

#### IV. 福島原子力発電所等の事故の発生・進展

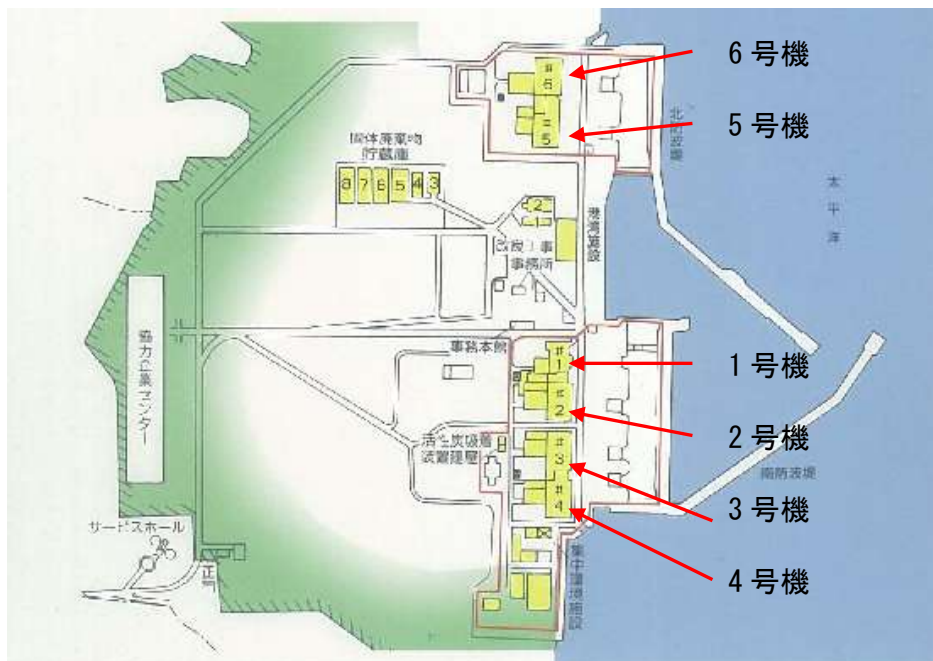
##### 1. 福島原子力発電所の概要

###### (1) 福島第一原子力発電所

福島第一原子力発電所は、福島県双葉郡大熊町と双葉町に位置し、東は太平洋に面している。敷地は、海岸線に長軸をもつ半長円上の形状となっており、敷地面積は約 350 万 m<sup>2</sup> である。同発電所は、東京電力が初めて建設・運転した原子力発電所であり、1971 年 3 月に 1 号機が営業運転を開始して以来、順次増設を重ね、現在 6 基の原子炉を有しており、総発電設備容量は 469 万 6 千 kW となっている。

表IV-1-1 福島第一原子力発電所の発電設備

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
電気出力 (万 kW)	46.0	78.4	78.4	78.4	78.4	110.0
建設着工	1967/9	1969/5	1970/10	1972/9	1971/12	1973/5
営業運転開始	1971/3	1974/7	1976/3	1978/10	1978/4	1979/10
原子炉形式	BWR-3	BWR-4				BWR-5
格納容器形式	マーク I					マーク II
燃料集合体数 (体)	400	548	548	548	548	764
制御棒本数 (本)	97	137	137	137	137	185



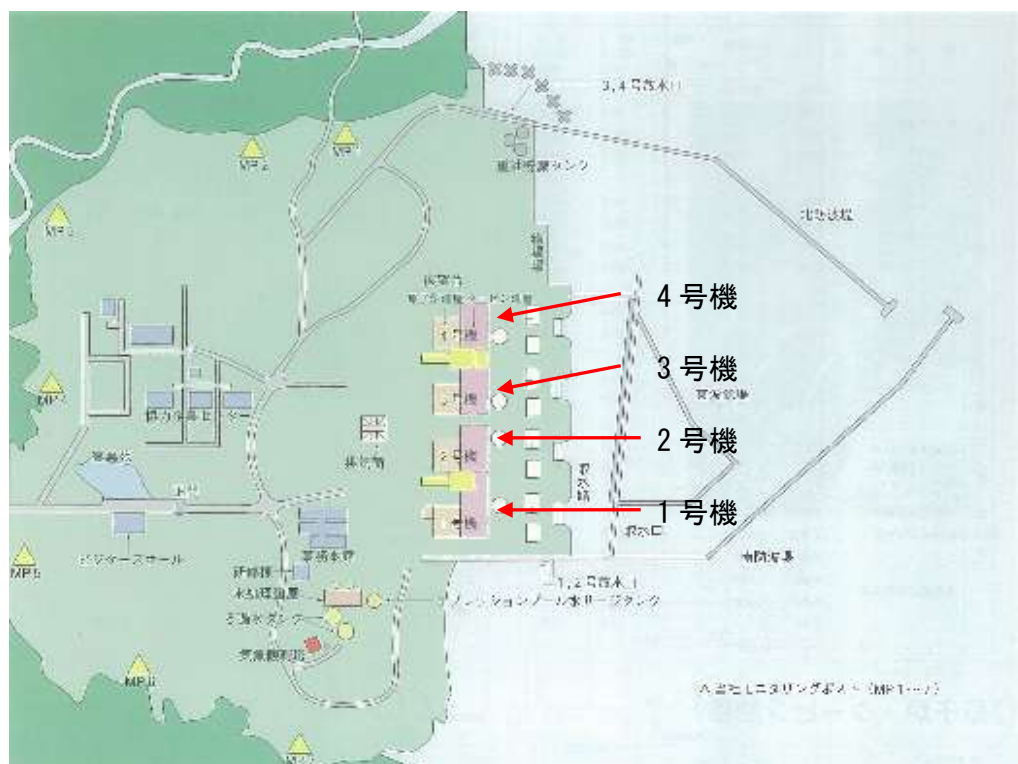
図IV-1-1 福島第一原子力発電所 一般配置図

(2) 福島第二原子力発電所

福島第二原子力発電所は、福島第一原子力発電所の約12km南の福島県双葉郡富岡町と楡葉町に位置し、東は太平洋に面している。敷地の形状は、ほぼ正方形となっており、敷地面積は約147万m<sup>2</sup>である。同発電所は、1982年4月に1号機が営業運転を開始して以来、順次増設して、現在計4基の原子炉を有しており、総発電設備容量は440万kWとなっている。

表IV-1-2 福島第二原子力発電所の発電設備

	1号機	2号機	3号機	4号機
電気出力(万kW)	110.0	110.0	110.0	110.0
建設着工	1975/11	1979/2	1980/12	1980/12
営業運転開始	1982/4	1984/2	1985/6	1987/8
原子炉形式	BWR-5			
格納容器形式	マークII	マークII改良		
燃料集合体数(体)	764	764	764	764
制御棒本数(本)	185	185	185	185



図IV-1-2 福島第二原子力発電所 一般配置図

## 2. 福島原子力発電所の安全確保等の状況

### (1) 原子力発電所への設計上の要求事項

原子力発電所は、Ⅱ章に記述したとおり、原子炉等規制法及び電気事業法等の定める法的要求事項を満足しなければならない。

原子力安全・保安院は、原子力発電所の設置について、1次審査を行った上で、原子力安全委員会の2次審査による意見を聴かなければならない。その上で、原子力安全・保安院は審査結果を踏まえ、経済産業大臣が原子炉毎にその設置許可を行う。原子力安全・保安院及び原子力安全委員会は、これらの安全審査において、当該原子力発電所の基本設計ないしは基本的設計方針が原子炉等規制法第24条の許可の基準である「原子炉の位置、構造及び設備が核燃料物質、核燃料物質によって汚染されたもの又は原子炉による災害の防止上支障がないものであること」等に適合しているかを確認している。原子力安全・保安院は、原子力安全委員会が定めた指針類を判断の基礎として具体的に運用し、最新知見に基づき安全審査を行っている。

指針類は、立地に関する指針、設計に関する指針、安全評価に関する指針及び線量目標値に関する指針の4つに大別される。設計に関する指針である「発電用軽水型原子炉施設における安全設計審査指針」[IV2-1]（以下「安全設計審査指針」という。）は、原子力発電所の基本設計における要求事項を規定している。この中で自然現象に対する設計上の考慮として、原子炉施設の安全機能を有する構築物、系統及び機器は、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること、地震以外の想定される自然現象（洪水・津波等）によって原子炉施設の安全性が損なわれない設計であることが要求されている。

さらに、ダムの崩壊などの外部人為事象、火災等に対する安全設計上の要求事項も規定されている。

このうち、地震と津波に関しては、安全設計審査指針を補完する「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」[IV2-2]（最新のものは平成18年9月原子力安全委員会決定。以下「耐震設計審査指針」という。）において、設計方針の妥当性について判断する際の基礎が示されている。

その基本方針として、「耐震設計上重要な施設は、敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から施設の供用期間中に極めてまれにはあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動による地震力に対して、その安全機能が損なわれないように設計されなければならない」ことを要求している。さらに、基準地震動  $S_s$  の設定にお

いては、その策定過程に伴う不確かさ（ばらつき）を適切に考慮すること、超過確率を参照することなどを求めている。

また、地震随件事象の津波に関しては、「施設の供用期間中に極めてまれであるが発生する可能性がある」と想定することが適切な津波によっても、施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがないこと」としている。なお、この指針の解説においては、「施設の設計に当たっては、策定された地震動を上回る地震動が施設に及ぶことによるリスクと定義される「残余のリスク」の存在を十分認識しつつ、それを合理的に実行可能な限り小さくするための努力が支払われるべきである」としている。

原子力安全委員会は、この指針の決定を踏まえて行政庁から事業者へ耐震バックチェックを求めること、その際、「残余のリスク」について定量的な評価を実施すること、評価に際しては確率論的安全評価（以下「PSA」という。）を積極的に取り入れることを求め、その結果を確認することが望ましいとした。この要請を受け、原子力安全・保安院は、「「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う既設発電用原子炉施設等の耐震安全性の評価等の実施について」[IV2-3]において、事業者に対して耐震バックチェックの実施及び「残余のリスク」の評価を求めた。

## （２）安全審査における設計基準事象

### ① 安全審査における設計基準事象の設定

Ⅱ章に記述したとおり、安全評価指針において、原子炉施設の安全設計とその評価に当たって考慮すべき事象が抽出されており、これらを設計基準事象としている。

今回の事故に関連する外部電源喪失、全交流電源喪失及び最終的な熱の逃がし場（以下「最終ヒートシンク」という。）へ熱を輸送する系統に関する設計基準事象は次のとおりである。

安全評価指針では、外部電源喪失は、運転時の異常な過渡変化の一つとして取り上げ、対応する安全設備の適切性の確認を行うこととしている。しかし、安全設計審査指針では、全交流電源喪失について、設計基準事象として要求していない。これは、交流電源として非常用電源系を高い信頼性を備えた設計とするよう要求していることによる。具体的には、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」[IV2-4]（平成2年8月原子力安全委員会決定。以下「重要度分類指針」という。）において、非常用電源系を重要度の特に高い安全機能を有する系統に分類し、安全設計審査指針の指針9（信

頼性に関する設計上の考慮)、指針48(電気系統)などにおいて、多重性又は多様性及び独立性を備えた設計による高い信頼性を要求している。また、前述のとおり、耐震設計審査指針において、地震時に機能喪失しないことを求めている。このような前提を踏まえ、安全設計審査指針の指針27(電源喪失に対する設計上の考慮)では、「原子炉施設は、短期間の全交流動力電源喪失に対して、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」としているが、同指針27の解説においては、「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ない」こと、また、「非常用交流電源設備の信頼度が系統構成又は運用により十分高い場合においては、設計上全交流電源喪失を想定しなくてよい」としている。このため、事業者は、非常用ディーゼル発電機(以下「非常用DG」という。)を独立2系統設置し、仮に非常用DGが1台故障した場合には他方の1台を起動することとし、故障が長時間に及んだ場合には原子炉を停止することとしている。

また、全ての海水冷却系の機能が喪失する事象は、設計基準事象として要求していない。これは、非常用電源系と同様に、重要度分類指針において、海水ポンプを、重要度の特に高い安全機能を有する系統に分類し、安全設計審査指針の指針9(信頼性に関する設計上の考慮)、指針26(最終的な熱の逃がし場へ熱を輸送する系統)などにおいて、多重性又は多様性及び独立性を備えた設計による高い信頼性を要求するとともに、耐震設計審査指針において、地震時に機能喪失しないことを求めているためである。

水素爆発については、設計基準事象としては、事故事象として、原子炉冷却材喪失時の原子炉格納容器(以下「PCV」という。)内の可燃性ガスの発生が想定されている。これに対応するため、安全設計審査指針の指針33(格納施設雰囲気制御する系統)に基づき、PCV内の水素燃焼を防止する可燃性ガス濃度制御系(以下「FCS」という。)を設置している。また、PCV内を不活性な雰囲気保つことで、水素燃焼が発生する可能性をさらに低減させている。これらは、PCVの健全性確保の観点からPCV内での水素燃焼を防止することが目的であり、原子炉建屋内での水素燃焼防止を目的としていない。

## ② 福島原子力発電所の設計基準事象に対する安全設計

福島原子力発電所における、今回の事故に関連する外部電源、非常用電源系及び冷却機能等の設計基準事象に対する安全設計は次のと

おり。

外部電源は、2回線以上の送電線により電力系統に接続された設計としている。外部電源喪失に対応する非常用電源は、非常用DGが多重性及び独立性をもって設置されている。さらに、短時間の全交流電源喪失に対応するため、非常用直流電源（蓄電池）が設置され、多重性及び独立性をもっている。

また、復水器による冷却ができない場合の炉心の冷却を高圧の状態で行う設備として、福島第一原子力発電所1号機には非常用復水器<sup>1</sup>（以下「IC」という。）と高圧注水系（以下「HPCI」という。）が、福島第一原子力発電所2号機及び3号機には高圧注水系（HPCI）と原子炉隔離時冷却系<sup>2</sup>（以下「RCIC」という。）が設置されている。低圧の状態では炉心冷却を行う設備としては、福島第一原子力発電所1号機には炉心スプレイ系（以下「CS」という。）と原子炉停止時冷却系（以下「SHC」という。）、福島第一原子力発電所2号機及び3号機には残留熱除去系（以下「RHR」という。）と低圧注水系としてCSが設置されている。

さらに、原子炉圧力容器（以下「RPV」という。）につながる主蒸気管には原子炉蒸気を圧力抑制室（以下「S/C」という。）に排出する主蒸気逃がし安全弁（以下「SRV」という。）及び原子炉蒸気をPCVのドライウェル（以下「D/W」という。）に排出する安全弁が設置されている。SRVは自動減圧装置の機能を有している。これらの安全設備の比較を表IV-2-1に、系統構成図を図IV-2-1から図IV-2-7に示す。

また、最終ヒートシンクについては、図IV-2-8、図IV-2-9に示すように、福島第一原子力発電所1号機はSHC、2号機及び3号機はRHRにある熱交換器で、海水冷却系により供給される海水を利用して冷却される。

水素爆発に関しては、PCV内を窒素雰囲気と保つこととし、PCV内の水素燃焼を防止するため、FCSを設置している。

### （3）シビアアクシデント対策

---

<sup>1</sup> 外部電源喪失時等で、原子炉圧力容器が隔離されたとき（主復水器により原子炉の冷却ができないとき）に、原子炉圧力容器の冷却のため、原子炉圧力容器内の蒸気を凝縮し、その凝縮水を自然循環（ポンプ駆動は不要）により原子炉圧力容器へ戻す機能を有する設備である。非常用復水器（IC）では、伝熱管内に導かれた蒸気を、復水器内（胴側）に貯えられた水で冷却する構造となっている。

<sup>2</sup> 外部電源喪失等で、原子炉圧力容器が給復水系から隔離された場合に、炉心の冷却を行う系統。水源としては、復水貯蔵タンク、圧力抑制室の水のいずれも使用できる。ポンプの駆動装置は原子炉蒸気の一部を利用するタービンである。

① シビアアクシデント対策の位置付け

a シビアアクシデント対策の検討

シビアアクシデント<sup>3</sup>については、原子力発電所の安全性を確率論的に評価した「原子炉安全研究」報告書（WASH-1400）[IV2-5]が1975年に米国で公表されて以来注目されるようになった。

シビアアクシデントは、原子炉施設を設計する際に基準となる事象（設計基準事象）をさらに超える事象として、多重防護の第4層において考慮されるものであり、IAEAの基本安全原則（Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants 75-INSAG-3 Rev.1 INSAG-12(1999)）[IV2-6]においてもそのように位置付けられている。ここで、多重防護とは一般に、異常の発生防止（第1層）、異常の事故への拡大防止（第2層）、事故の影響緩和（第3層）のそれぞれの層で余裕を持たせた設計とすること等を通じ、安全対策を多層的なものとして構成することをいう。設計基準事象は通常は第3層までの安全対策を設定するための事象である。その外側の第4層の取り組みに当たるシビアアクシデント対策は、シビアアクシデントへの拡大防止及びそれによる影響を緩和するために、補完的な手段を用意して、さらに、現にある設備の有効活用や、手順に基づく措置を中心とした対策を講ずることである。これによって、事象がさらに悪い方向に進むことを防ぎ、放射性物質を閉じ込める機能を守る取り組み、すなわちシビアアクシデントを管理する取り組みを行うことである。

一方、我が国では、原子力安全委員会が、1986年に旧ソ連においてチェルノブイリ事故が発生したことから、シビアアクシデント対策を検討するため、1987年7月に同委員会原子炉安全基準専門部会の下に共通問題懇談会を設けた。同懇談会では、シビアアクシデントの考え方、PSA手法、シビアアクシデントに対するPCVの機能維持等について検討を行い、1992年3月に「シビアアクシデント対策としてのアクシデントマネージメントに関する検討報告書—格納容器対策を中心として—」[IV2-7]をとりまとめた。

同報告書は、「設計基準事象に対応した安全確保活動を通じて原子炉施設の安全は十分確保され、原子炉施設による周辺公衆に対する放射線被ばくのリスクは十分低くなっているものとした上で、万

---

<sup>3</sup> 設計基準事象を大幅に超える事象であって、安全設計の評価上想定された手段では適切な炉心の冷却または反応度の制御ができない状態であり、その結果、炉心の重大な損傷に至る事象。

一原子力施設にシビアアクシデントに至るおそれのある事象、あるいはシビアアクシデントが発生した場合でも、PSAに基づいて摘出された適切なアクシデントマネジメント<sup>4</sup>が行われるものとするれば、シビアアクシデントに至る可能性はさらに減少し、あるいはシビアアクシデントによる公衆への影響を緩和できるため、リスクは一層小さいものとなる」としている。

これを受け、原子力安全委員会は、1992年5月に「発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策としてのアクシデントマネジメントについて」[IV2-8]（以下「アクシデントマネジメント指針」という。）を決定した。同決定に基づき、事業者の自主的な措置（法令要件外）として、事故のシビアアクシデントへの拡大防止対策（フェーズⅠ）及びシビアアクシデントに至った場合の影響緩和対策（フェーズⅡ）の整備が進められている。

通商産業省（当時）は、このアクシデントマネジメント指針に基づき、1992年7月に「アクシデントマネジメントの今後の進め方について」[IV2-9]を発出し、事業者に対して、軽水型原子力発電所の原子炉施設毎にPSAを実施すること、これに基づくアクシデントマネジメントの整備を実施すること、及びそれらの結果を報告することを要請し、報告を受けた時は内容の確認を行うこととした。

その後、原子力安全・保安部会基本政策小委員会において、我が国の規制全般についての検討を行い、「原子力安全規制に関する課題の整理」[IV2-10]を2010年にとりまとめている。同報告書において、一部の国で新規設計炉に対してシビアアクシデント対策を規制上の要件とするなどの国際動向を踏まえ、シビアアクシデント対応の安全規制における取扱いに関し、規制制度の中の位置付けや法令上の取扱い等について検討することが適当であるとした。これを受け、原子力安全・保安院では、シビアアクシデントについての今後の対応について検討を進めていたところであった。

## b リスク情報の活用等

PSAの活用については、原子力安全委員会で定期安全レビュー<sup>5</sup>

<sup>4</sup> 設計基準事象を超え、炉心が大きく損傷するおそれのある事態が万一発生したとしても、現在の設計に含まれる安全余裕や安全設計上想定した本来の機能以外にも期待し得る機能又はそうした事態に備えて新規に設置した機器等を有効に活用することによって、それがシビアアクシデントに拡大するのを防止するため、若しくはシビアアクシデントに拡大した場合にもその影響を緩和するために採られる措置。

<sup>5</sup> 既設原子力発電プラントの安全性等の向上を目的として、約10年毎に最新の技術的知見に基づき原子力発電所の安全性等を総合的に再評価すること。具体的には、運転経験の包括的な評価、最新の技術的知見の反映、高経年化技



(以下「PSR」という。)に関する検討が開始され、1993年にPSAの実施を含むPSRの基本方針が策定された。

この方針では、PSAは、原子力発電所で発生する可能性がある異常事象を広範囲に想定して原子力発電所の安全性を包括的かつ定量的に評価し把握できるため、現状の安全性を一層向上させるため有効な手法であるとして、PSRの取組の一部として実施することが要請された。その結果、1994年以降、通商産業省(当時)は、PSRを実施するよう事業者に要請し、PSAを含む事業者の評価結果を原子力安全委員会に報告してきた。

その後、PSRは2003年には高経年化対策の一環として法令要求とされたが、PSAは、引き続き事業者が任意に行うものという位置付けのままとされた。その際にPSRの評価結果は原子力安全・保安院が保安検査で確認することとなり、原子力安全委員会への報告はなくなった。一方で、事業者は、PSAを活用し、シビアアクシデント対策の整備を進めてきた。

我が国のPSAについては、内的事象に関するPSAに関する民間規格が整備されている。一方で、外的事象では地震PSAに関する民間規格が整備されているが、外部溢水等の外的事象についてのPSAは検討が始まった段階である。

また、リスク情報の活用について、原子力安全・保安部会リスク情報活用検討会で検討を進め、2005年に「原子力安全規制への『リスク情報』活用の基本的考え方」[IV2-11]等を定めたが、一時中断していた。このため、2010年に同検討会を再開し、リスク情報活用の一層の推進方策を検討しているところであった。

一方、リスク情報の活用に関連する安全目標については、原子力安全委員会安全目標専門部会において2000年から検討が進められ、2003年に「安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ」[IV2-12]がとりまとめられた。さらに、2006年に「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について—安全目標案に対応する性能目標について—」[IV2-13]がとりまとめられた。しかし、我が国の安全目標がまとまっておらず、安全目標に基づくリスク情報の活用は進んでいなかった。

以上のように、リスク情報の活用について我が国の取り組みは諸外国の情勢と比較して十分とは言えない状況にあった。

---

術評価等、及びPSAについて再評価する。

c. 全交流電源喪失、冷却機能等に対する検討

今回の事故に関連するシビアアクシデントの実施状況は、次のとおり。

原子力安全委員会がまとめた「共通問題懇談会 中間報告」[IV2-14]（1989年2月27日 原子炉安全基準専門部会。以下「共通懇談中間報告」という。）においては、全交流電源喪失時のアクシデントマネジメントとして、直流電源（蓄電池）の利用によってRCIC等により炉心冷却を図ること、外部電源又は非常用DGの復旧、可搬式ディーゼル発電機又は蓄電池の持ち込み、隣接するプラントの非常用DGからの電源融通等の努力が取り上げられ、これらが行われるようにしておけば、炉心損傷に至る前に事故が収束できる可能性が高いとされた。

さらに、RHRが機能喪失した場合については、原子炉の減圧に伴ってPCVの内圧、温度も上昇することから、PCVの破損を防止するため、PCVの減圧を行う耐圧強化ベント（以下「PCVベント」という。）を行うための設備等を設置するとともに、各設備に関する手順書を定めることが考えられるとされた。

アクシデントマネジメント指針は、BWRプラントのフェーズⅠ（炉心損傷防止）のアクシデントマネジメントとして消火系による原子炉への代替注水とPCVベントを示している。また、当該指針では、「PCV内の注水等の対策と組み合わせて設置するフィルター機能を有するPCVベント設備はフェーズⅡ（炉心損傷後）のアクシデントマネジメントの有効な対策となり得る」としている。さらにPCV内への注水は、BWRプラントのフェーズⅠ（炉心損傷防止）及びフェーズⅡ（炉心損傷後）のアクシデントマネジメントとされている。その根拠となるPSAでは、PCV内への代替注水がPCV雰囲気気の加温・加圧の抑制、デブリコンクリート反応<sup>6</sup>及び溶融物シェルアタック<sup>7</sup>を防止すると評価されている。

② 東京電力のアクシデントマネジメント整備状況

東京電力は、1994年3月に「アクシデントマネジメント検討報告

<sup>6</sup> 炉心溶融物が原子炉圧力容器下部を貫通して落下した場合に、床面のコンクリートを熱分解するとともに、コンクリート成分を巻き込んで侵食する。

<sup>7</sup> 炉心溶融物が原子炉圧力容器下部を貫通して落下した場合に、圧力容器下部のキャビティ領域に落下して拡がり、その後、ペDESTAL開口部からデブリはドライウェル床に拡がった後、格納容器の壁を破損する現象

書」[IV2-15]をとりまとめ、これに基づきアクシデントマネジメントの整備を行うとともに、手順書、教育等の運用面についても整備を行ってきた。2002年5月には整備状況を取りまとめた「アクシデントマネジメント整備報告書」[IV2-16]を経済産業省に提出した。

東京電力は、原子炉停止機能、原子炉及びPCVへの注水機能、PCVからの除熱機能並びに安全機能のサポート機能に対してアクシデントマネジメントを整備している。その主なアクシデントマネジメントについて表IV-2-2に示す。また、1号機から3号機の各号機のアクシデントマネジメント設備の系統構成を図IV-2-10から図IV-2-17に示す。

東京電力は、福島原子力発電所の代替注水については、復水貯蔵タンクを水源とし復水補給水系から原子炉へ注水するライン、ろ過水タンクを水源とし消火系から復水補給水系を経由して原子炉へ注水するラインを整備し、そのための「事故時運転操作手順書（シビアアクシデント）」（以下「過酷事故操作手順書」という。）を定めている。

さらに、東京電力は、3号機には、図IV-2-12に示すように、残留熱除去海水系（RHRS）から原子炉へ海水を注水するための切り替え設備を設置し、当該設備の切り替え操作等について手順書を定めている。なお、1号機及び2号機は、原子炉建屋内に海水系統が引き込まれていないことから、同様の設備はない。

東京電力は、シビアアクシデント時のPCVベントの設備としては、図IV-2-13、図IV-2-14に示すように、S/C及びD/Wから排気筒に至るベント配管を1999年から2001年に新たに設置した。当該設備は、圧力が高い場合でもPCVベントができるよう、非常用ガス処理系（以下「SGTS」という。）をバイパスして設置されている。また、誤動作を防ぐ観点から、ラプチャーディスクを備えている。

シビアアクシデント時のPCVベント操作について、過酷事故操作手順書では、S/CからのPCVベント（以下「ウェットベント」という。）を優先的に操作することとし、炉心損傷前にあつてはPCVの圧力が最高使用圧力到達時、炉心損傷後にあつては最高使用圧力の約2倍に到達すると予測される場合であつてRHRの復旧の見通しが無い場合、外部水源総注水量がS/C内ベントライン水没レベル以下の場合にウェットベント操作を行うこと、また、S/Cのベントラインが水没した場合はD/WからのPCVベント（以下「ドライベント」という。）操作を行うこと等、PCVベント条件及び操作を定めている。炉心損傷後のPCVベント操作実施の判断は、緊急時対策本部長が行うと定めている。

PCV からの除熱機能に係るアクシデントマネジメントとしては、他に図IV-2-15、図IV-2-16 に示す PCV スプレイ (D/W 及び S/C) への代替注水機能 (以下「代替スプレイ機能」という) を整備している。PCV スプレイ (D/W 及び S/C) は、安全設計審査指針の指針 32 (原子炉格納容器除熱系) に基づき、原子炉冷却材喪失時に PCV 内に放出されるエネルギーによって生じる圧力、温度を低下させるために設置している。過酷事故操作手順書には、このラインを用いての RHR からの注水、復水補給水系及び消火系からの注水、及び注水停止基準等について定めている。

電源の融通設備については、図IV-2-17 に示すように、隣接原子炉施設間 (1-2 号機、3-4 号機、5-6 号機) で動力用の交流電源 (6.9kV) 及び低圧の交流電源 (480V) について電源が融通できるよう設備を設置し、当該設備に関する手順書を定めている。

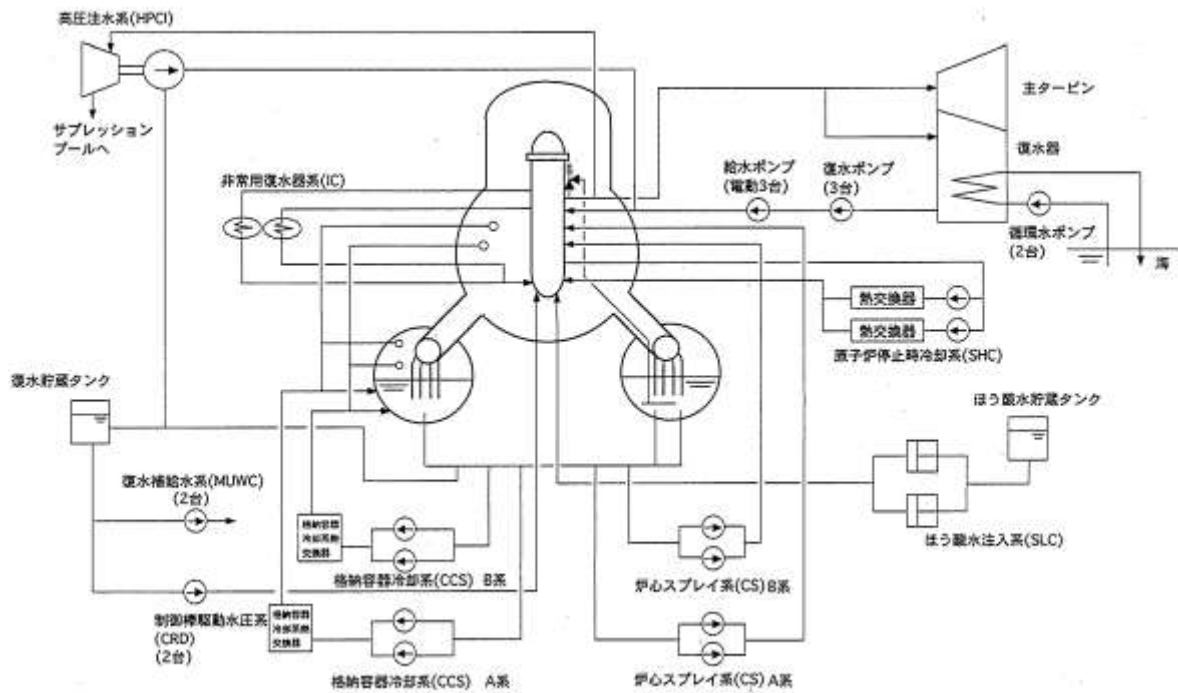
非常用 DG の復旧については、故障の認知、故障箇所同定の同定、保修要員による故障機器の復旧作業について、手順書を定めている。

表IV-2-1 工学的安全設備及び原子炉補助設備の比較

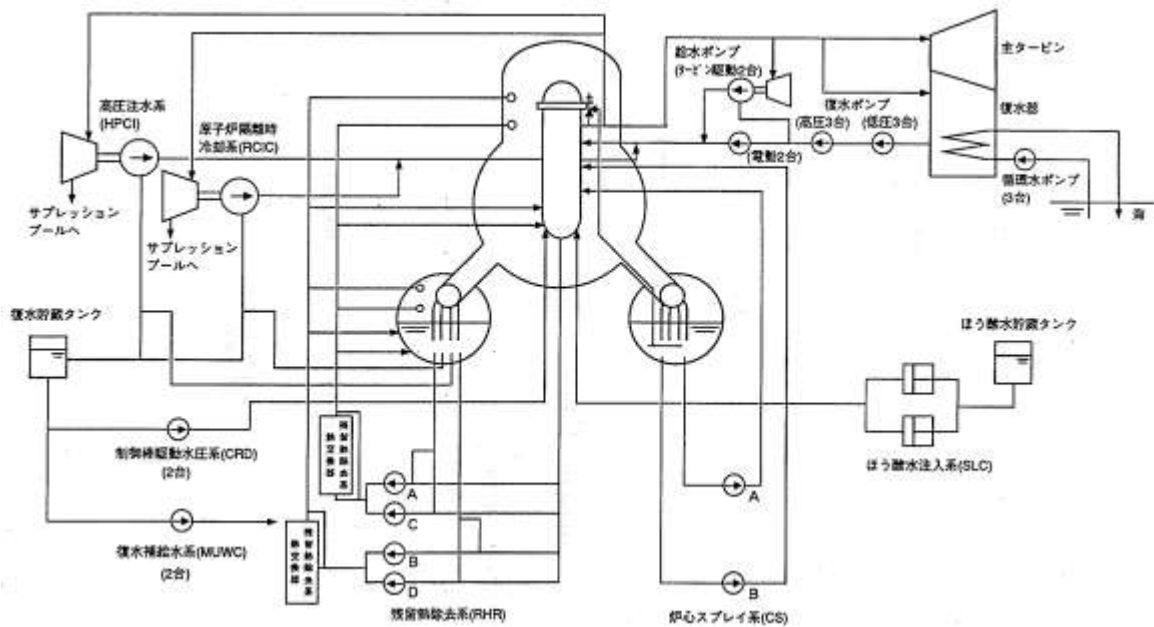
福島第一原子力発電所		1号機	2号機	3号機		
炉心スプレイ系 (CS)	系統数	2	2	2		
	流量(T/hr/系統)	550	1020	1141		
	ポンプ数(/系統)	2	1	1		
	ポンプ吐出圧力 (kg/cm <sup>2</sup> g)	20	35.2	35.2		
格納容器冷却系 (CCS)	系統数	2	2	2		
	設計流量(T/hr/系統)	705	2960	2600		
	ポンプ数(/系統)	2	2	2		
高压注水系 (HPCI)	系統数	1	1	1		
	流量(T/hr)	682	965	965		
	ポンプ数	1	1	1		
低压注水系 (LPCI)	系統数	/	2	2		
	流量(T/hr/ポンプ)		1750	1820		
	ポンプ数(/系統)		2	2		
残留熱除去系 (RHR)	ポンプ	/				
	台数		4	4		
	流量(t/h)		1750	1820		
	全揚程(m)		128	128		
	海水ポンプ					
	台数		4	4		
	流量(m <sup>3</sup> /h)		978	978		
	全揚程(m)		232	232		
	熱交換器					
	基数		2	2		
伝熱容量(kcal/h)		7.76E+06	7.76E+06			
原子炉停止時冷却系 (SHC)	ポンプ	/	/	/		
	台数				2	
	流量(m <sup>3</sup> /h/台)				465.5	
	揚程(m)				45.7	
	熱交換器					
	基数				2	
熱交換能力(kcal/h)	3.8E+06					
原子炉隔離時冷却系 (RCIC)	蒸気タービン	/	/	/		
	台数				1	1
	原子炉圧力(kg/cm <sup>2</sup> g)				79-10.6	79-10.6
	出力(HP)				500-80	500-80
	回転数(rpm)				5000-2000	4500-2000
	ポンプ					
	台数				1	1
	流量(t/h)				95	97
	全揚程(m)				850-160	850-160
	回転数(rpm)				可変	可変
非常用復水器 (IC)	系統数	2	/	/		
	タンク有効保有水量(m <sup>3</sup> /タンク)	106				
	蒸気流量(T/hr/タンク)	100.6				
非常用ガス処理系 (SGTS)	系統数	2	2	2		
	送風機数(/系統)	1	1	1		
	排風容量(m <sup>3</sup> /hr/台)	1870	2700	2700		
	系統ヨウ素除去効率(%)	≥97	≥99.9	≥99.9		
安全弁	個数	3	3	3		
	全容量(T/hr)	900	900	900		
	吹き出し圧力(kg/cm <sup>2</sup> g)	86.8(2個) 87.9(1個)	87.2	87.2		
	吹き出し場所	ドライウエル	ドライウエル	ドライウエル		
主蒸気逃がし安全弁	個数	4	8	8		
	全容量(T/hr)	1090	2900	2900		
	吹き出し圧力 (逃がし弁機能)	74.2kg/cm <sup>2</sup> g(1個)	75.9kg/cm <sup>2</sup> g(1個)	75.9kg/cm <sup>2</sup> g(1個)		
		74.9kg/cm <sup>2</sup> g(2個)	76.6kg/cm <sup>2</sup> g(3個)	76.6kg/cm <sup>2</sup> g(3個)		
		75.6kg/cm <sup>2</sup> g(1個)	77.3kg/cm <sup>2</sup> g(4個)	77.3kg/cm <sup>2</sup> g(4個)		
	吹き出し圧力 (安全弁機能)	78.0kg/cm <sup>2</sup> g(2個)	78.0kg/cm <sup>2</sup> g(2個)			
		78.7kg/cm <sup>2</sup> g(2個)	78.7kg/cm <sup>2</sup> g(3個)			
吹き出し場所		79.4kg/cm <sup>2</sup> g(3個)				
吹き出し場所	圧力抑制室	圧力抑制室	圧力抑制室			

表IV-2-2 福島第一、第二原子力発電所におけるアクシデントマネジメント対策の内容

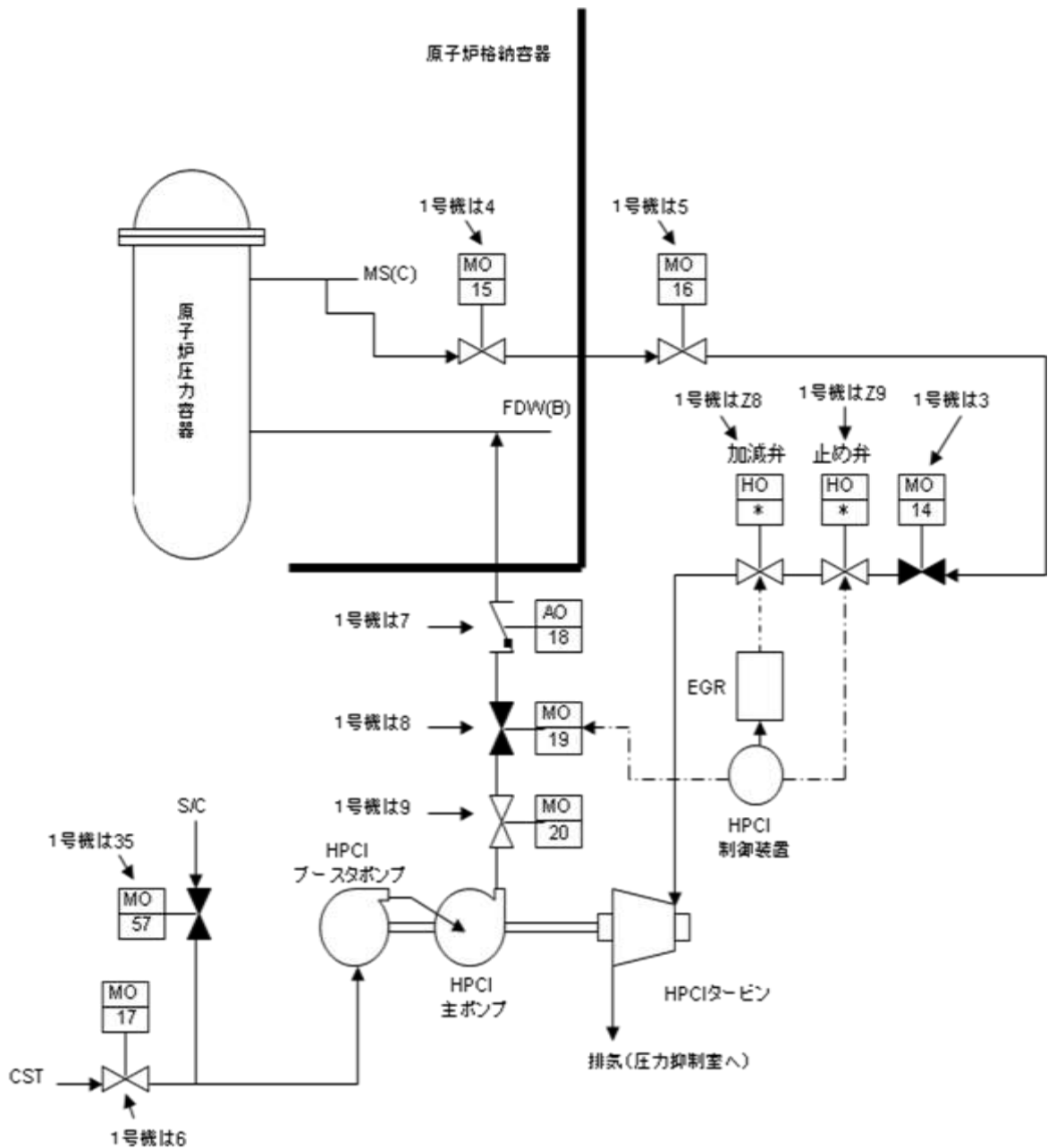
	福島第一			福島第二
	1号機 (BWR-3)	2～5号機 (BWR-4)	6号機 (BWR-5)	1～4号機 (BWR-5)
<b>1. 原子炉停止機能にかかわるアクシデントマネジメント</b>				
① <input type="checkbox"/> 循環ポンプトリップ (RPT) 原子炉緊急停止系とは別に設置した計測制御系により、再循環ポンプを自動でトリップさせ原子炉の出力を低下させるもの。	○	○	○	○
② 代替制御棒挿入 (ARI) 原子炉緊急停止系とは別に設置した計測制御系により、異常を検知し、新たに設置した弁が自動開放することにより制御棒が挿入され、原子炉を停止させるもの。	○	○	○	○
<b>2. 原子炉及び格納容器への注水機能にかかわるアクシデントマネジメント</b>				
① <input type="checkbox"/> 替注水手段 既設の復水補給水系、消火系や格納容器冷却系を有効活用する観点より、これらの系統から炉心スプレイ系等を介して原子炉等へ注水できるように配管の接続先を変更し、代替注水設備として利用するもの。	○	○	○	○
② 原子炉減圧の自動化(もともと自動化されている。ADSの信頼性向上というべき) 過渡事象時に高圧注水が十分でなく、原子炉水位のみ低下していく事象は、D/W圧力高の信号が発生せず、従来の設備では、自動減圧系が自動起動しないため、原子炉水位低の信号発生後、逃し安全弁により原子炉を自動減圧することで、このような事象でも低圧非常用炉心冷却系等による炉心への注水が可能となるようにした。	—	○	○	○
<b>3. 格納容器からの除熱機能にかかわるアクシデントマネジメント</b>				
① <input type="checkbox"/> D/Wクーラー、原子炉冷却材浄化系による代替除熱 D/Wクーラー、原子炉冷却材浄化系を手動起動し、格納容器から除熱を行うもの。手順については、事故時運転操作基準に定めた。	○	○	○	○
② 格納容器冷却系(残留熱除去系)の復旧 基本的な手順として、格納容器冷却系(残留熱除去系)の故障の認知、故障箇所の同定、保修員による故障箇所の復旧作業について、復旧手順ガイドラインに定めた。	○	○	○	○
③ 耐圧強化ベント 非常用ガス処理系を経由することなく、不活性ガス系から直接排気筒へ接続する耐圧性を強化した格納容器ベントラインを設置し、格納容器過圧防止として減圧操作の適用範囲を広げ、格納容器からの除熱機能を向上させるもの。	○	○	○	○
<b>4. 安全機能のサポート機能にかかわるアクシデントマネジメント</b>				
① <input type="checkbox"/> 源の融通 隣接原子力施設間に低圧のAC電源のタイラインを設置し、電源供給能力を向上させるもの。	○	○	○	○
② 非常用DGの復旧 基本的な手順として、非常用DGの故障の認知、故障箇所の同定、保修員による故障箇所の復旧作業について、復旧手順ガイドラインに定めた。	○	○	○	○
③ 非常用DGの専用化 非常用DG2台のうち、1台は隣り合う号機との共用化をしていたが、2、4、5号機にあらたに非常用DG1台を追設したことにより、専用化を図った。	○	○	○	○



