

福島原子力事故調査報告書

平成 24 年 6 月 20 日
東京電力株式会社

はじめに

当社福島第一原子力発電所の事故により、発電所周辺地域の皆さまをはじめ、福島県民の皆さま、更に広く社会の皆さまに、大変なご迷惑とご心配をおかけしていることに対し、改めて心より深くお詫び申し上げます。

特に、事故による放射性物質の放出に伴い、今なお多くの方々が避難を余儀なくされていることに対して、重ねてお詫びいたします。

事故の収束・安定化に向けましては、昨年12月「東京電力福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋」に定めた原子炉の冷温停止状態等を条件とするステップ2が完了し、引き続き国と一体となって策定した廃止措置等に向けた中長期ロードマップの実現に向け、取り組んでおります。

事故発生以降、政府、関係諸機関、メーカー等の皆さまをはじめ、国内外を問わず数多くの皆さまに多大なるご支援とご協力をいただき、改めて心より深く感謝申し上げます。

当社は、今回の事故の重大性に鑑み、同様の事態を再び招かぬよう、事故原因を明らかにし、そこから得られた教訓を今後の事業運営に反映していくことが事故の当事者としての社会的責務であるとの認識の下、昨年6月に社内に「福島原子力事故調査委員会」を設置し、厳正かつ徹底した事故の調査・検証を進めてまいりました。

昨年12月2日には、それまでの調査・検証の結果を整理し、原因と再発防止に向けた主として設備面の対策をとりまとめた「中間報告書」を公表いたしました。

その後、安全上重要な設備は地震以降も機能を維持できていたのか、現場は全電源喪失という困難な状況において、どのように機器の状態把握や情報収集を行ったのか、事故対応のオペレーションに間違いはなかったのか、本店を含め指揮命令系統は機能していたのか等、炉心損傷に至る重大事故からより多くの教訓を得るために特に重要と思われる点を中心に、可能な限りの現場確認、記録類の確認、関係者へのヒアリングなどの情報収集を行いました。得られた情報を基に解析手法を用いて事象進展の評価結果を合わせて客観的に解明するなど、更なる調査・検証を進めてまいりました。

併せて、事故発生当初の発電所への支援、情報公開、放射線管理の状況や放射性物質の放出評価など、中間報告書では触れていなかった項目についても調査・検証を行ってまいりました。

こうした調査・検証の結果を、この度「福島原子力事故調査報告書」としてとりまとめました。

本報告書は、原子力安全に対するこれまでの取り組み、地震・津波の大きさとそれによる設備への影響、事故対応の状況、それらから得られた教訓に基づく設備面及び運用面の対策について、調査・検証で明らかとなった事実をもとに詳述しています。

また、事故の当事者として、発電所の内外でどのようなことが起きていたのか、事象が進展する中で当事者たちは何を考え、判断し、どのように行動したのか、これまで原子力安全の確保に向けてどのような意識で取り組んできたのか等を、正確にかつ詳細に事実をお伝えすることが我々の責務であると考えて、可能な限り明らかにするように努めてまいりました。

なお、本報告書を取りまとめるにあたっては、社外有識者で構成される「原子力安全・品質保証会議 事故調査検証委員会」にお諮りし、中間報告書公表の際にいただいた同委員会の「意見」を反映するとともに、専門的見地や第三者としての客観的な立場から様々な助言をいただいております。

本報告書は、原子力安全の確保に必要なものは何かを念頭に取りまとめたものであり、得られた教訓と反省を今後の事業運営に反映してまいります。また、本報告書が国内外プラントの安全性向上に繋がる一助となるとともに、広く社会の皆さまにもご一読いただければ幸いです。

改めまして、当社は事故の責任を痛感し、二度とこのような事態をひき起こさないよう、安全第一の事業運営を徹底していくとともに、福島第一原子力発電所における原子炉の廃止措置に向けた中長期的な取り組みを着実に進めてまいります。

東京電力株式会社 福島原子力事故調査委員会委員長
山崎 雅男

－ 事故調査の目的・体制・開催状況等 －

1. 目的

事故の当事者の立場として、事実を整理・自ら検証することにより、事故原因を明らかにし、そこから得られた教訓を今後の事業運営に反映していくこと。

2. 体制

(1) 福島原子力事故調査委員会

(構成メンバー)

委員長	代表取締役副社長	山崎 雅男
委員	代表取締役副社長	武井 優
	常務取締役	山口 博
	常務取締役	内藤 義博
	企画部長	
	技術部長	
	総務部長	
	原子力品質監査部長	計 8 名

(2) 事故調査検証委員会

「福島原子力事故調査委員会」で取りまとめた調査結果について、専門的見地や第三者としての客観的な立場からご意見をいただく諮問機関として「原子力安全・品質保証会議」の下に社外有識者で構成する委員会を設置

(構成メンバー)

委員長	矢川 元基 氏 (東京大学名誉教授)
委員	犬伏 由利子 氏 (消費科学連合会副会長)
	河野 武司 氏 (慶應義塾大学教授)
	高倉 吉久 氏 (東北放射線科学センター理事)
	首藤 伸夫 氏 (東北大学名誉教授)
	中込 秀樹 氏 (弁護士)
	向殿 政男 氏 (明治大学教授)

3. 方法

(1) 福島原子力事故調査委員会

結果を取りまとめるにあたり、以下の調査・確認を実施した。

- ・ 原子力事業者防災業務計画、操作手順書類等の事故前から使用されていた今回事故に関連するマニュアル類の調査・確認
- ・ 今回の事故時に採取された地震・津波のデータ、プラント挙動を示すチャート、警報発生記録等データ、その他採取・記録したプラントパラメータ、並びに事故時に記録された運転日誌、ホワイトボード等の記録類の調査・確認
- ・ 今回の事故時に採取されたデータをもとに実施した津波のインバージョン解析、地震応答解析、炉心損傷解析等の解析評価
- ・ 当社社員およびロボットによって実施した屋内外の主要設備に関する実地調査
- ・ 聞き取り及び記録類による調査・事実認定
(発電所の災害対策要員を中心に延べ600名に聞き取りをするとともに各種記録類との突き合わせによる事実認定を実施)

(2) 事故調査検証委員会

福島原子力事故調査委員会からの説明に対し、以下を主な視点として検証していただいた。

- ・ 調査や検証の方法が適切であるか
- ・ 事実関係について客観的な証拠などに基づいているか、振り返りの視点ではなく、事象の進展に即して、調査されているか
- ・ 調査内容が妥当であるか
- ・ 第三者に対してわかりやすく説明しているか

なお、検証委員会には、毎回、福島原子力事故調査委員会の委員に加え、福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所及び柏崎刈羽原子力発電所の所長他の責任者も出席した。

4. 委員会の開催状況

(1) 福島原子力事故調査委員会

- ・ 平成23年6月11日 第1回福島原子力事故調査委員会
福島原子力発電所の概要、地震・津波の状況、地震・津波による被害の状況について
- ・ 平成23年7月26日 第2回福島原子力事故調査委員会
初動対応の状況、津波到達以降の事故対応とプラント挙動について
- ・ 平成23年9月20日 第3回福島原子力事故調査委員会
プラント水素爆発評価、事故の分析と課題抽出、事故対応を踏まえた今後の対応について
- ・ 平成23年11月5日 第4回福島原子力事故調査委員会
福島原子力事故調査報告書（中間報告書）案について
- ・ 平成24年2月10日 第5回福島原子力事故調査委員会
最終報告に向けてのスケジュール、最終報告書の構成について
- ・ 平成24年3月29日 第6回福島原子力事故調査委員会
災害時の対応態勢、発電所支援、放射線管理等について
- ・ 平成24年4月14日 第7回福島原子力事故調査委員会
運用面課題整理、安全管理・リスク管理の取り組み等について
- ・ 平成24年5月30日 第8回福島原子力事故調査委員会
福島原子力事故調査報告書（最終報告書）案について

(2) 事故調査検証委員会

①委員会

- ・ 平成23年6月15日 第1回事故調査検証委員会
福島原子力発電所の概要、地震・津波の状況、地震・津波による被害の状況について
- ・ 平成23年8月3日 第2回事故調査検証委員会
初動対応の状況、津波到達以降の事故対応とプラント挙動について
- ・ 平成23年9月22日 第3回事故調査検証委員会
プラント水素爆発評価、事故の分析と課題抽出、事故対応を踏まえた今後の対応について
- ・ 平成23年11月10日 第4回事故調査検証委員会
福島原子力事故調査報告書（中間報告書）案について
- ・ 平成24年4月16日 第5回事故調査検証委員会

最終報告書の構成、災害時の対応態勢、発電所支援、放射線管理、運用面課題整理、安全管理・リスク管理の取り組み等について

- ・平成24年6月4日 第6回事故調査検証委員会

福島原子力事故調査報告書（最終報告書）案について

このほか、個別の詳細説明や質疑応答のための個別会合を70回以上行った。

さらに、原子力・立地本部の経営層との個別の意見交換を実施した。

②現地調査の実施

- ・平成23年7月8日、平成24年2月1日 : 福島第一原子力発電所
- ・平成24年4月24日、平成24年5月10日 : 柏崎刈羽原子力発電所

目 次

1. 本報告書の目的	1
2. 福島原子力事故の概要	1
2. 1 福島第一原子力発電所の概要	1
2. 2 福島第二原子力発電所の概要	1
2. 3 事故の概要	2
2. 4 事故調査の内容と本報告書の構成	3
3. 東北地方太平洋沖地震の概況と地震・津波への備え	6
3. 1 地震及び津波の規模	6
3. 2 発電所を襲った地震の大きさ	7
(1) 福島第一原子力発電所での観測結果	
(2) 福島第二原子力発電所での観測結果	
3. 3 発電所を襲った津波の大きさ	8
(1) 津波波形の特徴	
(2) 福島第一原子力発電所での津波調査結果	
(3) 福島第二原子力発電所での津波調査結果	
(4) 福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所の津波高さの差異の理由	
3. 4 地震への備え（耐震安全性評価）	13
(1) 耐震安全性評価の経緯	
(2) 耐震安全性評価（中間報告書）	
3. 5 津波への備え	16
(1) 津波高さの評価	
(2) 津波に関する関連機関等の主張と当社の対応	
(3) スマトラ島沖地震以降の我が国の地震・津波の評価	
(4) 建屋敷地高さ	
(5) まとめ	
4. 安全確保への備え（地震・津波を除く）	35
4. 1 法令全般	35
4. 2 防災業務計画	35
4. 3 設備設計	36
4. 4 新たな知見の取り込み	36
4. 5 シビアアクシデントへの備え	39
(1) アクシデントマネジメント整備	
(2) アクシデントマネジメント策における確率論的安全評価（PSA） の取り組み	
(3) アクシデントマネジメント策と今回の事故	
4. 6 安全文化・リスク管理面での取り組み	46
(1) 安全・品質の向上に向けた取り組み	
(2) 部門横断的なリスク管理の取り組み	

5. 災害時の対応態勢の計画と実際	5 2
5. 1 原子力災害発生時の態勢（計画）	5 2
(1) 防災計画の整備	
(2) オフサイトセンターの基本的な体制と役割	
(3) オフサイトセンターの設備概要	
5. 2 当社の対応態勢詳細（計画）	5 5
(1) 非常態勢（一般災害）	
(2) 緊急時態勢（原子力災害）	
5. 3 今回の事故における対応状況	5 7
(1) 非常態勢並びに緊急時態勢の確立	
(2) 国への情報提供	
(3) 周辺地域への情報提供	
(4) 情報公開	
(5) 人員派遣と活動状況	
(6) オフサイトセンターでの活動状況	
(7) 撤退問題	
6. 地震の発電所への影響	8 4
6. 1 地震発生直前のプラント状況	8 4
(1) 福島第一原子力発電所の状況	
(2) 福島第二原子力発電所の状況	
6. 2 地震発生直後のプラント状況	8 4
(1) 福島第一1号機の状況	
(2) 福島第一2号機の状況	
(3) 福島第一3号機の状況	
(4) 福島第一4号機の状況	
(5) 福島第一5号機の状況	
(6) 福島第一6号機の状況	
(7) 福島第二原子力発電所の状況	
6. 3 外部電源の状況	9 2
(1) 福島第一原子力発電所	
(2) 福島第二原子力発電所	
(3) 外部電源設備の損傷原因	
(4) 外部電源まとめ	
6. 4 地震による設備への影響評価	9 7
(1) プラントパラメータによる評価	
(2) 観測記録を用いた地震応答解析結果	
(3) 発電所設備の目視確認結果	
(4) 設備への影響評価まとめ	
7. 津波による設備の直接被害の影響	1 0 5
7. 1 福島第一原子力発電所の被害状況	1 0 5
(1) 主要建屋への浸水経路	
(2) 津波による設備被害	
7. 2 福島第二原子力発電所の被害状況	1 0 9
(1) 主要建屋への浸水経路	

(2) 津波による設備被害	
7. 3 津波による設備被害まとめ	1 1 2
(1) 福島第一原子力発電所	
(2) 福島第二原子力発電所	
8. 地震・津波到達以降の対応状況	1 1 3
8. 1 構内の人動き	1 1 4
(1) 地震前の発電所構内の社員及び協力企業作業員の勤務状況	
(2) 地震発生直後の人の動き（放射線管理区域からの避難・誘導）	
(3) 中央制御室の人の動き	
(4) 1 2日以降の社員、協力企業作業員の人の動き	
8. 2 福島第一1号機の対応とプラントの動き	1 1 8
(1) 対応状況の概要	
(2) 対応状況詳細	
(3) プラントの動き	
(4) まとめ	
8. 3 福島第一2号機の対応とプラントの動き	1 5 6
(1) 対応状況の概要	
(2) 対応状況詳細	
(3) プラントの動き	
(4) まとめ	
8. 4 福島第一3号機の対応とプラントの動き	1 7 8
(1) 対応状況の概要	
(2) 対応状況詳細	
(3) プラントの動き	
(4) まとめ	
8. 5 福島第一4号機の対応とプラントの動き	2 0 4
8. 6 福島第一5号機の対応とプラントの動き	2 0 6
(1) 対応状況	
(2) まとめ	
8. 7 福島第一6号機の対応とプラントの動き	2 1 2
(1) 対応状況	
(2) まとめ	
8. 8 福島第二1号機の対応とプラントの動き	2 1 6
(1) 対応状況	
(2) プラントパラメータの動き	
(3) まとめ	
8. 9 福島第二2号機の対応とプラントの動き	2 2 2
(1) 対応状況	
(2) プラントパラメータの動き	
(3) まとめ	
8. 10 福島第二3号機の対応とプラントの動き	2 2 6
(1) 対応状況	
(2) プラントパラメータの動き	
(3) まとめ	

8.	1 1	福島第二4号機の対応とプラントの動き	2 2 9
		(1) 対応状況	
		(2) プラントパラメータの動き	
		(3) まとめ	
9.		使用済燃料プール冷却の対応	2 3 3
		(1) 福島第一原子力発電所における使用済燃料プールの注水確保の経緯	
		(2) 福島第一原子力発電所の使用済燃料プールの冷却	
		(3) 福島第二原子力発電所の使用済燃料プールの冷却	
1 0.		発電所支援	2 3 7
1 0.	1	福島第一原子力発電所への人的支援	2 3 7
		(1) 福島第一原子力発電所への支援人数	
		(2) 支援活動の内容	
		(3) 支援活動の実績	
1 0.	2	福島第一原子力発電所への資機材支援	2 4 2
		(1) バッテリーの確保	
		(2) 電源車の確保	
		(3) 消防車の確保	
1 0.	3	使用済燃料プールへの注水・冷却支援	2 5 2
1 0.	4	発電所支援の評価	2 5 3
		(1) 問題点	
		(2) 評価できる点	
1 1.		プラント爆発評価	2 5 5
1 1.	1	爆発原因の推定	2 5 5
		(1) 可燃性液体の蒸発による爆発	
		(2) 水蒸気爆発	
		(3) 水素爆発	
1 1.	2	地震計による爆発事象の考察	2 5 6
1 1.	3	水素爆発の原因	2 5 9
		(1) 水素の原子炉建屋への漏えい経路	
		(2) 4号機水素爆発の原因	
		(3) 非常用ガス処理系の設計・運用と今回の事故	
		(4) 水素爆発防止への取り組み	
1 2.		放射性物質の放出評価	2 6 9
1 2.	1	放射性物質の大気放出	2 6 9
		(1) 格納容器ベント操作	
		(2) 放射性物質を含む「蒸気雲」の移動と空間線量率の変化	
		(3) ベント操作とモニタリングデータに関する考察	
		(4) 福島第一原子力発電所からみて北西方向の地域の汚染要因	
		(5) 主な事象毎の放射性物質の大気への放出量	
1 2.	2	放射性物質の海洋への放出	2 7 9
		(1) タービン建屋への汚染水流入	
		(2) 高濃度汚染水流出の危険と保管場所確保の緊急性	

(3) 特別プロジェクト全体会議での対応検討	
(4) 2号機取水口スクリーン（除塵装置）付近からの高濃度汚染水の流出	
(5) 6号機建屋内への地下水流入による電源喪失の危険性	
(6) 低濃度汚染水の海洋放出による高濃度汚染水の保管場所確保等	
(7) 2号機取水口スクリーン付近からの放出量	
(8) 3号機取水口スクリーン付近からの放出量	
(9) 海洋への影響	
(10) 汚染水の流出防止・拡散抑制強化対策	
1 2. 3 放出量評価	292
(1) 大気への放射性物質の放出量評価	
(2) 海洋（港湾付近）への放射性物質の放出量評価	
1 3. 放射線管理の対応評価	298
1 3. 1 地震発生前の放射線管理	298
1 3. 2 地震発生後の放射線管理	298
(1) 放射線管理の概要	
(2) 格納容器ベント操作時の環境影響評価	
(3) 免震重要棟等の状況と線量低減対策	
(4) 「J ヴィレッジ」及び「小名浜コールセンター」の出入拠点	
(5) 緊急時における被ばく線量基準、スクリーニング基準	
(6) 個人被ばく管理体制の再構築	
(7) 緊急作業の放射線管理	
(8) 各種放射線測定とデータ公表	
1 3. 3 作業員の被ばくの状況と対応	305
(1) 作業員の被ばく線量分布	
(2) 線量限度を超える作業員の被ばく	
(3) ヨウ素剤の服用状況	
(4) 医師の常駐化	
1 4. 事故対応に関する設備（ハード）面の課題抽出	310
1 4. 1 プラントの事象進展からの課題	310
1 4. 2 事故対応を困難にした阻害要素からの課題	314
(1) プラント監視機能喪失（放射線監視、気象観測含む）	
(2) 通信連絡手段喪失	
(3) 作業環境等の悪化（津波瓦礫、照明喪失、放射性物質放出、爆発の被害）	
1 4. 3 炉心損傷事象に対する課題のまとめ	316
1 5. 事故対応に関する運用（ソフト）面の課題抽出	320
1 5. 1 事故想定に対する甘さ	320
1 5. 2 事故対応態勢	320
(1) 政府・国、自治体、事業者の役割分担	
(2) 初動対応、専念できる態勢	
(3) 長期対応態勢	
(4) 放射線に対処できる態勢	
1 5. 3 情報伝達・情報共有	322
1 5. 4 所掌未確定事項への対応	323

1 5. 5	情報公開	3 2 3
1 5. 6	資機材輸送	3 2 3
1 5. 7	放射線管理	3 2 4
	(1) 放射線被ばく管理、出入管理	
	(2) スクリーニングレベルの見直し方法	
1 5. 8	機器の状態・動作の把握	3 2 4
1 6.	事故原因とその対策	3 2 5
1 6. 1	炉心損傷防止のための設備対応方針	3 2 7
1 6. 2	設備（ハード）面での具体的対策	3 3 0
	(1) 徹底した建屋への浸水対策	
	(2) 高圧注水設備	
	(3) 減圧装置	
	(4) 低圧注水設備	
	(5) 除熱・冷却設備	
	(6) 監視計器の電源確保	
	(7) 炉心損傷後の影響緩和策	
	(8) 共通的事項	
	(9) 中長期的技術検討課題	
1 6. 3	運用（ソフト）面での対策	3 4 2
	(1) 緊急時対応態勢	
	(2) 情報伝達・情報共有	
	(3) 所掌未確定事項への対応	
	(4) 情報公開	
	(5) 資機材輸送	
	(6) 出入管理拠点の整備	
	(7) 原子力災害時における安全の確保（放射線安全他）	
	(8) 機器の状態・動作の評価	
1 6. 4	国等への提言事項	3 4 8
	(1) オフサイトセンターのあり方	
	(2) 資機材調達	
	(3) 緊急時線量限度、スクリーニングレベルの見直し方法	
	(4) 外的事象の基準策定	
	(5) 津波データの利用	
	(6) 低線量被ばくの影響調査について	
1 6. 5	一層の安全確保に向けた全社的なリスク管理の充実・強化	3 5 0
1 7.	結び	3 5 2

別 紙

1. 撤退問題に関する官邸関係者の発言
2. 福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における対応状況について（平成24年6月版）

補足資料一覧

添 付

【1. 本報告書の目的】

—

【2. 福島原子力事故の概要】

- 2-1 福島第一原子力発電所の概要
- 2-2 福島第二原子力発電所の概要
- 2-3 (1) 福島第一、福島第二原子力発電所の原子炉格納容器の形状
- 2-3 (2) マーク I 原子炉格納容器の設計について

【3. 東北地方太平洋沖地震の概況と地震・津波への備え】

- 3-1 東北地方太平洋沖地震の概要
- 3-2 福島第一原子力発電所地震観測記録と設計用地震動との比較
- 3-3 福島第一原子力発電所における地震観測記録のはざとり解析について
- 3-4 福島第二原子力発電所地震観測記録と設計用地震動との比較
- 3-5 福島第二原子力発電所における地震観測記録のはざとり解析について
- 3-6 津波の計算波形と観測波形の比較（第12回 南海トラフの巨大地震モデル検討会資料）
- 3-7 福島第一原子力発電所における津波の調査結果（浸水高、浸水深及び浸水域）
- 3-8 福島第一原子力発電所の屋外浸水状況（3月11日）
- 3-9 福島第一原子力発電所に襲来した津波の状況
- 3-10 福島第一原子力発電所における津波の再現計算結果（浸水深及び浸水域）
- 3-11 福島第二原子力発電所における津波の調査結果（浸水高、浸水深及び浸水域）
- 3-12 福島第二原子力発電所における津波の再現計算結果（浸水深及び浸水域）
- 3-13 福島第一と福島第二との津波の差異に関する分析
- 3-14 耐震バックチェックに係る主な経緯
- 3-15 津波の安全性評価に係る主な経緯
- 3-16 各研究機関等から提案されている波源及び波源の領域
- 3-17 過去に東北地方周辺で発生した主な津波
- 3-18 福島第一原子力発電所建屋敷地高さの設計について
- 3-19 過去に東北地方に襲来した津波の痕跡
- 3-20 マグニチュードから見た地震エネルギーの大きさ

