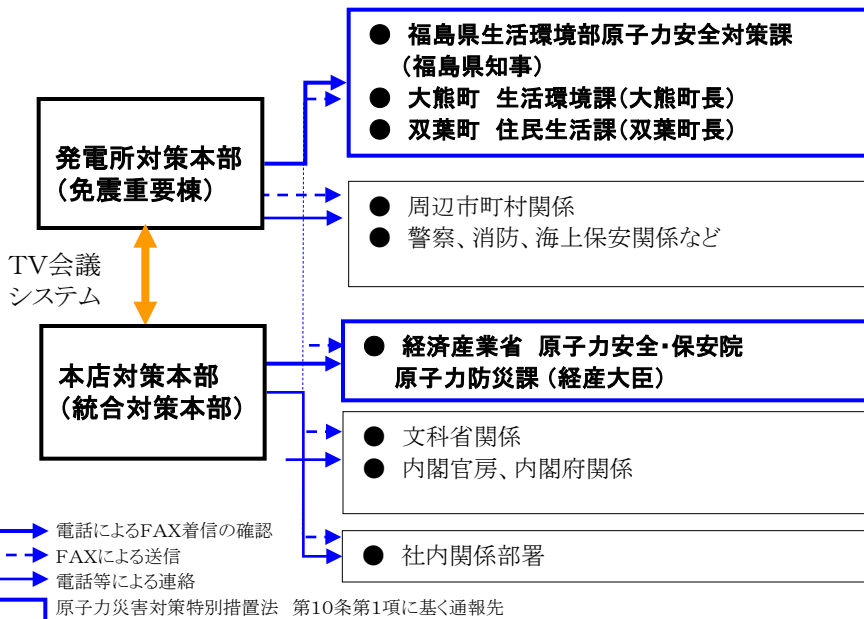
- ガバナンスが明確に機能する組織と権限の設計
  - ー プラントの安全: 現場(所長と当直長)が最高意思決定者である
  - ー 地元の安全: プラントからの情報がリアルタイムで地元で共有され、最終判断できる
  - ー これら意思決定のプロセスが透明であり、外的要因によって遅延・屈曲しない

### 安全を担保する 研修・訓練

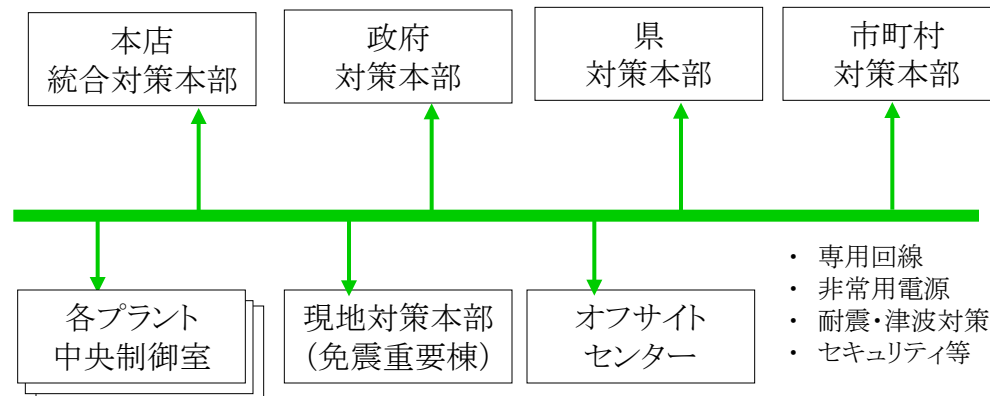
- 上述の事項を担保する為のAM手順書・対策等が適切に定義されている
- その手順書を実行する為に適切な人材が確保されている
- 適切な人材に対して、必要な教育・訓練が実行される
- 中立的な観点(または機関)から、これら(手順・人材・訓練)が適切である事が定期的に 25  
チェック・評価される

# 一刻を争う過酷事故においては、全関係者がリアルタイムで情報共有し、双方向で協議できるネットワークが必須である

現状 (第10条事象発生時)



