

東京電力（株）福島第二原子力発電所
東北地方太平洋沖地震及び津波に対する対応状況の
調査及び抽出される教訓について（提 言）

平成 24 年 12 月

原子力安全推進協会

目次

| | |
|--------------------------------------|----|
| 目次 | 1 |
| 1. はじめに | 2 |
| 2. 福島第二原子力発電所の概要 | 4 |
| 2.1 全体配置 | 4 |
| 2.2 系統構成 | 5 |
| 2.3 電源系統 | 7 |
| 2.4 過酷事故（シビアアクシデント）対策：（アクシデントマネジメント） | 9 |
| 3. 東北地方太平洋沖地震及びそれに伴う津波の概要 | 11 |
| 3.1 地震及び津波の概要 | 11 |
| 3.2 福島第二での観測結果 | 15 |
| 3.3 当該地震及びその後の津波のデータ | 16 |
| 3.4 設備の被害等について | 17 |
| 3.4.1 地震による被害 | 17 |
| 3.4.2 津波による被害 | 19 |
| 4. 福島第二での事故対応の状況 | 23 |
| 4.1 地震発生直後、津波襲来～復旧、冷温停止までの対応状況の概要 | 29 |
| 4.2 事故時対応の状況 | 30 |
| 4.2.1 地震発生直後 | 30 |
| 4.2.2 津波到達直後 | 33 |
| 4.2.3 津波到達後の復旧に向けての対応 | 33 |
| 4.3 福島第二の使用済燃料プールの冷却 | 43 |
| 5. 事故対応の分析 | 44 |
| 5.1 事故対応の分析の目的 | 44 |
| 5.2 分析の考え方 | 44 |
| 5.3 分析の具体的手順 | 45 |
| 5.4 分析から得られた重要な教訓 | 56 |
| 6. ヒューマンファクターの面から見た非常時対応状況 | 58 |
| 7. 教訓 | 61 |
| 7.1 組織、マネジメント、コミュニケーション | 61 |
| 7.2 事前の準備（設備、マニュアル、訓練） | 62 |
| 7.3 事故の初動対応 | 63 |
| 7.4 追加の対策 | 64 |
| 8. 終わりに | 65 |
| 添付 緊急時対応用のための資機材の強化等推奨される気付き事項 | 66 |

1. はじめに

2011年3月11日は、原子力関係者には忘れることの出来ない日となりました。また、今後原子力産業に従事する者には、忘れてはならない日となりました。

現在も、多くの方々が避難生活を余儀なくされており、その被害の範囲の広さと期間の長さを考えると、あらためて原子力災害の被害の甚大さを認識させられています。

一方、東京電力（株）福島第一原子力発電所（以下「福島第一」と記す）では、事故収束に向けたロードマップに従って、作業が続けられており、発電所の事態は概ね沈静化した状態にあると言っていい状況と思われます。

国、自治体、産業界、各種学会の有識者、ボランティアそして住民の方々による除染その他地域の復旧に向けた取組みも行われ、一部地域では、立入規制の緩和が行われています。食料品に関しても、継続したモニタリングが必要ではあるものの、事故当初からの厳しい規制にも係らず、出荷制限も減少してきている状況にあります。

住民の方々の放射線被ばくに関しては、広島・長崎の原爆による被爆者の方々のデータなど過去のデータに基づいて得られた知見である晩発性影響の発生が明確でないとされる範囲の被ばく線量に管理されている状況であり、放射性物質による癌発生比率等が有意に上昇する状況にならないと考えられます。住民の方々の健康状態については、今後、国により継続的に確認されていくことになっています。

福島第一の事故に関しては、種々の検証が行われ、報告書が公表されました。日本原子力技術協会でも、電気事業者、メーカー等の方々の御協力を得て、津波に対してどのように事故の拡大を防ぐことができるか主としてハード面での対策に提言をまとめ、産業界として昨年10月末に公表しました。きちんとした対策を取ることで、事故の拡大を防ぎ、環境への放射性物質の大量放出という事態は避けることができるものと考えています。

政府の事故調査委員会の畑村委員長も、NHKの特集番組の中で「きちんと準備しておけば、今回の福島第一の事故は防ぐことができたと思われる」と発言されました。

国では、将来のエネルギー供給をどうするか議論されていますが、エネルギーセキュリティ、地球温暖化、国際競争力の維持（国内産業の空洞化）などの課題解決のための方策を検討すれば、自然エネルギーなどの再生可能エネルギーによる低廉な電力供給が十分ではなく、将来に亘ってもその供給が約束されるものではない現在の状況に鑑みると、原子力を全てなくしてしまうのは現実的ではないと思われます。

福島第一の事故以前に、当時の政権は、CO₂発生量を25%削減することを国際的に約束し、そのために、原子力の比率を40%まで高めるとしていました。原子力をなくして、どうやってCO₂を削減するのか、あるいは、停止した原子力発電所の代替火力のために年に3兆円というお金を使って追加の化石燃料を購入することがいつまで続けられるのかといったことを考えれば、当面は原子力の安全性を高めて使っていくということが現実的な選択肢であると思われます。

今回、当協会では、福島第一の事故を分析した産業界の報告書に引き続き、第三者的立場から、津波に襲われながらも事態を収束に導くことができた福島第二原子力発電所（以下「福島第二」と記す）での対応状況を技術的に検証し、原子力発電所のよ

り一層の事故対応能力を高め、安全性の向上に資することを願って教訓をまとめることとしました。

既に、福島第二での事象の推移や発電所での事故対応に関しては、東京電力の報告書や政府の事故調査報告書等で詳細に記載してあることから、本報告書では、事象の推移や対応に関しては大きな推移が分かるように概要をまとめ、また、教訓が含まれているようなグッドプラクティスを拾い上げるように記載しました。教訓をまとめるに際しては、事故対応の実際の状況等を基に、どの程度の準備をしておけばいいのかより具体性のある提言となるように心がけて整理しました。

今後、国内外の原子力発電所で事故に対する対策を検討していく際に、本報告書の教訓が活用されることを望んでいます。

前述したとおり、福島第一での事故対応に関して、報告書にまとめて主としてハード面での対策を提言しており、原子力安全推進協会（旧日本原子力技術協会）のホームページで閲覧可能ですので、そちらも併せて活用して頂きたいと思います。

なお、国や自治体の活動に関する検討は原則として今回の分析対象外とし、電気事業者として対応すべき範囲での教訓を抽出することを主目的として検討しています。

2. 福島第二原子力発電所の概要

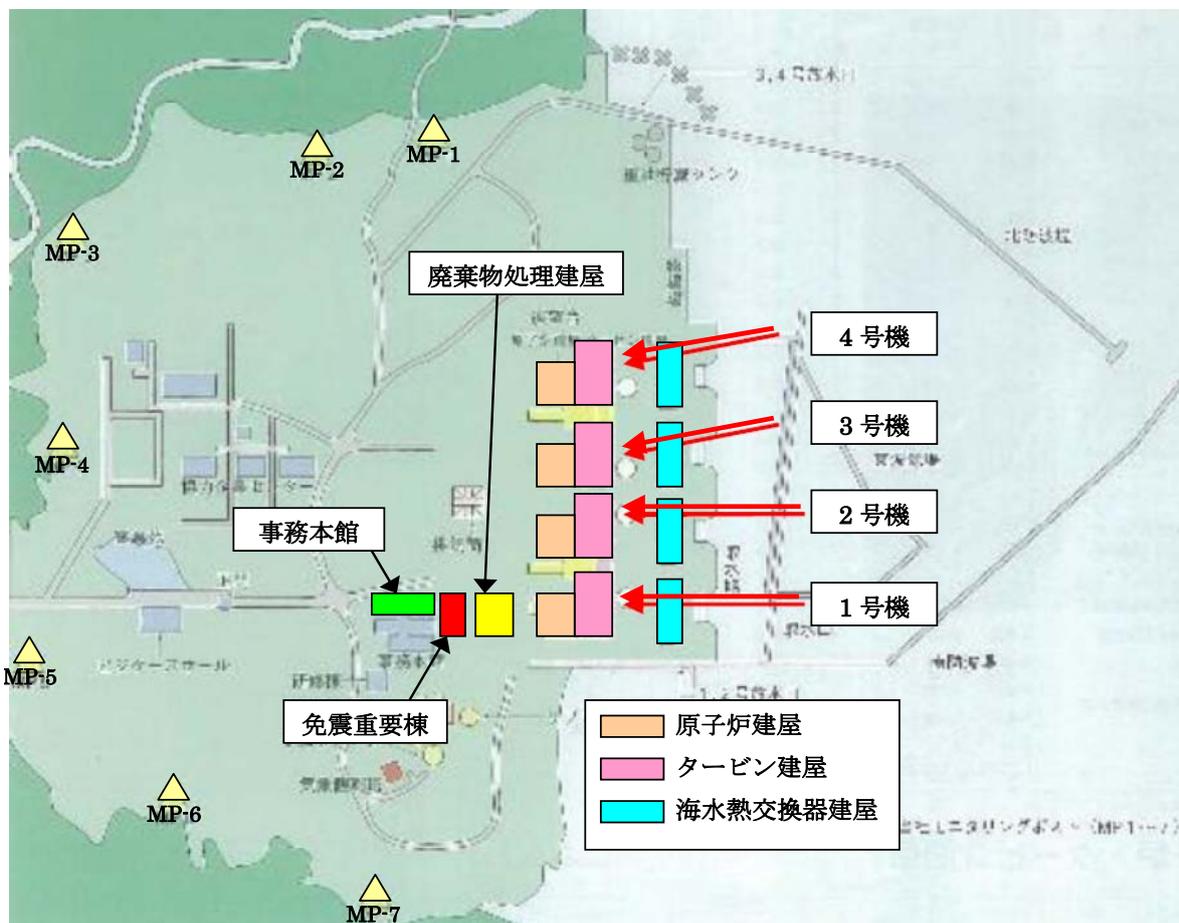
2.1 全体配置

福島第二は、福島第一の約 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 m² である。

現在 4 基の沸騰水型軽水炉が設置されており、南から 1、2、3、4 号機の順に配置されている。発電機出力はすべて 110 万 kW であり、総発電設備容量は 440 万 kW となっている。

今般の発災時は、1 号機～4 号機ともに定格熱出力運転中であった。

中央制御室は、1、2 号機と 3、4 号機それぞれに 1 室のツインプラントである。



| 所在地 | 号機 | 運転開始 | 型式 | | 出力 (万 kW) | 地震発生 時の状況 |
|-----|-----|-------|------|-------|--------------|---------------------|
| | | | 原子炉 | 格納容器 | | |
| 楡葉町 | 1号機 | S57.4 | BWR5 | マークII | 110 | 定 格 熱出力 運 転 中 |
| | 2号機 | S59.2 | | マークII | 110 | |
| 富岡町 | 3号機 | S60.6 | | 改良型 | 110 | |
| | 4号機 | S62.8 | | 改良型 | 110 | |

図 2.1 発電所の全体配置

2.2 系統構成

福島第二の各号機における、系統構成は図 2.2 のとおり。

各系統の役割を以下に示す。

- 原子炉隔離時冷却系（RCIC）

通常運転中、何らかの原因で主蒸気隔離弁の閉等により主復水器が使用できなくなった場合、原子炉の蒸気でタービン駆動ポンプを回して復水貯蔵タンク（以下「CST」と記す）の水を原子炉に注水し、燃料の崩壊熱を除去し減圧する。また、給水系の故障時等に、非常用注水ポンプとして使用し、原子炉の水位を維持する。

- 残留熱除去系（RHR）

原子炉を停止した後、ポンプや熱交換器を利用して冷却材の冷却（燃料の崩壊熱の除去）や非常時に冷却水を注入して炉水を維持する系統（非常用炉心冷却系のひとつ）で、原子炉を冷温停止に持ち込める能力を有している。原子炉停止時冷却モード、低圧注水モード（ECCS）、格納容器スプレイモード、圧力抑制室冷却モード、非常時熱負荷モードの 5 つの運転モードを有する。

- 非常用炉心冷却系（ECCS）

低圧炉心スプレイ系（LPCS）、低圧注水系、高圧炉心スプレイ系（HPCS）及び自動減圧系からなり、原子炉再循環系配管のような原子炉冷却材圧力バウンダリーの配管が破断し、冷却材喪失事故（LOCA）が発生した場合に、炉心から燃料の崩壊熱及び残留熱を除去し、燃料の過熱による燃料被覆管の破損を防ぎ、さらに、これに伴うジルコニウムと水との反応を無視しうる程度におさえる。

- ほう酸水注入系（SLC）

原子炉運転中、なんらかの原因で制御棒が挿入不能となった場合、原子炉を停止させる制御棒のバックアップ装置として中性子吸収材であるほう酸水を炉心底部から注入して原子炉を停止する。

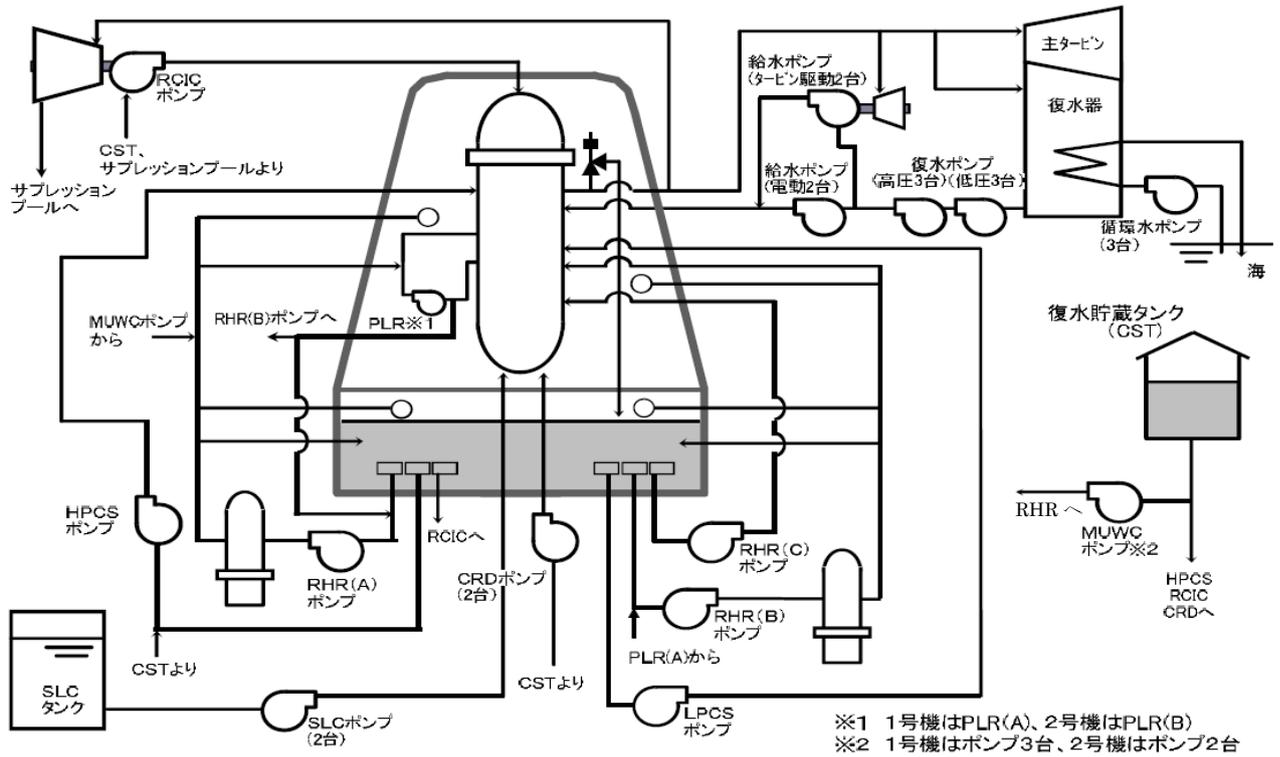


図 2.2-1 福島第二 1号機、2号機 系統構成図

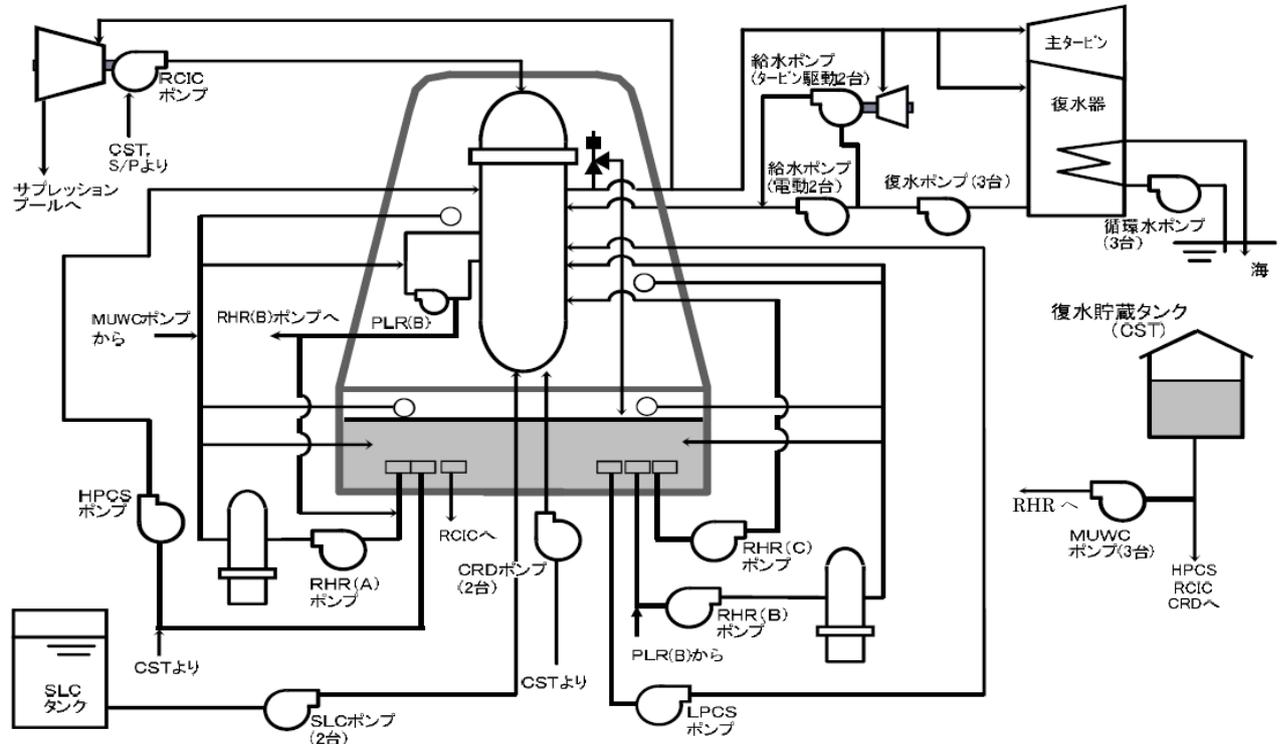


図 2.2-2 福島第二 3号機、4号機 系統構成図

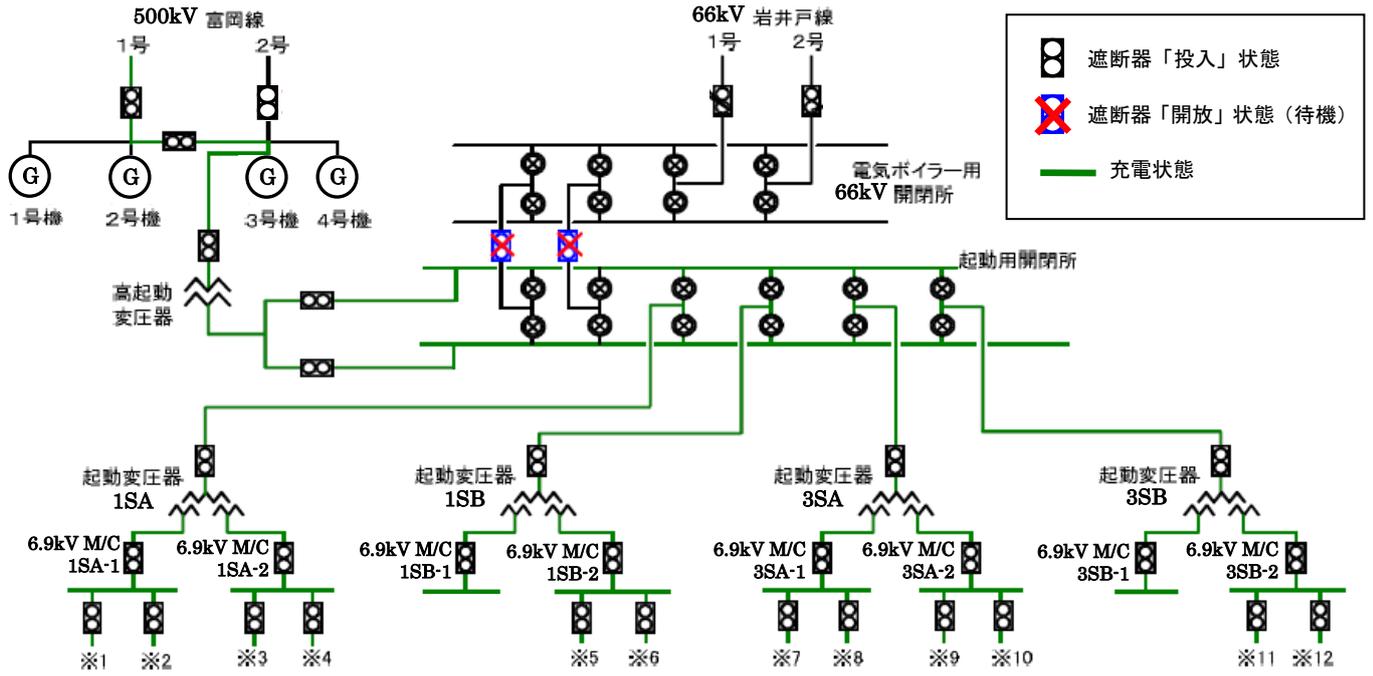
2.3 電源系統

各ユニットで発電した電力は、500kV 送電線（富岡線）2回線で、電力系統へ送電される。この富岡線は、1回線で福島第二の全発生電力を送電しうる容量があり、仮に1回線に事故が発生しても発電所を全出力運転できる。

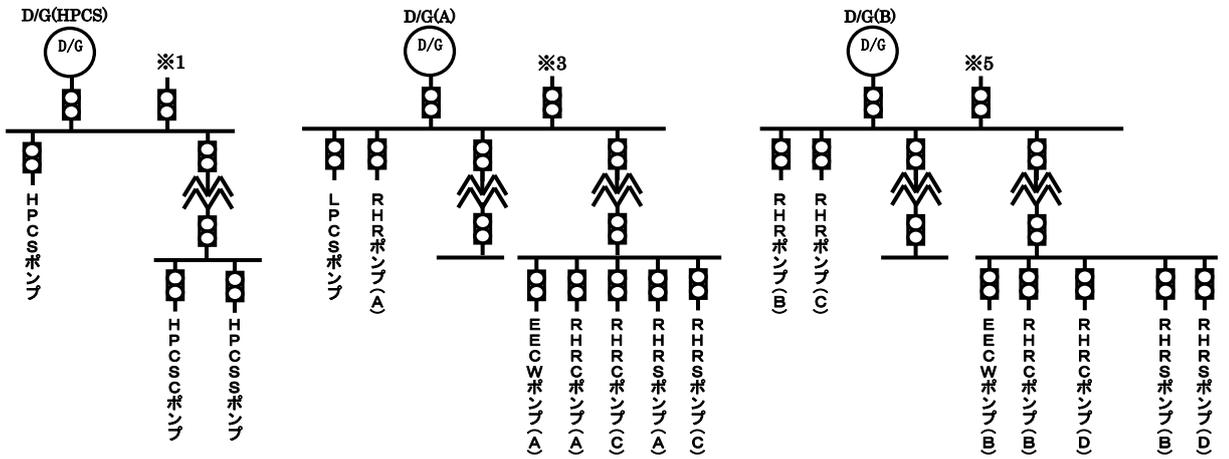
原子炉を起動・停止するための電力は、主回線である富岡線2回線または予備回線である66kV送電線（岩井戸線）2回線で受電する。

万一、富岡線2回線及び岩井戸線2回線とも停電した場合に、原子炉を安全に停止するための設備への電力は、非常用ディーゼル発電機（D/G）及び高圧炉心スプレイ系（HPCS）ディーゼル発電機から供給される構成となっている。

なお、富岡線及び岩井戸線は全てのユニットで共用である。



1号機^注



注：各号機で※1,※3,※5を以下のとおり読み替え

| 読み替え | | | |
|------|-----|-----|-----|
| 1号機 | 2号機 | 3号機 | 4号機 |
| ※1 | ※2 | ※7 | ※8 |
| ※3 | ※4 | ※9 | ※10 |
| ※5 | ※6 | ※11 | ※12 |

図 2.3-1 電源系統図、非常用電源系 単線結線図

2.4 過酷事故（シビアアクシデント）対策：（アクシデントマネジメント）

福島第二のアクシデントマネジメントを表 2.4 に示す。

万が一シビアアクシデントに事態が拡大した場合にも、その影響が緩和できるよう対策している。

表 2.4 整備済の過酷事故対策

| 機 能 | 過酷事故対策 |
|-----------------|--|
| 原子炉停止機能 | 再循環ポンプトリップ（RPT） |
| | 代替制御棒挿入（ARI） |
| 原子炉及び格納容器への注水機能 | 代替注水 （復水補給水系/消火系ポンプ 等による原子炉/ 格納容器への注水） |
| | 原子炉減圧の自動化 （ADS インターロック追加） |
| 格納容器からの除熱機能 | 代替除熱 （D/W クーラー/原子炉冷却材浄化系の活用） |
| | 残留熱除去系の故障機器の復旧 （手順） |
| | 耐圧強化ベント |
| 安全機能のサポート機能 | 電源の融通 （隣接プラントからの 480 V 融通） |
| | 非常用 D/G の故障機器の復旧 （手順） |