【4. 安全確保への備え（地震・津波を除く）】

- 4-1 原子力発電所における工学的安全施設の多重性、多様性、独立性
- 4-2 各号機における「冷やす」「閉じ込める」機能を持つ設備の設置状況
- 4-3 継続的なリスク低減（継続的な改善）－設備改造の例－
- 4-4 溢水勉強会とそれを踏まえた対応状況等について

- 4-5 新潟県中越沖地震の教訓から福島第一・第二原子力発電所へ水平展開した具体例
- 4-6 アクシデントマネジメント（AM）整備の経緯
- 4-7 整備したAM内容 「冷やす」「閉じこめる」「電力供給」機能の強化

【5. 災害時の対応態勢の計画と実際】

- 5-1 原災法第10条通報の連絡先、原災法第10条通報後の連絡先
- 5-2 発電所原子力防災組織の態勢と主な業務
- 5-3 本店原子力防災組織の態勢と主な業務
- 5-4 緊急時態勢の変遷
- 5-5 緊急時対応情報表示システム（SPDS）
- 5-6 東北地方太平洋沖地震発生に伴う立地班の対応実績
- 5-7 福島原子力事故に関する報道対応状況の時系列（本店）
- 5-8 保安院と東京電力の広報連携体制について（原子力安全・保安院文書）
- 5-9 当社の情報公開に関する主な記事（3月12日～16日、主要新聞紙）
- 5-10 退避の手順

【6. 地震の発電所への影響】

- 6-1 (1)～(16) 福島第一1号機 プラントデータ
- 6-2 (1)～(15) 福島第一2号機 プラントデータ
- 6-3 (1)～(15) 福島第一3号機 プラントデータ
- 6-4 福島第一原子力発電所 外部電源受電状況一覧表、外部電源系統概略図（地震後、津波前の状態）、外部電源系統概略図（津波後の状態）、外部電源設備の被害状況
- 6-5 福島第一原子力発電所 外部電源受電復旧の経緯、外部電源復旧概略図
- 6-6 福島第二原子力発電所 外部電源受電状況一覧表、外部電源系統概略図（地震後、津波前の状態）、外部電源系統概略図（津波後の状態）
- 6-7 (1-1) 福島第一原子力発電所1号機 平成23年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた原子炉建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系の地震応答解析結果について
- 6-7 (1-2) 福島第一原子力発電所2号機 平成23年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた原子炉建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系の地震応答解析結果について
- 6-7 (1-3) 福島第一原子力発電所3号機 平成23年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた原子炉建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系の地震応答解析結果について
- 6-7 (1-4) 福島第一原子力発電所4号機 平成23年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた原子炉建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系の地震応答解析結果について
- 6-7 (1-5) 福島第一原子力発電所5号機 平成23年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた原子炉建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系の地震応答解析結果について
- 6-7 (1-6) 福島第一原子力発電所6号機 平成23年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた原子炉建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系の地震応答解析結果について

- 6-7 (1-7) 福島第一原子力発電所における平成23年東北地方太平洋沖地震の観測記録の一部中断について
- 6-7 (2-1) 福島第二原子力発電所1号機 平成23年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた原子炉建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系の地震応答解析結果に関する報告書(概要)
- 6-7 (2-2) 福島第二原子力発電所2号機 平成23年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた原子炉建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系の地震応答解析結果に関する報告書(概要)
- 6-7 (2-3) 福島第二原子力発電所3号機 平成23年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた原子炉建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系の地震応答解析結果に関する報告書(概要)
- 6-7 (2-4) 福島第二原子力発電所4号機 平成23年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた原子炉建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系の地震応答解析結果に関する報告書(概要)
- 6-7 (2-5) 福島第二原子力発電所における平成23年東北地方太平洋沖地震の観測記録の一部中断について
- 6-7 (3-1) 「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書(その1)」の概要について
- 6-7 (3-2) 「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書(その2)」の概要について
- 6-7 (3-3) 「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書(その3)」の概要について
- 6-8 福島第一原子力発電所 配管の疲労評価
- 6-9 (1) 福島第一5号機 設備状況確認結果
- 6-9 (2) 福島第一6号機 設備状況確認結果
- 6-9 (3) 福島第一1号機 非常用復水器(IC) 目視確認結果
- 6-9 (4) 福島第一2号機 ロボットによる原子炉建屋内の状況確認結果
- 6-9 (5) 福島第一2号機 ロボットによるトラス室の状況確認結果
- 6-9 (6) 福島第一1号機, 2号機, 3号機 タービン建屋設備状況確認結果
- 6-9 (7) 福島第一1~4号機 屋外設備状況確認結果
- 6-9 (8) 福島第一原子力発電所 ろ過水タンク、純水タンク状況確認結果
- 6-9 (9) 福島第一原子力発電所 屋外消火系配管状況確認結果
- 6-9 (10) 福島第一5号機, 6号機 建屋の目視点検結果
- 6-9 (11) 福島第一原子力発電所 防災道路状況確認結果
- 6-10 (1) 福島第一5号機 主な設備状況一覧表
- 6-10 (2) 福島第一6号機 主な設備状況一覧表

【7. 津波による設備の直接被害の影響】

- 7-1 福島第一原子力発電所 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
- 7-2 福島第一原子力発電所 海側エリア、屋外海水設備の損傷状況、福島第一5、6号機スクリーン設備点検用クレーン転倒による海水ポンプの損傷状況、福島第一6号機 非常用海水冷却設備の状況
- 7-3 福島第一原子力発電所 津波による電源系の被害状況
- 7-4 福島第一原子力発電所 所内電源設備の被害状況(津波後)

- 7-5 (1) 福島第二原子力発電所 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
- 7-5 (2) 福島第二1号機 非常用ディーゼル発電機被水状況
- 7-6 福島第二原子力発電所 津波による電源系の被害状況
- 7-7 福島第二原子力発電所 所内電源設備の被害状況 (津波後)
- 7-8 (1) 福島第一1号機 非常用炉心冷却系 (補機類も含む) 一覧表 (地震前、地震後、津波襲来後)、福島第一1号機 系統概略図
- 7-8 (2) 福島第一2号機 非常用炉心冷却系 (補機類も含む) 一覧表 (地震前、地震後、津波襲来後)、福島第一2号機 系統概略図
- 7-8 (3) 福島第一3号機 非常用炉心冷却系 (補機類も含む) 一覧表 (地震前、地震後、津波襲来後)、福島第一3号機 系統概略図
- 7-8 (4) 福島第一4号機 非常用炉心冷却系 (補機類も含む) 一覧表 (地震前、地震後、津波襲来後)、福島第一4号機 系統概略図
- 7-8 (5) 福島第一5号機 非常用炉心冷却系 (補機類も含む) 一覧表 (地震前、地震後、津波襲来後)、福島第一5号機 系統概略図
- 7-8 (6) 福島第一6号機 非常用炉心冷却系 (補機類も含む) 一覧表 (地震前、地震後、津波襲来後)、福島第一6号機 系統概略図
- 7-9 (1) 福島第二1号機 非常用炉心冷却系 (補機類も含む) 一覧表 (地震前、地震後、津波襲来後)、福島第二1号機 系統概略図
- 7-9 (2) 福島第二2号機 非常用炉心冷却系 (補機類も含む) 一覧表 (地震前、地震後、津波襲来後)、福島第二2号機 系統概略図
- 7-9 (3) 福島第二3号機 非常用炉心冷却系 (補機類も含む) 一覧表 (地震前、地震後、津波襲来後)、福島第二3号機 系統概略図
- 7-9 (4) 福島第二4号機 非常用炉心冷却系 (補機類も含む) 一覧表 (地震前、地震後、津波襲来後)、福島第二4号機 系統概略図

【8. 地震・津波到達以降の対応状況】

- 8-1 福島第一1号機の高圧注水系について
- 8-2 (1) 余震の発生状況 (海域で発生した主な地震の余震発生回数比較 (M5.0以上))
- 8-2 (2) 余震の発生状況 (津波警報の発表実績 (福島県))
- 8-2 (3) 余震の発生状況 (福島第一原子力発電所への津波継続状況の簡易評価)
- 8-3 福島第一1号機の原子炉格納容器 (PCV) ベントについて
- 8-4 ふくいちライブカメラ写真による福島第一1号機の原子炉格納容器 (PCV) ベントの排気について
- 8-5 福島第一1号機 プラントデータ推移
- 8-6 (1) 非常用復水器 (IC) について
- 8-6 (2) 福島第一1号機 非常用復水器 (IC) の系統構成について
- 8-7 (1) 非常用復水器 (IC) 電動弁インターロックブロック線図
- 8-7 (2) 非常用復水器 (IC) 隔離信号回路図 (待機時の状態)
- 8-8 福島第一1号機 非常用復水器 (IC) 弁状態経緯
- 8-9 非常用復水器 (IC) 胴側水位減少量に関する調査結果について
- 8-10 津波襲来直後の福島第一1号機非常用復水器 (IC) の動作状態に対する認識について
- 8-11 福島第一2号機の原子炉格納容器 (PCV) ベントについて
- 8-12 福島第一2号機 プラントデータ推移

- 8-13 福島第一3号機の原子炉格納容器（PCV）ベントについて
- 8-14 ふくいちライブカメラ写真による福島第一3号機の原子炉格納容器（PCV）ベントの排気について
- 8-15 福島第一3号機 プラントデータ推移
- 8-16 福島第一3号機の原子炉圧力の挙動について
- 8-17 福島第二1号機 プラントデータ推移
- 8-18 福島第二2号機 プラントデータ推移
- 8-19 福島第二3号機 プラントデータ推移
- 8-20 福島第二4号機 プラントデータ推移

【9. 使用済燃料プール冷却の対応】

- 9-1 福島第一原子力発電所 使用済燃料貯蔵プール（SFP）の水位評価手法について
- 9-2 福島第一1号機 使用済燃料プール（SFP）の状況調査結果
- 9-3 福島第一2号機 使用済燃料プール（SFP）の状況調査結果
- 9-4 福島第一3号機 使用済燃料プール（SFP）の状況調査結果
- 9-5 福島第一4号機 使用済燃料プール（SFP）の状況調査結果
- 9-6 福島第一5号機 使用済燃料プール（SFP）の状況調査結果
- 9-7 福島第一6号機 使用済燃料プール（SFP）の状況調査結果
- 9-8 福島第一原子力発電所 共用プールの状況調査結果
- 9-9 福島第一原子力発電所 乾式貯蔵キャスク保管建屋の状況調査結果

【10. 発電所支援】

- 10-1 (1) 3月11日～15日における福島第一原子力発電所支援者派遣実績
- 10-1 (2) 初動時における福島第一原子力発電所への人的支援の概要
- 10-2 (1) バッテリーの調達状況一覧
- 10-2 (2) 資機材の搬送状況（バッテリー）
- 10-3 資機材の搬送状況（電源車）
- 10-4 (1) 消防車の調達状況一覧
- 10-4 (2) 資機材の搬送状況（消防車）
- 10-4 (3) 消防車による原子炉注水の概略図

【11. プラント爆発評価】

- 11-1 福島第一1, 3, 4号機の爆発時の加速度波形
- 11-2 福島第一3号機ベント流の4号機原子炉建屋への流入割合について

【12. 放射性物質の放出評価】

- 12-1 土壌サンプリングデータ、DIANA 評価結果と文部科学省の調査結果の比較（Cs137の沈着状況）
- 12-2 モニタリングデータ及び風向トレンド（3月12日）
- 12-3 福島第一1号機 ベント時に放出された「蒸気雲」の軌跡（3月12日）
- 12-4 モニタリングデータ及び風向トレンド（3月14日）
- 12-5 福島第一2号機 ベント時に放出された「蒸気雲」の軌跡（3月14日）
- 12-6 モニタリングデータ及び風向トレンド（3月13日）
- 12-7 福島第一3号機 ベント時に放出された「蒸気雲」の軌跡（3月13日）
- 12-8 (1) モニタリングデータ及び風向トレンド（3月15日）

- 12-8 (2) モニタリングデータ及び風向トレンド (3月16日)
- 12-9 福島第一3号機 ベント時に放出された「蒸気雲」の軌跡 (3月14～20日)
- 12-10 ふくいちライブカメラの映像 (3月15日10:00頃)
- 12-11 福島第一2号機 ベント時に放出された「蒸気雲」の軌跡 (3月15日)
- 12-12 福島県内の雨雲の状況 (3月15日23時、23時30分)
- 12-13 福島第一2号機 取水口スクリーン付近からの流出
- 12-14 福島第一原子力発電所 低濃度汚染水の海洋放出
- 12-15 福島第一3号機 取水口スクリーン付近からの流出
- 12-16 海洋への影響について
- 12-17 汚染水の流出防止・拡散抑制強化対策

【13. 放射線管理の対応評価】

- 13-1 福島第一原子力発電所 免震重要棟内の空气中放射性物質濃度の推移、遮へい設置前後の免震重要棟内線量率推移
- 13-2 保安用品の確保状況
- 13-3 被ばく線量の分布等について
- 13-4 線量限度を超える作業員被ばくについて

【14. 事故対応に関する設備（ハード）面の課題抽出】

- 14-1 炉心冷却機能の確保状況
- 14-2 福島第一・第二原子力発電所 事故の進展（概略）

【15. 事故対応に関する運用（ソフト）面の課題抽出】

- 15-1 (1) 福島第一1, 2号機 PCVベント実施指示文書
- 15-1 (2) 福島第一1号機 注水実施指示文書
- 15-1 (3) 福島第一4号機 消火及び再臨界防止、2号機 注水実施指示文書

【16. 事故原因とその対策】

- 16-1 設備（ハード）面での対策
- 16-2 福島第一原子力発電所1～3号機 事象、原因、対策のまとめ
- 16-3 運用（ソフト）面での対策

【17. 結び】

—

参 考

- 1 (1) 福島第一原子力発電所 プラント主要諸元
- 1 (2) 福島第一原子力発電所 工学的安全設備及び原子炉補助設備諸元
- 2 (1) 福島第二原子力発電所 プラント主要諸元
- 2 (2) 福島第二原子力発電所 工学的安全設備及び原子炉補助設備諸元
- 3 福島第一・第二原子力発電所 設備構成の概要
- 4 福島第一・第二原子力発電所 原子炉水位計の指示範囲
- 5 用語集

関連する主要な報告書（既提出）一覧

- (1) 東北地方太平洋沖地震発生当時の福島第一原子力発電所プラントデータについて
(平成 23 年 5 月 16 日 東京電力株式会社)
- (2) 福島第一原子力発電所における平成 23 年東北地方太平洋沖地震時に取得された地震観測記録の分析に係わる報告 (平成 23 年 5 月 16 日 東京電力株式会社)
- (3) 福島第二原子力発電所における平成 23 年東北地方太平洋沖地震時に取得された地震観測記録の分析に係わる報告 (平成 23 年 5 月 16 日 東京電力株式会社)
- (4) 電気事業法第 106 条第 3 項の規定に基づく報告の徴収に対する報告について
(平成 23 年 5 月 16 日 東京電力株式会社)
- (5) 東北地方太平洋沖地震発生当時の福島第一原子力発電所運転記録及び事故記録の分析と影響評価について (平成 23 年 5 月 23 日 東京電力株式会社)
- (6) 福島第一原子力発電所内外の電気設備の被害状況等に係る記録に関する報告を踏まえた対応について (指示) に対する報告について (平成 23 年 5 月 23 日 東京電力株式会社)
- (7) 福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書 (平成 23 年 5 月 28 日 1 号機及び 4 号機, 平成 23 年 7 月 13 日 3 号機, 平成 23 年 8 月 26 日 2 号機、5 号機及び 6 号機 東京電力株式会社)
- (8) 福島第一原子力発電所 平成 23 年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた原子炉建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系の地震応答解析結果に関する報告書
(平成 23 年 6 月 17 日 2 号機及び 4 号機, 平成 23 年 7 月 28 日 1 号機及び 3 号機, 平成 23 年 8 月 18 日 5 号機及び 6 号機 東京電力株式会社)
- (9) 福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における平成 23 年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の調査結果に係る報告 (その 2)
(平成 23 年 7 月 8 日 東京電力株式会社)
- (10) 福島第二原子力発電所 東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について (平成 23 年 8 月 12 日 東京電力株式会社)
- (11) 福島第二原子力発電所 平成 23 年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた原子炉建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系の地震応答解析結果に関する報告書
(平成 23 年 8 月 18 日 東京電力株式会社)
- (12) 福島第一原子力発電所 東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について (平成 23 年 9 月 9 日 東京電力株式会社)

- (13) 東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原子力発電所 1 号機における事故時運転操作手順書の適用状況について（平成 23 年 10 月 21 日 東京電力株式会社）
- (14) 東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原子力発電所 2 号機における事故時運転操作手順書の適用状況について（平成 23 年 10 月 28 日 東京電力株式会社）
- (15) 東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原子力発電所 3 号機における事故時運転操作手順書の適用状況について（平成 23 年 10 月 28 日 東京電力株式会社）
- (16) 福島第一原子力発電所 1 - 3 号機の炉心損傷状況の推定に関する技術ワークショップにおける説明資料（平成 23 年 11 月 30 日 東京電力株式会社）
- (17) 福島原子力事故調査 中間報告書の公表について（平成 23 年 12 月 2 日 東京電力株式会社）
- (18) 当社福島第一原子力発電所の事故状況及び事故進展の状況調査結果に係る事実関係資料等の経済産業省原子力安全・保安院への報告について（平成 23 年 12 月 22 日 東京電力株式会社）
- (19) 福島第一原子力発電所事故の初動対応について（平成 23 年 12 月 22 日 東京電力株式会社）
- (20) 当社福島第一原子力発電所内外の電気設備の被害状況等の原因究明に関する報告書の経済産業省原子力安全・保安院への提出について（平成 24 年 1 月 19 日 東京電力株式会社）
- (21) 当社福島第一原子力発電所内外の電気設備の被害状況等の原因究明に関する報告書の経済産業省原子力安全・保安院への提出について（平成 24 年 2 月 17 日 東京電力株式会社）
- (22) 原子力発電所等の外部電源の信頼性確保に係る開閉所等の地震対策に関する追加指示に対する経済産業省原子力安全・保安院への報告について（平成 24 年 2 月 17 日 東京電力株式会社）
- (23) 福島第一原子力発電所 1 号機の原子炉設置許可申請書における非常用復水器の記載に関する経済産業省原子力安全・保安院への報告について（平成 24 年 3 月 12 日 東京電力株式会社）
- (24) MAA P コードによる炉心・格納容器の状態の推定（平成 24 年 3 月 12 日 東京電力株式会社）
- (25) 東北地方太平洋沖地震発生当時の福島第一および福島第二原子力発電所のプラントデータの欠落等について（平成 24 年 3 月 12 日 東京電力株式会社）

- (26) 福島第一原子力発電所における東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響に係る経済産業省原子力安全・保安院への報告について（平成24年5月9日 東京電力株式会社）
- (27) 福島第二原子力発電所における東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響に係る経済産業省原子力安全・保安院への報告について（平成24年5月9日 東京電力株式会社）
- (28) 東北地方太平洋沖地震の影響による福島第一原子力発電所の事故に伴う大気および海洋への放射性物質の放出量の推定について（平成24年5月現在における評価）（平成24年5月24日 東京電力株式会社）

1. 本報告書の目的

本報告書は、福島第一原子力発電所の事故について、これまでに明らかとなった事実や解析結果等に基づき原因を究明し、原子力発電所の安全性向上に寄与するため、必要な対策を提案することを目的としている。

このため、同様の事態を再び招かぬよう、現に生じた事象を設備や運用の改善につなげていくことが重要であるとの観点から、炉心損傷の未然防止に関する課題の検討を中心としている。従って、調査・検討の対象とした期間は、基本的に平成23年3月11日から3月15日までとしているが、使用済燃料プールの冷却、放射性物質の放出や放射線管理等の項目については、事象進展が緩やかであったり、問題発生期間が長かったりすることから、調査・検討すべき期間も実態に合わせて延長している。

なお、本報告書は平成23年12月2日に公表した福島原子力事故調査報告書（中間報告書）に、その後の調査で明らかとなった事実や新たに抽出した課題の検討、必要な対策を加筆して取りまとめたものである。

また、事故原因や事故対応に関することであって、社会的な関心事となっている事項についても可能な限り応えることができるよう考慮して報告書を作成した。その他、関連する炉心の損傷状態の評価は、別途、評価報告書「福島第一原子力発電所 1～3号機の炉心状態について（平成23年11月30日）」を公表している。

2. 福島原子力事故の概要

2. 1 福島第一原子力発電所の概要

福島第一原子力発電所は、福島県太平洋岸のほぼ中央、双葉郡大熊町と双葉町にまたがって位置する。敷地は、海岸線に長軸をもつ半楕円状の形状となっており、敷地面積は約350万 m^2 である。

6基の沸騰水型軽水炉（BWR）が設置されており、1号機～4号機は発電所の南部分に立地し、南から4，3，2，1号機の順に配置され、5号機、6号機は発電所の北部分に立地し、南から5，6号機の順に配置されている。1号機は発電機出力が46万kW、2号機～5号機は各々78.4万kWであり、いずれもマークⅠ型の原子炉格納容器を持つ。6号機は110万kWであり、マークⅡ型の原子炉格納容器となっている。総発電設備容量は469.6万kWであり、昭和46年3月の1号機の営業運転開始から昭和54年10月の6号機まで、6基が順次営業運転を開始した。

平成23年3月11日の発災時は、1号機～3号機は定格出力運転中、4号機～6号機は定期検査のため停止中であつた。 【添付2-1，2-3】

2. 2 福島第二原子力発電所の概要

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、双葉郡楢葉町と富岡町にまたがって位置する。敷地面積は約150万 m^2 である。