今後

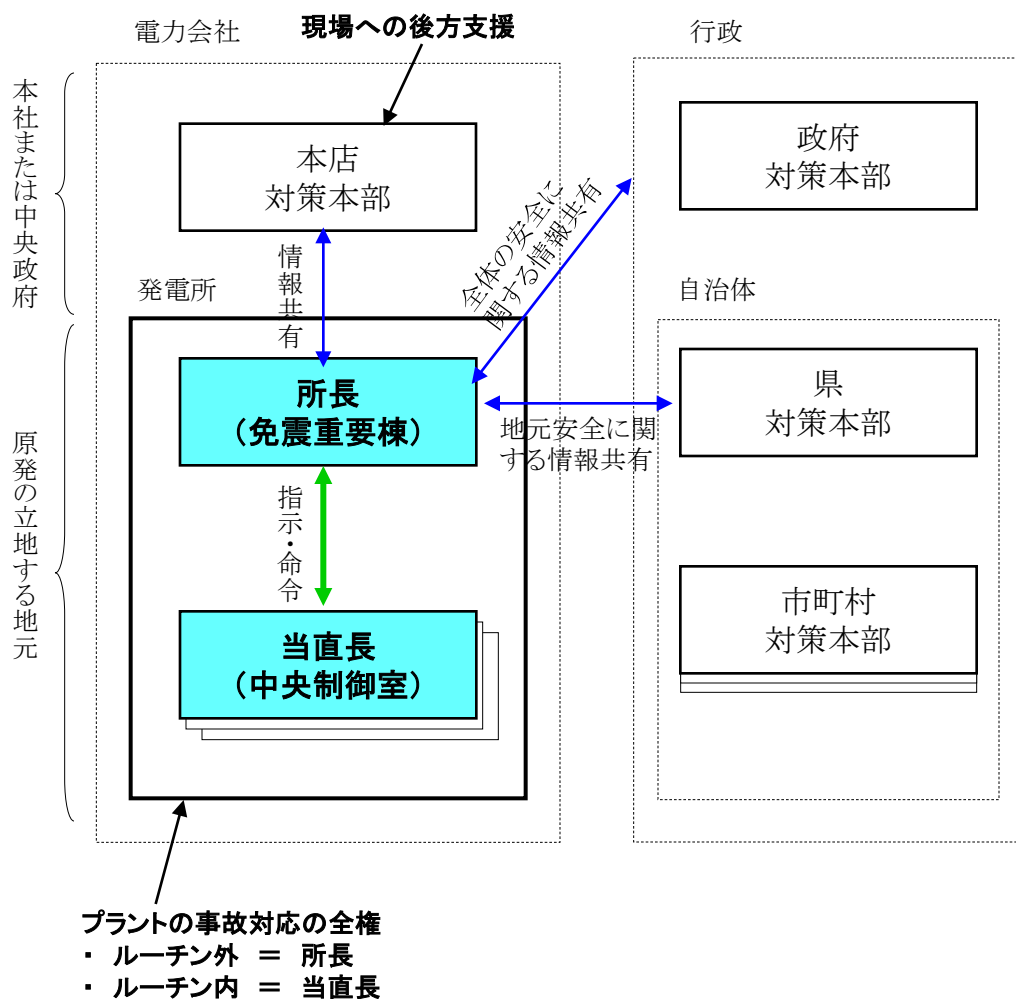


- **限定的なリアルタイム性:** 発電所と本店間はリアルタイムのTV会議機能あり
- **部分的な双方向性:** 政府機関・県・市町村等の対外通信は、電話・FAX・メール等による一方向が主流
- **限定的な情報共有機能:**
  - ・ 電源喪失、通信障害等の発生時は、十分なコミュニケーションが困難
  - ・ 自治体他からは、原発事故に関する情報提供不足を指摘された(公衆回線であった事も関連)

- **AMモードに入った時点でネットワークがオンになり、必要に応じて対象プラントと関係者が同時接続し、リアルタイムで情報共有・会議・意志決定できる仕組み**
  - 対象: プラント、電力本社、政府、原発の立地県・市町村等
  - ・ 機能: プラントの状況・対策、地元の安全・避難等に関する情報共有、協議、判断
  - ・ AMモードになった事が分かり、その進展が見える
  - ・ 情報共有と意思決定を透明化・迅速化する
  - ・ 外部への情報漏洩を防ぐ