図IV-2-1 福島第一原子力発電所 1号機 系統構成図



図IV-2-2 福島第一原子力発電所 2号機、3号機 系統構成図



※1: 通常運転時、MO-15, 16, 17, 20弁およびHO弁は「開」、MO-14, 19弁は「閉」。  
起動時14弁, 19弁「開」。

※2: MO-15弁はAC電源、電源喪失にて動作不能(as is)。

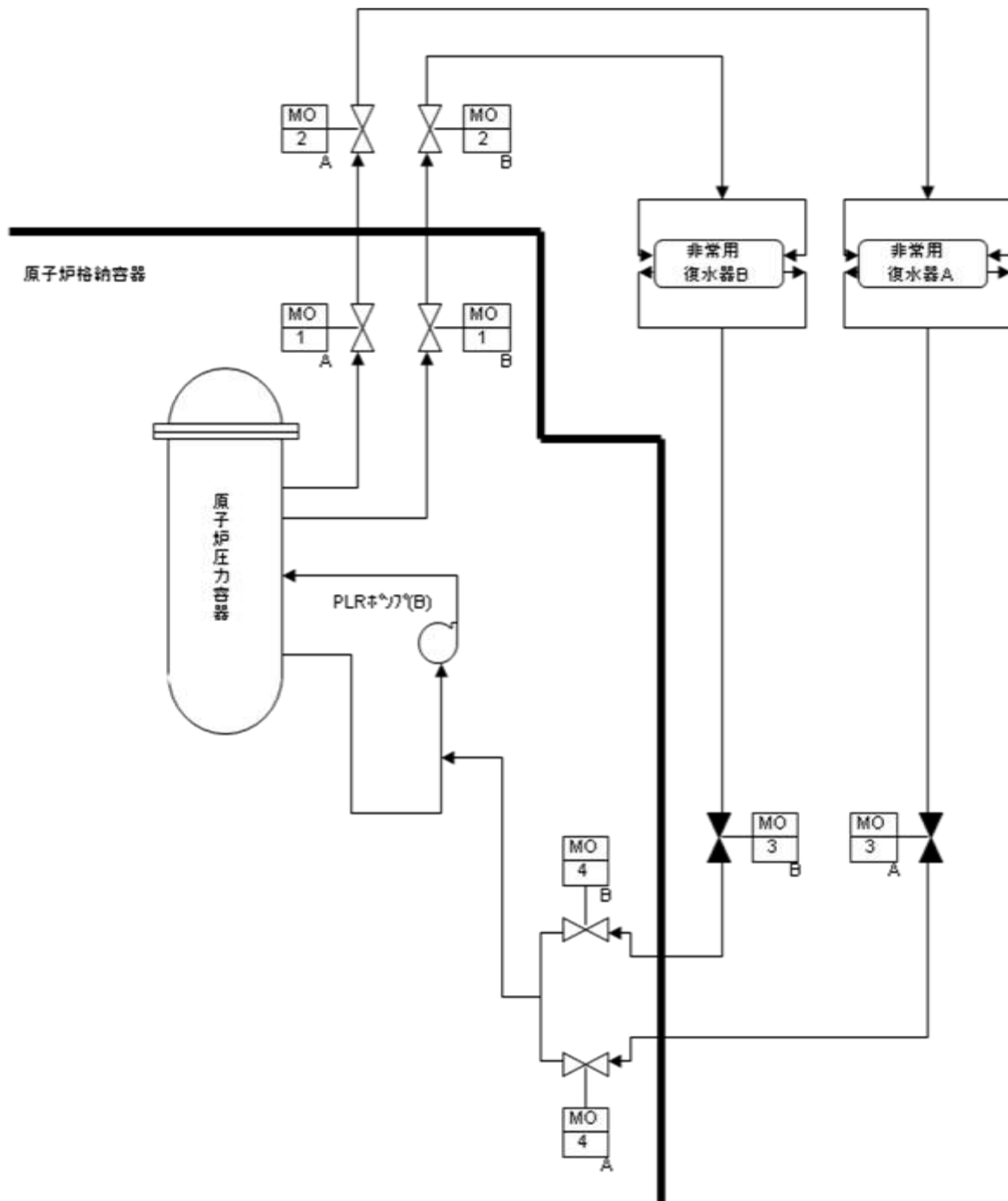
※3: MO-14, 16, 17, 19, 20弁はDC電源(隔離論理回路とは別電源)、電源喪失にて動作不能(as is)。

※4: DC電源喪失時は隔離(閉)論理回路作動。

その時、各弁駆動電源(※2, ※3に記載)が生きていれば各弁閉。既に各弁駆動電源が喪失していれば動作不能(as is)。

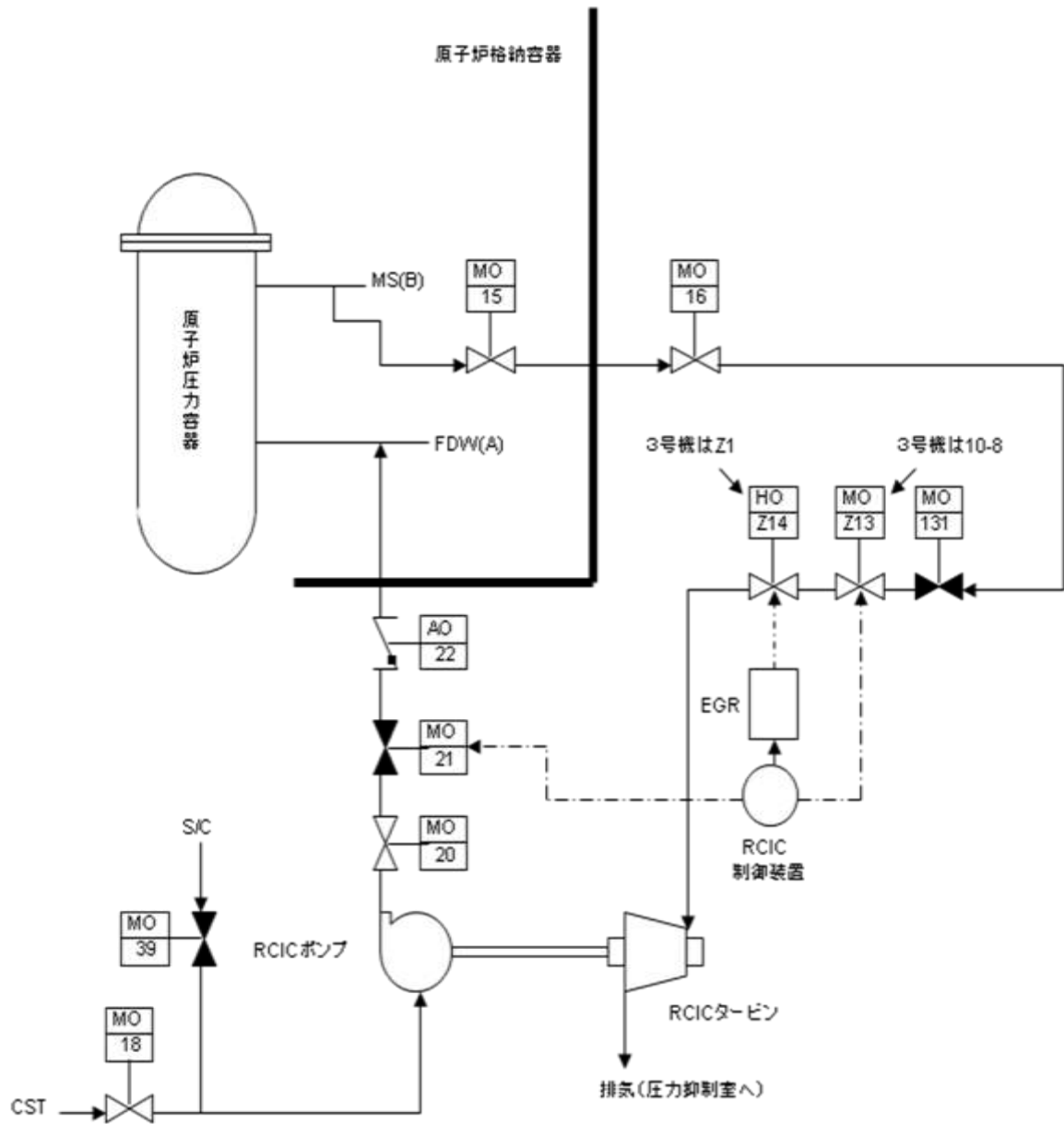
図IV-2-3 高圧注水系 系統構成図 (1 から 3 号機)





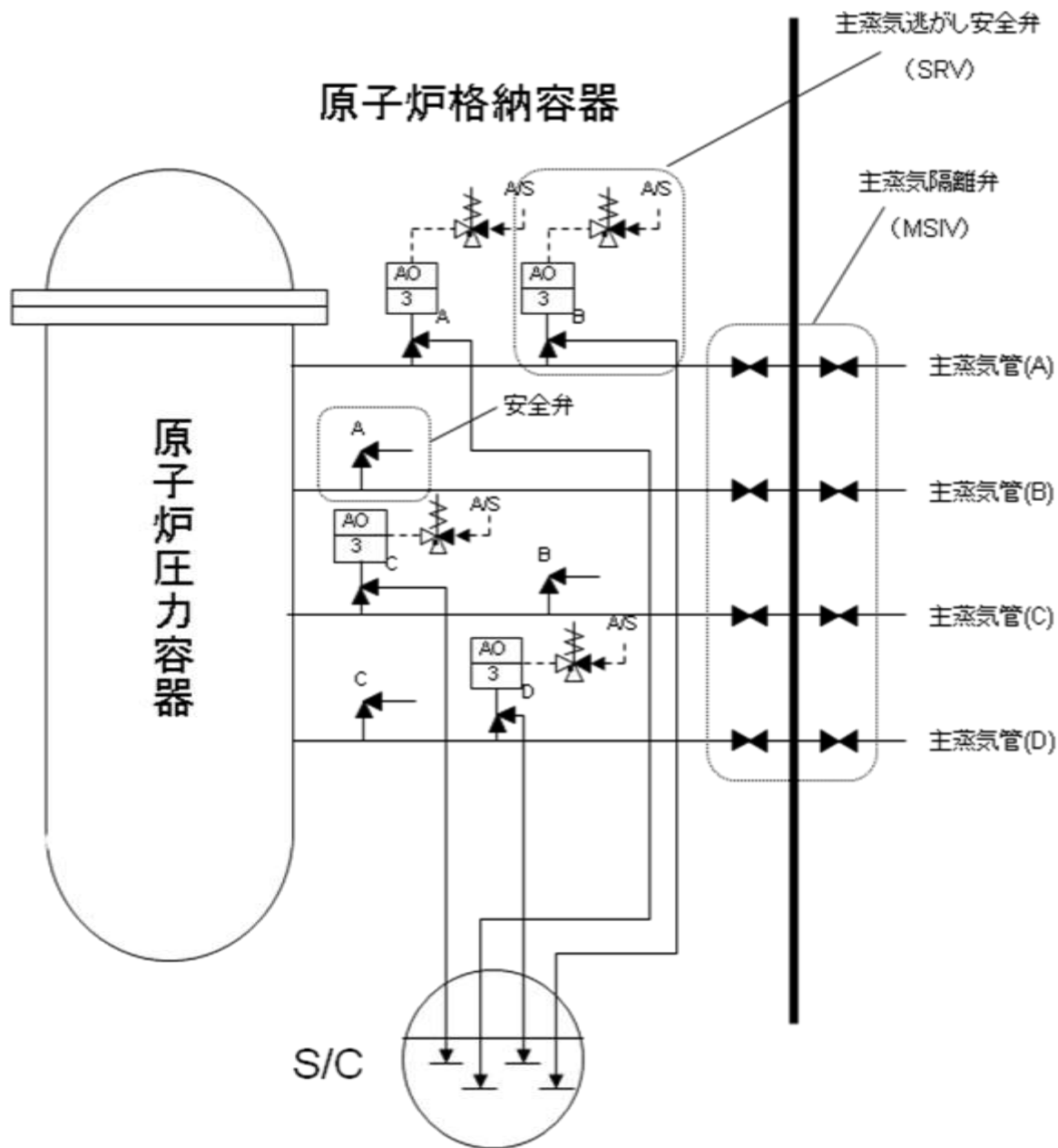
- ※1: 通常運転時(待機状態)、MO-1, 2, 4弁は「開」、MO-3弁は「閉」。起動時3弁「開」。
  - ※2: MO-1, 4弁はAC電源、電源喪失にて動作不能(as is)。
  - ※3: MO-2, 3弁はDC電源(隔離論理回路と同電源)、電源喪失にて動作不能(as is)。
  - ※4: DC電源喪失時は隔離(閉)論理回路作動。
- その時、各弁駆動電源(※2, ※3に記載)が生きていれば各弁開。既に各弁駆動電源が喪失していれば動作不能(as is)。

図IV-2-4 非常用復水器 系統構成図 (1号機)



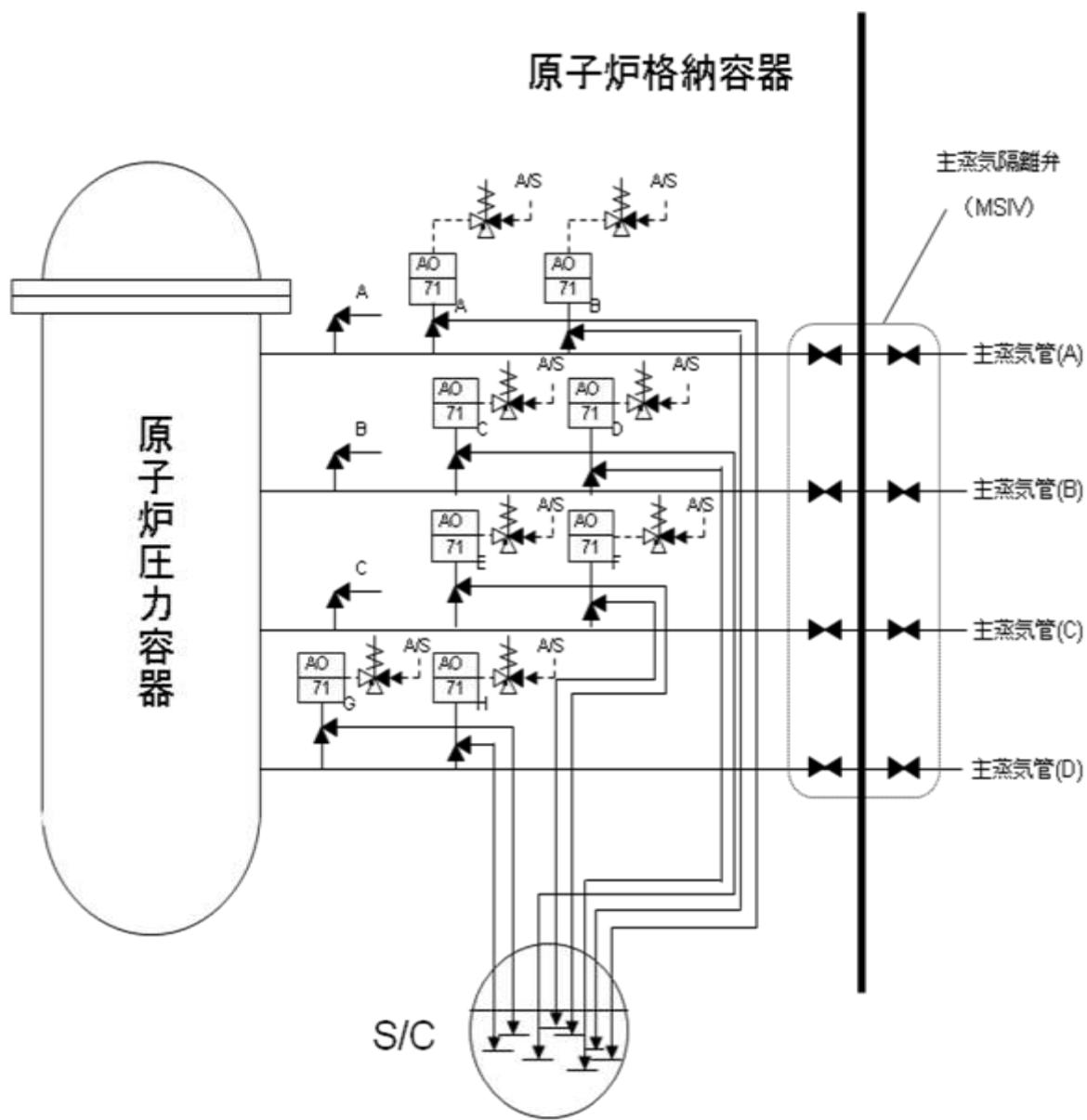
- ※1:通常運転時(待機状態)、MO-15, 16, 18, 20, Z13弁およびHO-Z14は「開」、MO-131, 21弁は「閉」。起動時131弁, 21弁「開」。
- ※2:MO-15弁はAC電源、電源喪失にて動作不能(as is)。
- ※3:MO-16, 18, 20, 21, 131弁はDC電源(隔離論理回路とは別電源)、電源喪失にて動作不能(as is)。
- ※4: DC電源喪失時は隔離(閉)論理回路作動。  
その時、各弁駆動電源(※2, ※3に記載)が生きていれば各弁開。既に各弁駆動電源が喪失していれば動作不能(as is)。

図IV-2-5 原子炉隔離時冷却系 系統構成図 (2、3号機)



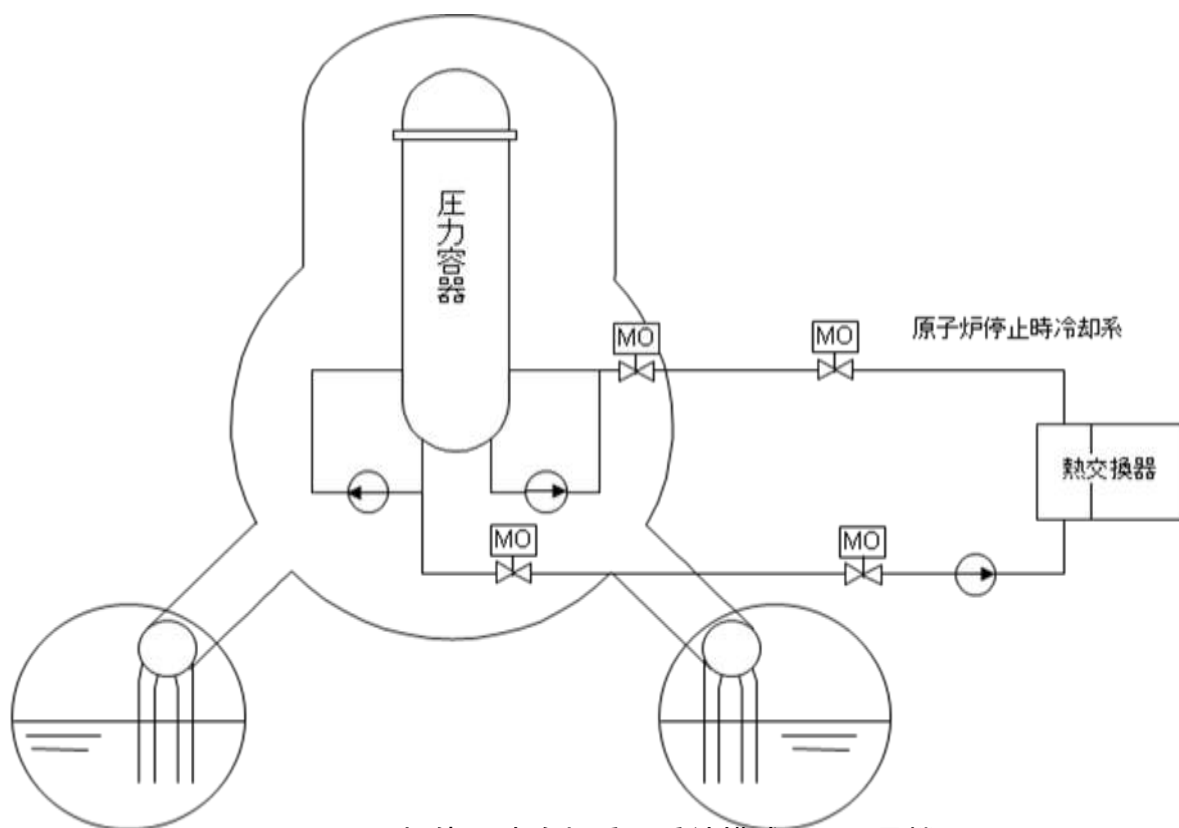
※1:主蒸気逃し安全弁(4弁)はAO弁で、開駆動空気は空気供給ラインの電磁弁が励磁することで供給される。  
 電源喪失時は電磁弁が無励磁となり、主蒸気逃し安全弁は「閉」状態となる。

図IV-2-6 主蒸気逃がし安全弁 系統構成図 (1号機)

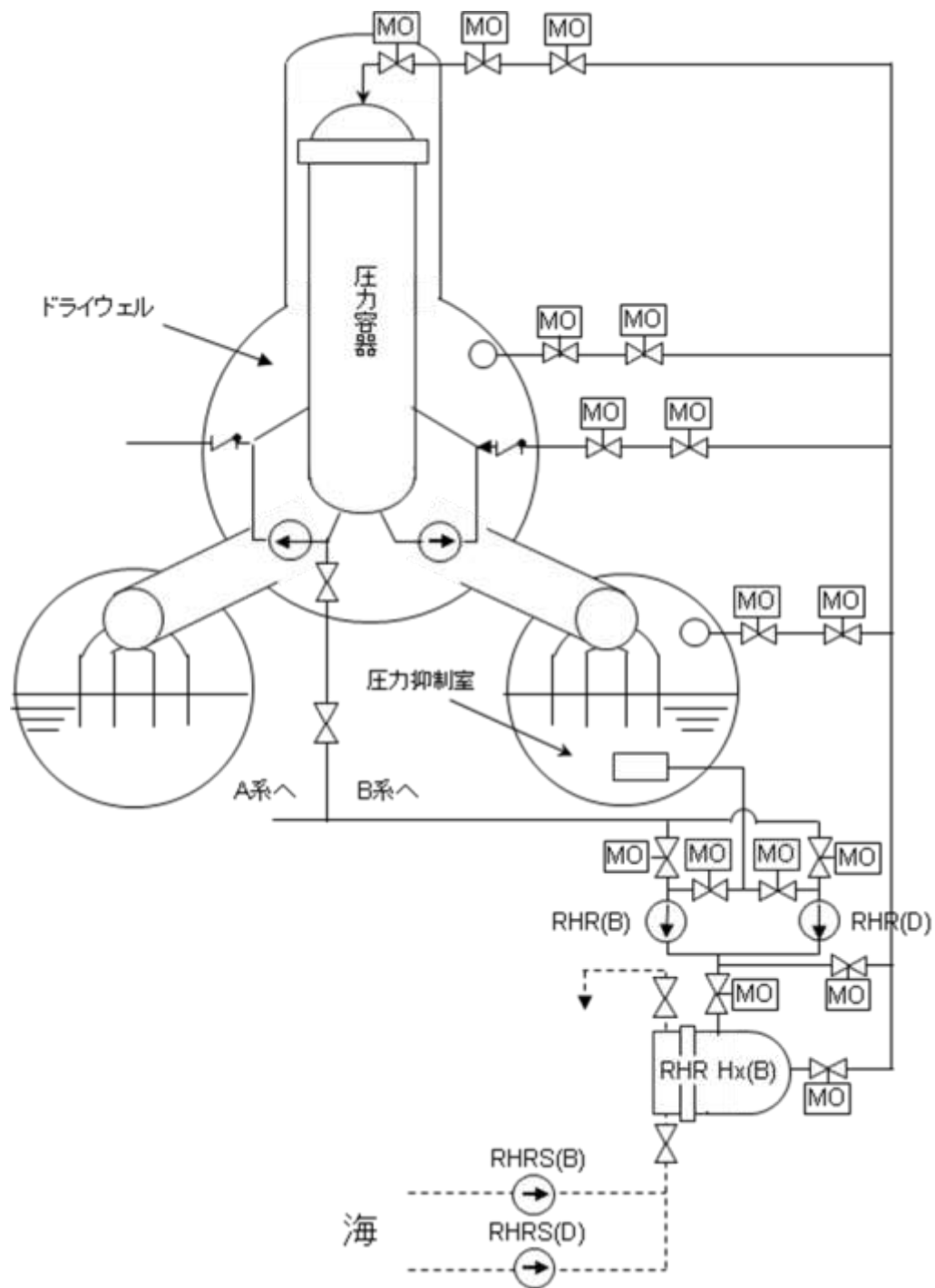


※1:主蒸気逃し安全弁(8弁)はAO弁で、開駆動空気は空気供給ラインの電磁弁が励磁することで供給される。  
電源喪失時は電磁弁が無励磁となり、主蒸気逃し安全弁は「閉」状態となる。

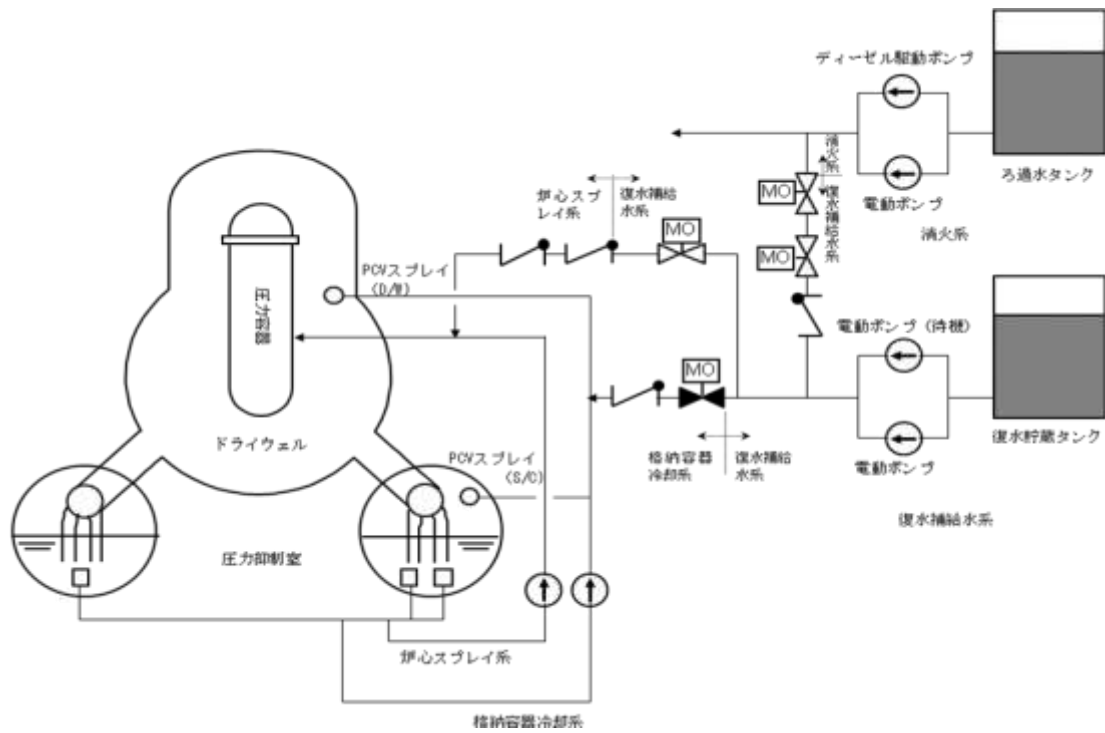
図IV-2-7 主蒸気逃がし安全弁 系統構成図 (2、3号機)



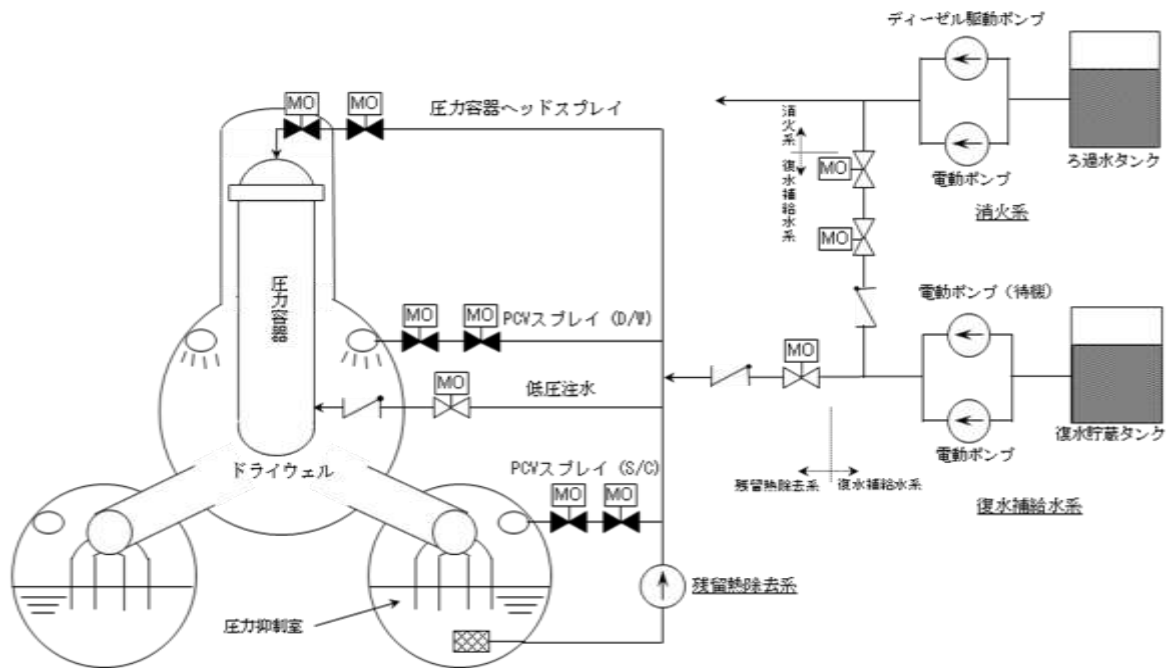
图IV-2-8 原子炉停止時冷却系 系統構成图 (1号機)



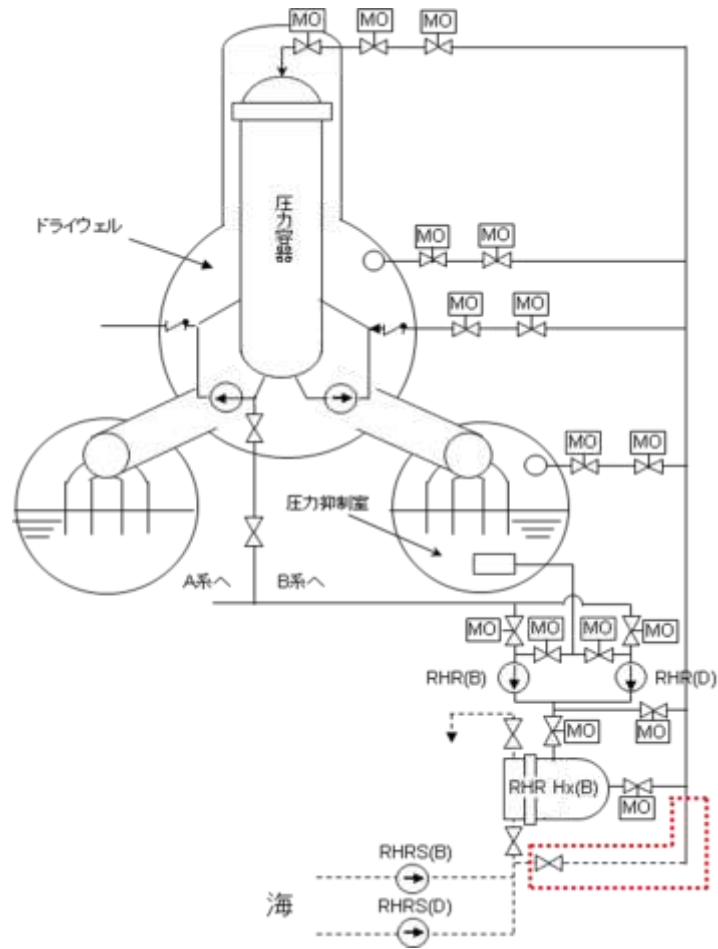
図IV-2-9 残留熱除去系 系統構成図 (2、3号機)



図IV-2-10 代替注水設備（淡水）の設備概要（1号機）

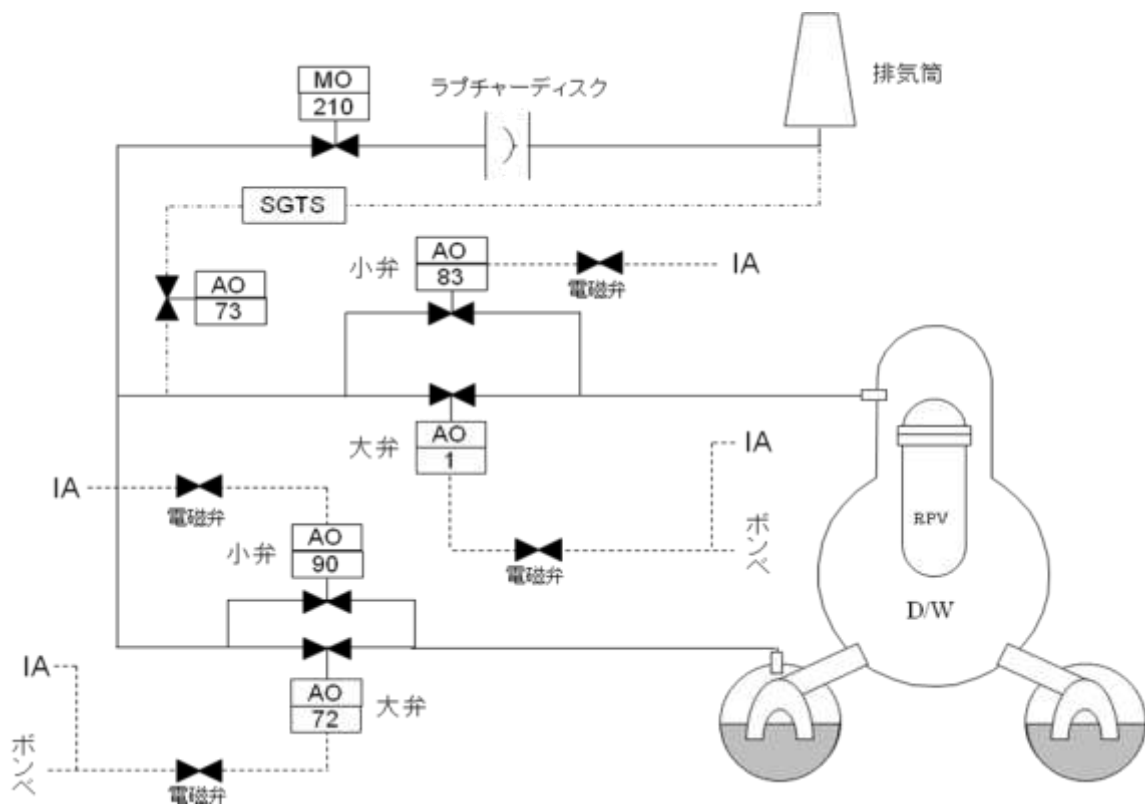


図IV-2-11 代替注水設備（淡水）の設備概要（2、3号機）

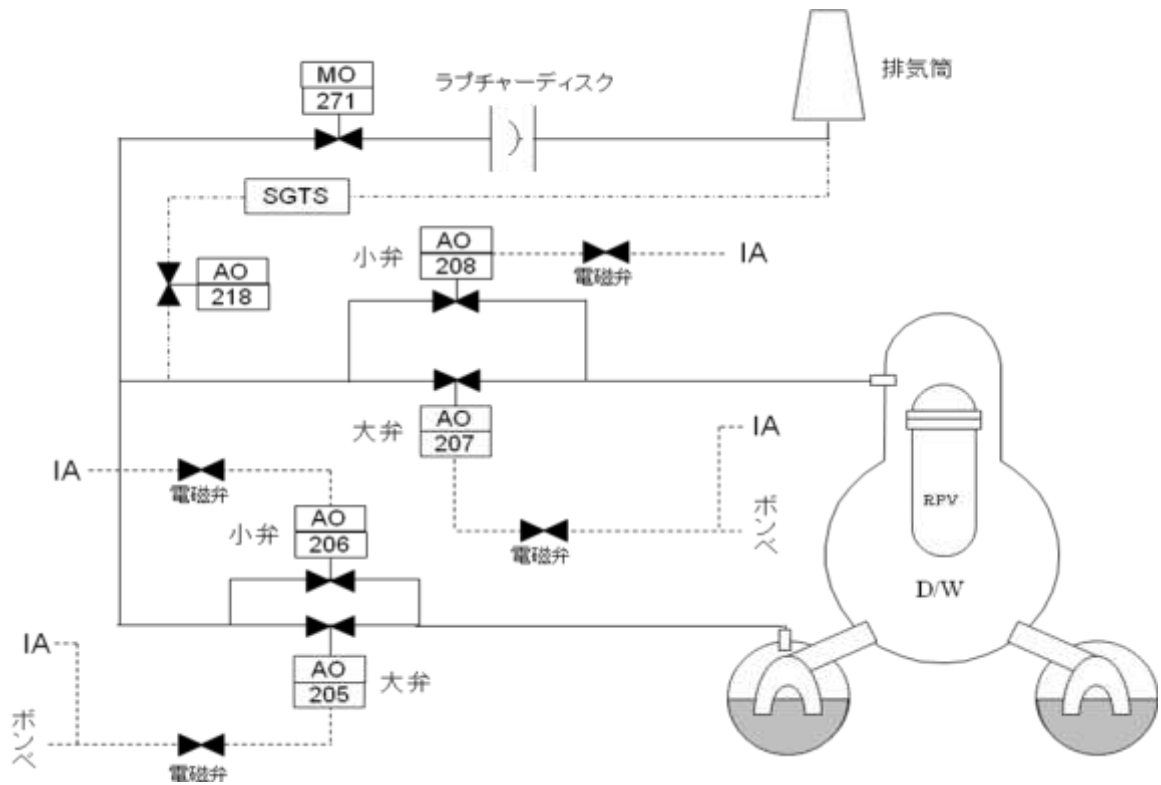


図IV-2-12 代替注水設備（海水）の設備概要（3号機）

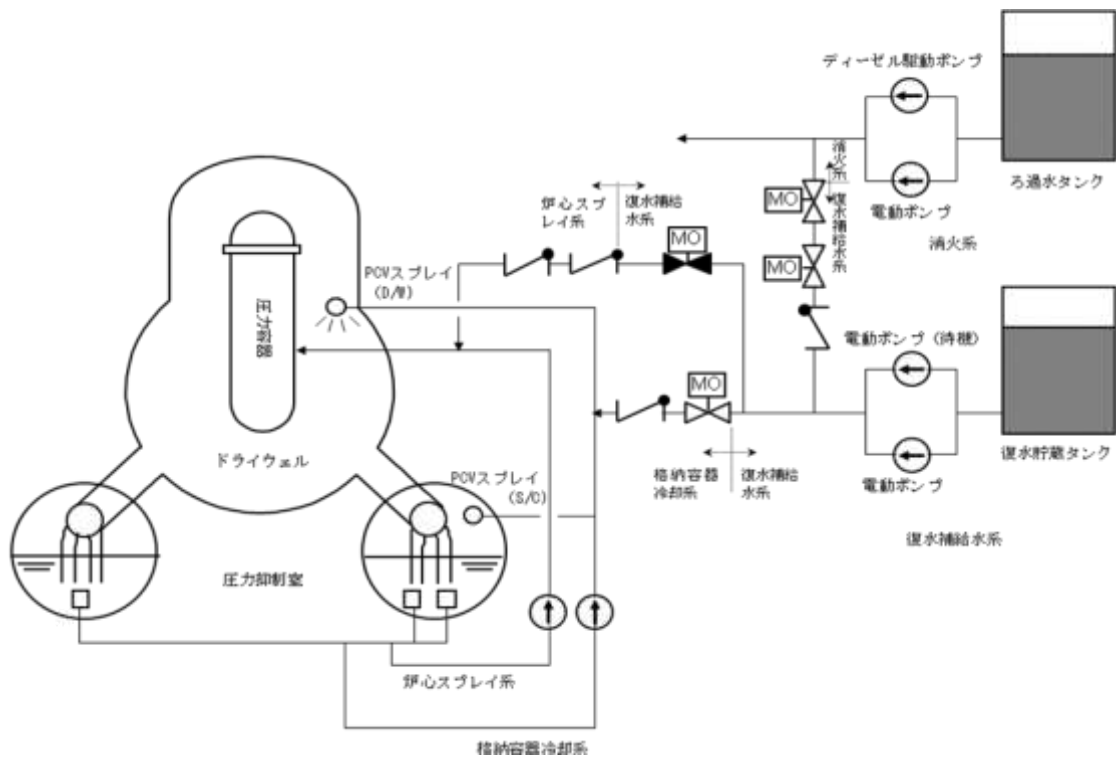




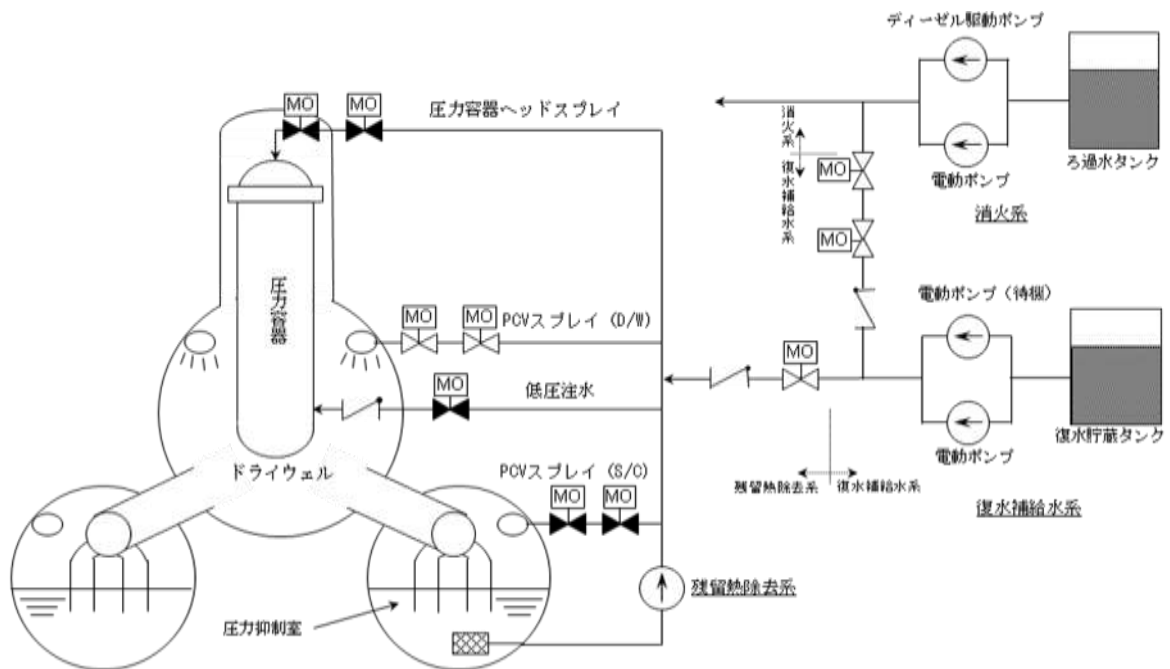
図IV-2-13 PCV ベント設備概要 (1号機)