4基の沸騰水型軽水炉（BWR）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、1号機はマークⅡ型、

2号機～4号機はマークⅡ改良型の原子炉格納容器となっている。総発電設備容量は440万kWであり、昭和57年4月の1号機の営業運転開始から昭和62年8月の4号機まで4基が順次営業運転を開始した。

今般の発災時は、1号機～4号機ともに定格出力運転中であった。

【添付2-2, 2-3】

2.3 事故の概要

平成23年3月11日、福島第一原子力発電所では1号機から3号機、福島第二原子力発電所では1号機から4号機が運転中であったが、同日14時46分に発生した岩手県沖から茨城県沖の広い範囲を震源域とする東北地方太平洋沖地震を受けて、運転中の原子炉はすべて自動停止した。なお、原子炉の自動停止（スクラム）は、一切の電源を要することなく作動する。

同時に福島第一原子力発電所では、地震によってすべての外部電源（送電線等からの電力供給）が失われたが、非常用ディーゼル発電機（以下、「非常用D/G」という）が起動し、原子炉の安全維持に必要な電源が確保された。また、福島第二原子力発電所では、外部電源の喪失には至らなかった。

その後、襲来した史上稀に見る大きな津波により、福島第一原子力発電所では、多くの電源盤が被水・浸水するとともに、6号機を除き、運転中の非常用D/Gが停止し、全交流電源喪失の状態となったため、交流電源を用いるすべての冷却機能が失われた。また、冷却用海水ポンプも冠水し、原子炉内部の残留熱（崩壊熱）を海水へ逃がすための機能（除熱機能）を喪失した。さらに、1号機から3号機では、直流電源喪失により交流電源を用いない炉心冷却機能までも順次停止していった。

このため、臨機の応用動作として、消防車を用いた消火系ラインによる淡水及び海水の代替注水に努めたが、結果として、1号機から3号機は、それぞれ原子炉圧力容器への注水ができない事態が一定時間継続した。これにより、各号機の燃料が水に覆われずに露出することで燃料棒被覆管が損傷し、燃料棒内にあった放射性物質が原子炉圧力容器内に放出されるとともに、燃料棒被覆管（ジルコニウム）と水蒸気の化学反応により大量の水素が発生した。

そのため、放射性物質や水素が原子炉圧力容器から蒸気とともに格納容器内へ主蒸気逃がし安全弁等を経て放出され、格納容器の内圧が上昇した。そこで、格納容器ベント¹を行うことを数回試みた。1号機と3号機ではベント操作によって格納容器の圧力低下が確認されたが、2号機についてはベントによる格納容器の圧力低下は確認されていない。

その後、1号機と3号機では、格納容器から漏えいした水素が原因と考えられる爆発により、それぞれの原子炉建屋上部が破壊された。

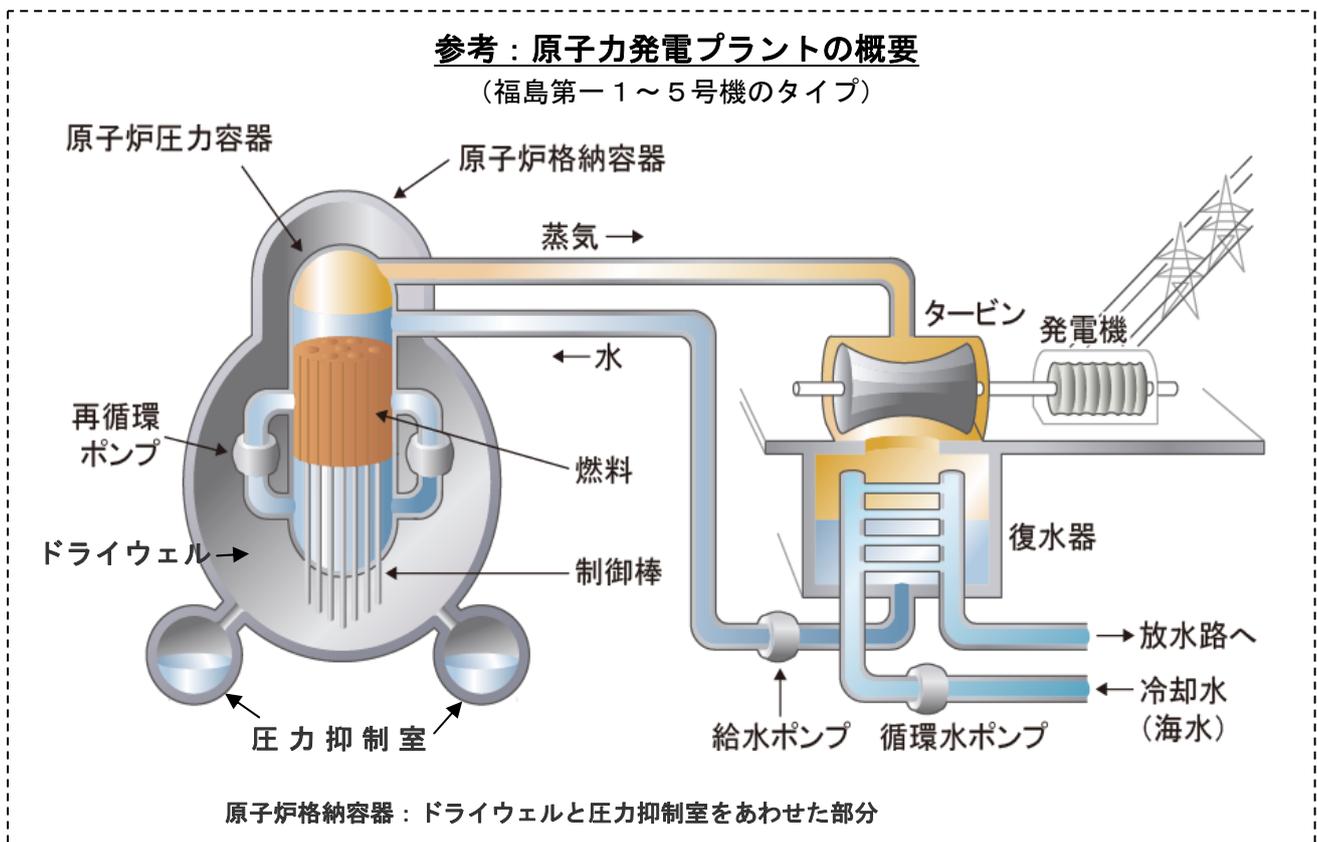
また、燃料がすべて使用済燃料プールへ取り出されていた4号機では燃料の冠水が維持されていたが、3号機ベントで流入してきたと考えられる水素によって原子炉建屋上部で爆発が発生した。

¹格納容器破損によって放射性物質の放出をコントロールできない事態を招き被害を拡大させることを避けることを目的に、格納容器内の気体を大気放出する操作

福島第一5号機、6号機においては、6号機の非常用D/Gが機能を維持していたため、その電力を5号機へ融通することにより、5号機、6号機ともに炉心への注水を行うことができ、さらに、原子炉内部の残留熱（崩壊熱）を海水へ逃がすための機能を回復することで冷温停止に至ることができた。また、福島第二原子力発電所においても、外部電源が機能を維持できたこと、さらに津波の規模が福島第一原子力発電所ほど大きくなかったことなどから、非常用海水系の仮設電源の復旧などの迅速な対応が功を奏し、全号機冷温停止に成功している。

しかしながら、福島第一1号機から3号機においては事故が連鎖的に拡大して甚大な原子力災害に発展した。

なお、福島第一原子力発電所においては、各号機及び共用の使用済燃料プールは事故対応が功を奏し注水及び冷却機能を回復することができた。



2. 4 事故調査の内容と本報告書の構成

本事故調査においては、事前の備えと事後の対応の事実関係について調査・検討を進め、その結果を取りまとめるとともに、課題の抽出・対策の立案を行っている。調査・検討した内容と関連する記述箇所（報告書の構成）は以下の通りである。

<事前の備え>

- ・ 今回の事故は、東北地方太平洋沖地震とそれに伴って発生した津波を起因としたものであることから、地震や津波に関する事前の備えの状況と、その前提になった技術的知見に関する事実関係を整理した（3章）。
- ・ 原子力施設の安全確保やリスク低減の取り組みとして、新知見や運転経験の反映、シビアアクシデント等への備えの状況について、事実関係を整理した（4章）。
- ・ 事故時の対応態勢や国の緊急時対応組織との連携の実態等について事実関係を整理した（5章）。

<事後の対応>

- ・ 事故の発端となった東北地方太平洋沖地震の特徴について述べるとともに、発電所での地震動の観測結果を示し（3章）、地震動による発電所の施設への影響（6章）について、これまでの調査事実を踏まえて明らかにした。地震動による発電所の設備被害が今回の事故の原因ではなかったと考えられる。
また、今回の津波の特徴、発電所での津波の浸水高さについて観測記録と解析結果を用いて明らかにし（3章）、津波襲来による発電所の施設への直接被害の状況（7章）について、これまでの調査事実を踏まえて明らかにした。津波による設備被害によって、発電所のほぼ全ての機能が喪失したことでシビアアクシデント（過酷事故）に至った。
- ・ これらの発電プラントで行われた事故収束のための対応作業（原子炉への注水、格納容器のベント、使用済燃料プールの冷却）の状況について聞き取り調査、運転パラメータの整理・解析等によって事実関係の整理・分析を行った（8章、9章）。
- ・ 事故の中で発生した水素爆発（11章）、放射性物質の放出（12章）、放射線管理（13章）に関する分析・評価を行った。
- ・ さらに、今回の事故時の対応態勢や国の緊急時対応組織との連携の対応状況について事実関係を整理し（5章）、また、発電所の事故対応に関する支援活動の状況について事実関係を整理（10章）した。

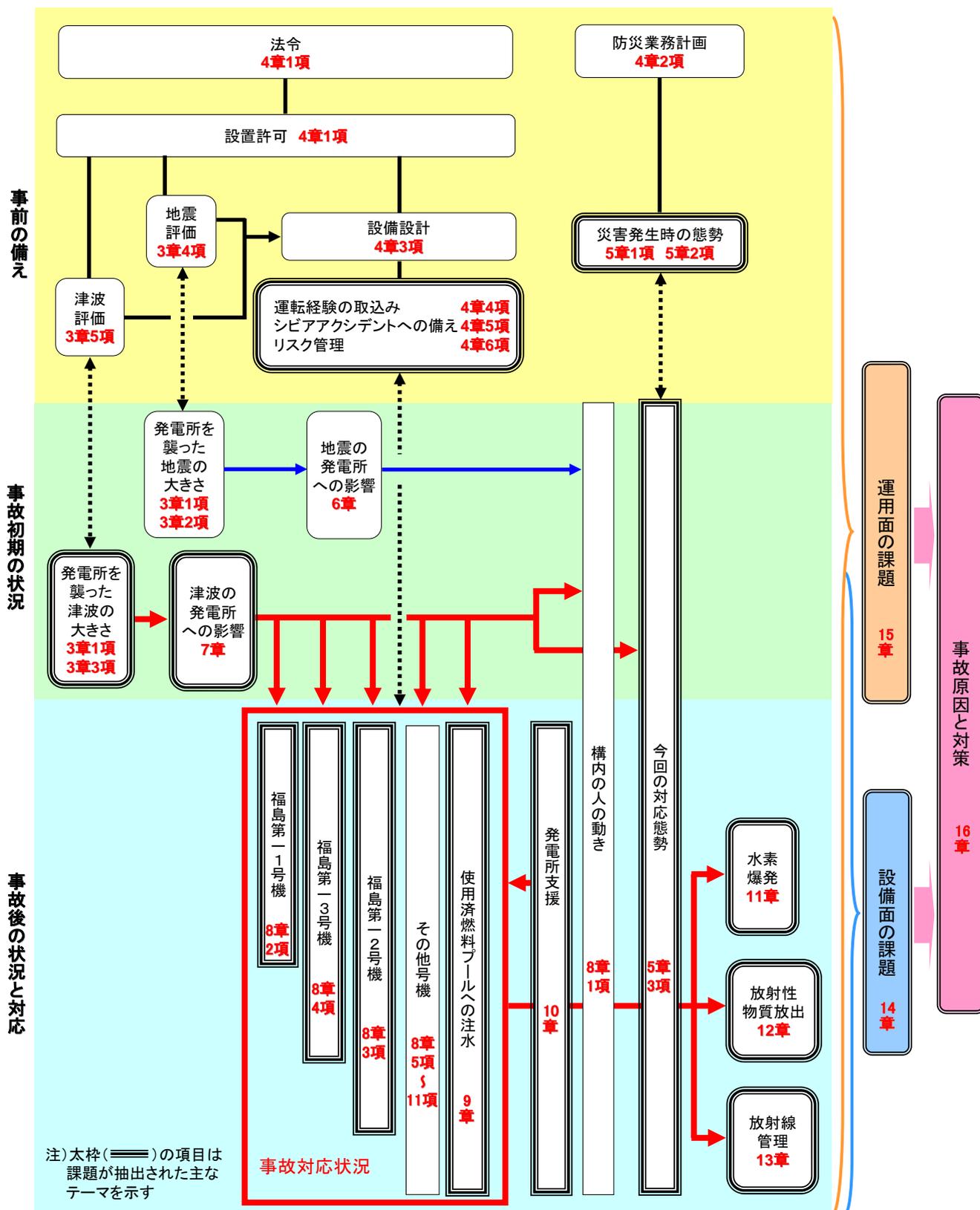
<事前の備えと事後の対応を踏まえた課題整理と対策立案>

- ・ 課題の整理は主に設備（ハード）面と運用（ソフト）面から行い、設備面の課題整理については、主に事後の対応において炉心損傷防止の観点で行った（14章）。
- ・ 運用面の課題の整理については、事前の備えの状況を踏まえて事後の対応がどのように推移したのかという観点で行った（15章）。
- ・ これらの設備面、運用面の課題をもとに、事故の原因と対策の方針について取りまとめた（16章）。

<報告書記載の官職・役職名の表記>

- ・ 本報告書における官職・役職等の記載は、特に断りのない限り、事故当時のものである。

主要テーマに関する報告書記載箇所



3. 東北地方太平洋沖地震の概況と地震・津波への備え

3. 1 地震及び津波の規模

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¹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、当社のみならず国の調査・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²が連動³して発生する地震は想定されていなかった⁴。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。【添付3-1】

発 生 日 時：平成23年3月11日14時46分

震 源：三陸沖（震源深さ 24km）

マグニチュード：9.0

福島第一原子力発電所との距離：震央距離 178km、震源距離 180km

福島第二原子力発電所との距離：震央距離 183km、震源距離 185km

¹国土地理院・海上保安庁（2011）（http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/jishin/11tohoku/slip_model.pdf）

²津波を伴う地震の発生が想定される海域を、過去の地震の発生状況、地形・地質学的ならびに地球物理学的観点などから、区分した範囲。

³複数の領域が同時あるいは連続的に地震を生じること。

⁴地震調査研究推進本部HP（http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11mar_sanriku-oki/index.htm）

3. 2 発電所を襲った地震の大きさ

(1) 福島第一原子力発電所での観測結果

福島第一原子力発電所の原子炉建屋基礎版上（最地下階）の観測値は、耐震安全性評価の基準である基準地震動 S_s ¹ に対する最大加速度を一部超えたものの、ほとんどが下回った（観測された最大加速度：2号機原子炉建屋地下1階 550ガル）。また、地震観測記録の応答スペクトルについては、一部周期帯において基準地震動 S_s による応答スペクトルを上回ったが、概ね同程度であることが確認された。今回の地震動は設備の耐震安全性評価の想定と概ね同程度のものではあったと言える。【添付3-2】

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²を実施したが、その結果から、はぎとり波¹は一部の周期帯で基準地震動 S_s 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。【添付3-3】

(2) 福島第二原子力発電所での観測結果

福島第二原子力発電所の原子炉建屋基礎版上（最地下階）の観測値は、基準地震動 S_s 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。【添付3-4】

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 S_s 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。【添付3-5】

¹基準地震動 S_s は、「解放基盤表面」における設計用の基準地震動として定義される。発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針によれば、「解放基盤表面」とは、『基準地震動を策定するために、基盤面上の表層や構造物が無いものとして仮想的に設定する自由表面であって、著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な広がりを持って想定される基盤の表面をいう。ここでいう「基盤」とは、概ねせん断波速度 $V_s=700\text{m/s}$ 以上の硬質地盤であって、著しい風化を受けていないものとする。』とされており、発電所地下の地盤中に定めた基盤面で、その上部にある地表や建物の影響を排除するために、これらをはぎとり露出させた状態として定義されている仮想的な基盤面である。福島第一原子力発電所においては、解放基盤表面は、発電所の地下 0.P. -196m に定義されている。(0.P. : 小名浜港工事基準面 (東京湾平均海面の下方 0.727m))

²観測値から、「はぎとり波」を求めるための解析を「はぎとり解析」という。「はぎとり波」とは、実測された地震動観測値を用いて求めた解放基盤表面の地震動のことであり、基準地震動 S_s と直接比較することができる。

3. 3 発電所を襲った津波の大きさ

(1) 津波波形の特徴

全国港湾海洋波浪情報網（通称、ナウファス¹）のGPS波浪計²等によって観測された津波波形のうち、岩手県沖から福島県沖の波形を見ると、今回の津波では、緩やかな水位上昇に続き急な水位上昇があったことが特徴と言える。佐竹氏ほかの「東北地方太平洋沖地震の津波波源」³によれば、このような観測波形については、立ち上がり部分はプレート間地震による津波によって、最大波は海溝軸⁴付近の地震による津波によって説明できるとされている。

福島第一原子力発電所の約1.5km沖合には当社の超音波式の波高計が設置してあったが、津波の第二波の影響により損傷したため、15時35分頃の記録までしか取得できていない。ただし、記録された波形によれば、15時15分頃から始まり15時27分頃にピークを持つ緩やかな水位上昇の後、一旦水位低下傾向を示したのにつき、15時33分頃から急な水位上昇が観測され、その直後に測定限界であるO.P.+7.5mを超えていることから、上述した特徴をもつ津波と同様なものが発電所にも襲来したと考えられる。

当社は、津波高のインバージョン解析（津波の再現計算）を実施し、北海道から千葉県までの痕跡高・浸水高、潮位記録、浸水域、地殻変動量をよく再現できるような波源モデル（津波の数値シミュレーションに必要な、断層の長さ、幅、位置、深さ、ずれの量などの情報）を設定した。その後、中央防災会議もインバージョン解析を実施⁵してい

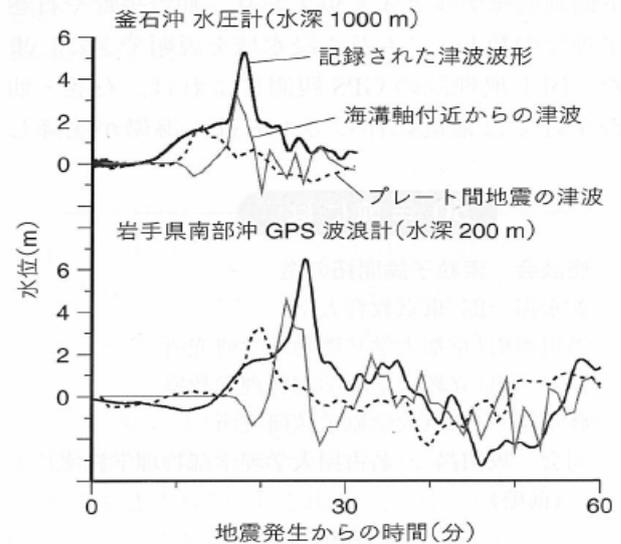
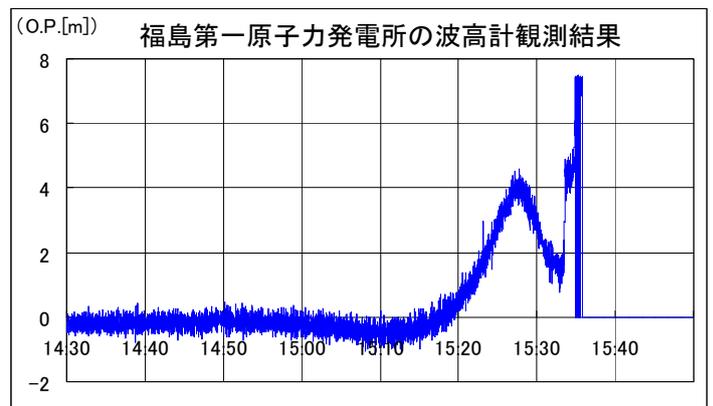


図3—釜石沖の海底水圧計(上、東大地震研)およびGPS波浪計(下、港湾空港技研)で記録された津波(太線)破線はプレート間地震(図1)から計算した津波波形。グレーの実線は海溝軸付近の変動域のみから計算した津波波形。観測波形の立ち上がりはプレート間地震から、最大波は海溝軸付近からの津波で説明できる。

東北地方太平洋沖地震の津波波源（抜粋）



(O.P. : 小名浜港工事基準面 (東京湾平均海面の下方 0.727m))

¹全国港湾海洋波浪情報網 : Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS (NOWPHAS)

² GPS波浪計 : GPS衛星を用いて、沖に浮かべたブイ (GPS波浪計) の上下変動を計測し、波浪や潮位をリアルタイムで観測する機器。GPS波浪計は国土交通省港湾局が整備をすすめているものであり、平成20年7月1日より気象庁において津波情報へ活用している。このうち、「GPS金華山」は宮城県金華山沖約10kmに、「GPS小名浜」は福島県塩屋埼沖約18kmに設置されている。

³佐竹健治・酒井慎一・藤井雄士郎・篠原雅尚・金沢敏彦 : 東北地方太平洋沖地震の津波波源、科学、Vol.81、No.5、2011

⁴ 海溝は、海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む部分の境界を指し、急斜面で囲まれた細長い凹地状の地形を示す。このうち、海溝軸は、地形的に海溝が最も深いところを指す。

⁵ 中央防災会議 : 南海トラフの巨大地震モデル検討会 (第12回)、参考資料1、平成24年3月1日、http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/12/sub_1.pdf

る。中央防災会議の解析では、当社が平成23年12月2日に公表した福島原子力事故調査報告書（中間報告書）で評価に用いた波源モデルに加え、後に得られた知見も踏まえ、震源域の破壊時間差を考慮しているため、より精緻な津波の再現計算が可能となっている。