事故が一定の規模を超えてから本店を通じて対応協議しては遅い

# プラントの安全確保 — 最前線(所長・当直長)が全権を有し、事故防止・拡大抑制を何よりも最優先するガバナンスが重要 — 航空業界の「管制官」と「パイロット」、製造業の「経営」と「技師長」に相当



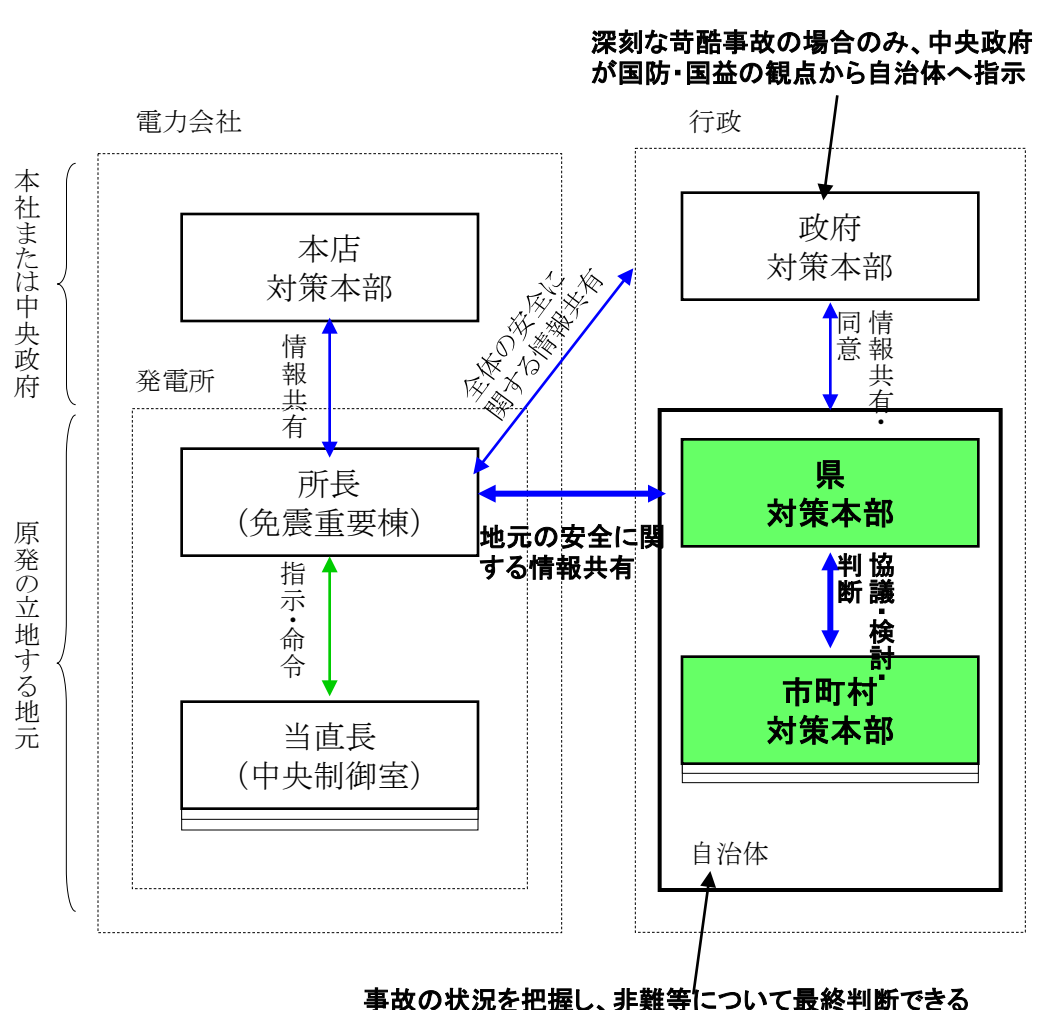
## 電力会社 本店と発電所：安全と経営の独立

- 発電所：事故防止・安全を最優先に判断・行動。この点において、経営陣に対して独立
- 本店：「プラントの安全」を現場に委ねる。現場が必要とする後方支援を行う

## 発電所 所長と当直長：管制官とパイロットの関係

- 所長 (=管制官)：
  - ・ 事故手順書(AMマニュアル)のルーチン外の事象が発生した際にプラント(当直長)へ指示を与える。
  - ・ 原子力発電所の全原子炉の安全・重大事故防止に対して全権、全責任を持つ
- 当直長 (=パイロット)：
  - ・ 事故手順書のルーチン内においては、プラントの安全に対して全権を持つ。
  - ・ AMに入った時点で、情報は関係者と共有する

# 地元の自治権として、地元が「住民の安全確保」に関して自ら判断できる仕組みを目指す必要がある



状況 地元から見た今回の

- 不十分、不正確な情報の氾濫
- 事故の状況、避難等の情報共有のタイミングの遅延
- 前各項の内容の混乱
- 事故対応、避難指示等について意思決定者が分かりづらい
- ★ 地元は意思決定においては部外者に等しかった為に、位置づけは“被害者”