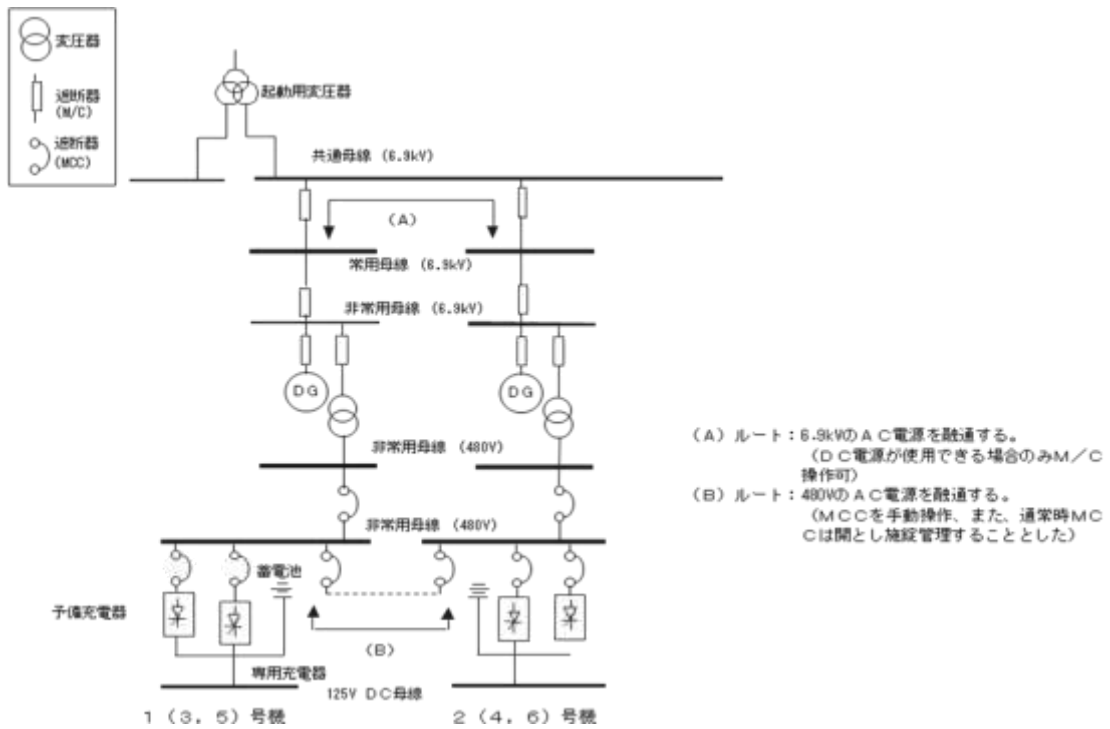
図IV-2-14 PCV ベント設備概要 (2、3号機)



図IV-2-15 PCV スプレイ (D/W 及び S/C) 設備の概要 (1号機)



図IV-2-16 PCV スプレイ (D/W 及び S/C) 設備の概要 (2、3号機)



図IV-2-17 電源融通の概念図

### 3. 福島原子力発電所の地震発生前の状況

#### (1) 運転状況

地震当日は、福島第一原子力発電所 1 号機が定格電気出力一定運転中であり、2 号機から 3 号機及び福島第二原子力発電所全号機が定格熱出力一定運転中であった。福島原子力発電所の地震発生前の状態について表IV-3-1に示す。

福島第一原子力発電所 4 号機は定期検査中で停止中であり、シュラウド取り替えのための大規模修繕工事中で、燃料を炉内から使用済燃料プールに全数移送済みであり、原子炉ウエルが満水状態、プールゲートは閉められた状態にあった。

福島第一原子力発電所 5 号機は、定期検査中であったが、原子炉内に燃料が装荷され、RPV の耐圧漏えい試験を実施中であった。

福島第一原子力発電所 6 号機は、定期検査中であったが、原子炉内に燃料が装荷され、冷温停止状態であった。

表IV-3-1 福島原子力発電所の地震発生前の状態

発電所・号機		地震発生前の状態	
福島第一	1号機	原子炉	運転中（燃料 400 体）
		使用済燃料プール	392 体（うち新燃料 100 体）
	2号機	原子炉	運転中（燃料 548 体）
		使用済燃料プール	615 体（うち新燃料 28 体）
	3号機	原子炉	運転中（燃料 548 体うち MOX 燃料 32 体）
		使用済燃料プール	566 体（うち新燃料 52 体、MOX 燃料 0 体）
	4号機	原子炉	定期検査中（H22.11.29 解列、全燃料取出中、プールゲート閉、原子炉ウエル満水）
		使用済燃料プール	1,535 体（うち新燃料 204 体）
	5号機	原子炉	定期検査中（H23.1.2 解列、RPV 耐圧試験中、RPV 上蓋閉）
		使用済燃料プール	994 体（うち新燃料 48 体）
6号機	原子炉	定期検査中（H22.8.13 解列、RPV 上蓋閉）	
	使用済燃料プール	940 体（うち新燃料 64 体）	
共用プール		6,375 体（号機プールにて 19 ヶ月以上貯蔵）	
福島第二	1号機	原子炉	運転中（燃料 764 体）
		使用済燃料プール	1570 体（うち新燃料 200 体）
	2号機	原子炉	運転中（燃料 764 体）
		使用済燃料プール	1638 体（うち新燃料 80 体）
	3号機	原子炉	運転中（燃料 764 体）
		使用済燃料プール	1596 体（うち新燃料 184 体）
	4号機	原子炉	運転中（燃料 764 体）
		使用済燃料プール	1672 体（うち新燃料 80 体）

## (2) 外部電源の接続状況

### ① 福島第一原子力発電所

外部電源については、新福島変電所の大熊線1号線及び2号線(275kV)が1、2号機用開閉所、大熊線3号線及び4号線(275kV)が3、4号機用開閉所、夜の森線1号線及び2号線(66kV)が5、6号機用開閉所に接続されていた。この他、1号機には、予備線として、東北電力富岡変電所からの東電原子力線(66kV)が接続されていた。

常用高圧配電盤(6.6kV)は、1号機用、2号機用、3、4号機用があり、1号機用から2号機用間、2号機用から3、4号機用間は相互に接続されており、電力融通が可能な状態であった。

地震時には、3、4号機用開閉所内の大熊線3号線開閉設備は工事中であったため、供給可能な外部電源は6回線であった。

### ② 福島第二原子力発電所

福島第二原子力発電所には新福島変電所からの富岡選1号線及び2号線(500kV)と岩井戸線1号線及び2号線(66kV)の合計4回線の外部電源が接続されていた。

地震時には岩井戸1号線は工事中であり、供給可能な外部電源は3回線であった。

#### 4. 福島原子力発電所の事故の発生・進展

##### (1) 福島原子力発電所の事故発生後から応急措置までの概要

###### ① 福島第一原子力発電所

2011年3月11日14時46分に発生した地震により、運転中であった福島第一原子力発電所1号機から3号機は全号機とも地震加速度大により自動停止した。

原子炉が自動停止したことに伴う発電機の停止により所内電源の切替えが行われた。Ⅲ章に記述したとおり、地震により敷地外で一部の送電線鉄塔が倒壊するなど、外部送電線からの受電ができない状態となったことから、各号機の非常用DGが自動起動し、原子炉及び使用済燃料プールの冷却機能を維持した。

その後、地震に伴う津波により、非常用DG、非常用DGを冷却する海水系及び電源盤の水没により6号機の1台を除くすべての非常用DGが停止し、1号機から5号機は、全ての交流電源を失うこととなった。

東京電力は、3月11日15時42分にこの状況は原子力災害対策特別措置法（以下「原災法」という。）第10条に基づく特定事象に該当すると判断し、国、自治体に通報した。

同日16時36分、東京電力は、1号機及び2号機において、原子炉の水位が確認できないことから、原災法第15条の規定に基づく「非常用炉心冷却装置注水不能」事象に該当すると判断し、同日16時45分に原子力安全・保安院等に連絡した。

東京電力は、1号機については、ICのA系の弁の開操作を行うとともに、ICの胴側に淡水を注水するなど、ICの機能維持を図ろうと操作を継続した。2号機のRCICについて、津波後直ちにその作動が確認できなかったが、12日午前3時頃に作動を確認している。3号機については、RCICによる冷却が行われ、RPVの圧力、水位は安定していた。

東京電力は、電源の復旧に向けて、政府とも協力しつつ、電源車を手配するなどの応急措置を進めたが、その作業が難航した。

その後、まず1号機について、11日23時頃にタービン建屋内で放射線量が上昇していることが確認されている。さらに、12日0時49分、東京電力はPCV圧力が最高使用圧力を超えている可能性があることを確認し、原災法第15条の規定に基づく「格納容器圧力異常上昇」事象に該当すると判断している。このため、経済産業大臣は、原子炉等規制法第64条第3項に基づき、1号機及び2号機のPCV圧力

を抑制するよう命令している。

1号機においては、12日5時46分から、消防車による代替注水（淡水）を開始した。消防車による代替注水の概念図を図IV-4-1に示す。また、PCV圧力が高かったことから、東京電力は、PCVベントを行う作業を開始したが、すでに原子炉建屋内は高放射線環境下であったため、作業は難航し、実際にPCV圧力の低下が確認できたのは同日14時30分頃であった。その後、同日15時36分に、1号機原子炉建屋上部で水素爆発と思われる爆発が発生した。

一方、3号機においては、3月12日11時36分にRCICが停止したものの、その後にHPCIが自動起動し、引き続き原子炉水位は維持されていた。HPCIは、13日2時42分に停止が確認された。HPCI停止後、PCV圧力を低下させるため、ウェットベントの操作を行い、13日9時25分頃から消防車による代替注水（淡水）を開始した。また、PCV圧力の上昇に対して、PCVベント操作が数回行われた。この結果、PCV圧力は低下した。その後、14日11時01分、原子炉建屋上部で水素爆発と思われる爆発が発生した。

2号機においては、3月14日13時25分に原子炉水位が低下していることからRCICが停止したものと判断し、RPVの減圧操作とともに消火系ラインを用いた海水注水作業を開始した。東京電力は、消防機関から消防ポンプ自動車の貸与を受け、これを用いて炉心の冷却を続けた。3月13日11時にはウェットベントのライン構成を終了していたが、PCV圧力は最高使用圧力を超えた。15日6時頃、S/C付近において水素爆発によるものと思われる大きな衝撃音が確認された後、S/Cの圧力は急減した。

4号機においても地震と津波により全交流電源が喪失したため、使用済燃料プールの冷却機能及び水補給機能が喪失した。3月15日6時頃、原子炉建屋で水素爆発と思われる爆発が発生し、建物の一部がひどく損壊した。

15日22時、経済産業大臣は、原子炉等規制法第64条第3項に基づき、4号機の使用済燃料プールへの注水の実施を命令した。4号機の使用済燃料プールに対して、3月20日及び21日に淡水の放水が行われ、22日からはコンクリートポンプ車による海水放水、30日からは海水を淡水に切り替えての放水が行われた。

3号機の使用済燃料プールに対して、3月17日には自衛隊ヘリによる上空からの海水散水、その後、警視庁機動隊の高圧放水車及び自衛隊消防車による海水放水、また、3月19日から3月25日にわたり、



緊急消防援助隊として派遣された東京消防庁、大阪市消防局、川崎市消防局の消防隊により、海水利用型消防水利システムと屈折放水塔車を用いた海水放水が5回行われた。このほか、3月19日から4月2日までの間、横浜市消防局、名古屋市消防局、京都市消防局、神戸市消防局が原子力発電所まで出動又は放水に備えて待機し、また、新潟市消防局、浜松市消防局が大型除染システムの設営支援を実施した。

その後、3月27日より3号機の使用済燃料プールに対して、3月31日より1号機の使用済燃料プールに対して、コンクリートポンプ車による海水放水が行われた。

5号機においても地震と津波により全交流電源が喪失し、最終ヒートシンクも失われた。このため、原子炉圧力が上昇傾向にあったが、6号機から電源融通を受けて、復水移送ポンプを使用して、炉内への注水を行い、水位と圧力を維持することができた。その後、仮設の海水ポンプを起動させ、3月20日14時30分に、冷温停止状態に至った。

6号機は、非常用DGの1台が比較的高いところに設置されていたため、結果的に、津波の襲来によっても機能喪失に至らなかったが、海水ポンプはすべて機能を喪失した。炉内への注水と減圧操作を継続して原子炉水位と圧力を制御しつつ、仮設の海水ポンプの設置を進め、これにより除熱機能を回復させ、3月20日19時27分に、冷温停止状態に至った。

なお、事故後、一定期間、原子炉及び使用済燃料プールの冷却に海水が用いられていたが、塩分の影響の可能性も考慮し、現在では淡水に切り替えられている。

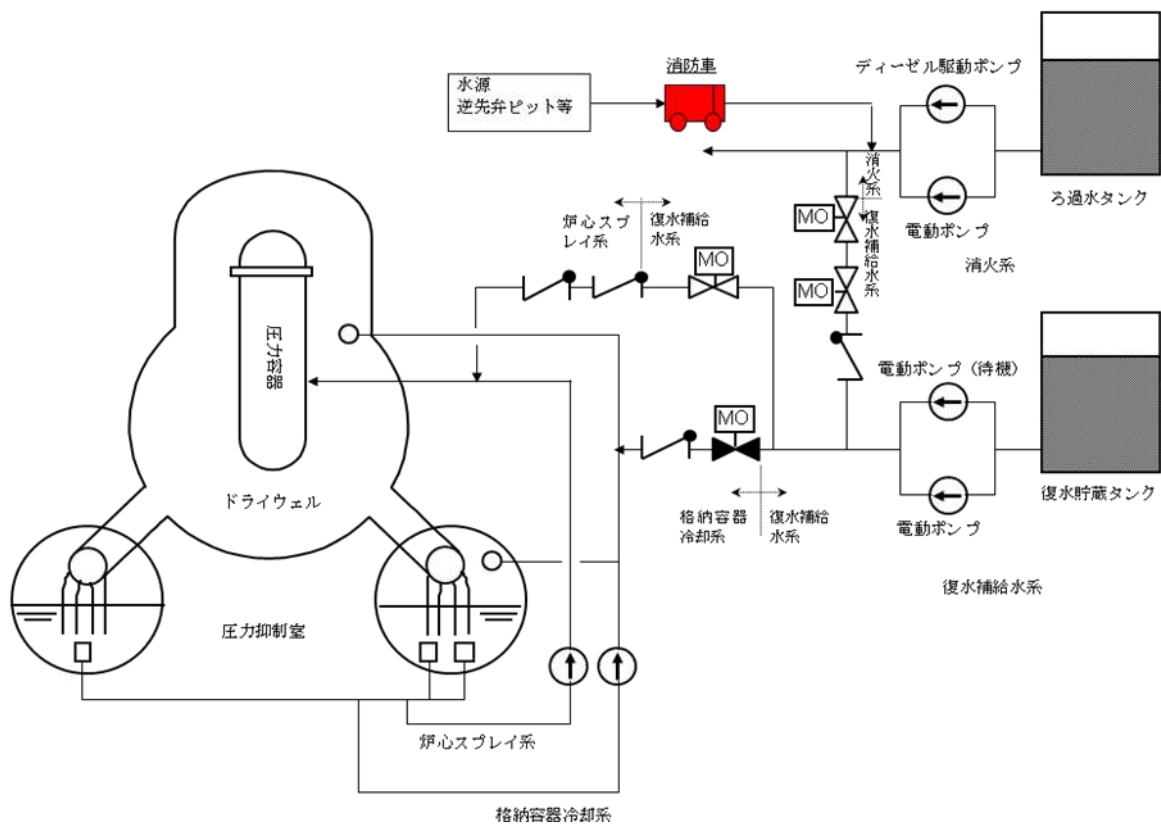
## ② 福島第二原子力発電所

福島第二原子力発電所は、1号機から4号機までの4基が全て運転中であったが、全号機とも地震により自動停止した。原子力発電所に必要な電源は、地震前に接続されていた3回線中1回線により地震発生後も外部送電線からの受電が確保された（なお、翌12日13時38分には1回線の復旧工事が完了し、2回線受電となった）。その後、地震に伴う津波が襲来し、1号機、2号機及び4号機の海水ポンプが運転できず原子炉除熱機能が確保できない状態となった。

このため、東京電力は、3月11日18時33分に、原災法第10条に基づく特定事象に該当する事態が発生したと判断し、国、自治体に通報を行った。その後、S/Cの温度が100℃を超え、原子炉の圧力抑制

機能が喪失したことから、東京電力は、1号機については3月12日5時22分、2号機については同日5時32分、4号機については同日6時07分に、原災法第15条の規定に基づく「圧力抑制機能喪失」事象に該当すると判断し、原子力安全・保安院等に連絡した。

福島第二原子力発電所1号機、2号機及び4号機については、外部電源の確保及び電源盤、直流電源等が水没を免れていたことから、その後の復旧作業により除熱機能が回復し、1号機については3月14日17時00分、2号機については同日18時00分、4号機については3月15日7時15分に、原子炉冷却材の温度が100°C未満の冷温停止状態となった。なお、3号機については、原子炉除熱機能喪失等に至ることなく、3月12日12時15分には冷温停止状態となっている。



図IV-4-1 消防車による代替注水 概念図

## 5. 福島原子力発電所の各号機等の状況

福島原子力発電所での事故の概要は、本章4. で述べたとおりである。今回の事故では、全交流電源喪失のため、津波が襲来した後は、非常に限られたパラメータ情報しか得られていない。

ここでは、非常に厳しい条件の中で、これまでに得られているパラメータ情報を整理している。

さらに、限られた情報を補完するため、東京電力は、これまでに得られた操作実績、パラメータ等をもとにして、1号機、2号機及び3号機について、シビアアクシデント解析コードであるMAAPを用いた炉心状態に関する解析及び評価を行い、5月23日に原子力安全・保安院に報告した。原子力安全・保安院は、当該解析及び評価の妥当性を確認するため、独立行政法人原子力安全基盤機構の支援を受け、他のシビアアクシデント解析コードであるMELCORによるクロスチェックを行った。東京電力による解析評価の報告書を添付資料IV-1に、クロスチェックでの解析結果を添付資料IV-2に示す。

なお、これらのパラメータ情報については、事故後は中央制御室等に残されており、その回収に時間を要したため、東京電力は5月16日になって、原子力安全・保安院に報告するとともに公表した。

また、この解析結果を踏まえ、RPV、PCV等の状態、経時変化及び発生事象との関係を推定するなど、今回の事故の事象進展を評価した。

福島原子力発電所の各号機の原子炉に関連する事象進展についての評価については、以下のように記述している。

- ① これまでに得られているプラント情報を整理し、時系列としてまとめた。
- ② 事故の事象進展の評価に当たっては、得られているパラメータ情報等の信頼性の確認が必要であり、各プラント操作の実績、全体的な挙動とパラメータ情報等の関係を踏まえてその信頼性を検討した。
- ③ ②で検討した条件に基づき、シビアアクシデント解析を実施し、原子炉の事故の事象進展を分析した。
- ④ RPV及びPCV等の状態を評価するため、まず、比較的安定した時期のRPV、PCV等の状態を推定した。その後、推定される事象進展を踏まえて、経時変化に応じたRPV、PCV等の状態を推定した。
- ⑤ ③の分析及び④のRPV、PCV等の推定結果についての比較検討を行った上で、一連の事故の事象進展に関する評価を行った。

原子炉以外の事象については、①のとりまとめの中で、関連する状況の整理を行った。また、福島第一原子力発電所 4 号機の原子炉建屋の爆発損傷についても分析を行った。さらに、使用済燃料プールにおける燃料冷却作業や、各号機タービン建屋内や建屋外のトレンチ等において確認されている滞留水の状況やその処置状況については、各号機での記載とは別にまとめて整理した。

なお、ここに示す推定内容は現時点で得られているプラント情報に基づき、あり得る状態を推定したものであり、パラメータ情報や事象情報の詳細、これらを反映したシビアアクシデント解析の結果など、情報の補充に応じて、適宜検討を更新する必要がある。

#### (1) 福島第一原子力発電所 1 号機

##### ① 事故の事象進展及び応急措置の整理（時系列）

###### a 地震発生後から津波襲来まで

本章 3. で記載したとおり、地震前には定格電気出力一定運転を行っていた。地震発生後の 3 月 11 日 14 時 46 分、原子炉は、地震加速度大によりスクラムし、14 時 47 分に制御棒が全挿入し未臨界となり、正常に自動停止した。また、地震により、大熊線 1 号線、2 号線の発電所側受電用遮断器等が損傷したため、外部電源が喪失した。このため、非常用 DG2 台が自動起動した。

14 時 47 分、外部電源喪失により計器電源が失われたことでフェールセーフにより主蒸気隔離弁（以下「MSIV」という。）の閉鎖信号が発信し、MSIV が閉止した。この点について、東京電力は、過渡現象記録装置の記録では、主蒸気配管が破断した場合に観測される主蒸気流量の増大が確認できないことから、主蒸気配管の破断は発生していないと判断しており、原子力安全・保安院もその判断に合理性があるものと考えている。

MSIV の閉止により RPV 圧力が上昇し、14 時 52 分には IC が自動起動した。その後、IC の操作手順書に従い、15 時 03 分頃には IC を手動停止した。手順書では、RPV 温度低下率が 55°C/h を超えないように調整することとなっている。さらに、15 時 10 分から 15 時 30 分頃までの間で 3 回、原子炉圧力が上下しており、東京電力は、IC の A 系のみを用いて手動操作を行ったとしている。なお、IC を操作した場合、蒸気が凝縮・冷却され、冷水として原子炉再循環系により原子炉内に戻っていく。原子炉再循環ポンプ入口温度の

記録で3回の温度低下が見られることから、ICの手動操作の影響と考えられる。

一方、S/Cの冷却を行うため、15時07分頃及び15時10分頃にPCVスプレイ系B系及びA系を起動している。

HPCIは記録が残っていた地震後1時間までに自動起動する水位(L-L)まで下がっておらず、HPCIが作動した記録もない。

#### b 津波による影響

15時37分には、津波の影響を受け、1号機の冷却用海水ポンプ又は電源盤の被水等により非常用DG2台の運転が停止し、非常用母線の配電盤が水没したことで全交流電源喪失の状態となった。2号機も同様に全交流電源喪失の状態となったため、2号機からの電源融通もできなかった。

さらに、直流電源の機能喪失でパラメータ情報の確認ができなくなった。原子炉水位監視ができなくなり、注水状況の把握ができない中、注水されていない可能性があったため、東京電力は、16時36分に原災法第15条の規定に基づく「非常用炉心冷却装置注水不能」事象に該当すると判断した。また、補機冷却用海水ポンプが機能喪失したことにより、原子炉補機冷却系の機能が喪失し、SHCが使用できず、崩壊熱を最終ヒートシンクである海に移行させることができない状態となった。

#### c 応急措置

東京電力は、ICのA系の弁の開操作を行うとともに、ディーゼル駆動消火ポンプ(D/D FP)を用いてICの胴側に淡水を注水するなど、ICの機能維持を図ろうと操作を継続した。しかし、4月に東京電力が行った弁の回路調査結果等によると、その開度は明確には分からないことから、ICがどの程度機能していたかについては、現時点では判断できないとしている。また、3月11日23時00分頃にはタービン建屋内で放射線量が上昇していることが確認されている。

東京電力は、12日0時49分、PCV圧力が最高使用圧力を超えている可能性があることを確認し、原災法第15条の規定に基づく「格納容器圧力異常上昇」事象に該当すると判断して、原子力安全・保安院等に連絡した。このため、12日6時50分に、経済産業大臣は、原子炉等規制法第64条第3項の規定に基づき、1号機及び2号機

の PCV 圧力を抑制するよう命令を出した。

東京電力は、12 日 5 時 46 分に消防ポンプによる代替注水（淡水）を開始した。したがって、11 日 15 時 37 分に全交流電源喪失により IC による冷却が停止したとすると、14 時間 9 分の間、注水等による冷却が停止したこととなる。

東京電力は、PCV 圧力を下げるため、PCV ベントを行う作業を行った。ただし、既に原子炉建屋内は高放射線量環境下にあったことから、作業は難航した。12 日 9 時 15 分頃に PCV ベントラインの電動作動弁（MO 弁）を手動で 25%まで開操作を行っている。さらに、空気作動弁（AO 弁）を手動で開操作するために現場に向かったが、線量が高く実施できなかった。そのため、空気作動弁（AO 弁）駆動用に仮設の空気圧縮機を設置して PCV ベントの操作を実施した。東京電力は、14 時 30 分、PCV 圧力が低下したことから、PCV ベントが成功したと判断した。

#### d 建屋の爆発とその後の措置

12 日 15 時 36 分、原子炉建屋上部で水素爆発と思われる爆発が発生し、屋根及びオペレーションフロアの外壁並びに廃棄物処理建屋の屋根が破損した。これらの過程で放射性物質が環境中へ放出されたため、敷地周辺での放射線量は上昇した。

東京電力によると、12 日 14 時 53 分に淡水を 8 万リットル注水完了したが、その後、どの時点で注水が停止したか不明であるとしている。17 時 55 分には、経済産業大臣より、東京電力に対して、RPV 内を海水で満たすよう、原子炉等規制法第 64 条第 3 項の措置命令を行った。東京電力は、3 月 12 日 19 時 04 分には消火系ラインを用いて海水の注水を開始した。この海水注水について、政府と東京電力の連絡・指揮系統の混乱が見られた。当初は、一時中断していたとされていたが、東京電力は 5 月 26 日、発電所長の判断（事故の進展を防止するためには、原子炉への注水の継続が何よりも重要）により、停止は行われず、注水が継続していたと発表した。

その後、3 月 25 日には純水タンクを水源とする淡水への注水に戻した。総注水量は 5 月末時点で淡水約 10,787m<sup>3</sup>、海水約 2,842m<sup>3</sup>の合計約 13,630m<sup>3</sup>となっている。また、3 月 29 日からは仮設電動ポンプを用いた注水とし、さらに 4 月 3 日には同ポンプの電源を仮設から本設電源に切り替えを行うなど、安定的な注水システムに移行している。

4月6日、経済産業大臣は東京電力に対して、PCV内に水素ガスが蓄積している可能性があることから、原子炉等規制法第67条第1項に基づき、窒素封入についての必要性、実施方法、安全性に係る影響評価等について報告するよう指示した。原子力安全・保安院は、同日付の東京電力の報告を受け、窒素封入の実施に当たってパラメータの適切な管理等による安全確保など3点を指示した。東京電力は、4月7日に窒素封入操作を開始し、5月末現在でも封入が続けられている。

電源の復旧・強化について、東京電力は、東北電力の東電原子力線からの受電設備の点検、試充電を3月16日に完了し、3月20日からパワーセンターの受電を完了し、外部電源を確保した。3月23日から、パワーセンターから必要な負荷にケーブルを敷設し、接続を実施している。

主要な時系列については、表IV-5-1に示す。また、RPV圧力等のプラントデータについては、図IV-5-1から図IV-5-3に示す。

## ② シビアアクシデント解析コードを使用した評価

### a 東京電力による解析評価

東京電力による解析では、溶融した燃料によりRPVが破損したとの結果となっている。東京電力においては、この結果に加え、これまでのRPV温度の計測結果を踏まえて、燃料の大部分は、実際にはRPV下部で冷却されているものと評価している。

東京電力では、この過程において、津波後にICは機能していないものと仮定し、地震発生後約3時間で燃料が露出し、その後1時間で炉心損傷が始まったものと推定している。その後、原子炉への注水がなされていなかったため、崩壊熱により炉心溶融し、溶融した燃料が下部プレナムに移行した後、地震発生から約15時間後には、RPVの損傷に至ったとしている。

事故直前まで燃料に内包されていた放射性物質は、燃料の損傷、溶融とともにRPVに放出され、PCV圧力の上昇に伴うPCVからの漏えいを想定して解析しており、希ガスはPCVベント操作によりほぼ全量が環境中へ放出されることとなり、よう素の放出量の内包されていた総量に対する割合(以下「放出割合」という。)は約1%、その他の核種は約1%未満という解析結果となっている。

## b 原子力安全・保安院のクロスチェック

クロスチェック解析では、東京電力が実施した条件（基本条件）で、MELCOR コードを用いた解析を行うとともに、感度解析として、代替注水の注水量をポンプ吐出圧力との関係で RPV 圧力に応じたものとした解析などを実施した。

基本条件でのクロスチェック解析では、概ねの傾向は同様であった。3月11日17時頃（地震発生後約2時間）に燃料が露出し、その後1時間で炉心損傷が始まった結果となっている。RPVの破損時期は、東京電力の解析よりも早く、地震発生から約5時間後となっており、格納容器圧力の挙動が実測と整合している。

放射性物質の放出割合は、テルルは約1%、よう素は約0.7%、セシウムは約0.3%という解析結果となっている。ただし、放出割合は海水注水の流量等の条件設定によって変わり、運転状態が明確でないので、運転状態次第で変わることがあり得るものである。

## ③ RPV、PCV 等の状態の評価

### a プラント情報の確認

プラント状態が比較的安定した時期である3月23日から5月31日までのプラント情報に基づき、RPV及びPCVの状態の評価を行った。なお、この期間でのプラントデータの取扱いについて以下のとおり検討した。

燃料域の原子炉水位は、PCV圧力が高い状態で推移した時期にはPCV温度が高く、基準水位とするPCV内の凝縮槽と計装配管内の水が蒸発して基準水位が下がり、原子炉水位を高めに表示していた可能性がある。5月11日に原子炉水位の水位計の基準水位を回復し校正した結果、水位が燃料域を下回っていることが確認されたことから、この期間中においてもRPV内の水位を計測できていないものとした。

RPV圧力は、3月26日頃までA系とB系の測定値は整合しており実際の圧力を概ね示しているものとした。ただし、その後B系は上昇傾向をみせており、次項に示す状態推定からD/W圧力との整合がとれていないB系は評価対象から除外した。

RPV温度は、給水ノズルの2系統で異なる数値を示しているが、RPV圧力と整合して120℃前後で推移している系統をRPV内雰囲気温度として参照し、高い温度を示している系統のデータはRPV自体の金属温度として参照した。



3月22日までのプラントデータの取扱いについては以下のとおり検討した。

燃料域の原子炉水位は、上述のとおり原子炉水位を高めに表示していた可能性があり、どの時点で指示がずれていったかは判断できないため、水位については参照しないこととした。

RPV圧力は、3月17日以降A系とB系の測定値は整合しており、それ以前も含めてA系が連続して推移していることから、A系を実際の圧力を概ね示しているものとして参照した。

PCVのD/W圧力は、東京電力からの情報が断続的であり実際の推移を確認することは困難であるが、機器操作等の事象情報を踏まえて推定することとした。

#### b 比較的安定した時期での RPV、PCV 等の状態の推定

##### ○ RPV バウンダリの状態

5月31日までのRPVへの注水総量は、東京電力からの情報で約13,700トンと見積もられているが、崩壊熱評価式で崩壊熱を多めに見積もって評価した注水開始時からの蒸気発生総量は約5,100トンである。圧力バウンダリが確保されていれば少なくとも差分の約8,600トンは残存することになる。RPVの容積は多めに見積もっても350m<sup>3</sup>程度であることから、注水した水はRPV中で気化し、蒸気となって漏えいしているのみならず、液体のままでも漏えいしていると考えられる。RPVへの注水は給水ノズルを通して行われており、一旦シュラウド外部に溜まり、ジェットポンプ・ディフューザを経由してRPV底部へ移行する。燃料の冷却ができていることを考えると、現時点では、注水した冷却水はRPV底部において漏えいしたものと推定される。

現状ではRPV気相部からD/Wへ蒸気流出が継続していると考えられるが、RPV圧力がPCVのD/W圧力よりも高いことから、大きな開口部はないものと推定される。ただし、3月23日以降の圧力変動がPCV圧力の変動と平行に推移しており、計測上の問題がある可能性は否定できない。

##### ○ RPV 内の状態（炉心の状態、水位）

RPV底部の温度は、3月23日に給水ラインからの注水に変更した際、注水量を増加した結果、オーバースケール（400℃以上）から低下し、注水量を低下させた後には一部の温度が上昇してい

ることから、燃料は RPV 内部にあるものと考えられる。5 月 11 日に原子炉水位の水位計の基準水位を回復し校正した結果、水位が燃料域を下回っていることが確認されたことから、燃料は溶融し、その相当量は RPV 底部に堆積しているものと現時点では推定される。ただし、RPV 底部が損傷し、燃料の一部が D/W フロア（下部ペDESTAL）に落下して堆積している可能性も現時点では考えられる。

RPV の一部（給水ノズル等）の温度が RPV 圧力に対する飽和温度よりも高いことから、現時点では、燃料の一部は水没しておらず、蒸気により冷却されているものと推定される。

#### ○ PCV の状態

3 月 12 日に D/W 圧力が PCV の最高使用圧力（0.427MPag）を超えて最高で約 0.7MPag に上昇しており、3 月 23 日には D/W 温度がオーバースケール（400℃以上）していること等から、現時点では、フランジ部のガスケットや貫通部のシールの性能が劣化しているものと推定される。4 月 7 日から開始された窒素封入により約 0.05MPa の圧力上昇が観測されたことから、その時点での D/W からの漏えい率は約 4%/h 程度と推定した。その後においては、PCV の状況に大きな変動は確認されていない。

4 月 7 日の窒素封入を行う前までは、D/W 圧力と S/C 圧力がほぼ同一であり、S/C 圧力が D/W 圧力より 5kPa 高い状態から均圧となるタイミングが 4 月 3 日までに数度あったことから、それまでの間はベント管及び D/W-S/C 間の真空破壊弁が水没していなかったものと現時点では推定される。現在、東京電力においては D/W の水位を推定するべく検討を進めている。

S/C 圧力は 3 月 23 日以降、一時約 0.3MPag となった後低下したものの、しばらく正圧の状態が観測されており、現時点では S/C に大きな損傷はないものと推定される。

#### ④ 経時変化が見られる時期の RPV、PCV 等の状態の推定

MSIV が閉止されて以降の原子炉の冷却については、IC による冷却と HPCI による注水が基本となる。しかし、津波到達以降にこれらの作動状況についての記録は少なく、3 月 11 日 23 時 00 分頃にはタービン建屋内で放射線量上昇、3 月 12 日 0 時 49 分頃には格納容器圧力異常上昇が伝えられている。このことから、11 日 23 時よりも前に RPV

が破損し、PCV 圧力・温度が大きく上昇したために PCV からの漏えいが発生していたものとする。同様に、中央制御室ホワイトボードに記載されていた 11 日 17 時 50 分の外側のエアロック入ったところでの放射線モニタ指示上昇の情報についても、その頃には炉心損傷に至る状況であったものとする。さらに IC と HPCI がどの程度機能したのかについては、今後、各機器等の状況などの詳細調査等が必要である。

3 月 12 日 5 時 46 分に代替注水を開始したものの、7 時頃から RPV 水位の指示値が低下し、その後回復していない。水位計の信頼性が低いことから、今後、注水操作やその後の圧力挙動との関係も含めた詳細調査や解析による分析が必要である。

PCV の D/W 圧力はウェットベント操作前の 3 月 12 日 6 時頃から少し低下傾向が見られることから、PCV からの漏えいがあった可能性がある。また、3 月 12 日 14 時頃から空気作動弁（AO 弁）駆動用に仮設の空気圧縮機を設置してウェットベントの操作が実施され、D/W 圧力が低下したものと推定される。しかし、D/W 圧力の計測が再開された 3 月 13 日 14 時頃には 0.6MPag に圧力が上昇しており、PCV ベントラインが何らかの原因により閉止され、圧力が再度低下し始めた 18 時に放出が再開した可能性も考えられる。

3 月 13 日には RPV 圧力が 0.5MPag まで低下し D/W 圧力との逆転が生じたが、双方ともにデータ欠落期間があるため、詳細検討は困難な状況である。

#### ⑤ 事故の事象進展に関する評価

1 号機の事故の事象進展については、これまでの解析等から、津波が襲来し IC が機能しなくなったことから、早期に炉心が損傷し、海水の注水を開始した時期には、既に炉心溶融し、RPV 下部に移行していたものと推定される。

注水量と崩壊熱による蒸気発生量のバランスから、RPV に注水している水が漏えいしていると推定される。

RPV 温度の計測結果を踏まえると、燃料の相当量は RPV 下部で冷却されていると考えられる。

また、原子炉建屋の爆発については、現場確認に制約があるため確かなことは不明である。シビアアクシデント解析に加え、数値流体力学的解析を行った結果として、原子炉内で燃料被覆管のジルコニウムと水が反応して発生した水素を含む気体が RPV 及び PCV から漏えい

等で放出されたことにより、爆轟域に至るだけの水素が原子炉建屋上部の空間に滞留して爆発した可能性が考えられる。廃棄物処理建屋については、爆風による損傷の他、配管貫通部等を通して水素が流入した可能性も否定できない。