略称

- RPV:原子炉圧力容器
- RCIC:原子炉隔離時冷却系
- LPCI:低圧注水系
- RHR:残留熱除去系
- FP:消火系
- MUWC:復水補給水系

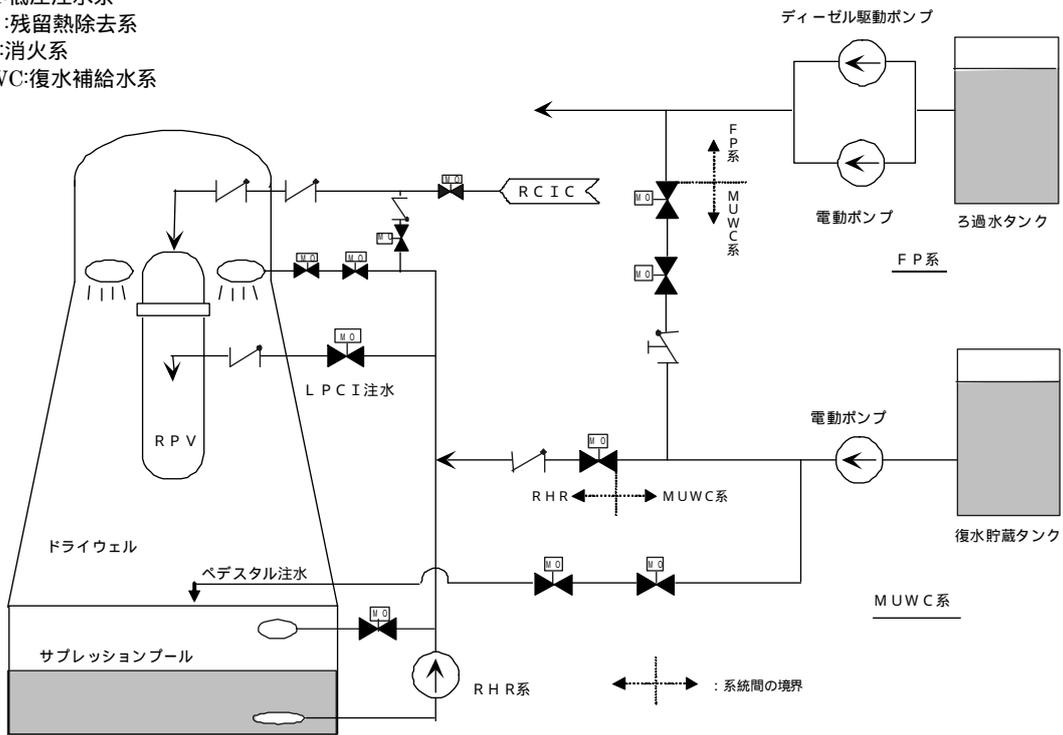


図 2.4-1 代替注水設備

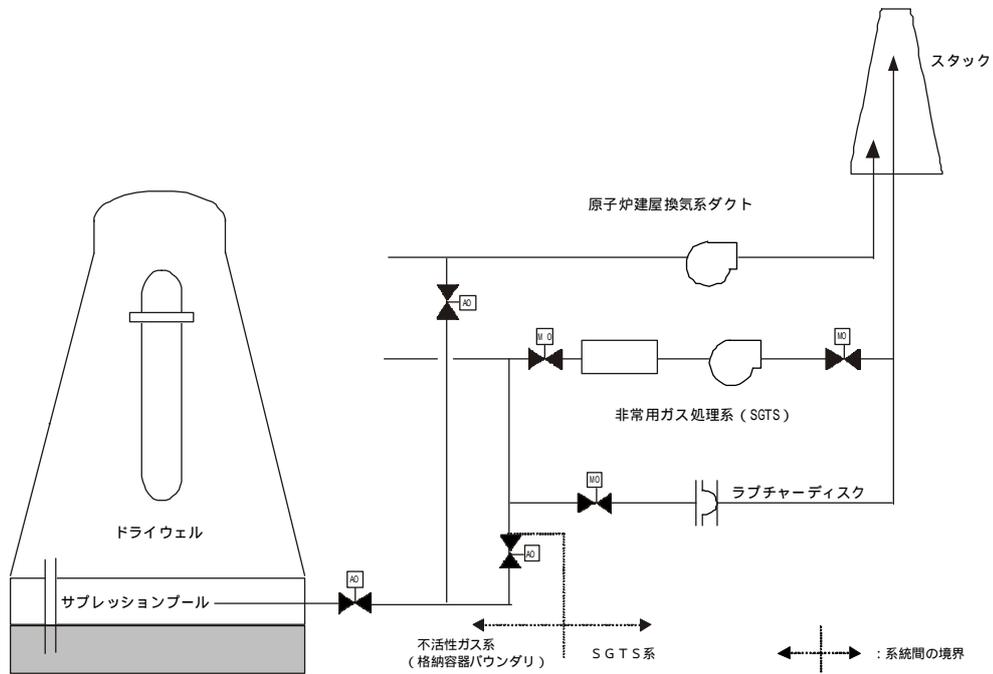


図 2.4-2 耐圧強化ベント設備

3. 東北地方太平洋沖地震及びそれに伴う津波の概要

3.1 地震及び津波の概要

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震は、本震規模では日本国内で観測された最大の地震であり、この地震により宮城県栗原市で最大震度 7 を観測した。

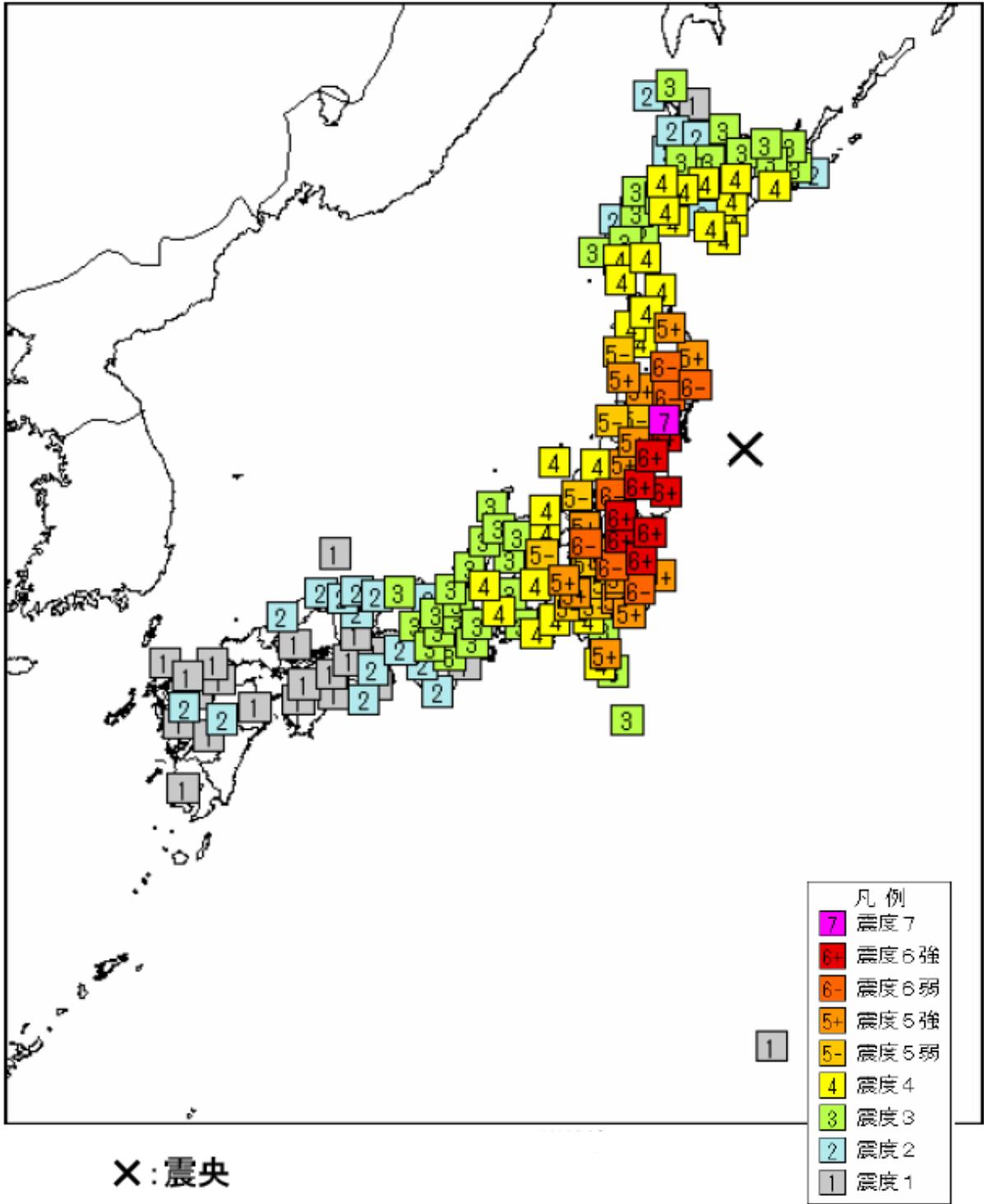
また、北海道地方、東北地方、関東地方の太平洋沿岸で高い津波が観測された。

今回の地震の震源域は、岩手県沖から茨城県沖までに及んでおり、その長さは約 500km、幅は約 200km で、最大すべり量は 50m 以上であったとされている。

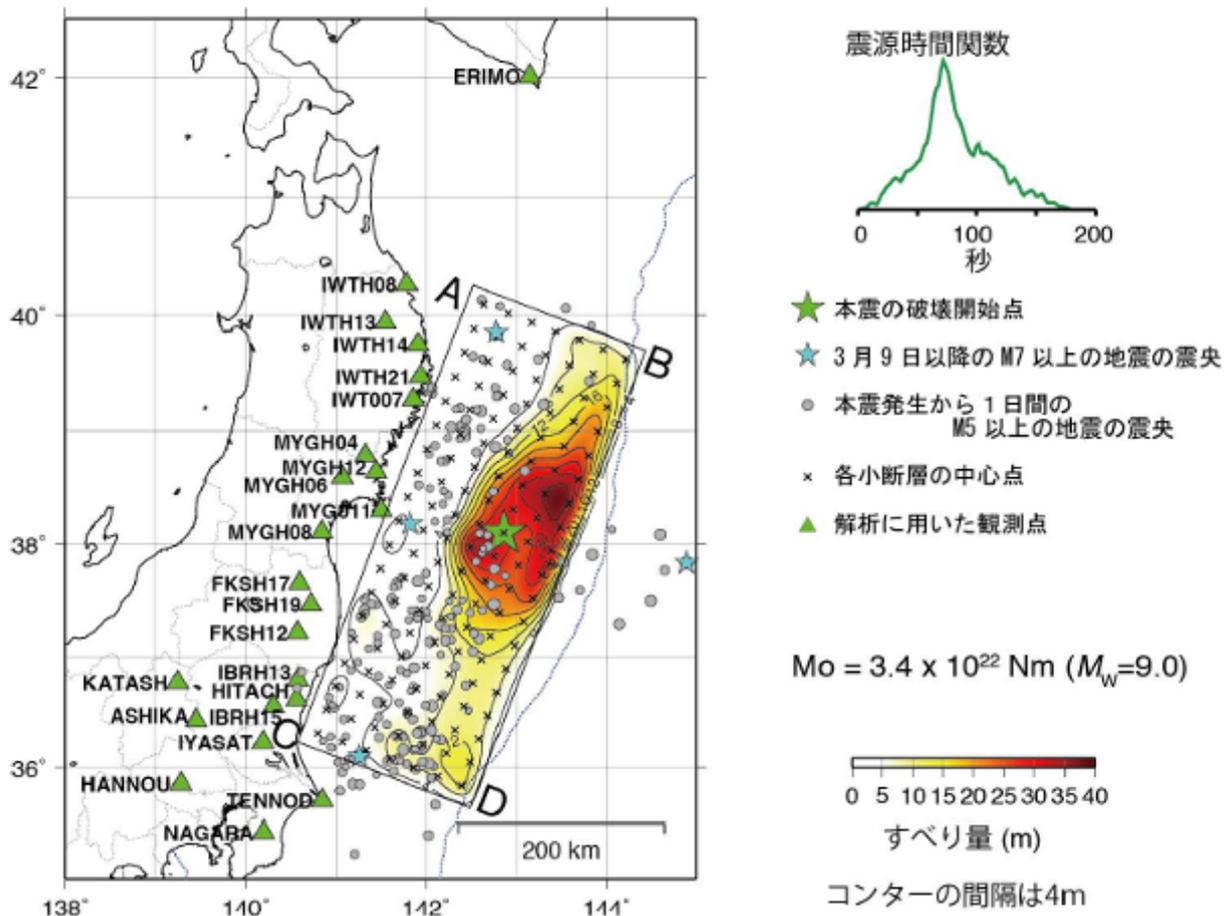
本地震は、三陸沖南部海溝寄り、三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの一部で大きなすべり量が観測され、三陸沖中部、宮城県沖、福島県沖、茨城県沖の複数の領域も震源域として連動して発生したマグニチュード 9.0（世界の観測史上 4 番目の規模）の巨大地震であり、国の調査・研究機関である地震調査研究推進本部においても、過去に事例のある個別の領域の地震動や津波は評価していたものの、これらすべての領域が連動して発生する地震は想定されていなかった。中央防災会議の専門部会においても、我が国の過去数百年の地震発生履歴からは想定することができなかったマグニチュード 9.0 の規模の巨大な地震が、複数の領域を連動させた広範囲の震源域を持つ地震として発生したとしている。

この地震に伴い発生し、東北地方太平洋沿岸に大規模災害を引き起こした津波は、津波の規模を表す津波マグニチュードで 9.1 とされ、世界で観測された津波の中で 4 番目、日本では過去最大に位置付けられる。

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃の三陸沖の地震
震度分布図

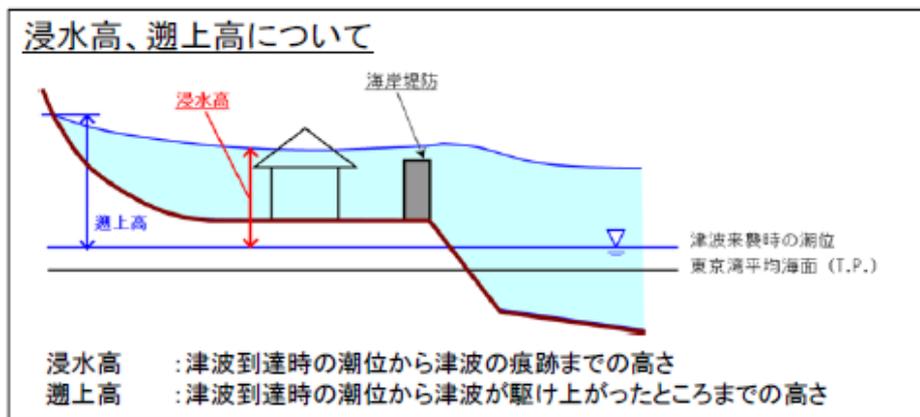
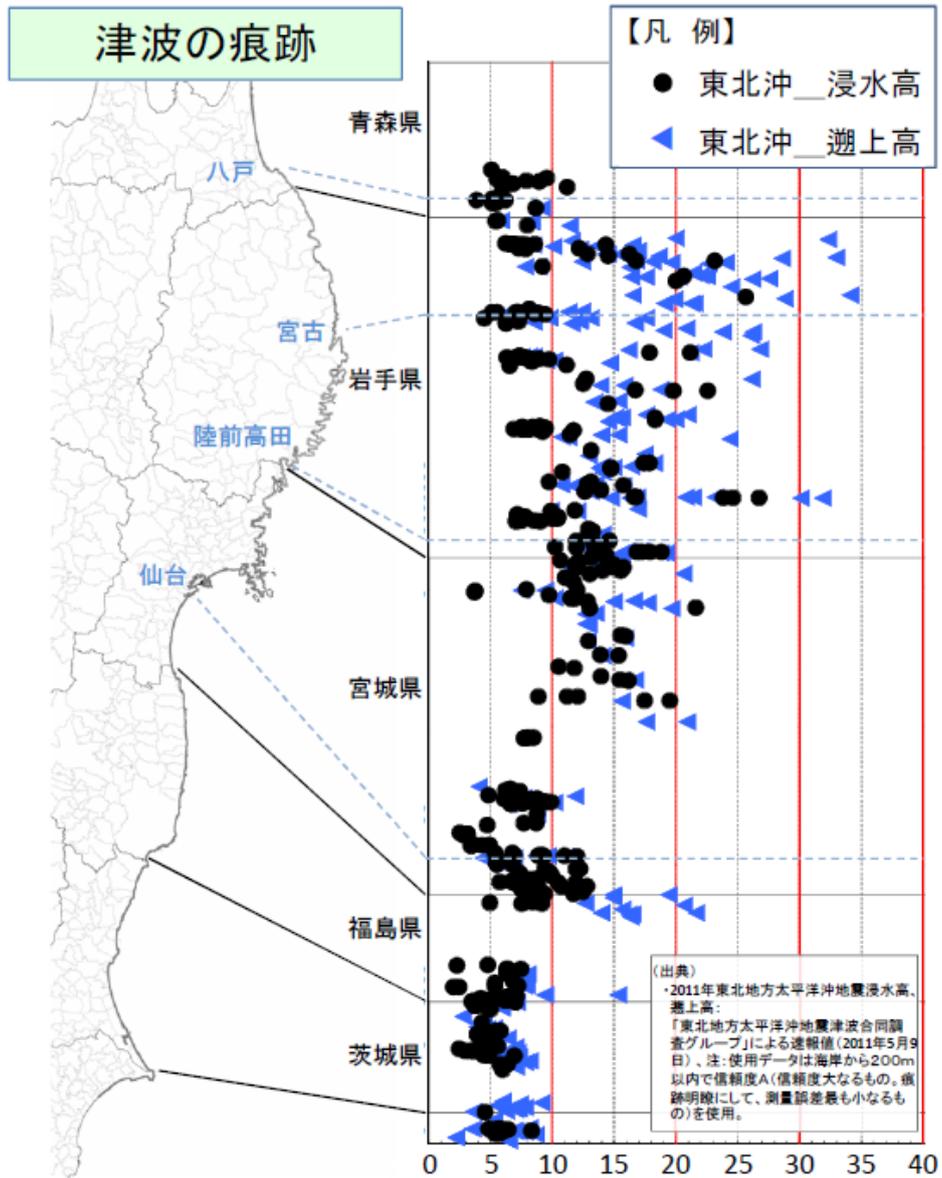


出典：気象庁（平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃の三陸沖の地震について）



出典：気象庁（平成 23 年 3 月 地震・火山月報）

津波は、震源のほぼ真上の海底が約 3m 隆起したことにより起こったと推定される。最大遡上高さは、宮古市の北で 35m 近くとなっている。また、宮古市の北での浸水高さは 25m を超えている。浸水面積は、岩手県で 58km²、宮城県で 327km²、福島県で 112km²、茨城県で 23km² となっている。



出典：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会
 第1回会合資料より抜粋

地震と津波による被害は、平成24年7月31日時点で、死者15,867名、行方不明者2,903名、全壊建物130,445戸、半壊建物264,110戸と甚大である。

3.2 福島第二での観測結果

福島第二の原子炉建屋基礎版上（最地下階）の観測値は、基準地震動 Ss に対する最大加速度を下回っており（観測された最大加速度：1号機原子炉建屋地下2階305ガル）、今回の地震動は設備の耐震安全性評価の想定範囲内にあるものであった。

さらに、本震時に取得した自由地盤系の地震観測記録を用いて、地盤構造モデルを特定し、はぎとり解析を実施したが、その結果から、はぎとり波は一部の周期帯で基準地震動 Ss を超えているものの、概ね同程度の地震動レベルであったことが確認された。

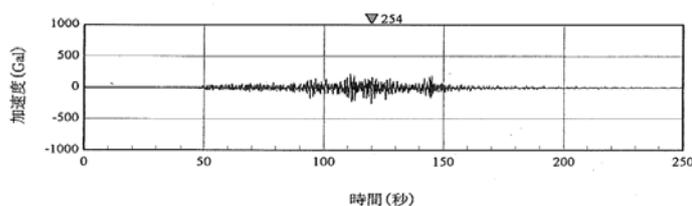


図 3.2-1-1 1号機原子炉建屋基礎版上の加速度時刻歴波形（NS方向）

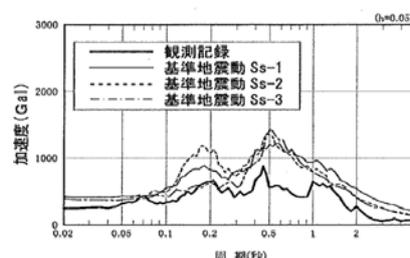


図 3.2-2-1 1号機原子炉建屋基礎版上の応答スペクトル（NS方向）

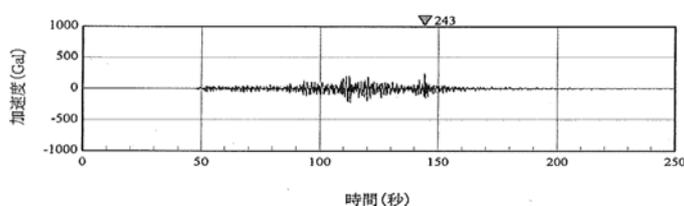


図 3.2-1-2 2号機原子炉建屋基礎版上の加速度時刻歴波形（NS方向）

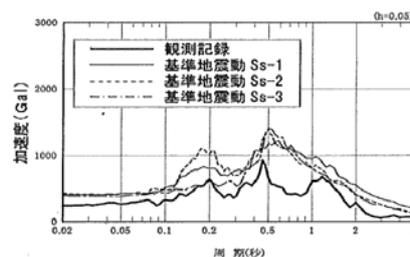


図 3.2-2-2 2号機原子炉建屋基礎版上の応答スペクトル（NS方向）

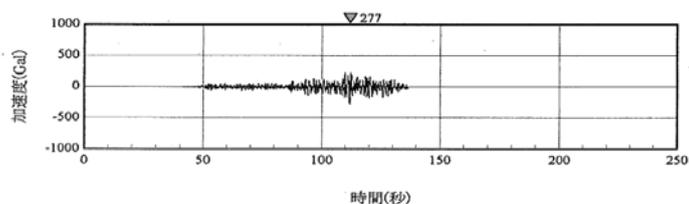


図 3.2-1-3 3号機原子炉建屋基礎版上の加速度時刻歴波形（NS方向）

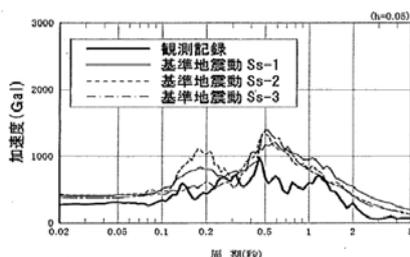


図 3.2-2-3 3号機原子炉建屋基礎版上の応答スペクトル（NS方向）

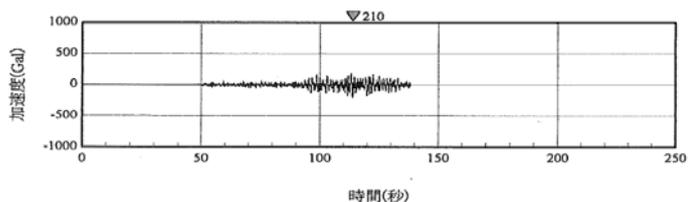


図 3.2-1-4 4号機原子炉建屋基礎版上の加速度時刻歴波形（NS方向）

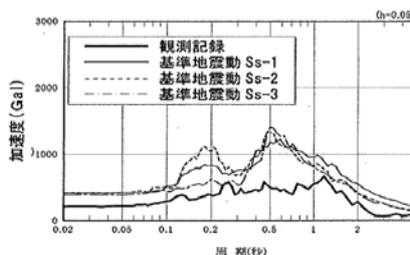


図 3.2-2-4 4号機原子炉建屋基礎版上の応答スペクトル（NS方向）

※水平方向のうち、表において大きい方向を例示（福島第二：NS方向）

3.3 当該地震及びその後の津波のデータ

(1) 発生日時

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分

(2) 震源

三陸沖（北緯 38.1 度、東経 142.9 度、牡鹿半島の東南東 130km 付近、
震源深さ 24km）

(3) マグニチュード

9.0

(4) 最大加速度

1 号機原子炉建屋地下 2 階 305 ガル(上下方向)

(5) 福島第二との距離

震央距離 183km、震源距離 185km

(6) 津波データ

a 浸水高

(a) 海側エリア(敷地高小名浜港工事基準面(以下「O.P.」と記す)+4m)

- ・ 約+7m*1(浸水深 約 3m)

*1) 1 号機海水熱交換器建屋南側南側面等で局所的な高まり。

(b) 主要建屋*2 設置エリア(敷地高 O.P.+12m)*2 原子炉建屋及びタービン建屋。

- ・ O.P.約+12~約+14.5m*2 (浸水深約 2.5m 以下)

*2) 1 号機主要建屋南側から免震重要棟にかけて局所的に O.P.約+15~約+16m

(浸水深 約 3~4m)

b 浸水域

浸水域は海側エリアの全域に及んでいるが、海側エリアから斜面を越えて主要建屋設置エリアへの遡上は認められず、主要建屋設置エリア南東側から免震重要棟への道路に集中的に遡上し、1、2 号機の建屋周辺及び 3 号機の建屋南側のみ浸水(4 号機の建屋周辺には浸水なし)した。

(7) 津波第一波到達時刻

平成 23 年 3 月 11 日 15 時 22 分 (目視確認)

3.4 設備の被害等について

3.4.1 地震による被害

福島第二における外部電源は、新福島変電所から 500kV 富岡線 1L, 2L 及び 66kV 岩井戸線 1L, 2L の計 4 回線で構成されるが、地震当日は、停止点検中の岩井戸線 1L を除く 3 回線となっていた。