中央防災会議のインバージョン解析結果によると、東北地方太平洋側の各観測点の観測と再現計算はよく一致しており、「福島第一」ならびに「福島第一」を南北に挟む「GPS金華山」や「GPS小名浜」「東海第二」などでの波形もよく再現されている。また、福島第一原子力発電所沖合の波高計設置位置では、上述したとおり、緩やかな水位上昇の後、一旦水位低下傾向を示したのに続く急な水位上昇が再現されており、発電所沖合の波高計の位置では15時33分頃、発電所自体には15時35分以降に最大波が到達している。細かい水位変動を除けば、第二波が最大波となっている。【添付3-6】

なお、福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所の浸水状況等の津波の観測結果及び発電所護岸（検潮所付近）におけるインバージョン解析結果については、次項以降に示す。

（2）福島第一原子力発電所での津波調査結果

福島第一原子力発電所に襲来した津波の痕跡高調査の結果から津波は、主要建屋敷地（1～4号機側でO.P. + 10m、5, 6号機側でO.P. + 13m）まで遡上し、浸水域は主要建屋敷地エリアの全域に及んでいることが認められた。また、浸水高は1～4号機側でO.P. 約+11.5m～約+15.5m、浸水深で約1.5m～約5.5mであり、主要建屋周囲に顕著な浸水が認められた。【添付3-7】

4号機南側の集中環境施設プロセス主建屋付近で津波襲来時の状況を撮影した写真では、敷地高さO.P. + 10mに設置されている高さ約5.5mのタンクが津波により水没していく様子が撮影されている。この付近の建屋周囲の浸水深は、敷地上5m以上に及んでいた。【添付3-8】

一方、5, 6号機側は、浸水高がO.P. 約+13m～約+14.5m、浸水深が約1.5m以下であり、1～4号機側との比較では相対的には浅くなっているが、主要建屋周囲は浸水していた。

福島第一原子力発電所に襲来した津波の最大高さは、潮位計、波高計が地震、津波の影響を受けたため直接測定できていないが、O.P. + 10mの防波堤を津波が乗り越えてくる様子が撮影されていることから、津波の高さは10mを超えるものであった。【添付3-9】

また、インバージョン解析（津波の再現計算）により波源を推定し、津波高さを評価した結果、福島第一原子力発電所の津波の高さは約13mであった。

福島第一原子力発電所では、平成14年に社団法人（現在は公益社団法人）土木学会から刊行された「原子力発電所の津波評価技術」¹（以下「津波評価技術」という）に基づく評価結果（O.P. + 5.4m～5.7m）を踏まえた対策を講じ、その後、平成21年に最新の海底地形データ等を用いた再評価結果（O.P. + 5.4m～6.1m）を踏まえた再度の対策を講じていたが、今回の津波はそれを大幅に超えるものであった。

【添付3-10】

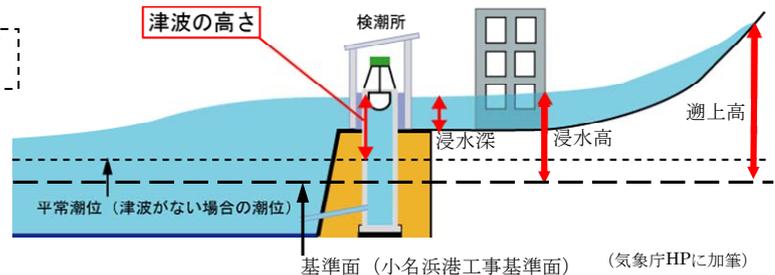
¹社団法人土木学会 原子力土木委員会津波評価部会：原子力発電所の津波評価技術、2002

福島第一原子力発電所の津波浸水高、浸水深調査結果		
	主要建屋敷地エリア (1～4号機側)	主要建屋敷地エリア (5, 6号機側)
◇敷地高 a	0. P. +10m	0. P. +13m
◇浸水高 b	0. P. 約+11.5～約+15.5m ^{※1}	0. P. 約+13～約+14.5m
◇浸水深 b - a	約1.5～約5.5m	約1.5m以下
◇浸水域	海側エリアから斜面を越えて主要建屋設置エリアへ遡上し、 海側エリア及び主要建屋敷地エリアほぼ全域が浸水	
備考	今回の津波高さ（津波再現計算による推定）；約13m ^{※2} 土木学会手法による評価値（最新評価値）；0. P. +5.4～6.1m	

※1：当該エリア南西部では局部的に0. P. 約+16～約+17m（浸水深 約6～7m）

※2：検潮所設置位置付近

地震による地盤変動量は浸水高
及び遡上高に反映していない



(3) 福島第二原子力発電所での津波調査結果

福島第二原子力発電所の津波の痕跡高調査の結果では、主要建屋敷地エリアへの浸水の様相が福島第一原子力発電所の場合と異なり、0. P. +4 mの海側エリアでは浸水（浸水高0. P. 約+7 m）が全域に及んでいるものの、海側エリアから0. P. +12 mの主要建屋敷地エリアへ斜面を超えて遡上した痕跡は認められなかった。

一方、主要建屋敷地エリア南東側では海側から免震重要棟へ向かう道路に沿って集中的な遡上が認められた。この結果、1号機南側は浸水深が深く、2号機及び3号機は1号機側からの回り込みが見られるものの建屋周囲の浸水深はわずかであり、4号機建屋周囲においてはほとんど浸水が認められなかった。【添付3-11】

福島第二原子力発電所においても潮位計、波高計が地震、津波の影響を受けたため津波の高さは直接測定されていないが、福島第一原子力発電所と同様のインバージョン解析（津波の再現計算）で津波の高さを評価したところ、津波の高さは約9 mであった。

【添付3-12】

福島第二原子力発電所では、平成14年に刊行された土木学会の「津波評価技術」に基づく評価結果を踏まえた津波の高さ5.1～5.2 mに対しての機能確保の対策を講じていた（平成21年に最新の海底地形データ等を用いて再評価した結果では追加の対策は必要ではなかった）が、津波はそれを大幅に超えるものであった。

なお、福島第二原子力発電所では上述の通り主要建屋周囲への浸水が限定的であったため、福島第一原子力発電所と比較して電源設備等への被害が少なく、結果としてその後の事故対応の困難さが大きく異なった。

福島第二原子力発電所の津波浸水高、浸水深調査結果		
	海側エリア	主要建屋敷地エリア
◇敷地高 a	0.P. + 4 m	0.P. + 12m
◇浸水高 b	0.P. 約 + 7 m ^{※1}	0.P. 約 + 12 ~ 約 + 14.5 m ^{※2}
◇浸水深 b - a	約 3 m	約 2.5 m 以下
◇浸水域	<ul style="list-style-type: none"> 海側エリアの全域に浸水 ただし、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ない 	<ul style="list-style-type: none"> 主要建屋設置エリア南の道路（1号機南側）に集中的に遡上 1号機南側の浸水が著しい 2号機の建屋周辺及び3号機の建屋南側への回り込みが認められるが浸水深さは僅か 4号機の建屋周辺には浸水なし
備考	今回の津波高さ（津波再現計算による推定）；約 9 m ^{※3} 土木学会手法による評価値（最新評価値）；0.P. + 5. 1 ~ 5. 2 m	

※1：1号機海水熱交換器建屋外南側面等で局所的な高まりがある。

※2：1号建屋南側から免震重要棟にかけ局所的に0.P. 約 + 15 ~ 約 + 16 m

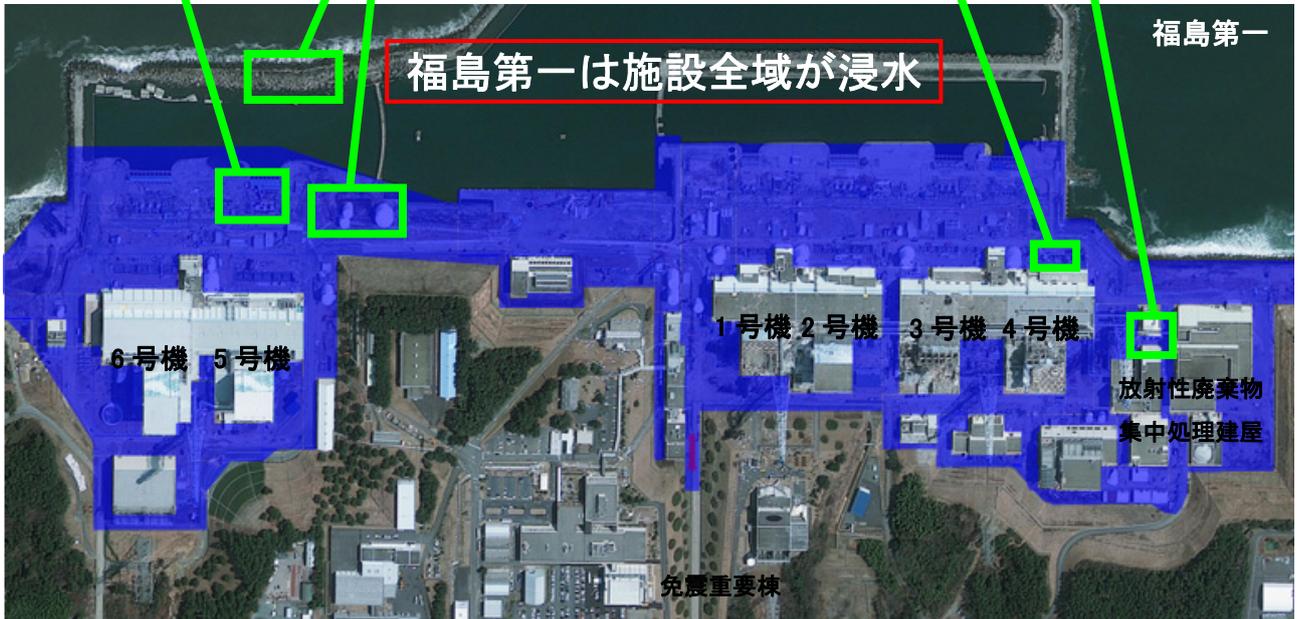
※3：検潮所設置位置付近

（4）福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所の津波高さの差異の理由

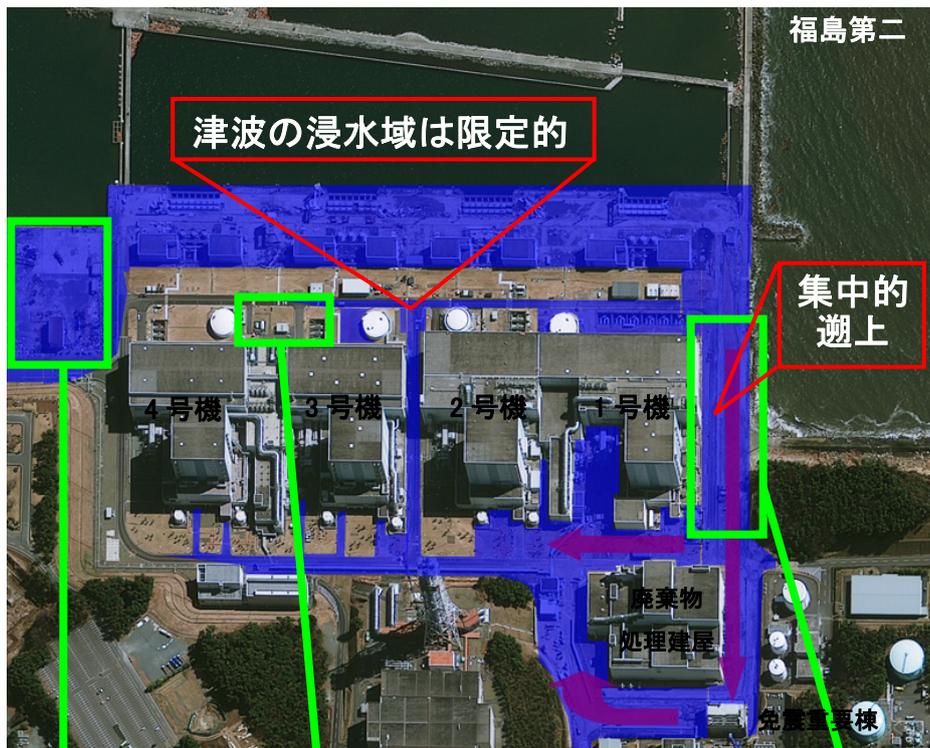
福島第一原子力発電所に襲来した津波（推定津波高さ：約 13 m）は、福島第二原子力発電所に襲来した津波（推定津波高さ：約 9 m）と比較して、高さにおいて 4 m の差があった。両発電所の間隔は約 12 km と近接しており、地形的にも大きな差異が無いにもかかわらず、このように津波高さに差異が生じた主な理由を解析によって解明した。

この結果から、その理由は、宮城県沖ならびに福島県沖に想定されるすべり量の大きい領域（波源）から発生した津波のピークの重なる度合いが、福島第一原子力発電所では強く、福島第二原子力発電所では弱かったことによるものと考えられた。

【添付 3 - 13】



(C)GeoEye / 日本スペースイメージング



(C)GeoEye / 日本スペースイメージング



3. 4 地震への備え（耐震安全性評価）

（1）耐震安全性評価の経緯

福島第一原子力発電所の原子炉設置は、昭和41年（1号機）から昭和47年（6号機）の間で許可を得ている。その当時の耐震設計では、重要な建物、構築物、機器配管系などの施設については、原子炉建屋基礎版において約180ガル（0.18g）にて設計し、格納容器などの安全対策上重要な施設については180ガルの1.5倍（270ガル）の地震動にて機能が確保されることを確認している。

昭和53年には「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（以下、旧耐震指針）が策定された。既に建設済みのプラントについても、この旧耐震指針に沿って過去の地震、地質調査を基に基準地震動 S_1^1 、 S_2^2 を策定し、耐震安全性が確保されていることを確認している。この結果については、通商産業省・資源エネルギー庁が確認・取りまとめを行い、平成7年9月29日に原子力安全委員会に報告している。

さらに、平成18年9月には、平成13年から開始された指針改訂の検討、この場において津波評価法なども含めた議論がなされており、その検討結果を踏まえ、それまでの知見を反映して「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」が改訂（以下、新耐震指針）された。この改訂に伴い、原子力安全・保安院から新耐震指針に照らした耐震安全性評価の実施（以下、耐震バックチェックと記す）と、その実施計画書の提出が指示された。

この耐震バックチェックにおいては、新耐震指針に照らして、各種調査を実施し、活断層の長さ等を評価するとともに、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、不確かさを考慮した地震動評価により基準地震動 S_s を最大加速度600ガルに策定した。

この対応過程において、平成19年7月16日に新潟県中越沖地震が発生し、柏崎刈羽原子力発電所で従来の想定を超える地震動が観測された。これを受け、平成19年7月20日に経済産業省から、新潟県中越沖地震から得られる知見を耐震安全性の評価に適切に反映することと、耐震安全性評価の実施計画の見直し結果の報告等を求める指示「平成19年新潟県中越沖地震を踏まえた対応について（指示）」が出された。

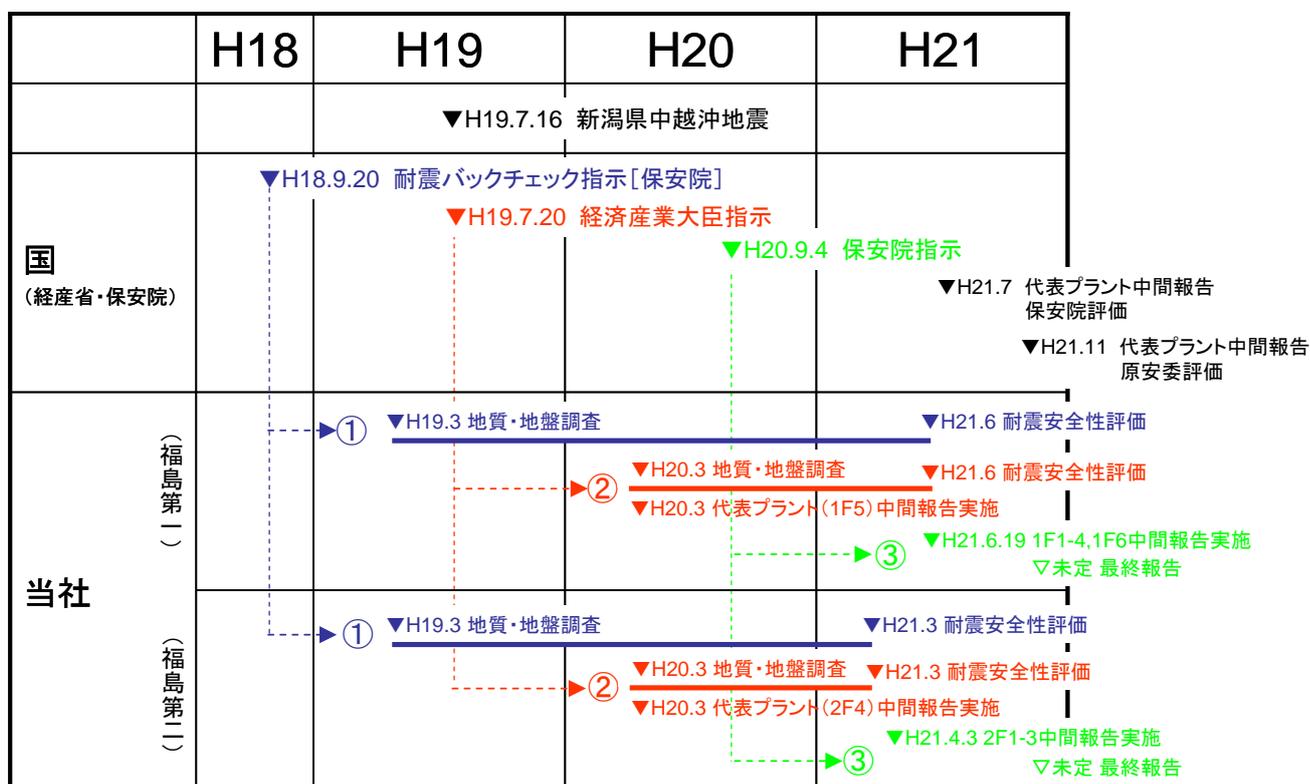
このため、当社としても、追加の地質調査を行うとともに、福島をはじめとする国民の皆さまに原子力発電所の安全性を早期に示す観点から、代表プラント（福島第一5号機、福島第二4号機）を選定し、当初予定されていなかった中間報告を平成20年3月に行うよう計画を見直し、平成19年8月20日に見直した実施計画書を原子力安全・保安院に提出した。また、新潟県中越沖地震で確認された地震観測記録を用いた福島第一及び福島第二原子力発電所全プラントの主要設備に関する耐震安全性の概略評価を自主的に行い、耐震設計上重要な施設の機能が維持されることを確認することとし、その結果を平成19年9月20日に公表した。

¹過去に発生したとされる歴史地震及び活動性が高く過去1万年の間に活動した活断層による地震を対象に揺れの周期及び強さを評価し、これらをすべて上回る地震動

²過去5万年の間に活動した活断層による地震などから考えられる最大の地震を対象にそれぞれの揺れの周期及び強さを評価し、さらに直下地震による地震動も考慮して、これらをすべて上回る地震動

追加の地質調査としては、発電所周辺陸域における反射法地震探査¹、海域におけるマルチチャンネル方式の海上音波探査²が挙げられる。また、福島において耐震設計上考慮すべき活断層として評価している双葉断層については、南限付近においてボーリング調査を、北方延長部においては地表地質調査を追加実施した。このため、当初平成19年3月に完了予定としていた地質調査を平成20年3月完了に変更した。

その後、新潟県中越沖地震の解明が進む中で、他の原子力発電所でも確認すべき知見が判明し、それらを取り纏めて原子力安全・保安院から平成19年12月27日に「新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項（中間取りまとめ）について」が発出され、更に平成20年9月4日に「新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項について」として指示が出された。新たな指示に対応するためには、調査等に時間を要することから、平成20年12月8日に耐震バックチェックの実実施計画を見直すこととした。このように耐震バックチェックが遅れることから、当初代表プラントだけで実施することとしていた中間報告について、代表プラント以外のプラントについても行うこととした。なお、最終報告については提出時期未定とし、明確になった時点で公表することとした。



- ①平成18年10月18日 耐震安全性評価実施計画書を保安院へ提出
- ②平成19年8月20日 耐震安全性評価実施計画書を見直し保安院へ提出
- ③平成20年12月8日 耐震安全評価の延期をプレス

¹ 地震探査は、陸上における地下探査方法の一つであり、人工震源から地下に向けて地震波を出し、地下の様々な構造で反射してきた波を受信し、それを解析することにより地下の地質構造等を推定する。なお、反射波については、海上音波探査と同様にマルチチャンネル方式で受信する。

² 海上音波探査は、海上における地下探査方法の一つであり、船で曳航した人工音源から水中で音を発振し、海底下の様々な構造で反射してきた波を受信し、それを解析することにより海底下の地質構造等を推定する。マルチチャンネル方式では、多成分の反射波を受信することにより、探査の能力を高め、深部までの地質構造を推定することが可能となる。

以上のように、新耐震指針に伴う耐震バックチェックについては、2回の原子力安全・保安院からの指示文書により地質調査、解析見直し等が必要となった。地質調査にあたっては、正味の調査期間の他、調査エリアの住民の方々への説明や理解の期間、調査に必要な船舶や機器等の手配調整が必要となる。陸域で実施する地下探査や海域で実施する海上音波探査ともに、特殊な機材を使用する調査であり、実施可能な機関が限定される。また、解析等においては、モデル作成や対策案検討のための現場調査や解析作業に精通した技術者が必要となるが、すべての電気事業者が原子力安全・保安院の指示で一斉に動き出したために、対応できる技術者が不足した。

その結果、新潟県中越沖地震による被害の対策の教訓や耐震バックチェックの中間報告への対応に時間を要し、最終報告書の提出時期の見通しも得られなかった。加えて、中間報告では、基準地震動 S_s 策定とともに、新潟県中越沖地震で得られた知見に対する評価もしているが、その評価に対する原子力安全・保安院や原子力安全委員会における審議での了解なくして、次のステップに本格的に作業を進めることはできないことから、審議期間の長期化は、報告書の提出時期の遅れとなった。国の審議にも限界があり、すべての電気事業者の原子力プラントが集中的に審議されることとなったため、必然的に審議期間は長期化せざるを得なかった。

代表プラントである福島第一5号機と福島第二4号機の中間報告書提出が平成20年3月であるのに対して、国の審議は、平成21年7月15日に原子力安全・保安院での審議を終了し、同年7月21日に評価は妥当との見解が示されている。また、同年11月19日には、原子力安全委員会が評価の妥当性を確認し、その旨が公表されている。