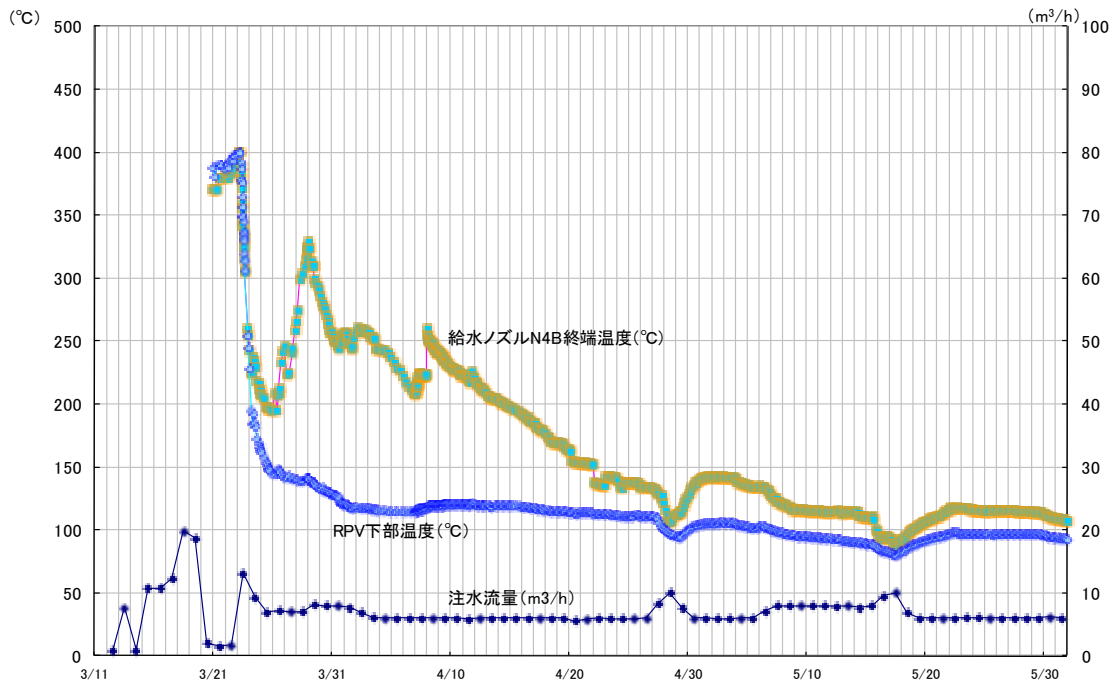
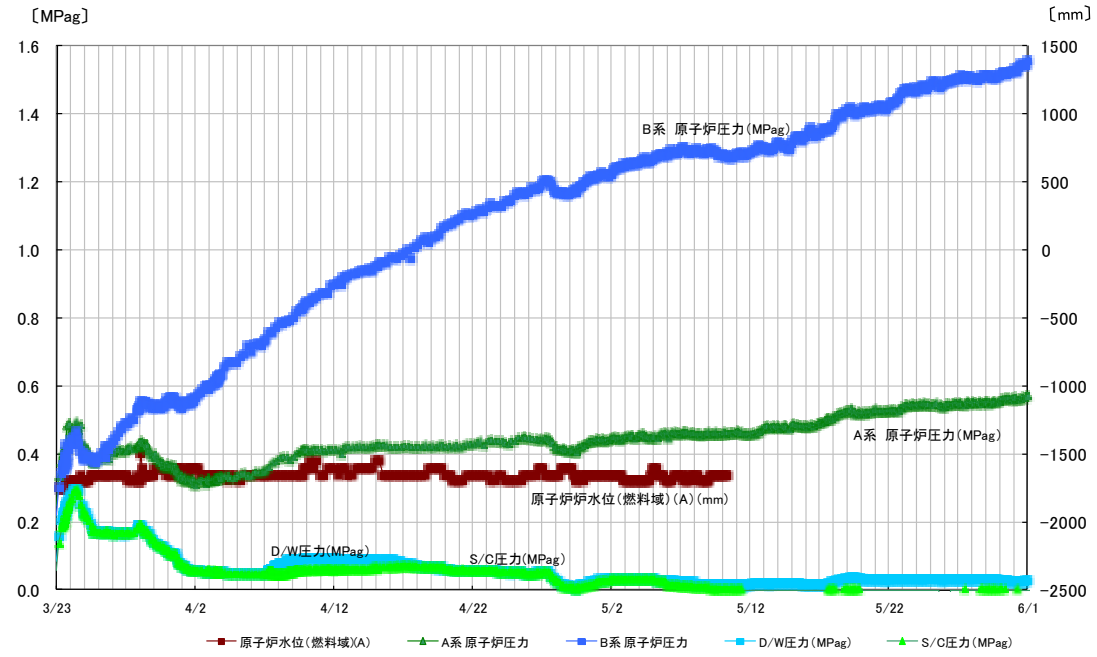
現時点においては、各機器が実際にどの程度機能したのかは特定できないため、事故の事象進展状況についても確定することはできないが、現状のシビアアクシデント解析結果からは、環境への放射性物質の放出については、12日明け方のPCVからの漏えいとその後のウェットベントによって、希ガスは炉内内蔵量のほとんどが、よう素、セシウムは放出割合で約0.7%、約0.3%と現時点では推定される。

表IV-5-1 福島第一原子力発電所 1号機 主要時系列（暫定）

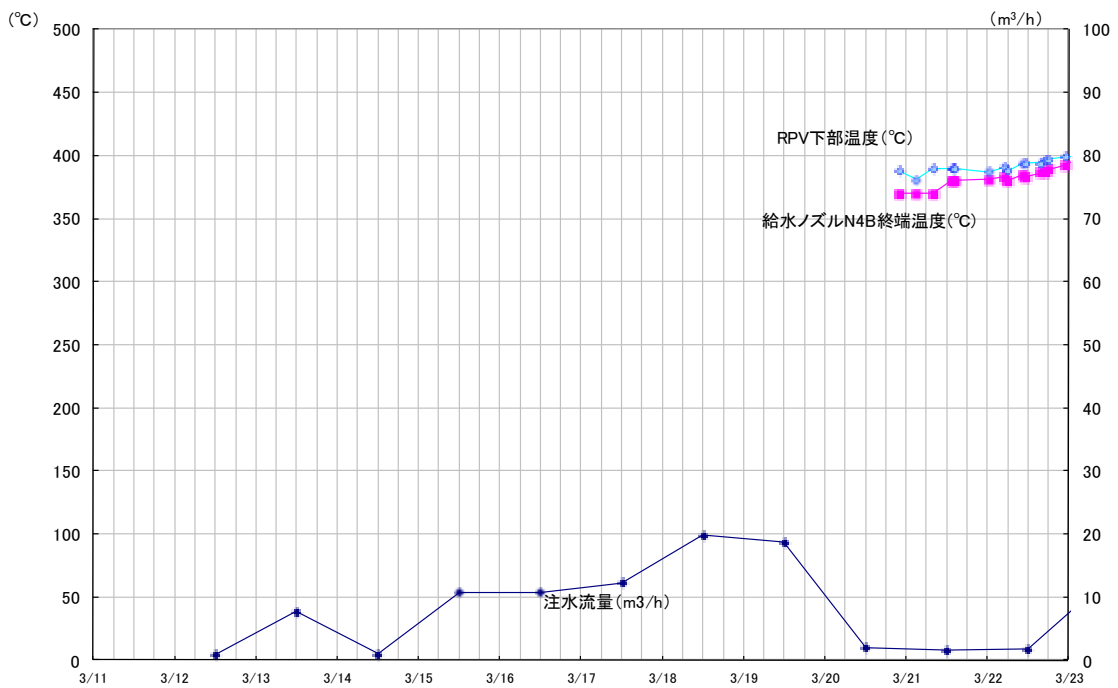
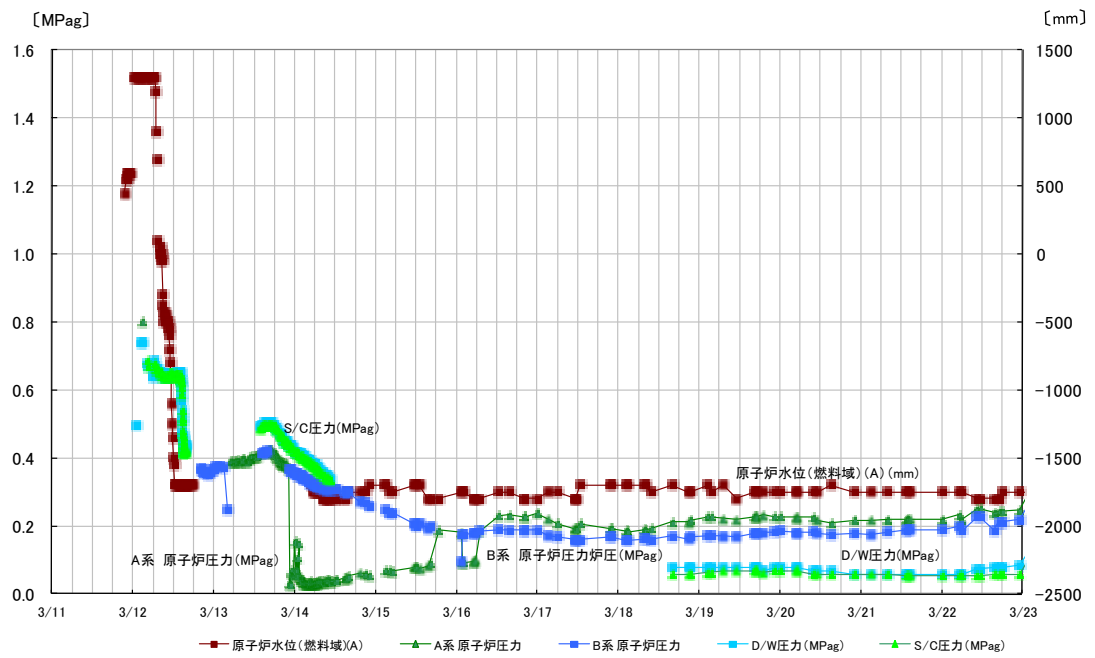
※この表に含まれる情報は、緊急時対応を行っていた中で情報が錯綜していた等の理由により、信頼性の低い情報が含まれている可能性があるため、その後の検証等により情報が訂正される可能性がある。なお、日本政府の現在の見解は本文に記載のとおりである。

福島第一原子力発電所	
1号機	
地震前状況: 運転中	
3/11	<p>14:46 原子炉スクラム(地震加速度大)</p> <p>14:47 制御棒全挿入 タービントリップ 外部電源喪失 非常用ディーゼル発電機(非常用DG)起動 主蒸気隔離弁(MSIV)閉</p> <p>14:52 非常用復水器(IC)自動起動</p> <p>15:03頃 IC停止 以降、15時30分頃まで、繰り返し再作動(ICによる原子炉圧力制御) 圧力抑制室(S/C)冷却のため格納容器スプレイ系ポンプ起動</p> <p>15:07～ 15:10 全交流電源喪失</p> <p>15:37 原災法第10条通報事象(全交流電源喪失)が発生したと事業者が判断</p> <p>16:36 非常用炉心冷却装置による注水が不能になったとして、原災法第15条事象に該当する事象が発生したと事業者が判断</p> <p>18:18 IC(A)系の供給配管隔離弁(MO-2A)と戻り配管隔離弁(MO-3A)を開操作/蒸気発生確認</p> <p>18:25 IC(A)系のMO-3A弁閉</p> <p>20:30 中操照明(仮設備準備中)</p> <p>21:19 ディーゼル駆動消火ポンプ(D/D FP)からICへの供給準備</p> <p>21:30 IC 3A弁開/蒸気発生確認</p> <p>21:35 D/D FPからICへ供給中</p> <p>22:00 原子炉水位 有効燃料頂部(TAF)+550mm</p> <p>23:00 タービン建屋内で放射線量が上昇している。(タービン1階北側1.2mSv/h、タービン1階南側0.5mSv/h)</p>
3/12	<p>0:30 IC(A)胴側に消火系で給水中</p> <p>0:49 ドライウェル(D/W)圧力(設計上の最高使用圧力:427kPa gage)が600kPaを超えている可能性があるため、原災法第15条事象(格納容器圧力異常上昇)に該当する事象が発生したと事業者が判断</p> <p>1:48 D/D FPを確認したところ、燃料切れでなくポンプ不具合により供給停止</p> <p>2:30 D/W圧力 0.84MPa(840kPa) 原子炉水位 TAF+1,300mm(燃料域A)、TAF+530mm(燃料域B)</p> <p>4:15 D/W圧力 840kPa</p> <p>5:09 D/W圧力 770kPa</p> <p>5:14 構内における放射線量の上昇及びD/W圧力の低下傾向により、放射性物質が漏えいしていると事業者が判断</p> <p>5:46 消防ポンプによる淡水注水を開始</p> <p>6:30 真水を2000リットル注入完了。(1000リットル/回)消防車を用いて、D/D FPのラインを用いて炉心スプレイ系(CS系)から注入。</p> <p>7:55 原子炉水位低下 原子炉水位 TAF-100から200mm(燃料域A)、TAF-100から200mm(燃料域B)</p> <p>7:55 消防車により、FPラインを用いて3000リットル(累計)注水完了</p> <p>8:30 消防車により、FPラインを用いて5000リットル(累計)注水完了</p> <p>9:04 ベント作業のため現場に出発</p> <p>9:15 消防車により、FPラインを用いて6000リットル(累計)注水完了</p> <p>9:15頃 圧力抑制室ベントライン電動弁(MO弁)手動開(25%)</p> <p>9:30頃 圧力抑制室ベントライン空気作動弁(AO弁:2つ目の弁)現場操作を試みるも高線量で断念</p> <p>9:40 消防車により、FPラインを用いて21000リットル(累計)注水完了</p> <p>10:17 中央操作室から遠隔操作により、2つ目の弁(AO弁)を「開」操作</p> <p>12:55 原子炉水位:燃料域A-1700mm、燃料域B-1500mm、D/W圧力:750kPa</p> <p>14:00頃 2つ目の弁(AO弁)につき、追加操作を実施(空気圧縮機を使用)</p> <p>14:30 ベントによる格納容器圧力低下を確認</p> <p>14:53 消防車によりFPラインを用いて80000リットル(累計)注水完了</p> <p>15:36頃 原子炉建屋上部で水素爆発と思われる爆発が発生(比較的強い「ゆれ」を感じるとともに、15時40分頃、1号機付近で発煙があがっていることを確認)</p> <p>19:04 原子炉への海水(ホウ酸なし)注入を開始</p> <p>20:45 再臨界を防ぐためのホウ酸を投入開始</p>
3/13	3:38 消火系ラインを用いて海水注入中
3/14	1:10 原子炉へ供給している海水が残り少なくなったため、海水注入を一旦停止 (23:30現在 原子炉内に海水を注入中)
3/15	
3/16	
3/17	
3/18	
3/19	
3/20	15:46 480V 非常用低圧配電盤(パワーセンター(P/C) 2C)受電 東電原子力線から仮設電源を供給
3/21	
3/22	
3/23	1:40 計測用主母線盤受電 AC120V 2:33 消防ポンプからの消火系よりの海水を注水していたが、さらに注水量増量のために給水系を用い外部注入(海水)を開始
3/24	11:30頃 中操照明復旧 17:10 タービン建屋(T/B)地下からホットウェル(H/W)への滞留水の移送 開始
3/25	15:37 消防ポンプによる原子炉への注入を海水から淡水に切り替え
3/26	
3/27	
3/28	
3/29	8:32 原子炉注水について消防ポンプから仮設電動ポンプによる注入に切替え 17:30 T/B地下からH/Wへの滞留水の移送 終了 (22:03) 立て抗のたまり水を分析した結果、放射能を検出
3/30	

3/31	9:20 トレンチから集中廃棄物処理施設(集中R/W)ベレット貯槽への滞留水の移送 開始 11:25 トレンチから集中R/Wベレット貯槽への滞留水の移送 終了 12:00 復水貯蔵タンク(GST)からサブレーションプール水サージタンク(SPT)への滞留水の移送開始 13:03 使用済燃料プール冷却のため、東電コンクリートポンプ車による放水(淡水)を開始 14:24 CSTからSPTへの滞留水の移送終了 15:25 CSTからSPTへの滞留水の移送開始 16:04 使用済燃料プール冷却のため、東電コンクリートポンプ車による放水(淡水)を終了、注水量約90t
4/1	
4/2	15:26 CSTからSPTへの滞留水の移送を終了 17:16 使用済燃料プール冷却のため、東電コンクリートポンプ車で放水位置確認のための放水を開始 17:19 使用済燃料プール冷却のため、東電コンクリートポンプ車で放水位置確認のための放水を終了
4/3	11:50 原子炉注水について仮設電動ポンプの電源を仮設から本設電源に切替え 13:55 H/WからCSTへの滞留水の移送開始
4/4	
4/5	
4/6	
4/7	1:31 窒素ガス注入開始
4/8	
4/9	3:29 窒素ガス注入作業について、一旦、弁を全閉し、高純度窒素ガス発生装置へ切り替える作業を開始 →03:59 注入弁開操作開始 →04:10 原子炉圧力容器への窒素封入を高純度窒素発生装置に切替(弁全開)
4/10	9:30 H/WからCSTへの滞留水の移送終了
4/11	17:16頃 地震発生により、1、2号機(東北電力線)の外部電源は停止し、原子炉注水ポンプが停止 17:16頃 地震発生により窒素封入停止 17:56 外部電源復旧 18:04 原子炉注水ポンプ再起動 23:34 原子炉格納容器への窒素封入操作を再開
4/12	14:51 地震後、窒素ガス封入装置が問題なく稼働していることを確認
4/13	
4/14	7:45 1、2号機スクリーン前面及びカーテンウォールに汚染水拡散防止のためシルトフェンスを設置開始 12:20 1、2号機スクリーン前面及びカーテンウォールに汚染水拡散防止のためシルトフェンスを設置完了
4/15	10:19 原子炉注水ポンプ用分電盤等を津波対策として高台に移設する作業を開始 17:00 原子炉注水ポンプ用分電盤等を津波対策として高台に移設する作業を完了
4/16	
4/17	11:30 原子炉建屋において、無人ロボットによる雰囲気調査を開始 17:30頃 原子炉建屋において、無人ロボットによる雰囲気調査を終了
4/18	11:50 炉心注水に使用しているホースを新品に交換する作業開始。注水ポンプ停止 12:12 炉心注水に使用しているホースを新品に交換する作業完了。注水ポンプ運転
4/19	10:23 1,2号-3,4号電源連係強化作業完了 (東電原子力線-大熊線相互利用可能)
4/20	
4/21	
4/22	
4/23	
4/24	
4/25	14:10 電源強化作業のため、窒素封入装置を停止 14:44 電源強化工事(1・2号~5・6号連携)に伴い、1・2号6.9kV電源盤の停止作業を開始 17:38 電源強化工事(1・2号~5・6号連携)に伴い、1・2号6.9kV電源盤の停止作業を完了 18:25 炉内注入ポンプについて、外部電源を使用した状態に復旧 19:10 停止していた窒素封入装置を再起動
4/26	11:35 無人ロボットによる原子炉建屋の雰囲気調査(放射線量、漏えい等)を開始 13:24頃 無人ロボットによる原子炉建屋の雰囲気調査(放射線量、漏えい等)を終了
4/27	10:02 原子炉内の燃料を冠水させるために適切な注入量の検討を行う目的で、原子炉注水量を約6m <sup>3</sup> /hから最大約14m <sup>3</sup> /hまで段階的に変化させる操作を開始
4/28	
4/29	10:14 4/27より、原子炉内への注水量を10m <sup>3</sup> /hで注水していたが、当初の計画通り6m <sup>3</sup> /hに戻す。
4/30	
5/1	
5/2	12:58 炉心注入ポンプへの警報装置設置に伴い消防ポンプに切り替え 14:53 炉心注入ポンプへの警報装置設置終了、炉心注入ポンプに戻し注水
5/3	
5/4	
5/5	
5/6	16:36 原子炉建屋環境改善のため、局所排風機を設置し、全台運転開始
5/7	10:01 原子炉容器の冠水のため、原子炉への注水量を約6m <sup>3</sup> /hから約8m <sup>3</sup> /hに増加
5/8	20:08 原子炉建屋の二重扉を貫通しているダクトを切断
5/9	4:17 原子炉建屋の二重扉を全解放
5/10	
5/11	8:47 原子炉注水ポンプの電源を仮設ディーゼル発電機に切り替え、注水 8:50 大熊線2号線の復旧に伴い、一部の所内電源が停止、窒素ガス供給設備を停止 15:55 原子炉注水ポンプの電源は仮設ディーゼル発電機から所内電源に復旧 15:58 大熊線2号線の復旧に伴い、一部の所内電源の停止作業終了したため、窒素ガス供給設備を再起動
5/12	
5/13	16:04 使用済燃料プールへ、東電コンクリートポンプ車による放水(淡水)、放水位置の確認開始 19:04 使用済燃料プールへ、東電コンクリートポンプ車による放水(淡水)、放水位置の確認終了
5/14	15:07 使用済燃料プールへ、東電コンクリートポンプ車による放水(淡水)開始 15:18 使用済燃料プールへ、東電コンクリートポンプ車による放水(淡水)終了
5/15	
5/16	

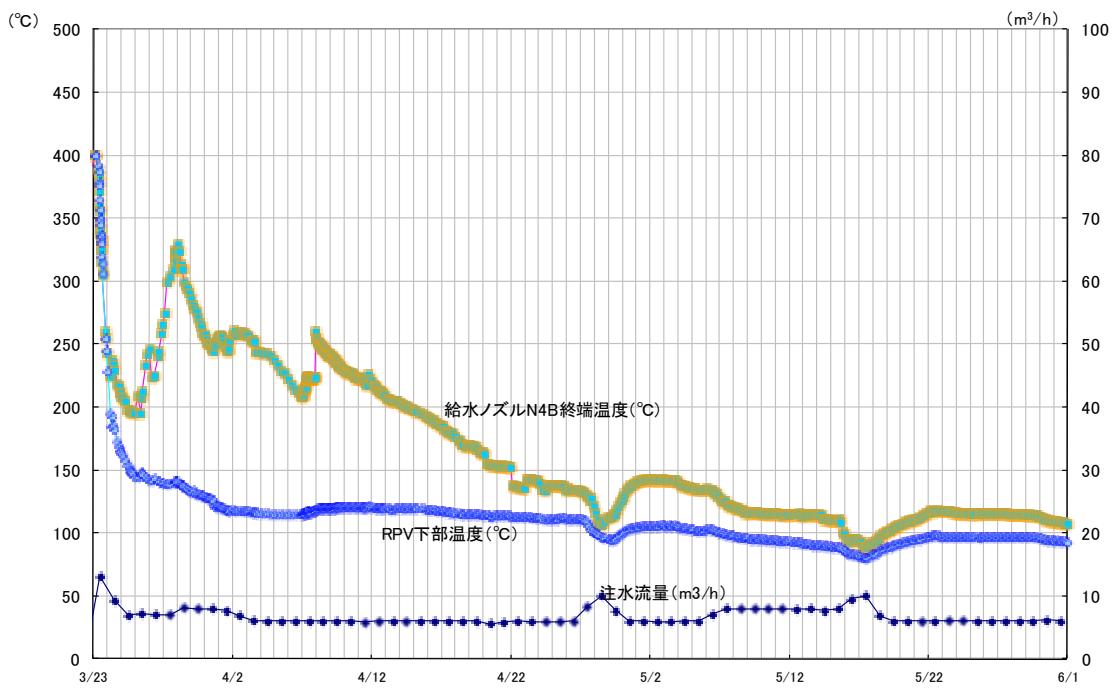
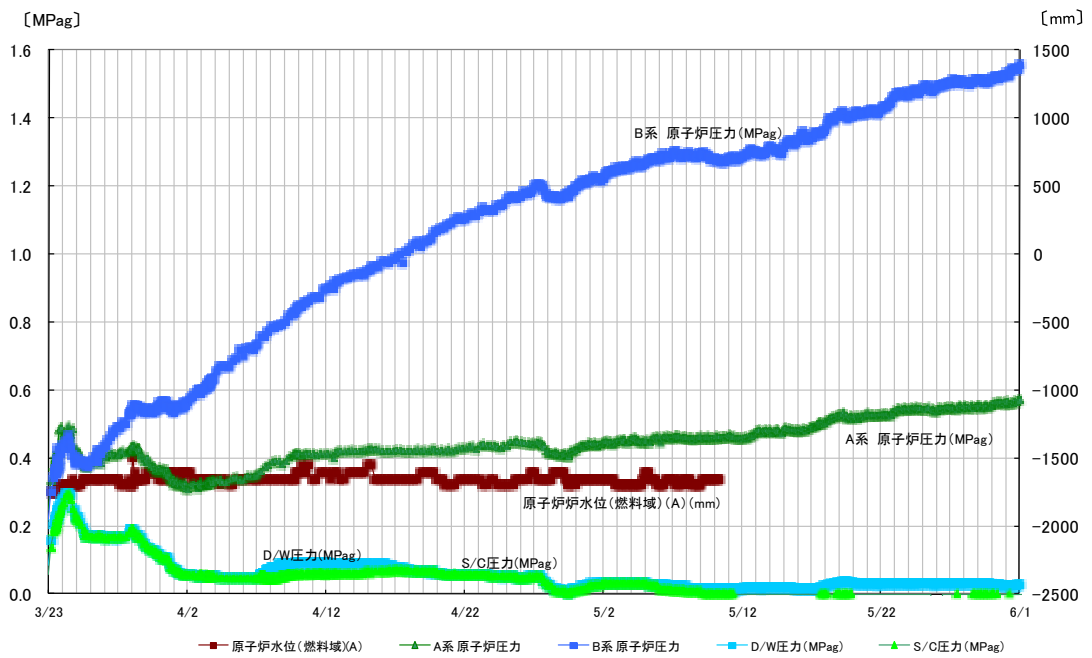


図IV-5-1 主要パラメータの変化【1F-1】(3月11日から5月31日)



図IV-5-2 主要パラメータの変化【1F-1】(3月11日から3月23日)





図IV-5-3 主要パラメータの変化【1F-1】(3月23日から5月31日)

## (2) 福島第一原子力発電所 2号機

### ① 事故の事象進展及び応急措置の整理（時系列）

#### a 地震発生後から津波襲来まで

本章 3. で記載したとおり、地震前には定格熱出力一定運転を行っていた。地震発生後の 3 月 11 日 14 時 47 分、原子炉は、地震加速度大によりスクラムし、同時刻に制御棒が全挿入し未臨界となり、正常に自動停止した。また、地震により、大熊線 1 号線、2 号線の発電所側受電用遮断器等が損傷したため、外部電源が喪失した。このため、非常用 DG2 台が自動起動した。

14 時 47 分、外部電源喪失により計器電源が失われたことでフェールセーフにより MSIV の閉鎖信号が発信し、MSIV が閉止した。MSIV の閉止について、東京電力は、過渡現象記録装置の記録では、主蒸気配管が破断した場合に観測される主蒸気流量の増大が確認できないことから、主蒸気配管の破断は発生していないと判断しており、原子力安全・保安院もその判断に合理性があるものと考えている。

MSIV の閉止により RPV 圧力が上昇し、手順書に従い、14 時 50 分に RCIC を手動起動させたが、14 時 51 分に原子炉水位高により停止している。これにより水位は低下したが、15 時 02 分に RCIC を再度手動起動したため水位は上昇し、15 時 28 分に再度原子炉水位高となり RCIC は自動停止した。また、15 時 39 分に再度 RCIC を手動起動させている。

原子炉水位は 11 日 22 時以降、14 日 12 時頃までは原子炉水位の指示（燃料域）は有効燃料頂部（TAF）に対して十分余裕のあるレベル（+3000mm 以上）で安定していた。

原子炉圧力は SRV の開閉により制御されていた。

また、SRV や RCIC の作動による S/C の温度上昇のため、15 時から 15 時 07 分頃にかけて RHR ポンプを順次起動し、S/C の水を冷却している。このことは、S/C 温度チャートから、同日 15 時過ぎから 15 時 20 分過ぎまで温度上昇が抑制されていることから確認できる。

なお、非常用炉心冷却設備については、S/C の冷却のため RHR ポンプを起動させた以外は、全交流電源喪失に至るまで作動した記録はない。これは、原子炉水位が自動起動する水位（L-2）まで下がっていないことによるものと考えられ、東京電力によれば手動起動もしていないとしている。

b 津波による影響

上述の S/C はその後、15 時 30 分過ぎから再度温度が上昇する傾向が見受けられるが、15 時 36 分頃から RHR ポンプは稼働を順次停止している。これについては、津波による機能喪失と考えられる。同時刻には、津波による影響を受け、冷却用海水ポンプ又は電源盤、非常用母線の被水・水没等により非常用 DG2 台の運転が停止、全交流電源喪失状態となった。

さらに、直流電源の機能喪失でパラメータ情報の確認ができなくなった。

また、RHR 海水ポンプが機能喪失したことにより、RHR の機能が喪失し、崩壊熱を最終ヒートシンクである海に移行させることができない状態となった。

c 応急措置

11 日 22 時には原子炉水位の監視ができるようになり、水位が維持されていたことから、RCIC により注水が行われたものと現時点では推定される。ただし、原子炉圧力は 6MPa と定格より少し低くなっている。

3 月 12 日 4 時 20 分から 5 時にかけて、復水貯蔵タンクの水位が減少してきたこと及び S/C の水位上昇を抑制するため、RCIC の水源を復水貯蔵タンクから S/C に切り替えて RCIC による注水を継続していた。14 日 11 時 30 分までは原子炉水位は有効燃料頂部(TAF)に対して十分余裕のあるレベルで安定した後、14 日 13 時 25 分に至り、原子炉水位が低下を始めたので、この頃、RCIC が停止したと判断される。同日 16 時 20 分には 0mm (TAF) まで低下した。東京電力はこれについて、3 月 12 日 2 時 55 分には RCIC の作動を現場で確認したこと、また、RCIC の水源を復水貯蔵タンクから S/C に切り替えたことなどにより、14 日 12 時頃まで RCIC は機能し原子炉水位維持を図っていたとしている。東京電力は、同日 13 時 25 分に原子炉冷却機能を喪失している可能性があるとして判断し、原災法第 15 条の規定に基づく連絡を行っている。

RCIC は蒸気駆動であるがその弁の稼働は直流電源によるものである。東京電力が判断した RCIC の機能喪失時刻は稼働開始時から 30 時間以上が経過しているが、蓄電池容量上の制約が存在することを併せて考えると、当該蓄電池が枯渇した後も機能していたという

こととなる。

3月14日16時34分からSRVの開操作と代替注水の作業を開始し、18時頃に原子炉圧力の低下が確認された。その際、原子炉水位も同様に低下した。その後、原子炉圧力が増加傾向に転じたことから、空気作動弁（AO弁）駆動用空気圧等の問題でSRVが閉止したものと推定される。3月14日19時54分には消防車による海水の注水が開始された。したがって、RCICが機能喪失した時刻である13時25分から6時間29分の間、注水が停止したこととなる。

PCVの減圧のためのPCVベント操作については、12日6時50分に経済産業大臣が東京電力に対し、原子炉等規制法第64条第3項に基づき、PCVの圧力を抑制することを命令した。これに基づき、東京電力はPCVベント作業に入り、13日11時頃及び15日0時頃から実施したが、D/Wの圧力低下は確認されなかった。

#### d 爆発とその後の措置

このような中、15日6時頃、S/C付近において水素爆発によるものと思われる衝撃音が確認された。原子炉建屋には外観上損傷はないが、隣接する廃棄物処理建屋の屋根が破損していることが確認されている。これらの過程で、放射性物質が環境中へ放出されたため、敷地周辺での放射線量は上昇した。

15日10時30分には、経済産業大臣が東京電力に対し、原子炉等規制法第64条第3項に基づき、2号機の原子炉内への早期注水及び必要に応じドライベントの実施を命令した。

代替注水については26日まで海水が注水されていたが、26日の途中から仮設タンクを水源とする淡水に切り替えられた。27日からは消防ポンプから仮設電動ポンプに切り替えられ、4月3日からは電源を仮設電源から外部電源に切り替え、安定した注水環境に整備している。総注水量は5月末時点で淡水約11,793m<sup>3</sup>、海水約9,197m<sup>3</sup>の合計約20,991m<sup>3</sup>となっている。

電源の復旧・強化について、東京電力は、東北電力の東電原子力線からの受電設備の点検、試充電を3月16日に完了し、3月20日からパワーセンターの受電を完了し、外部電源を確保した。3月26日には中央制御室の照明が復旧するなど、負荷の健全性を確認しながら接続を実施している。

主要な時系列については、表IV-5-2に示す。また、RPV圧力等のプ

ラントデータについては、図IV-5-4 から図IV-5-6 に示す。

## ② シビアアクシデント解析コードを使用した評価

### a 東京電力による解析

東京電力による解析では、代替注水の流量が少なかった場合には、溶融した燃料により RPV が破損したとの結果となっている。東京電力においては、この結果に加え、これまでの RPV 温度の計測結果を踏まえて、燃料の大部分は、実際には RPV 下部で冷却されているものと評価している。

東京電力では、この過程において、RCIC の運転が継続されていたものの、PCV 圧力の挙動から PCV からの漏えいを想定し、RCIC の停止と判断している 14 日 13 時 25 分から約 5 時間（地震発生後約 75 時間）で燃料が露出し、その後 2 時間で炉心損傷が始まったものと推定している。その後、原子炉水位が燃料域内において維持できていないとして代替注水の流量を想定し、崩壊熱により炉心溶融し、溶融した燃料が下部プレナムに移行した後、地震発生から約 109 時間後には、RPV の損傷に至ったとしている。

燃料に内包されていた放射性物質は、燃料の損傷、溶融とともに RPV に放出され、PCV からの漏えいを想定して解析しており、希ガスは漏えいによりほぼ全量が環境中へ放出されることとなり、よう素その他の核種の放出割合は約 1%以下という解析結果となっている。

### b 原子力安全・保安院のクロスチェック

クロスチェック解析では、東京電力が実施した条件（基本条件）で、MELCOR コードを用いた解析を行うとともに、感度解析として、代替注水の注水量をポンプ吐出圧力との関係で RPV 圧力に応じたものとした解析などを実施した。

基本条件でのクロスチェック解析では、概ねの傾向は同様であった。14 日 18 時頃（地震発生後約 75 時間）で燃料が露出し、その後 2 時間で炉心損傷が始まった結果となっている。RPV の破損時期は、東京電力の解析よりも早く、地震発生から約 5 時間後となっており、PCV 圧力の挙動が実測と整合している。

放射性物質の放出割合は、よう素は約 0.4~7%、テルルは約 0.4~3%、セシウムは約 0.3~6%という解析結果となっている。ただし、放出量は海水注水の流量等の条件設定によって変わり、運転状

態が明確でないので、運転状態次第で変わることがあり得るものである。

### ③ RPV、PCV 等の状態の評価

#### a プラント情報の確認

プラント状態が比較的安定した時期である 3 月 17 日から 5 月 31 日について検討することとし、この期間でのプラントデータの取扱いについて以下のとおり検討した。

燃料域の原子炉水位は、PCV 圧力が高い状態で推移した時期には PCV 温度が高く、基準水位とする PCV 内の凝縮槽と計装配管内の水が蒸発して基準水位が下がり、原子炉水位を高めに表示していた可能性がある。その後は 1 号機と同様の傾向を示しているため、この期間において、RPV 内の水位を計測できていないものとした。

RPV 圧力は、A 系と B 系の測定値は概ね整合しており、実際の圧力を概ね示しているものとした。なお、負圧を示している期間については、圧力計の測定範囲外であり誤差範囲と判断した。

RPV 温度は、3 月 27 日以降注水量と整合して推移しており、実際の温度を概ね示しているものとした。ただし、一定の温度値を示している一部のデータについては、その他の測定値と傾向が整合しないことから評価対象から除外した。

3 月 17 日までのプラントデータの取扱いについては、特に 14 日から 15 日にかけて激しく変動しており、数値としての確認は難しいため、機器操作等の事象情報を踏まえて、大枠での変動状況のみ参照した。

#### b 比較的安定した時期での RPV、PCV 等の状態の推定

##### ○ RPV バウンダリの状態

5 月 31 日までの RPV への注水総量は東京電力情報で約 21,000 トンと見積もられているが、崩壊熱評価式で崩壊熱を多めに見積もって評価した注水開始時からの蒸気発生総量は約 7,900 トンである。圧力バウンダリが確保されていれば少なくとも差分の約 13,100 トンは残存することになる。RPV の容積は多めに見積もっても 500 m<sup>3</sup> 程度であることから、注水した水は RPV 中で気化し、蒸気となって漏えいしているのみならず、液体のままでも漏えいしていると考えられる。RPV への注水は再循環水入口ノズルを通して行われており、ジェットポンプ・ディフューザを経由して

RPV 底部へ移行する。燃料の冷却ができていることを考えると、現時点では、注水した冷却水は RPV 底部において漏えいしたものと推定される。

なお、5月29日から5月30日には再循環水入口ノズルを通じた注水に給水ノズルを通じた注水を並行して実施している。また、5月30日17時頃からは給水ノズルを通じた注水に切り替えている。

RPV 圧力は、3月16日以降は大気圧近傍にあり、PCV の D/W 圧力と同等であることから、現時点では RPV は気相部において PCV と通じているものと推定される。

#### ○ RPV 内の状態（炉心の状態、水位）

RPV 温度は、既に注水流量が確保された後の3月20日から計測されている。計測開始後は概ね 100°C 近傍で安定し、注水流量を下げた3月29日以降は概ね 150°C 近傍で推移していたことから、現時点では、燃料の相当量は RPV 内にあるものと推定される。ただし、RPV 底部が損傷し、燃料の一部が D/W フロア（下部ペデスタル）に落下して堆積している可能性も現時点では否定できない。

RPV の一部の温度が RPV 圧力に対する飽和温度よりも高いことから、燃料の一部は依然として水没しておらず、蒸気により冷却されている可能性があるかと推定される。

#### ○ PCV の状態

3月15日に D/W 圧力が PCV の最高使用圧力（0.427MPag）を超えて最高で約 0.6MPag に上昇していること等から、現時点では、フランジ部のガスケットや貫通部のシールの性能が劣化しているものと推定される。D/W 圧力は大気圧近傍（0MPag）に維持されており、現時点では崩壊熱による発生蒸気は D/W からこうした劣化部分を通じて外部に放出されているものと推定される。

S/C 圧力はほとんど計測されていないことから、現時点では S/C 内部の状況や D/W の水位をプラントデータから推定することは困難な状況である。ただし、タービン建屋に高濃度の汚染水が確認されていることから、RPV に注水され、RPV から漏えいしている水は PCV から漏えいしているものと現時点では推定さ

れる。現在、東京電力においては D/W の水位を推定するべく検討を進めている。

④ 経時変化のある時期の RPV、PCV 等の状態の推定

東京電力によれば、3 月 12 日未明には水源を S/C に切り替えて RCIC による注水を継続していたとされており、14 日午前までは有効燃料頂部 (TAF) より高い水位を確保できていたことから、少なくともそれまでの間は RCIC が機能したものと現時点では推定される。また、S/C 液相に RCIC タービン駆動用蒸気が放出され続けたために S/C 水温度が上昇し、3 月 12 日午前中には S/C 圧力が上昇、S/C から D/W への蒸気流入により 3 月 12 日 12 時頃より D/W 圧力が上昇したものと現時点では推定される。

また、3 月 14 日午前中には RCIC の機能低下によると思われる RPV 圧力の上昇及び原子炉水位の低下が見られ、さらに、RPV 圧力が約 7.4MPag となっていることから、現時点では、SRV が作動し、原子炉水位の低下が進んだものと推定される。なお、これ以前に PCV ベント操作を行ったことの報告を受けているが、対応した PCV 圧力の低下が見られていない時期があり、所要の性能を発揮しなかった可能性がある。どの程度機能したのかについては、各機器等の状況などの詳細調査や解析による分析が必要である。

3 月 15 日 0 時頃には S/C 圧力は上昇せずに D/W 圧力が上昇しているが、その後長期間 D/W 圧力と S/C 圧力の差が解消しないなどの整合がとれないところがあるため、現時点では確かなところは不明である。

これらの推定に加え、その後水位の回復が見られていないこと、さらに 3 月 15 日 0 時頃には D/W 及び S/C の格納容器雰囲気モニタ (CAMS) 計測値が 3~4 桁上昇していることから、この時期に燃料が損傷したものと現時点では推定される。また、東京電力は、14 日夕刻から消防車で代替注水を実施していると報告しているが、水位の回復に至っていないことから、原子炉圧力との関係で所要の性能を発揮しなかった可能性がある。どの程度機能したのかについては、各機器等の状況などの詳細調査や解析による分析が必要である。

⑤ RPV、PCV 等の状態の推定を踏まえた事象進展解析と事象の整理

2 号機の事故の事象進展については、これまでの解析等から、RCIC が機能しなくなったことから炉心が損傷し、海水の注水を開始した時



期には原子炉圧力が高い時期があつて十分に注水できなかった可能性があり、冷却が十分にできず炉心溶融し、溶融した燃料等が RPV 下部に移行していったものと推定される。

注水量と崩壊熱による蒸気発生量のバランスから、RPV に注水している水が漏えいしていると推定される。

RPV 温度の計測結果を踏まえると、燃料の相当量は RPV 下部で冷却されていると考えられる。

また、S/C 付近における衝撃音については、現場確認に制約があるため確かなことは不明である。シビアアクシデント解析に加え、数値流体力学的解析を行った結果として、現時点において、原子炉で燃料被覆管のジルコニウムと水が反応して発生した水素を含む気体が、SRV の開放等を通じ S/C に入り、S/C から水素が漏えいし、トールス室で爆発した可能性が考えられる。廃棄物処理建屋については、爆風による損傷の他、配管貫通部等を通して水素が流入した可能性も現時点では否定できない。