地震発生後は、新福島変電所の断路器の損傷により 3 月 11 日 14 時 48 分頃に富岡線 2L が受電停止となった。なお、岩井戸線 2L においては、地震後の設備巡視により避雷器の損傷を確認したため、富岡線 1L からの所内受電が継続していることを確認後、損傷の拡大防止のために受電を停止し設備の復旧を行った。

このため、外部電源による受電は一時的に 1 回線となったが、翌日 12 日 13 時 38 分頃には岩井戸線 2L、13 日 5 時 15 分頃には岩井戸線 1L を仮復旧させ、3 回線による受電構成となった。

外部電源 1 回線が機能を維持できたことで、使用可能な設備に電力を供給することが可能となり、事故の拡大を防止して収束に導くことが出来た。変電所や開閉所の遮断器等の機器は、基本的には福島第一と同じ仕様である。

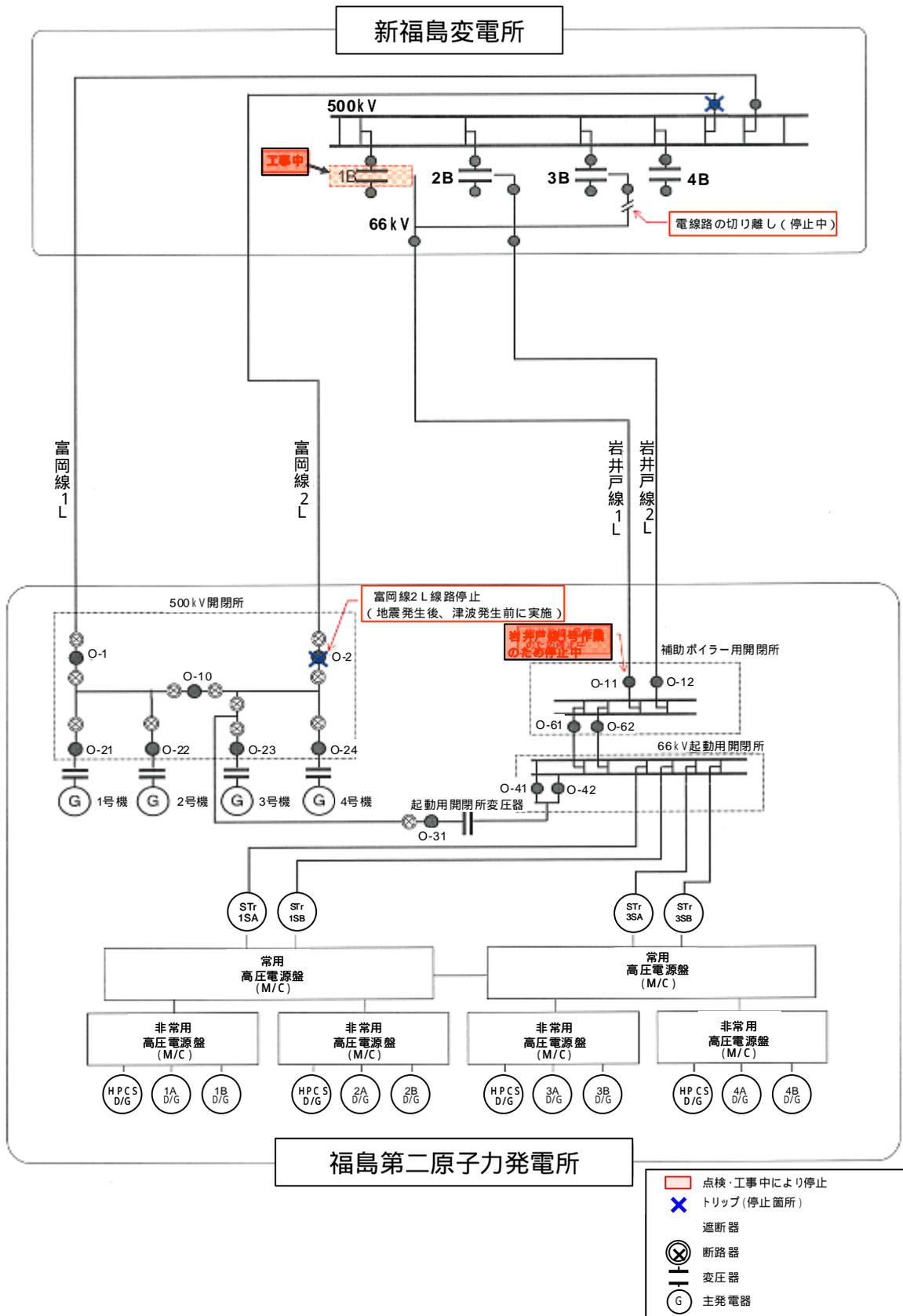


図 3.4.1-1 福島第二 外部電源系統概略図

3.4.2 津波による被害

(1) 主要建屋への浸水経路（図 3.4.2-1、3.4.2-2 参照。）

福島第二の主要建屋周囲（原子炉建屋、タービン建屋；O.P.+12m の敷地高さ）では、1号機の南側に集中的に遡上したほかは、浸水深さは深くなかった。

1号機は、津波が集中的に遡上した1号機原子炉建屋南側に面する地上の開口部（非常用 D/G 給気ルーバ、地上機器ハッチ）からの浸水が認められ、ここから原子炉建屋（付属棟）へ浸水し、非常用 D/G3 台全数、非常用電源（C 系及び高压炉心スプレイ系）が機能喪失した。

2号機から4号機は地上の浸水深さはわずかであったことから、地上の開口部から原子炉建屋やタービン建屋への浸水は確認されなかった。ただし、3号機の原子炉建屋（付属棟）及び1～3号機タービン建屋の地下で浸水が確認された。地下のトレンチやダクトに通じるケーブル、配管貫通部が、建屋内部への津波の浸水経路になったと考えられる。

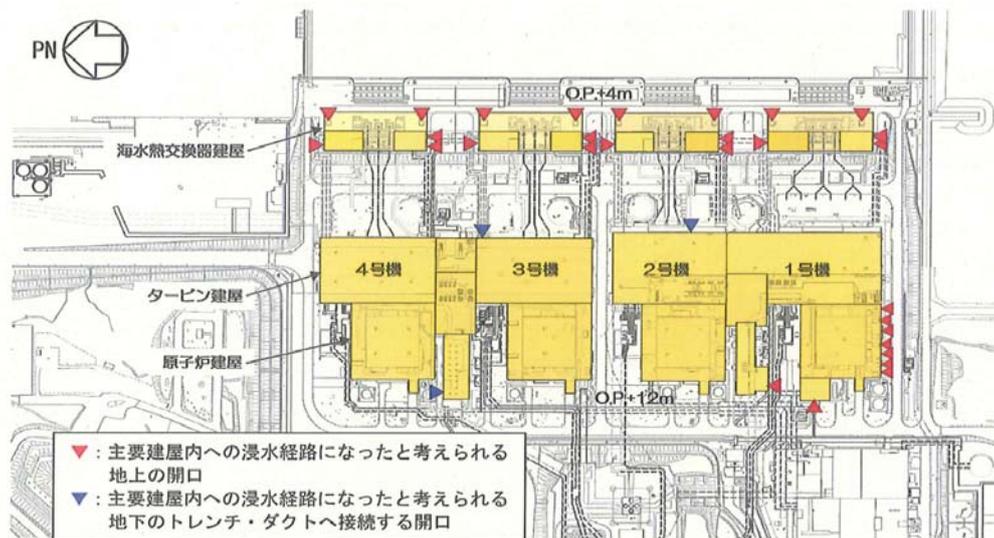


図 3.4.2-1 主要建屋内への浸水経路になったと考えられる開口の位置

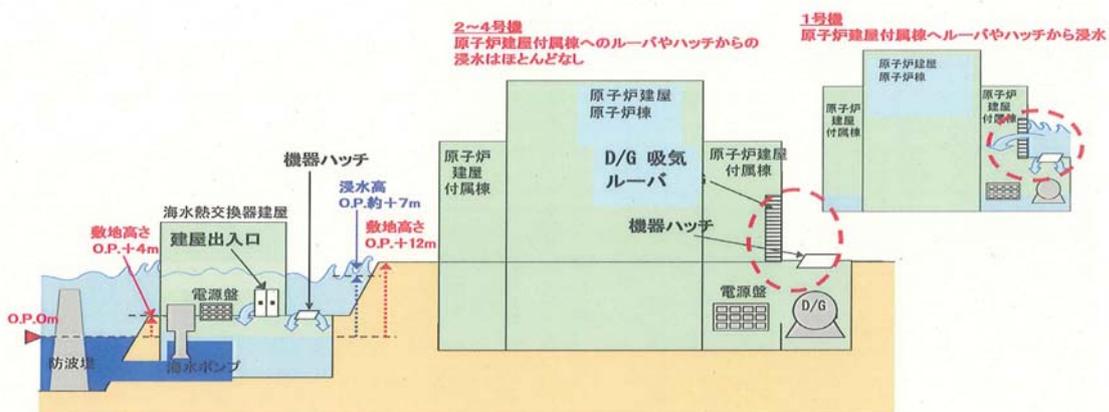


図 3.4.2-2 福島第二原子力発電所主要建屋への浸水経路

表 3.4.2-1 D/G の設置場所と津波被害の状況

| | | 1号機 | 2号機 | 3号機 | 4号機 |
|----------------------|---|---|------------------------|------------------------|------------------------|
| 津波高さ*1 | | 約+9m | | | |
| 敷地高さ | | O.P.+12m | | | |
| 主要建屋周り浸水深 [浸水高さ] | | 約 2.5m 以下 (1号機周囲以外はほとんどゼロ) [O.P.約+12m~約+14.5m]*2 | | | |
| D/G 設置建屋 [設置階] | A | 原子炉建屋 付属棟 [地下2階] | 原子炉建屋 付属棟 [地下2階] | 原子炉建屋 付属棟 [地下2階] | 原子炉建屋 付属棟 [地下2階] |
| | B | 原子炉建屋 付属棟 [地下2階] | 原子炉建屋 付属棟 [地下2階] | 原子炉建屋 付属棟 [地下2階] | 原子炉建屋 付属棟 [地下2階] |
| | H | 原子炉建屋 付属棟 [地下2階] | 原子炉建屋 付属棟 [地下2階] | 原子炉建屋 付属棟 [地下2階] | 原子炉建屋 付属棟 [地下2階] |

□ : D/G 本体が被水した

□ : D/G 本体が被水していない

*1 両発電所の検潮所設置位置における津波高さ。計器損傷のため、検潮所における実際の津波高さは把握できていない。

*2 1号機建屋南側から免震重要棟にかけて局所的に O.P.約+15~約+16m[浸水深 約 3~4m]

(2) 被害状況

津波の被害を受けた設備のうち、原子炉の冷却に用いられる設備であり、今般の津波による設備被害の特徴を端的に示している設備について被害状況を以下に示す。(表 3.4.2-2 参照。)

①非常用機器冷却系ポンプ

1号機から4号機は海水を利用し、原子炉の崩壊熱の除去を行う。また、非常用 D/Gも海水を利用して機関の冷却を行う。このため、海側エリアに非常用機器冷却系ポンプ(海水を取り込むポンプ及び海水を冷却源とした淡水の冷却系ポンプ)が設置されている。なお、これらのポンプは、海水熱交換器建屋内に設置されている。これは、直接海水を原子炉建屋内へ送水せず、中間に熱交換器、冷却水ポンプを有する淡水ループを設け、補機冷却設備の海水熱交換器等諸装置を一括独立収納し、非放射線管理区域化した海水熱交換器建屋を設置することにより、海水の炉水への混入防止や保守性の向上などを目的としたものである。なお、非常用機器冷却系ポンプは屋外仕様であるが、一括独立収納することに合わせて、熱交換器建屋に設置したものである。これらの非常用機器冷却系ポンプを設置している海側エリアの敷地高さはO.P.+4mであり、土木学会「津波評価技術」に基づく平成14年の津波高さの評価結果を踏まえ、津波の高さ5.1~5.2mに対して機能を確保できるよう対策を講じていた。しかし、今回の津波はそれを大幅に超える

ものであったことからこれらのポンプのモータは被水・浸水し、系統の機能を喪失した。なお、福島第二の非常用機器冷却系ポンプは、海水熱交換器建屋内に設置されていたものの、海水熱交換器建屋周囲は津波によって3m程度の浸水深さとなり、建屋躯体には損傷は認められなかったがドア等の地上開口部が破損し、すべての海水熱交換器建屋が浸水した。このため、電源盤、ポンプのモータが被水して、非常用機器冷却系は全8系統のうち3号機の1系統を除いて機能喪失した。また、A系、B系、H系の3系統ある非常用D/Gの冷却系は3号機のB系、H系及び4号機のH系の3系統を除きすべて機能を喪失した。

②電源盤

福島第二においては、福島第一とは津波規模が異なったことから、主要建屋への浸水状況が異なり、結果として電源盤の被害状況が異なっている。

津波の浸水が見られた1号機原子炉建屋（付属棟）において非常用電源盤C系とH系が被水したが、非常用電源盤D系は被水せず、また他の号機では主要建屋の電源盤に被害はなかった。このため、外部電源から受電した電力を非常用電源系を通じて機器に供給できる状況であり、その後の緊急時対応に必要な設備を使用することができた。（電源は常用系A、B2系統、非常用系C、D2系統、高圧炉心スプレイ系電源H系を有する）一方、海側エリアの海水熱交換器建屋内の電源盤は建屋への浸水の影響を受け、3号機海水熱交換器建屋の低圧電源盤（P/C）1系統を除き、その他7系統すべてが被水した。

このため、残留熱除去海水系は全8系統のうち3号機の1系統を除いて機能喪失した。

表 3.4.2-2 海水熱交換器建屋における非常用機器冷却系ポンプ及び非常用 P/C の津波到達後の被害状況

| 海水ポンプ(RHRC、RHRS及びEECW) | | | | | | | | |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| ○:使用可能 △:電源盤が被水したため機能喪失 ×:電源盤及びモーターが被水したため機能喪失 | | | | | | | | |
| 設置場所 | 1号機 | | 2号機 | | 3号機 | | 4号機 | |
| | 北側 | 南側 | 北側 | 南側 | 北側 | 南側 | 北側 | 南側 |
| 2階 | | | △ RHRC(A) △ RHRC(C) | △ RHRC(B) △ RHRC(D) △ EECW(B) | | | | △ EECW(B) |
| 1階 | △ RHRS(B) △ RHRS(D) | △ RHRS(A) △ RHRS(C) | × RHRS(A) × RHRS(C) | △ RHRS(B) × RHRS(D) | △ RHRS(A) △ RHRS(C) | ○ RHRS(B) ○ RHRS(D) | × RHRS(A) × RHRS(C) | × RHRS(B) △ RHRS(D) |
| | × RHRC(B) × RHRC(D) | × RHRC(A) × RHRC(C) | | | × RHRC(A) × RHRC(C) | ○ RHRC(B) ○ RHRC(D) | × RHRC(A) × RHRC(C) | × RHRC(B) × RHRC(D) |
| | × EECW(B) | × EECW(A) | × EECW(A) | | × EECW(A) | ○ EECW(B) | × EECW(A) | |
| | | | | | | | | |
| 非常用P/C | | | | | | | | |
| ○:使用可能 ×:被水したため機能喪失 | | | | | | | | |
| 設置場所 | 1号機 | | 2号機 | | 3号機 | | 4号機 | |
| | 北側 | 南側 | 北側 | 南側 | 北側 | 南側 | 北側 | 南側 |
| 1階 | × P/C1D-2 | × P/C1C-2 | × P/C2C-2 | × P/C2D-2 | × P/C3C-2 | ○ P/C3D-2 | × P/C4C-2 | × P/C4D-2 |

③非常用ディーゼル発電機

福島第二では、各号機毎に3台(A,B,H)の非常用ディーゼル発電機（以下「非常用D/G」と記す）を設置している。地上開口部から原子炉建屋(付属棟)に浸水した1号機では、3台ある非常用D/Gのすべてが被水して使用できなくなった。これらの非常用D/Gの中には、D/G本体は被水しなかったけれども、津波浸水によって非常用D/Gの冷却系の電源盤・ポンプのモータが被水したためにディーゼル機関の冷却ができなくなり機能を喪失したものもあった。非常用D/Gの冷却系は3号機(B,H)及び4号機(H)の3系統を除きすべて機能を喪失しており、この結果として1号機非常用D/G(A,B,H)、2号機非常用D/G(A,B,H)、3号機非常用D/G(A)、4号機非常用D/G(A,B)の9台が機能喪失した。

なお、福島第二では、外部電源の受電が継続していたことから、残存した非常用D/Gを使用する必要は生じなかった。

④その他、屋外の被害状況

福島第二においては、主な設備・構造物等が津波により主要建屋設置エリア(敷地高:O.P.+12m)まで漂流した状況は確認されていない。

また、主要建屋設置エリアにおいては、津波によりダクトのハッチの蓋等が流失・損傷し、開口部となったものが5箇所確認されている。

出典:

東京電力株式会社

「福島第二原子力発電所 東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について」

(2012年5月9日)

「福島原子力事故調査報告書」(2012年6月20日)

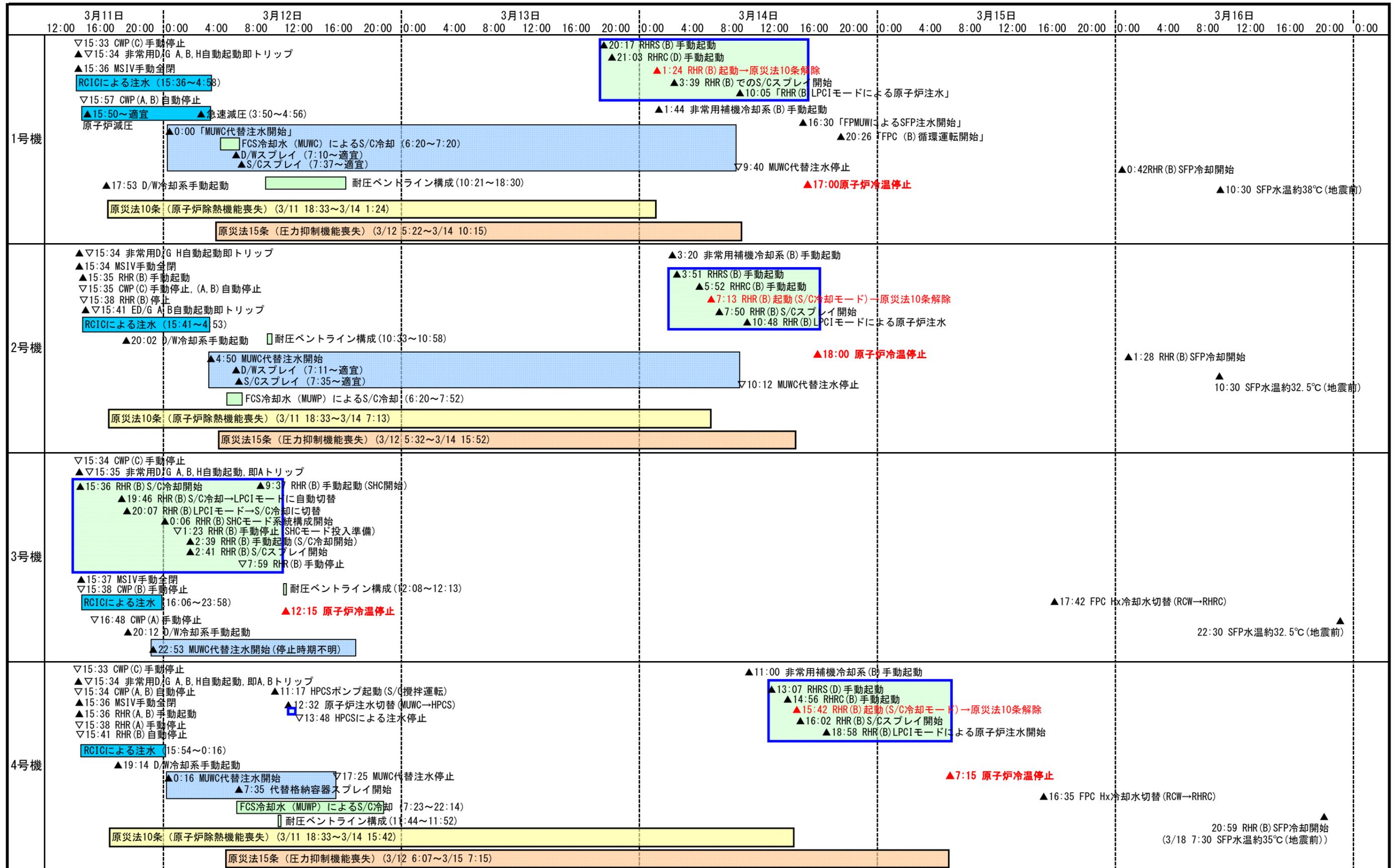
東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会

「最終報告(本文編)」(2012年7月23日)

4. 福島第二での事故対応の状況

福島第二の事故の状況については、既に東京電力や政府の事故調査報告書で詳細に記述されている。そのため、本報告書では、教訓を検討する上でポイントとなるような状況に重点をおいて記載し、それ以外の箇所については簡単に概要を記載することとした。

1～4号機の事故時対応の操作状況を図4-1に、それぞれの号機毎の操作状況と主要パラメータの変化を対比させて図4-2～4-5に示す。



▲22:00頃 現場確認開始(Hx/B周辺) ▲6:00頃 資器材到着 ▲23:30頃 仮設ケーブル敷設完了
 ▲未明 1号を優先的に仮設ケーブル敷設する(2号→1号)