役割 今後目指すべき地元

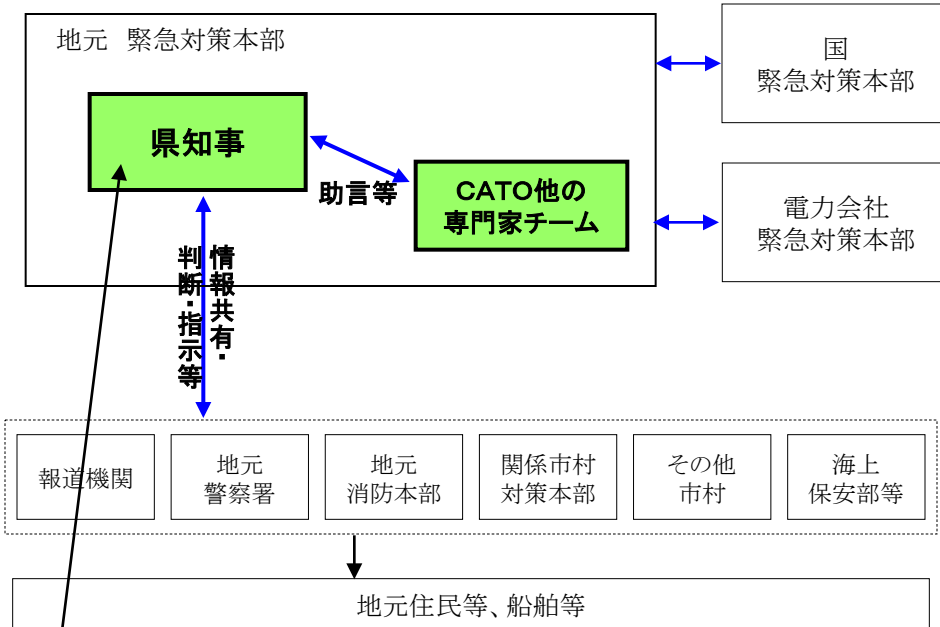
- 意思決定：安全・避難等について、地元首長は全ての情報を把握し所長と相談の上最終判断する
- 研修：地元首長は、その判断力を養う為の訓練を常時受ける
- 情報共有：判断に必要な情報は、中央政府や本店経由ではなく、発電所から直接共有される
- NW：その為のネットワークがある
- 判断基準：国と地元自治体との役割・判断等に関する基準が明確に定義される

- 米国スリーマイル島原発事故においても、事故後は地元を巻き込んで運営した事が、原子力事業者と自治体の良好な関係を築けた一因となっている

「地元と一体で安全運転をする」という理念が重要である

# その為に自治体は、原子力に関する知識や経験を有する専門アドバイザー(仮称 CATO※)等の 人材強化を検討してはどうか？ (※Chief Atomic Technology Officer)

## 今後の方向性(イメージ)



- 首長は、CATO他のアドバイス等を踏まえて総合判断し、司令塔機能を果たす

## CATOのミッション

- **資格:** 首長は、自らだけでは原発事故に関する技術的・専門的な業務・判断を行う事が困難であると判断する場合、「原発技術・安全担当のCATO (Chief Atomic Technology Officer)」を任命する。
  - CATOは、電力会社、政府等から独立した経歴・出身者を採用し、中立性を保つ
  - あくまでも、原発が立地する地方自治体を対象とする
- **業務:** CATOは、必要に応じて電力事業者、政府、行政機関、災害対策本部等との会議・情報交換等に参加し、また、知事に対して助言を行う