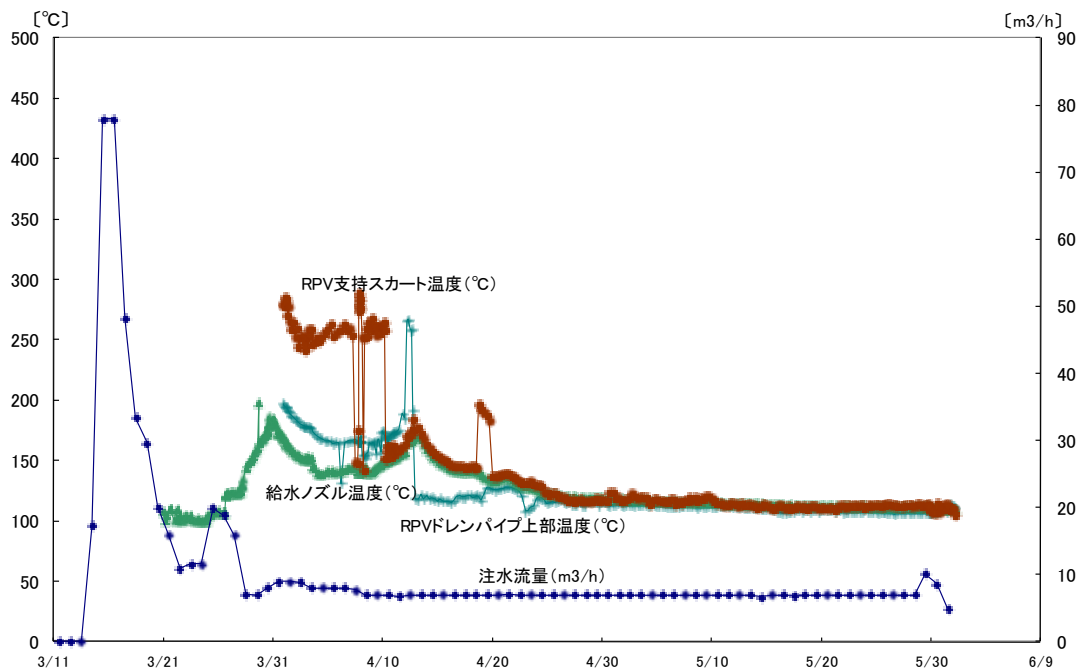
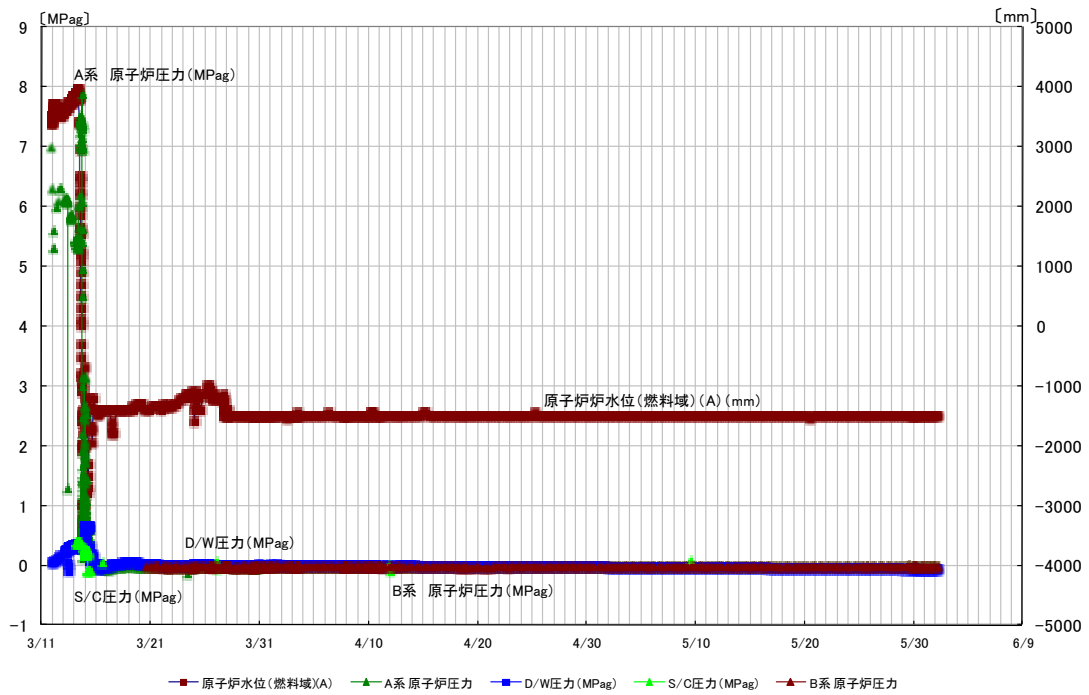
現時点においては、各機器が実際にどの程度機能したのかは特定できないため、事故の事象進展状況についても確定することはできないが、現状のシビアアクシデント解析結果からは、15 日朝までに PCV からの漏えいによって環境中に放出され、希ガスについては炉内内蔵量のほとんどが、よう素、セシウム、テルルについては、放出割合でそれぞれ約 0.4～7%、約 0.3～6%、約 0.4～3%と推定される。

表IV-5-2 福島第一原子力発電所 2号機 主要時系列（暫定）

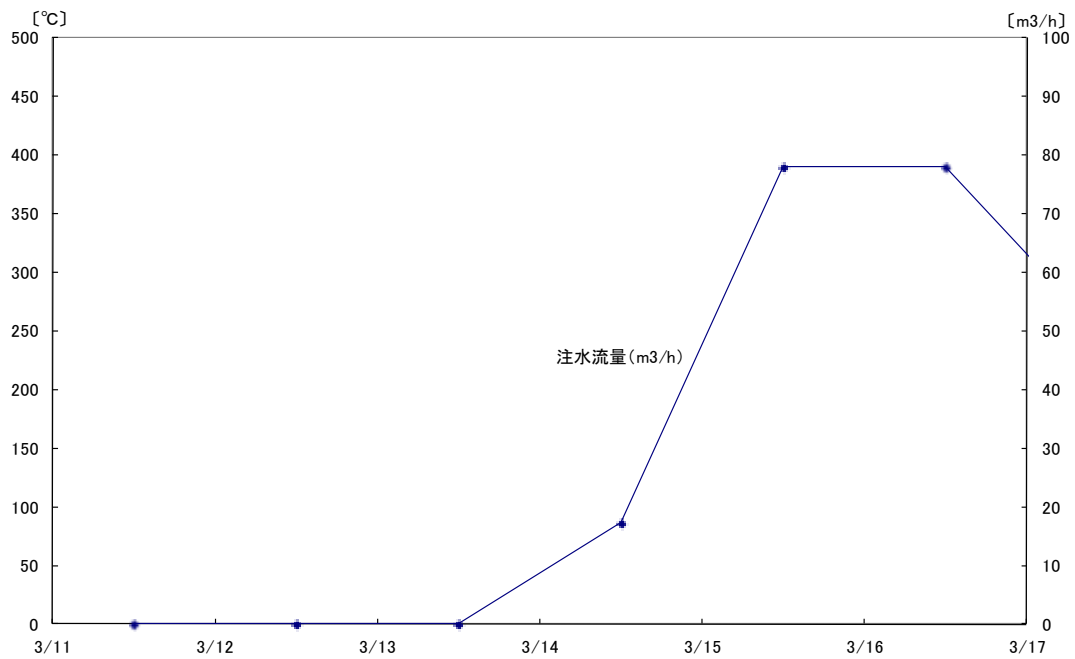
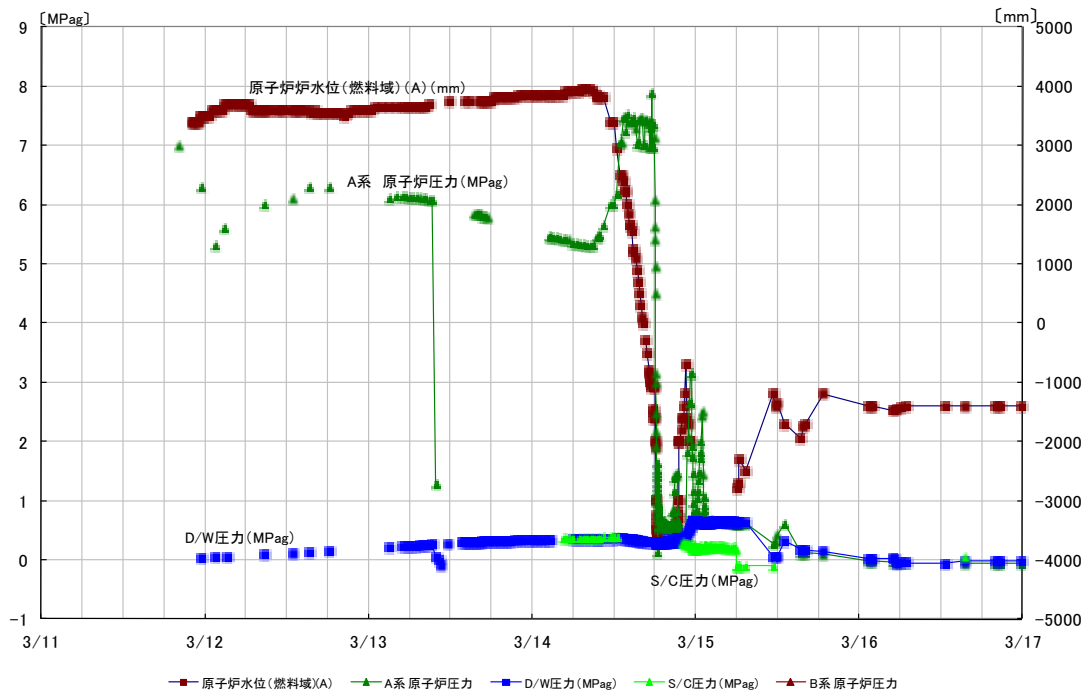
※この表に含まれる情報は、緊急時対応を行っていた中で情報が錯綜していた等の理由により、信頼性の低い情報が含まれている可能性があるため、その後の検証等により情報が訂正される可能性がある。なお、日本政府の現在の見解は本文に記載のとおりである。

福島第一原子力発電所 2号機	
	地震前状況、運転中
3/11	14:47 原子炉スクラム(地震加速度大) 制御棒全挿入 タービントリップ 外部電源喪失 非常用ディーゼル発電機(非常用DG)起動 主蒸気隔離弁(MSIV)閉 14:50 原子炉隔離時冷却系(RCIC)手動起動 14:51 RCICトリップ(L-8) 15:00 残留熱除去系ポンプ順次起動開始(圧力抑制室の水の冷却) 15:02 RCIC手動起動 15:07 残留熱除去系ポンプ順次起動終了 15:28 RCICトリップ(L-8) 15:39 RCIC手動起動 15:41 全交流電源喪失 15:42 原災法第10条通報事象(全交流電源喪失)が発生したと事業者が判断 16:36 非常用冷却装置による注水が不能になったとして、原災法第15条事象に該当する事象が発生したと事業者が判断 20:30 RCIC停止中 中操照明(仮設)確保準備中 22:00 原子炉水位 有効燃料頂部(TAF)+3.400mm 22:47 RCICの運転は確認できていない
3/12	0:30 RCIC停止中、水位TAF+3.500mm(3月12日0時00分) 原子炉圧力6.3MPa(3月11日23時25分) ドライウェル(D/W)圧力40kPa(3月11日23時55分) 2:55 RCIC起動状態を確認 4:20 RCIC水源を復水貯蔵タンク(CST)から圧力抑制室(S/C)に切替え ~ 5:00
3/13	3:00 D/W圧力上昇(315kPa)(3月12日0時30分現在40kPa) 11:00 ベントのため、2号目の弁を「開」操作
3/14	11:01 圧力抑制室(S/C)弁開を確認、開操作不能を確認 12:00 S/C温度(147℃)、S/C圧力(485kPa)が高くなっている 原子炉水位低下傾向、海水注入の準備を進める(12時3.400mm→12時30分2.950mm (A)、(12時3.400mm→12時30分3.000mm (B)) 13:25 RCIC停止(推定) 原子炉水位低下、RCICの機能喪失の可能性、原災法第15条事象(原子炉冷却機能喪失)発生と事業者が判断 15:00 RCIC動作状態確認中 16:00 圧力抑制室(S/C)側弁 開操作 16:20 圧力抑制室(S/C)側弁 閉確認 16:34 原子炉圧力容器減圧(逃がし安全弁(SRV)開)操作を開始、消火系ラインを用いた海水注入作業開始 17:17 TAFに到達 18:00頃 原子炉圧力低下確認 以降、SRV駆動用空気圧や空気供給ラインの電磁弁の励磁維持の問題からSRVが閉鎖し原子炉圧力が上昇した様子 18:22 原子炉水位TAFから-3700mmに到達、燃料全体が露出したものと判断 19:20 海水注水の消防ポンプが燃料切れで停止 19:54 海水注入開始(1台の消火ポンプ起動) 19:57 2台目の消防ポンプを起動 21:00 圧力抑制室(S/C)側小弁開操作 21:03 原子炉圧力低下(1418kPa) 21:20 逃がし安全2弁開により、原子炉減圧、水位が回復してきたことを確認 以降、SRV駆動用空気圧や空気供給ラインの電磁弁の励磁維持の問題によるSRV(逃がし安全弁)の閉鎖と開操作がなされた様子 21:20頃 原子炉水位の回復傾向を確認 22:14 原子炉水位回復(1800mm)、炉心損傷評価を実施、5%以下と判断 22:50 D/W圧力が設計上の最高使用圧力を超えたことから、原災法第15条事象(格納容器圧力異常上昇)が発生したと事業者が判断、D/W圧力540kPa
3/15	0:02 ドライブントのため、弁を「開」操作 0:45 原子炉圧力1823kPa 3:00 D/W圧力 750kPa D/W圧力が設計上の最高使用圧力を超えたことから、減圧操作及び原子炉内の注水操作を行っているが、減圧しきれていない 5:00 原子炉 圧力低下(626kPa) 6:00 S/C付近において水響発音と思われる衝撃音を確認(圧力抑制室付近で、大きな衝撃音) ~ 6:10 作業に必要な要員を残し避難(原子炉水位TAF=2.800mm、原子炉圧力不明、S/P圧力不明、D/W圧力0.73MPa) 頃 8:25 原子炉建屋5階付近より、白い煙(湯気らしきもの)を確認 15:25 原子炉圧力が格納容器圧力より低(原子炉圧力 0.119Pa、D/W圧力 0.174MPa gage) 15:30 炉心損傷割合14%から35%に変化
3/16	
3/17	
3/18	
3/19	
3/20	15:05 使用済燃料プールへの海水注水を燃料プール冷却浄化系(FPC)を用いて開始(以降海水注水は、FPCから実施) 15:46 480V 非常用低圧配電盤(ハブセンター(P/C) 2C)受電 東電原子力線から仮設電源を供給 17:20 使用済燃料プールへの海水注水了、注水量約40トン
3/21	18:20頃 原子炉建屋にて確認されている白いもや状の煙(湯気)は、新たに原子炉建屋の屋上屋根部からでていることを確認
3/22	7:11 原子炉建屋の白いもや状の煙(湯気)はほとんど見えないう程度に減少 16:07 使用済燃料プールへの海水注水開始 17:01 使用済燃料プールへの海水注水終了、注水量約18t
3/23	
3/24	
3/25	10:30 使用済燃料プールへの海水注水開始 12:19 使用済燃料プールへの海水注水終了、注水量約30t
3/26	10:10 炉心への淡水注入は、仮設タンクを用いてホウ酸を溶解した後注入 16:40 タービン建屋(T/B)モーターコントロールセンター(MCC)2A-1受電 16:46 中操照明復旧
3/27	18:31 原子炉注水について消防ポンプから仮設電動ポンプによる淡水注入に切替え
3/28	
3/29	15:30 使用済燃料プールへの注水について消防ポンプから仮設電動ポンプによる淡水注入に切替え 16:45 復水貯蔵タンク(CST)からサプレッションプール水サージタンク(SPT)への滞留水の移送開始
3/30	9:45頃 使用済燃料プールの冷却水注水の仮設の電動ポンプの不調を確認、消防ポンプへの切替えを行なう、注水中断 12:30 使用済燃料プールの冷却水注水を消防ポンプに切り替え注水再開 12:47 消防ポンプのホースに亀裂を確認 13:10 消防ポンプのホース取り替え 17:05 消防ポンプによる使用済燃料プールへの注水再開 19:05 使用済燃料プールへの注水について消防ポンプから仮設電動ポンプによる注水に切替え、注水再開 23:50 使用済燃料プールへの注水終了、20未満
3/31	14:24 CSTからSPTへの滞留水の移送終了 15:25 CSTからSPTへの滞留水の移送開始
4/1	11:50 CSTからSPTへの滞留水の移送終了 14:56 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水開始 17:05 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水終了 約70t

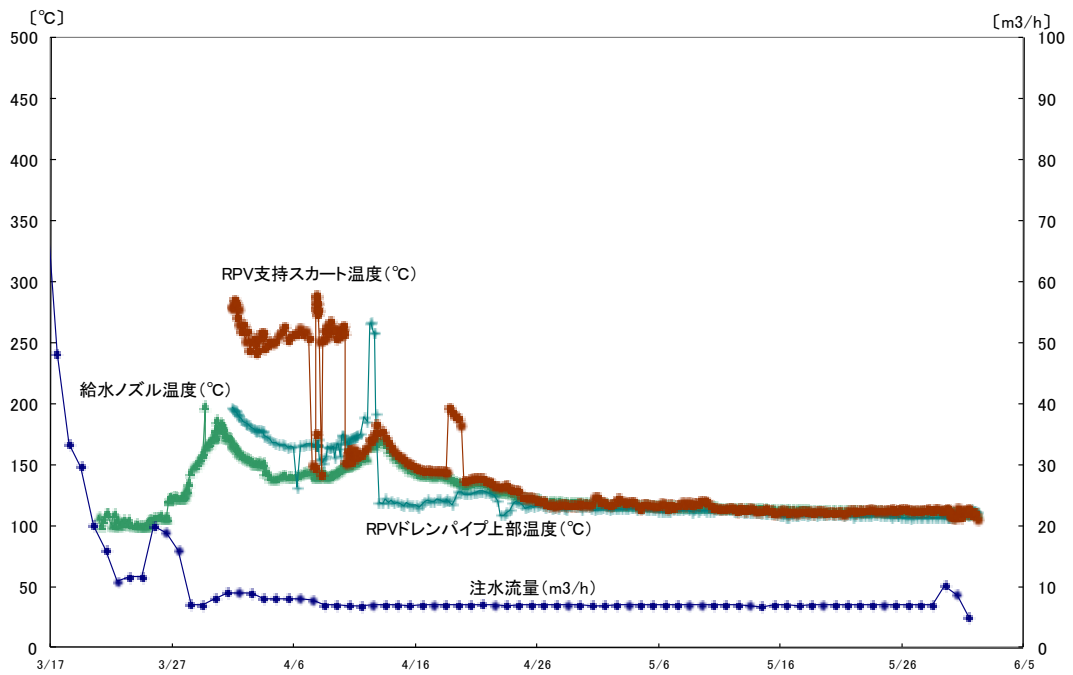
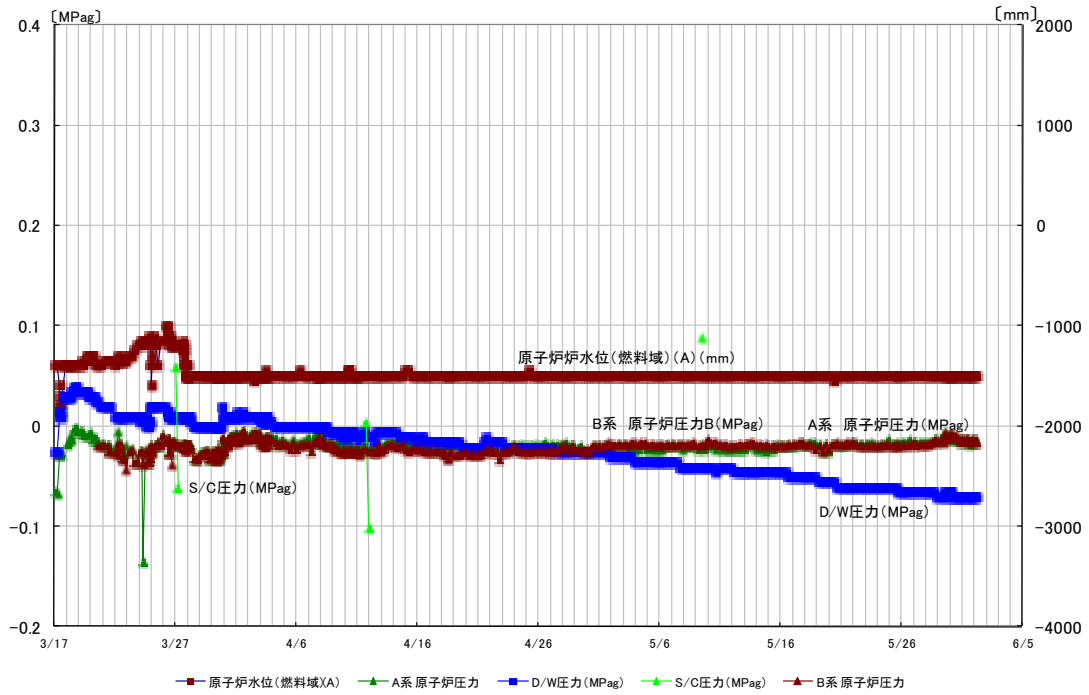
4/2	11:05 16:25 19:02 17:10 19:30	<p>バースクリーン近傍のビット内に1000mSvを超える水が滞留、ビット脇のコンクリートに20cm程度の亀裂、亀裂部よりビット内の水が海に流出していることを確認</p> <p>当該ビットの上流側に隣接するビット内にセメントを流し込む</p> <p>当該ビット内にセメントを流し込み開始</p> <p>ホットウェル(H/W)から復水貯蔵タンク(CST)への滞留水の移送開始</p> <p>17:10 19:30 水が海に流出しているビットの止水処置について、作業員の警報付ポケット線量計(APD)が警報設定値を超えたため作業を中断、流出状況に有意な減少傾向みられず</p>
4/3	11:50 13:47 14:30	<p>原子炉注水について仮設電動ポンプの電源を仮設電源から本設電源に切替え</p> <p>バースクリーン近傍のビット内の滞留水の止水措置として、おがくず20袋、高分子吸収剤80袋、裁断処理した新聞紙3袋を投入開始</p> <p>14:30 バースクリーン近傍のビット内の滞留水の止水措置として、おがくず20袋、高分子吸収剤60袋、裁断処理した新聞紙3袋を投入終了</p>
4/4	11:05 13:37	<p>使用済燃料プールへの仮設電動ポンプによる冷却水(淡水)注入開始</p> <p>13:37 使用済燃料プールへの仮設電動ポンプによる冷却水(淡水)注入停止 約70t</p>
4/5	14:15 17:00頃	<p>14:15 バースクリーン近傍のビット周辺2ヶ所に穴を明け、トレーサ液を注入したところ、トレーサ液が亀裂部より海に流出していることを確認</p> <p>17:00頃 約1500リットルの凝固剤を注入したところ、一時的に流量が少なくなる効果はあったが、その後流出量は元に戻り、変化なし、凝固剤の注入を継続</p>
4/6	5:38頃 13:15	<p>5:38頃 ビット亀裂部からの流水停止を確認</p> <p>13:15 ビット漏水部にゴム板とジャッキベースでふた実施</p>
4/7	13:29 14:34	<p>13:29 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水開始</p> <p>14:34 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水終了 約36t</p>
4/8		
4/9	13:10	復水器ホットウェル(H/W)保有水を復水貯蔵タンクへの移送完了
4/10	10:37 12:38	<p>10:37 使用済燃料プールへの仮設電動ポンプによる冷却水(淡水)注入開始</p> <p>12:38 使用済燃料プールへの仮設電動ポンプによる冷却水(淡水)注入停止、約60t</p>
4/11	17:16頃 17:56 18:04	<p>17:16頃 地震発生により、1、2号機(東北電力線)の外部電源は停止し、原子炉注水ポンプが停止</p> <p>17:56 外部電源復旧</p> <p>18:04 原子炉注水ポンプ再起動</p>
4/12	19:35	立坑からH/Wへの滞留水の移送開始
4/13	8:30 11:00 11:00 13:15 14:55 15:02 17:04	<p>8:30 2号機バースクリーンの海側に仮設の止水板(鋼板7枚中2枚)を設置開始、10時終了</p> <p>11:00 タービン建屋トレンチの滞留水の復水器ホットウェルへの移送について、漏えい確認等のため一時停止。(移送実績:約600t)</p> <p>11:00 立坑からH/Wへの滞留水の移送終了</p> <p>13:15 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水開始</p> <p>14:55 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水終了 約60t</p> <p>15:02 タービン建屋トレンチの滞留水の復水器ホットウェルへの移送について、漏えいがないことが確認されたことから移送を再開</p> <p>17:04 タービン建屋トレンチの滞留水の復水器ホットウェルへの移送停止</p>
4/14	7:45 12:20	<p>7:45 1、2号機スクリーン前面及びカーテンウォールに汚染水拡散防止のためシルトフェンスを設置開始</p> <p>12:20 1、2号機スクリーン前面及びカーテンウォールに汚染水拡散防止のためシルトフェンスを設置完了</p>
4/15	10:19 17:00	<p>10:19 注水ポンプ用分電盤等を津波対策として高台に移設する作業を開始</p> <p>17:00 注水ポンプ用分電盤等を津波対策として高台に移設する作業を完了</p>
4/16	10:13 11:54	<p>10:13 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水開始</p> <p>11:54 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水終了 約45t</p>
4/17		
4/18	12:13 12:37 13:42 14:33	<p>12:13 炉心注水に使用しているホースを新品に交換する作業開始。</p> <p>12:37 炉心注水に使用しているホースを新品に交換する作業完了。注水ポンプ運転</p> <p>13:42 原子炉建屋において、無人ロボットによる状況確認等を開始</p> <p>14:33 原子炉建屋において、無人ロボットによる状況確認等を終了</p>
4/19	10:08 10:23 16:08 17:26	<p>10:08 立坑から集中R/Wへの滞留水の移送開始</p> <p>10:23 1,2号→3,4号電源連係強化作業完了 (東電原子力線一次無線相互利用可能)</p> <p>16:08 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水開始</p> <p>17:26 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水終了、約50t</p>
4/20		
4/21		
4/22	15:55 17:40	<p>15:55 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水開始</p> <p>17:40 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水終了 約50t</p>
4/23		
4/24		
4/25	10:12 11:18 14:44 17:38 18:25	<p>10:12 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水開始</p> <p>11:18 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水終了 約38t</p> <p>14:44 電源強化工事(1,2号→5,6号連携)に伴い、1,2号6.9kV電源盤の停止作業を開始</p> <p>17:38 電源強化工事(1,2号→5,6号連携)に伴い、1,2号6.9kV電源盤の停止作業を完了</p> <p>18:25 炉心注入ポンプについて、外部電源を使用した状態に復旧</p>
4/26		
4/27		
4/28	10:15 11:28	<p>10:15 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水開始</p> <p>11:28 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水終了 約43t</p>
4/29	9:16	タービン建屋トレンチ内の滞留水の集中廃棄物処理施設プロセス建屋の移送は、移送設備の点検、監視機能などの増強作業のため、一旦中断
4/30	14:05	タービン建屋トレンチ内の滞留水の集中廃棄物処理施設プロセス建屋の移送は、移送設備の点検、監視機能などの作業のため、一旦中断していたが、点検等を終了し、移送ポンプ1台で移送を再開
5/1	13:35	砕石及びコンクリート等によるトレンチ立坑の閉塞作業を開始
5/2	10:05 11:40 12:58 14:53	<p>10:05 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水開始</p> <p>11:40 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水終了 約55t</p> <p>12:58 炉心注入ポンプへの警報装置の設置に伴い消防ポンプに切り替え</p> <p>14:53 炉心注入ポンプへの警報装置の設置終了、炉心注入ポンプに戻し注水</p>
5/3		
5/4		
5/5		
5/6	9:36 11:16	<p>9:36 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水開始</p> <p>11:16 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水終了 約58t</p>
5/7	9:22 16:02	<p>9:22 タービン建屋トレンチ内の滞留水の集中廃棄物処理施設プロセス建屋の移送は3号機の原子炉給水系配管工事のため、一旦中断</p> <p>16:02 タービン建屋トレンチ内の滞留水の集中廃棄物処理施設プロセス建屋の移送は3号機の原子炉給水系配管工事のため、一旦中断していたが、移送再開</p>
5/8		
5/9		
5/10	9:01 13:09 14:45	<p>9:01 タービン建屋トレンチ内の滞留水の集中廃棄物処理施設プロセス建屋の移送を、一旦停止</p> <p>13:09 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水開始</p> <p>14:45 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水終了 約56t</p>
5/11	8:47 15:55	<p>8:47 原子炉注水ポンプの電源を仮設ディーゼル発電機に切り替え、注水</p> <p>15:55 原子炉注水ポンプの電源は仮設ディーゼル発電機から所内電源に復旧</p>
5/12	15:20	タービン建屋トレンチ内の滞留水の集中廃棄物処理施設プロセス建屋の移送を、一旦停止(移送配管工事のため)していたが、移送再開
5/13		
5/14		
5/15	13:00 14:37	<p>13:00 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水開始</p> <p>14:37 使用済燃料プールに、使用済燃料冷却系を用いて仮設電動ポンプにより淡水を注水終了 約56t</p>
5/16		



図IV-5-4 主要パラメータの変化【1F-2】(3月11日から5月31日)



図IV-5-5 主要パラメータの変化【1F-2】(3月11日から3月17日)



図IV-5-6 主要パラメータの変化【1F-2】(3月17日から5月31日)

### (3) 福島第一原子力発電所 3号機

#### ① 事故の事象進展及び応急措置の整理（時系列）

##### a 地震発生後から津波襲来まで

本章 3. で記載したとおり、地震前には定格熱出力一定運転を行っていた。地震発生後の 3 月 11 日 14 時 47 分、原子炉は、地震加速度大によりスクラムし、同時刻に制御棒が全挿入し未臨界となり、正常に自動停止した。また、地震前から工事停電していた大熊線 3 号線に加え、地震により、新富岡変電所の遮断器がトリップ及び発電所内開閉所の受電用遮断器が損傷したため、大熊線 4 号線からの供給も途絶し、外部電源が喪失した。このため、非常用 DG2 台が自動起動した。

14 時 48 分、外部電源喪失により計器電源が失われたことでフェールセーフにより MSIV の閉鎖信号が発信し、MSIV が閉止した。MSIV の閉止について、東京電力は、過渡現象記録装置の記録では、主蒸気配管が破断した場合に観測される主蒸気流量の増大が確認できないことから、主蒸気配管の破断は発生していないと判断しており、原子力安全・保安院もその判断に合理性があるものと考えている。

MSIV の閉止により RPV 圧力が上昇し、15 時 05 分に RCIC を念のため手動起動させたが、15 時 25 分に原子炉水位高により停止している。

##### b 津波による影響

15 時 38 分には、津波による影響を受け、3 号機の冷却用海水ポンプ又は電源盤、非常用母線の被水・水没等により非常用 DG2 台の運転が停止、全交流電源喪失の状態となった。

また、残留熱除去系海水ポンプが機能喪失したことにより、RHR の機能が喪失し、崩壊熱を最終ヒートシンクである海に移行させることができない状態となった。

ただし、3 号機は直流母線の被水を免れた。交流母線からの交直変換による電源供給は行われなくなったものの、バックアップ用の蓄電池により、他号機と比較して長時間、直流を要する負荷（RCIC 弁や記録計等）に電源を供給した。

15 時 25 分の RCIC 停止に伴う水位低下により、16 時 03 分に再度 RCIC が起動し、12 日 11 時 36 分に停止した。

なお、12 日 11 時 36 分の RCIC が停止した理由については、当

該 RCIC の機能喪失時刻が稼働開始時から 20 時間以上経過しており、弁操作のための蓄電池が枯渇している可能性が高いが、この時点で停止した理由は不明である。

その後、炉心水位低 (L-2) により HPCI が 12 日 12 時 35 分に自動起動し、13 日 2 時 42 分に停止した。また、この際、プラント関連パラメータには水位の記載がなく、炉心水位が不明な中で、炉心注入系が停止したこととなる。

なお、HPCI 停止後 1 時間以上後の 3 時 51 分、水位計電源が回復し、燃料域で-1600mm (TAF-1600mm) であることが判明した。

HPCI の停止理由として、原子炉圧力が低下したことが考えられる。

これにより、東京電力は、原災法第 15 条の規定に基づく「原子炉冷却機能喪失」事象に該当すると判断して、原子力安全・保安院等に連絡した。

#### c 圧力変化

原子炉圧力は、スクラム後 7~7.5MPa でほぼ安定的に推移してきたが、12 日 9 時頃から変動幅が大きく見られるようになり、12 時 30 分頃から 19 時頃までで 6MPa 以上低下したことがわかる。

その後、12 日 19 時頃から 1MPa 前後で安定していたが、13 日 2 時頃から 2 時 30 分頃に一旦低下し、その後同日 4 時過ぎまでに 7MPa まで上昇している。この圧力変化の初期には HPCI は稼働していたが、その稼働停止に伴い原子炉圧力が急上昇した可能性がある。

12 日 12 時 30 分頃からの圧力低下については、6 時間以上かけて低下したことを踏まえると、大規模漏えいとは考えにくい。原因として、圧力低下の開始時間が、HPCI の起動時刻とほぼ一致し、また HPCI の稼働停止に伴い上昇していることから、HPCI 系統からの蒸気流出の可能性はある。

その後、13 日 9 時前に 0MPa 近くまで急激に圧力が減少しているが、これは SRV による急速減圧によるものと考えられる。

#### d 応急措置

東京電力は、3 月 13 日 2 時 42 分の HPCI 停止後、PCV 圧力を低下させるため、同日 8 時 41 分からウェットベントの操作を行い、同日 9 時 25 分頃から消防車により消火系ラインからホウ酸を含む



淡水注水を開始したものの、RPV 水位は低下した。この注水を考慮しても HPCI 停止から 6 時間 43 分の間、注水が停止していたこととなる。なお、同日 13 時 12 分には海水注水に切り替えられた。

さらに、PCV 圧力を低下させるため、14 日 5 時 20 分にウェットベントを行っている。

e 建屋の爆発とその後の措置

3 月 14 日 11 時 01 分には原子炉建屋上部での水素爆発と思われる爆発が発生し、オペレーションフロアから上部全体とオペレーションフロア 1 階下の南北の外壁並びに廃棄物処理建屋が損壊した。これらの過程で放射性物質が環境中へ放出されたため、敷地周辺での放射線量は上昇した。

原子炉への代替注水は、3 月 25 日には純水タンクを水源とする淡水の注水に戻した。総注水量は 5 月末時点で淡水約 16,130m<sup>3</sup>、海水約 4,495m<sup>3</sup> の合計約 20,625m<sup>3</sup> となっている。

また、3 月 28 日には原子炉注水について仮設電動ポンプを用いた注水とし、4 月 3 日からは仮設電動ポンプの電源を仮設電源から本設電源に切り替えるなど、安定的な注水システムに移行している。

電源の復旧については、新福島変電所変圧器の補修や夜の森線 1 号線と大熊線 3 号線とのバイパス工事等を行い、3 月 18 日には構内配電盤まで充電を完了し、22 日には中央制御室の照明が復旧するなど、負荷設備の健全性を確認しながら接続を拡充している。

主要な時系列については、表IV-5-3に示す。また、RPV 圧力等のプラントデータについては、図IV-5-7から図IV-5-9に示す。

② シビアアクシデント解析コードを使用した評価

a 東京電力による解析

東京電力による解析では、代替注水の流量が少なかった場合には、溶融した燃料により RPV が破損したとの結果となっている。東京電力においては、この結果に加え、これまでの RPV 温度の計測結果を踏まえると、燃料の大部分は、実際には RPV 下部で冷却されているものと評価している。

東京電力では、この過程において、HPCI 停止の 13 日 2 時 42 分から約 4 時間（地震発生後約 40 時間）で燃料が露出し、その後約 2 時間で炉心損傷が始まったものと推定している。その後、原子炉水

位が燃料域内において維持できていないとして代替注水の流量を想定し、崩壊熱により炉心溶融し、溶融した燃料が下部プレナムに移行した後、地震発生から約 66 時間後には、RPV の損傷に至ったとしている。

燃料に内包されていた放射性物質は、燃料の損傷、溶融とともに RPV に放出されて S/C に移行し、希ガスは PCV ベント操作によりほぼ全量が環境中へ放出されることとなり、放射性よう素は約 0.5% が放出という解析結果となっている。

なお、東京電力においては、追加的解析として、HPCI が作動している間において RPV 圧力及び D/W 圧力が低下していることから、HPCI の蒸気系統からの漏えいを想定した解析も実施している。解析の結果、RPV 圧力変化及び D/W 圧力変化は概ね一致する結果になったとしているが、計器の問題も含めて、HPCI 作動期間での RPV 圧力及び D/W 圧力の低下理由は、現状では特定できないとしている。

#### b 原子力安全・保安院のクロスチェック

クロスチェック解析では、東京電力が実施した条件（基本条件）で、MELCOR コードを用いた解析を行うとともに、感度解析として、代替注水の注水量をポンプ吐出圧力との関係で RPV 圧力に応じたものとした解析などを実施した。

基本条件でのクロスチェック解析では、概ねの傾向は同様であった。13 日 08 時頃（地震発生後約 41 時間）に燃料が露出し、その後 3 時間で炉心損傷が始まった結果となっている。RPV の破損時期は、地震発生から約 79 時間後となっている。

放射性物質の放出量は、放射性よう素は約 0.4～0.8% が放出、その他の核種は約 0.3～0.6% の放出という解析結果となっている。ただし、放出量は海水注水の流量等の条件設定によって変わり、運転状態が明確でないので運転状態次第で変わることがあり得るものである。

高圧注水系の作動状況の東京電力の想定については、定量的な設定根拠が示されていないことから、実態としてどうなっていたかの評価は困難であり、今後調査すべきものである。ただし、高圧注水系の作動状況がどちらの状況にあっても、高圧注水系の停止によって原子炉圧力は回復しており、原子炉水位が維持されていれば炉心の状態に大きな影響はなく、炉心の状態についての評価に影響があ

るわけではない。

### ③ RPV、PCV 等の状態の評価

#### a プラント情報の確認

プラント状態が比較的安定した時期である 3 月 15 日から 5 月 31 日について検討することとし、この期間でのプラントデータの取扱いについて以下のとおり検討した。

燃料域の原子炉水位は、PCV 圧力が高い状態で推移した時期には PCV 温度が高く、基準水位とする PCV 内の凝縮槽と計装配管内の水が蒸発して基準水位が下がり、原子炉水位を高めに表示していた可能性がある。その後は 1 号機と同様の傾向を示しているため、この期間において、RPV 内の水位を計測できていないものとした。

RPV 圧力は、A 系と B 系の測定値は概ね整合しており、実際の圧力を概ね示しているものとした。なお、負圧を示している期間については、圧力計の測定範囲外であり誤差範囲と判断した。

RPV 温度は、3 月 30 日以降 RPV 圧力と整合して 100°C 近傍で安定して推移しており、実際の温度を概ね示しているものとした。ただし、高い温度値を示す一部のデータについては、その他の測定値と傾向が整合しないことから評価対象から除外した。

3 月 15 日までのプラントデータの取扱いについては、この期間のデータは極めて限られているが、3 月 15 日以降へと連続して推移しており、原子炉水位を除き、それぞれ実際の状態を示しているものとして参照した。

燃料域の原子炉水位は、上述のとおり原子炉水位を高めに表示していた可能性があり、どの時点で指示がずれていったかは判断できないため、機器操作等の事象情報を踏まえて、大枠での変動状況のみ参照した。

#### b 比較的安定した時期での RPV、PCV 等の状態の推定

##### ○ RPV バウンダリの状態

5 月 31 日までの RPV への注水総量は東京電力情報で約 20,700 トンと見積もられている。崩壊熱評価式で崩壊熱を多めに見積もって評価した注水開始時からの蒸気発生総量は約 8,300 トンである。圧力バウンダリが確保されていれば少なくとも差分の約 12,400 トンは残存することになる。RPV の容積は多めに見積もっても 500 m<sup>3</sup> であることから、注水した水は RPV 中で気化し、蒸

気となって漏えいしているのみならず、液体のままでも漏えいしていると考えられる。RPV への注水は再循環水入口ノズル及び給水ノズルを通して行われており、(5月21日17時頃から5月28日23時頃)給水ノズルからの注水は一旦シュラウド外部に溜まり、ジェットポンプ・ディフューザを経由してRPV底部へ移行し、燃料の冷却を行っていると考えられるが、同時に、この部分で外部に漏えいしている可能性が高い。

なお、5月29日23時頃からは給水ノズルからの注水のみで切り替えられている。

RPV 圧力は、3月22日以降は大気圧近傍にあり、PCV の D/W 圧力と同等であることから、気相部において PCV と通じているものと、現時点では推定される。

#### ○ RPV 内の状態 (炉心の状態、水位)

RPV 温度は、3月20日にRPV圧力の上昇による注水流量の低下があって一部がオースケール(400°C以上)したが、3月24日に注水流量が確保されたことにより温度は低下し、100°C近傍で安定していたことから、燃料の相当量はRPV内にあるものと考えられる。ただし、RPV底部が損傷し、燃料の一部がD/Wフロア(下部ペDESTAL)に落下して堆積している可能性も現時点では否定できない。

5月に入って全体的に温度が上昇傾向にあり、一部で200°Cを超えており、RPV圧力に対する飽和温度よりも高いことから、燃料の一部は依然として水没しておらず、蒸気により冷却されている可能性があるものと推定される。

#### ○ PCV の状態

3月13日にD/W圧力及びS/C圧力がPCVの最高使用圧力(0.427MPag)を超えて最高で約0.5MPagに上昇していること等から、現時点ではフランジ部のガスケットや貫通部のシールの性能が劣化しているものと推定される。D/W圧力は大気圧近傍(0MPag)に維持されており、現時点では崩壊熱による発生蒸気はD/Wから外部に放出されているものと推定される。

S/Cの気相部は大気圧よりも高い圧力で推移しており、D/W圧力が大気圧近傍であることからD/W下部からS/Cへ流下する水の温度は最高でも100°Cである。したがって、0MPag以上の

S/C の気相部の圧力は非凝縮性ガスによるものと現時点では推定される。現在、東京電力においては D/W の水位を推定するべく検討を進めている。

④ 経時変化のある時期の RPV、PCV 等の状態の推定

地震後、RCIC による注水を継続していたが、12 日 12 時頃に RCIC が停止し、HPCI による注水に切り替わったことで原子炉圧力は低下したことから、原子炉水位は上昇したものと推定される。しかし、13 日未明になって、原子炉圧力の低下により HPCI が停止した。

HPCI の停止により、原子炉圧力は約 7MPa の運転圧力を超えたが、SRV が作動し S/C に蒸気が放出されることにより、約 7MPa で推移し、この間に原子炉水位が低下し、燃料が損傷したものと現時点では推定される。