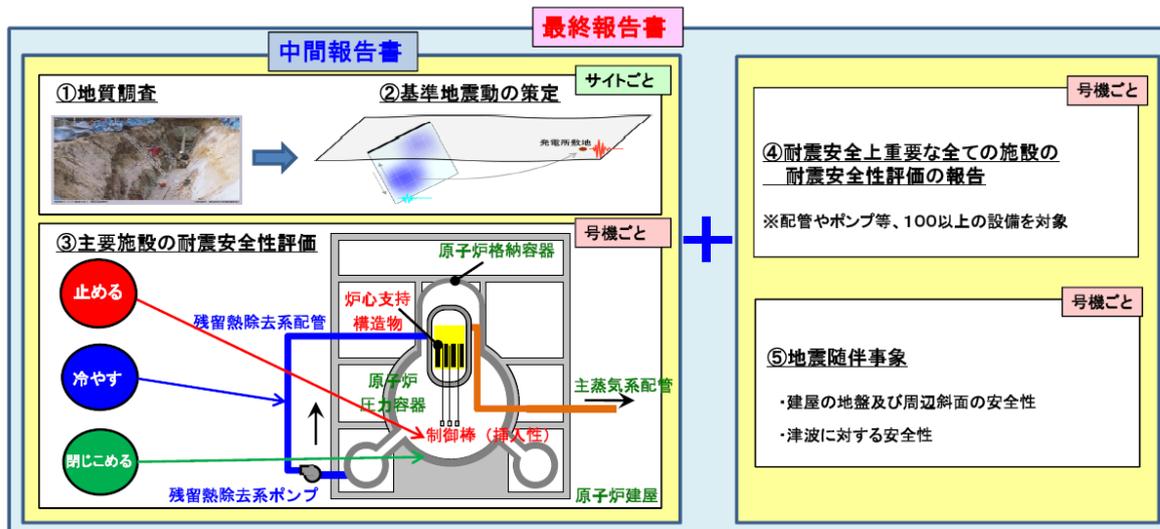
【添付3-14】

最終報告書の提出時期については、社内的には工程検討を進め、平成22年12月時点で、平成23年度から平成27年度前後にかけて提出する計画原案を作成したが、先に述べたような問題から定量的に工程をつめきれず、未だ公表するようなレベルには至っていなかった。

(2) 耐震安全性評価（中間報告書）

中間報告では、新潟県中越沖地震の知見を生かした調査に基づき、基準地震動 S_s を策定するとともに、原子炉建屋や安全上重要な機能を有する耐震 S クラスの主要な設備等について耐震バックチェックを実施した。作成した中間報告書は、平成20年3月に代表プラントの福島第一5号機と福島第二4号機を、平成21年4月に福島第二1号機～3号機を、同年6月に福島第一1～4、6号機を、それぞれ国へ提出した。

なお、基礎地盤の安定性及び地震随件事象（津波に対する安全性、周辺斜面の安定性）については、最終報告書において結果を報告することとしており、その旨は代表プラントの中間報告時の当社プレス発表時においても公表している。耐震安全性評価の最終報告書と中間報告書の主な内容については、次に示す図（経済産業省総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会資料抜粋（原子力安全・保安院説明））の通りである。



総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会(第33回:平成22年11月25日)
「参考資料3 耐震バックチェックの経緯・状況・検討の流れ」より抜粋

前述したように、平成20年9月4日に原子力安全・保安院より「新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項について」の指示が出て、その対応を考慮した場合に最終報告書提出時期が遅れることを当社は公表している。このとき、福島県民をはじめとする国民の皆さまに安全性を早期に示すため、代表プラント以外についても中間報告書を提出するとともに、新潟県中越沖地震での経験や今までの知見や解析結果などをベースに、できる範囲で先行して耐震裕度向上工事を実施する旨を福島県主催の会議等において、中間報告説明等の際に表明している。

実施していた耐震裕度向上工事については、福島県主催の会議等でご説明するとともに、当社ホームページで進捗状況を公表していたが、変圧器基礎地盤の沈下対策・漏油対策、非常用海水系配管ダクト周辺の地盤改良、発電所構内の防災道路を中心に実施した地盤強化工事、切土斜面の補強工事、高台に設置され、4基分の集合排気筒となっている福島第二原子力発電所の排気筒制振工事など、新潟県中越沖地震での教訓も踏まえた対策工事を実施していた。

なお、中間報告書については、原子炉建屋の鉛直方向解析に使用した解析用数値に一部誤りがあったことから、全プラントのデータを再確認・訂正し、耐震安全性に問題がないことを確認した上で平成22年4月に報告書を再提出した。

3. 5 津波への備え

(1) 津波高さの評価

当初、津波に関する明確な基準はなく、既知の津波痕跡を基に設計を進めていた。具体的には、小名浜港で観測された既往最大の潮位として昭和35年のチリ地震津波による潮位を設計条件として定めた。(O.P. + 3. 1 2 2 m)

昭和45年に「軽水炉についての安全設計に関する審査指針について」（以下、安全設計審査指針という）が策定され、考慮すべき自然条件として津波が挙げられており、過去の記録を参照して予測される自然条件のうち最も過酷と思われる自然力に耐えることが求められている。同指針を踏まえた国の審査においても、チリ地震津波による潮位により「安全性は十分確保し得るものと認める」として設置許可を取得している。

設置許可申請書に記載されているこの津波高さについては、現在でも変更されていない。しかしながら、当社は以下に述べるような様々な機会をとらえて津波評価を行うとともに、その対策も含めた内容を国へ報告している。その意味では、その結果に基づき必要な対応をしており、それらの評価が実質的な設計条件となっている。

平成5年10月、国から、北海道南西沖地震津波を踏まえ、最新の安全審査における津波安全性評価内容を基に、改めて既設発電所の津波に対する安全性評価を実施するよう指示があった。これを受けて、平成6年3月、福島第一及び福島第二原子力発電所の津波に対する安全性評価結果報告書を国へ提出した。

報告書の主な内容は以下の通りである。

- ・ 発電所周辺に影響を及ぼした可能性のある既往津波を文献調査により抽出したこと
- ・ 簡易予測式により発電所における津波水位を予測したこと
- ・ 簡易予測式による津波水位が相対的に大きい津波について数値解析をおこなった結果、福島第一及び福島第二原子力発電所における歴史上最大の津波は昭和35年に発生したチリ津波であり、慶長三陸津波（1611年）よりも大きかったこと
- ・ 津波による水位の上昇、下降に対する発電所の安全性は確保されていること

なお、文献調査から阿部壽氏らの論文（1990）¹等を踏まえ、貞観津波（869年）は慶長三陸津波（1611年）を上回らなかったと考えられることも記載している。

また、平成6年3月に国へ報告した後、当時非公開で実施されていた通商産業省原子力発電技術顧問会が同年6月に開催され、当社が報告した内容が了承された旨、口頭で連絡を受けている。

平成14年2月、原子力発電所の具体的な津波評価方法を定めたものとしては唯一の基準となる「津波評価技術」が土木学会から刊行された。最新の知見により想定し得る最大規模の地震による津波と既往最大津波との比較を行って、両者のうち、既往最大津波を上回る前者の津波を設計想定津波とする。さらに、波源の不確定性、数値計算上の誤差、地形データ等の誤差を考慮するため、各種断層パラメータを合理的な範囲内で変化させた多数の数値シミュレーションを実施することにより、最大規模の津波を評価する手法となっている。以降、この「津波評価技術」が国内原子力発電所の標準的な津波評価方法として定着し、規制当局へ提出する評価にも使用されている。

当社は、「津波評価技術」に基づき計算した津波水位を

福島第一原子力発電所：O.P. + 5.4～5.7 m

福島第二原子力発電所：O.P. + 5.1～5.2 m

と評価し、機能維持の対策としてポンプ用モータのかさ上げや建屋貫通部等の浸水防止

¹阿部壽・菅野喜貞・千釜章：仙台平野における貞観11年（869年）三陸津波の痕跡高の推定。地震 2, 43, pp. 513-525, 1990

対策などの対策を実施した。なお、この評価結果については、平成14年3月に国へ報告し確認を受けている。

＜参考＞土木学会「原子力発電所の津波評価技術」（2002）の概要

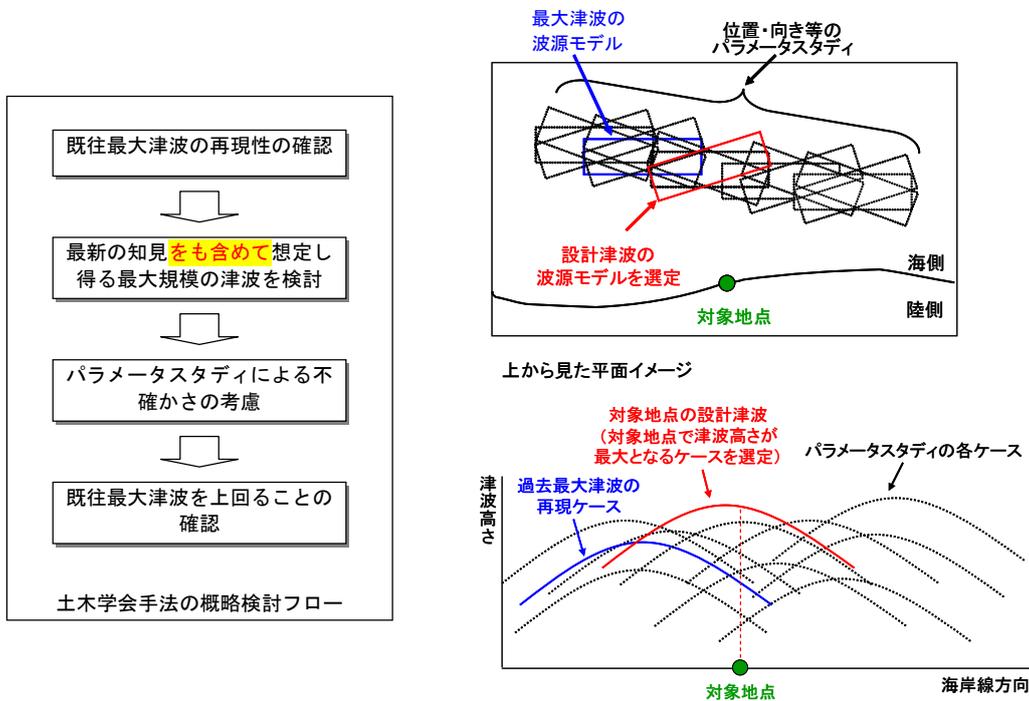
平成14年2月、原子力発電所の具体的な津波評価方法を定めたものとしては唯一の基準となる「原子力発電所の津波評価技術」（以下、「津波評価技術」と記す）が土木学会から刊行された。津波評価技術とは、原子力施設の設計津波水位の設定について、それまでの知見や技術進歩の成果を集大成して、波源の設定ならびに数値計算手法の標準的な方法を取りまとめたものである。断層運動に起因する津波を、不確かさを考慮しつつ決定論的に評価する方法を提示したもので、歴史的に発生した津波だけではなくそれをベースに将来発生する可能性がある津波の不確かさを考慮できる手法である。

●手法の特徴

基本方針として、最新の知見により想定し得る最大規模の地震による津波と既往最大津波との比較を行って、両者のうち、既往最大津波を上回る前者の津波を設計想定津波とする。

波源の設定では、まず、海域ごとの過去最大の津波を再現する波源モデルの設定を行う。次に、再現性が確認された波源モデルについて、位置や向きなどの様々なパラメータを変動させ、評価の対象地点に対して最も影響が大きくなるパラメータの組み合わせを求める。その結果得られる設計津波水位は、この地点周辺における過去最大津波に対して、平均的に2倍の津波高さになる。なお、中央防災会議が、過去に繰り返し発生している地震津波を防災対策の検討対象としていたことと比べると、土木学会手法は相当保守的な津波を評価することができる手法である。

このように、土木学会の手法では、過去最大の津波を再現するに留まらず、発生する地震の不確かさを加味することで、過去最大を上回る将来想定としての津波水位が決定論（決定論）的に評価できることに大きな特徴がある。



数値計算手法は、基礎方程式、初期条件、境界条件、格子の設定、諸係数等について、推奨される手法をそれぞれ提示している。また、津波による波力・砂移動・漂流物等の水位評価以外の津波の諸現象、より高度な数値計算手法、火山活動や海底地すべりに起因する津波については、状況をレビューするとともに将来の課題として示している。

●活 用

- ① 「津波評価技術」は国内原子力発電所の標準的な津波水位評価方法として定着し、規制当局へ提出する評価に使用されている。
- ② IAEAのSafety Standard “Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations (No. SSG-18)”において、IAEA基準に適合する基準の例として参照され、国際的にも認められた評価手法である。

平成19年6月、福島県の防災上の津波計算結果を入手し、福島県が想定した津波高さが当社の津波評価結果を上回らないことを確認した。

平成20年3月、茨城県の防災上の津波波源について評価し、算出した津波高さが当社の津波評価結果を上回らないことを確認した。

平成18年9月に発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針が改訂され、この新耐震指針に基づき耐震バックチェックの指示が国から出された。耐震バックチェックにおいては、既に地質調査等を終え、基準地震動を策定するとともに主要設備の耐震評価を中間報告書として国へ提出している。津波については、地震随伴事象として最終報告書

で評価する必要があることから、その最終報告に向けて最新の海底地形と潮位観測データを考慮し、平成21年2月に「津波評価技術」に基づき再評価した結果、津波の水位は

福島第一原子力発電所：O.P.+5.4～6.1m

となり、その津波高さに応じて、ポンプ用モータのシール処理対策等を講じている。また、福島第二原子力発電所の再評価の結果からは追加の対策は必要なかった。

以上のとおり、これまで様々な取り組みを行ってきたものの、今般の津波は当社の想定を大きく超えるものであり、結果的に津波に対する備えが不足、津波の被害を防ぐことができなかった。

津波評価の経緯

	福島第一	福島第二	東海第二	女川
設置許可時	1966年 O.P.+3.122m (1960年チリ地震津波)	1972年 1号 O.P.+3.122m 1978年 3/4号 O.P.+3.705m (1960年チリ地震津波)	— 既往最高潮位 S33.9.27狩野川台風 T.P.+3.24m	1970年 O.P.+2～3m 1987年 O.P.+9.1m (1611年慶長三陸津波)
1994年 (平成6年) ⇒津波評価	O.P.+3.5m 対策不要 (チリ地震津波で決定、慶長三陸津波も計算したがチリ地震津波を下回る)	O.P.+3.6m 対策不要 (同左)		
2002年 (平成14年) ⇒津波評価	土木学会「原子力発電所の津波評価技術」刊行			
	O.P.+5.7m (塩屋崎沖の地震で決定、慶長三陸津波も計算したが塩屋崎沖を下回る) 対策済み (ポンプ200mm嵩上げ等)	O.P.+5.2m (同左) 対策済み (熱交建屋等の水密化)	T.P.+4.86m 対策不要	O.P.+13.6m (三陸沖の地震で決定) 対策不要
2007年 (平成19年) ⇒津波評価	福島県が設定した波源モデルを用いた事業者による評価			
	O.P.+5m程度 対策不要	O.P.+5m程度 対策不要		
2009年 (平成21年) ⇒津波評価※	茨城県が設定した波源モデルを用いた事業者による評価			
	O.P.+4.7m 対策不要	O.P.+4.7m 対策不要	O.P.+5.72m 対策済み (ポンプ室の壁を嵩上げ)	
2009年 (平成21年) ⇒津波評価※	O.P.+6.1m 対策済み(ポンプ嵩上げ等) (塩屋崎沖の地震で決定)	O.P.+5.0m 対策不要 (塩屋崎沖の地震で決定)		
2011年 (平成23年) ⇒津波高さ等	東北地方太平洋沖地震津波			
	津波高 O.P.+13.1m	津波高 O.P.+9.1m	T.P.+5.4m	O.P.+13.8m

※ 2002年(平成14年)の評価と同じ手法で、海底地形データ等を最新のものに更新して評価。

(2) 津波に関する関連機関等の主張と当社の対応

当社は上述のとおり、確立された最新の知見に基づき津波の高さを評価しており、平成14年3月に国へ報告して以降、現在に至るまで、津波高さについては、土木学会の「津波評価技術」に基づき評価してきているが、新たに津波に関する知見・学説等が出されたときには、それらについて検討・調査等を行い、試算もしている。

その一環として、津波評価に必要な波源モデル等の知見が定まっていな中、以下の2つの仮定に基づく試算や津波堆積物調査を実施した。以下に地震・津波に関する他機関の主張と当社の対応について示す。

【添付3-15, 3-16】

①地震調査研究推進本部の見解

平成14年7月に国の調査研究機関である地震調査研究推進本部（以下、地震本部）が、三陸沖から房総沖の海溝沿いのどこでも地震が発生する可能性があるという地震の長期評価¹（以下、「地震本部の見解」）を公表した。地震本部の見解では、有史以来大きな地震が発生していない領域（福島県沖の海溝沿い）でもM8.2前後の地震が発生する可能性があるとしていた。ただし、地震本部においては、今回のような複数の領域が連動した大規模地震は想定していなかった。また、有史以来大きな地震が発生していない領域の津波評価に必要な不可欠な波源モデルまでは示していなかった。

【添付3-17】

土木学会では、平成15年度から検討することとしていた確率論的評価手法の中で「地震本部の見解」を取り扱うこととし、津波評価を確率論的に実施するという先駆的なその成果を平成17年²及び19年³に論文として発表した。

津波の確率論的評価では、専門家による投票意見なども考慮される結果、評価結果に幅が出てくる。このため実際の運用では、これらの評価値をどのように扱うかも問題となる。当社は、土木学会での検討状況を注視するとともに、平成15年～平成17年までの土木学会による検討成果を踏まえ、開発段階にある確率論的津波ハザード解析手法⁴の適用性の確認と手法の改良を目的として、福島サイトを一つの例とした確率論的津波ハザードの試行的な解析を実施し、津波の高さと年超過確率の関係を整理したものを平成18年に原子力工学国際会議（ICONE-14）に論文投稿⁵した。

さらに、平成20年に、当社は、耐震バックチェックにおいて、地震本部の「三陸沖から房総沖の海溝沿いのどこでも地震が発生する可能性がある」とする見解を具体的にどのように扱うかを社内において検討するための参考として、次に述べる仮想的な試し計算を実施した。

福島県沖の海溝沿いでは、これまで大きな地震がなく、これは相対するプレートの固着（カップリング）が弱く、大きな地震を発生させるような歪みが生じる前に「ずれ」が生じることから、大きなエネルギーが蓄積しないためとも考えられていた^{6,7}。このため、福島県沖の海溝沿いの津波評価をするために必要な波源モデルが定まっておらず、地震本部で示される地震規模（M8.2）とも合致しないが、福島サイトに最も厳しくなる明治三陸沖地震（M8.3）の波源モデルを福島県沖の海溝沿いに持ってきた場合

¹地震調査研究推進本部地震調査委員会：三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について、2002、http://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/sanriku_boso.pdf

²ANNAKA Tadashi et. al：Logic-tree Approach for Probabilistic Tsunami Hazard Analysis and its Applications to the Japanese Coasts, 22nd IUGG International Tsunami Symposium, 2005

³土木学会原子力土木委員会津波評価部会：津波評価手法の高精度化研究－津波水位の確率論的評価法ならびに分散性と砕波を考慮した数値モデルの検討－、土木学会論文集B Vol. 63、No. 2 pp.168-177、2007

⁴津波の確率論的評価手法は、土木学会で平成18～20年度も引き続き検討（後述する貞観津波の波源もこの中で確率論的に扱われた）されており、今回の震災発生時点でも、津波の評価手法として用いられるまでには至っておらず、試行的な解析の域を出ていない。

⁵Toshiaki SAKAI et. al：Development of a Probabilistic Tsunami Hazard Analysis in Japan、International Conference on Nuclear Engineering、July 17-20、2006

⁶Tetsuro Tsuru et. al：Along-arc structural variation of the plate boundary at the Japan Trench margin：Implication of interplate coupling、JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH、VOL. 107、NO. B12、2357、2002

⁷松沢暢・内田直希：地震観測から見た東北地方太平洋下における津波地震発生の可能性、月刊地球、Vol. 25、No. 5、2003

の津波水位を試算した。試し計算の結果からは、福島第一原子力発電所取水口前面で、津波水位は最大 0.P.+8.4m～10.2m、1～4号機側の主要建屋敷地南側の浸水高は最大で15.7mの津波の高さが得られた。

地震本部の見解の取り扱いについては、

- ・ 電気事業者が津波評価のルールとしている土木学会の「津波評価技術」では、福島県沖の海溝沿いの津波発生を考慮していないこと
- ・ 津波の波源として想定すべき波源モデルが定まっていないこと

から、地震本部の見解に基づき津波評価するための具体的な波源モデルの策定について、土木学会へ審議を依頼することとした。

なお、中央防災会議は、平成15年10月に「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」を設置し、2年数ヶ月にわたる審議を経て、平成18年1月に被害想定に関する報告書¹をとりまとめた。報告書によると、日本海溝沿いについては、三陸沖の地震は想定しているものの、福島県沖～房総沖についての平成14年の地震本部の見解は反映されていない。中央防災会議は、国の防災基本計画や地域防災計画の作成・推進の役割を持っており、過去に実績のある地震、繰り返し発生している地震を防災対策の検討対象としていたため、過去に大きな地震が発生していない福島県沖の海溝沿いの地震は、検討の俎上に上っていない。この点については、次項で述べる貞観津波についても同様である。

②貞観津波

貞観津波については、平成20年10月に独立行政法人産業技術総合研究所（当時）佐竹氏から貞観津波に関する投稿準備中の論文について提供を受けた。論文では、仙台平野及び石巻平野の津波堆積物調査結果に基づき、869年貞観津波の発生位置及び規模が推定されていた。また、波源モデルとしては、2つの案が示されていたが確定には至っておらず、確定のためには福島県沿岸等の津波堆積物調査が必要と指摘されていた。

当社は、平成20年12月、佐竹氏から提供を受けた論文には、未確定ながら波源モデル案が示されていたことから、この論文の中で提案されている2つのモデル案を用いた試し計算を実施した。試し計算の結果では、福島第一、福島第二原子力発電所の取水口前面で0.P.+7.8m～8.9m（満潮位の考慮方法を変更すると0.P.+7.8m～9.2m）程度の津波の高さが算出された。また、あわせて福島県沿岸等の津波堆積物調査の実施を計画した。