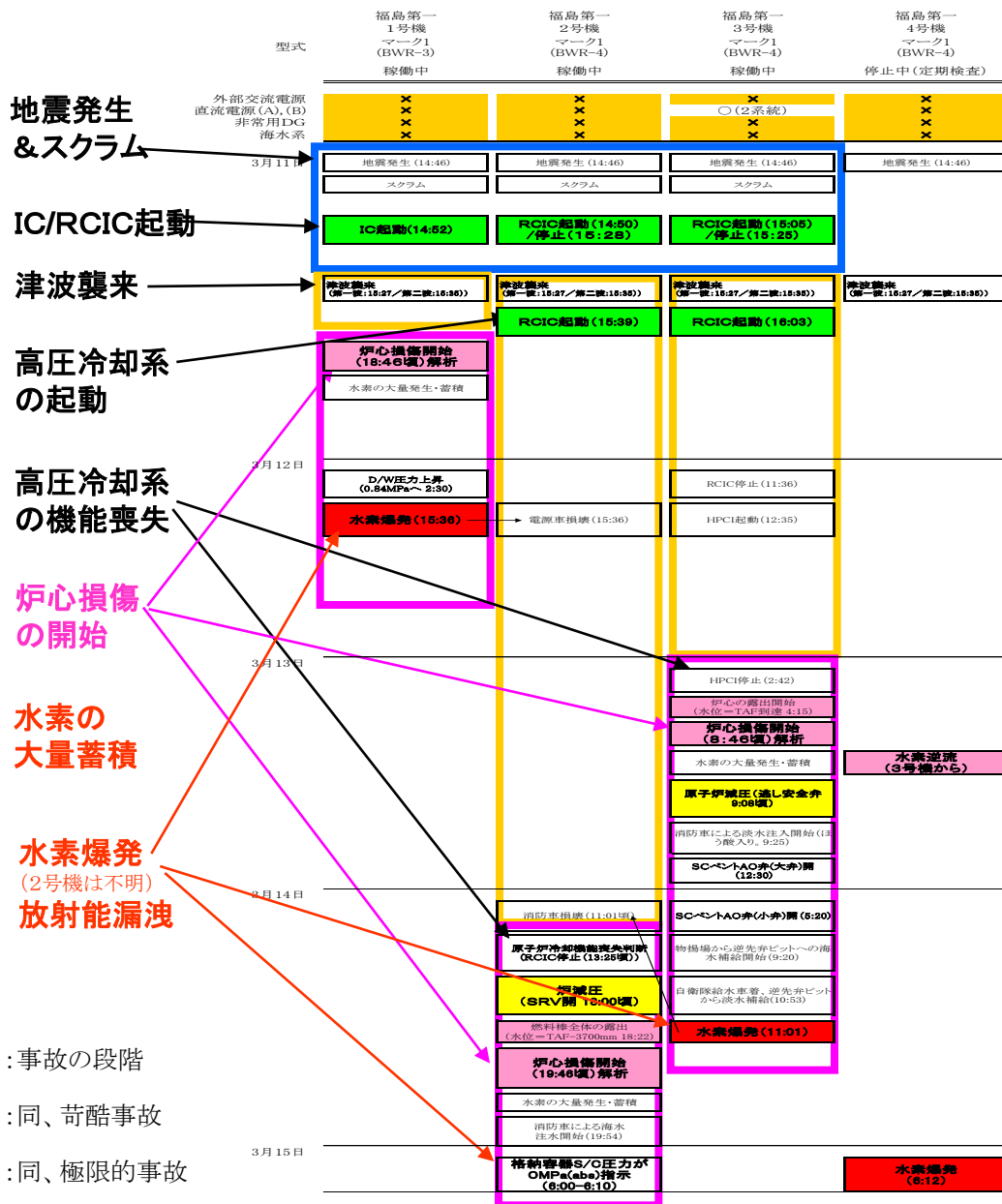
…例えば新潟県では、原子力等のリスク管理責任者として「危機管理監」という職制を導入する等、先進的な取り組みを行っている — この費用、訓練などを国の負担とする

## 今後、事故のレベルを3段階で管理し、各レベルに応じたAM体制を構築する事が必要

事故のレベル	事故の例	情報 NW	「プラントの安全」の主体	「地元の安全」の主体	政府側 の主体
<b>事故 (Accident)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉心スクラム+外部電源喪失+非常用発電機(DG)起動</li> <li>福島第一6号機、東海第二等</li> </ul>	オン	<ul style="list-style-type: none"> <li>AMルーチン内=当直長</li> <li>AMルーチン外=所長</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラントから自治体へ直接情報共有</li> <li>避難等について自治体が最終判断</li> <li>国は後方支援、同意</li> </ul>	環境省
<b>苛酷事故 (Severe Accident)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉心スクラム+全交流電源喪失(DG起動せず)</li> <li>福島第一5号機等</li> </ul>	オン	<ul style="list-style-type: none"> <li>同上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同上</li> </ul>	環境省
<b>極限的事故 (Grave Accident)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>全電源・冷却機能の喪失</li> <li>炉心溶融、放射能漏洩リスクの急上昇</li> <li>福島第一1-4号機</li> <li>テロによる災害等</li> </ul>	オン	<ul style="list-style-type: none"> <li>同上</li> <li>国は必要な支援(例、自衛隊の出動)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国が意思決定権を持つ</li> <li>国は、自治体と協議の上、国防・国益の観点から総合判断する</li> </ul>	首相官邸