SRV を開き原子炉圧力を低下させて、13 日 9 時 25 分に代替注水を行うとともに、PCV 圧力の上昇に応じてウェットベント操作を行ったものと現時点では推定される。また、消防車での代替注水を実施しているとの報告を受けているが、水位の回復に至っていないことから、原子炉圧力等との関係で所要の性能を発揮しなかった可能性がある。どの程度機能したのかについては、各機器等の状況などの詳細調査や解析による分析が必要である。

⑤ 事故の事象進展に関する評価

3 号機の事故の事象進展については、これまでの解析等から、RCIC 及び HPCI が機能しなくなったことから、消火系ラインを用いた PCV スプレーとウェットベントの操作を行い、RPV の減圧操作と淡水の注水を開始して以降も水位計の状況を踏まえると十分に注水できなかった可能性があり、冷却が十分にできず炉心溶融し、溶融した燃料等が RPV 下部に移行していったものと推定される。

注水量と崩壊熱による蒸気発生量のバランスから、RPV に注水している水が漏えいしていると推定される。

RPV 温度の計測結果を踏まえると、燃料の相当量は RPV 下部で冷却されていると考えられる。

また、原子炉建屋の爆発については、現場確認に制約があるため確かなことは不明である。シビアアクシデント解析に加え、数値流体力学的解析を行った結果として、現時点において、原子炉で燃料被覆管のジルコニウムと水が反応して発生した水素を含む気体が RPV 及び

PCV から漏えい等で放出されたことにより、爆轟域に至るだけの水素が原子炉建屋上部の空間に滞留して爆発した可能性が考えられる。これに伴い、損壊の大きい原子炉建屋 4 階西側では再循環ポンプ回転数制御用 MG セットの油等の燃焼が併発した可能性も考えられる。廃棄物処理建屋については、爆風による損傷のほか、配管貫通部等を通して水素が流入した可能性も現時点では否定できない。なお、爆発により飛散した瓦礫の一部で周辺作業の障害となる高線量の汚染が確認されており、シビアアクシデント解析では PCV からの漏えいは想定していないものの、PCV の最高使用圧力を超えていることから、PCV から漏えいした放射性物質が原子炉建屋の構造物に沈着していたことによる可能性が考えられる。

現時点においては、各機器が実際にどの程度機能したのかは特定できないため、事象進展状況についても確定することはできないが、現状のシビアアクシデント解析結果から、13 日昼以降のウェットベントによって環境中に放出され、希ガスについては炉内内蔵量のほとんどが、よう素、セシウムについては、放出割合でそれぞれ約 0.4~0.8%、約 0.3~0.6%と推定される。

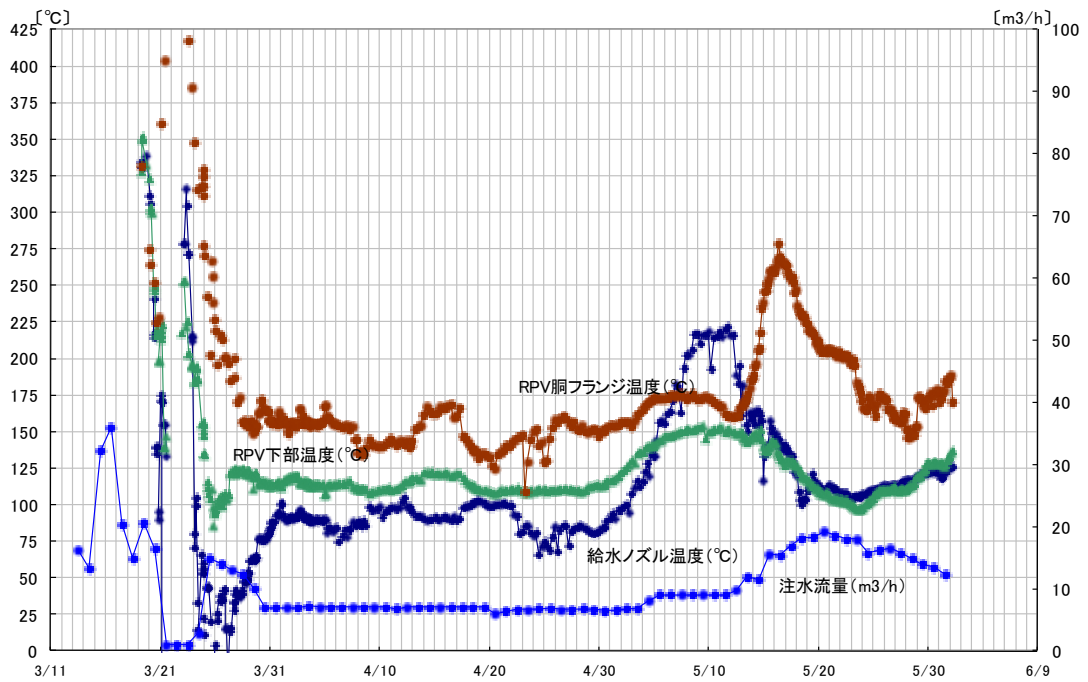
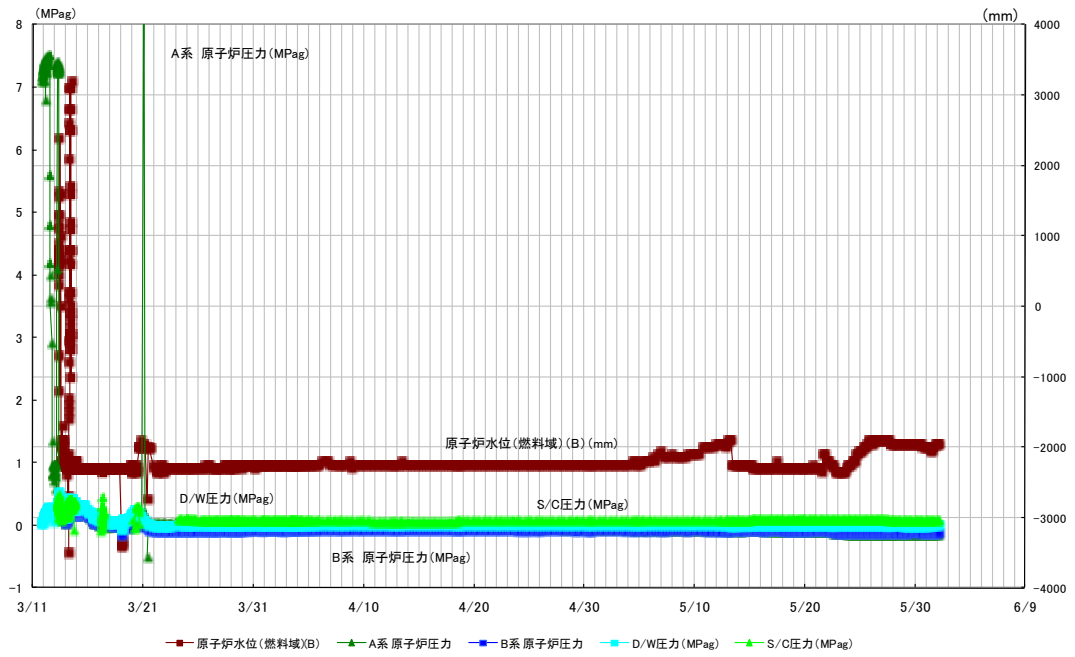
表IV-5-3 福島第一原子力発電所 3号機 主要時系列（暫定）

※この表に含まれる情報は、緊急時対応を行っていた中で情報が錯綜していた等の理由により、信頼性の低い情報が含まれている可能性があるため、その後の検証等により情報が訂正される可能性がある。なお、日本政府の現在の見解は本文に記載のとおりである。

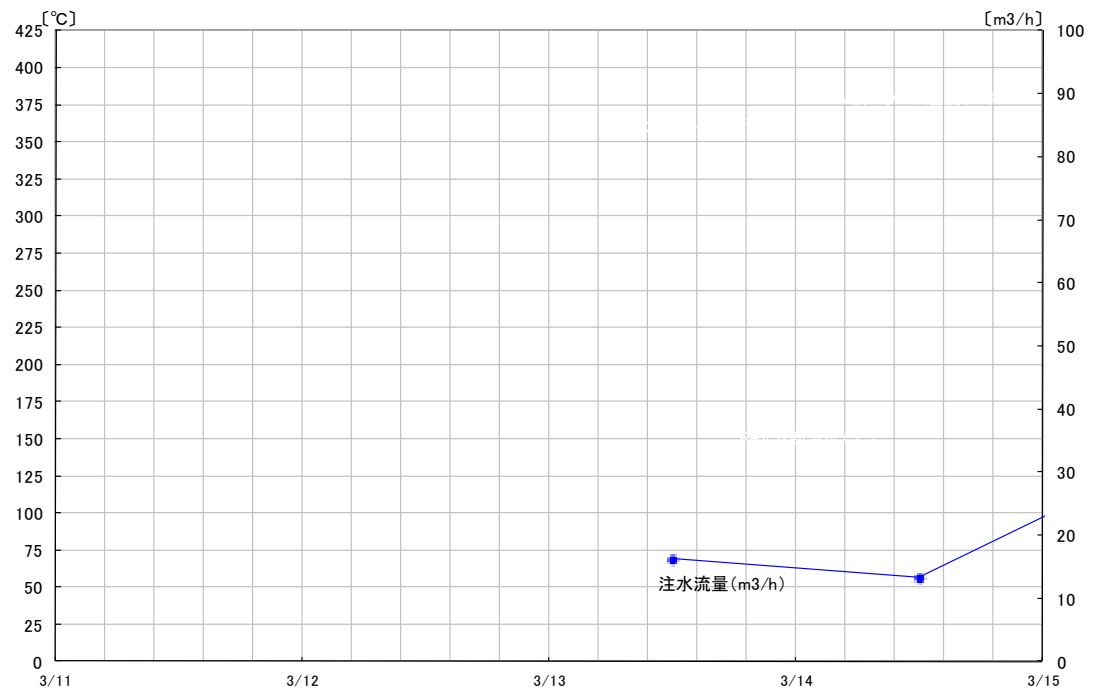
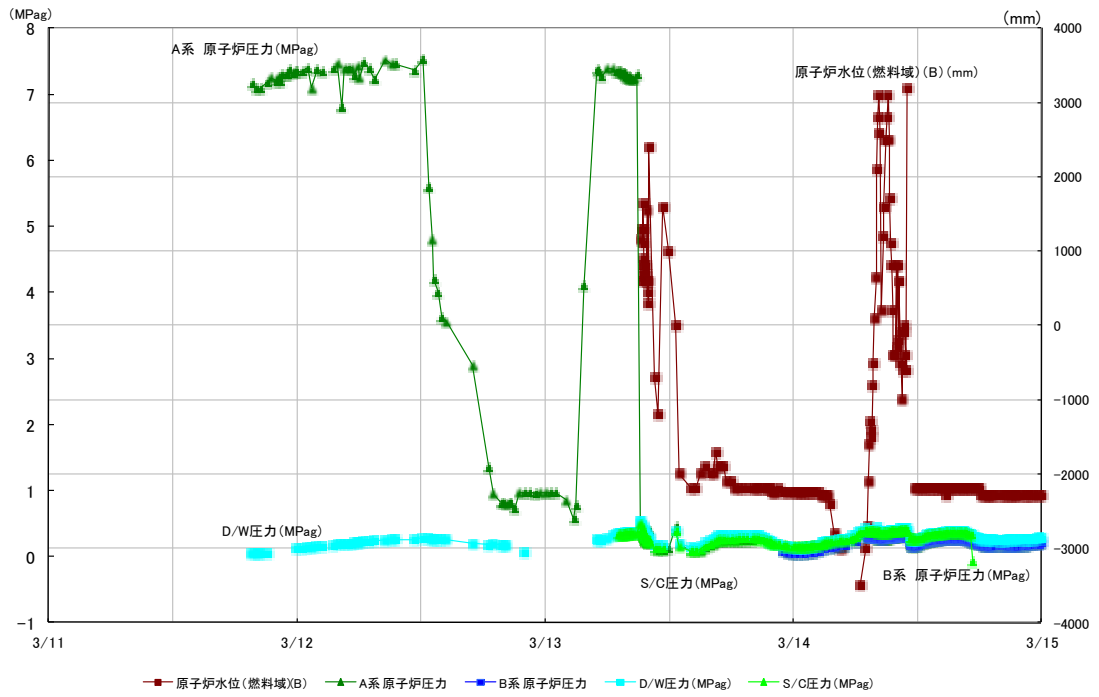
福島第一原子力発電所 3号機	
地震前状況：運転中	
3/11	14:47 原子炉スクラム(地震加速度大) 制御棒全挿入 タービントリップ 外部電源喪失 14:48 非常用ディーゼル発電機(非常用DG)起動 主蒸気隔離弁(MSIV)閉 以後、逃がし安全弁(SR弁)閉鎖繰り返し 15:05 原子炉隔離時冷却系(RCIC)手動起動 15:25 RCICトリップ(L-8) 15:38 全交流電源喪失 15:42 原災法第10条通報事象(全交流電源喪失)が発生したと事業者が判断 16:03 RCIC手動起動 20:30 RCIC動作中 中操照明(仮設確保準備中) 23:35 水位低下傾向(400mm(22:58)→350mm(ワイド))
3/12	11:36 RCICトリップ 12:35 高圧注水系(HPCI)起動(L-2) 12:45 原子炉圧力降下傾向(7.53MPa(12:10)→5.6MPa) 20:15 原子炉圧力降下傾向(0.8MPa)
3/13	2:42 HPCI停止 4:15 原子炉水位が有効燃料頂部(TAF)に到達したと判断 5:10 HPCIが停止したため、RCICによる原子炉への注水を試みたが、RCICが起動できなかったことから、原災法第15条事象(原子炉冷却機能喪失)に該当すると事業者が判断 6:00 原子炉水位-3500mm(ワイド) 7:39 格納容器スプレイを開始(7時45分の水位TAF-3,000mm、原子炉圧力7.31MPa、D/W圧力460kPa、S/C圧力440kPa) 8:41 ベントのため、2つ目の弁(AO弁)を「開」操作 9:08 逃がし安全弁(SRV)による原子炉圧力容器減圧操作 以降、SRV駆動用空気圧や空気供給ラインの電磁弁の励磁維持の問題によるSRVの閉鎖と開操作がなされた様子 9:20頃 格納容器圧力の低下傾向であることを確認 9:25 消火剤ラインによる原子炉への淡水注水を開始(ホウ酸入り) 11:17 駆動用空気圧抜けによるベントラインAO弁閉鎖確認 以降、AO弁駆動用空気圧や空気供給ラインの電磁弁の励磁維持の問題から開状態維持が難しく、開操作が複数回実施 12:30 圧力抑制室側AO弁閉鎖操作 13:12 原子炉への注水を淡水から海水に切替え 22:15 ディーゼル駆動消火ポンプ(D/DFP)停止(燃料が無くなる前に停止)
3/14	1:10 原子炉へ供給している海水が残り少なくなったため、海水注水を一旦停止 3:20 原子炉への海水注水再開 格納容器雰囲気モニタ(CAMS)測定結果は、 $1.4 \times 10^2$ Sv/h(D/W)、炉心損傷割合は、約30%と推定 ベントのため、弁(AO弁)を「開」操作 6:10 D/W圧力が460kPa abs 9:05 D/W圧力が490kPa abs 11:00頃 原子炉建屋上部での水素爆発と思われる爆発が発生(爆発らしき事象が発生、白煙が上がった模様) 11:25 原子炉圧力(A)0.175MPa、D/W圧力360kPa、S/C圧力380kPa、水位(A)-1800mm
3/15	16:00 圧力抑制室側AO弁閉鎖確認 16:05 圧力抑制室AO弁閉鎖操作
3/16	1:55 圧力抑制室側AO弁閉鎖操作 8:30頃 3号機から白煙が大きく噴出
3/17	9:48 ヘリによる使用済燃料プールへの海水放水開始 10:01 ヘリによる使用済燃料プールへの海水放水終了、約30t 19:05頃 警視庁機動隊の高圧放水車による使用済燃料プールへの放水開始 19:13 警視庁機動隊の高圧放水車による使用済燃料プールへの放水終了、約44t 19:35 使用済燃料プールへの機動隊の消防車による放水開始 20:09 使用済燃料プールへの機動隊の消防車による放水終了、約30t 21:00 圧力抑制室側AO弁閉鎖確認 21:30頃 圧力抑制室側AO弁閉鎖操作
3/18	5:30頃 圧力抑制室側AO弁閉鎖確認 14:00 使用済燃料プールへの自衛隊消防車による放水開始 14:38 使用済燃料プールへの自衛隊消防車による放水終了、約40t 14:42 使用済燃料プールへの米軍高圧放水車による放水開始 14:45 使用済燃料プールへの米軍高圧放水車による放水終了、約2t
3/19	0:30 使用済燃料プールへの東京消防庁消防車による放水開始 1:10 使用済燃料プールへの東京消防庁消防車による放水終了、約60t 11:30 圧力抑制室側AO弁閉鎖確認 14:10 使用済燃料プールへの東京消防庁消防救助部隊による放水開始
3/20	3:40 使用済燃料プールへの東京消防庁消防救助部隊による放水終了、約2430t 放水前後の放射線量は $3417 \mu$ Sv/h(14時10分)から放水後 $2758 \mu$ Sv/h(3時40分) 格納容器内圧力高めを推移 11:25頃 圧力抑制室側AO弁閉鎖操作 21:36頃 使用済燃料プール冷却への東京消防庁消防救助部隊による放水を開始
3/21	3:58 使用済燃料プール冷却への東京消防庁消防救助部隊による放水を終了、約1.137t 15:55頃 原子炉建屋、屋上南東側より、やや灰色がかかった煙が発生
3/22	10:36 非常用低圧配電盤(パワースタター(P/C)4D)受電 15:10 使用済燃料プールへの東京消防庁消防救助部隊による放水開始 15:59 使用済燃料プールへの東京消防庁消防救助部隊による放水終了、約150t 22:28 計測用主母線盤受電 AC120V 22:46 中操照明復旧
3/23	11:03 使用済燃料プールへの燃料プール冷却浄化系(FPC)からの海水注水を開始 13:20 使用済燃料プールへのFPCからの海水注水終了、約35t 16:20頃 原子炉建屋付近より、やや黒煙が発生
3/24	5:35頃 使用済燃料プールへのFPCからの海水注水開始 16:05頃 使用済燃料プールへのFPCからの海水注水終了、約120t
3/25	13:28 使用済燃料プールへの東京消防庁の支援を受けた川崎市消防局による放水開始 16:00 使用済燃料プールへの東京消防庁の支援を受けた川崎市消防局による放水終了、約450t 18:02 原子炉への注水を海水から淡水に切替え
3/26	
3/27	12:34 東電コンクリートポンプ車(以降コンクリートポンプ車)による使用済燃料プールへの海水放水開始 14:36 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの海水放水終了、約100t
3/28	17:40 復水貯蔵タンク(CST)からサプレッションプール水サージタンク(SPT)への滞留水の移送開始 20:30 原子炉への注水について消防ポンプから仮設電動ポンプによる注水に切替え
3/29	14:17 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの淡水放水開始(以降、淡水放水を実施) 18:18 コンクリートポンプ車によるSFPへの放水終了、約100t(海水から淡水に切り替え、以降淡水放水を実施)
3/30	

3/31	8:37 CSTからSPTへの滞留水の移送終了 16:30 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 19:33 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了、約105t
4/1	
4/2	9:52 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 12:54 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了、約75t
4/3	11:50 原子炉への注水について仮設電動ポンプの電源を仮設から本設電源に切替え
4/4	17:03 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 19:19 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約70t
4/5	
4/6	
4/7	6:53 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 8:53 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約70t
4/8	17:06 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 18:30頃 圧力抑制室側AO弁閉確認 20:00 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約75t
4/9	
4/10	17:15 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 19:15 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約80t
4/11	17:16頃 地震発生により、1、2号機(東北電力線)の外部電源は停止し、原子炉注水ポンプが停止 18:04 原子炉注水ポンプ再起動
4/12	16:26 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 17:16 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約35t
4/13	
4/14	15:56 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 16:32 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水(淡水)終了 約25t
4/15	10:19 注水ポンプ用分電盤等を津波対策として高台に移設する作業を開始 17:00 注水ポンプ用分電盤等を津波対策として高台に移設する作業を完了
4/16	
4/17	11:30 原子炉建屋において、無人ロボットによる状況確認等を開始 14:00 原子炉建屋において、無人ロボットによる状況確認等を終了
4/18	12:38 原子炉注水に使用しているホースを新品に交換する作業開始。原子炉注水ポンプ停止 13:05 原子炉注水に使用しているホースを新品に交換する作業完了。原子炉注水ポンプ運転 14:17 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 15:02 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約30t
4/19	10:23 1,2号-3,4号電源連係強化作業完了 (東電原子力線-大熊線相互利用可能)
4/20	
4/21	
4/22	14:19 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 15:40 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約50t
4/23	
4/24	
4/25	18:25 炉内注入ポンプについて、外部電源を使用した状態に復旧
4/26	12:00 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水、水面確認 12:25 使用済燃料プールへの燃料プール冷却浄化系(FPC)からの注水(淡水)開始 14:02 使用済燃料プールへのFPCからの注水終了 約47.5t
4/27	
4/28	
4/29	
4/30	10:31 3、4号機用外部電源(大熊3号線)を、6.6KVから66KVに強化するため、4号機用480V電源盤、及び使用済燃料共用プール480V電源盤を停止 11:34 4号機用480V電源盤、及び使用済燃料共用プール480V電源盤を復旧し、電源強化工事を終了
5/1	13:35 2号機、3号機のトレンチにおける海側立坑内の滞留水の溢水及び、津波による海水の進入を防止するため、砕石及びコンクリート等によるトレンチ立坑の閉塞作業を開始
5/2	12:58 原子炉注入ポンプへの警報装置設置に伴い消防ポンプに切り替え 14:53 原子炉注入ポンプへの警報装置設置終了、原子炉注入ポンプに戻し注水
5/3	
5/4	
5/5	
5/6	
5/7	
5/8	11:38 使用済燃料プールの水位計測 12:10 使用済燃料プールへのFPCからの注水開始 14:10 使用済燃料プールへのFPCからの注水終了 60t 使用済燃料プールの水位計測、サンプリング開始 14:50 使用済燃料プールの水位計測、サンプリング終了
5/9	12:14 使用済燃料プールへのFPCからの注水開始 12:39 使用済燃料プールへのFPCからのいた注水に併せ、腐食防止剤(ヒドラジン)の注入を開始 14:36 使用済燃料プールへのFPCからのいた注水に併せ、腐食防止剤(ヒドラジン)の注入を終了 15:00 使用済燃料プール冷却のため燃料プール冷却浄化系を用いた淡水の注水終了 約80t(注水前後に使用済燃料プールの水位計測)
5/10	
5/11	8:47 原子炉注水ポンプの電源を仮設ディーゼル発電機に切り替え、注水 12:30頃 スクリーン近傍にあるケーブルビット内に水の流入確認 15:55 原子炉注水ポンプの電源は仮設ディーゼル発電機から所内電源に復旧 18:40 スクリーン近傍にあるケーブルビット内に水の流入について、止水処理を実施 18:45 スクリーン近傍にあるケーブルビット内への水の流入停止を確認
5/12	16:53 消火系配管を使用した注水を給水系配管からの注水に切り替え作業は、消火系配管からの約9t/hの注水に加え給水系から、約3t/hの注水を開始
5/13	
5/14	
5/15	
5/16	15:10 使用済燃料プールへの仮設の電動ポンプの注水に併せ、腐食防止剤(ヒドラジン)の注入を開始 17:30 使用済燃料プールへの仮設の電動ポンプの注水に併せ、腐食防止剤(ヒドラジン)の注入を終了

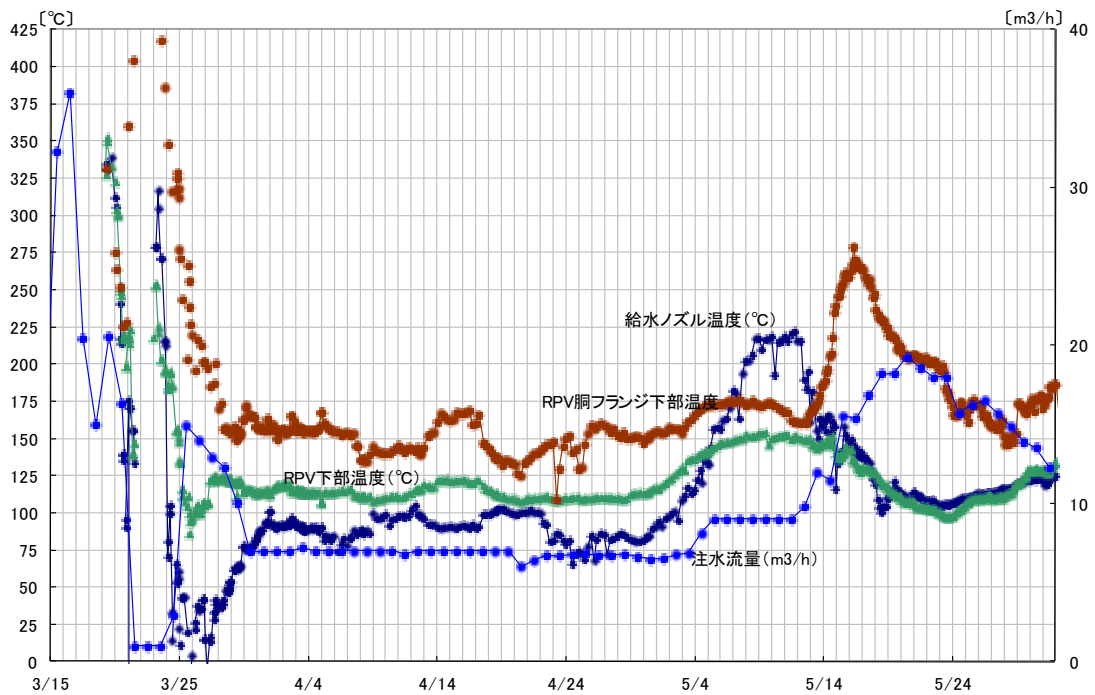
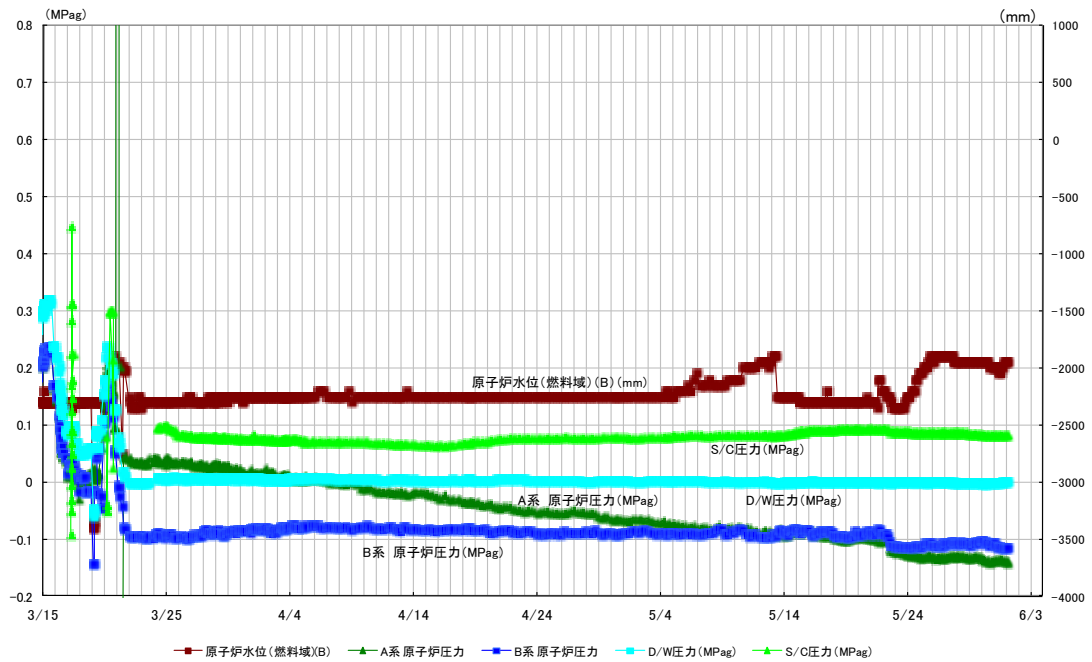




図IV-5-4 主要パラメータの変化【1F-3】(3月11日~5月31日)



図IV-5-5 主要パラメータの変化【1F-3】(3月11日~3月15日)



図IV-5-6 主要パラメータの変化【1F-3】(3月15日~5月31日)

#### (4) 福島第一原子力発電所 4号機

##### ① 事故の事象進展及び応急措置の整理（時系列）

###### a 地震発生後から津波襲来まで

本章 3. で記載したとおり、4号機は地震時には定期検査中であり、シュラウド工事中のため原子炉内から全燃料を使用済燃料プールに取り出した状態であった。そのため、使用済燃料プールには比較的崩壊熱の高い燃料が1炉心分貯蔵されており、貯蔵容量1,590体の97%となる1,535体が貯蔵されていた。

使用済燃料プールの状態については、原子炉側でシュラウド切断作業が実施されていたことから、プールゲート（原子炉ウェルと使用済燃料プールの間仕切り板）が閉じられた状態で、満水状態であったことがわかっている。

3月11日、地震前から工事停電していた大熊線3号線に加え、地震により、新富岡変電所の遮断器がトリップ及び発電所内開閉所の受電用遮断器が損傷したため、大熊線4号線からの供給も途絶し、外部電源が喪失した。

4号機は定期検査中でありプロセス計算機や過渡現象記録装置の取替え作業中であったことから、非常用DGの起動を証明する記録は存在しない。しかし、燃料油タンクレベルの低下が確認されていることや非常用DGから給電される機器が運転されていることから、非常用DG1台（他の1台は点検中）は起動したと推定される。

外部電源喪失により使用済燃料プールの冷却ポンプも停止したが、外部電源喪失に伴い、非常用DGからの給電を受けるRHR等を利用することが可能であった。しかしながら、当該切替えには現場操作が必要であり、津波到達前に起動するには至らなかったとしている。

###### b 津波による影響

その後、15時38分には、津波の影響を受けて冷却用海水ポンプ又は電源盤の被水等により非常用DG1台の運転が停止したことにより、全交流電源喪失の状態となり、使用済燃料プールの冷却機能及び補給水機能が喪失した。

###### c 建屋の爆発とその後の措置

4号機使用済燃料プールは冷却機能を失い、3月14日4時08分には水温が84℃に上昇した。3月15日6時頃に、原子炉建屋にお

いて水素爆発と思われる爆発が発生し、オペレーションフロア 1 階下から上部全体と西側と階段沿いの壁面が損壊した。さらに 9 時 38 分には原子炉建屋 4 階北西付近で火災が発生していることが確認されたが、東京電力では、11 時頃、自然に火が消えていることを確認した。3 月 16 日 5 時 45 分頃にも、原子炉建屋 3 階北西付近で火災が発生しているとの連絡があったが、6 時 15 分頃、東京電力は、現場での火災は確認できなかったとした。

原子炉建屋の爆発については、現場確認に制約があるため確かなことは不明である。例えば、水位の低下により貯蔵している使用済燃料が露出し、温度が上昇することで被覆管のジルコニウムと水蒸気が反応して発生した水素が起因となったとすると、貯蔵している使用済燃料の崩壊熱から想定される水温の上昇及び水位の低下から推定される。そうした現象が発生するべき時期よりも速い段階で起きたことになる。そのため、現時点では、使用済燃料プールでの亀裂発生や、温度上昇による激しい沸騰（フラッシング）での溢水発生など付加的な水位低下を考慮しなければならない。一方、コンクリートポンプ車を用いてプール水を採取し、核種分析を行った結果は表Ⅳ-5-4 のとおりであり、これから大規模な燃料の損傷はなかったものと推定されること、また、プールの現状について目視による点検の結果、水漏れは確認されないなど、亀裂の存在等といったプールの損傷についても確認されていない。他方、隣接している 3 号機では炉心損傷により多量の水素が発生したものと推定しており、その一部は PCV ベントにより放出を行っている。また、図Ⅳ-5-10、図Ⅳ-5-11 に示すように PCV ベントの排気管が排気筒の手前で 4 号機の排気管と合流しており、4 号機の非常用ガス処理設備では逆流を防止できる止め弁が設置されていなかったことが分かっており、3 号機のベントにより排出された水素が流入してきた可能性がある。

いずれにせよ、上述のとおり、プール水の核種分析結果や目視点検結果を踏まえると、4 号機使用済燃料プールは健全性を維持していると考えられる。

なお、その後の注水措置等については、後述の使用済燃料プールの項にて記述する。

主要な時系列については、表Ⅳ-5-5 に示す。

表IV-5-4 4号機使用済燃料プール核種分析結果

採取日	主な検出核種	濃度 (Bq/cm <sup>3</sup> )
4月12日	セシウム 134	88
	セシウム 137	93
	ヨウ素 131	220
4月28日	セシウム 134	49
	セシウム 137	55
	ヨウ素 131	27
5月7日	セシウム 134	56
	セシウム 137	67
	ヨウ素 131	16

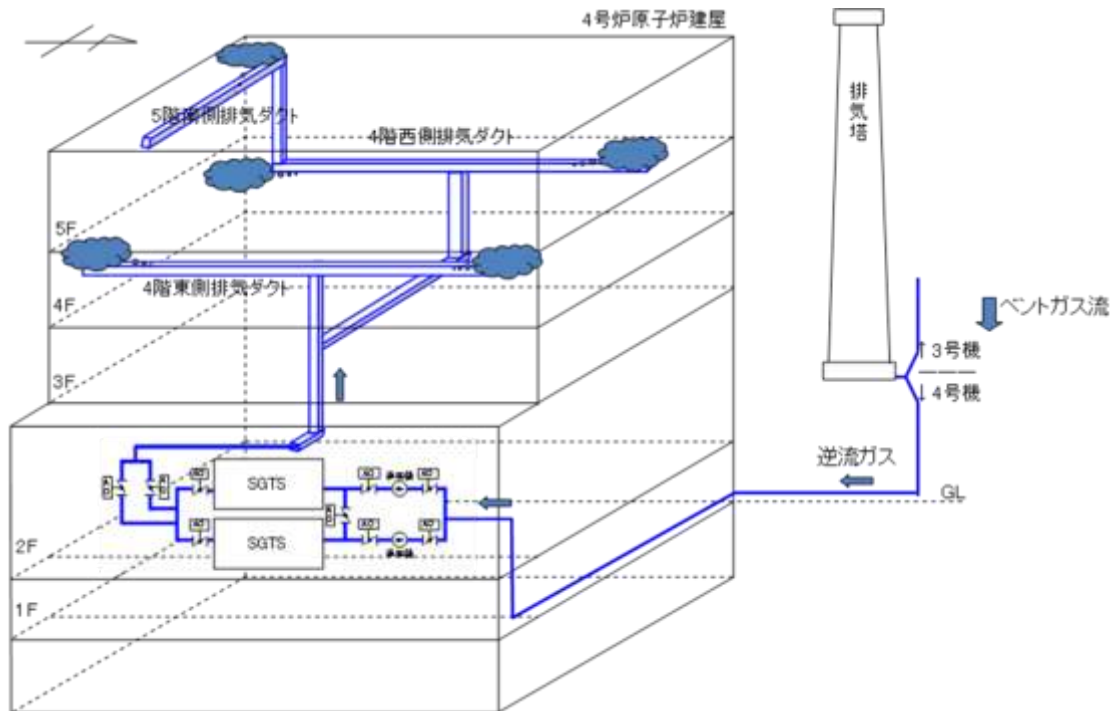
表IV-5-5 福島第一原子力発電所 4号機 主要時系列（暫定）

※この表に含まれる情報は、緊急時対応を行っていた中で情報が錯綜していた等の理由により、信頼性の低い情報が含まれている可能性があるため、その後の検証等により情報が訂正される可能性がある。なお、日本政府の現在の見解は本文に記載のとおりである。

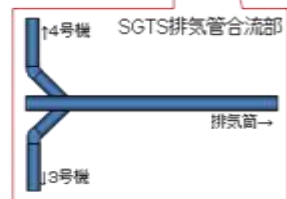
福島第一原子力発電所 4号機	
	地震前状況：停止中
3/11	14:46 定期検査により停止中 15:38 全交流電源喪失 20:30 中操照明(仮設確保準備中)
3/12	
3/13	
3/14	4:08 使用済燃料プール温度84℃
3/15	6:00 6:00～6:10頃、大きな衝撃音が発生。原子炉建屋屋根付近にて、損傷を発見 ～ 6:10 頃 6:56 建屋の上が変形した模様 8:11 原子炉建屋に損傷が確認され、正門付近で500μ Sv/hを超えたことから15条報告事象(火災、爆発等による放射性物質の異常放出)が発生したと事業者が判断 9:38 原子炉建屋3階北西コーナ付近より火災発生確認、消防へ連絡 米軍及び自衛消防隊による消火活動実施予定 11:00頃 原子炉建屋火災について現場確認したところ、自然に火が消えていることを確認
3/16	5:45 4号機原子炉建屋4階北面付近より炎が上がっているのを確認 消防へ連絡、消火準備中 6:15 原子炉建屋火災の再確認をおこなったところ、火は確認できず 10:43 3号機から白い湯気のようなもやがでていることから、屋外業を中止、緊急対策室への避難を指示(2.9mSv/h 10:55 正門)
3/17	
3/18	
3/19	
3/20	8:21 使用済燃料プール冷却のため、自衛隊が使用済燃料プールへの放水開始 9:40 使用済燃料プール冷却のため、自衛隊が使用済燃料プールへの放水終了 約80t 18:30 自衛隊が使用済燃料プールへの放水開始 19:46 自衛隊が使用済燃料プールへの放水終了 約80t
3/21	6:37 自衛隊が使用済燃料プールへの放水開始 8:38 米軍高圧放水車により、放水を8時41分まで実施 約2.2t 8:41 全13台による放水を終了約90t
3/22	10:35 非常用低圧配電盤(パワーセンター(P/C)4D)受電 17:17 東電コンクリートポンプ車(以降コンクリートポンプ車)による使用済燃料プールへの放水開始 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了、約150t 21:52 計測用主母線盤受電
3/23	10:00 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 13:02 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了、約125t
3/24	14:36 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 17:30 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了、約150t
3/25	6:05 使用済燃料プールへの燃料プール冷却浄化系(FPC)からの海水注水開始 10:20 使用済燃料プールへのFPCからの注水終了約20t 19:05 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 22:07 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了、約150t
3/26	
3/27	16:55 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 19:25 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了、約125t
3/28	
3/29	11:50 中操照明受電
3/30	14:04 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 18:33 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水を、計器で水位を確認できるまで実施し終了、淡水放水、約140t(以降淡水放水)
3/31	
4/1	8:28 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 14:14 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約180t
4/2	14:25 集中廃棄物処理施設(集中RW)からタービン建屋(T/B)への滞留水の移送開始
4/3	10:00 集中RWからT/Bへの滞留水の移送で、移送ホップを1台から5台に増設 17:14 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 22:16 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約180t
4/4	9:22 3号機の立抗水位上昇確認のため、集中RWからT/Bへの移送を停止
4/5	17:35 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 18:22 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水を終了 約20t
4/6	
4/7	18:23 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 19:40 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約38t
4/8	
4/9	17:07 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 19:24 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約90t
4/10	
4/11	
4/12	12:00 使用済燃料プール内に保管されている燃料の状況把握のため、使用済燃料プール水のサンプリング作業を開始 13:04 使用済燃料プールのサンプリング作業を完了
4/13	0:30 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 6:57 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約195t
4/14	18:10 4/12に採取したプール水について、4/13に放射性物質の核種分析を行った結果を報告。
4/15	14:30 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 18:29 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約140t
4/16	

4/17	17:39 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 21:22 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約140t
4/18	
4/19	10:17 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 10:23 1,2号-3,4号電源連係強化作業完了 (東電原子力線-大熊線相互利用可能) 11:35 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約40t
4/20	17:08 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 20:31 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約100t
4/21	17:14 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 21:20 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約140t
4/22	17:52 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 23:53 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約200t
4/23	12:30 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 16:44 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約140t
4/24	12:25 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 17:07 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約165t
4/25	18:15 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始
4/26	0:26 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへ放を終了 約210t 10:23 電源強化工事に伴う3・4号系から1・2号系への切替として、4号機用480V電源盤の停止作業を開始 16:50 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 20:35 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 130t
4/27	12:18 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 15:15 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了 約85t
4/28	11:43 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水のため、水位計測を開始 11:54 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水のための水位計測を終了 11:55 使用済燃料プールサンプリング開始 12:07 使用済燃料プールサンプリング終了
4/29	10:29 使用済燃料プール 水位計測 10:35 使用済燃料プール温度測定
4/30	10:14 使用済燃料プール水位計測、温度測定開始 10:28 使用済燃料プール水位計測、温度測定終了 10:31 3・4号機用外部電源(大熊3号線)を、6.6KVから66KVに強化するため、4号機用480V電源盤、及び使用済燃料共用プール480V電源盤を停止 11:34 3・4号機用外部電源(大熊3号線)を、6.6KVから66KVに強化するため、4号機用480V電源盤、及び使用済燃料共用プール480V電源盤を復旧し、電源強化工事を終了
5/1	10:32 使用済燃料プール水位計測、温度測定開始 10:38 使用済燃料プール水位計測、温度測定終了
5/2	10:10 使用済燃料プール水位計測、温度測定開始 10:20 使用済燃料プール水位計測、温度測定終了
5/3	10:15 使用済燃料プール水位計測、温度測定開始 10:23 使用済燃料プール水位計測、温度測定終了
5/4	10:25 使用済燃料プール水位計測、温度測定開始 10:35 使用済燃料プール水位計測、温度測定終了
5/5	11:55 使用済燃料プール水位計測、温度測定開始 12:05 使用済燃料プール水位計測、温度測定終了 12:19 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 20:46 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了約270t
5/6	12:16 使用済燃料プール水位計測、温度測定 12:16 使用済燃料プール水位計測、温度測定 12:38 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 17:51 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了約180t
5/7	11:00 使用済燃料プール水位計測、温度測定、サンプリング 14:05 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 17:30 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水を終了約120t
5/8	16:18 3号機炉心注入ライン工事に伴う準備のため、タービン建屋にある復水器ホットウエルからの水抜き作業を開始
5/9	16:05 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 19:05 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了約100t
5/10	
5/11	16:07 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 19:38 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了約120t
5/12	12:20 3・4号機用外部電源(大熊3号線)を、6.6KVから66KVに強化するため、4号機用480V電源盤、及び使用済燃料共用プール480V電源盤の受電側を東北電力線への切り替えを完了
5/13	16:04 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 16:20 使用済燃料プールへの放水に併せ、腐食防止剤(ヒドラジン)の注入を開始 18:41 使用済燃料プールへの放水に併せ、腐食防止剤(ヒドラジン)の注入を終了 ヒドラジン注入量0.12m3 19:04 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了約100t
5/14	
5/15	16:25 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水開始 16:26 使用済燃料プールへの放水に併せ、腐食防止剤(ヒドラジン)の注入を開始 18:30 使用済燃料プールへの放水に併せ、腐食防止剤(ヒドラジン)の注入を終了ヒドラジン注入量0.3m3 20:25 コンクリートポンプ車による使用済燃料プールへの放水終了
5/16	