翌平成21年4月、正式に論文が発表²された。当該論文には、前述のとおり貞観津波の波源モデルが記載されていたが、仙台平野及び石巻平野での津波堆積物調査結果に基づく波源モデルであり、発生位置及び規模等は未確定とされていた。確定のためには、福島県沿岸等の津波堆積物調査が必要とされていた。

¹中央防災会議日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会：日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定について、2006、<http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaikou/houkoku/houkokusiryou1.pdf>

²佐竹健治ほか：石巻・仙台平野における869年貞観津波の数値シミュレーション、活断層・古地震研究報告、No.8、pp.71-89、2008

平成21年6月、地震本部の見解の扱いと合わせ、津波評価を行うための具体的な波源モデルの策定について土木学会へ審議を依頼した。

当社は、福島第一、福島第二原子力発電所への貞観地震による津波の影響の有無を調査するため、福島県の太平洋沿岸において津波堆積物調査を実施した。調査の結果、福島県北部では、標高4m程度まで貞観津波による津波堆積物を確認したが、南部（富岡～いわき）では津波堆積物を確認できなかった。調査結果と試し計算に使用した波源モデル案で整合しない点があることが判明したことから、貞観津波についても波源の確定のためには、今後のさらなる調査・研究が必要と考えた。

津波堆積物調査の結果については、平成23年1月に論文として投稿し、同年5月に日本地球惑星科学連合2011大会で発表¹を行った。

なお、地震発生当時でも貞観津波の発生位置及び規模等（波源モデル）は確定されていなかった。

③「地震本部の見解」、貞観津波に対する当社の取り扱い決定経緯

平成18年9月の耐震設計審査指針改訂（新耐震指針）に伴い、原子力安全・保安院から出された既設プラントの耐震バックチェック指示に対する作業を進める中、津波評価に必要な波源モデル等の知見が定まっていない「地震本部の見解」や貞観津波について具体的にどのように対処するかについて社内で検討したが、その経緯を以下に記載する。

- ・ 新耐震指針においては、津波に関して地震随件事象に対する考慮として扱っており、「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。しかし、「極めてまれでは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」とは、具体的にどのようなものを考慮すべきかを判定する考え方や基準は示されていない。
- ・ 新設プラントについては、津波の具体的想定は施設の安全審査を行う際に審議される。明確な基準がない中での審議となるため、必ずしも科学的に統一的な考え方に基づいた措置が求められるとは限らない。既設プラントの場合も、新耐震指針に対する耐震バックチェックにおいて、国の審議は実施されるため、同様の状況になる可能性がある。
- ・ 当時、原子力設備管理部に所属する土木調査グループは、津波評価を担当しており、耐震バックチェックの実務作業において「地震本部の見解」の扱いが確定しない状態のままでは審議遅延の懸念材料になると考え、津波評価の専門家に意見を伺った。その意見は、「地震本部の見解については、中央防災会議でも扱いを議論した。福島県沖海溝沿いで大地震が発生するかどうかについては、繰り返し性がないこと及び切迫性がないことを理由に、結論を出さなかった。しかし、私は、福島県沖海溝沿いで大地震が発生することは否定できないので、（バックチェック作業において）波源として考慮するべきと考える。」というものや、別の専門家からは、「（耐震バックチェッ

¹及川兼司ほか：福島県沿岸周辺における津波堆積物調査、日本地球惑星科学連合2011年大会、SSS032-P25

クで) 設計事象として扱うかどうかは難しい問題」との意見をいただくなど、専門家の間でも意見が定まった状況ではなかった。

- このような専門家の意見があったことから、三陸沖海溝沿いの波源モデルを波源モデルが存在していなかった福島県沖海溝沿いの波源モデルとして仮に借用して「地震本部の見解」に関連して実施した試し計算も含めて、福島第一、福島第二原子力発電所に係る津波評価の概要について、土木調査グループから平成20年6月10日に武藤栄原子力・立地本部副本部長(当時)、土木調査グループの所属する原子力設備管理部の吉田昌郎部長(当時)らに説明がなされ、「地震本部の見解」の取り扱いについて議論が行われた。
- 6月10日の打合せにおいては、武藤原子力・立地本部副本部長以下の意見として、津波ハザードに対する詳細な検討内容、津波の遡上高さを低減するための対策案などを検討整理し、再説明することとなった。
- 平成20年7月31日に武藤原子力・立地本部副本部長、吉田部長らに対して土木調査グループから前回の打合せで示した試し計算を前提とした場合の再説明が行われた。津波対策については、一般的な方法として防波堤等を設置する案で例示したが、実際に設置できるか否かの施工の実現性は考慮せず、発電所沖合を設置場所としている。このため、建設費も概算であり、そのオーダーは数百億円、工期も意思決定から防波堤完成まで約4年と推定している。沖合に設置する防波堤の高さは、津波が超えない高さとし、この対策が実際にできたとしても、海水ポンプが設置されている敷地レベル(O.P.+4.0m)で水位の低減は1~2m程度と説明している。ただし、防波堤長さを長くすれば建屋敷地レベルへの遡上は大幅に軽減され、建屋敷地レベルに数mの防潮堤設置で対応できるとしている。
- この説明の過程において、反射した波の影響についての質問があり、反射した波が周辺集落に向かう波を大きくする可能性があることを土木調査グループから説明したところ、これらの対策は発電所を守るためのものであるが、仮に対応すべき津波高さが今以上に高くなり、何らかの対応策が必要になったとしても、周辺集落の安全性に悪影響を及ぼすような対応は好ましくないとの意見が出された。
- この打合せにおいて、津波事象に関する詳細説明、対策案の例などの説明を受けた武藤原子力・立地本部副本部長、吉田部長の判断として、土木学会の「津波評価技術」による評価は保守性を有しており、原子力発電所の安全性は担保されていること、地震本部が主張する「三陸沖から房総沖の海溝沿いのどこでも地震が発生する可能性がある」との見解には具体的な波源モデルもなく、即座に津波高への影響が定まるものではないこと、原子力発電所の津波評価は土木学会の津波評価技術に従って評価していること等から、大きな地震は起きないとされてきた福島県沖の日本海溝沿いも含む太平洋側津波地震の扱いについては土木学会の専門家に検討していただき、明確にルール化した上で対応すること、それまでは現行のルールである土木学会の津波評価技術に従って評価すること等を決定した。本件については、武藤原子力・立地本部副本部長及び吉田部長から、武黒一郎原子力・立地本部長(当時)に報告がなされている。
- 平成20年10月頃、上記決定事項の具体的な進め方について取り纏め、専門家の意見を伺ったところ、特に否定的な意見はなかった。この過程において、先に述べたように産業技術総合研究所(当時)佐竹氏から貞観津波に関する投稿準備中の論文の提供を受け、貞観津波の試し計算を実施した。
- 佐竹氏ほかの論文では、福島県沿岸の津波堆積物調査の必要性が述べられていた。一方、「地震本部の見解」に対する当社の対応について、地震本部で委員を務められ

た専門家に意見を伺ったところ、「地震本部がそのような見解を出している以上、事業者はどう対応するのか答えなければならない。対策を取るのも一つ。無視するのも一つ。ただし、無視するためには、積極的な証拠が必要。福島県沿岸で津波堆積物調査を実施し、地震本部の見解に対応するような津波が過去に発生していないことを示すことがよいのではないか。」との意見があり、このため当社は、土木学会へ審議を依頼し、波源モデルが確定すれば、それに基づく評価を行い必要に応じて対応を講じることとした。

- ・ 吉田部長は、佐竹氏ほか指摘しているように貞観津波に関する正確な情報を得ることを主たる目的として、福島県沿岸における津波堆積物調査を実施することを決定するとともに、「地震本部の見解」と同様に貞観津波についても土木学会へ審議を依頼することとした。これらの方針については、後日吉田部長から武藤原子力・立地本部副本部長、武黒原子力・立地本部長に報告されている。
- ・ 土木学会への審議依頼にあたっては、平成21年2月の土木学会津波評価部会において、審議事項に関する事前の説明が行われ、波源モデルに関する検討として、地震本部等、各研究機関が示している見解の具体的な実務への適用方法についての検討が提案されている。その後、平成21年6月に正式な依頼を実施しており、波源モデル等に関する電気事業者による研究内容の審議をしたものとなっている。また、正式依頼後の平成21年11月の津波評価部会では、より具体的に地震本部の見解と貞観津波の波源モデルも審議事項として説明されている。

上述の通り、新耐震指針においては考慮すべき津波について具体的な考え方や判断基準が示されていないことや、国の防災機関である中央防災会議においても地震本部が発生の可能性があったとした福島県沖から房総沖の海溝沿いの地震は考慮外とされていたものであったため、土木学会におけるルール化検討を踏まえた上で対処すべく依頼していたところであった。

④「地震本部の見解」、貞観津波に関する関係官庁等との関わり

これまで述べてきた「地震本部の見解」や貞観津波への対応については、当社は適宜関係官庁である文部科学省や原子力安全・保安院と意見交換や説明をしている。その状況について以下に記載する。

- ・ 平成21年6月24日、福島第一5号機を代表プラントとした耐震安全性評価（中間報告書）について、経済産業大臣の諮問機関である総合資源エネルギー調査会傘下の地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループが開催された。このワーキンググループにおいて、産業技術総合研究所の岡村行信委員から「中間報告書において、貞観津波、貞観地震について全く触れていないことはどうしてなのか」との質問を受けた。
- ・ 前述したように中間報告書は地震動の評価が主体となっており、津波については最終報告書で報告することとなっていたため、当社からは、中間報告書記載の地震動の範囲で「福島地点の地震動を考える際には、塩屋崎沖地震で代表できると考えており、基準地震動に影響はない」旨を回答した。
- ・ それに対して、岡村委員は「貞観津波の津波堆積物は常磐海岸まで来ている。その

点については産業技術総合研究所や東北大学の調査で明らかになっている」、「南の方まで貞観地震の震源域を考慮すべき」と主張された。なお、実際には前述した佐竹氏ほかの論文では、貞観津波については調査研究段階にあり、南側については福島県や茨城県側の津波堆積物調査が今後必要との結論が記述されていた。実際、それ以降に行われた津波堆積物調査結果を含めても、福島県の北部では津波の痕跡が確認されているものの、南部においては確認されておらず、さらなる調査が必要と考えられていた。

- 原子力安全・保安院からは、当日のワーキンググループは中間報告書の地震評価に関する審議の場であり、津波評価は最終報告書での報告事項である旨の回答がなされた。
- 平成21年7月21日、原子力安全・保安院は、ワーキンググループの審議結果として、当社が策定した地震動が妥当と判断した上で、「現在、研究機関等により869年貞観の地震に係る津波堆積物や津波の波源等に関する調査研究が行われていることを踏まえ、当院は、今後、事業者が津波評価及び地震動評価の観点から、適宜、当該調査研究の成果に応じた適切な対応を取るべきと考える」との意見を付して中間報告の評価を取り纏めており、原子力安全・保安院自身が貞観津波については調査研究段階であるとしていた。
- 平成21年8月28日及び9月7日に、原子力安全・保安院の要請により当社の貞観津波評価等の取り組みについて説明をした。具体的には、佐竹氏ほかの貞観津波の波源モデルによる試し計算結果、波源モデル確定のための研究計画、津波堆積物調査予定などについて、耐震安全審査室長らに資料を渡して説明を実施した。原子力安全・保安院からは、「貞観津波について正式にバックチェックの基本ケースで扱う必要はないが、何らかの形で安全性について言及できるのが理想と考えている」旨の意見が出された。このため、当社としても、津波堆積物の調査等、できる限りの調査、検討を行い、より正確な情報を得たいと考えていた。
- 平成23年3月3日、文部科学省からの依頼によって、文部科学省と電気事業者数社との情報交換会が文部科学省会議室で開催された。会議は、平成23年4月中旬に公表が予定されていた地震本部の長期評価の改訂内容についてであり、貞観津波に関する記載が追加される旨の説明を受けた。当社からの意見として、「貞観津波があったことは共通認識としてあるものの、当社のみならず大学や産業技術総合研究所などの研究機関も調査研究を進めている段階にあり、その震源の位置や規模については確定できていないことや、同じ場所で繰り返し発生しているかどうかは分かっていないことなど、事実関係に誤解の無いようにしていただきたい」と述べたところ、文部科学省の認識としても同じであるとの返答であった。
- 原子力安全・保安院から、「文部科学省が貞観津波について長期評価に記載するとの話があるため、東京電力の津波評価に関する取り組み状況等について教えてほしい」との要請があったことから、平成23年3月3日に文部科学省との打合せが開催される旨の話をしたところ、「文部科学省との打合せ内容も含めて話を聞きたい」との要請があり、平成23年3月7日に打合せを実施することとなった。
- 平成23年3月7日、先日伺った文部科学省（地震本部）の考えについて説明するとともに、上述の当社意見の内容についても説明した。また、併せて、佐竹氏ほかの貞観津波のモデルを使用した試し計算や地震本部の見解に対応した試し計算の結果や当社の津波評価の対応状況等についても、耐震安全審査室長らに資料を渡して説明を実施した。原子力安全・保安院からは、地震本部の公表内容や近々開催される東北

電力女川原子力発電所の最終報告書での貞観津波の審議状況によっては、当社に対して何らかの指示を出すこともあり得る旨の発言がなされたが、今すぐ対策を実施するようとの指示は受けていない。このため、当社としても審議の場で説明を求められれば、津波堆積物調査結果などで判明した福島県沿岸の津波遡上高さなどから、佐竹氏ほかの提案する貞観津波の波源モデルについても、改良やより詳細な調査が必要である旨説明することを考えていた。

⑤関係者の認識

当社において、津波の試し計算に係わった社員及びそれを踏まえた社内検討に係わった社員に対して、前述した津波評価に関する認識を確認した。その要旨を以下に述べる。

<試し計算の位置付け>

- ・ 地震本部の見解を踏まえた津波高さの試し計算については、見解を実務（耐震バックチェック）の中でどのように扱うか、社内で議論するために実施したものである。取り扱いを議論するためには、「地震本部の見解」そのものだけでは議論にならないために、専門家の意見、津波高さ低減対策、試し計算などの資料を、議論の過程で社内関係者に提示した。
- ・ 関係者は、「地震本部の見解」も「貞観津波」のモデルも確固たる津波計算をするには情報が不足していて、試し計算で算出した津波高さの数値は、仮想的な条件で算出したもので、実際には起こらない津波高さ（蓋然性のない津波高さ）であると考え、土木学会の津波評価技術に基づき算出した今までの津波高さでさえ、平均的に見て既往最大津波の約2倍程度になっていると複数の関係者は考えており、波源のパラメータ・スタディという不確かさを考慮する手法が組み込まれていることによる保守性によって、実際の津波に対して十分な余裕を有していると認識していた。

<土木学会について>

- ・ 社内検討の結果として、議論に加わった関係者は、実務（耐震バックチェック）での取り扱いを第三者機関、今回のケースで言えば土木学会において審議してもらい、その結果を原子力発電所の標準的な津波評価方法である「津波評価技術」に反映してもらうことが筋であり、客観的に認知されていないもので対応しても耐震バックチェックの審査で滞る可能性があると考えていた。
- ・ 「地震本部の見解」だけでは情報が不足しており、具体的に実務として進めるために対応してきた。確定した波源モデルがなければ何も進まず、しかしながら形式上は電気事業者の自主的整備となっており、国はチェックすることはあっても判断基準は示すことはない。このような状況を打開するため当社は自ら動き、国の中央防災会議を含め誰も考慮していない知見の波源モデル策定を第三者機関である土木学会にお願いしていたものである。

<貞観津波について>

- ・ 福島の耐震バックチェックにおいては、審査の委員の方から地震動の審査の場で貞観津波の質問を受けており、貞観津波に関して関心の高い委員がおられた。
- ・ 原子力安全・保安院には、地震発生直前の平成23年3月7日にも試し計算結果を説明している。原子力安全・保安院からは、東北電力女川原子力発電所の耐震バック

チェックの審議において貞観津波に関して紛糾すれば、福島耐震バックチェックにおいても何らかの対応を求める可能性があることは言及されており、間接的かもしれないが原子力安全・保安院は貞観津波に対する関心を持っていた。

<津波基準について>

- ・ 地震や津波については、試験や実験をすることができないため様々な見解を述べる人がいる。我々事業者も知見の収集等、継続的に調査・検討を実施するが、このようなものこそ想定することが適切な脅威の程度（地震や津波についての具体的基準）について、知見の集約（収集・評価、総括）能力の高い専門研究機関である国の組織が統一的な見解を明示し、適宜見直す体制作りが望まれる。

(3) スマトラ島沖地震以降の我が国の地震・津波の評価

スマトラ島周辺はプレートのぶつかり合う世界有数の地震多発地域で、100年～150年周期で大きな地震が発生することが知られていた。そのような中、平成16年12月26日に発生したスマトラ島沖地震（M9.1）は1000km以上の範囲でずれが生じ、巨大エネルギーが解放された。

このスマトラ島沖地震以降、広い範囲で連動する地震についての議論がなされたが、東北太平洋沖のプレート境界地震の発生域においては、宮城県沖、福島県沖、茨城県沖の広い範囲で連動する地震は考慮されておらず、個別に地震が発生するという見解が一般的であった。

国の地震本部の見解においても、東北太平洋沖のプレート境界地震の発生域においては、それぞれの領域をまたがるようなM9クラスの巨大地震は想定されておらず、東北地方太平洋沖地震が発生する2ヶ月前の1月11日に公表された地震本部の長期評価¹には、今回の地震で見られた震源域の連動は示されていなかった。

平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震を踏まえ、同日、地震本部（地震調査委員会）は「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の評価」を発表しているが、この中で「今回の震源域は、岩手県沖から茨城県沖までの広範囲にわたっていると考えられる。地震調査委員会では、宮城県沖・その東の三陸沖南部海溝寄りから南の茨城県沖までの個別の領域については地震動や津波について評価していたが、これらすべての領域が連動して発生する地震については想定外であった。」としている。

また、平成23年4月27日の中央防災会議において、「東北地方太平洋沖地震—東日本大震災—の特徴と課題」²が示されているが、その中で今般の地震・津波災害の特徴として、想定をはるかに超えた大きな地震・津波規模と広域で甚大な津波災害が挙げられている。

加えて、中央防災会議では今般の災害に関して専門部会を設けて「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報告（平成23年9月28日）」³を

¹地震調査研究推進本部HP、http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11jan_kakuritsu/index.htm

²中央防災会議第27回（平成23年4月27日）資料1、<http://www.bousai.go.jp/chubou/27/shiryo1.pdf>

³中央防災会議 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：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報告 平成23年9月28日、<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/higashinohon/houkoku.pdf>

とりまとめており、この中で今般の津波の特徴について「今回の津波は、従前の想定をはるかに超える規模の津波であった。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もつ地震として発生したことが主な原因である。

一方、津波高が巨大となった要因として、今回の津波の発生メカニズムが、通常の間溝型地震が発生する深部プレート境界のずれ動きだけでなく、浅部プレート境界も同時に大きくずれ動いたことによるものであったことがあげられる。」と述べており、今般の地震・津波が3月11日以前においては想定外のものであったとしている。

以上、我が国の地震における知見としては、国の地震本部や中央防災会議といった政府の専門機関も、我が国周辺の地震動においてスマトラ島沖地震並の震源の連動を想定していなかった。

(4) 建屋敷地高さ

①建設当時の考え（元社員ヒアリング）

福島第一原子力発電所の建設段階で、土木工事に係わった元社員にヒアリングし、以下に示すような当時の考え等を確認した。

- ・ 建設当時、チリ津波が浜通り全体の既往津波の中で最も大きいということが認識であった。それまでは、近場の地震津波が支配的と考えられていたが、チリ津波の発生以降は、遠方のチリ津波の方が大きいことを経験として得た。
- ・ 三陸では入り江が複雑で増幅の影響が大きいとため、近場の地震でも津波が高くなる。一方、浜通りの相馬以南は地形が平坦で、そのような増幅は起きないと考えられていた。
- ・ 地震も仙台から南は小さいと考えられていた。また、実際にそのような結果が得られていた。地震で津波は起きるが、福島側は地震自体が大きくなかった。そのような近場の地震による津波はチリ津波より小さいと考えられていた。
- ・ 福島第一及び福島第二原子力発電所の元々の地形は切り立った崖であり、工事費としてはなるべく低くは削りたくない一方、取水や荷揚げを考慮すれば低い方がよい。津波の高さを考慮した安全の確保を前提として、その最適なところが、海水ポンプ等が設置されている4mであり、建屋が設置されている10m以上の敷地高さとなっている。

②建設当時の考え（専門誌掲載）

福島第一原子力発電所建設について、専門誌「土木施工」（12巻7号；昭和46年7月1日）に当時掲載された内容から発電所敷地地盤高の決定経緯の要旨を以下に記載する。

- ・ 発電所敷地の地盤高は、波浪及び津波などに対する防災的な配慮とともに、原子炉及び発電機建屋（タービン建屋のこと）出入口の高さ、敷地造成費、基礎費、復水器冷却水の揚水電力量などがもっとも合理的で、しかも経済的となるように決定する必

要があるとしている。

- 当地点付近の高極潮位は小名浜港において、O.P. + 3. 1 2 2 m（チリ地震津波）であるので、潮位差を加えても防災面からの海水ポンプ等を設置する敷地地盤高はO.P. + 4. 0 mで十分であるとしている。
- 一方、地質条件より原子炉建屋の基礎地盤高をO.P. - 4. 0 m（復水器天端高O.P. + 9. 8 m）と決めたため、原子炉建屋の出入口との関係から、主要建屋が設置される発電所敷地地盤高は1号機ではO.P. + 1 0. 0 mが好ましく、2号機以降分は基礎地盤高を調整すれば、1号機の敷地地盤高に原子炉建屋出入口を揃えることができるとしている。
- 主要建屋が設置される発電所敷地エリアの敷地造成に必要な掘削費、O.P. - 4. 0 mの基礎地盤までの建物基礎掘削費及び進入道路の掘削費の合計額が経済的になるのは、O.P. + 1 0. 0 m付近になるとしている。

同様に、専門誌「土木技術」（昭和42年9月号）の「福島原子力発電所 土木工事の概要（1）」において、敷地の地盤高は基礎の地質状況、土工費及び台風時の高波及び津波に対しても十分安全な高さなどを総合勘案してO.P. + 1 0. 0 mを決定したと述べている。