事象が極限的段階に進展した場合、国防・国益の観点から、国が事故対応を統括する

# GAMレベルへの進展例 - 福島第一1~3号機の場合、事象進展を的確に把握し、事故対応のレベルを判断する必要があったのではないか？



苛酷事故(SAM)、極限的事故(GAM)への移行判断(例示的)

- 各電源(外部交流、非常用交流発電機、直流バッテリー等)の健全性の有無
  - これらの健全性について、速やかに一覧できる計測機能は極めて重要
- 高圧系冷却機能の健全性、及び、機能喪失の可能性・猶予時間の予測、判断
- 電源、冷却機能の総合的な健全性を加味した炉心状況と炉心溶融(メルトダウン)リスクの判断



- ★ 福島第一1~3号機のクロノロジーを見る限り、電源喪失+高圧系冷却機能が喪失した場合は、全てメルトダウンと放射能漏洩へ至った(1・3号機は水素爆発を伴う)
- ★ 前述の機能喪失が予期された時点で、GAMレベルに入る可能性が極めて高い

   : 事故の段階  
   : 同、苛酷事故  
   : 同、極限的事故



# 政府は3月12日にレベル4、18日にレベル5、そして4月12日にレベル7と公表したが、それは正しかったのか(レベル判断、発表時期・頻度、キーメッセージ)?

## 事実または参考情報

- **1989年のINES評価尺度の制定以来、今回が世界初のレベル5以上の重大原発事故だった。**従って、**事象進展中の公表としては、前例が無かった**
  - ・ チェルノブイリ('86年4月26日。レベル7)、スリーマイル島('79年3月28日。レベル5)は、事故から数年後の事後評価
- **3月12日15:36に第一1号機で水素爆発が発生しており、その時点でレベル5の基準を満たしていたと推定される**
  - ・ レベル5=原子炉炉心や放射線防護壁の重大な損傷。計画された緊急時対策が要求される
- INESが制定された**目的は、公衆に対して、原子力事故がもたらす「安全への影響」の説明と理解を促がす事**にある。**INES尺度は、「安全への影響度合い」を遅滞なく、一貫した言葉・用語で伝える為の「ツール」と位置づけられている**(以下、公式サイト原文抜粋)
  - ・ The primary purpose of the INES Scale is to facilitate communication and understanding …on the safety significance of events.
  - ・ INES is a tool for promptly communicating to the public in consistent terms the safety significance of reported nuclear incidents….
- **レベル6と7の「所外への影響 (people and environment)」基準は、解釈論の余地が大きい**
  - ・ レベル7: 数万テラベクレル以上 => 広域(例、一国以上)への甚大な健康被害、長期環境汚染の可能性、屋内待機・非難等をもたらす為
  - ・ レベル6: 数千~数万テラベクレル => 待機 (sheltering)・避難 (evacuation) の必要性をもたらす為
  - ・ レベル5: 数百~数千テラベクレル => 限定的(localized)な待機・避難の可能性がある為
- 福島第一は、**チェルノブイリの放出量と比べると、1割程度**である
  - ・ チェルノブイリ=520万TB、福島第一=37万TB(保安院)、63万TB(安全委)

## 課題・教訓

- **そもそも事象進展中に、3度も公表する必要はあったのか疑問が残る**(国際対応の不備?)
- 今後、福島の教訓を踏まえ、事象進展中の公表のガイドラインが必要
- 結果論で言うと、**3月12日23時のレベル4の判断は、テクニカルミスに近いとの疑問が残る**
- **レベル7の発表が、第一1~4号機の爆発後ではなく、なぜ1ヶ月後の4月12日だったのか?**
- 事象進展中であり、**レベルだけでなく、「安全への影響」に関する分かり易い・正確な説明に重きを置くべきだったのではないか?**
- 今回は、**線量はレベル7に該当しても、本来の目的である「人と環境への影響」は、チェルノブイリよりも小規模であり、むしろレベル6(or 6と7の間)が妥当との疑問が残る**
- 今後、INES基準自体について、福島第一の教訓を反映し、より良いものへ修正していく議論も必要。特に、レベル6、7の判断基準(または細分化)**32**



# 国民へのメッセージは適切であったか？ — 時間の経過と共に、コメント内容と実際に起きる事のGAPが拡大していったのではないか？それが地元や海外政府の不安を増す要因となっていないか？

官房長官の記者会見(3月12日以降の抜粋。 インターネット各種記事より)