図IV-5-10 3号機から4号機への水素の流入経路（推定）



図IV-5-11 非常用ガス処理系排気管

(5) 福島第一原子力発電所 5号機

① 地震発生後から津波襲来まで

5号機については、2011年1月3日から定期検査中のため停止中であり、地震当日は原子炉に燃料を装荷した上で、RPVの耐圧漏えい試験を実施していた。また、外部電源としては、66kV夜の森線1号線、2号線の2系列を確保していた。

3月11日、地震発生とともに、66kV夜の森線27鉄塔が倒壊したため、外部電源が喪失した。このため、非常用DG2台が自動起動している。

② 津波の影響

その後、15時40分には、津波の影響を受けて冷却用海水ポンプ又は電源盤の被水等により非常用DG2台の運転が停止したことにより、全交流電源喪失の状態となった。また、冷却用海水ポンプが機能喪失したことにより、RHRが使用できず、崩壊熱を最終ヒートシンクである海に移行させることができない状態となった。

原子炉については、耐圧漏えい試験のために、原子炉圧力が7.2MPaに昇圧されていたが、原子炉を加圧していた機器が電源喪失により停止したため、原子炉圧力は一時的に低下した。その後は、崩壊熱により緩やかに上昇し、8MPa程度の原子炉圧力を維持した。12日6時06分には、RPVの減圧操作を実施したが、その後も、崩壊熱の影響により原子炉圧力は緩やかに上昇した。

③ 原子炉の圧力・水位制御

13日、6号機の非常用DGからの電源融通を受け、5号機の復水移送ポンプを使用して、炉内への注水が可能になった。このため、14日5時以降、SRVによる減圧を実施し、併せて、復水移送ポンプにより復水貯蔵タンクからの水を原子炉へ補給する操作を繰り返し、原子炉圧力及び原子炉水位を制御した。

19日、RHRによる冷却を行うために、仮設の海水ポンプを設置し起動した。RHRの系統構成を切り替えることで、使用済燃料プールと原子炉の冷却を交互に行い、原子炉については、20日14時30分に冷温停止状態となった。

主要な時系列については、表IV-5-6に示す。

表IV-5-6 福島第一原子力発電所 5号機 主要時系列（暫定）

※この表に含まれる情報は、緊急時対応を行っていた中で情報が錯綜していた等の理由により、信頼性の低い情報が含まれている可能性があるため、その後の検証等により情報が訂正される可能性がある。なお、日本政府の現在の見解は本文に記載のとおりである。

福島第一原子力発電所 5号機	
	地震前状況: 停止中
3/11	14:46 定検停止中(耐圧試験中) 15:40 全交流電源喪失
3/12	6:06 原子炉圧力容器の減圧操作を実施
3/13	6号機から電源を得て復水移送ポンプ起動
3/14	
3/15	
3/16	
3/17	
3/18	
3/19	5:00 残留熱除去系(RHR)ポンプ(C)起動 原子炉建屋屋根部に水素ガス滞留防止の孔開け(3箇所)を完了
3/20	14:30 冷温停止
3/21	11:36 起動変圧器5SAからメタルクラッド(M/C)(6C)受電 (所内電源(6.9kV電源盤(6C))を夜ノ森線より受電)
3/22	20:13 メタルクラッド(M/C) 6CからパワーセンターP/C(P/C) 5A-1受電
3/23	17:24 仮設ポンプで運転中の残留熱除去海水系について、仮設から本設電源への切り替え後、試運転を行ったところ、トリップ
3/24	8:48 重要免震棟受電 16:14 残留熱除去海水系の仮設海水ポンプを起動、16時35分残留熱除去系ポンプを停止時冷却(SHC)モードで起動
3/25	
3/26	23:30 RHR 原子炉停止時冷却系モード(SHCモード)
3/27	
3/28	RHRポンプ室、炉心スプレイ系(CS)ポンプ室滞留水トラス室に汲上げ(3/28～継続) 原子炉建屋(R/B)排水作業(CS室からトラス室へ滞留水の移送を開始(3/28から継続))
3/29	
3/30	
3/31	
4/1	
4/2	
4/3	
4/4	
4/5	17:25 サブドレンピットから滞留水を海洋への放出を開始
4/6	
4/7	
4/8	12:14 サブドレンピットから滞留水を海洋への放出終了 排水量: 950m <sup>3</sup>
4/9	
4/10	
4/11	
4/12	
4/13	
4/14	
4/15	
4/16	
4/17	
4/18	
4/19	
4/20	
4/21	
4/22	
4/23	
4/24	
4/25	1/2号系統母線とのタイライン設置 12:22 電源停止前の準備として原子炉を冷却している残留熱除去系ポンプを停止 16:43 停止していた残留熱除去系ポンプを再起動
4/26	
4/27	
4/28	
4/29	
4/30	
5/1	
5/2	12:00 常設電源復旧工事の一環で、5、6号機の起動電圧器の試験充電作業のため、残留熱除去系ポンプ、仮設残留熱除去系ポンプを停止 15:03 常設電源復旧工事の一環で、5、6号機の起動電圧器の試験充電作業を終了、残留熱除去系ポンプを再起動
5/3	
5/4	
5/5	
5/6	
5/7	
5/8	
5/9	
5/10	
5/11	
5/12	
5/13	
5/14	
5/15	
5/16	

(6) 福島第一原子力発電所 6号機

① 地震発生後から津波襲来まで

6号機については、2010年8月14日から定期検査中のため停止中であり、地震当日は原子炉に燃料が装荷され、冷温停止状態であった。また、外部電源としては、66kV夜の森線1号線、2号線の2系列を確保していた。

3月11日、地震発生とともに、66kV夜の森線27鉄塔が倒壊したため、外部電源が喪失した。このため、非常用DG3台が自動起動している。

② 津波の影響

その後、15時40分には、津波の影響を受けて冷却用海水ポンプ又は電源盤の被水等により非常用DG2台(6A,6H)の運転は停止したが、非常用DG1台(6B)の運転は継続された。非常用DG(6B)は、タービン建屋とは別のDG建屋の比較的高い場所に設置されていたため、結果的に、機能喪失には至らなかった。このため、6号機については全交流電源喪失には至らなかった。また、津波により冷却用海水ポンプが機能喪失した。

原子炉圧力については、崩壊熱により緩やかに上昇したが、停止後の期間が長いため、5号機の上昇と比較するとより緩やかであった。

③ 原子炉の圧力・水位制御

13日、非常用DGからの電源で、復水移送ポンプを使用して炉内への注水が可能になった。このため、14日以降、SRVによる減圧を実施し、併せて、復水移送ポンプにより復水貯蔵タンクからの水を原子炉へ補給する操作を繰り返し、原子炉圧力及び原子炉水位を制御した。

19日、RHRによる冷却を行うために、仮設の海水ポンプを設置し起動した。RHRの系統構成を切り替えることで、使用済燃料プールと原子炉の冷却を交互に行い、原子炉については、20日19時27分に冷温停止状態となった。

主要な時系列については、表IV-5-7に示す。

表IV-5-7 福島第一原子力発電所6号機 主要時系列（暫定）

※この表に含まれる情報は、緊急時対応を行っていた中で情報が錯綜していた等の理由により、信頼性の低い情報が含まれている可能性があるため、その後の検証等により情報が訂正される可能性がある。なお、日本政府の現在の見解は本文に記載のとおりである。

福島第一原子力発電所 6号機	
	地震前状況：停止中
3/11	14:46 定検停止中 15:36 ディーゼル発電機(DG)2台トリップ
3/12	
3/13	復水移送ポンプを起動
3/14	安全逃がし弁による減圧
3/15	
3/16	
3/17	
3/18	
3/19	4:22 非常用ディーゼル発電機2台目(A)起動 5:11 燃料プール冷却浄化系(FPC)ポンプを起動 原子炉建屋屋根部に水素ガス滞留防止の孔開け(3箇所)を完了 仮設残留熱除去海水系(RHRS)ポンプ起動 22:14 残留熱除去系(RHR)(B)起動
3/20	19:27 冷温停止
3/21	11:36 起動変圧器5SAからメタルクラッド(M/C)(6C)受電 (所内電源(6.9kV電源盤(6C))を夜ノ森線より受電)
3/22	19:17 外部電源から受電開始 (6.9kV所内電源設備のうち非常用電源盤2系統(6C,6D)、外部電源である夜ノ森線より受電)
3/23	
3/24	
3/25	15:38 RHR代替ポンプ(1台)を仮設電源から本設電源に切り替え運転中 15:42 RHR代替ポンプ(1台)を仮設電源から本設電源に切り替え運転中
3/26	
3/27	10:14 RHR運転中、原子炉停止時冷却系モード(SHCモード)
3/28	
3/29	
3/30	
3/31	
4/1	13:40 廃棄物処理施設(R/W)地下からホットウェル(H/W)へ排水(4/1 13:40~4/2 10:00)
4/2	
4/3	
4/4	
4/5	21:00 サブドレンピットから滞留水を海洋へ放出開始 17:25 2箇所目以降のサブドレンピットについて、3台の稼働可能なポンプを使用して地下水を海へ排出中 18:37 サブドレンポンプ1台について、異音が確認されたため排出を停止
4/6	
4/7	
4/8	
4/9	18:52 サブドレンピットにある低レベルの地下水の排出は、延べ排出量約373トンで停止
4/10	
4/11	
4/12	
4/13	
4/14	
4/15	
4/16	
4/17	
4/18	
4/19	タービン建屋(T/B)からホットウェル(H/W)へ滞留水を移送
4/20	
4/21	
4/22	
4/23	
4/24	
4/25	1/2号系統母線とのタイライン設置
4/26	
4/27	
4/28	
4/29	
4/30	
5/1	14:00 タービン建屋内の滞留水を屋外仮設タンクへ移送する作業を開始 17:00 タービン建屋内の滞留水を屋外仮設タンクへ120m <sup>3</sup> を移送
5/2	11:03 仮設残留熱除去海水系(RHRS)ポンプを停止(取水路の調査のため) 13:20 取水路の調査終了 15:03 残留熱除去系(RHR)ポンプ等再起動
5/3	
5/4	
5/5	
5/6	
5/7	
5/8	
5/9	
5/10	
5/11	
5/12	
5/13	
5/14	
5/15	
5/16	

(7) 福島第一原子力発電所内の使用済燃料プール

福島第一原子力発電所内には、1～6号機の各号機における使用済燃料プールの他、1～6号機共用の使用済燃料共用プールが設置されている。これらのプールの容量、貯蔵体数、貯蔵中の使用済燃料の崩壊熱について表IV-5-8にまとめた。4号機では、シュラウド取替工事等のため原子炉内から全燃料を取り出した状態であったため、使用済燃料プールには比較的崩壊熱の高い燃料が1炉心分貯蔵されており、他のプールに比べて崩壊熱が高い状態にあった。4号機の使用済燃料プールの状況を図IV-5-12に示す。一方、1号機では、前回の燃料取り出しより約1年経っており、崩壊熱が減衰している状態であった。

使用済燃料プール水の冷却は、通常は使用済燃料プール水冷却浄化系(FPC)の運転により最終ヒートシンクである海に熱を逃がすものであるが、海水ポンプの機能喪失及び外部電源喪失により冷却ができなくなった。1、3及び4号機については、原子炉建屋上部が損壊していたことから、自衛隊のヘリ、放水車や緊急消防援助隊の海水利用型消防水利システムと屈折放水塔車による放水など緊急の冷却機能を確保するため、外部からの放水にて水位の確保に努めた。特に4号機は崩壊熱が一番大きいので、蒸発による水位低下速度が大きく、水位確保に特に注意が注がれた。一方、2号機については、建屋が健全であったことから、蒸発した蒸気が建屋天井で凝縮することで水位の減少はある程度抑制されていると考えられたが、建屋開口部めがけての放水により水位を確保しつつ、給水ラインを回復させる努力を行い、20日からは本設の給水ラインによる注水に移行した。5、6号機については、上述のとおり6号機の非常用DGにより電源が確保され、仮設の海水ポンプにより冷却機能を確保したことから、使用済燃料プールと原子炉の冷却を交互に行った。

2号機から4号機の使用済燃料プールについては、プール水の核種分析を実施している。4号機の結果については表IV-5-4に示したとおりであるが、2号機及び3号機の分析結果について表IV-5-9に示す。

共用プールについては、3月18日にほぼ満水であること、水温が55°Cであることが確認され、21日には一旦消防車により注水がなされ、24日には電源が復旧したため、共用プール冷却ポンプによる冷却が開始された。主要な時系列については、表IV-5-10に示す。

表IV-5-8 使用済燃料プールの容量、貯蔵体数、崩壊熱

	貯蔵体数 (新燃料体数)	貯蔵容量	崩壊熱	
			事故発生時点 (3/11)	事故発生3ヶ月後 (6/11)
1号機	392体 (100体)	900体	0.18	0.16
2号機	615体 ( 28体)	1,240体	0.62	0.52
3号機	566体 ( 52体)	1,220体	0.54	0.46
4号機	1,535体 (204体)	1,590体	2.26	1.58
5号機	994体 ( 48体)	1,590体	1.00	0.76
6号機	940体 ( 64体)	1,770体	0.87	0.73
共用プール	6,375体	6,840体	1.13	1.12

表IV-5-9 2号機及び3号機使用済燃料プール核種分析結果

	採取日	主な検出核種	濃度 (Bq/cm <sup>3</sup> )
2号機	4月16日	セシウム 134	160,000
		セシウム 137	150,000
		よう素 131	4,100
3号機	4月28日	セシウム 134	140,000
		セシウム 136	1,600
		セシウム 137	150,000
		よう素 131	11,000

表IV-5-10 福島第一原子力発電所共用プール 主要時系列（暫定）

※この表に含まれる情報は、緊急時対応を行っていた中で情報が錯綜していた等の理由により、信頼性の低い情報が含まれている可能性があるため、その後の検証等により情報が訂正される可能性がある。なお、日本政府の現在の見解は本文に記載のとおりである。

福島第一原子力発電所 共用プール	
	地震前状況：停止中
3/11	地震発生前の共用プール温度 30°C程度
3/12	
3/13	
3/14	
3/15	
3/16	
3/17	
3/18	0:00 共用プール温度57°C
3/19	
3/20	
3/21	10:37 共用プールへの水張りを消防車を使用して実施中
3/22	
3/23	
3/24	15:37 共用プール仮設電源復旧 18:05 燃料プール冷却ポンプ起動
3/25	15:20 共用プール温度53°C
3/26	
3/27	8:00 共用プール温度39°C
3/28	共用プール温度53°C
3/29	
3/30	
3/31	
4/1	
4/2	
4/3	
4/4	
4/5	
4/6	
4/7	
4/8	
4/9	
4/10	
4/11	
4/12	
4/13	
4/14	
4/15	
4/16	建屋への地下水流入防止のため止水対策(4/16～4/18)
4/17	14:36 共用プール仮設電源トリップ(14:36～17:30)
4/18	
4/19	
4/20	
4/21	
4/22	
4/23	
4/24	
4/25	
4/26	
4/27	
4/28	
4/29	
4/30	10:31 3. 4号機用外部電源(大熊3号線)を、6.6KVから66KVに強化するため、4号機用480V電源盤、及び使用済燃料共用プール480V電源盤を停止し、11時34分に復旧し、電源強化工事を終了
5/1	
5/2	
5/3	
5/4	
5/5	
5/6	
5/7	
5/8	
5/9	
5/10	
5/11	
5/12	
5/13	
5/14	
5/15	
5/16	





図IV-5-12 使用済燃料プールの状況（4号機）

(8) 福島第一原子力発電所内の滞留水の状況

福島第一原子力発電所1号機から4号機のタービン建屋地下に滞留水が確認されており、復旧工事の障害となっているばかりでなく、特に2号機では高濃度の放射性物質が確認されており、環境への意図せざる放出に対しても注意が必要な状況となっている。

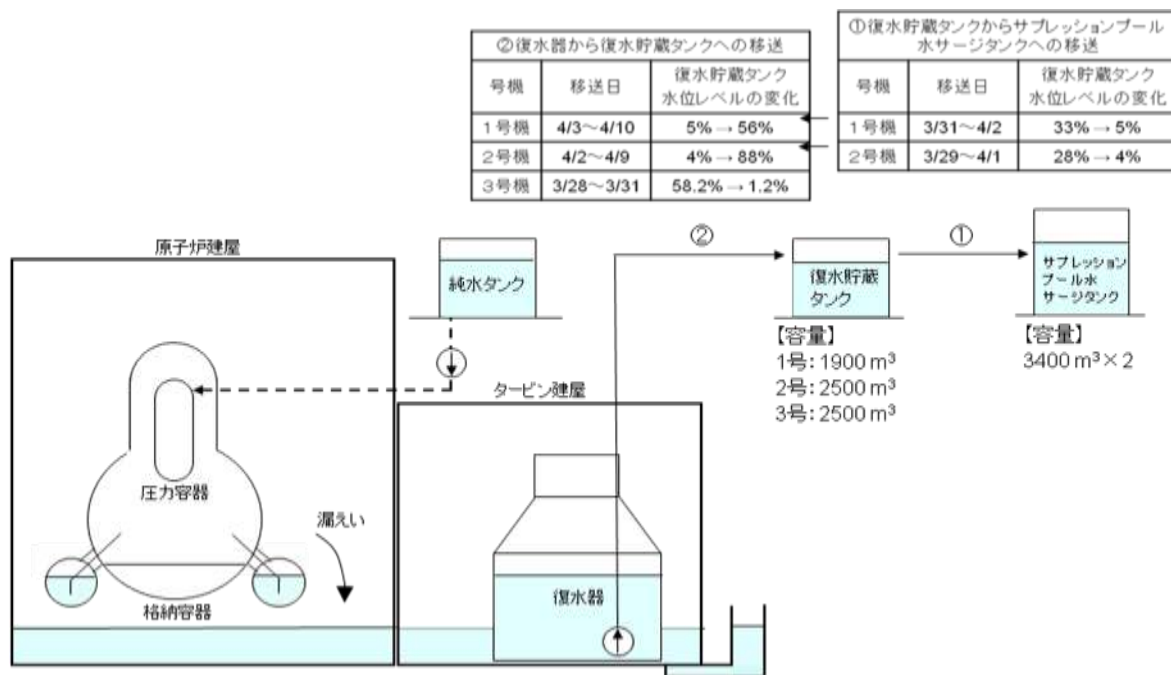
滞留水の一部については復水器へ移送することとし、その準備のため、復水貯蔵タンクの水をサプレッションプール水サージタンクへ移送、続いて復水器の水を復水貯蔵タンクへ移送する作業が計画され、進められた。作業の概念図を図IV-5-13に示す。しかしながら、1号機及び3号機では復水器の水位が上昇し、その原因を究明する必要が生じており、他の手段が計画されている。具体的な今後の作業内容については、「X. 今後の事故収束への取り組み」において記載する。なお、タービン建屋地下に水位監視カメラを設置し、遠隔監視を行っている。

また、タービン建屋外のトレンチの立坑においても滞留水が確認されており、一部の滞留水を建屋内のタンクへ移送する作業が3月31日に実施されるとともに、立坑に水位監視カメラを設置し、遠隔監視を行っている。2号機のトレンチの滞留水については、集中廃棄物処理施設へ移送する作業が4月19日から実施されている。この移送作業に先立ち、集中廃棄物処理施設の貯蔵容量の確保及び5、6号機の安全確保上重要な設備の水没防止のため、集中廃棄物処理施設に存在する低濃度の放射性排水及び5号機と6号機のサブドレン内の低濃度の放射性物質を含む地下水を海洋に放出した。詳細については「VI. 放射性物質の環境への放出」において記載する。

滞留水をサンプリングし、核種分析を行った結果を表IV-5-11に示す。2号機においては、検出された濃度が1号機や3号機に比べ数十倍あり、損傷した燃料と接触したPCV内の水が何らかの経路で直接流出してきたものと推定されることから、滞留水の処理を開始するとともに、安全確認のため地下水のサンプリングの実施や海水のサンプリングの強化がなされている。なお、2号機及び3号機のトレンチと隣接している取水口の周辺で海洋への流出が確認されたので、4月6日及び5月11日に止水された。詳細については「VI. 放射性物質の環境への放出」において記載する。

表IV-5-11 滞留水の核種分析結果（6月5日時点）

号機		1号機	2号機	3号機	4号機
採取場所		タービン建屋 地下階	タービン建屋 地下階	タービン建屋 地下階	タービン建屋 地下階
試料採取日		H23.3.26	H23.3.27	H23.3.24	H23.3.24
検出核種 (半減期) 単位: Bq/cm <sup>3</sup>	モリブデン99 (約66時間)	検出限界未満	検出限界未満	検出限界未満	1.0 × 10 <sup>0</sup>
	テクネシウム99m (約6時間)	検出限界未満	検出限界未満	2.0 × 10 <sup>3</sup>	6.5 × 10 <sup>-1</sup>
	テルル129m (約34日)	検出限界未満	検出限界未満	検出限界未満	1.3 × 10 <sup>1</sup>
	ヨウ素131 (約8日)	1.5 × 10 <sup>5</sup>	1.3 × 10 <sup>7</sup>	6.6 × 10 <sup>5</sup>	4.3 × 10 <sup>3</sup>
	ヨウ素132 (約2時間)	検出限界未満	検出限界未満	検出限界未満	1.3 × 10 <sup>1</sup>
	テルル132 (約3日)	検出限界未満	検出限界未満	検出限界未満	1.4 × 10 <sup>1</sup>
	セシウム134 (約2年)	1.2 × 10 <sup>5</sup>	3.1 × 10 <sup>6</sup>	1.5 × 10 <sup>6</sup>	7.8 × 10 <sup>3</sup>
	セシウム136 (約13日)	1.1 × 10 <sup>4</sup>	3.2 × 10 <sup>5</sup>	2.3 × 10 <sup>4</sup>	3.7 × 10 <sup>0</sup>
	セシウム137 (約30年)	1.3 × 10 <sup>5</sup>	3.0 × 10 <sup>6</sup>	1.6 × 10 <sup>6</sup>	8.1 × 10 <sup>3</sup>
	バリウム140 (約13日)	検出限界未満	6.8 × 10 <sup>5</sup>	5.2 × 10 <sup>4</sup>	検出限界未満
	ランタン140 (約2日)	検出限界未満	3.4 × 10 <sup>5</sup>	9.1 × 10 <sup>3</sup>	4.1 × 10 <sup>-1</sup>



図IV-5-13 滞留水の移送作業

(9) 福島第二原子力発電所

福島第二原子力発電所は、1号機から4号機とも、地震発生以前のプラントデータに有意な変化はなく、定格熱出力一定運転を行っていた。外部電源としては、500kV 富岡線1号線、2号線及び66kV 岩井戸線2号線の3回線を確保していた。

3月11日14時48分、1号機から4号機の原子炉は、地震加速度大によりスクラムし、制御棒が全挿入するとともに未臨界となった。外部電源については、変電所側機器の故障復旧等のために富岡線2号線が停止し、さらに地震から約1時間後に岩井戸線2号線が停止したため、富岡線1号線により、1号機から4号機の電源供給は継続されていた(なお、岩井戸線2号線は翌12日13時38分には復旧工事が完了し、2回線受電となった。)

15時34分頃、福島第二原子力発電所敷地に津波が到達し、その影響により1、2号機においては、RHRを含む全ての原子炉冷却系(RCICを除く)が、また、4号機においては、RHRを含む全ての原子炉冷却系(HPCS、RCICを除く)が使用不能となった。このため、事業者は、18時33分に原災法第10条の規定に基づく「原子炉除熱機能喪失」事象が発生したと判断した。

① 1号機

原子炉については、RCICや復水補給水系により冷却、水位維持が行われた。しかし、最終的な除熱ができずにS/C水の温度が100°Cを超えたため、12日5時22分に原災法第15条の規定に基づく「圧力抑制機能喪失」事象に該当すると判断し、原子力安全・保安院等に連絡した。そして、12日7時10分には、D/Wスプレーによる冷却を開始した。

RHRによる除熱手段を確保するため、RHR(B)に必要な残留熱除去系冷却水ポンプ(D)及び非常用補機冷却水ポンプ(B)の電動機の交換を行った。また、残留熱除去系冷却系海水ポンプ(B)の電動機、残留熱除去系冷却水ポンプ(D)の電動機、及び非常用補機冷却水ポンプ(B)の電動機については、接続されていた配電盤が使用不能であったため、機能を有していた他の配電盤から仮設ケーブルにより給電を実施した。その結果、14日1時24分、RHR(B)を運転してS/Cの冷却が開始された。そして、この冷却を継続することにより、14日10時15分、S/Cの温度が100°C以下になり、原子炉についても、同日17時00分には冷温停止状態となった。

## ② 2号機

原子炉については、RCIC や復水補給水系により冷却、水位維持が行われた。しかし、最終的な除熱ができずに S/C 水の温度が 100°C を超えたため、東京電力は、12 日 5 時 32 分に原災法第 15 条の規定に基づく「圧力抑制機能喪失」事象に該当すると判断し、原子力安全・保安院等に連絡した。そして、12 日 7 時 11 分に、D/W スプレーによる冷却を開始した。

RHR による除熱手段を確保するため、RHR (B) に必要な残留熱除去系冷却系海水ポンプ (B) の電動機、残留熱除去系冷却水ポンプ (B) の電動機、及び非常用補機冷却水ポンプ (B) の電動機については、接続されていた配電盤が使用不能であったため、機能を有していた他の配電盤から仮設ケーブルにより給電を実施した。その結果、14 日 7 時 13 分、RHR (B) を運転し、S/C の冷却が開始された。

その後、この冷却を継続することにより、14 日 15 時 52 分、S/C の温度が 100°C 以下になるとともに、原子炉についても、同日 18 時 00 分に冷温停止状態となった。

## ③ 3号機

3号機については、津波により RHR (A) 及び低圧炉心スプレー系が使用できなくなったが、RHR (B) には被害はなく、使用を継続することができた。このため、同系統による冷却を継続し、原子炉は 12 日 12 時 15 分に冷温停止状態となった。

## ④ 4号機

原子炉については、RCIC や復水補給水系により冷却、水位維持が行われた。しかし、最終的な除熱ができずに S/C 水の温度が 100°C を超えたため、東京電力は、12 日 6 時 07 分に原災法第 15 条の規定に基づく「圧力抑制機能喪失」事象に該当すると判断し、原子力安全・保安院等に連絡した。

RHR による除熱手段を確保するため、RHR (B) に必要な残留熱除去系冷却水ポンプ (B) の電動機の交換を行い、残留熱除去系冷却系海水ポンプ (D) の電動機、残留熱除去系冷却水ポンプ (B) の電動機、及び非常用補機冷却水ポンプ (B) の電動機については、接続されていた配電盤が使用不能であったため、機能を有していた他の配電盤から仮設ケーブルにより給電を実施した。その結果、14 日 15 時 42 分、

RHR (B) を運転し、S/C の冷却が開始された。

その後、この冷却を継続することにより、15 日 7 時 15 分、S/C の温度が 100℃以下になるとともに、原子炉も冷温停止状態となった。

主要な時系列については、表IV-5-12 に示す。

表IV-5-12 福島第二原子力発電所 主要時系列（暫定）

※この表に含まれる情報は、緊急時対応を行っていた中で情報が錯綜していた等の理由により、信頼性の低い情報が含まれている可能性があるため、その後の検証等により情報が訂正される可能性がある。なお、日本政府の現在の見解は本文に記載のとおりである。

	福島第二原子力発電所				
	全体	1号機	2号機	3号機	4号機
		地震前状況：運転中	地震前状況：運転中	地震前状況：運転中	地震前状況：運転中
3/11	14:46 東北地方太平洋沖地震発生	14:48 全制御棒全挿入 原子炉自動停止 タービン自動停止 外部電源受電有り 主蒸気隔離弁：閉	14:48 全制御棒全挿入 原子炉自動停止 タービン自動停止 外部電源受電有り 主蒸気隔離弁：閉	14:48 全制御棒全挿入 原子炉自動停止 タービン自動停止 外部電源受電有り 主蒸気隔離弁：閉	14:48 全制御棒全挿入 原子炉自動停止 タービン自動停止 外部電源受電有り 主蒸気隔離弁：閉
	17:35 1号機：原災法第10条特定事象（原子炉冷却材漏えい）が発生したと事業者が判断	17:35 原災法第10条特定事象（原子炉冷却材漏えい）が発生したと事業者が判断 （19:30現在 事業者は原子炉冷却材漏えいではないと判断）			
	18:33 1、2、4号機：原災法第10条特定事象（原子炉除熱機能喪失）が発生したと事業者が判断	18:33 原災法第10条特定事象（原子炉除熱機能喪失）が発生したと事業者が判断	18:33 原災法第10条特定事象（原子炉除熱機能喪失）が発生したと事業者が判断		18:33 原災法第10条特定事象（原子炉除熱機能喪失）が発生したと事業者が判断
		非常用炉心冷却系（ECCS）高圧系：未作動 ECCS低圧系：作動後手動停止（20:00時点）	非常用炉心冷却系（ECCS）高圧系：作動後手動停止 ECCS低圧系：作動後手動停止（20:00時点）	非常用炉心冷却系（ECCS）高圧系：事前に作動防止 ECCS低圧系：事前に作動防止 非常用ディーゼル発電機（D/G）（B）、（H）無負荷運転中 残留熱除去系（RHR）正常	非常用炉心冷却系（ECCS）高圧系：事前に作動防止 ECCS低圧系：事前に作動防止 非常用ディーゼル発電機（D/G）（H）無負荷運転中 （20:00時点）
3/12	5:22 1号機：原災法第15条第1項原子力緊急事態に該当する事象（圧力抑制機能喪失）が発生したと事業者が判断	5:22 原災法第15条第1項原子力緊急事態に該当する事象（圧力抑制機能喪失）が発生したと事業者が判断			
	5:32 2号機：原災法第15条第1項原子力緊急事態に該当する事象（圧力抑制機能喪失）が発生したと事業者が判断		5:32 原災法第15条第1項原子力緊急事態に該当する事象（圧力抑制機能喪失）が発生したと事業者が判断		
	6:07 4号機：原災法第15条第1項原子力緊急事態に該当する事象（圧力抑制機能喪失）が発生したと事業者が判断				6:07 原災法第15条第1項原子力緊急事態に該当する事象（圧力抑制機能喪失）が発生したと事業者が判断
		7:10 ドライウェル（D/W）スプレイ開始	7:11 ドライウェル（D/W）スプレイ開始		
		8:19 制御棒（CR）10-51ドリフト警報発生			
		9:43 格納容器（PCV）ベント準備開始		9:36 RHR（B）停止時冷却モード	
		10:43 CR10-51ドリフト警報クリア	10:33 格納容器（PCV）ベント準備開始		
			10:58 PCVベント準備完了		
					11:17 高圧炉心スプレイ系（HPCS）作動
					11:44 格納容器（PCV）ベント準備開始
					11:52 PCVベント準備完了
					12:08 格納容器（PCV）ベント準備開始
					12:13 PCVベント準備完了
	12:15 3号機：原子炉冷温停止	18:30 格納容器（PCV）ベント準備完了			12:15 原子炉冷温停止
3/13		2:03 CR10-51ドリフト警報発生 CR10-51ドリフト警報クリア （12:00時点）			
					12:43 制御棒（CR）10-19ドリフト警報発生
3/14	1:24 1号機：残留熱除去系（RHR）（B）による冷却を開始	1:24 残留熱除去系（RHR）（B）による冷却を開始			
	7:13 2号機：RHR（B）による冷却を開始		7:13 残留熱除去系（RHR）（B）による冷却を開始		
			7:50 サプレッションチェンバ（S/C）スプレイ（RHR（B）専用）開始		
	15:42 4号機：RHR（B）による冷却を開始				15:42 残留熱除去系（RHR）（B）による冷却を開始
	17:00 1号機：原子炉冷温停止	17:00 原子炉冷温停止			
	18:00 2号機：原子炉冷温停止		18:00 原子炉冷温停止		
	22:07 原災法第10条特定事象（敷地境界放射線量上昇）が発生したと事業者が判断（福島第一発電所の影響と思われる）				
3/15	0:12 原災法第10条特定事象（敷地境界放射線量上昇）が発生したと事業者が判断（福島第一発電所の影響と思われる）				
	7:15 4号機：原子炉冷温停止				7:15 原子炉冷温停止
3/16					
3/17				9:55 PCVベント準備完了状態から通常状態へ復旧	
					11:24 PCVベント準備完了状態から通常状態へ復旧
			17:19 PCVベント準備完了状態から通常状態へ復旧		
		17:22 PCVベント準備完了状態から通常状態へ復旧			
3/18					
3/19		15:28 RHR（B）停止（RHR系ポンプ点検のため）			
		22:14 RHRポンプ（B）起動			
3/20				14:36 RHR（B）停止（圧力抑制室（S/C）クーリングへ切替のため）	
				15:05 RHRポンプ（B）起動 S/Cクーリング開始	
3/21					
3/22					
3/23					
3/24					
3/25					
3/26					
3/27				10:50 RHR（B）停止 RHR運転モード切替操作中	

3/28					
3/29					10:52 RHRポンプ(B)停止(取水口点検のため) 14:00 RHRポンプ(B)起動
3/30			10:25 RHR(B)停止(仮設電源布設のため)		
		10:34 RHR(B)停止(仮設電源布設のため)		14:04 RHR(B)起動	
		14:30 RHR(B)のバックアップ電源(非常用電源)確保 RHR(B)起動			
		17:56 タービン建屋1階の電源盤からの発煙を確認			
		18:13 電気の供給を切ったところ、煙の発生が止まっていることを確認			
		19:15 電源盤からの発煙は電源盤の異常であり、火災ではないと判断			
3/31					14:35 RHR(B)停止(原子炉停止時冷却モード(SHC)+圧力抑制室冷却モード(S/C)→SHC+S/C+燃料プールの冷却モード(FPC)) 15:36 RHR(B)起動
4/1		13:43 RHRポンプ(B)停止(取水口点検のため) 15:07 RHRポンプ(B)起動			
4/2					
4/3					
4/4					
4/5					
4/6					
4/7					
4/8					
4/9					
4/10					
4/11					
4/12					
4/13					
4/14					
4/15					
4/16					
4/17					
4/18					
4/19					
4/20					
4/21					
4/22					
4/23					
4/24					
4/25					
4/26					
4/27					10:20 RHR(B)停止(電源切替のため) 17:41 RHR(B)起動
4/28					
4/29					
4/30		9:10 RHR(B)停止(取水路点検のため) 12:54 RHR(B)起動			
5/1					
5/2					
5/3					
5/4					
5/5					
5/6					
5/7					
5/8					
5/9				9:51 RHR(B)停止(取水路点検のため) 14:46 RHR(B)起動	
5/10					
5/11					
5/12			9:36 RHR(B)停止(取水路点検のため) 12:13 RHR(B)起動		
5/13					
5/14					
5/15					
5/16					



## 6. その他の原子力発電所の状況

### (1) 東通原子力発電所

3月11日地震発生当時、1号機は定期検査中であり、炉心の燃料は全て使用済燃料プールに取り出されていた。

地震により外部電源3回線全てが停止したため、外部電源喪失となり、非常用DG(A)(非常用DG(B)は点検中)による非常用母線への給電が行われた。

また、4月7日に発生した宮城県沖地震により外部電源が喪失し、非常用DGが起動し電源確保を行った。その後、外部電源が復旧したものの、非常用DGがトラブルにより停止し、全ての非常用DGが動作可能でない状態に陥った。

### (2) 女川原子力発電所

3月11日地震発生当時、1号機及び3号機は定格熱出力一定運転中で、2号機は原子炉起動操作中であった。地震により外部電源5回線のうち4回線が停止したが、1回線が残ったことから、外部電源は維持された。

1号機は、14時46分に地震加速度大により原子炉が自動停止し、非常用DG(A)(B)が自動起動した。14時55分に地震により発生した常用系高圧電源盤内部での地絡・短絡の影響で起動用変圧器が停止したため所内電源喪失となり、非常用DG(A)(B)による非常用母線への給電が行われた。

常用電源の喪失により、給復水系のポンプが全台停止となったため、原子炉への給水は、RCICにより行われ、原子炉減圧以降は制御棒駆動水圧系により行われた。また、循環水ポンプ停止により復水器が使用できないことから、MSIVを全閉とし、RHRとSRVにより原子炉の冷却と減圧操作が行われ、3月12日0時57分、原子炉冷却材温度が100℃未満の冷温停止状態となった。

2号機は、原子炉起動操作中であったため、14時46分に地震加速度大により原子炉が自動停止したことにより、速やかに冷温停止状態に移行した。14時47分に発電機界磁喪失信号の発信により非常用DG(A)、(B)、(H)が自動起動したが、外部電源が維持されていたため、非常用DG3台は待機状態を維持していた。

その後、津波により、原子炉補機冷却系B系ポンプ、原子炉補機冷却海水系B系ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却系ポンプが浸水し機能が喪失したことにより、非常用DG(B)、(H)がトリップしたが、原子炉補機冷却系A系が健全であったことから、原子炉の冷却機能に影響は

なかった。

3号機は、14時46分に地震加速度大により原子炉が自動停止した。外部電源は維持されていたが、津波による浸水でタービン補機冷却海水系ポンプが停止したことから、給復水系のポンプを全台手動停止し、RCICによる原子炉への給水が行われた。また、原子炉減圧以降は制御棒駆動水圧系及び復水補給水系による原子炉への給水が行われた。

津波の引き波による循環水ポンプの全台停止により復水器が使用できないことから、MSIVを全閉とし、RHRとSRVにより原子炉の冷却と減圧操作が行われ、3月12日1時17分、原子炉冷却材温度が100°C未満の冷温停止状態となった。

### (3) 東海第二発電所

3月11日地震発生当時、東海第二発電所は、定格熱出力一定運転中であつた。同日14時48分、地震によるタービン軸受振動大でのタービントリップに伴い、原子炉が自動停止した。地震発生直後、3系統ある外部電源が全て喪失したが、非常用DG3台が起動したことにより非常用機器への電源は確保された。

原子炉自動停止直後の水位変動により、HPCS及びRCICが自動起動し、原子炉水位は通常水位に保たれた。その後の原子炉水位は、RCICにより維持され、原子炉の圧力は、SRVにより制御された。また、原子炉停止後の崩壊熱の除去のため、RHR(A)及びRHR(B)を手動起動し、S/Cの冷却を実施した。

その後、津波の影響により非常用DG2C冷却用海水ポンプが自動停止し、非常用DG2Cが使用不能となったが、残りの2台により非常用機器への電源は確保され、S/Cの冷却は残留熱除去系RHR(B)により継続された。

3月13日19時37分に外部電源1系統が復旧し、3月15日0時40分に原子炉は冷却材温度が100°C未満の冷温停止状態となった。

図IV-6-1 各原子力発電所の立地地図



## 7. 事故の評価

今回の大規模な地震・津波により結果として多くの設備がその機能を失ったことを踏まえ、様々な観点からの評価を行うことにより、今後改善していくべき事項を抽出する。

### (1) 福島第一原子力発電所の事故の原因

福島第一原子力発電所 1号機、2号機及び3号機は、地震直後に全ての外部電源が喪失したが、非常用 DG が起動し、所内電源を確保するとともに、RCIC や IC の冷却系が正常に動作した。

その後、津波の襲来により、非常用 DG やその配電盤などが水没・被水し、全ての交流電源を失うとともに、海水冷却系も被水し最終ヒートシンクである海へ熱を輸送する機能も喪失した。

交流電源が全て喪失（1号機は直流電源も喪失）したことから、1号機については、IC が動作不能となり、また2号機及び3号機も直流電源（蓄電池）の枯渇や冷却水の供給が停止したことから、いずれも炉心冷却が行われなくなり、原子炉水位が低下して、炉心が露出したことにより炉心の損傷が開始し、やがてその熔融に至った。

他方、福島第二原子力発電所では、地震及び津波により非常用 DG や海水冷却系が被水したが、外部電源からの電源供給が継続されたことにより、原子炉の水位を維持し、プラント状態の監視も可能であったことから、原子炉を制御可能な管理下に置くことができ、高温停止を安定的に維持することができた。その間、津波により被水した海水冷却系の電動機の交換などの復旧作業を行い、数日間で冷温停止状態に至った。また、同様に、地震及び津波により被災した女川原子力発電所や東海第二発電所も、外部電源又は所内電源が確保されていたことにより、最終的には冷温停止状態に至った。

これらのことから、福島第一原子力発電所 1号機、2号機及び3号機の事故の直接的な原因は、電源の機能が全て失われ、原子炉の冷却ができなくなったことから、炉心の損傷が生じ、炉心の熔融に至ったものと考えられる。