福島の発電所立地点は海岸段丘地帯に位置し、元来の地表面はO.P. + 3 0 m程度の高さにあったが、上部は比較的崩れやすい砂岩であり、確固たる建屋基礎を得るための安定した地層としてはO.P. - 4. 0 mに位置する泥岩層となっている。このため安定した基礎を得るためには掘り下げる必要があり、加えて、津波高さ、作業スペース、出入口、掘削費などの諸問題を総合的に勘案して敷地高さを決定している。

③主要建屋敷地高さ比較

これまで述べてきたように、福島第一原子力発電所の主要建屋の敷地高さについては、当時の知見に基づく防災的な面や地質状況と原子炉建屋の設計、経済的な評価なども総合的に考慮して設定されている。このような経緯で設定された福島第一原子力発電所の敷地高さが、実際に不当に低く設定されたものか否か、確認するための一手法として関東以北の太平洋岸に位置する他の電気事業者が所有する原子力発電所の敷地高さとの比較を実施した。

- 福島第一原子力発電所の主要建屋は、被害の大きかった1号機～4号機側がO.P. + 1 0 mのレベルに、5号機及び6号機側がO.P. + 1 3 mのレベルに設置されている。設置許可段階では、既往の最大津波としてチリ津波を想定しており、その時の津波の高さはO.P. + 3. 1 2 2 m、現在では土木学会の「津波評価技術」に従って算出している津波の高さO.P. + 6. 1 mが設計上の津波高さであり、建屋設置レベルに遡上するような津波はないと認識していた。
- 設計上の津波高さとして主要建屋敷地の関係について、平成23年6月に日本国政府から国際原子力機関（IAEA）閣僚会議に提出された事故報告書¹に記載されている太平洋岸に位置する東北電力女川原子力発電所、日本原子力発電（以下「原電」という）東海第二発電所のデータに基づき、設計上の津波高さ等と建屋敷地レベルの関係につ

¹原子力災害対策本部：原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書—東京電力福島原子力発電所の事故について—、2011、http://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/iaea_houkokusho.html

いて比較を実施した。

- その結果、福島第一原子力発電所の建屋設置レベルは、土木学会の津波評価技術という同一のルールに基づき算定している設計上の津波高さとの比較において、特段低く設定されていない。【添付3-18】

発電所名	(A) 主要敷地高さ (m)	津波高さ (m)		(A-B)	(A-C)
		設置許可 (B)	土木学会 (C)	A	A
福島第一原子力発電所	+10.0	+3.122	+6.1	68%	39%
原電東海第二発電所	+8.9	記載なし	+5.8	—	34%
東北電力女川原子力発電所	+14.8	+9.1 (2号)	+13.6	38%	8%
		+3 程度 (1号)		80%	8%

④建屋設計と機器配置

福島第一・福島第二原子力発電所の原子炉建屋の構造は、福島第一6号機及び福島第二1～4号機においては、原子炉棟とその外側に付属棟を設置した複合建屋方式の原子炉建屋を採用しているが、福島第一1～5号機では原子炉建屋付属棟を持たない原子炉棟のみの単独建屋となっている。

原子炉建屋が付属棟を持たない福島第一1～5号機の非常用D/G（当初から設置されているもの）は、軽油を燃料とするディーゼルエンジンで発電機を駆動するもので給排気が必要となることから、気密性の要求される原子炉建屋（原子炉棟）に設置することはできず、タービン建屋地下階に配置されていた。

米国のプラント設計について調査したところ、米国においても気密性を要求される原子炉建屋の内部には非常用D/Gは設置されていない。

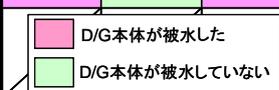
福島第一1号機が設計されていた頃に米国で建設されていたプラントを調査したところ、米国では1969年（昭和44年）頃のプラント固有の耐震要求に従って設計されており、個々のプラントの設置されている地盤を考慮した設計となっていた。米国の原子力プラントに対する耐震設計は、発電所の地質条件によって異なっており、岩盤に設置されているプラントもあれば、地盤に直接設置されているものもあれば、マットを打設した基礎の上に設置されたものもあった。つまり、米国においては、非常用D/Gが設置されている建屋の多くは、岩盤に設置することを要求されたものではなかった。

これに対して、日本の原子力発電所では、建屋の多くは耐震性から岩盤への設置が要求されるために地下階を有している場合が多い。このような条件の違いもあり、非常用D/Gについては、大型機器としての耐震性や振動を考慮して基礎の上（最地下階）に設置していた。

一方、複合建屋方式の福島第一6号機及び福島第二1～4号機の非常用D/Gは、気密性の要求される原子炉棟ではなく、外側の原子炉建屋付属棟の地下階に設置されている。

なお、福島第一原子力発電所に増設された非常用D/Gは、別棟建屋の1階に配置されている。非常用D/Gの設置場所と津波による浸水状況等を取り纏めた表を次に示す。

非常用D/Gの設置場所と津波被害の状況

		福島第一原子力発電所						福島第二原子力発電所			
		1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	1号機	2号機	3号機	4号機
津波高さ※1		約+13m						約+9m			
敷地高さ		O.P.+10m				O.P.+13m		O.P.+12m			
主要建屋周り 浸水深 [浸水高]		約1.5～約5.5m [O.P.約+11.5～約+15.5m]※2				約1.5m以下 [O.P.約+13～約+14.5m]		約2.5m以下 (1号機周囲以外はほとんどゼロ) [O.P.約+12～約+14.5m]※3			
D/G 設置建屋 [設置階]	A系	タービン建屋 [地下1階]	タービン建屋 [地下1階]	タービン建屋 [地下1階]	タービン建屋 [地下1階]	タービン建屋 [地下1階]	原子炉建屋 付属棟 [地下1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]	原子炉建屋 付属棟 [地下2階]
	B系	タービン建屋 [地下1階]	共用プール 建屋 [1階]	タービン建屋 [地下1階]	共用プール 建屋 [1階]	タービン建屋 [地下1階]	D/G建屋 [1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]	原子炉建屋 付属棟 [地下2階]
	HPCS 系						原子炉建屋 付属棟 [地下1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]	原子炉建屋 付属棟 [地下2階]

※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 当該エリア南西部では局所的にO.P.約+16～約+17m[浸水深 約6～7m]

※3 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]

・福島第一5号機のD/Gはタービン建屋に設置
・当該D/G本体は被水していない

・福島第二1号機のD/Gは原子炉建屋付属棟に設置
・当該D/G本体は被水している

福島第一原子力発電所では5，6号機より敷地レベルが低く、浸水深さが深い所に設置されていた1～4号機の非常用D/G本体（増設された運用補助共用施設（共用プール建屋）の非常用D/Gを除く）が浸水し、福島第二原子力発電所では津波が集中的に遡上してきた側に位置する1号機の非常用D/G本体が浸水した。

福島第一・福島第二原子力発電所の非常用D/Gが設置されている建屋は、タービン建屋、原子炉建屋付属棟等に係わらず、非常用D/Gへの外気取入口であるルーバを1階に有している。このルーバは、多くの場合、津波の非常用D/G室への主たる浸入口となった。

以上のことから、建屋の周りが水に覆われてしまえば、非常用D/Gが設置されている建屋の種類や設置場所に関係なく、ルーバ等の浸水ルートとなり得る開口部と浸水深さの高さ関係で非常用D/G自体の浸水につながるものと考えられる。

なお、経済産業省所管の独立行政法人原子力安全基盤機構の報告書（「地震に係る確率論的安全評価手法の改良 BWRの事故シーケンスの試解析(平成20年8月)」及び「平成21年度地震に係る確率論的安全評価手法の改良 BWRの事故シーケンスの試解析(平成22年12月)」)において、プラントに津波が到達するほどの高い津波の場合、安全上重要な施設に被害を生じ炉心損傷に至ることが報告されている。しかし、この評価は高い津波が施設を冠水させた場合を前提とする影響評価であって、その様な津波が発生する可能性について検討したものではない。一方、当社は、土木学会の「津波評価技術」に基づき評価した津波水位に基づいて必要な対策を講じてきていた。

(5) まとめ

これまでの津波の評価については、平成14年に策定された土木学会の「津波評価技術」に基づく計算が定着しており、平均的に見て既知の津波高さに対して約2倍程度の裕度を有しているものと認識されていた。

福島のは、地形も平坦であり、津波が地形で増幅されるようなこともなく、近場で大きな地震がないことから、付随する津波高さも大きくはならないと考えていた。当時の津波は最大でもチリ津波の約3mであり、東北北部の三陸付近の津波高さと、南部の福島、茨城の津波高さの傾向は大きく異なっており、地震の面でも津波の面でも福島は安定していると考えていた。このため、「津波評価技術」の制定に伴う津波高さの見直しに対して0.P.+4.0mの地盤にあるポンプなどに対して対策は施してきたものの、主要建屋が設置されている0.P.+10.0mにまで遡してくるとは全く考えられなかった。【添付3-19】

「地震本部の見解」(平成14年に長期評価として公表)については、社内で津波高さの試し計算を実施したが、これはより具体的な議論をするために実施したものであり、

- ・ 当社は、福島県沖の日本海溝沿いでは大きな地震は発生しないと考えていたこと
- ・ 当該エリアでは大きな地震が発生した実績がないことから、電気事業者が津波評価のルールとしている土木学会の「津波評価技術」においても、福島県沖の海溝沿いでは津波発生を考慮しておらず、津波の波源として想定すべきモデルが定まっていないこと、中央防災会議においても想定モデルは定まっていないこと

から、使用した津波の波源モデルは福島県沖の海溝沿いに想定されているものではなく、三陸沖など他の地域に設定されていた波源モデルを仮に借用して計算したものに過ぎなかった。

その後、波源を確定していくための活動の一環として電気事業者が共同で研究を行うこととし、その研究方針や検討の進め方について専門家へ相談の上、平成21年6月に土木学会に波源モデル策定について審議を要請した¹。

また、貞観津波についても、津波堆積物調査等の結果から、波源モデルの確定のためには、さらなる検討の必要があるものと考え、原子力発電所の津波評価上の取り扱いを明確にするべく、地震本部の見解と合わせて、土木学会で専門家に審議していただくことを要請した。

既設プラントの津波評価については、基本的に建設段階の安全審査以降は法的な見直し要求もなく、形式的には事業者の自主的な管理となっているが、耐震バックチェックの指示が原子力安全・保安院から出ており、実質的には国の審査を受ける規制項目となっている。しかしながら、明確な基準がないために、時として審査が長引き、検討など

¹土木学会原子力土木委員会津波評価部会では、平成21年度～23年度までの期間に、

①日本周辺(太平洋側プレート境界沿い、南海トラフ沿い、日本海東縁部)及び外国沿岸の決定論に用いる波源モデルの構築

②数値計算手法の高度化

③不確かさの考慮方法の検討(確率論的検討を含む)

④津波に伴う波力や砂移動の評価手法の構築 等

を目的として、幅広い分野について審議し、平成14年2月の「津波評価技術」刊行後の知見等を踏まえた改訂を行うこととしていた。上記「地震本部の見解」及び貞観津波の波源モデルについても、①の対象とされ、審議中であった。

において手戻りを生じる結果となる。

当社としては、手戻りのないスムーズな審査が計画的な準備となり、結果として安全で無駄のない工事や安定供給にも繋がるものと考えていた。このためには審査の判断基準を明確にすることが重要であり、津波においては第三者機関で波源モデルを決定することが必要不可欠と考えていた。

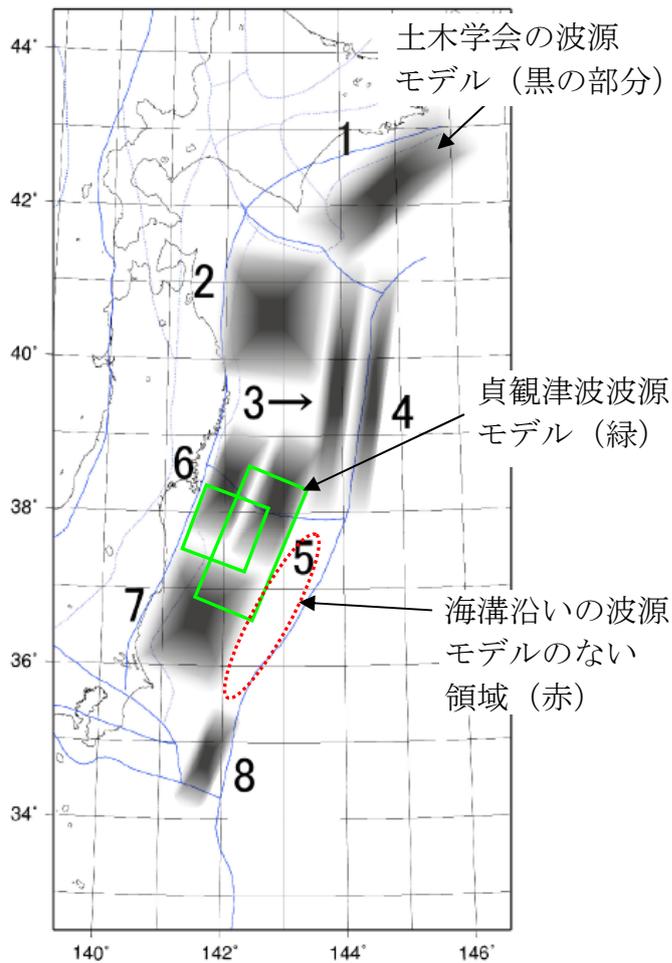
「地震本部の見解」や貞観津波については、中央防災会議でも繰り返し性がないとして取り上げられていない状態であったが、原子力発電所の耐震バックチェックという実質的な国の規制においては、考慮すべきとの考えの委員もいたことから、そのような事態になった場合の対応として、統一した判断基準を策定するために当社が中心となって土木学会に審議を依頼するなどの対応を行っていたものである。

本来、現実の設備設計を行う上で想定することが適切な脅威の程度については、知見の集約（収集・評価、総括）能力の高い専門研究機関である国の組織が統一した見解を明示し、それに基づいて審査が行われることが望ましいが、現状は事業者自身が実務を処理するために判断基準策定に係わる必要が生じる場合がある。このため、当事者である当社の取り組み姿勢について、事業者都合の良い基準作りを行っているかのような誤解を生んでいるものと考えられる。

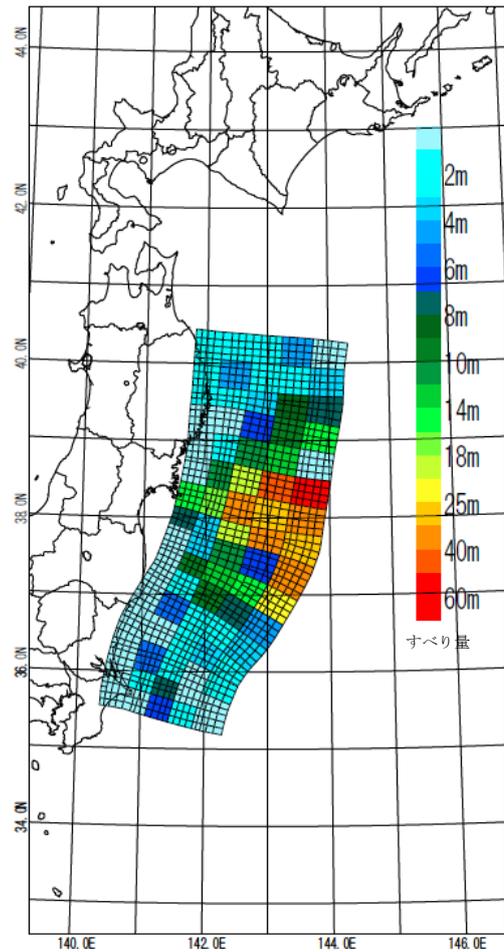
土木学会で津波の波源モデルが審議され、確定した場合においては、それにより発生する津波高さがどのようなものであろうとも、当社はその津波への対応策を講じる予定としていたが、「関係者の認識」にもあるように、社内的に「地震本部の見解」などの取り扱いに係わった社員は、実際には今回のような大きな地震や津波がくるとは想定していなかったし、想定できなかったのが実態である。

なお、今回の東北地方太平洋沖地震は、「地震本部の見解」に基づく地震でも、佐竹氏ほかにより提案された貞観地震でもなく、より広範囲を震源域とする巨大な地震であったことが判明している。スマトラ島沖地震の項でも述べたように、日本周辺において、今回の東北地方太平洋沖地震のように震源が広範囲に連動することについては、我が国のどの地震関連機関も考えていなかったことから、まさに知見を超えた巨大地震・巨大津波であったといえる。

【添付 3-20】



土木学会の波源、貞観津波の波源
 (貞観波源は「佐竹ほか、2008」に基づき作成)



今回の津波の波源
 (東京電力作成¹)

¹ Makoto TAKAO et. al: TSUNAMI INVERSION ANALYSIS OF THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE, One Year after 2011 Great East Japan Earthquake International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake (March 1-4,2012)、<http://www.jaee.gr.jp/event/seminar2012/eqsympo/pdf/papers/70.pdf>

4. 安全確保への備え（地震・津波を除く）

当社は、電力の安定供給を担い、かつ地域に密着した多様な電力設備を設置しているインフラ事業者として、広範囲・長期間の停電や公衆被害などにつながる重大災害対策に、全社を挙げて取り組んできた。

特に、我が国は、地震、台風、雷などによる自然災害の発生が多いことから、それらによる被災経験等を踏まえ、設備対策や被災時の早期復旧方法の整備等を中心に取り組んできた。

原子力部門においては、原子力災害リスクの低減に向け、国や専門機関が定める技術基準等を満たす設備設計・対策を実施するとともに、過去の自然災害や国内外の事故事象などの知見を、適宜、発電所の設備・運転に反映し、原子力安全の更なる向上に向けた取り組みを継続的に実施してきた。また、発電所運営においても、世界の良好事例との比較・検証を行うなどして運営の品質向上に努めてきた。具体的には以下に説明する。

4. 1 法令全般

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下「原子炉等規制法」という）では、原子炉設置許可を始めとした各種許認可の手続きや基準等が定められており、実用発電用原子炉の設置にあたっては、同法に基づき経済産業大臣の許可を受けなければならない。

原子炉設置者からの設置許可申請に対する安全審査は、経済産業省が原子炉等規制法に定められた許可基準に適合しているか審査を行い、その審査結果を原子力安全委員会に諮問し、原子力安全委員会でも審査が行われる（ダブルチェック）。これらの審査に際しては、原子力安全委員会が策定した安全設計審査指針等の各種指針類への適合状況が確認されている。

また、プラントの運転保守については、設備の維持等に関し「原子炉施設保安規定」（以下、保安規定という）を定め、経済産業大臣の認可を受け、その遵守状況について経済産業大臣が行う定期的な検査（保安検査）により確認することとしている。

電気事業法では、工事計画の認可、使用前検査及び定期検査の手続き等が定められており、工事の前に経済産業大臣から工事計画の認可を、また原子炉に装荷される燃料体についても、同様に、その設計につき認可を受けることとされているほか、経済産業大臣あるいはその付託を受けた原子力安全基盤機構による使用前検査、燃料体検査、運転開始後の定期検査等を受けなければならない。

4. 2 防災業務計画

平成11年のJCO事故¹を契機に制定された「原子力災害対策特別措置法」に基づき、予め原子力事業者防災業務計画を定め、その中で、原子力災害予防対策、緊急事態応急対策、原子力災害事後対策、その他の原子力災害の発生及び拡大を防止し、復旧を図る

¹ 1999年9月30日茨城県東海村の（株）ジェー・シー・オー（JCO）ウラン加工施設において発生した臨界事故。

ために必要な業務を定めている。これに基づき、発電所原子力防災組織の設置、通報・情報連絡体制の整備、防災関連の施設・設備・資機材の整備・点検、防災教育・防災訓練の実施等に取り組んできた。

4. 3 設備設計

原子力発電設備の設計にあたっては、人は間違えることがあり、機械は故障することがあるということを前提に、機器の単一故障を想定した事故に対して、多重性や多様性及び独立性を持たせた非常系の冷却設備等を設置してきた。

さらに、原子炉スクラム等の重要な機能については、故障が生じた場合には安全側に動作する設計思想に基づいて、作動信号が発信される設計としている。

【添付4-1】

【添付4-2】に原子炉を「冷やす」機能及び放射性物質を「閉じ込める」（格納容器）機能に関連して設けられた主な設備の設置状況を示す。

事故収束に重要なこれらの機能について、故障等により多少の機能喪失があっても問題なく事故収束が図れることを目的に、前述したように多重性や多様性及び独立性を持たせた設備が設置されている。

これらの状況も踏まえ、原子炉施設の構造、設備等が災害の防止上支障がないものとして、法令に基づく設置の許可を得ている。

4. 4 新たな知見の取り込み【添付4-3】

運転保守段階では、設計（設置許可）の前提となった設備、機器が常に必要な機能を維持するよう、国の認可を受けた保安規定に従い、日常の状態確認、動作確認等を行っている。

さらには、プラントの設置後も新たに得られる知見（自社・他社プラントの運転経験を含む）をその都度、設備面・運用面の観点から積極的に取り込み、原子力災害リスクの低減に取り組んできた。また、保安規定においては10年を超えない期間毎に原子炉施設の定期的な評価を行うとしている。この活動は定期安全レビュー（PSR）¹と呼ばれ、これまで行ってきた保安活動の実施状況の評価及び保安活動への最新の技術的知見の反映状況を評価し、更に確率論的安全評価も併せて総括し、必要に応じて発電所の安全性・信頼性向上のために有効な改善策を抽出するという取り組みであり、これを定期的に実施してきた。

プラント設置後に新たに得られた知見への対応の例としては、原子炉圧力容器に接続されている原子炉再循環系配管で発生した応力腐食割れ対策工事、地中に直接埋設されていた海水系配管をコンクリート製のダクト内に新設する工事、海外プラントでの不適合事例から非常用炉心冷却系吸込ストレーナ目詰まり対策として実施したストレーナ的大型化等、「冷やす」「閉じ込める」機能に直接かかわる設備の更新を実施してきた。

¹ PSR（Periodic Safety Review）原子炉施設保安規定に基づき実施する原子炉施設の定期的な評価をいう。「保安活動の実施状況の評価」「保安活動への最新の技術的知見の反映状況の評価」「確率論的安全評価」の3つの評価項目で構成される。