課題・教訓

## 3月12日18:00(1号機爆発後)

- 「原子炉について、破損は無いという事か？それ自体が確認されていないのか？」 => **今回の原因などについての最終的な事実確認と分析を含めて…まとまった段階でしっかりとお示ししたい**
- 「政府としては(水素爆発と放射能漏れは)想定範囲内か？」 => **常に最悪の事を想定しながら対応をしている。この事象は、起こる段階で想定していた範囲の中に含まれている。…必要以上に不安をあおったり、必要外に安心感を持って頂く事があってはいけない**

## 3月13日(1号機と3号機について)

- 8:00 1号機の件ですが、海水の供給がポンプの能力通りに実施されている事が確認されている。…圧力容器の内側、炉の部分については海水で満たされて、少なくとも燃料の部分のところは水で覆われている状態になっている事が合理的に判断される状況になっている
- 8:00 (3号機について)…この空気を抜くという作業と、ポンプによって給水をするという事が行われれば、安定した状態、管理された状態で、気体の中には身体に影響を及ぼさない程度の放射性物質が含まれるが、**原子炉の安全性というのを確保した状態で管理できる**
- 8:00 「1号機の海水注入は何時終わるのか？」 => **圧力容器、炉の部分の注入が終わりましても、その外側の格納容器の中まで海水を満たすという事にしたい…これは圧力容器の中に水を供給し続ければ、もしそこが溢れているようなら、そこから外に出るという事になりますので、継続的に給水し続ける事になります**
- 11:00 (3号機について)…注水機能が停止し…燃料棒の水位が低下をし、燃料棒上部が水面上に露出をしたものと想定されます。このため、圧力容器の安全弁を開き、原子炉内の圧力は低下を致しました。9時8分には注水を開始しました。9時25分にはほう酸を混入する事により、一層の安全性を高める手段をとりました
- 11:00 「1号機の燃料棒の露出はどうなっているか？」=> **注水を行って、露出は見ずに埋まっている**という風に思われている。
- 11:00 「1号機の炉心の溶融は起きたという認識か？」 => **これは十分可能性があるという事で、当然、炉の中だから確認が出来ないが、可能性があるという事で対応している。**
- 11:00 「1号機はベントの作業後に爆発しているが、3号機は？」 => **今回はそういう可能性の起こる前に注水がしっかりと出来た。ベントの段取りもうまく取れた**と思っている。
- 11:00 「1号機について、海水注入できなくなった場合も想定しているのか？」 => **1号機の爆発の対応についても、ギリギリのところだったかもしれないが、きちっと大きな被害の拡大する以前の段階で海水の注入が出来た**と思っているし、**今後も1号炉に限らず、そういった準備を常に前倒しで進めて行きたい。**

- **いつ発表されるのか？**
- **水素爆発は想定されていたのか？**
- **ベントと注水、冷却手段について、具体的な計画と実行確度について裏づけがあったのか？**
- **圧力容器が損傷しており、格納容器の中まで水が漏れることを予見していたのではないか？**
- **この時点で、3号機のバッテリーが枯渇した後の電源確保、冷却機能供給について対策がなされていたのか？**
- **3号機の水素爆発の防止について、本当に検証されていたのか？**

# これまでの政府安全指針は誤っていた — 「長期交流電源の喪失は考慮する必要はない」との定義であった

原子力安全委員会 指針集 (監修 内閣府原子力安全委員会事務局)

## 第一部 安全審査指針27「電源喪失に対する設計上の考慮」

- 原子炉施設は、**短時間の全交流電源喪失に対して、原子炉を安全に停止し、かつ、停止後の冷却を確保できる設計**であること。

### 同 解説

- **長期間にわたる全交流動力電源喪失は、送電線の復旧又は非常用交流電源設備の修復が期待できるので考慮する必要は無い**
- **非常用交流電源設備の信頼度が、系統構成又は運用(常に稼動状態にしておくことなど)により、十分に高い場合においては、設計上全交流動力電源喪失を想定しなくてもよい**

## 福島第一での事実

- 送電線：水素爆発までに復旧しなかった
- 非常用電源設備：津波で機能喪失し、水素爆発までに復旧しなかった
- 交流のみならず直流を含む全電源の長期喪失が発生した
- それに伴い、中央制御室の機能、冷却・注水機能がほぼ全面的に不全となった