これらを踏まえると、地震や津波により、全交流電源喪失や海水系冷却系機能喪失に至った場合において、RCIC 等の冷却系が動作するために必要な電源の供給、原子炉冷却に必要な水の供給確保が必要であり、緊急時の対応策として予め資機材の確保、手順書等の対応計画の整備といった広範な対策が必要であった。

(2) 事故防止の観点からの評価：地震や津波に対する対策

今回の事故の発端は地震と津波の襲来である。

現在のところ、地震による被害は外部電源系に係るものであり、原子力施設の安全上重要なシステムや設備、機器の被害は確認されておらず、津波到達まではプラントは管理された状態にあった。ただし、詳細な損壊状況についてはまだ不明であり、今後の調査が必要である。さらに、福島第一原子力発電所の原子炉建屋基礎盤上で観測された地震動の加速度応答スペクトルは、耐震設計審査指針に基づき策定された基準地震動  $S_s$  に対する同位置での加速度応答スペクトルを一部の周期帯で超えていることが確認されている。今後、地震応答解析により原子炉建屋や主要な安全上重要な設備について耐震安全性評価を行うことが必要である（2号機及び4号機は6月中旬、1号機及び3号機は7月下旬までに評価）。

外部電源系については、安全設計審査指針の指針48（電気系統）に則って、各号機とも2回線以上の送電線により電力系統に接続されており、多重性の要件は満足していた。しかしながら、指針で明示的には要求されていないが、指針の趣旨は信頼できる外部電源の確保にある。

例えば、今回の事故においては、以下のような事象が発生している。

- ・福島第一原子力発電所につながる主要変電所における変圧器等の地震による損壊や地絡・短絡等による保護装置の動作
- ・外部電源を受電する開閉所（3/4号、5/6号）が津波により被災。  
1/2号は受電遮断器等が地震により損壊

このことにかんがみれば、共通原因故障の可能性を低減する観点からの耐震性や独立性が確保されているべきとの観点から十分とは言えない状態にあった。

津波については、福島第一原子力発電所において想定した設計津波水位はO.P.+5.7mであったが、Ⅲ2（1）で述べたように潮位計による記録が得られていないものの、専門家によって10m以上の津波が襲来したと推定されている。その結果、プラントによっては建屋等の水密化が、この高さの津波に対しては不十分で、設計上想定していなかった直流電源を含めた全電源喪失に至ってしまった。なお、福島第二原子力発電所で想定的设计津波水位は、O.P.+5.2mであったが、Ⅲ2（2）で述べたように潮位計による記録が得られておらず専門家による推定もなされていないので、実際にはどのくらいの津波水位か分からない。しかし、今回の津波水位は設計津波水位を上回っていると推定される。

なお、手順書においては、津波の浸入は想定されておらず、引き波に

対する措置として、復水器を冷却するための循環水ポンプの停止等の操作についてのみ定めていた。また、これらの号機のアクシデントマネジメントを検討する際に参照された PSA においては、津波による長期間にわたる、非常用 DG の機能喪失や最終ヒートシンクの喪失は考慮されていなかった。

一方、ほとんどの号機の非常用 DG が、他の機器と同様に非常用 DG 本体、その冷却用海水ポンプ及び電源盤を失ったことにより稼働できなかったことに対して、福島第一原子力発電所 5 号機及び 6 号機においては、非常用 DG 建屋に設置されていた冷却用海水ポンプを必要としない空冷の 6 号機非常用 DG(B) 及び電源盤が水没を免れたため、津波後も稼働し、タイラインにより 5 号機及び 6 号機の両方の残留熱除去に必要な交流電源を供給した。このことは、安全上重要な設備は、多重性のみならず、配置及び動作方式等の観点からの多様性の確保が重要であることを示している。

なお、福島第一原子力発電所 2 号機及び 4 号機は、共用プール建屋に空冷の非常用 DG を設置していたにも関わらず、それを非常用母線に接続するための配電盤が水没し、それにより稼働できなかったこともわかっている。このことから、この多様性の確保にあたっては、共通原因故障を排除する観点からシステムとしての多様性の確保に十分留意することが極めて重要であることがわかる。

### (3) 事故の事象進展の主要因

今回の事故では、福島第一原子力発電所 1 号機から 3 号機では重大な炉心損傷に至り、福島第一原子力発電所 5 号機及び 6 号機、並びに福島第二原子力発電所 1 号機から 4 号機では、炉心損傷に至ることなく冷温停止することができた。出力運転中のプラントに外部電源喪失事象等の外乱が発生した場合、プラントを停止し冷温停止状態に移行させるには、原子炉未臨界機能、炉心冷却機能、及び PCV からの崩壊熱除去機能の 3 つの機能が必要である。図 IV-7-1 から図 IV-7-3 の機能イベントツリーに、これらのプラントがたどった事象シーケンスを示す。この機能イベントツリーは、地震及び地震後に襲来した津波を起因として、炉心損傷前及び炉心損傷後の事象の進展に重大な影響を与えたと推定される原子炉未臨界、炉心冷却、PCV からの崩壊熱除去、交流電源、PCV への注水、水素制御等、主要な機能をヘディングとして事象シーケンスを展開したものである。太線で示されているのが、今回の事故で推定される事象シーケンスである。上述の事象シーケンスに基づけば、今回の事故において

炉心損傷に至るか否かを分けた主要な事象は、下記の事象と推定される。

- ア) 交流電源の早期復旧が以下の理由によりできなかったこと
  - ・ 隣接号機の同時の交流電源喪失によって電源融通ができなかったこと
  - ・ 配電盤などの付属設備が津波により水没したこと
  - ・ 外部電源及び非常用 DG を早期に復旧できなかったこと
- イ) 全交流電源喪失時のアクシデントマネジメントによってしばらくの間は、炉心冷却を行うことはできたが、電源が復旧するまで維持できなかったこと
- ウ) 津波により最終ヒートシンクである海へ熱を輸送する系統が機能喪失したこと
- エ) PCV からの崩壊熱除去機能を代替して担う手段が不十分であったこと

次に、福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所で発生した事象又は発生が推定される事象について、原子力安全委員会が策定した指針類において、それに対する安全確保対策が原子力発電所の設計要求事項として規定されていたか、されていたとして、各原子力発電所において設計要求事項に適切に対応した設計となっていたかについて、評価を行う。また、これらの事象が PSA で考慮されていたか、これらに対して、アクシデントマネジメント指針を受けて整備されていた東京電力のアクシデントマネジメントが有効に機能したかについても評価を行う。

#### ① 東北地方太平洋沖地震

今回の地震において、福島第一原子力発電所の原子炉建屋基礎盤上で観測された地震動の加速度応答スペクトルは、耐震設計審査指針に基づく基準地震動  $S_s$  による基礎盤での加速度応答スペクトルを一部の周期帯で超えていたことが確認されている。ただし、現在のところ、地震による被害は外部電源系に係るものであり、原子力施設の安全上重要な設備や機器に大きな損壊は確認されておらず、津波到達までは管理された状態にあったが、詳細な損壊状況は不明であり、今後の調査が必要である。

現在、既設の発電用原子炉施設に対する耐震バックチェックを実施中である。福島第一原子力発電所の 3 号機及び 5 号機、福島第二原子力発電所の 4 号機に対する東京電力の中間報告には津波評価が含まら

れていないため、行政庁による地震についてのレビューは終了していたが、津波については今後検討されることになっていた。また、「残余のリスク」は事業者において評価中であった。

## ② 外部電源喪失

外部電源系については、安全設計審査指針の指針 48（電気系統）において、外部電源系に関し、2 回線以上の送電線により電力系統に接続された設計とされているが、2 回線とも同一の鉄塔を用いる等、共通原因故障の可能性を低減する観点から考慮が足りなかった。

一方、外部電源喪失事象は、安全評価指針の設計基準事象として考慮されている。東京電力においては、必要な補機を作動させるための容量を有する非常用 DG を各号機最低 2 台設置している。

内的事象 PSA 及び地震 PSA においては、外部電源喪失を起因事象、誘発事象の一つとして評価している。地震 PSA では全交流電源喪失が炉心損傷に至る重要な事象という知見のもと、発生を低減するための外部電源喪失に対する防止策の検討が不十分であった。

例えば、外部電源及び所内電源の信頼性の向上のために、

- ・ 主要変電所が供給停止した場合の原子力発電所への供給信頼性の確保の評価
- ・ 外部送電線を所内各号機に接続することによる信頼性向上対策
- ・ 外部電源線（送電線）の地震対策
- ・ 開閉所等の受電設備の津波対策

などの検討が不足していた。また、配電盤や蓄電池等の電源設備の浸水対策等についても検討すべきであった。

なお、地震に随伴する津波については現在評価手法（津波 PSA）を整備している段階である。

## ③ 津波

東京電力は、2002 年の土木学会津波評価技術に基づき、過去最大の津波波源を対象とし、設計津波水位を自主的に評価した。評価結果に基づき、ポンプのかさ上げ、建屋等の水密化を実施した。しかしながら、今回の津波は東京電力が想定していた設計津波水位以上であった。福島第一原子力発電所における設計津波水位は、上記津波評価技術に基づき、O.P.+5.7m と評価されていた。実際は、Ⅲ 2.（1）で述べたように潮位計による記録が得られていないが、専門家によって 10m 以上の津波が来たと推定されている。一方、福島第二原子力発電所で



の設計津波水位は、O.P.+5.2m と評価されていた。実際はⅢ 2. (2) で述べたように潮位計による記録が得られておらず、専門家による推定もなされていないため、どのくらいの津波水位か分からない。しかしながら、今回の津波水位は設計津波水位を上回っていると推定される。なお、手順書においては、津波が原子炉施設へ浸入することは想定されており、引き波に対する措置として、復水器を冷却するための循環水ポンプの停止等の操作についてのみ定めていた。

#### ④ 全交流電源喪失

これまでに整備されているアクシデントマネジメントを導出する際に参照された PSA においては、長期の非常用 DG の機能喪失及び隣接原子炉間の電源融通機能喪失は考慮されていなかった。

なお、津波 PSA については、現在評価手法を整備中であり、手法整備の一環で試評価がなされている。同評価では、津波によって、非常用 DG、電源盤等の同時機能喪失を考慮する等、その重要性を認識していたが、アクシデントマネジメントに反映するまでには至らなかった。すなわち、全交流電源喪失への対策を考えるに当たって、この事態をもたらす脅威に対する分析が不十分であった。

また、アクシデントマネジメントとして、隣接原子炉施設間で動力用の交流電源 (6.9kV) 及び低圧の交流電源(480V)について電源が融通できるよう設備を設置し、当該設備に関する手順書を定めていたが、福島第一原子力発電所 1 号機から 4 号機については、隣接する原子力発電所が全交流電源喪失に至ったため、このアクシデントマネジメントは有効に機能しなかった。

#### ⑤ 代替交流電源（電源車等）の確保

これまでに整備されているアクシデントマネジメントを導出する際に参照された PSA においては、電源融通、外部電源あるいは非常用 DG の復旧を考慮しておけば、重大事故に至る確率は十分低くなるとされていた。このため、電源車等の確保はアクシデントマネジメントとして考慮されていなかった。

今回、臨機の応用動作として電源車を手配し、現地に運び込んだが、津波の影響による瓦礫等を排除する重機の不備などでアクセスが悪かったことや、電源盤が津波で被水していたことなどで、これをスムーズに活用することはできなかった。

⑥ 代替直流電源（仮設蓄電池等）の確保

これまでに整備されているアクシデントマネジメントを導出する際に参照した PSA においては、蓄電池の機械的故障は考慮されており、また外部電源喪失事象に対するイベントツリーにおいて、直流電源が機能する時間を8時間として、8時間以内の電源復旧の有無を考慮し、この間に外部電源が復旧しない場合には RCIC の継続ができないと評価している。その結果、外部電源の復旧可能性が高く、直流電源設備の喪失はリスクに大きな影響を与える事象ではないと評価され、仮設蓄電池の準備は取り上げられなかった。

今回の事故においては、蓄電池を運び込む手配がなされたが、地震・津波災害の影響もあって、搬入作業が困難であり、かつ暗所での作業となったことから、事故時の機器操作の回復やプラントパラメータ等を記録する計装系の動作に困難を生じた。これにより、事故終息後の再発防止策を策定する上で重要なデータとなるプラントパラメータの保存も十分にできなかった。

⑦ 海水ポンプ機能喪失（最終ヒートシンクの喪失）への対応

これまでに整備されているアクシデントマネジメントを導出する際に参照した PSA においては、海水ポンプの機能喪失が残留熱除去機能喪失に係るフォールトツリーにおいて考慮されているが、津波による全ての海水ポンプの同時機能喪失は考慮されていなかった。

津波 PSA については、現在その評価手法を整備中であり、手法整備の一環として試評価がなされている。同評価では、津波によって全ての海水ポンプの同時機能喪失が発生する事象のリスク感度が高いことが示されていた。しかしながら、この結果は試評価であることから関係者に広く共有されずアクシデントマネジメントの重要性を気付かせるには至らなかった。

なお、今回の事故では臨機の応用動作として、機能喪失した海水ポンプを仮設の海水ポンプで代替する対応がなされたが、これはアクシデントマネジメントとして用意されていたものではなかった。

⑧ PCV ベント

PCV ベントは、炉心損傷前及び炉心損傷後のアクシデントマネジメントとして整備されていた。今回の事故の場合、原子炉の減圧や注水の遅れから炉心損傷後にベントを行うこととなった。全交流電源喪失のため、PCV ベント操作のうち、電動弁の操作については手動で開け

なければならない状況となり、空気作動弁の操作においては、当該弁を作動させるために必要な空気圧が確保できず、仮設空気圧縮機を設置して空気圧を確保する必要があった。これらのことから、過酷事故操作手順書に従い設備を作動させることができず PCV ベント操作が遅れた。

⑨ 代替注水（原子炉容器減圧、代替注水ライン）

原子炉の減圧操作とそれに続く消火系ポンプの利用を含む代替注水のための設備がアクシデントマネジメントとして整備されていた。今回の事故ではこれらを用いて、原子炉の減圧とそれに続く原子炉冷却操作が行われた。しかしながら、全交流電源喪失により減圧操作に必要な SRV の駆動用空気圧の確保や空気供給ラインの電磁弁の励磁維持が、困難であったことなどから、減圧操作に時間を要した。なお、消防車等の重機を使用した原子炉への代替注水はアクシデントマネジメントとしては考慮されていなかったが、今回の事故では臨機の応用動作として、サイトにあった化学消防車による原子炉への注水が試みられた。しかしながら、原子炉圧力が化学消防車のポンプ吐出圧力より高かったため、原子炉への淡水注水ができなかった事例もあった。

⑩ 代替注水（水源）

代替注水に用いる水源としては、アクシデントマネジメントとして、復水貯蔵タンク、ろ過水タンクが考慮され、実際これらが使用された。また、消防車を活用した水源としては防火水槽や海水が使用されたが、注水ラインのラインアップから行わねばならなかった。

⑪ 原子炉建屋での水素爆発対策

安全設計審査指針の指針 33（格納施設雰囲気制御する系統）においては、想定される事象に対しての健全性を維持するべく、格納施設雰囲気を制御できる機能を設置することを要求している。これに対し BWR プラントでは、FCS を設置するとともに PCV 内を不活性にしている。なお、原子炉建屋の水素対策についての要求はない。また、設計基準事象を超える事象を扱っている共通懇中間報告においてもこのことに言及はない。

PSA では、シビアアクシデント時に、炉心損傷に伴って金属水反応及び水の放射線分解で発生した水素が PCV から空気雰囲気の原子炉建屋へ漏洩し、原子炉建屋内で燃焼するシナリオを含めているが、こ

これは、PCVの健全性の観点からの評価であり、原子炉建屋の破損については議論がなされていなかった。

設計基準事象対応として、設置しているFCSはシビアアクシデント環境下でも有効であると考えられていたが今回は電源が利用できなかったため、この機能は利用されなかった。

なお、原子炉建屋の水素対策については、設備・手順書とも考慮されていなかった。

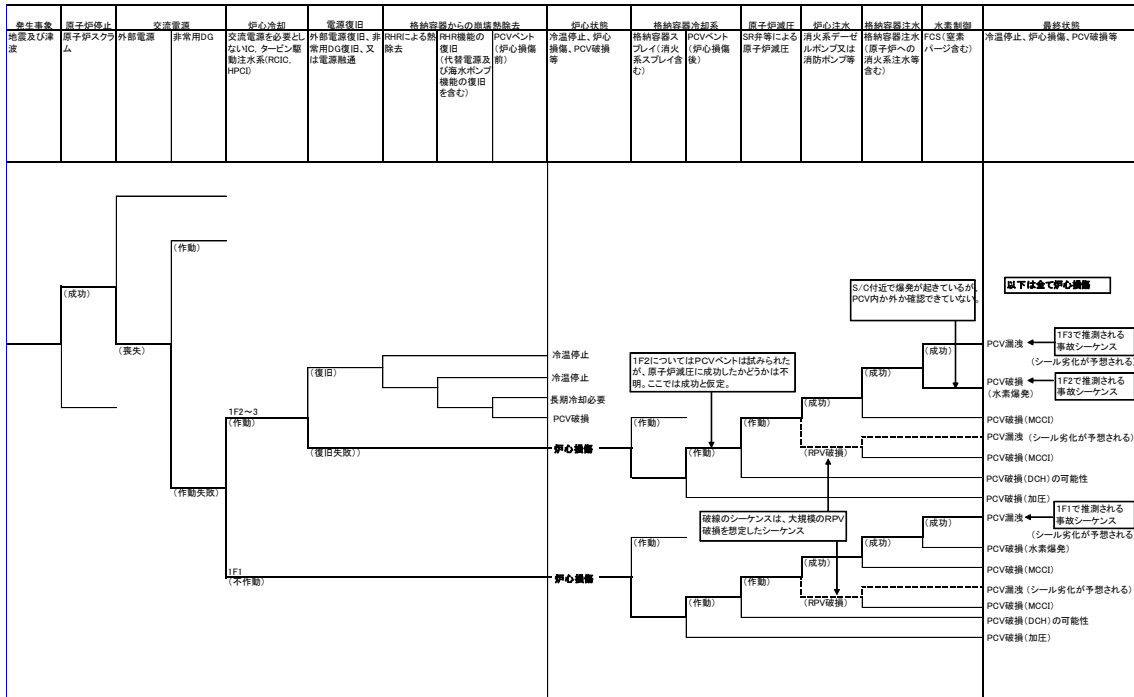
#### ⑫ 使用済燃料プールへの代替注水・冷却

安全設計審査指針の指針49（燃料の貯蔵設備及び取扱設備）においては、使用済燃料プールには、崩壊熱を除去し、最終ヒートシンクである海へ移送できるシステムを有すること等が要求されている。しかしながら、最終ヒートシンクへ移送できるシステムが喪失した場合に備えて代替注水を行えるようにする要求はない。原子炉に比べて使用済燃料プールのリスクは十分に小さいとして、使用済燃料プールを対象としたPSAの実施例は少ない。なお、2010年3月に公表した福島第一原子力発電所1号機におけるPSRにおいて、原子炉内の全燃料が使用済燃料プールに取り出された場合の使用済燃料プールについてPSAが実施されているもののリスクは小さいとして、使用済燃料プールへの海水注水に係る設備・手順書については考慮されていなかった。

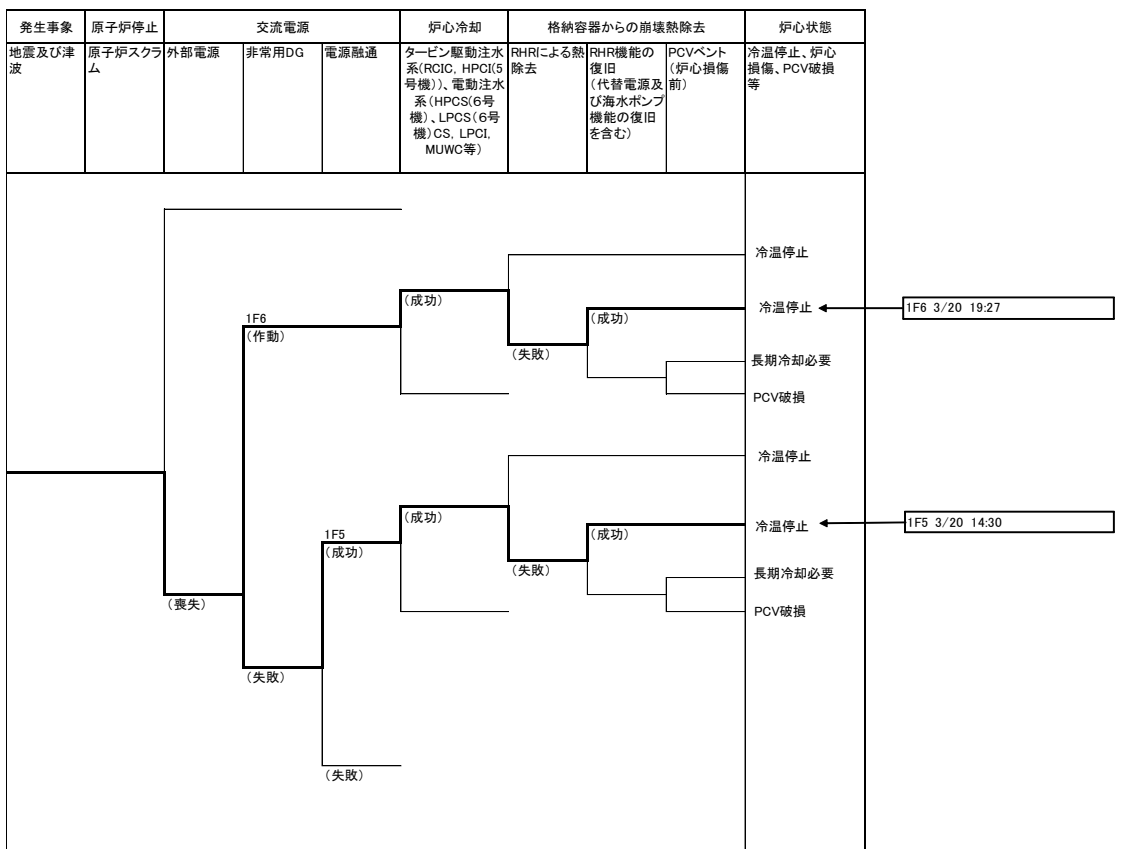
#### ⑬ 原子炉又はPCV冷却のためのD/Wへの注水

東京電力は、代替スプレー機能の整備とともに、D/W内のRPVを支える基礎部の空間（ペDESTAL）への注水に関するアクシデントマネジメントとして、代替スプレー機能と同じ配管を用いて注水できる機能を整備している。

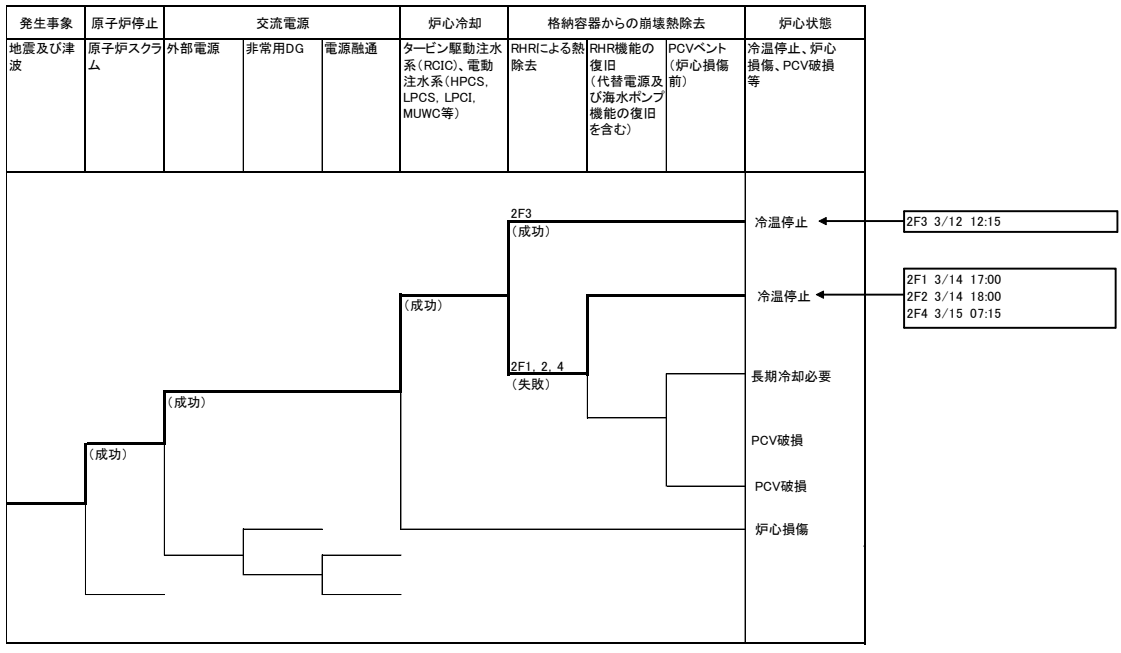
今回、3号機においては、PCV圧力の上昇があり、減圧のためS/Cへのスプレーを使用し、アクシデントマネジメントが機能したことが確認できた。なお、1号機及び2号機においては、PCVベントを優先させたため、PCVスプレー（D/W及びS/C）を実施しなかった。



図IV-7-1 福島第一原子力発電所 1号機から3号機の機能イベントツリー



図IV-7-2 福島第一原子力発電所 5号機、6号機の機能イベントツリー



図IV-7-3 福島第二原子力発電所 1号機から4号機の機能イベントツリー

#### (4) 総合評価

##### ① 設計用津波に対する認識

土木学会原子力土木委員会津波評価部会は 1993 年に発生した北海道南西沖地震を契機に、決定論的な津波水位評価手法をまとめた「原子力発電所の津波評価技術」[IV7-1]を 2002 年に公表した。これは、設計用津波の策定においては、過去に発生したことが確かな津波を踏まえること、策定過程に伴う不確かさ（ばらつき）を適切な手法を用いて考慮することを求めている点に特色がある。事業者はこれに基づいて自主的に設計用津波の見直しを行ったが、原子力規制行政機関は関与しなかった。

ところで、2006 年に策定された耐震設計審査指針は「8. 地震随伴事象に対する考慮」において、「施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性のあると想定することが適切な津波によっても、施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがないこと」とし、想定津波に対する設計対応を求めている。

今次の大津波により、安全上重要な設備の共通原因多重故障を引き起こし得ることが判明した。

そのため、今後は、津波についても、策定された設計用津波を上回る津波が施設に及ぶことによるリスクの存在を十分認識して、それを合理的に実行可能な限り小さくするための努力をすることが必要である。

一方、土木学会原子力土木委員会津波評価部会では、想定される地震動や津波に対して設計対策を行ったからといって、安全上重要な設備の共通原因多重故障を引き起こし得る地震や津波に対しては、必ずしも原子力施設に対して十分な安全水準が達成されると限らないとの認識のもと、「確率論的津波ハザード解析の方法（案）」を取りまとめる作業に着手している。

なお、原子力安全・保安院は、指針改訂に伴って発せられた原子力安全委員会の指示を踏まえて、改訂された耐震設計審査指針に基づき、全ての既設原子力発電所について最新知見を踏まえた耐震バックチェックを実施している。福島第一原子力発電所についても 3 号機と 5 号機の間接報告書が作成され、原子力安全・保安院がレビューをしている。ただし、津波に関する評価や残余のリスクの評価は、今後実施することとなっていた。

これらのことから、関係者に、決定論的手法に基づいて決定された設計用津波は、それを超える津波が襲来しないことを保証するもので

はなく、したがって、目標とする安全水準を達成する責任から、それを超える津波が襲来した際のプラントの振る舞いを分析して、達成すべき安全水準（安全目標）を踏まえて、適切な設計対策やアクシデントマネジメントを整備する必要があるとの認識が欠けていたと指摘できる。

この背景には、原子力規制行政機関が、原子炉等規制法が判断基準に掲げる「災害の防止上支障のないこと」という基準を社会と共有できる「目標とする安全水準」に翻訳して、その妥当性を巡って社会と対話していく姿勢を欠いていたことがあると思われる。

## ② アクシデントマネジメント指針

1992年に原子力安全委員会によって策定された「アクシデントマネジメント指針」を受けて各原子力発電所でその後、10年をかけて整備されたアクシデントマネジメントは、1980年代末に実施された機器故障、人的過誤などに起因する内的事象に関するPSAやシナリオ分析に基づくものである。この指針は、アクシデントマネジメントを新たに導入することの有効性を説明することに力点がおかれ、それが有効性を発揮するべき環境条件を網羅して示してはいなかった。

したがって、原子力規制行政機関は、事業者に対し、アクシデントマネジメントのための機器、資材等を配置し訓練を実施する段階で、共通原因故障の新しい知見や外部事象に関するPSAの結果を参照することを求め、実施された取組が実効的であるように現実的な条件下で実施訓練を定期的に行うことを義務付けるべきであった。

さらに、この方針もそうした取組の経験や新たに策定された地震PSA及び津波PSAの結果などを踏まえて改訂されるべきであった。

しかしながら、アクシデントマネジメントは、事業者が自主的に行うべき取組とされたため、新しい知見等を取り入れ改善を行う等のPDCAが要求されておらず、また、原子力安全委員会においても、アクシデントマネジメント指針はその後、今日まで一度も見直されることがなかった。

目指すべき安全水準の達成にアクシデントマネジメントが果たす役割の大きさを考えれば、原子力規制行政機関は、これが効果的なものであるように、新しい知見を踏まえてアクシデントマネジメント指針を絶えず見直すべきであった。

また、今回の津波に襲われた福島第一原子力発電所には6機の原子炉施設があり、いずれも事故状態に陥ったが、多数機立地施設にも拘



ならず、アクシデントマネジメントは複数の原子炉施設に同時に対応することを考えて整備、訓練されたものではなかった。

③ 安全上重要な系統の多様性：共通原因故障への備え

今回の事故の特徴は、非常用 DG、非常用母線に接続するための配電盤を始め、安全上重要な系統の多くの電気品が津波の襲来により水没し使用不能となり、最終ヒートシンクへの経路が絶たれ、さらに、直流電源が失われたプラントもあり、深刻なシビアアクシデントとなった。すなわち、アクシデントマネジメントとして整備されていた消火系を用いた原子炉への注水や PCV ベントなども、ポンプ、電動弁、空気作動弁（AO 弁）などの作動不能のため、速やかには機能させられなかった。

他方、RCIC などの一部の蒸気駆動系は、8 時間を超えても蓄電池の枯渇まで炉心冷却機能を果たし、非常用 DG も高いところに設置されたものは、非常用 DG 本体及び電源盤が水没を免れたためその使命を果たした。

設計基準事象を超える事象（BDBE）は、地震、津波、火災などがもたらす共通原因故障による安全上重要な設備の多重故障に起因する可能性が高い。したがって、目指すべき安全水準を達成するために設計基準事象を超える事象（BDBE）の発生頻度やそのもたらす影響を制限するためには、これらの外部事象がもたらす厳しい条件に対応できるようにプラントを改造すること、また、その条件下で効果を発揮するべきアクシデントマネジメントの整備にあたっては、設備等の同時故障を避ける工夫が重要になる。

したがって、原子力規制行政機関においては、水や振動、火災等に対する十分な防御とともに、これらによる共通原因故障の可能性を極力排除する観点から、設備の設置場所や動力源、サポートシステムの多様性を確保することを重視して進められるべきことについて強調するべきであった。また、事業者のアクシデントマネジメントについては、そうした厳しい条件下で効果を発揮するべきものであることを念頭において訓練が行われ、その有効性と課題が絶えず、レビューされていることを求める必要があった。

④ PCV の設計圧力とベントシステム

事故における PCV の機能喪失は周辺環境への直接的悪影響が極めて大きいため、今回のような多重故障の発生した場合であっても、

PCV の健全性は確保されるべきである。このためには、その設計温度・圧力は炉心損傷の発生を念頭において定められ、同時に、万一の際の過剰圧力による破損を回避するベントシステムをアクシデントマネジメントとして整備することが必要である。

今回の事故を踏まえれば、炉心損傷後は PCV 付近の放射線レベルが高くなることを考慮して交流電源喪失時にもタイマーに遠隔操作でベント可能なシステムとし、PCV ベントシステムは、十分な除染能力を有するフィルターを有しているべきであった。また、炉心損傷事象が発生していることに対応する温度・圧力の排気がなされる可能性があることを踏まえて、PCV ベントラインに接続する系統を通じて、建屋内に水素や放射性物質が漏えいされることのないように、系統の共用はできるだけ無くすべきであった。さらに、設計圧力を超えた際にも液層部で漏えいが発生することのないように、不連続部やパッキン類でシールする機器の耐圧性に十分な余裕のある設計上の配慮があるべきであった。

#### ⑤ 原子炉建屋での水素爆発

今回の事故では、原子炉建屋における水素爆発が事故への対応、収束活動を著しく阻害している。BWR プラントでは、PCV 内の不活性化と FCS の設置を水素燃焼対策として行っており、これは炉心損傷後も有効であると考えられていた。今回は、現場において水素の発生は気にされていたが、電源喪失を受けた対応を講じている間に、福島第一原子力発電所 1 号機及び 3 号機では過圧された PCV から漏えいした水素により爆発が生じている。福島第一原子力発電所 4 号機では、3 号機の PCV ベントからの水素の流入により爆発が生じたと推定される状況にある。

このことから、炉心損傷が発生した後のアクシデントマネジメントとして、PCV から漏えいした水素が原因で原子炉建屋内にて爆発が発生することを防止するための換気設備、及び水素が滞留することを防ぐための手段・装置等を、独立の駆動電源をも含めて整備しておくべきであった。

#### ⑥ 使用済燃料プールに対するリスク

今回の事故では、電源喪失により使用済燃料プールの冷却機能が喪失した。特に、福島第一原子力発電所 4 号機では炉内構造物であるシュラウド取替工事等のため、使用済燃料プールには比較的崩壊熱の高い

燃料が 1 炉心分貯蔵されていた。原子炉に対する事故対応とともに、使用済燃料プールの冷却機能を代替する対策を速やかに行う必要が生じた。しかしながら、原子炉に比べて内蔵する放射能インベントリーが少ないことから、原子炉に比べ、その格納機能が劣るにも拘わらず、使用済燃料プールに起因するリスクは十分に小さいとの確定論的判断により、それに対応するアクシデントマネジメントは特に考えられていなかった。

#### ⑦ PSR と PSA

1992 年から、約 10 年毎に最新の技術的知見に基づき既設原子力発電所の安全性等を総合的に評価する PSR が、事業者の自主保安として実施されてきた。PSR の実施項目の一つとして PSA の実施とその評価に基づく必要な対策の立案があり、原子力規制行政機関はその妥当性のレビューを行っていた。

しかしながら、2003 年に行われた PSR の見直しの際に、他の実施項目は原子炉等規制法に基づく保安規定の要求事項とされたが、PSA は事業者の任意事項として残され、原子力規制行政機関によるレビューは実施されなくなった。原子力規制行政機関は、国民のためのリスク管理のために規制対象のリスク構造を把握する PSA を、品質を管理しつつ事業者に実施させ、その結果を規制上の判断に利用することに熱心ではなかった。このことは、結果的に、目指す安全水準を達成するために重要なことと重要でないことの区別を曖昧にし、原子力安全文化の劣化を招いた可能性がある。

原子力規制行政機関は、原子炉のリスクが小さく維持されていることを国民に代わって検査し、説明する使命に鑑みれば、事業者に対して、それぞれのプラントのリスクを外部事象も含めて評価させ、それに基づく適切なアクシデントマネジメントの整備を強制し、これを最新の知見を踏まえて見直し、充実させるべきであった。

#### ⑧ 高経年化の影響

地震発生後の設備の稼働状況の調査結果や観測された揺れの大きさ等からは、原子炉の安全上重要な設備・機器の影響が見られていないことから、高経年化による劣化事象（原子炉の脆化、繰り返し疲労、配管減肉、熱時効、ケーブルの劣化等）が直接な原因ではなく、原子炉の冷却が不十分または停止したことにより、いずれの炉心の損傷が生じ炉心の溶融に至ったことが主要な要因と考えられる。

なお、今般のような地震や津波に対して、高経年化した原子炉がシステムとしての脆弱性を有していなかったか否かについては、今後詳細な検討が必要である。これについては、上述の PSR 等において十分な検討を行い、必要に応じて安全系設備の更新や改修などを行うことも検討していくべきである。

#### ⑨ 事故対応環境

今回の事故において、事故時における中央制御室の居住性の悪さ及び事故時計装の不備が様々な操作に至る判断の遅れをもたらしたことは明らかである。これは、長時間にわたる全交流電源喪失事象を設計基準事象として考慮しなくてよいとし、また、アクシデントマネジメント整備においても対象としていなかったことから生じたものである。

今後は、長時間にわたる全交流電源喪失事象が起きた際のアクシデントマネジメントを効果的にさせる観点から、炉心損傷後も中央制御室及びその周辺通路等の居住性を維持するとともに、事故時においても計装系が信頼できること、これを支える直流電源が十分な持続性を有するべきことを定めるべきであった。

なお、中央制御室が共用のツインプラントの場合や隣接してプラントがある場合には、隣接プラントの事故を外部事象として考慮し、その際の運転操作継続のために必要な居住性を同様の観点から確保することも求めるべきであった。

また、この要求は原子力発電所緊急時対策所に対しても当てはまる。

今回の事故においては、中央制御室からの運転員の退避に伴い、原子力発電所緊急時対策所がプラント状況の把握の中心となったが、ここで居住性の悪さがアクシデントマネジメントを実施する上で迅速な作業の妨げになった。こうしたことを踏まえ、アクシデントマネジメントの整備にあたっては、厳しい事故環境における効果的实施を可能にさせる観点から、専用換気空調系を含む緊急時対策所の在り方が詳細に検討されるべきであった。

また、福島第一原子力発電所では、2007年7月に発生した新潟県中越沖地震において柏崎刈羽原子力発電所の緊急時対策所が被害を受けた経験を踏まえ、緊急時対策所を自主的に免震構造としていた。このような対策は今回有効に機能したと言える。他の原子力発電所の緊急時対策所においても、このような機能を規制上要求する必要性についても今後検討していくべきである。

#### ⑩ 原子炉建屋の在り方

今回の事故においては、その収束を困難にしているのは PCV の破損部が低い位置にあって、原子炉への注入水が漏えいしていること、原子炉建屋の低層階には電線管や配管が多数貫通しており、その貫通部が水密シールされていないため漏えい水がタービン建屋に移動していることである。アクシデントマネジメントの一つに掲げられるフラiddiingが実施可能であるように、また、PCV の外部冷却を採用できる可能性を確保する観点から、原子炉建屋底部の水密性が確保されていることが望ましかった。

さらに、地下水の存在が汚染水の管理を困難にしていることを踏まえれば、枢要部は地下水位より高く設置すること、地下水を排除する遮水措置を施した敷地に建屋を建設する等、事故管理活動に対する地下水の悪影響について検討されるべきであった。

#### ⑪ 隣接プラントとの独立性

今回の事故において、その収束を困難にしているのは、建屋地下で隣接プラントと連絡しており汚染水が隣接建屋間を移動することである。プラントを隣接して建設する場合に設備や管理の共用化を図ることには経済的合理性があるとしても、隣接原子炉で事故が発生したことに伴う悪影響を隔離できるようにしておくことは重要であり、この観点から、隣接原子炉との物理的分離を図ること、あるいは物理的分離を図ることができるようにしておくことが検討されているべきであった。

## 参考文献

- [IV2-1] 原子力安全委員会,“発電用軽水型原子炉施設における安全設計審査指針,”平成 2 年 8 月 30 日
- [IV2-2] 原子力安全委員会,“発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針,”平成 18 年 9 月 19 日
- [IV2-3] 原子力安全・保安院,“「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う既設発電用原子炉施設等の耐震安全性の評価等の実施について,”平成 18 年 9 月 20 日
- [IV2-4] 原子力安全委員会,“「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」,”平成 2 年 8 月 30 日
- [IV2-5] USNRC,“An Assessment of Accident Risks in U.S.Commercial Nuclear Power Plants [NUREG-75/014 (WASH-1400)] ”October 1975.
- [IV2-6] IAEA, *INSAG-12: BASIC SAFETY PRINCIPLES FOR NUCLEAR POWER PLANTS 75-INSAG-3 Rev. 1*. Vienna: IAEA, 1999.
- [IV2-7] 原子力安全委員会原子炉安全基準専門部会共通問題懇談会,“シビアアクシデント対策としてのアクシデントマネジメントに関する検討報告書—格納容器対策を中心として—,”平成 4 年 3 月 5 日
- [IV2-8] 原子力安全委員会,“発電用軽水炉型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策としてのアクシデントマネジメントについて,”平成 4 年 5 月 28 日
- [IV2-9] 通商産業省,“アクシデントマネジメントの今後の進め方について,”平成 4 年 7 月
- [IV2-10] 原子力安全・保安部会基本政策小委員会,“原子力安全規制に関する課題の整理,”平成 22 年 2 月
- [IV2-11] 原子力安全・保安院,“原子力安全規制への『リスク情報』活用の基本的考え方,”平成 17 年 5 月 31 日
- [IV2-12] 原子力安全委員会安全目標専門部会,“安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ,”平成 15 年 12 月
- [IV2-13] 原子力安全委員会安全目標専門部会,“発電用軽水型原子炉施設の性能目標について—安全目標案に対応する性能目標について—,”平成 18 年 3 月 28 日
- [IV2-14] 原子力安全委員会原子炉安全基準専門部会,“共通問題懇談会 中間報告,”平成元年月 27 日
- [IV2-15] 東京電力株式会社,“アクシデントマネジメント検討報告書,”平成 6 年 3 月

[IV2-16] 東京電力株式会社, ”アクシデントマネジメント整備報告書,”平成 14 年  
5 月

[IV7-1] 土木学会原子力土木委員会津波評価部会, ”原子力発電所の津波評価技  
術,”平成 14 年 2 月