図4-1 1～4号機の事故時対応の操作状況

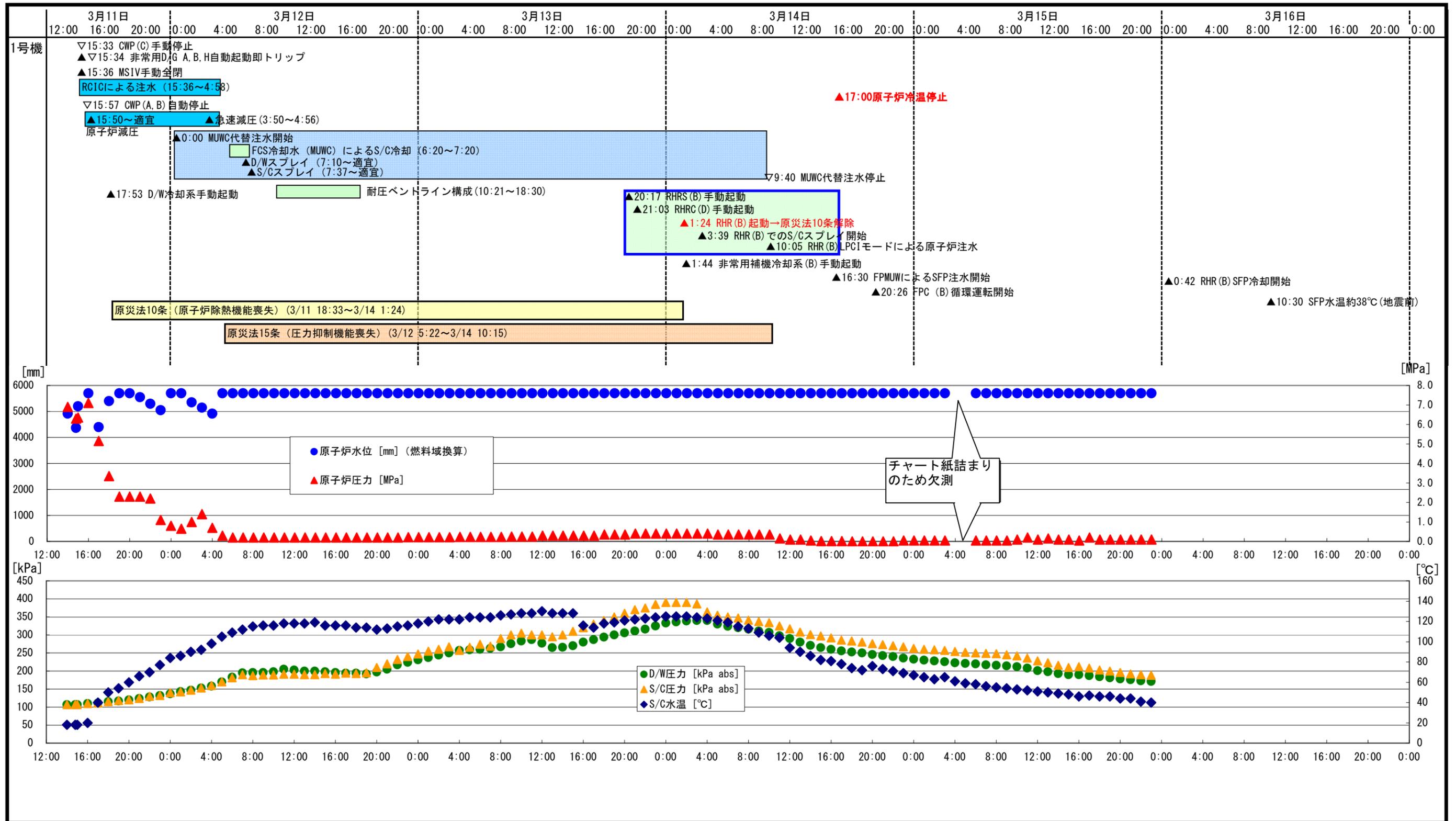


図4-2 1号機の事故時対応の操作状況とプラントパラメータ

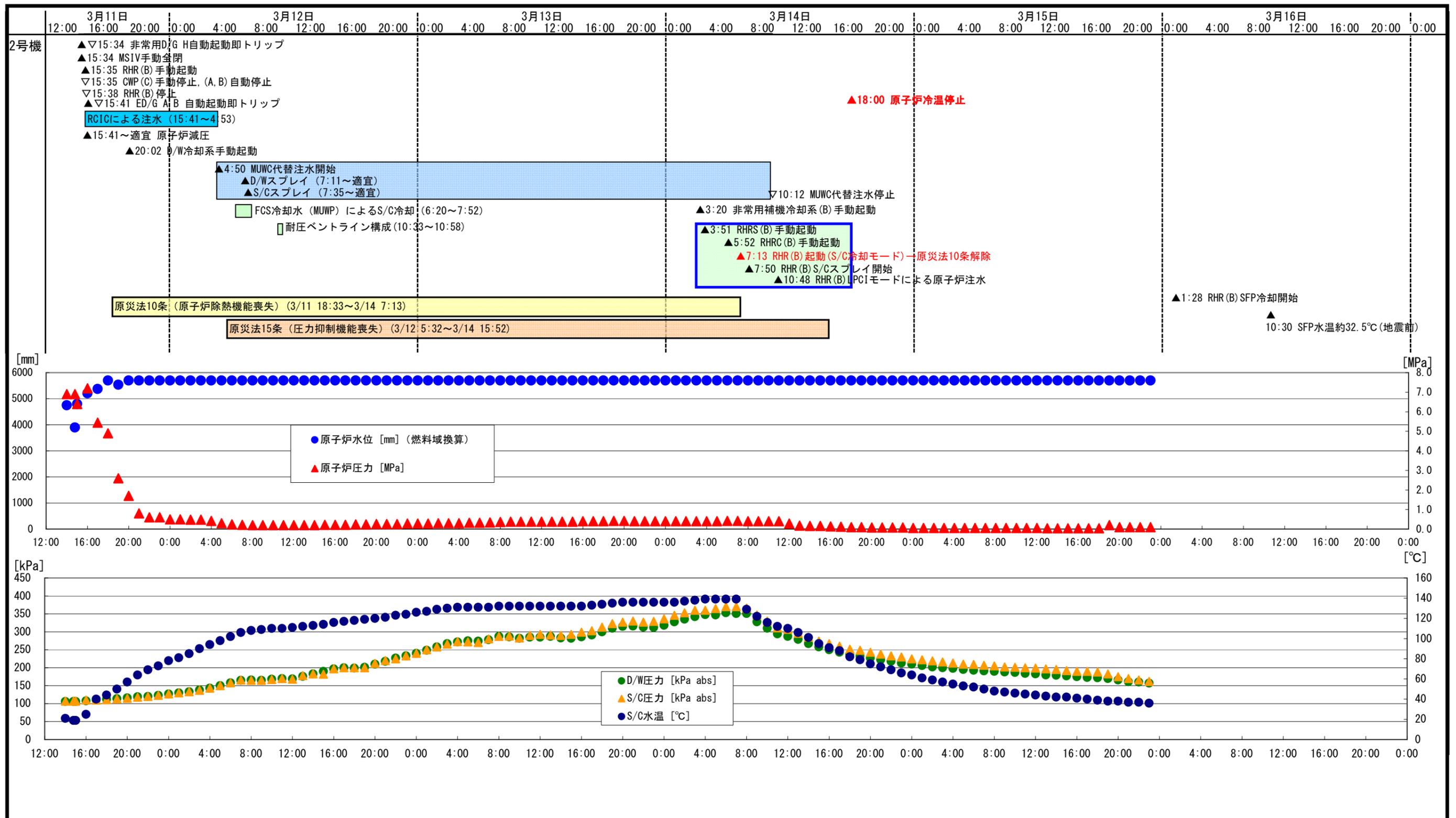


図4-3 2号機の事故時対応の操作状況とプラントパラメータ

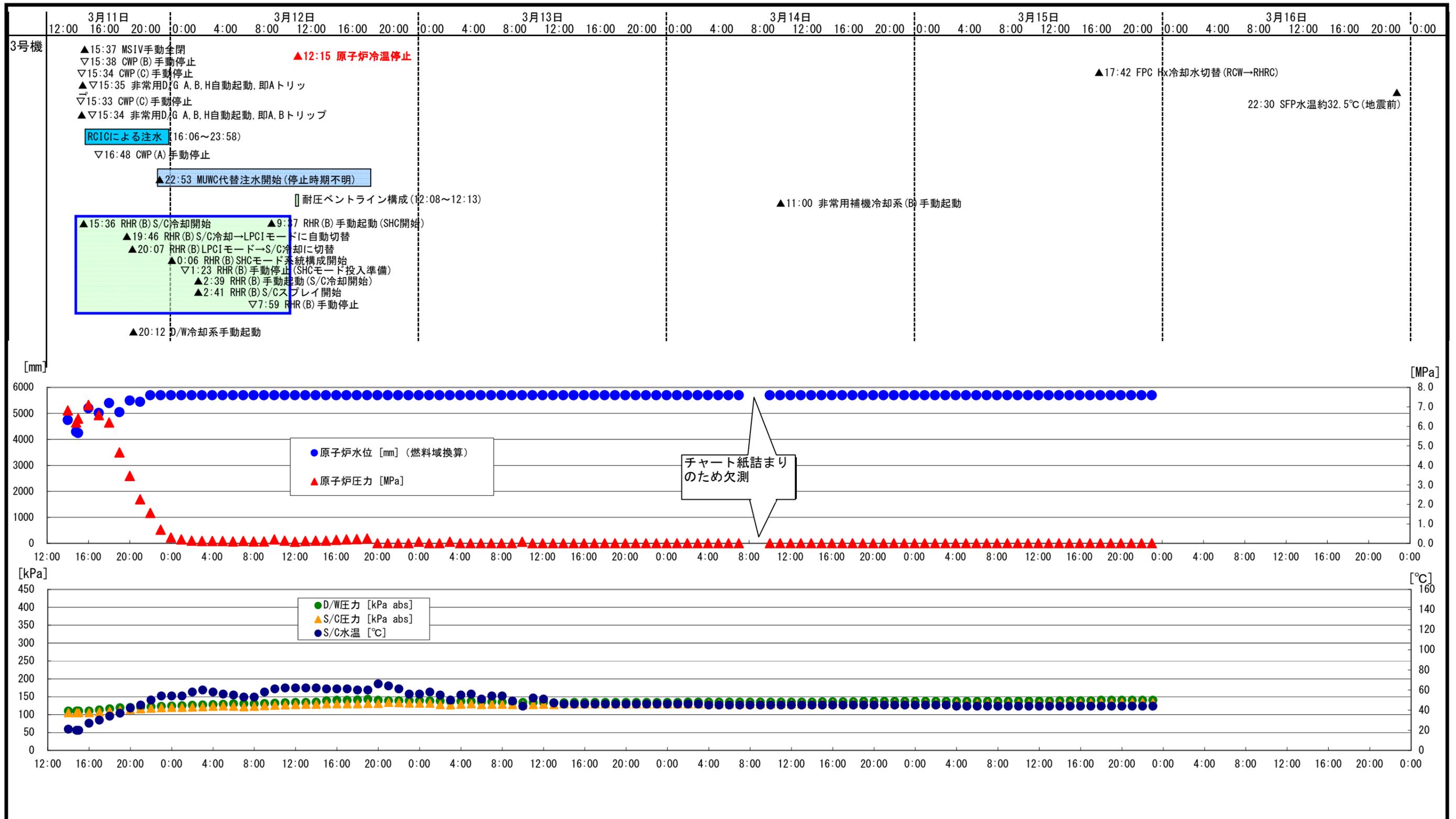


図4-4 3号機の事故時対応の操作状況とプラントパラメータ

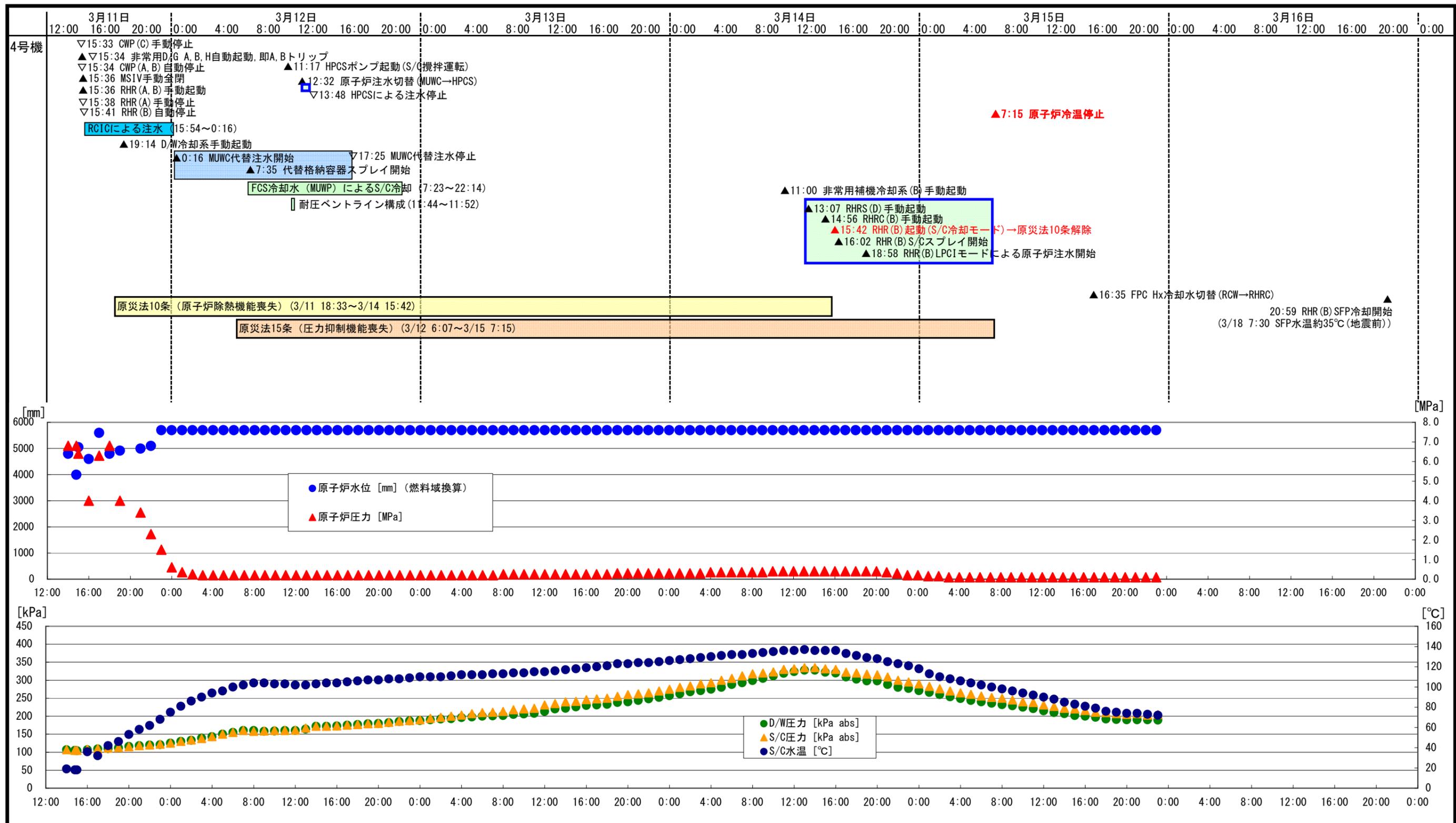


図4-5 4号機の事故時対応の操作状況とプラントパラメータ

4.1 地震発生直後、津波襲来～復旧、冷温停止までの対応状況の概要

地震発生直前の福島第二は、1号機から4号機までの全基が定格出力運転中であつた。地震による自動スクラム信号で全制御棒全挿入となり、原子炉は自動停止した。原子炉水位は「原子炉水位低(L-3)」まで下降したが、原子炉給水系からの給水により非常用炉心冷却系等が自動起動するレベルに到達することなく回復した。また、「原子炉水位低(L-3)」に伴い、原子炉格納容器隔離系及び非常用ガス処理系が正常に自動動作し、格納容器の隔離及び原子炉建屋の負圧維持が行われた。

津波襲来後は、主復水器がヒートシンクとして使用できなくなることから、主蒸気隔離弁を手動で全閉(原子炉隔離)し、主蒸気逃がし安全弁により原子炉圧力の制御を行った。この際、原子炉隔離時(主蒸気隔離弁閉時)の操作手順書に従い、原子炉隔離時冷却系(以下「RCIC」と記す)を手動起動し、原子炉水位高による自動停止と手動起動を繰り返しながら原子炉の水位を維持した。

津波襲来により、海水系のポンプモータや電源が被水し、一部の非常用炉心冷却系が使用不能となった。炉心への注水をRCICで行い、主蒸気逃がし安全弁を動作させて原子炉を減圧して復水補給水系(以下「MUWC」と記す)による代替注水(AM策の活用)により炉心への注水を継続した。MUWCに切り替える前、RCICが運転している間に事前にMUWCによる原子炉注水が可能であることを確認した。S/Cの水温が上昇したが、可燃性ガス濃度制御系冷却器の冷却水排水ラインを利用してS/C注水を行い、また、ドライウェルスプレイ及びS/Cスプレイを実施することで格納容器内の冷却を行った。ドライウェルスプレイの実施は、発電所長の判断で行われた。

なお、3号機は、熱交換器建屋内南側エリアの機器類の被水を免れたため、非常用D/G、残留熱除去系の運転が可能だった。このため、通常停止で使用する原子炉停止時冷却モードにより原子炉を冷温停止に導くことができた。

外部電源のうち富岡線1Lが生きており、また、変圧器や電源盤の被害が少なく、中央制御室において多くの操作が可能であり、主要パラメータも監視可能だったことから事故収束のための対応が迅速に行われた。一系列が喪失する前にもう一系列を活かすための復旧を急ぎ、翌日12日13時38分頃に岩井戸線2Lの復旧を行い、更に13日5時15分頃には岩井戸線1Lを復旧させた。幸い、当初から生きていた富岡線1Lが停電することなく継続して使用できたため、事故が拡大することなく対応することができた。

MUWCの活用などAM策の整備は、福島第二の事故の収束に大きく貢献した。また、事故の収束により使用することはなかったが、AM策である格納容器ベントについても、事故状況が悪化した場合には迅速に使用可能なように準備されていた。格納容器ベントの実施については、原子力災害対策特別措置法(以下「原災法」と記す)第10条通報の際に、準備をしている旨を併せて記載して連絡し、国及び自治体に情報提供した。

上記のような対応操作と並行して、発電所の緊急時対策本部(以下「対策本部」と記す)では現場被害状況を確認し、本店対策本部と連絡を取りながら、復旧に必

要な資機材（モータ、高圧電源車、動力用変圧器、ケーブル等）を手配、優先順位を考慮した残留熱除去系の復旧計画を立てた。

復旧資機材到着後、動力ケーブルの敷設、ポンプモータ交換作業などを並行して行い、津波襲来から 2 日または 3 日後には残留熱除去系ポンプを起動することができた。

残留熱除去系の運転により、各ユニットは S/C の冷却と原子炉水の冷却が可能となり、全ての原子炉を冷温停止にできた。

1, 2, 4 号機は、冷温停止のおよそ 2 日後に格納容器内の水素濃度に上昇傾向が見られたが、可燃性ガス濃度制御系を運転し、水素・酸素濃度は可燃域に入ることなく制御されたため、水素爆発の恐れはなかった。水素の発生源は、格納容器内の亜鉛やアルミ類の化学反応によるものと推定される。

4.2 事故時対応の状況

4.2.1 地震発生直後

大きな地震の発生及びプラントのスクラムに伴い、非常態勢が発令され、非常災害対策体制の主要なメンバーは直ちに免震重要棟に設置された対策本部に集合した。非常災害対策体制は、マニュアルでは 7 班、250 名体制となっている。（図 4.2.1-1 参照。）今回は、平日の午後であったため、事務所にいた技術系社員のほぼ全員約 400 名はそのまま非常災害対策体制に組込まれた。これら社員は、プラントが冷温停止状態となり状況が比較的落ち着く 3 月 15 日午前中まで、対策本部もしくは事務所に居て、それぞれの体力に応じて適宜交代しながら事故対応を行った。

11 日の 20 時頃から、津波が落ち着いたことから機器の状態を確認するためのパトロールが行われた。それ以降、建屋内に浸入した海水の排水、復旧のためのケーブルの敷設、支援物資を運んでくるヘリコプターの着陸地点を確保するための車の配備、各種物資の運搬といった多くの人手が必要となる作業が続いた。

中央制御室で運転操作を行う運転員は、通常の日体制に従って順次交代しながら事故対応の監視・操作を行った。福島第二の中央制御室は 1, 2 号機と 3, 4 号機で共用するツインプラントであり、各中央制御室にはそれぞれ、当直長 1 名、当直副長 1 名、当直主任 2 名、当直副主任 1 名、主機操作員 2 名、補機操作員 3 名の計 10 名で運転操作を行う当直体制としている。

また、発電所に居た約 1,900 名の協力企業の社員の一部も、復旧作業に携わった。

なお、社員に関しては、休日・夜間に動員をかけるための連絡ルートは整備されていた。また、協力企業の社員に関しては、動員の連絡を行うための担当を予め決めており、仮に、今回の事故が夜間・休日であったら、これらの連絡ルートで召集をかけていたものと考えられる。ただし、夜間・休日の場合は召集に多少の時間がかかるため、今回のような迅速かつ円滑な対応に比べると初動対応に時間を要すると考えられる。

対策本部との連絡要員として、1, 2号中央制御室と3, 4号中央制御室それぞれに運転員経験者を派遣し、対策本部に各種情報を提供する他、対策本部からの指示等の伝達を行わせた。運転員の派遣は、特にマニュアルに定められた手順ではないが、発電班内の役割分担の中で、トラブル時等の場合に従来から行われていた。

自治体への連絡は、通信回線途絶の影響により FAX と外線電話が使用できない状態となった際は、発電所に備えられていた直通の専用回線及び衛星携帯電話等により発電所から行った。

本店との連絡には、対策本部の電源が供給されている間は、PHS 及び TV 会議システムで情報の共有を図った。この TV 会議システムは、柏崎刈羽原子力発電所（以下「柏崎刈羽」と記す）も同時に参加できていた。

揺れの大きな地震であったにも係らず、事務所では怪我人もなく事故対応に入れているが、これは中越沖地震の教訓の反映で行ったキャビネットの転倒防止を徹底するなどの対策のおかげと思われる。また、中央制御室でも、教訓の反映として地震時にも運転員がしがみついて監視や操作が可能となるように盤にバーを取り付けているが、このバーが有効であった。中央制御室でも物品が大きく移動して運転操作を妨げるというような事態は生じておらず、日頃からの準備のおかげと思われる。

復旧作業のために必要な図書類や図面類のうち、P&ID 等防災計画で定められていた資料類は免震重要棟に備えられていたが、弁やポンプの個別機器類の図面などに関しては、事務本館の図書室まで出かけて入手した。特に、地震や津波の影響がなく、図書類の探索は支障なく行うことが出来た。

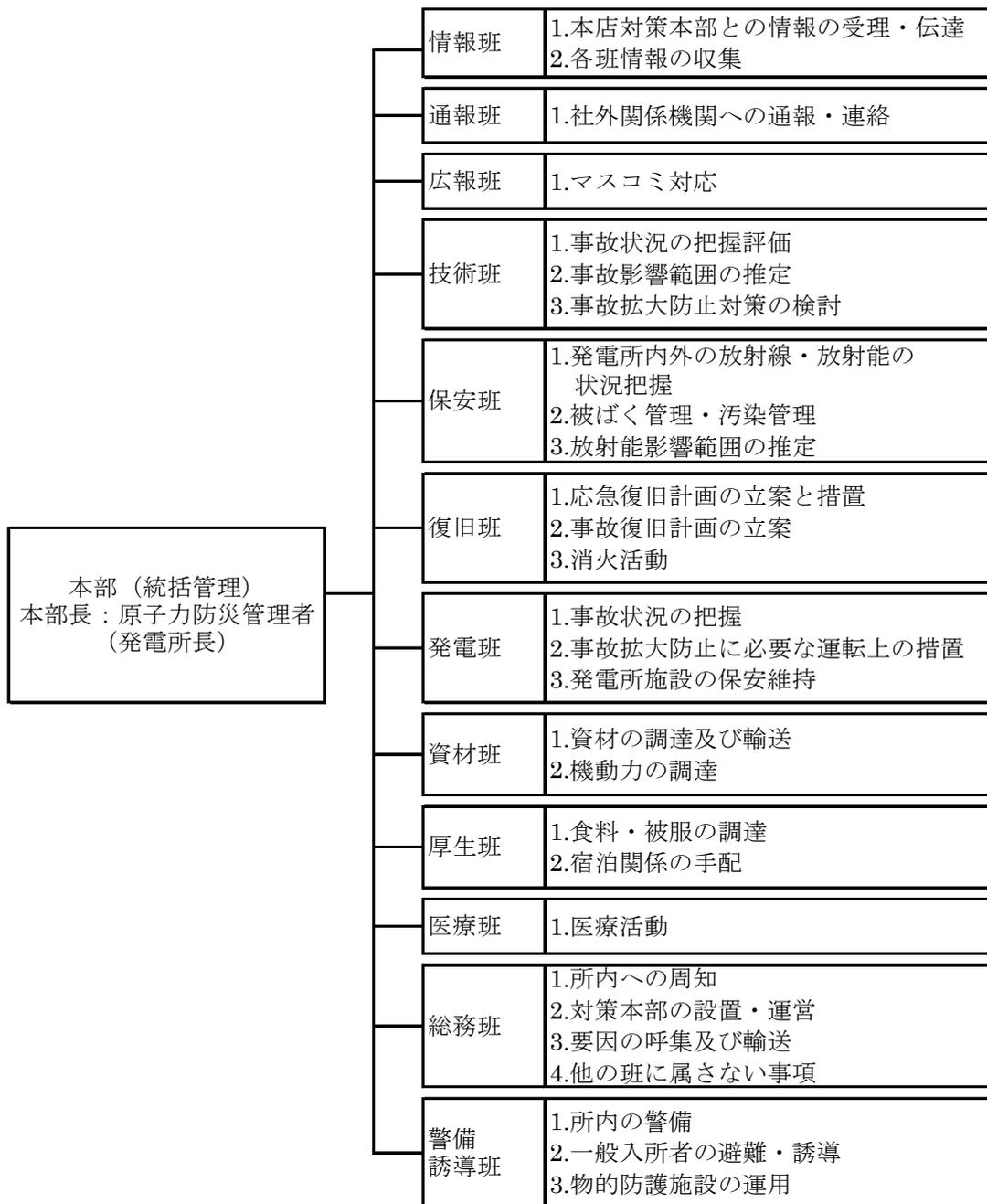


図 4.2.1-1 非常災害対策体制

4.2.2 津波到達直後

津波により、敷地高さ 4m の海水熱交換器建屋に海水が浸入し、非常用機器冷却系ポンプが機能喪失した。地震発生の後、津波警報が発令されていたので、津波の襲来に対する備えはできていた。津波の第一波到達後、津波の引き波に備えて、マニュアルに基づき循環水ポンプ 1 台を手動停止した。しかし、他の 2 台も津波の影響により自動停止した（3 号では、全台手動停止した。）。海水ポンプ等の停止は、中央制御室のランプ表示により確認することができた。

海水熱交換器建屋は、平成 15 年頃から順次津波対策として、扉の水密化、配管貫通部のシールの強化、マンホールの水浸入防止などを実施していたが、これらは平成 14 年の評価結果を踏まえた想定高さ 5.1～5.2m の津波に対する備えであり、今回の津波に対してはそれを上回る高さであったため海水の浸入を防ぐことはできなかった。しかし、機器類が建屋内に設置されていたことにより、機器が破壊されたり流失したりすることはなく、機能喪失は津波による被水が主要因と考えられている。

起動用変圧器にも津波は到達したが、多少の被水で済んだため、使用可能な状態であった。

また、津波の襲来が落ち着いたところで、機能喪失した機器の状況がどうかか、多少の手入れで使用可能であるかどうかの確認のためにパトローラを派遣した。パトロールチームは、復旧班の各グループで編成された。パトローラは、海水が侵入した建屋に入ることから長靴を着用していたが、それ以外にはヘルメットや懐中電灯など通常の装備であった。PHS の電波が届きにくく、また、近辺のページングが津波により使えなくなっていたため、パトロール中の津波の襲来に備え、PHS を常に通話中とした連絡員を配置し、津波警報が発令されれば、この連絡員からパトローラに避難指示を伝達する体制を取った。

パトローラによる目視及びメガ測定により、機器が使用可能な状態かどうかを確認し、対策本部のホワイトボードにマトリクス表形式で整理して情報の共有を計り、復旧計画を立案した。

対策本部が設置された免震重要棟の電源は外部電源から供給されていたが、津波が浸水した影響により停電した。非常用ガスタービン発電機が設置されていたが、同じく浸水の影響により起動しなかった。11 日の 19 時頃に、外部電源を事務本館側から経由してケーブルを敷設し免震重要棟の電源を復旧した。その後 23 時頃に SPDS を再起動してプラントの状況の監視を行った。SPDS 再起動までは、プラントの状況把握は、中央制御室に派遣した運転員経験者からの連絡に頼っていた。SPDS が使えるようになってからは、対策本部のディスプレイに表示されるプラントの各種パラメータも確認しながら、復旧計画を立案した。また、保安電話も使用可能な状態であり、連絡手段として活用できた。

4.2.3 津波到達後の復旧に向けての対応

4.2.3.1 発電所全般

(1) 対策本部での対応及び運転操作

復旧に向けての作業計画はすべて、福島第二の対策本部で社員が立案した。プラントメーカーの関与はなかった。種々のパラメータのうち、原子炉圧力、原子炉水位、ドライウェル圧力、S/C 圧力、S/C 水温、S/C 水位によりプラントの状況及び事象の推移を考へて、復旧計画を立案した。どのプラントの復旧を優先するかは、S/C 圧力の上昇率を見ながら判断した。これは、格納容器ベントの実施を可能な限り回避して環境への放射性物質放出を極力押さえようという発電所員の共通認識に基づく判断であった。