## 長期電源喪失に関しては、例えば「24時間以上」の喪失は「オフサイト」からの支援で解決し、「24時間以内」の場合は「オンサイトで必ず対応」する等の、明確な安全指針の設定が必要

長期交流電源の喪失

24時間

### 考え方

- いかなる電源喪失の場合も、最低24時間はオンサイトの対策にて対処できる準備を行う

- 24時間以上の電源喪失は、オフサイトからの対策にて対処する

### 対策の実行主体

- 電力事業者

- 電力会社+行政等

### 電源の耐久時間

- 最低でも24時間以上は、オンサイトにて電源を確保す

- 必ず24時間以内に、オフサイトからの支援を現場へ供給する

- 米国ではオンサイト・オフサイトの境界線は、NRCで72時間、INPOで24時間と設定している
- 例えば米国では、国が放射線漏洩下での業務の特殊訓練を積んだ専門部隊を保有している (Fort Leonard Wood Chemical Biological Radioactive Unit)
- 日本においても、こうした専門部隊を、国として持つべきと考える

# 教育・研修・訓練 — 今後の教育・研修・訓練においては、“福島第一の反省・教訓項目”を盛り込む

今後の教育・訓練プログラムの重要事項（例示）

- **福島第一1号機のように、最も過酷な環境を想定した実践演習**
  - ・ 全電源の喪失、全冷却機能の喪失、暗闇・余震・高線量、資機材の不足、通信機能不足
  - ・ 冷却機能停止後、数時間で炉心損傷や水素発生を開始リスク
  - ・ (更なる想定) 祝祭日の夜間、悪天候、火災、道路遮断等の同時発生下での対応
  - ・ 特に、どの様な環境下・事象においても、水素爆発を絶対に阻止する事
- **全電源喪失時において、代替電源・冷却機能を(例)2時間以内にプラントへ供給する実践演習**
  - ・ 必要条件の事前準備と保管(許容冷却時間、必要電源・水量、資材の具体的仕様・数量等)
  - ・ 現場での電源系統一式の運搬、接続、冷却・注水機能の駆動等の実務的行動
  - ・ 資機材の手配における、サプライ・チェーンの体制・準備・訓練(現地、本店等)
- **対策行動の訓練は、必ず数値指標を具体的に設定し、習熟度をチェック**
  - ・ X時間以内に、Y量の電源・水源を供給開始する。A時間内に、担当部門Bがベント完了。など
- **電力事業者単体ではなく、国・地元・関係機関等との共同における実践的な演習**
- **日本(および世界)の全電力事業者・全プラントに対して、福島第一原発の現場対応で得た生きた教訓について、将来に渡って伝承する仕組みを構築**

# 主な出典・参考資料一覧

## 東京電力報告書関係(ホームページ参照)

- ・ 福島第一1号機～6号機のプラント関連パラメータ(水位・圧力・温度・構内での観測データ)
- ・ 東日本大震災における原子力発電所の影響と現在の状況
- ・ 電気事業法第106条第3項の規程に基づく報告の徴収に対する報告について(平成23年5月16日)
- ・ 福島第一原子力発電所内外の電気設備の被害状況等に係る記録に関する報告を踏まえた対応について(指示)に対する報告について(平成 23年 5月 23日)
- ・ 東北地方太平洋沖地震発生当時の福島第一原子力発電所運転記録及び事故記録の分析と影響評価について(平成 23年 5月 23日)
- ・ 福島第一・第二原子力発電所への地震・津波の影響について(平成23年5月24日)
- ・ 福島第一原子力発電所1号機への海水注入に関する時系列について(平成23年5月26日)
- ・ 福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における平成23年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の調査結果に係る報告(その2)(平成23年7月8日)
- ・ 福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における対応状況について(平成23年8月10日)
- ・ 福島第二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8月12日)
- ・ 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)
- ・ 福島第一原子力発電所における原子炉建屋の爆発に関する分析結果について(平成23年10月21日)

## 原子力安全・保安院関係(ホームページ参照)

- ・ 緊急安全他思索の実施状況の確認に係る審査基準(平成23年5月6日)
- ・ シビアアクシデントへの対応に関する措置の確認に係る審査基準(平成23年6月18日)
- ・ 原子力発電所及び再処理施設の外部電源の信頼性確保について(平成23年4月15日)
- ・ 原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書－東京電力福島原子力発電所の事故について－(平成23年6月7日)
- ・ 国際原子力機関に対する日本国政府の追加報告書－東京電力福島原子力発電所の事故について－(第2報)(平成23年9月11日)
- ・ 福島第一原子力発電所と他の発電所との比較検討(平成23年6月24日)

## 東北電力報告書関係(ホームページ参照)

- ・ 東北地方太平洋沖地震およびその後発生した津波に関する女川原子力発電所の状況について(平成23年5月30日)

## 日本原電報告書関係(ホームページ参照)

- ・ 東海第二発電所 東北地方太平洋沖地震による原子炉施設への影響について(平成23年9月2日)