残留熱除去系が復旧してからは、S/C の冷却に加えて原子炉を早期に冷却するため、残留熱除去系ポンプで低圧注水ラインより S/C の水を原子炉へ注水するとともに、主蒸気逃し安全弁を経由して S/C へ原子炉の水を流入させ、S/C の水を残留熱除去系の熱交換器で冷却して再度低圧注水ラインで原子炉に注水するという循環ラインによる応急的な冷却を実施した。これは、運転手順書 (EOP) では、残留熱除去系 1 系列で S/C の水を冷却し、もう 1 系列で原子炉を冷却するように定められているのを受けて、残留熱除去系が 1 系列しか準備できていない状況だったことから、応用として発案されたものである。実施の前に、対策本部の発電班で検討を行い、発電所長が承認を行った。残留熱除去系の流量は、それぞれ 1 号機約 1300m³/h、2 号機約 1600m³/h、4 号機約 1400m³/h であった。

RCIC による原子炉への注水により RCIC のタービンを駆動した蒸気が排気される S/C の水位が上昇し圧力抑制機能を確保するために、水源を CST から S/C に切替えた。その後原子炉圧力が低くなったため MUWC による原子炉注水に切替えたが、その水源である CST に、原子炉への注水を継続するために純水タンクから補給した。その際、4 号機と比較し崩壊熱がより大きい 1, 2 号機の CST への補給を優先した。このため 4 号機では、S/C の水を攪拌した後 HPCS による原子炉注水に切替えた。1, 2 号機ではタンクの水位が低下してきたので、復水器からも CST に水を移送して水源の確保を行った。3 月 16 日以降は、河川からのパイプラインが復旧し、ろ過水タンクに補給を行った。復水器の水を移送する際には復水ポンプを使用した。ポンプ及びモーター冷却用の水を供給する系統が運転できなかつたため、ポンプの様子を見ながら短時間での移送となった。

計器類の故障に関しては、地震発生後からのパラメータの連続性や複数の計器によるチェックなどを通して、計器に異常が発生していないことを確認していた。

津波の襲来により、海側の設備が損傷したことは十分推測できたため、ケーブルと電源車は、パトロールの結果を待たずに手配をかけた。3 月 11 日の夜にパトロールにより機器の状況が確認でき、復旧班がその状況から必要な資機材をリストアップし、一部は復旧班から柏崎刈羽に直接依頼し、残りは資材班から本店に手配を依頼した。冷却系のモーターについては、TV 会議で情報を共有していた柏崎刈羽からの申し出により、当該発電所に設置してあるモーターを取り外して送ってもらった。復旧作業における協力企業への依頼は、本店資材

部において「非常災害」や「緊急事態」の際の応援・協力に関する協定を各協力企業、メーカーと締結している。この協定に基づいて、資材の調達への協力や作業員の派遣等を依頼して協力してもらった。

(2) 復旧に向けての現場作業

外部電源が1系列受電可能であったことから、残留熱除去海水系のポンプなど海水熱交換器建屋の設備には、廃棄物処理建屋の電源盤からケーブルを引き回して電力を供給した。津波の影響を受けなかった電源盤や、高圧電源車とポンプモータを直結するための仮設ケーブルを、社員と協力企業作業員を合わせて200人で13日23時30分頃までに敷設完了させた。(4プラント合計で総延長約9km) ケーブル敷設ルートは、使用可能な電源盤と対象となる機器との間のケーブルを敷設する距離やその間の環境などの制約条件や作業の容易さなどを総合的に考慮して決められた。電源車は、海側に設置されている1号及び4号のEECWポンプや河川水取水用ポンプなどローカルなエリアに設置されている機器への電力供給用として活用した。電源車は、燃料が数時間しか保たなかったが、給油チームを結成し3時間毎に給油を行って運転を継続した。電源車の軽油、構内車両用のガソリンの調達先を確保することが困難な状況であった。

復旧作業は、余震や津波警報の都度中断された。また、福島第一の爆発を受けての退避指示の際にも中断された。更に、14日夜からは福島第一からの放射性物質の降下により空間線量率が上昇し、屋外作業の際には、タイベック及び全面マスクを着用しての作業となった。発電所西側のモニタリングポスト-4の線量率上昇の状況を図4.2.3.1-1に示す。(設置箇所の詳細は図2.1参照)

なお、事務機器、防護管理機器などの保守や大型車両の運転など一部の作業では、作業員の確保ができず、東電社員が行った。

(3) 人員及び資機材他の手配

復旧に向けての作業では、電源復旧作業等のために配電部から応援を派遣してもらった以外は、福島第二に地震発生当初から居た人員で対応した。配電部からの応援は、作業した間3月11日から15日まで、延べ人数社員114名、協力企業35名であった。応援者は電源車の管理とケーブル敷設作業の支援を行った。

資機材は、運送会社もしくは自衛隊で運搬してもらったが、国道の寸断、迂回誘導不備、携帯電話不通などの悪条件により輸送が混乱状態であった。福島第一1号機の爆発以降、資機材が福島第二まで直接届かなくなってきたため、モーターは広野町役場まで、それ以外の資機材はJビレッジまで東電社員や協力会社作業員が取りに行き運搬を行った。

放射線管理資機材は、地震や津波の被害を受けておらず、不足する事態にもならず作業に支障をきたすことはなかった。

非常用の食料としては、中越沖地震及び新型インフルエンザ対策で、非常対

策要員 250 名×3 日+当直員 40 日+事務本館人員の 6 割×2 週間の食料を備蓄していた。更に、飲料水に関しても非常用対策要員 250 名×5 日分を備蓄していた。このおかげで支援物資が到着する 13 日までの約 3 日間を乗り切ることができた。なお、発電所内には飲料水を作る装置は設置されておらず、東電社員だけではなく、協力企業の作業員や配電の作業員にも食料と飲料水を配分したため、2 日目からは一人当たりの配分量も制限され、かなり厳しい状況となっていた。

狭い場所に大勢で勤務、生活することから、医療チームによって衛生管理に配慮した。また、ストレスによる体調変化が後に出てくるケースが見受けられ、作業員の精神面でのケアも必要であった。

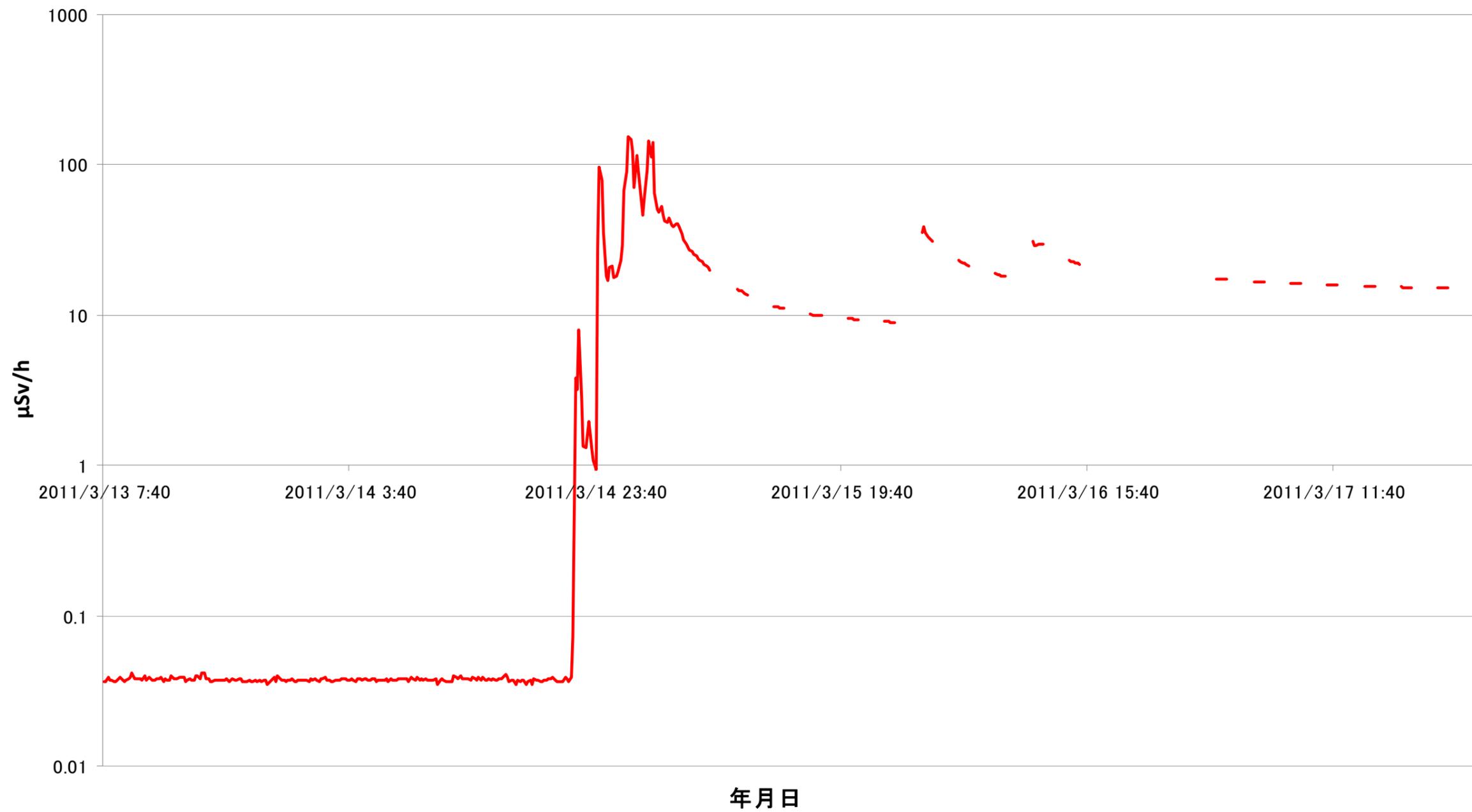


図 4.2.3.1-1 福島第二モニタリング データ (MP4 付近)

4.2.3.2 福島第二1号機の状況

(1) 地震発生から津波到達直後まで

3月11日14時48分、原子炉が自動停止し、同15時00分には原子炉が未臨界となったことを確認した。

津波（11日15時22分、第一波到達目視確認）への対応操作として、11日15時36分に主蒸気隔離弁を手動全閉とするとともに、RCICを手動起動して原子炉への注水を行いつつ、同15時55分より主蒸気逃がし安全弁にて原子炉圧力の減圧操作を開始した。

津波の影響により、一部モータ及び電源盤の被水による使用不能のため、全ての非常用炉心冷却系ポンプが起動不可能な状態となった。（同18時33分、発電所長は原災法第10条該当事象（原子炉除熱機能喪失）と判断した。）

(2) 原子炉への注水と格納容器の冷却

RCICにて原子炉への注水を行っていたが、12日0時00分からはMUWCによる代替注水（AM策）と併用して行った。

RCICは、原子炉圧力の低下に伴うRCICタービン駆動用蒸気圧力低下のため12日4時58分に手動隔離し、これ以降はMUWCによる代替注水にて原子炉の水位を調整した。

RCIC運転及び主蒸気逃がし安全弁開に伴うS/C水温の上昇により、12日5時22分、S/Cの水温が100℃以上となった。（発電所長は原災法第15条該当事象（圧力抑制機能喪失）と判断した。）

S/Cの冷却のために、12日6時20分より可燃性ガス濃度制御系の冷却器の冷却水排水ラインを利用して、冷却水（MUWC）をS/Cへ注水するとともに、格納容器の冷却のために、MUWCによるドライウェルスプレイ（同日7時10分より）、S/Cスプレイ（同日7時37分より）を適宜実施した。

原子炉除熱機能喪失に伴って格納容器圧力が上昇傾向にあったことから、原子炉除熱機能の復旧に時間がかかることを想定し、12日10時21分から同日18時30分にかけて、格納容器ベントのためのライン構成（S/C側の出口弁開操作のワン・アクションを残した状態）を実施した。なお、格納容器圧力が格納容器ベント実施圧力まで至らなかったことから、格納容器ベントは実施していない。

(3) 残留熱除去系等の復旧と原子炉の冷温停止

11日22時頃、退避連絡手順を定め、安全装備を調べて復旧班が海に近い海水熱交換器建屋等の津波による被害状況の確認を開始した。

復旧班の現場確認結果に基づいて発電所対策本部は、海水熱交換器建屋内の残留熱除去機器冷却系ポンプ(D)、残留熱除去海水系ポンプ(B)及び非常用ディーゼル発電設備冷却系ポンプ(B)の点検・補修(残留熱除去機器冷却系ポンプ(D)及び非常用ディーゼル発電設備冷却系ポンプ(B)については、モータを交換)を優先的に実行する方針を決めるとともに、モータの緊急調達を柏崎

刈羽原子力発電所に依頼した。

本店対策本部や柏崎刈羽原子力発電所に調達を依頼した資機材は、13日6時頃までに福島第二へ順次到着した。

津波の影響を受けなかった廃棄物処理建屋の電源盤から1号機南側を通して、モータに直結するための仮設ケーブルを敷設した。また、3号タービン建屋大物搬入口に設置した動力用変圧器からもケーブルを敷設した。ケーブル敷設に並行して、ポンプの機械部品の状態確認、モータの据付けを行い、残留熱除去冷却海水系ポンプ(B)を13日20時17分に起動した。

14日1時24分に残留熱除去系ポンプ(B)を起動し、S/C冷却モードによる運転を開始したことから、発電所長は原災法第10条該当事象(原子炉除熱機能喪失)の状態から回復したものと判断した。

残留熱除去系ポンプ(B)にてS/Cの冷却を実施した結果、徐々にS/C水温が低下し、14日10時15分にはS/Cの水温が100℃未満となったため、発電所長は原災法第15条該当事象(圧力抑制機能喪失)の状態から回復したものと判断した。

S/Cの冷却に加え原子炉水を早期に冷却するため、14日10時05分より残留熱除去系ポンプ(B)にて低圧注水ラインよりS/Cの水を原子炉へ注水を開始するとともに、主蒸気逃がし安全弁を経由してS/Cへ原子炉水を流入させ、S/Cの水を残留熱除去系熱交換器(B)で冷却して再度低圧注水ラインより原子炉に注水する循環ライン(S/C→残留熱除去系ポンプ(B)→残留熱除去系熱交換器(B)→低圧注水ライン→原子炉→主蒸気逃がし安全弁→S/C)による冷却を応急的に実施した。

同日17時00分には原子炉水温度が100℃未満となり冷温停止となった。

冷温停止のおよそ2日後の3月16日5時12分に格納容器雰囲気モニタで水素濃度の上昇傾向(水素約5%、酸素約2%)が見られたため、可燃性ガス濃度制御系を運転した。水素・酸素濃度は可燃域に入ることなく制御された。

4.2.3.3 福島第二2号機の状況

2号機は、タイミングに多少のずれがあるものの、運転操作等は基本的には1号機と同様である。

(1) 地震発生から津波到達直後まで

3月11日14時48分、原子炉が自動停止し、同15時00分には原子炉が未臨界となったことを確認した。

津波(11日15時22分、第一波到達目視確認)への対応操作として、11日15時34分に主蒸気隔離弁を手動全閉とするとともに、RCICを手動起動して原子炉への注水を行いつつ、同15時41分より主蒸気逃がし安全弁にて原子炉圧力の減圧操作を開始した。

津波の影響により、一部モータ及び電源盤被水による使用不能のため、全

ての非常用炉心冷却系ポンプが起動不可能な状態となった。(同 18 時 33 分、発電所長は原災法第 10 条該当事象(原子炉除熱機能喪失)と判断した。)

(2) 原子炉への注水と格納容器の冷却

RCIC にて原子炉への注水を行っていたが、12 日 4 時 50 分からは MUWC による代替注水(AM 策)と併用して行った。

RCIC は、原子炉圧力の低下に伴う RCIC タービン駆動用蒸気圧力低下のため 12 日 4 時 53 分に自動隔離し、これ以降は MUWC による代替注水にて原子炉の水位を調整した。

RCIC 運転及び主蒸気逃がし安全弁開に伴う S/C 水温の上昇により、12 日 5 時 32 分、S/C の水温が 100℃以上となった。(発電所長は原災法第 15 条該当事象(圧力抑制機能喪失)と判断した。)

S/C の冷却のために、12 日 6 時 30 分より可燃性ガス濃度制御系の冷却器の冷却水排水ラインを利用して、冷却水(MUWP)を S/C へ注水するとともに、格納容器の冷却のために、MUWC によるドライウェルスプレイ(同日 7 時 11 分より)、S/C スプレイ(同日 7 時 35 分より)を適宜実施した。

原子炉除熱機能喪失に伴って格納容器圧力が上昇傾向にあったことから、原子炉除熱機能の復旧に時間がかかることを想定し、10 時 33 分から同日 10 時 58 分にかけて、格納容器ベントのためのライン構成(S/C 側の出口弁開操作のワン・アクションを残した状態)を実施した。なお、格納容器圧力が格納容器ベント実施圧力まで至らなかったことから、格納容器ベントは実施していない。

(3) 残留熱除去系等の復旧と原子炉の冷温停止

2 号機については、残留熱除去機器冷却系ポンプ(B)、残留熱除去海水系ポンプ(B)及び非常用ディーゼル発電設備冷却系ポンプ(B)の点検・補修を優先的に実行する方針を決めた。

放射性廃棄物処理建屋の電源盤及び 3 号機の海水熱交換器建屋の電源盤からモータに直結するための仮設ケーブルを、13 日 23 時 30 分頃までに敷設完了させた。準備が整ったポンプから 14 日 3 時 20 分より順次起動した。

14 日 7 時 13 分に残留熱除去系ポンプ(B)を起動した(発電所長は原災法第 10 条該当事象(原子炉除熱機能喪失)の状態から回復したものと判断した。)

残留熱除去系ポンプ(B)にて S/C の冷却を実施した結果、徐々に S/C 水温が低下し、14 日 15 時 52 分には S/C の水温が 100℃未満となった。(発電所長は原災法第 15 条該当事象(圧力抑制機能喪失)の状態から回復したものと判断した。)

S/C の冷却に加え原子炉水を早期に冷却するため、14 日 10 時 48 分より残留熱除去系ポンプ(B)にて低圧注水ラインより S/C の水を原子炉へ注水を開始するとともに、主蒸気逃がし安全弁を経由して S/C へ原子炉水を流入させ、S/C の水を残留熱除去系熱交換器(B)で冷却して再度低圧注水ラインより原子

炉に注水する循環ライン（S/C→残留熱除去系ポンプ(B)→残留熱除去系熱交換器(B)→低圧注水ライン→原子炉→主蒸気逃がし安全弁→S/C）による冷却を応急的に実施した。

同日 18 時 00 分には原子炉水温度が 100℃未満となり冷温停止となった。

冷温停止のおよそ 2 日後の 3 月 16 日 7 時 58 分に格納容器雰囲気モニタで水素濃度の上昇傾向（水素約 5%、酸素約 2%）が見られたため、可燃性ガス濃度制御系を運転した。水素・酸素濃度は可燃域に入ることなく制御された。

4.2.3.4 福島第二 3 号機の状況

(1) 地震発生から津波到達直後まで

1 号機は、3 月 11 日 14 時 48 分、原子炉が自動停止し、同 15 時 05 分には原子炉が未臨界となったことを確認した。

津波により海水熱交換器建屋が浸水したこと、運転／停止表示ランプなどから、残留熱除去冷却水系ポンプ（A, C）、残留熱除去海水系ポンプ（A, C）及び非常用ディーゼル発電設備冷却系ポンプ（A）が起動できない状態（一部モータ及び非常用の低圧電源盤（P/C 3C-2）被水のため使用不能によるものと後日現場にて確認）と判断した。このため、低圧炉心スプレイ系ポンプ及び残留熱除去系ポンプ（A）について起動することが不可能となった。

非常用低圧電源盤（P/C 3D-2）及びその負荷である残留熱除去冷却水系ポンプ（B, D）、残留熱除去海水系ポンプ（B, D）及び非常用ディーゼル発電設備冷却系ポンプ（B）、また、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備冷却系冷却水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備冷却系海水ポンプについては、海水熱交換器建屋への海水の浸水量が他号機と比較して少なかったことから、機器に対しても被水の影響が少なく使用可能な状態であったものと推定されている。

津波による原子炉建屋原子炉棟地下 2 階への浸水もなかったことから、残留熱除去系ポンプ（B, C）及び高圧炉心スプレイ系ポンプについても使用可能な状態であった。

(2) 原子炉への注水と冷温停止

原子炉への注水は、当初は RCIC にて行っていたが、3 月 11 日 22 時 53 分よりアクシデントマネジメント策として導入された MUWC による代替注水と併用し行った。

主蒸気逃がし安全弁開操作により原子炉圧力低下に伴う原子炉隔離時冷却系タービン駆動用蒸気圧力低下のため、RCIC を同日 23 時 58 分手動隔離した。

以降は、事故時運転操作手順書〔徴候ベース〕（EOP）により、MUWC による代替注水を行った。

万が一の格納容器圧力上昇に備え、格納容器ベントのライン構成（S/C 側

の出口弁開操作のワン・アクションを残した状態)を実施した。

3月12日9時37分に使用可能であった残留熱除去系ポンプ(B)により注水・冷却を実施し、同日12時15分には原子炉の水温が100℃未満となり冷温停止となったことを確認した。

4.2.3.5 福島第二4号機の状況

4号機も1,2号機と基本的な操作は同じであるが、MUWCによる注水のための水源確保の観点で、崩壊熱がより厳しい1,2号を優先することとし、比較的崩壊熱が小さいと考えられる4号機については、S/Cの水を攪拌してHPCSで原子炉への注水を行った。

(1) 地震発生から津波到達直後まで

3月11日14時48分、原子炉が自動停止し、同15時05分には原子炉が未臨界となったことを確認した。

津波(11日15時22分、第一波到達目視確認)の対応操作として、11日15時36分に主蒸気隔離弁を手動全閉するとともに、同15時46分より主蒸気逃がし安全弁にて原子炉圧力の減圧操作を開始し15時54分にRCICを手動起動して原子炉への注水を行った。

津波の影響により、一部モータ及び電源盤被水による使用不能のため、全ての非常用炉心冷却系ポンプが起動不可能な状態となった。(同18時33分、発電所長は原災法第10条該当事象(原子炉除熱機能喪失)と判断した。)

(2) 原子炉への注水と格納容器の冷却

RCICにて原子炉への注水を行っていたが、RCICタービン駆動用蒸気圧力低下のため12日0時16分に自動隔離した以降はMUWCによる代替注水にて原子炉の水位を調整した。

12日12時32分からはMUWCに代わり、津波の影響を受けず使用可能であったHPCSの起動・停止により原子炉の水位を調整した。

RCIC運転及び主蒸気逃がし安全弁開に伴うS/C水温の上昇により、12日6時07分、S/Cの水温が100℃以上となった。(発電所長は原災法第15条該当事象(圧力抑制機能喪失)と判断した。)

S/Cの冷却のために、12日7時23分より可燃性ガス濃度制御系の冷却器からS/Cへの冷却水排水ラインを利用して、冷却水(MUWP)をS/Cへ注水するとともに、S/Cスプレイ(同日7時35分より)を適宜実施した。

原子炉除熱機能喪失に伴って格納容器圧力が上昇傾向にあったことから、原子炉除熱機能の復旧に時間がかかることを想定し、12日11時44分から同日11時52分にかけて、格納容器ベントのためのライン構成(S/C側の出口弁開操作のワン・アクションを残した状態)を実施した。なお、格納容器圧力が格納容器ベント実施圧力まで至らなかったことから、格納容器ベントは実施していない。

(3) 残留熱除去系等の復旧と原子炉の冷温停止

海水熱交換器建屋内の残留熱除去機器冷却系ポンプ(B)、残留熱除去海水系ポンプ(D)及び非常用ディーゼル発電設備冷却系ポンプ(B)の点検・補修(残留熱除去冷却水系ポンプ(B)については、モータを交換)を優先的に実行することとした。

3号機の電源盤及び3号タービン建屋大物搬入口に設置した動力用変圧器から仮設ケーブルを敷設した。

14日15時42分に残留熱除去系ポンプ(B)を起動した(発電所長は原災法第10条該当事象(原子炉除熱機能喪失)の状態から回復したものと判断した。)

残留熱除去系ポンプ(B)にてS/Cの冷却を実施した結果、徐々にS/C水温が低下し、15日7時15分にはS/Cの水温が100℃未満となった。(発電所長は原災法第15条該当事象(圧力抑制機能喪失)の状態から回復したものと判断した。)

S/Cの冷却に加え原子炉水を早期に冷却するため、14日18時58分より残留熱除去系ポンプ(B)にて低圧注水ラインよりS/Cの水を原子炉へ注水を開始するとともに、主蒸気逃がし安全弁を経由してS/Cへ原子炉水を流入させ、S/Cの水を残留熱除去系熱交換器(B)で冷却して再度低圧注水ラインより原子炉に注水する循環ライン(S/C→残留熱除去系ポンプ(B)→残留熱除去系熱交換器(B)→低圧注水ライン→原子炉→主蒸気逃がし安全弁→S/C)による冷却を応急的に実施した。

15日7時15分には原子炉水温度が100℃未満となり冷温停止となった。

冷温停止のおよそ2日後の3月17日1時21分に格納容器雰囲気モニタで水素濃度の上昇傾向(水素約5%、酸素約2%)が見られたため、可燃性ガス濃度制御系を運転した。水素・酸素濃度は可燃域に入ることなく制御された。

4.3 福島第二の使用済燃料プールの冷却

福島第二1～4号機では、中央制御室の温度指示計で使用済燃料プールの温度を監視していた。なお、2号機の温度計はプール水位の低下により本設温度計の検出部が露出したことから仮設温度計を設置し、監視を継続した。

海水系が機能喪失したため、使用済燃料プールの冷却系から最終ヒートシンクへ熱を逃すことができない状態であった。しかし、使用済燃料の崩壊熱はそれほど大きくなく、非常用電源系から電力を供給されている使用済燃料プールの冷却系を使用して循環運転を実施することで水温の上昇を押さえ、早期にRHR系を復旧することで原子炉施設保安規定で定める運転上の制限(使用済燃料プール水温:65℃以下)内の温度に維持することができた。

5. 事故対応の分析

5.1 事故対応の分析の目的

津波に襲われながらも事態を収束に導くことができた福島第二での対応状況からは、他の発電所の参考となる種々の教訓を得ることができる。対応状況をベストプラクティスとして教訓を抽出するだけでなく、より深く広く教訓を得るため、事故対応の分析を行った。

5.2 分析の考え方

原子力の深層防護は INSAG-10 において、目的／必須手段として以下の 5 層に定義される。(注 1)

第 1 層：異常運転及び故障の防止／保守的設計及び高品質の建設・運転

第 2 層：異常運転の制御及び故障の検出／制御、制限及び防御系、並びにその他のサーベランス特性

第 3 層：設計基準内への事故の制御／工学的安全施設及び事故時手順

第 4 層：事故進展の防止及びシビアアクシデントの影響緩和を含めた過酷なプラント状態の制御／補完的手段及びアクシデントマネジメント

第 5 層：放射性物質の重大な放出による放射線影響の緩和／サイト外の緊急時対応

第 1 層から第 3 層は工学的安全施設等の本設の設備により達成され、設備容量等の設計上の能力が十分かの検証は設計段階における解析等により確認可能である。

しかし、大地震発生後等の通常と異なる環境においてもヒューマンエラーが無く確実に事故対応がなされ得るか、あるいは確実に対応するためには何が重要かは、実際に発生した重大な事故における実対応を分析することで明確になってくるものと思われる。

(注 1：原子力安全委員会資料「意交基原第 5-3-2 号」、JNES 山下正弘氏の資料より)

福島第一の事故を受けて、各社においては、防潮堤の設置、電源車の配備など、種々の本設、仮設の設備の強化を図ってきており、福島第二の被災時の設備の状況と各発電所の設備の状況は異なってきている。

また、多重防護の概念においては、「前段否定」の論理を取り入れて、認識できない「不確実さ」への対応を図ることとしているが(上記 注 1)、このことは、第 4 層以降において、第 3 層までに使用する工学的安全施設等などの設備がどの様に機能不能となっているかは想定され得ないことを意味する。従って、第 4 層以降における発電所内外の資源を活用しての対応（仮設機器の使用、仮設ケーブルを所外から調達し電源復旧、損傷機器の早期復旧など）は種々の対応パターンが想定される。

福島第二の対応を分析することによって、それら種々の対応パターンにおいて普遍的に成功要因となりうる要因を抽出することは、設備が異なるプラントでの事故対応や想定され得ない状況での対応でも活用できる教訓が抽出され、有意義であると思われる。

5.3 分析の具体的手順

不適合に対する対策立案のための根本原因分析（RCA）については、確立された種々の手法がある。一方、成功した要因の抽出方法に関しては、一般的には確立された手法は見当たらない。

このため、今回の成功要因分析に当たっては、福島第二の対応（主蒸気隔離弁全閉、熱交建屋損傷状況確認、非常用ポンプ類の早期復旧など）に関して、次のステップで分析する。

- ①「発生事象」を記載する。
- ②発生事象に対して福島第二の「対応」を記載する。
なお、対応の記載に関しては、東京電力の事故調査報告書からの転記である。
- ③前記の対応に関して、対応がミスしたと仮定するとどの様なミスが想定されるか抽出する。
- ④前記で抽出した「想定されるミス」を引起す要因として、どの様な要因が考えられるかを、ヒューマンファクターの事故分析に用いられる m-SHEL モデルを利用して、以下の五つの要因毎に想定される要因を抽出する。
m （組織・管理、Management）
S （マニュアル等、Software）
H （機械、Hardware）
E （環境、Environment）
L （本人・まわりの人、Live ware）
- ⑤実際には、「想定されるミス」を引起す要因を防止／克服できたため、その理由を、福島第二の特質等から抽出する。
- ⑥抽出された理由を基に、重要な「教訓」を導き出す。

なお、分析は1号機を代表プラントとして実施した。

分析フローを図 5.3-1 に、分析結果を表 5.3-1 に示す。添付中の①～⑥の番号は上記手順の①～⑥のステップに対応している。

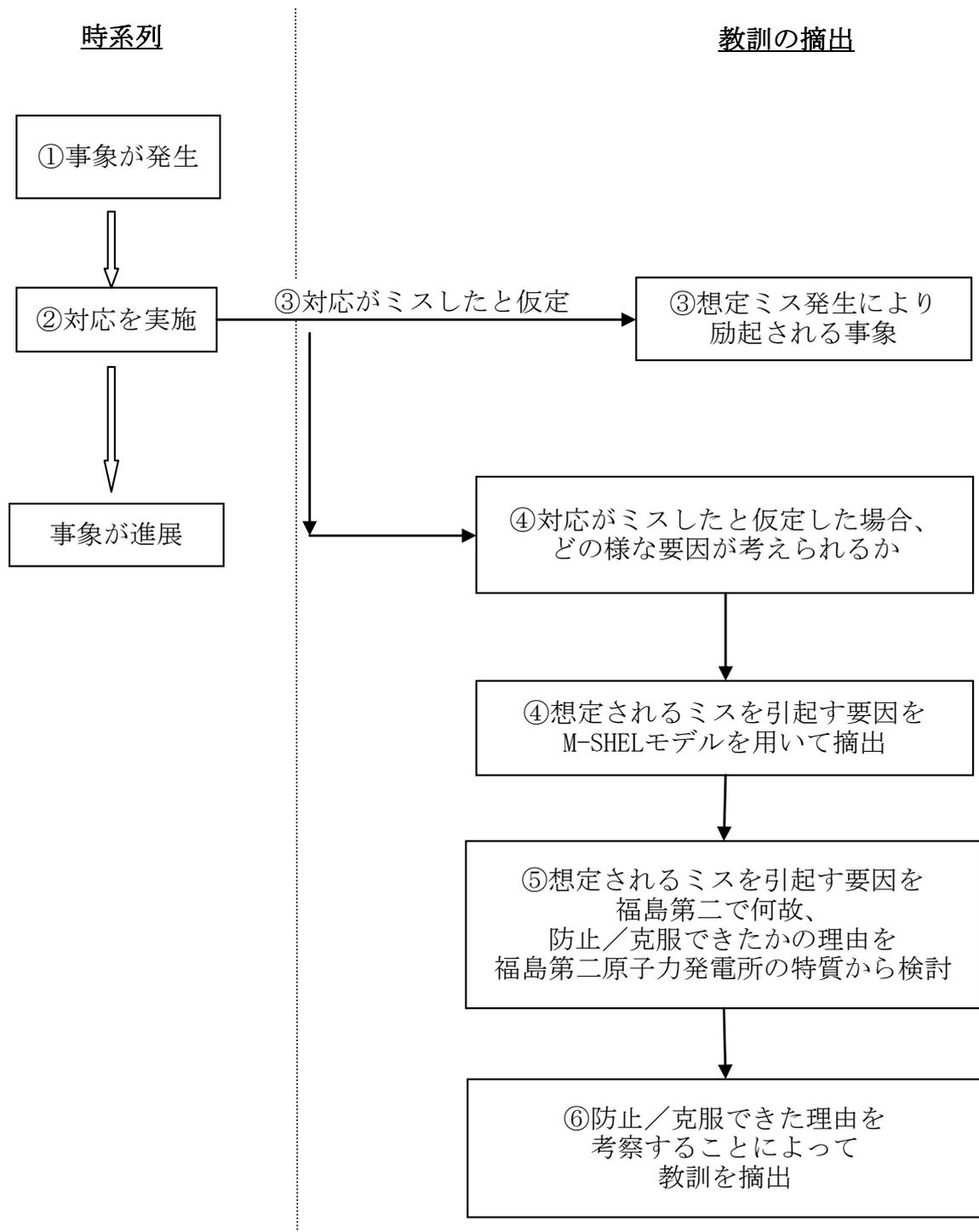


図 5.3-1 分析フロー

表 5.3-1 事故対応分析結果 (1/9)

注: 赤字は東電報告書記載内容
1号機での対応を分析

| 日時 | | ①発生事象 | ②対応 | ③対応に関する想定されるミス | | ④想定されるミスを引き起す要因 | | | | | | ⑤ミスを引き起す要因を防止/克服できた理由 | ⑥教訓 |
|------------------|--------|-----------|--|---|----------------------|-----------------------|----------------------|------------------|--|------------------------|-----------------|---|---|
| 日 | 時 | | | 想定ミス内容 | 想定ミス発生により 励起される事象 | 分類 | | | | | | | |
| | | | | | | 組織・管理 (Management) | マニュアル等 (Software) | 機械 (Hardware) | 環境 (Environment) | 本人・まわりの人 (Liveware) | 想定二次要因 発生の有無 | | |
| 3月11日 | 14:46 | 地震発生 | | | | | | | | | | | |
| | 14:46~ | | 運転員は制御盤前面の手摺りに握まり姿勢を低くして待機し、当直長は、スクラム動作を予告するとともに揺れが収まるのを待ってスクラム対応操作を開始するように運転員に指示した。(別紙2-P136) | ・地震による運転員の怪我 ・地震の揺れによる運転員の転倒等による操作スイッチへの接触 | スクラム対応操作の失敗 | | | | 姿勢維持のための措置なし | 姿勢維持不能 | 発生無し | 揺れが大きかったため、運転員は制御盤前面の手摺りに握まり姿勢を低くして待機。(別紙2-P136) 地震発生時の運転員の待機方法については日頃より教育している | 本体設備の耐震設計、運転操作手順以外の地震に関する細かい対策も有効 (中操盤前面の手摺り、地震の揺れ継続中の運転員の姿勢のとり方) |
| | | | 当直副長は、一斉ページングにて地震発生の周知と退避指示を行った。現場操作員へはPHSにて連絡し退避を指示した。(別紙2-P136) | | | | | | | | | | |
| | 14:48 | 原子炉自動スクラム | (15:00 原子炉未臨界確認)(別紙2-P136) | | | | | | | | | | |
| スクラム対応操作(14:48~) | | | | | | | | | | | | | |
| 3月11日 | | | | | | | | | 中操環境の地震による悪化(什器の散乱、怪我人発生等) | | 発生無し | 柏崎(中越沖地震)の経験を反映し什器等を固定 | 本体設備の耐震設計、運転操作手順以外の地震に関する細かい対策が有効 (什器等の固定) |
| | | | | | | | | | 地震によるスクラム後のリカバリに必要な機器の損傷 | | 発生無し | 安全系の耐震設計が有効に発揮 訓練 | 耐震設計が有効に発揮 (安全系設備の耐震設計) |
| | | | 当直長は、多くの警報発生に加え、火災報知器による音が大きく運転員が指示を聞きとれないと判断し、当直長席後ろに緊急用資材として配備されていたハンドマイクを使用して指揮を執った。(火災警報は、後に誤報と判明)(別紙2-P136) | | | | | | 火災報知器発報による当直長と運転員との情報伝達の困難 (別紙2-P136) | | 発生 | 緊急用資材としてハンドマイクの配備 ハンドマイクの使用の適切な判断 | 本体設備の耐震設計、運転操作手順以外の地震に関する細かい対策が有効 (ハンドマイクの配備) |
| | | | 原子炉の自動停止を受けて、中央制御室近くの執務室で勤務していた作業管理チーム(運転操作とは別に、当直長及び運転員で構成するチーム)が中央制御室へ駆けつけ、当直班の支援に当たった。(本文-P216) | スクラム後のリカバリ操作の失敗 | 炉心冷却の失敗 | | | | 中操の運転員をフォローするために必要な人員確保・体制なし、又は不十分 | | 発生無し | 作業管理チームによるスクラム直後の応援により、負担は軽減 ・作業管理チームによるスクラム時の応援はスクラム対応上必要条件ではない。 ・作業管理チームはタグ作成等、定検準備のために、日勤を基本とし、中操の隣室に駐在するチーム。 ・スクラム時に運転員を応援することは義務付けられていないが、当直長及び運転員で構成され運転技量があるため、プラントを守るという使命感から自主的に判断して即座に応援。 ・復旧に当たっては有効に機能した。 | ・事故を収束させるという強い使命感のもと、必要なことは進んで実施するというマインドが重要。 ・中操運転員に対するバックアップの重要性 |
| | | | 発電所対策本部から中央制御室へ応援を派遣し、以後の対応において運転員がプラントの監視・操作に専念しつつ、中央制御室と対策本部の連絡が緊密にとれる態勢を作った。(本文-P216) | | | | | | | | 発生無し | 発電所対策本部から中央制御室へ応援を派遣し、以後の対応において運転員がプラントの監視・操作に専念しつつ、中央制御室と対策本部の連絡が緊密にとれる態勢を作った。(本文-P216) | 中操運転員が運転に専念できる様にするためのバックアップの重要性 |

表 5.3-1 事故対応分析結果 (2/9)

| 日時 | | ①発生事象 | ②対応 | ③対応に関する想定されるミス | | ④想定されるミスを引き起す要因 | | | | | | ⑤ミスを引き起す要因を防止／克服できた理由 | ⑥教訓 | |
|-------------|---------|--|---|--|---|-----------------------|----------------------|------------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----------------------|--|--|
| 日 | 時 | | | 想定ミス内容 | 想定ミス発生により 起される事象 | 分類 | | | | | | | | |
| | | | | | | 組織・管理 (Management) | マニュアル等 (Software) | 機械 (Hardware) | 環境 (Environment) | 本人・まわりの人 (Liveware) | 想定二次要因 発生の有無 | | | 内容 |
| | | | | | 大津波警報発生の発電所対策本部から当直長への連絡忘れ／遅れ。当直長の一斉ページングの忘れ／遅れ。人的被害の発生の可能性 | | | ページングの故障 | | | | 発生無し | 大津波警報発生時に一斉ページングを実施することが明記。手順書の定期的確認など机上訓練を実施。 | 本体設備の耐震設計、運転操作手順以外の地震に関する細かい対策が有効(大津波警報の一斉ページング) |
| | 15:06 | | 非常災害対策本部を本店に設置(別紙2-P126) | | | | | | | | | | | |
| 外部電源の状況 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 14:48 | 富岡線1回線停止(別紙2-P136) | | | | | | | | | | | | |
| | (15:50) | 新福島変電所の設備不具合により岩井戸線1回線停止(別紙2-P136) 外部電源としては富岡線2回線(500kV)、岩井戸線2回線(66kV)の合計4回線あり。地震前に岩井戸線1回線が計画保守中で、地震後、更に2回線停止となったが、富岡線1号による受電が継続した。(別紙2-P136) | | | | | | | | | | | | |
| (3月12日) | (13:38) | 岩井戸線1回線復旧(別紙2-P136) | | 岩井戸線早期復旧の遅れ | 外部電源一回線だけによる信頼性の低い外部電源の継続 | 岩井戸線復旧人員、資機材等の準備の遅延 | | | | | | 発生無し | 岩井戸線は東京電力の設備であり同一会社であることから迅速に発電所の状況を共有できた。(発電電垂直統合のメリット) | 発電所の外の組織から迅速な支援を受けられる体制の事前構築の重要性(発電電垂直統合のメリット) |
| (3月13日) | (5:15) | 岩井戸線1回線復旧(別紙2-P136) | | | | | | | | | | | | |
| 津波到達直後の対応操作 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3月11日 | 15:22 | 津波第一波確認(以降、17:44まで断続的に津波確認)(別紙2-P126) | (防波堤に津波が迫ってきたことを、現場監視カメラにて確認した)(別紙2-P137) | 大津波が襲来したこと、また大津波により機器が損傷したであろうことを強く認識できない | その後の対応の遅れの発生 | | | | | | | 発生無し | 現場監視カメラでの確認(P137) | 被害状況確認手段の重要性 |
| | | パラメータ監視や機器の運転状態を確認するための計器及びランプ表示の約半分が確保されていたため、プラントの状態を監視することは可能であった。(別紙2-P137) | | 当直長は、原子炉系制御盤を中心に監視を継続するとともに、津波の影響を考慮して、原子炉の除熱を行うために重要な海水系設備(海水ポンプ及び冷却水ポンプ)の運転状況が確認できる制御盤に運転員を配置し、適宜、情報を伝えるように指示した。(別紙2-P137) | | | | | | | | | | |
| | | 非常用機器冷却系ポンプについて、運転／停止ランプ表示などにより、運転中であったポンプの停止を確認した。(別紙2-P137) | | | | | | | | | | | | |

表 5.3-1 事故対応分析結果 (3/9)

| 日時 | | ①発生事象 | ②対応 | ③対応に関する想定されるミス | | ④想定されるミスを引き起す要因 | | | | | | ⑤ミスを引き起す要因を防止／克服できた理由 | ⑥教訓 | |
|------------------|-------|--|---|---|--|-----------------------|----------------------|------------------|---------------------|------------------------|-----------------|---|--|----|
| 日 | 時 | | | 想定ミス内容 | 想定ミス発生により 励起される事象 | 分類 | | | | | | | | |
| | | | | | | 組織・管理 (Management) | マニュアル等 (Software) | 機械 (Hardware) | 環境 (Environment) | 本人・まわりの人 (Liveware) | 想定二次要因 発生の有無 | | | 内容 |
| | 15:33 | | 津波発生時の対応手順書に基づき(P137) 循環水ポンプ(C)手動停止(別紙2-P126) | 循環水ポンプ手動停止の忘れ／遅れ | | | | | | 当直員の操作忘れ | 発生無し | ・津波発生時の対応操作手順にCWP停止記載 ・津波発生時の対応操作手順を運転員が熟知しており、的確に操作できた。 | 事前の手順整備、訓練が有効に機能 | |
| | 15:34 | 非常用ディーゼル発電機(A)(B)(H)自動起動／直後に津波の影響により自動停止(別紙2-P126) | | | | | | | | | | | | |
| | 15:36 | | 復水器にて主蒸気の凝縮ができなくなるため(別紙2-P137) MSIVを手動全閉(別紙2-P126) | MSIV全閉の非実施／遅れ | 原子炉から復水器への蒸気流出継続による原子炉水位の低下 原子炉圧力低下によるRCICの使用不可 | | | | | MSIV全閉の忘れ／遅延 | 発生無し | ・手順書に記載 ・訓練 | 事前の手順整備、訓練が有効に機能 | |
| | 15:36 | | 原子炉隔離時冷却系(RCIC)手動起動(以降、起動停止適宜発生)(別紙2-P126) | RCIC手動起動の非実施／遅れ | | | | | | RCIC起動の忘れ／遅延 | 発生無し | ・手順書に記載 ・訓練 | 事前の手順整備、訓練が有効に機能 | |
| | 15:55 | | 原子炉減圧開始(逃がし安全(SRV)弁開)(以降、開閉を繰り返し炉圧制御)(別紙2-P126) RCICとSRVによる炉水位制御と原子炉圧力制御(減圧)を事故時運転手順書〔微候ベース〕(EOP)の該当する箇所を用いて実施(別紙2-P137) RCICによって原子炉水位が維持された。(本文-P220) | 操作ミスによる炉水位維持の失敗 | 炉水位維持失敗による炉心損傷 | | | | | 操作ミス | 発生無し | ・手順書(EOP)(別紙2-P137)訓練 | 事前の手順整備(EOP)、訓練が有効に機能(炉水位維持、減圧、代替注水への移行) | |
| | 15:57 | 循環水ポンプ(A)(B)自動停止(別紙2-P126) | | | | | | | | | | | | |
| 原子炉の水位維持と格納容器の冷却 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3月11日 | | | 原子炉圧力減少後の原子炉への注水冷却及び除熱機能を持つ残留熱除去系(RHR)が、津波の影響による非常用機器冷却系ポンプの使用不能のために起動できなかったことから、RCIC停止後の原子炉への注水冷却に備え、アクシデントマネジメント(AM)策として導入された、復水補給水系(MUWC)による代替注水の準備を開始した。(別紙2-P137) ライン構成に必要な弁の駆動用電源が津波の影響により喪失していたため、現場にて手動開操作を実施した。ライン構成を終えた後、中央制御室から注入弁を開とし注入可能であることを確認した。(別紙2-P138) | RCICが使用不能となるときまでにMUWCによる代替注水のライン構成が完了しない。 | 炉水位維持失敗による炉心損傷 | | | | | ライン構成が手順書として整理されていない | 発生無し | AM対策とした整備されたラインAMガイド手順書 | アクシデントマネジメント策として導入したMUWCによる代替注水が有効に機能 | |
| | 17:35 | | 原子炉格納容器内における原子炉冷却材漏えいの可能性が否定できないことから、原災法第10条第1項に基づく特定事象が発生したと判断、17:55に官庁等に通報。 その後、当該事象には該当しないものと判断。(別紙2-P126) | | | | | | | | | | | |
| | 17:53 | | ドライウェル(D/W)冷却系手動起動(別紙2-P126) PCV圧力上昇の抑制効果を期待しD/W冷却系(冷却源なし)を手動起動した。起動直後にD/W温度が低下したため、3/4号機当直長へ情報提供した。3/4号機当直長は、これを受けて同様の対応を行い、D/W温度が低下したことを確認した。(別紙2-P138) | 外部電源がないためにD/W冷却系が使用不可 | | | | | | 外部電源が無い | 発生無し | 外部電源が生きていた | | |
| | 18:33 | | 原子炉の除熱機能をもつ設備が起動できなかったことから、原災法 第10条の特定事象が発生したと判断、18:49に官庁等に通報。(別紙2-P126) | | | | | | | | | | | |

表 5.3-1 事故対応分析結果 (4/9)

| 日時 | | ①発生事象 | ②対応 | ③対応に関する想定されるミス | | ④想定されるミスを引き起す要因 | | | | | | ⑤ミスを引き起す要因を防止/克服できた理由 | ⑥教訓 |
|-------|------|-------|--|------------------------------------|---|-----------------------------|----------------------|------------------|---------------------|------------------------|------|---|---|
| 日 | 時 | | | 想定ミス内容 | 想定ミス発生により 起される事象 | 分類 | | | | | | 想定二次要因 発生の有無 | |
| | | | | | | 組織・管理 (Management) | マニュアル等 (Software) | 機械 (Hardware) | 環境 (Environment) | 本人・まわりの人 (Liveware) | 内容 | | |
| | | | SRVIによって原子炉圧力を徐々に低下させることでMUWCによる注水可能な圧力まで低下させた。(本文-P220) | | | | | | | | | | |
| 3月12日 | 0:00 | | MUWCによる代替注水開始(別紙2-P127) RCICとMUWCによる代替注水とを併用した原子炉への注水を開始。(本文-P216) | MUWCが使用不可 | | | | 地震によるMUWC系の損傷 | 外部電源が無い | | 発生無し | ・AMIに使用するが、耐震設計の分類は常用系であるMUWCは、機器耐力の実力で地震による損傷を免れた。 ・外部電源が生きておりMUWCを使用できた(E) | 耐震設計が有効に機能(常用機器の耐震実力) |
| | 3:50 | | 原子炉急速減圧開始(別紙2-P127) | | | | | | | | | | |
| | 4:56 | | 原子炉急速減圧完了(別紙2-P127) | | | | | | | | | | |
| | 4:58 | | MUWCによって原子炉水位維持ができる状態にして、原子炉圧力の減少に伴うRCICタービン駆動用蒸気圧力低下のためRCIC手動隔離。(本文-P220) この結果、原子炉水位は、通常水位付近を維持しており、シームレスに低圧系の注水に切り替えを行うことができた。(本文-P220) これ以降はMUWCのみによる原子炉の水位調整(別紙2-P127)、(本文-P216) | 操作ミスによるRCICでもMUWCでも水位維持できない空白期間の発生 | 炉水位維持失敗による炉心損傷 | | | | | 操作ミス | 発生無し | ・手順書の充実 ・訓練の実施 ・当直が操作に専念できる様に、人を派遣し、緊急時対策本部との連絡にあたらせた。 | ・事前の手順整備、訓練が有効に機能 ・中操運転員が運転に専念できる様にバックアップする重要性 |
| | 5:22 | | RCIC排気とSRVIによる原子炉減圧によりS/Cは温度と圧力が上昇し(別紙2-P138)、圧力抑制室(S/C)が100℃以上となったことから、原災法15条該当事象(圧力抑制機能喪失)と判断。(本文-P217) | | | | | | | | | | |
| | 6:20 | | 発電所対策本部は、S/Cを冷却するための手段・方法について検討した。当直長は、発電所対策本部からの指示に従い、FCSの冷却器からS/Cへの排水ラインを利用し、MUWCまたはMUWPIによりS/Cの冷却を実施するように運転員へ指示。(別紙2-P138) 可燃性ガス濃度制御系(FCS)冷却水(MUWC)使用によるS/C冷却実施。(別紙2-P127) | | | | | | | | | | |
| | 7:10 | | MUWC使用によるドライウェルスプレイ実施(以降、適宜実施)(別紙2-P127) | ドライウェルスプレイの非実施または遅れ | 温度・圧力の一時的抑制の非実施による、ドライウェルの最高使用圧力への到達、または格納容器ベントの実施。 | 財産保護の観点からのドライウェルスプレイの躊躇 | | | | | 発生無し | 安全を最優先する意識の浸透 | |
| | | | MUWCによる原子炉への代替注水をドライウェルスプレイ及びS/Cスプレイに適宜替え、PCV圧力上昇の抑制に努めた。(別紙2-P138) | | | | | | | | | | |
| | | | MUWCによるドライウェル・S/Cスプレイはアクシデントマネジメント策として導入され、EOPIに反映されたものである。(本文-P217) | MUWCによるD/W.S/Cスプレイ操作を気がつかない | | MUWCによるD/W.S/Cスプレイ操作を気がつかない | | | | | 発生無し | EOPIに手順反映訓練 | ・事前の手順整備が有効に機能 |
| | 7:37 | | MUWC使用によるS/Cスプレイ実施(以降、適宜実施)(別紙2-P127) | | | | | | | | | | |

表 5.3-1 事故対応分析結果 (5/9)

| 日時 | | ①発生事象 | ②対応 | ③対応に関する想定されるミス | | ④想定されるミスを引き起す要因 | | | | | | ⑤ミスを引き起す要因を防止／克服できた理由 | ⑥教訓 | |
|-------------|-------|---|------------|--|---|-----------------------|----------------------|------------------|---------------------|------------------------|---|-----------------------|-----|----|
| 日 | 時 | | | 想定ミス内容 | 想定ミス発生により 励起される事象 | 分類 | | | | | | 想定二次要因 発生の有無 | | 内容 |
| | | | | | | 組織・管理 (Management) | マニュアル等 (Software) | 機械 (Hardware) | 環境 (Environment) | 本人・まわりの人 (Liveware) | 想定二次要因 発生の有無 | | | |
| | 7:45 | 内閣総理大臣から、福島第二原子力発電所から半径3km圏内の住民に対して非難指示、半径10km圏内の住民に屋内退避指示。(別紙2-P127) | | | | | | | | | | | | |
| | 7:45 | FCS冷却水使用によるS/C冷却停止。(別紙2-P127) | | | | | | | | | | | | |
| PCV耐圧ベントの準備 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3月12日 | 10:21 | PCV耐圧ベントライン構成開始。(別紙2-P127) アクシデントマネジメントにおける炉心損傷後の格納容器耐圧ベントと異なり、原子炉除熱機能の回復が遅れた場合、原子炉への注水を継続させて炉心の健全性を維持しつつ、圧力抑制室のプールを経由して蒸気等を大気中に放出することで、上昇した格納容器圧力を下げるためのもの。(本文-P217) | | | | | | | | | | | | |
| | | 発電所対策本部においては、中央制御室との通信(PHS)により原子炉水位やD/W圧力などのプラントパラメータを随時入手できたため、PCV圧力が上昇傾向にあることを把握できていた。(別紙2-P139) | ベント準備開始の遅れ | 必要な時期にベントができない(結果としてはベントが必要な圧力までには到達しなかった) | ベント準備に予想以上の時間がかかることを認識できない。RHR復旧作業が遅れが発生した場合のリスクを認識できない | | | RHR復旧作業の遅れ | | 発生無し | 福島第一原子力発電所で予想以上にベント準備に時間がかかったことから、本店より早期のベント準備をアドバイス。2F対策本部においても、ベント準備の必要性は認識していた。RHR復旧作業を順調に進めることができた。 | 先を見越した対策の立案の重要性 | | |
| | | 原子炉除熱機能の復旧に時間が掛かることを想定し、PCV耐圧ベントのためのライン構成(S/C側の出口弁開操作のワン・アクションを残した状態)を実施することとした。(別紙2-P139) | | | | | | | | | | | | |
| | | 耐圧ベントライン入口弁(空気作動弁)駆動空気制御用電磁弁が、津波の影響により電源を喪失していたため、開操作できなかった。このため、発電所対策本部は、対応策(小型ポンペを弁駆動部に直結する方法及び当該電磁弁の電源を復旧して開操作する方法)について検討し、PCVの圧力上昇傾向から時間の余裕があると判断し、当該電磁弁の電源を復旧して開操作することを決定した。(別紙2-P139) | | | | | | | | | | | | |
| | 14:05 | 国による避難住民の避難措置完了確認。(別紙2-P127) | | | | | | | | | | | | |
| | 17:39 | 内閣総理大臣から、福島第二原子力発電所から半径10km圏内の住民に対して避難指示。(別紙2-P127) | | | | | | | | | | | | |
| | 18:30 | PCV耐圧ベントライン構成完了(別紙2-P127) | | | | | | | | | | | | |

表 5.3-1 事故対応分析結果 (6/9)

| 日時 | | ①発生事象 | ②対応 | ③対応に関する想定されるミス | | ④想定されるミスを引き起す要因 | | | | | | ⑤ミスを引き起す要因を防止／克服できた理由 | ⑥教訓 |
|------------|---|--|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------|--|------------------|---------------------|---|---|---|-----------------------------|
| 日 | 時 | | | 想定ミス内容 | 想定ミス発生により 励起される事象 | 分類 | | | | | | | |
| | | | | | | 組織・管理 (Management) | マニュアル等 (Software) | 機械 (Hardware) | 環境 (Environment) | 本人・まわりの人 (Liveware) | 想定二次要因 発生の有無 | | |
| (3月13日) | | ドライウエル圧力は、原子炉からの除熱機能が喪失しているため徐々に上昇し、3日目には設計圧力(0.38MPa[abs])に到達したが、最高使用圧力(0.41MPa[abs])には到達しなかった。(本文-P220) | | | | | | | | | | | |
| 残留熱除去系等の復旧 | | | | | | | | | | | | | |
| (3月11日) | | 発電所対策本部では現場確認によって設備の被害状況を確認し、復旧戦略と作業の優先順位付けを行うことを計画した。(本文-P217) | 復旧の号機間優先順位付けの非実施 | 復旧優先順位の高いプラントの復旧遅れ | 優先順位付けができない | | | | | | 発生無し | 中操で定期的に採取していたプラントデータを緊急時対策本部でトレンド化して、格納容器圧力の上昇傾向を監視し、ラプチャーディスクの設定圧力への到達時間を予測し、号機間の優先順位付け | 現場確認に基づく早期の計画立案、物資の調達手配の重要性 |
| | | しかしながら、現場は照明が無く、大量の瓦礫や開口部が存在する危険な状態であり、余震と大津波警報が継続するなかで、津波襲来時の待避連絡手段としてページングシステムが使えないほか、津波により被害を受けた建物の中ではPHSも使えない状況だったため、復旧班を直ぐに現場へ派遣することができなかった。(本文-P217) | 現場確認開始の更なる遅れ | 現場状況確認遅れによる復旧計画立案の遅れ、復旧の遅れ | | 現場通信手段が無い | 現場照明が無い ・大量の瓦礫や開口部の存在による危険な環境 | 現場確認時に津波再来に関する恐怖 | 発生 | ・恐怖に打ち勝つ責任感 ・臨機応変の伝令なども配置する待避連絡手段の立案 | | ・事故を収束させるといふ強い使命感のもと、恐怖に打ち勝ったことの重要性 ・発電所対策本部による現場の状況に即した臨機応変な対策の立案と対策実施のための実施体制の構築 ・携帯用の仮設照明の準備 | |
| | | Hx/Bの現場確認では、照明がない暗間の中を数少ない海中電灯の灯りを頼りに、浸水による水溜りに浸かりつつ瓦礫やゴミを乗り越えながら、また、津波警報が続く中、余震のたびに高所への避難を繰り返しながら、必死の思いで被害状況の確認を行った。(別紙2-P139) | | | | | | | | | | | |
| (22:00頃) | | 伝令なども配置する待避連絡手段を定め、安全装備を調べて復旧班が海に近い海水熱交換器建屋等の被害現場の確認を開始したのは、11日の22時頃だった。 | | | | | | | | | | | |
| 3月12日 | | 復旧班の現場確認結果(機器の状態や電源被水状況(別紙2-P139))に基づいて発電所対策本部は、海水熱交換器建屋内の残留熱除去機器冷却ポンプ(D)、残留熱除去海水ポンプ(B)及び非常用ディーゼル発電設備冷却系ポンプ(B)の復旧を優先的に実行する方針を決めた。(本文-P217) 残留熱除去機器冷却系ポンプ(D)及び非常用ディーゼル発電設備冷却系ポンプはモータ交換の方針を決定。(本文-P217) | 現場状況確認ミス ・復旧作業優先順位付けの非実施 | 間違った復旧方針策定による復旧の遅れ | 発電所対策本部のガバナンス不在による復旧作業優先順位付けの非実施 | | 発電所対策本部設置場所の環境悪化(什器類の散乱等) ・復旧に使用する必要な図面類が地震の影響で取り出せない | 当該設備の状況を確認する技量不足 | 発生無し | ・現場確認結果から使用可能な機器(ポンプ)、系統を選別し、その結果をマトリクスで書き出して、除熱機能を回復させるために優先して復旧する機器を選定した ・発電所対策本部の的確な判断 ・当該設備の保守に関する日頃の技量 ・免震重要棟があり、津波の影響により免震重要棟の電源が2~3時間程度喪失したものの有効に効力発揮 ・事務棟の図書管理室の図書ラック等は中越沖地震を踏まえた対策を実施しており、図書が取り出せた | ・情報共有の重要性 ・発電所対策本部の状況把握(機器損傷状況)の重要性 ・発電所対策本部の的確な対応戦略立案の重要性(復旧の優先順位付け) ・免震重要棟が有効に効力発揮 ・什器の固定等、地震に対する細かい配慮が有効 | | |

表 5.3-1 事故対応分析結果 (7/9)

| 日時 | | ①発生事象 | ②対応 | ③対応に関する想定されるミス | | ④想定されるミスを引き起す要因 | | | | | | ⑤ミスを引き起す要因を防止/克服できた理由 | ⑥教訓 | | |
|----|---|-------|--|--|----------------------|--------------------------|----------------------|------------------|--|------------------------|-----------------|-------------------------------------|--------|---|--|
| 日 | 時 | | | 想定ミス内容 | 想定ミス発生により 励起される事象 | 分類 | | | | | | | | | |
| | | | | | | 組織・管理 (Management) | マニュアル等 (Software) | 機械 (Hardware) | 環境 (Environment) | 本人・まわりの人 (Liveware) | 想定二次要因 発生の有無 | | | 内容 | |
| | | | モータの緊急調達を柏崎刈羽原子力発電所に依頼した。なお、柏崎刈羽原子力発電所は福島第一、福島第二発電所で必要な資機材の調達など積極的に支援した。(本文-P217) | 柏崎刈羽原子力発電所側の支援の遅れ | 復旧の遅れ | 組織を跨いだ協力の立ち上げの遅れ | | | | | | 組織間の意思伝達(流用可能なモータ型式の相互確認のための伝達等)の不良 | 発生無し | 同一会社である柏崎刈羽原子力発電所もTV会議に参加しており福島第二の状況を共有していた | 発電所の外の組織から迅速な支援を受けられる体制の事前の構築の重要性 (他原子力発電所から迅速に必要な支援を受けるための状況共有の重要性) |
| | | | 1号機の非常用機器冷却系ポンプの一部は、モータの洗浄を実施したが絶縁抵抗が回復しなかったため、三重県から自衛隊の輸送機でモータを福島空港まで空輸した。空港から発電所に到着後、直ちに取付け、仮設ケーブルとの結線を開始し、13日夕方までに作業を終えた。(別紙2-P140) | モータのメーカーへの発注の遅れ | 復旧の遅れ | モータ所在の把握遅れ 受注者側の対応遅れ | | | | | | | 発生無し | ・調達リストの事前整備 ・電話依頼のみで受注者側が迅速に対応してもらえる良好な取引関係 | 発電所の外の組織から迅速な支援を受けられる体制の事前の構築の重要性 (必要な機器/資機材の外部調達先/所在情報の事前整備) |
| | | | | モータの輸送遅れ | 復旧の遅れ | | | | 地震被害による道路 交通状況の悪化等 による遠距離(三重 県~福島)輸送の遅延 | | | | 発生無し | ・自衛隊輸送機による輸送(M,H) ・自衛隊への本店対策本部の依頼 | 発電所の外の組織から迅速な支援を受けられる体制の事前の構築の重要性 (政府機関の迅速な支援の重要性) |
| | | | ポンプのモータに電源を供給する電源盤が被水により機能喪失していたことから、発電所対策本部は津波の影響を受けなかった電源盤や、高圧電源車とモータを直結するため、高圧電源車、移動用変圧器、ケーブルの緊急調達を本店対策本部に依頼した。(本文-P217) | 本店側の支援の遅れ | 復旧の遅れ | 組織を跨いだ協力の立ち上げの遅れ | | | | | | 組織間の意思伝達(必要な資機材の相互確認のための伝達等)の不良 | 発生無し | ・同一会社であり、本店対策本部は原子力部門以外も統括する。 (電力会社の発送電垂直統合のメリット) ・全社組織を含んだ緊急時対応マニュアル | 発電所の外の組織から迅速な支援を受けられる体制の事前の構築の重要性 (電力会社の発送電垂直統合のメリット) |
| | | | 津波の影響を受けずに使用可能だった電源盤のうち、放射性廃棄物処理建屋の電源盤を使用することが決定されたが、海水熱交換器建屋から最も遠い放射性廃棄物処理建屋の電源盤が選定された理由は、建屋内の複雑なケーブル引き回しが少なく、大部分が地上の直線道路に沿う敷設ルートとなり、重く固い動力ケーブルを短時間で人力によって敷設するのに適していたからであり、これは現場の実態に基づいた復旧班の判断だった。(本文-P218) | 他のケーブル引き回しルートの選定 | 電源復旧の遅れ | 復旧班内での各班員の意見の吸い上げ不良 | | | | | | 人力によるケーブル敷設作業の実態の不理解 | 発生無し | 人力によるケーブルの敷設という想定外の事象に対する臨機応変の対応をできる能力がある ・日頃の保守作業を通じてのケーブル敷設作業の理解 ・復旧班内での冷静な判断 | 発電所対策本部の的確な対応戦略立案の重要性 (ケーブル引き廻しルートの的確な選定) ・(各班の的確な機能の遂行と各班からの情報/意見を的確に吸い上げた発電所対策本部指揮者の的確な判断) |
| | | | 本店対策本部や柏崎刈羽原子力発電所に調達を依頼した資機材は、13日6時頃までに福島第二へ順次到着した。なお、震災による道路状況の悪化、輸送チームと発電所対策本部の間で携帯電話が通じないことなどによる影響で、輸送には予想以上の時間がかかった。(本文-P218) | 柏崎以外からの重量物も含めて、発電所まで重量物を輸送する大型トレーラー等の運転員がいない | | | | | | | | 輸送を依頼した企業の運転員の避難区域内への入域拒否 | 部分的に発生 | ・大型免許を持った東電社員直営/発電所構内協力企業社員による輸送 ・自衛隊等の政府の緊急時対応組織機関による輸送 | ・緊急時要員に大型免許保持者を指定 ・自衛隊等の支援をより確実に受けられる体制の事前整備(自衛隊員に対する事前の放射線教育等) |
| | | | 仮設ケーブルを、所外からヘリコプターで輸送することとなった。急遽、グラウンドや野球場をヘリポートにすることを決定し、12日未明に野球場周りのフェンスを撤去したり、ヘリコプター着陸のための誘導照明に社員の車20台を準備するなど、夜を徹して荷の受け入れ態勢を整えた。また、地震の影響で道路状況が悪い中、トラックにて仮設ケーブルの輸送も行った。(別紙2-P139) | ・誘導照明等の受け入れ態勢整備の遅れ | 電源復旧の遅れ | 誘導照明等の準備のための作業実施の体制構築の遅れ | | | | | | | 発生無し | 発電所対策本部のガバナンスが有効に機能 | 発電所対策本部による現場の状況に即した臨機応変な対策の立案と対策実施のための実施体制の構築 |

表 5.3-1 事故対応分析結果 (8/9)

| 日時 | | ①発生事象 | ②対応 | ③対応に関する想定されるミス | | ④想定されるミスを引き起す要因 | | | | | | ⑤ミスを引き起す要因を防止/克服できた理由 | ⑥教訓 | |
|-------|-------|-------|---|--|------------------------------------|--|-------------------------|------------------|---|--------------------------------|-----------------|--|--|----|
| 日 | 時 | | | 想定ミス内容 | 想定ミス発生により 励起される事象 | 分類 | | | | | | | | |
| | | | | | | 組織・管理 (Management) | マニュアル等 (Software) | 機械 (Hardware) | 環境 (Environment) | 本人・まわりの人 (Liveware) | 想定二次要因 発生の有無 | | | 内容 |
| | | | 仮設ケーブルは4プラント合計で総延長9kmになったが、これを配電部門からの応援者を含む社員と協力企業の作業員を合わせて200人の手で13日23時30分頃までに敷設完了させた。(本文-P218) | | | | | | | | | | | |
| | | | ケーブル敷設にあたっては、社員と発電所構内協力企業、及び各店所から集結した配電部門(社員と協力企業)でそれぞれ約40名の混成チームを結成し、余震が発生する中、また津波の影響による瓦礫が散乱している中で作業を行った。夜間の作業となり、真暗であったためヘッドライトを頼りに作業を行った。(別紙2-P140) | 必要作業員が集まらない | 電源復旧の遅れ | ・原子力部門以外の原子力災害発生場所への人材派遣の拒否/派遣手続きに時間がかかる。 ・協力企業の原子力災害避難区域へ従業員を派遣することの躊躇 | | 必要な資機材のストックが無い | | 派遣者の原子力災害により避難区域となっている現場への派遣拒否 | 発生無し | ・同一会社であり、本店対策本部は原子力部門以外も統括する。(電力会社の垂直統合のメリット) ・全社組織を含んだ緊急時対応マニュアル ・配電、工務部門も含んだ垂直統合の電力会社であり、ケーブル等の大量調達が可能 ・原子力部門以外であっても原子力災害を終息させるという愛社精神 ・協力企業のマイプラント意識(発電所内に常駐した構内協力企業態勢)(M) ・復旧作業における協力企業への依頼については、本店資材部において「非常災害」や「緊急事態」の際の応援、協力に関する協定を各協力企業、メーカーと締結しており、その枠組の中で協力依頼 | ・発電所の外の組織から迅速な支援を受けられる体制の事前の構築の重要性(電力会社の発電電垂直統合のメリット) ・緊急時において構内協力企業の協力を得られる関係の日頃からの構築の重要性 | |
| | | | 仮設ケーブルは太さ2~3センチのものが3本1組によられており。長さ約200メートルの場合で重量は1トン以上になる。RW建屋からHx/Bまで、最長で約800メートルもの距離を敷設する必要があった。通常なら機械を使用して相当の日数をかけて敷設する作業を、人力にて急ピッチで行い、総延長約9キロメートルの仮設ケーブル敷設を12日に一部、大部分を13日に実施し完了した。(別紙2-P140) | | | | | | | | | | | |
| | | | ケーブル敷設作業は、発電所対策本部の技術班によるプラントデータ(格納容器圧力)の継続的な監視と予測に基づき、当初は格納容器の上昇が最も早かった2号機を最優先にケーブル敷設作業を進めていたが、13日未明には1号機の格納容器圧力の上昇が2号機よりも早くなったことから、1号機を最優先にする変更が行われた。(本文-P218) | ・ケーブル敷設の号機間の優先順位付けの非実施 ・ケーブル敷設優先号機の選定ミス | 1号機ドライウエルの最高使用圧力への到達、または格納容器ベントの実施 | 発電所対策本部のガバナンス不在によるケーブル敷設の号機間優先順位付けの非実施 | プラントデータの監視と予測を担当する班の不明確 | | | | | ・発電所対策本部のガバナンス ・発電所対策本部の各班(技術班)の役割分担/実施すべき事項の明確化 | 発電所対策本部の的確な対応戦略立案の重要性 ・(ケーブル敷設の号期間優先付け) ・(各班の的確な機能の遂行と各班からの情報/意見を的確に吸い上げた発電所対策本部指揮者の的確な判断) | |
| | | | ケーブル敷設に並行して、ポンプの機械部品の状態確認、モータの据え付けを行った。(本文-P218) | 作業の遅れ | 復旧の遅れ | 必要人員が集まらない | | | 社員により構成される緊急時対策要員(約250人)のみならず、実質的には社員ほぼ全員(約400人)、協力企業(約1900人)の多くが発電所に残って事故対応した。そのため想定以上の人員に対する飲料水、食料の枯渇 | 作業実施の技量が無い | 発生無し | ・非常災害予防活動マニュアルに基づき要員(約250人)の食料3日分、飲料水50日分備蓄しているのに加え、新型インフルエンザ対策備蓄食料として、食料を当直員40日分、事務本館人員6割の2週間分を備蓄。これらの備蓄食料/飲料を震災時に発電所にいた人員へ配布、結果的に3日分の食料を備蓄。3/13には他店所からの支援物資が到着した。 ・発電所内に常駐した構内協力企業態勢 ・機器毎に継続的な同一会社への保守の発注。 | ・飲料水、食料の適切な量の備蓄の必要性 ・緊急時において構内協力企業の協力を得られる関係の日頃からの構築の重要性 | |
| 3月13日 | 20:17 | | 残留熱除去機器冷却海水ポンプ(B)手動起動。(別紙2-P127) | | | | | | | | | | | |
| | 21:03 | | 残留熱除去機器冷却系ポンプ(D)手動起動。(別紙2-P127) | | | | | | | | | | | |
| 3月14日 | 1:24 | | 残留熱除去系(RHR)ポンプ(B)手動起動(S/C冷却モード開始) 原災法の特定事象発生の解除を判断。(別紙2-P127) | | | | | | | | | | | |
| | 1:44 | | 非常用ディーゼル発電設備冷却系ポンプ(B)手動起動。(別紙2-P127) | | | | | | | | | | | |

表 5.3-1 事故対応分析結果 (9/9)

| 日時 | | ①発生事象 | ②対応 | ③対応に関する想定されるミス | | ④想定されるミスを引き起す要因 | | | | | | ⑤ミスを引き起す要因を防止／克服できた理由 | ⑥教訓 |
|-------|-------|-------|---|-------------------------|--|-----------------------|----------------------|------------------|---------------------|------------------------|------|-------------------------|---------------------------------------|
| 日 | 時 | | | 想定ミス内容 | 想定ミス発生により 励起される事象 | 分類 | | | | | | 想定二次要因 発生の有無 | |
| | | | | | | 組織・管理 (Management) | マニュアル等 (Software) | 機械 (Hardware) | 環境 (Environment) | 本人・まわりの人 (Liveware) | 内容 | | |
| | 3:39 | | RHR(B) S/Cスプレイモード開始。(別紙2-P128) | | | | | | | | | | |
| | 10:05 | | RHR(B) 低圧注水モードにて原子炉へ注水実施。 (別紙2-P128) 圧力抑制室の冷却に加え原子炉水を早期に冷却するため、RHRポンプ(B)にて低圧注水ラインより圧力抑制室の水を原子炉へ注水を開始するとともに、主蒸気逃がし安全弁を経由して圧力抑制室へ原子炉水を流入させ、圧力抑制室の水をRHR熱交換器(B)で冷却して再度低圧注水ラインより原子炉に注入するライン(S/C→RHRポンプ(B)→RHR熱交換器(B)→低圧注水ライン→原子炉→SRV→S/C)による冷却を応急的に実施した。 | | | | | | | | | | |
| | 10:15 | | S/C温度が100℃未満になったことから、原災法15条の特定事象から回復したと判断。10:35に官庁等に通報。(別紙2-P128) | | | | | | | | | | |
| | 17:00 | | 原子炉水温度が100℃未満になり原子炉冷温停止。(別紙2-P128) | | | | | | | | | | |
| 3月16日 | 5:12 | | 格納容器雰囲気モニタで水素濃度の増加傾向(水素約5%、酸素約2%)が見られたため、可燃性ガス濃度制御系を運転した。水素・酸素濃度は可燃域に入ることなく制御された。(本文-P218) | | | | | | | | | | |
| | | | 水素濃度に増加傾向が見られたことについて以下のように考える。 冷温停止前は、炉水の放射線分解及び高温多湿条件下での格納容器内の亜鉛(塗料等)などの酸化反応が起こっていた可能性がある。 冷温停止後においても、格納容器温度が低下しているものの、亜鉛などの酸化反応は一部で継続的に発生していた可能性が考えられる。 また冷温停止の以前の状態では、冷却源の喪失で格納容器雰囲気モニタの除湿冷却器が機能せず、試料ガスの温度・湿度が水素センサーの使用条件を超過したため測定を逸脱したと推定されるが、冷温停止後は試料ガスの除湿冷却器は機能回復した。ただし、水素濃度計の信頼性に関しては検討が必要である。(本文-P220) | | | | | | | | | | 水素濃度の監視については現在、福島第一事故を踏まえて開発に取り掛かっている |
| その他 | | | | | | | | | | | | | |
| 3月11日 | | | 事務本館では、避難場所である駐車場に避難し安否確認を実施。 その後、対策要員は免震重要棟へ移動し対応を開始、それ以外の社員はグラウンドに避難した。(別紙2-P136) | 安否が確認できない 安否不明社員の発生。 | 復旧に加えて、不明者の安否確認も実施しなければならなくなり、復旧作業への悪影響。 | 決められた場所への避難、安否確認の指示忘れ | | | | | 発生無し | ・非常時のマニュアルに規定 ・訓練の実施 | |

5.4 分析から得られた重要な教訓

分析の結果、重要な教訓として以下の事項が得られた。これら教訓の内容に関しては、大規模な事故への備えとして他の発電所においても準備されることが望まれる。

①発電所対策本部の適切なガバナンス

発電所対策本部に望まれる重要な機能は以下の通りである。

- ・ 事故の状況(プラントパラメータ、機器の損傷状況)を的確に把握する。
- ・ 発電所対策本部内の各班がそれぞれの業務分担に応じた機能を発揮する。
- ・ 発電所対策本部の指揮者は各班からの情報/意見を的確に吸い上げ、情報の共有を徹底する。
- ・ 的確な対応戦略を立案する。(例：復旧の号機間優先順位付け、的確なケーブル引回しルート選定)
- ・ 各個別の対応に当たっては、現場の状況に即した臨機応変の対策を立案し、対策実施のための体制を構築する。(例：現場確認における津波再来時の連絡手段の確立)
- ・ 事象の進展に合わせるだけでなく、先を見越した対策を準備する。(例：格納容器ベントの準備)

②発電所の外の組織から迅速な支援、物質の調達を受けられる体制の整備

残留熱除去系の復旧に当たっては、外部から残留熱除去系ポンプに使用可能な仕様のモータや、9kmに及ぶケーブルなどの資機材が迅速に調達され、またケーブル敷設に必要な技量を有する作業員を含め多人数の要員が迅速に派遣された。

これらが迅速になされた要因をまとめると、以下の要因が考えられる。

- ・ 電力会社が発送電垂直統合されており、ケーブル等の資機材及びケーブル敷設の要員が同一会社内に存在していることで、迅速な手配が可能となった。
- ・ 協力企業は発電所構内に常駐し、緊急時において構内協力企業の協力を円滑に得られる関係が日頃から構築されていること。また、資機材の迅速な調達のためには、以下の整備が望まれる。
- ・ 種々の機器についての調達先のリストの整備。
- ・ 重機運搬のための大型免許保持者の確保。(原子力災害避難区域内へ社員を入域させられない一般企業から資材を調達する場合等)
- ・ 自衛隊の大型ヘリコプターによる重量物の運搬など、政府機関による支援。

③社員のみならず協力企業の作業員まで含めて、緊急事態発生時に、余震による津波や原子力災害による高放射線量率等危険な環境でも、事故を収束させようとする強い使命感が生じるような安全文化を醸成する取組みを行うことが望まれる。

④耐震設計が有効に機能

高度な耐震設計により設置された安全系設備は、当然のことながら地震動によって故障することなく機能した。更に、AM設備に使用する常用系設備

(MUWC) も、設計を超える地震動に対しても、設備固有の余裕により故障することなく機能した。

⑤事前の手順整備、訓練が有効に機能

いろいろな対応が円滑に迅速に行われた一番の要因は、予め準備されていた手順書が有効であり、その手順書を熟知していた運転員、作業員が手順書に従って適切に対応したからである。

⑥中央制御室運転員が運転に専念できる様にバックアップすることの重要性

直体制の堅持、パトローラの増員、連絡要員の派遣、対外対応を対策本部が一元的に行う等中央制御室の運転員が運転操作に専念できるように支援を受けており、事故収束が成功した要因のひとつである。

⑦本体設備の耐震設計、運転操作手順以外の地震に関する種々の対策も有効

中越沖地震の教訓から種々の地震に対する備えを行っており、それぞれ有効であった。(例) 中央制御室・事務所における什器類の固定、仮設照明・ハンドマイク等の準備等。

6. ヒューマンファクターの面から見た非常時対応状況

福島第二の非常時対応に関しては、従来の訓練内容やマニュアルに記載されていない事態が生じ、組織及び個人の対応力が試されるような状況の中、全体的に統率の取れた対応が取られ、事故の拡大を防止し収束に導くことができた。この要因について、ヒューマンファクターの面から分析を行った。

分析に際しては、東京電力の事故調査報告書に記載されている対応状況だけではなく、関係者への聞き取りに基づいた分析者の推定も入れて整理を行った。m-SHELモデルを用いた整理表を表 6-1 に示す。また、組織のレジリエンスを分析する手法に基づく整理も行った。その結果を表 6-2 に示す。

ヒューマンファクターの面からは、事故収束を成功に導くことができた大きな要因は、事故時対応に適切なマネジメント及び事前に準備されていた各種対策の有効性の2点であると思われる。

マネジメントの有効性を担保するためには、当然のことながら十分な知識を持った指導力のある上層部が居て、更に組織がしっかり統率が取れていることが必要であり、そのためには、平時からの職場環境作りが重要である。

事前準備に関しては、非常時体制の整備（外部の支援体制を含む）、マニュアルの整備、安全文化の浸透、教育・訓練、食料等の備蓄、免震重要棟の設置等こちらもやはり平時からの取組みが重要である。

また、今回、たまたま外部電源の1系統が機能を維持したり、重要な設備の津波被害が軽微であったり、比較的短時間で事故収束に導けたりといった幸運な面も認められる。これらに関しては、今後、これらの幸運が期待できないような状況も想定して準備を積み重ねておくことが必要と思われる。

福島第二の組織としてのレジリエンスに着目した分析も行った。4つの視点から良好事例の整理を行ったが、全体的に組織としてのバランスが取れていると思われる。これらの良好事例からは、組織としての強さも、やはり、マネジメント及び平時の備え（訓練やマニュアルの整備等）が重要であることを認識させるものであった。また、これらの組織の強さを支える土台として、各人の安全確保に対する強い使命感が必要であり、安全文化醸成も重要であることが再認識される。

表 6-1 事故を収束出来たヒューマンファクターの面から考察した要因

| マネジメント (m) | ソフトウェア (S) | ハードウェア (H) | 環境 (E) | 人的要因 (L) |
|---|---|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 役割分担が明確な非常時体制を予め決めておき、地震発生と同時に迅速に体制を構築するとともに、体制を有効に活用した。 ● 上層部が強いリーダーシップを発揮し、ぶれることなく状況分析を行って、的確に指示を行った。 ● 情報を共有し、指示の意図するところの浸透に努めた。 ● 事象の進展に合わせるだけでなく、先を見越した対策の準備を行った。戦略的に対応策が検討された。 ● 発電所外からの迅速な支援とそれを受けられる体制が整備されていた。資機材の調達もそこそこ円滑に行われた。 ● 中操運転員が運転に専念できるよう体制を整えた。 | <ul style="list-style-type: none"> ● 主復水器がヒートシンクとして使用できなくなることを見越した手順書が準備されていた。 ● 緊急時対応における人員招集の連絡ルートが整備されていた。 ● 手順書が有効であった。 ● 復旧班でパトロール班を編成し、予め退避手順を定めてパトロールを実施した。 ● 本店や柏崎刈羽との連絡手段として TV 会議システムが機能していた。複数の通信手段が有効であった。 | <ul style="list-style-type: none"> ● 免震重要棟が機能していた。 ● 電源が機能を維持していた。 ● 津波による被水・浸水の影響が少なく RCIC などが使用可能な状態であった。 ● 放射線管理資機材は地震・津波の被害を受けず、確保された。 ● AM 設備は設計を超える地震動に対しても、故障することなく機能した。 | <ul style="list-style-type: none"> ● 外乱が少なく、専ら発電所での体制で対策に専念できた。 ● 地震が平日午後に発生したため、緊急時対応体制が比較的スムーズに整えることができた。(必要な人員の確保ができた。) ● 十分な飲料水、食料の備蓄がされていた。 ● 免震重要棟で非常時対応業務が継続できる環境が確保された。 ● 中操の操作盤に、しがみつくことができるバーが取り付けられてあった。 ● キャビネットの転倒防止策が徹底されていた。 ● 計器類が機能を維持しており、状況の確認を行うことができた。 ● 照明及び通信手段が確保されており、環境面からの作業に対する障害が少なかった。 ● 比較的短時間に事故収束の目処が付けられた。 | <ul style="list-style-type: none"> ● 事象の進展予測を行い、対策を立案できる十分な知識を有していた。 ● 運転員が操作ミスをすることなく適切な運転操作を行った。 ● 緊急事態発生時に、危険な環境においても事故を収束させようとする強い使命感を各人が維持した。(この心理的狀態を生じるような安全文化を醸成していた。) ● 手順書に従い適切な対応ができるよう教育・訓練がされていた。 ● 東電社員の中に、大型車両の運転ができるなど専門的技量を有している人材に助けられた。 |

表 6-2 福島第二のレジリエンスの面からの分析

| Responding | Monitoring | Anticipating | Learning |
|---|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 地震後、中操で運転継続している設備を確認した。 ● 中操運転員が運転に専念できるよう運転員経験者を中操に派遣した。 ● 地震後直ちに発電所内に非常時体制を構築した。 ● 迅速にパトロール班を編成し、現場状況の確認のために派遣した。 ● 早期に復旧手順を立案し、班毎に作業内容を確認して着手した。 ● 格納容器の冷却のためにドライウェルスプレイを実施した。 ● 早め早めに必要な資機材及び作業員の応援の手配を行った。 | <ul style="list-style-type: none"> ● 中操のランプで運転継続している設備を確認した。 ● 設備の被害状況を確認するためにパトロールを行った。 ● 本部で主要パラメータを継続監視していた。 ● 各班からの情報をホワイトボード等に記載するなど目で見ることで整理し、共有していた。 ● 各班と本部間で「ほう・れん・そう」により、作業進捗状況の確認と指示を円滑に行った。 ● パラメータの変動の継続性などから、計器類の故障の有無を確認していた。 | <ul style="list-style-type: none"> ● 全外部電源が喪失する最悪の事態を想定して電源の復旧を急いだ。 ● プラントの状況及びパトロールの結果から復旧手順を立案した。 ● パラメータの推移からユニットの優先順位を決め、順次対策を実行に移した。 ● RCIC が運転している間に、MUWC が運転可能であることを確認した。 ● パトロール班の退避手順を予め定めて、現場に派遣した。 ● 早め早めの資機材の手配を行った。 ● 事象が長引くことを想定して、水・食料の配分を調整した。 ● 最悪の事態を想定し、予め格納容器ベントの準備を行った。 | <ul style="list-style-type: none"> ● 本店や柏崎刈羽との連絡手段として TV 会議システムが整備されていた。複数の連絡手段が有効であった。 ● 免震重要棟の設置、中操の操作盤の把持用バー設置し、事務所のキャビネット転倒防止等中越沖地震の経験を基に準備していた。 ● 発電所外からの迅速な支援とそれを受けられる体制が整備されていた。 ● マニュアルを基に検討を行って、応用動作として 1 系列の RHR 系統で RPV と S/C を同時に冷却する系統構成を行った。 |

レジリエンス；変化し続ける状況下で成功を継続する（組織的）能力

- 事象への対処（Responding）
- 事象進行の監視（Monitoring）
- 脅威と好機の予見（Anticipating）
- 過去の成功と失敗双方からの学習（Learning）

7. 教訓

福島第二での事故対応は、いろいろな点でベストプラクティスを含んでおり、種々の教訓を導き出すことができる。また、福島第二では、福島第一に比べて津波による影響が限定的であったため、福島第一とは異なり、パラメータや機器類がほとんど機能を喪失せず、高汚染、高線量といった極限状態での対応とはならなかったことから、実際に各発電所で対応可能な現実的な教訓が多数抽出されているものと思われる。

これらの教訓と、5章での分析により抽出された教訓を合せて整理を行った。

これらの教訓を、今後、事故に備えた対策の導入に際して参考にして取り組んで頂きたい。

7.1 組織、マネジメント、コミュニケーション

- ・ 基本的な事故対応とは、①状況の適切な把握、②早急に対応すべき対策案及び先を見通した復旧案の迅速な立案、③復旧等に必要な資機材の調達、④状況を監視しながら対応案を実施に移すことである。また、そのための人員を適切に割り振ることであり、情報を共有しながら適切な指示をタイムリーに出すことである。
- ・ ヒューマンファクターの分析結果から、事故時のマネジメントの重要性は際立っており、発電所上層部の教育・訓練は特に重要である。
- ・ 緊急時の班編成及び役割分担を予め決めていたので、円滑な事故対応ができた。また、各班が、適切な「ほう・れん・そう」を実行しながら、それぞれの役割に応じて臨機応変に対応できた。体制及び人員の整備が事故時対応に備えるための重要な要素のひとつである。
- ・ 中央制御室に運転経験者を派遣して、種々の情報を対策本部に伝えたり、対策本部からの指示を伝達するなど専任の連絡担当として活用することで、実際に運転操作を行う者に操作に専念させることができた。同様に、本店との連絡や対外対応を対策本部が受け持ち、状況把握のためのパトローラは別途派遣し、また直体制を堅持して操作員に適宜休養を取らせるなど操作に専念できるような環境作り、支援を徹底した。中央制御室の操作員は、操作に専念できる体制を作っておくべきである。
- ・ プラントメーカーに頼ることなく、発電所内で対策の立案がなされている。優先順位を決める際には、格納容器ベントをできるだけ避けようという共通の認識に基づいて判断されている。また、海水系復旧後の冷却のための循環ループなどは、マニュアルには直接の記載はなく、応用としての対応であった。これは、発電所員の知識向上に取り組まれていた教育・訓練など日頃の努力の賜物と思われる。プラント建設がほとんどなされない中、事故に対する緩和策など深層防護の考え方について所員の知識を向上させる取り組みが望まれる。
- ・ 格納容器内の設備に影響を与える可能性のあるドライウェルスプレイを、マニュアルに記載があることから、発電所所長の判断で実施している。設備の財産的価値を維持するのではなく、格納容器の健全性を確保し、更に、格納容器ベントの

実施を可能な限り回避して環境への放射性物質放出を極力押さえようという安全優先の姿勢で対応しており、安全文化が根付いていることが伺える。所長はもちろん、組織としても安全優先で対応するように日頃から安全文化の醸成に努めておくべきである。

- ・ 外部からの支援で必要な資機材が短期間に供給され、早期の復旧に貢献した。緊急時に本店で早期に支援できる体制の構築が必要である。また、非常事態等に備えて協力企業やメーカーと応援・協力に関する協定を結んでいたことが有効であった。事故時の資機材の調達のための体制を整備することが望まれる。国内の電力間での協定で資機材を融通するような体制を構築することも一案と思われる。
- ・ 協力会社の作業員と一丸となった懸命の復旧作業により、短期間で必要な機器類の機能が回復し、事故の早期収束に貢献した。発電所のオーナーシップの醸成あるいは訓練などを通しての協力関係の構築など協力会社も含めた事故に対する準備が行われるべきである。
- ・ 工務系の支援により、外部電源の早期復旧が図られた。同じ会社であるということが強みとして現れたと思われる。大規模災害時に、会社内で部門間で連携が必要となる事態を想定し、訓練などを通して協力のあり方を構築しておくことが望まれる。

7.2 事前の準備（設備、マニュアル、訓練）

- ・ 今回は、平日の午後に発生した事故であったため、必要な人員確保が容易であった。しかし、夜間・休日には多数の人員の召集には時間を要することから、初動に必要な人員を発電所に確保するとともに、人員が順次段階的に集まってくるという現実的な想定を基、それに応じた事故対応を行うように準備しておくことが必要である。また、適宜、人員召集の訓練を行い、どの程度の人員がどの程度の時間で召集可能かを確認しておくべきと思われる。社員のみならず協力会社の人員の手配についても、予め準備しておくことが望まれる。
- ・ 対策本部は、地震・津波の影響を受けず、有効に機能した。免震重要棟の電源に関しては、配電盤の被水により停電した。別途、非常用のガスタービン発電機を設置していたが、津波の影響により機能しなかった。電源の水密化や耐震性の向上など信頼性を上げておくことが望ましい。また、ガスタービン発電機に関しては、現場で直ちに状況確認を行っていただければもっと早い時期の電源復旧が実現できた可能性があり、現場での状況確認の重要性が改めて認識される。
- ・ 対策本部では、パラメータなど必要な情報が大型のディスプレイに表示され、対策本部にいる者全員で同時に情報共有することができた。これにより、有効な対策の立案や指示の明確化が図られた。停電時には、ホワイトボードに機器の状態を整理して掲示していた。また、本店及び3発電所が共有のテレビ会議システムで情報共有しており、海水ポンプモーターを柏崎刈羽から搬入することで迅速な復旧に結びついた。このように、対策本部では、効率的に種々の情報を関係各所及び関係者間で共有できる仕組みが必要である。

- MUWC の活用等 AM 設備及びマニュアルが準備されていたことから、これらの有効活用により事故の拡大を抑えることができた。また、従来より実施していた訓練も有効であった。今後、AM 設備に加え、シビアアクシデント対策のための種々の設備が準備される。これらの設備の使い方に習熟するための訓練を行い、訓練の結果を基に継続的に改善を行って、より迅速に的確に対応できる体制を構築しておくべきである。
- ケーブル敷設では特殊技能者や工具が必要であった。また、資機材の運搬では、放射性物質の降下により、東電社員自身が大型車両を運転し、運搬する状況に直面した。このように、事故時に発生し得る種々の状況を想定して、必要となると思われる技量を有した人員及び工具類を予め準備しておくことが望まれる。また、地震、津波という外部の大災害に伴う複合事故の場合は、資機材の運搬を含め自衛隊の協力は不可欠であり、協力体制の有り方について、今後防災体制全体の検討の中で議論していくことが必要である。
- 緊急時用に予め準備しておいた大量の食料は、短期間のつなぎとして有効に活用された。しかし、協力企業の作業員や外部からの支援要員に配分することで、2 日目以降は厳しい状況になっている。2,000 人規模の人員に長期に亘って食料と水を提供できるように備蓄しておくことは現実的ではない。1 日～2 日程度の食料と水を準備するとともに、非常時にどのように調達するか、またどのように運搬するかを検討し準備しておくことが必要である。非常時の食料や水を隣接した発電所間や電力間で融通できるような取決めをしておくことも一方策であると思われる。
- 地震が発生した際に、中央制御室では制御盤に取り付けてあったバーが有効であった。また、事務所ではキャビネット類の転倒防止等地震対策が施されていたことで、負傷者の発生はなかった。地震の揺れに対する防御策を徹底しておくことが望まれる。

7.3 事故の初動対応

- 福島第二では、中央制御室で、ランプ表示によりどの機器が機能喪失したか早期に確認できた。また、主要なパラメータの監視によりプラントや炉心の状況が把握でき、適切な運転操作が可能であった。しかし、電源を喪失した場合に必要なパラメータの情報をどう収集するか、例えば予備のバッテリーを準備しておくなど、予め準備しておくことが望ましい。具体的に必要なパラメータとして、原子炉圧力、原子炉水位、一次冷却材温度、格納容器圧力、格納容器温度は厳しい条件下でも把握できるようにしておきたい。
- 連絡手段が確保されていない状態の中、機能を喪失した機器の状況が早期の復旧が可能な状況かどうか確認するために、退避手順を定めてパトローラによるウォークダウンを実施している。この情報により、確実な機器の状態確認がなされ、実態に即した対策の立案がなされた。安全を確保しつつも早期に状況を把握する取組みが重要である。どうやって確認するか、例えば外部電源が喪失した状態で

あれば、どう対応するか検討し予め準備しておくことが望まれる。電源喪失に伴う照明喪失状況でのパトロール実施を考えると、仮設の照明の準備も必要と思われる。

- ・ 深層防護的な考えに基づいて戦略的に対応策が検討され、例えば、格納容器ベントの準備もなされる等、事象の進展に合わせるのではなく、先を見越した対応策の立案が行われた。また、地震後に外部電源が一列受電できていたが、それが停電した際の影響を考えて、大至急もう一列の復旧を行い準備していた。先を見通した対応を行うことが望まれる。
- ・ パトローラの安全確保のため、PHS を常に通話中とした連絡要員を置いて、津波警報発令により避難が必要な際には、連絡要員がパトロールをしているところまで行き、指示を伝達していた。福島第一では PHS が使用できない状態であったことからトランシーバを使った際に、混信してうまく使えなかったとの情報があるが、周波数帯を複数有するトランシーバであれば、連絡手段として有効と思われる。また、離れたところまでいちいち出かけなくても声が届くように、拡声器も配備しておくと思われる。

7.4 追加の対策

- ・ 福島第二では外部電源が生きていたこと、また、起動変圧器が津波の影響を受けなかったことなどが事故を収束できた大きな要因として挙げられる。地震や津波等外部事象により全てが失われる可能性を極力小さくする工夫が求められる。外部電源に関しては、国の指導により各社とも耐震性の向上や号機間での融通可能なように母線の追加を行う等信頼性の向上に取り組んでいる。同様に、津波や強風等の外部事象により全ての外部電源が失われることがないように対策を講じておくことが求められる。
- ・ 電源車は、使い方にもよるが、数時間で燃料を消費してしまうため、燃料の監視を行い適宜燃料を補充してやる必要がある。仮設設備を使用する場合には、長時間の使用となる可能性があることを考えて、燃料やユーティリティを確保する方法を予め準備しておくべきである。

8. 終わりに

まず、本報告書をまとめるにあたり、福島第二の現場での対応状況について、種々の詳細な情報を提供していただいた東京電力の関係者の方々に感謝申し上げます。

7月に公表された政府の事故調査委員会の報告書では、福島第二の対応が適切であり、それに比べた形で福島第一の事故対応に対して厳しい意見が表明されています。

しかし、福島第二では、地震及び津波の影響が福島第一に比べて小さく、外部電源が使用できたことなどから、予め準備されていた AM 設備及びマニュアルを使って事故を収束させることができました。

教訓としてまとめたように、福島第二では、組織としてのマネジメント、訓練された運転員の適切な対応、予め準備されていた設備の有効な活用、外部からの物資の支援など事故に対する種々の処置が優れていたことはもちろんのことです。

しかし、歴史に「たら・れば」は禁物ではありますが、福島第一も、実際には津波により電源盤がほとんど被水したために復旧できない状態であり事故が拡大したのですが、例えば、電源の一部でも機能が維持されていれば、福島第二と同様に事故の収束が図られたのではないかと思われてなりません。

現在、国内の原子力発電所では、ストレステストを実施し、脆弱なポイントの強化が図られています。ハード面だけではなく、合わせてソフト面に関しても改善を進めることが重要であり、その際には、福島第二での事故への対応から得られた各種教訓が、検討を進める上で貴重な材料として使えるものであり、国内外の原子力発電所で有効に活用されることを希望するものであります。

今後、原子力発電所の安全対策の強化に関しては、11月に新たに設立された原子力安全推進協会がリードされていくこととなります。今回の検討結果も、引き続き新組織でも活用され、国内の原子力発電所の安全性向上に資することを期待しています。

また、今回は、福島第二に着目して事故対応からの教訓をまとめましたが、地震及び津波の影響を受けながらも事故を収束させることができた原子力発電所として、他に、東北電力（株）女川原子力発電所と日本原子力発電（株）東海第二原子力発電所があります。これらのプラントでの事故への対応に関しても、今後、検証され教訓を抽出されることを期待しています。

緊急時対応のための資機材の強化等推奨される気付き事項

本報告書では、組織・マネジメントのあり方から細かい資機材の準備まで広い範囲の教訓が得られた。この添付では、それらの中から、同様の事態に遭遇した場合に有効と思われる緊急時対応資機材等の配備等、考慮することが望まれる具体的な気付き事項を以下の表に纏めた。

なお、これら具体的な項目に関する提言は、福島第二での対応を基にした項目であり、当然これら以外にも種々の工夫の余地があることを念頭に置いて参考として頂きたい。

運転操作関係

| 項目 | 内容 |
|------------------------|--|
| ①中操盤への手摺の設置 | 地震後のスクラム対応操作に備え、手摺に掴まるとともに、姿勢を低くして待機。また地震時に確実に実施できる様に待機姿勢は訓練等にも反映。 |
| ②中操内キャビネット等の固定 | キャビネット等の固定によって、地震転倒による運転員の負傷、中操環境の悪化を防ぐ。ミーティング机、ホワイトボード等も固定しておく。 |
| ③ハンドマイク | 地震による火災報知器誤発報時等の高騒音下での当直長指示の確実な伝達にハンドマイクが有効。訓練にも反映。 |
| ④現場監視カメラ (状況の視覚的把握) | 監視カメラの映像で津波の襲来が中操で確認できた。状況把握に有効な現場監視カメラ映像が中操で確認できるようにしておく。 |
| ⑤中操への応援要員の派遣 | 中操へ応援要員を派遣することを事故時の手順として準備しておく。 |

復旧対応関係

| 項目 | 内容 |
|--------------------------|--|
| ①機器構造図等の取出し | 復旧作業の検討に必要な機器構造図等が、事務本館の被災によって取出し不能、停電による電子図書の利用不可といった事態が発生。地震、火災、停電等においても確実に利用できるよう準備。(図書保管室・入口・ラック等の耐震性強化、事務本館延焼を想定した複数箇所保管等) |
| ②必要な機器、資材等の外部調達先リストの事前整備 | 津波による海水浸水損傷のため、海水ポンプモータを発電所外から調達した。想定される必要な機器、資材等の外部調達先リストをある程度事前整備しておくことは迅速な調達に有効。 |
| ③復旧資機材の輸送方法の事前検討 | 大地震により輸送の混乱(国道寸断、迂回路不備、渋滞)が生じ、更に運送会社が避難区域内へ運送してくれない事態も生じた。東電社員自らによる輸送物の引渡しが必要となったが、携帯不通により待合せが困難な公共が発生した。このような事態を想定した資機材運搬の事前の検討が重要。 |
| ④重機運転者の確保 | 運送業者が避難区域に機材を運送してくれなかったため、直営運送が必要となった。大型トラックの運転者確保が必要。(名簿の作成、保持者の養成等) |

| | |
|----------------------------|--|
| ⑤特殊技能者の確保 | 大型トラック以外にもクレーン類の操作やケーブル類の接続等の作業を東電社員自ら行った。事故で想定されるこれらの作業に対応できる社員を確保しておく。 |
| ⑥仮設照明、ハンドマイク、トランシーバ等の細かい機材 | 復旧では仮設照明、ハンドマイク等の細かい機材も有効に活用された。また、トランシーバがあれば、連絡手段として有効だったと思われる。これら資機材の数量の確保。 |
| ⑦協力企業の事前応援体制整備 | 復旧に当たっては協力企業の協力が不可欠であった。事故に備えた以下のような取組みの強化を検討。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 構内協力企業との緊急時に関する協定の締結 ・ 構内協力企業も含めた復旧訓練の実施 ・ 緊急時の協力企業の人員手配方法の事前整備 |
| ⑧協力企業棟の地震被害による使用不能な場合の対応 | 協力企業棟が、地震被害により暫く使えない状況であった。協力企業棟被害によって復旧に不可欠なものが不可となるものはないかの確認等。 |
| ⑨医療・衛生面 | 狭い場所に大勢が勤務、生活を継続することに伴う医療・衛生面での管理、ストレスに伴う体調変化が後から出てくるケースへの精神面の継続的フォロー等、事故時の医療・衛生面での強化。 |

情報共有手段

| 項目 | 内容 |
|------------------------|--|
| ①緊急時対策本部へのプラントパラメータの表示 | 緊急時対策本部でプラントの状況を把握するため、プラントパラメータを表示。 |
| ②本店等とのテレビ会議システム | 本店、自社内他発電所、東京支社等と多元同時テレビ会議を実施することにより、迅速な支援を受けられるようにする。 |

ロジスティック関係

| 項目 | 内容 |
|----------|---|
| ①食料・水の備蓄 | 実際の対応では、予め定めていた緊急時体制での要員数を超える社員及び協力企業社員が復旧にあたった。この実績を考慮した食料・水の備蓄量の確保、大地震時後の外部からの調達手段等の検討。 |
| ②燃料類の調達 | 大地震時に、電源車他の燃料類の調達手段の確保。 |