プラント全体の信頼性向上に向けては、炉心シュラウド取替工事（炉内構造物の応力腐食割れ対策）、給水加熱器取替（磨耗、腐食等対策）、給水制御装置取替（その他経年劣化対策）等の設備更新を実施してきた。

なお、仏ルブレイエ発電所や台湾第3（馬鞍山）原子力発電所の事例について教訓を活用し、安全対策をとっていなかったとの指摘もあるが、仏ルブレイエ発電所の浸水事象（平成11年12月）は、当該発電所の洪水防止壁が最大潮位を考慮していたものの、それに加わる波の高さを考慮していなかったために浸水を招いたものである。当社発電所については津波、高潮等について予想される自然条件のうち、最も苛酷と考えられる条件を考慮していることを確認していた。

台湾第3（馬鞍山）原子力発電所の全交流電源喪失（平成13年3月）については、塩分を含む霧によって、345kVの外部電源が不安定になり、非常用電源母線につながる遮断器でサージによる焼損・地絡が発生、外部電源が切り離されたために2系統ある非常用母線が両系共に外部電源喪失に至り、さらに非常用D/Gも起動失敗したことで全交流電源喪失に至った事故である。本件に関しては、台湾当局の調査結果を基に原子力安全・保安院から原子力安全委員会に事故内容の報告（平成13年7月）がなされ、原因となった超高压送電線の塩害、遮断器の絶縁劣化や非常用D/Gの励磁制御回路の故障など維持管理等の課題を踏まえ、我が国で検討・確認すべき事項が示された。当社はこれを踏まえ、適切に点検・保守管理を行っていることを確認・報告している。

2004年（平成16年）のスマトラ島沖地震の際にインド・マドラス発電所で海水ポンプの浸水被害が発生している。当該事象では低位置にあった海水ポンプを除いてプラント被害がなかった。当該事象については、世界原子力発電事業者協会（WANO）を通じて情報を入手しているが、当該事象はWANOにおいて重要情報との区分がなされておらず、国際原子力事象評価尺度INESはレベル0（安全上重要でない事象）に分類されている（レベル1（逸脱：十分な安全防護層が残ったままの状態での安全機器の軽微な問題）にも達しないレベル）。

原子力安全・保安院と原子力安全基盤機構は、このマドラス発電所の事例や米国での内部溢水事例を契機として平成18年に溢水勉強会を設置し、当社を含めた電気事業者もオブザーバーとして種々の検討に参加した。

検討の結果として、津波高さの計算に使用されていた土木学会の「津波評価技術」の手法の保守性を確認する一方で、計算された津波高さに対して海水ポンプの余裕が少ないプラントについては、更なる余裕を確保する検討を行い対応してほしいとの原子力安全・保安院の口頭要請があり、併せて各社上層部にも伝えるよう要請されている。このような口頭要請も踏まえ、当社は原子力安全・保安院の要請を武黒原子力・立地本部長（当時）まで情報共有するとともに、海水ポンプ用モータの水密化研究等を行っている。これは、やがて新潟県中越沖地震への対応やその教訓の福島原子力発電所への展開を担当していた当社新潟県中越沖地震対策センターを主体とした津波対策ワーキンググループでの検討に引き継がれ、検討が進められてきた。

なお、溢水勉強会では、原子力発電所への津波の影響評価として、主要建屋が設置されている敷地高さ+1mの津波が無制限時間継続すると仮定した場合の評価を実施してい

¹ 過渡的に発生する過電圧や過電流のこと

る。当然のことながら、敷地高さ+1mの津波が無限時間継続すれば、建屋開口部から限りなく建屋内に海水が侵入することから、電源設備や電動駆動の設備の多くが機能を喪失するという結果が得られている。

当社では、この時期本店に短期駐在した研修生の研修テーマとして、溢水勉強会にヒントを得て想定外津波の影響を取り上げている。原子力安全・保安院の溢水勉強会に当社から提供した情報や結果には、その中での調査結果や検討結果が含まれている。これらの検討において仮定した津波高さについては、前述したように土木学会の「津波評価技術」の手法で算出した高さに保守性があることが確認されており、敷地高さを超えるような津波が実際に発生する可能性や蓋然性を考慮した検討にはなっていない。このことは、原子力安全・保安院の中で使用された添付の資料「外部溢水勉強会検討結果について」の「はじめに」の項に、「津波に対する発電所の安全性は十分に確保されている」と記載されていることから明白である。【添付4-4】

一方、地震そのものについては、スマトラ島沖地震以降においても、東北太平洋沖のプレート境界地震の発生域においては、宮城県沖、福島県沖、茨城県沖の広い範囲で連動する地震は考慮されておらず、個別に地震が発生するという見解が一般的であった。国の地震本部の見解においても、東北太平洋沖のプレート境界地震の発生域においては、それぞれの領域をまたがるようなM9クラスの巨大地震は想定されておらず、当社においては土木学会基準に基づき既往の津波に不確かさを見込んで想定津波を考え、それに耐える設備対応は実施済みであった。

運転経験等の反映としては、地下階に設置された重要機器が、建屋内の配管破断等による内部溢水により被水・浸水して機能を失わないよう水密化対策などを実施している。

これは、平成3年10月に福島第一1号機タービン建屋地下1階で発生した、補機冷却海水系配管からの海水漏えいを教訓として、社内WG等で検討が開始され対策に移されたものである。なお、同時期に米国のプラントにおいて、タービン駆動主給水ポンプ用復水器の冷却用に湖から取水している循環水配管が破断し、タービン建屋と補助建屋が浸水したためALERT（警戒体制）が宣言されるという事象が発生したとの情報を入手しており、このような国内外の運転経験に基づく情報も収集し活用している。

また、その後の定期安全レビュー（PSR）における評価においては、各プラントとも十分な安全レベルであることが確認されたものの、社内的には、より一層の安全性・信頼性を向上させる観点（最新のプラントとの比較も考慮）から、改善の余地のある項目の一つとして内部溢水対策を取り上げており、その後、技術的な検討を行った上で各プラントの対策工事を実施している。

内部溢水対策として改善した具体例は以下の通りである。

- ・ 原子炉建屋階段開口部への堰の設置
- ・ 原子炉最地下階の残留熱除去系機器室等の入口扉の水密化
- ・ 原子炉建屋1階電線管貫通部トレンチハッチの水密化
- ・ 非常用電気品室エリアの堰のかさ上げ
- ・ 非常用D/G室入口扉の水密化
- ・ 復水器エリアに監視カメラ・床漏えい検知器設置 等

最近では、平成19年7月の新潟県中越沖地震から得られた知見・教訓を発電所の安全対策に反映すべく、平成19年10月に原子力・立地本部内に「新潟県中越沖地震対

策センター」を設置し、発電所設備の耐震評価に基づく耐震性向上策等の検討に注力してきた。柏崎刈羽原子力発電所における耐震強化工事や免震重要棟の建設を行うとともに、これらの安全性向上対策の福島第一・福島第二原子力発電所への水平展開に取り組んでおり、今回の事故においても効果を発揮している。特に、免震重要棟（緊急時対策室の免震化）は、緊急時対策本部として機能を維持し、新たに配備した消防車は本来の目的とは別に原子炉注水用のポンプとして機能した。【添付4-5】

＜新潟県中越沖地震の教訓から福島第一・福島第二原子力発電所への水平展開例＞

- ・ 免震重要棟の設置
- ・ 消防車の配備
- ・ 建屋送水口の設置（消防車から消火系配管へ接続する口）
- ・ 消火配管の耐震性向上
- ・ 防火水槽の設置 等

以上述べたように自社、他社プラントの運転経験をはじめとする知見を随時発電所の状況確認、設備・運転の改善に反映し、原子力災害のリスク低減策について継続的に取り組んできた。

4. 5 シビアアクシデントへの備え【添付4-6】

（1）アクシデントマネジメント整備

原子力災害リスクの低減への取り組みの一環として、昭和54年の米国スリーマイルアイランド（TMI）事故¹を受け、原子力安全委員会が、その教訓を日本の原子力安全確保対策に反映させるべき事項として52項目を抽出し、国、事業者双方で必要な対応をとってきた。さらに、昭和61年にチェルノブイリ4号機の事故²が発生すると、TMI事故やチェルノブイリ事故がいずれもシビアアクシデントであったことから、シビアアクシデント対策への関心が世界的に高まった。

そうした動向も踏まえ、原子力安全委員会は昭和62年7月に共通問題懇談会（以下「共通懇」という）を設置し、シビアアクシデントの安全上の位置づけの考え方等について検討を開始した。共通懇は、検討を重ね中間報告（平成2年2月）等を経て、平成4年に原子力安全委員会に提出した報告書（平成4年2月）にて、国の果たすべき役割について積極的に提言した。すなわち、原子力安全委員会に対しては、事業者のアクシデントマネジメント整備の性格・位置づけ・事業者と国の任務等に関する基本的考え方を示し、今後の方向性と枠組みを明らかにすることを求め、アクシデントマネジメント整備に関する国の役割についてコンセンサスを得る必要があるとした。

この報告を受けた原子力安全委員会は「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」（平成4年5月）を決定

¹ 昭和54年3月28日アメリカのペンシルバニア州スリーマイルアイランド（TMI）原子力発電所の2号機で発生した事故。燃料の損傷、炉内構造物の一部溶融に至り、周辺に放射性物質が放出され、住民の一部が避難した。

² 昭和61年4月26日、旧ソ連ウクライナ共和国キエフ市北方約130kmにあるチェルノブイリ原子力発電所4号機で発生した事故。蒸気爆発で炉心の一部が破損し、黒鉛火災が発生、建物の一部が吹き飛んで放射性物質が放出された。この事故で、31名の死者が出、203人が急性放射線障害で入院。発電所から半径30km以内の住民135,000人が避難した。

した。それを受けた通商産業省（当時）からのアクシデントマネジメント整備要請（平成4年7月）に基づき、事業者は、平成6年から14年にかけて、多重な故障を想定しても「止める」「冷やす」「閉じ込める」機能が喪失しないよう多重性、多様性の厚みを増すアクシデントマネジメント策を整備した。

アクシデントマネジメント整備の基本的な考え方（原子力安全委員会決定文等）

- 原子炉施設の安全性は、現行の安全規制の下に、設計、建設、運転の各段階において、①異常の発生防止、②異常の拡大防止と事故への発展防止、及び③放射性物質の異常な放出の防止、といういわゆる多重防護の思想に基づき厳格な安全確保対策を行うことによって十分確保されている。
- これらの諸対策によって、シビアアクシデントは、工学的には現実には起こるとは考えられないほど発生の可能性は十分小さいものとなっており、原子炉施設のリスクは十分低くなっていると判断される。
- アクシデントマネジメントの整備は、この低いリスクを一層低減するものとして位置付けられる。
- したがって、当委員会は、原子炉設置者において効果的なアクシデントマネジメントを自主的に整備し、万一の場合にこれを的確に実施できるようにすることは強く推奨されるべきであると考えます。
- アクシデントマネジメントは、原子炉施設の設備を大幅に変更することなく実施可能であり、その実施を想定することによりリスクが効果的に減少する限りにおいて、その実施が推奨又は期待されるべきであると考えます。

当社としても、平成4年にアクシデントマネジメント整備にかかる状況、対応方針等について経営会議に報告し、その方針に基づき、具体的な設備対策について原子力部門内にて詳細検討・評価し、本部長の承認を得て工事を決定・実施してきた。

設備面においては、既存設備の潜在能力を最大限に活用するため、必要な設備変更を実施した。具体的な設備変更を以下に示す。

- 既設の復水補給水系や消火系から炉心スプレイ系（福島第一1号機）または残留熱除去系（福島第一2～6号機、福島第二1～4号機）を通じて原子炉への注水が中央制御室から操作可能となるよう接続ライン及び電動弁を設置（代替注水）
- 格納容器の除熱失敗による格納容器の過圧に備え、耐圧性に優れたベントラインを既設ラインに追設。中央制御室からの操作で格納容器の圧力を逃すことができるよう整備（耐圧強化ベント）
- 非常用D/G及び直流電源全喪失に備え、隣接号機からの電源融通確保 等

【添付4-7】

なお、当社を含むBWRを保有する電気事業者は、アクシデントマネジメント策の一つとして、圧力抑制室からの耐圧強化ベントを整備したが、これは、残留熱除去系等による格納容器の熱除去ができず、格納容器圧力が最高使用圧力を過度に超えるおそれのある場合に、格納容器の破損を防ぎ、外部への放射性物質の放出を抑制することを目的に整備したものである。ベント時には、圧力抑制室にある水でのスクラビング効果¹によ

¹ スクラビングとは、一般的に液体を通じて気体中の不純物を取り除く事を意味する。格納容器ベントのうち圧力抑制室を通じて行うベントは、圧力抑制室にある水により粒子状の放射性物質の除去（スクラビング効果）が見込める。この効果は圧力抑制室にある水の温度等に依存するが、スクラビングによる粒子状の放射性物質放出は1/1000程度に減少する。

り放射性物質の大部分が除去され、圧力抑制室の気相部から耐圧性を強化した配管を通じて格納容器内の気体が放出（ベント）される。

欧州の原子力発電所で採用しているフィルタ装置付きのベント（以下「フィルタベント」という）も同様の効果を狙ったものであり、放射性物質を除去する媒体として水以外にも砂や金属、それらの組み合わせを採用している。これらフィルタベントの性能は、エアロゾル¹状の放射性物質を1/10～1/1000程度（除染係数（DF）で10～1000程度）に減少させる効果がある。

一方、米国では、マークⅠ型の格納容器をもつBWRプラント、及び一部のマークⅡ型格納容器をもつBWRプラントにおいて、米国の原子力規制委員会（NRC）²が1989年（平成元年）に発出したGeneric Letter³89-16に基づき、日本と同様の耐圧強化配管を経由したベントを採用している。

当社では、上記の耐圧強化ベントの導入に先だって、国内でBWRプラントを保有する電気事業者と共同で、欧州のフィルタ装置も含め、放射性物質の除去効果に関する体系的な研究を行っている。その結果、事故後の状況により効果が変わるので一意に決められるものではないものの、炉内から圧力抑制室の水中に放出すると、エアロゾル状の放射性物質を1/1000程度（DFで1000程度）に減少させる効果があることを確認し、その上で、圧力抑制室からの耐圧強化ベントをアクシデントマネジメント策として採用した。

なお、アクシデントマネジメント策では、既存設備の有効利用の観点から耐圧強化ベント設備は非常用ガス処理系設備と接続されている。このため、圧力抑制室からも、ドライウェルからもベントできる設備構成となっているが、ドライウェルからのベントについては、本来非常用ガス処理系を使った通常運転時の格納容器圧力調整での使用を主たる目的としている。

運用面においても、多重な故障への対応態勢を整備するとともに、整備したアクシデントマネジメントを的確に実施するため、従来から制定している手順書等の改訂ならびに事故時運転操作手順書〔シビアアクシデント〕（SOP）等の手順書類を制定した。

また、アクシデントマネジメントに関して正しく理解し、備えておく必要があることから、運転員、支援組織の要員を対象として教育等を定期的に行うこととし、これを実施してきている。なお、これらの設備、対応態勢、手順書等の整備（アクシデントマネジメント策の整備）は、電気事業者と国が一緒になって整備を進めてきたものであり、整備内容については国に報告し、妥当との確認を得ながら進めてきた。

なお、当社のアクシデントマネジメント策の整備に対する姿勢については、昭和61年前後に資源エネルギー庁においてアクシデントマネジメント対応整備に携った担当官が、日刊工業新聞発行「原子力eye」2011年9月号（Vol. 57）に掲載されている「我が国のシビアアクシデント対策の変遷」の中で手順書整備に関する話として、当社が「主導して開始することとなり」「検討・整備が進んだ」と述べられており、当社がアクシデントマネジメント整備において積極的に動いたことが記載されている。

以上のように、事故の対応に必要な「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」機能及びその電源系は、多重性や多様性及び独立性を備え、設計上の想定事象を超えた範囲におい

¹ 気体中に浮遊する微小な液体または固体の粒子をエアロゾル(aerosol)という

² NRC（Nuclear Regulatory Commission）アメリカの原子力の安全審査など規制の部分を担当する機関

³ Generic letter：NRCが許認可取得者（事業者）に規制要求や指針を伝える文書

ても事故の発生を想定し、できる限り事故時に設備機能を喪失することがないように強化してきた。また、このような設備を有効に活用し事故対応が的確に行えるよう体制、手順書等を整備し、訓練を実施してきた。しかしながら、今回の事象は、このような我々の設計を超えた想定事象を大幅に上回るものであり、備えの前提を大きく外れるものであった。

(2) アクシデントマネジメント策における確率論的安全評価（PSA）の取り組み

<確率論的安全評価（PSA）とは>

確率論的安全評価（PSA）については、原子力発電所が事故に至る事象の組み合わせ（事故シーケンス）とその発生確率、事故の影響やリスクなどを体系的に評価するものであり、リスク低減策についても個々に安全への影響度を定量的、相対的に評価することができる。

PSAは、事故シーケンスが多岐にわたり、発生確率が小さく実事故データの入手が困難なシビアアクシデントの評価に有効な手法であり、PSA手法の確立はアクシデントマネジメント整備に必要で有効なものである。

<PSAの整備状況>

原子力安全委員会が「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」を出した平成4年頃は、運転時の内的事象に関するPSAの手法が確立されつつある状況にあった。

具体的には、財団法人（現在は公益財団法人）原子力安全研究協会から、炉心の健全性に関するPSAの評価手法が平成4年7月に発行¹され、格納容器の健全性に関するPSAの評価手法は平成5年10月に発行²された。

これら以外の停止時PSA（内的事象）や外的事象PSAについては手法の確立が未だなされていなかった。このため、電力共同研究において、平成4年以降、それまでの研究成果をベースに地震PSA手法の確立に向けた精緻化に加え、他の地震リスク評価手法や地震以外の事象についても研究を進めた。これにより、地震PSAの評価精度は従来より向上したものの、評価に伴う不確実さは依然大きく、PSA手法を用いたリスク低減策の検討など、実務において意思決定に用いるためには更なる検討が必要と認識していた。

事業者のアクシデントマネジメント整備が一段落する平成14年末以降も、地震PSAの検討を進め、並行して原子力学会における標準的な手順制定作業などを進めてきていた。なお、停止時PSAについては、社団法人（現在は一般社団法人）日本原子力学会により評価手順が平成14年2月に策定されている。

<外的事象への取り組みの動き>

このような動きと並行して、前項でも述べたようにアクシデントマネジメント整備において、昭和62年以降、共通懇などを通じて議論がなされてきたが、平成4年5月の原子力安全委員会の決定を受け、同年6月に通商産業省がアクシデントマネジメントの

¹「確率論的安全評価（PSA）実施手順に関する調査検討—レベル1PSA、内的事象—」（平成4年7月発行）原子力安全研究協会

²「確率論的安全評価（PSA）に関する調査検討—レベル2PSA、内的事象—」（平成5年10月発行）原子力安全研究協会

報告書を作成した。

この報告書の案作成段階で、通商産業省は原子力安全委員会決定内容を超える内容、すなわちベント設備など、具体的な設備名称を追加して記載することはあったが、外的事象については、それを起因とするP S Aの研究に着手することを求める程度の記載となっていた。当時、外的事象P S Aについては、既に電気事業者としても整備の取り組みを開始しており、評価手法としては未成熟ではあるものの、評価手法の整備や精度向上に地道に取り組んでいた。

このように、外的事象については通商産業省から求められるまでもなくP S Aについて、既に取り組んできていたが、外的事象の中でも比較的研究の進んだ地震についてさえ具体的な評価手法としては確立されておらず、津波についてはより一層対応が困難な状況だった。

(3) アクシデントマネジメント策と今回の事故

<福島第一原子力発電所に関して>

以上のように、設計上の想定事象を超えるような事故に対しても、一定の事故対応の体制、手順書等が整備されていたが、今回の事故は、事前の想定を大きく超える津波の影響により、事故対応に作動が期待されていた機器、電源がほぼすべてその機能を喪失し、事故対応の取り組みの前提を外れる事態になった。

例えば、原子炉の冷却という観点からは、通常の給復水系の他、原子炉隔離時冷却系を含めた非常用の複数の注水手段、さらには、本来原子炉注水用途ではない制御棒駆動水压系、復水補給水系、消火系等からも原子炉注水できるよう何重もの備えをしていた。

これら機器のうち、いずれかを使用して原子炉注水を行うことを想定していたが、今回の事故では、津波の影響により電源を喪失したため、電動駆動の原子炉注水設備が機能を喪失した。また、初期段階で機能した蒸気駆動の原子炉隔離時冷却系等についても、制御に必要な直流電源を喪失するなどの理由から機能を喪失し、最終的にはこれらすべての原子炉注水手段を喪失した。

一方、今回の事故対応では、アクシデントマネジメント策として整備された注水手段ではなかったが、新潟県中越沖地震の教訓として配備された消防車を用いて原子炉への注水手段とした。この際、原子炉への注水経路としては、アクシデントマネジメント策の一つとして設置した消火系からの注水ラインを利用している。これはアクシデントマネジメント策整備の一環である手順書整備、訓練等による知識を活用した臨機の応用動作であった。しかし、結果的に事象進展に追いつけず、炉心損傷の防止までには至らなかった。

電源供給という観点からは、外部送電線からの受電が不能になった場合も想定し、各号機に複数の非常用D/Gを設置していた。さらに、これらの非常用D/Gが故障した場合、すなわち短時間(30分)の全交流電源喪失に対して、安全設計審査指針で原子炉を安全に停止することが求められている。これは、短時間に非常用D/G故障の復旧、発電所外部からの受電等によって、電源設備の修復が期待できることによる。一方、実際の発電所の設備は、直流電源で制御され、原子炉蒸気で駆動される原子炉隔離時冷却系等により8時間程度の原子炉注水が可能となっている。さらに、アクシデントマネジメント策として、全交流電源喪失となった場合でも隣接号機から高圧、低圧の交流電源

を供給することで、全交流電源確保への備えを充実させてきている。

このように、アクシデントマネジメント策として、さらに交流電源の復旧が遅れる場合や直流電源が使用不能な場合に備え、隣接号機から電源を融通できるよう備えていたが、今回の事故では、外部送電線からの受電喪失、被水・浸水による非常用D/Gや所内の電源盤の広汎な使用不能等により、短期間での電源復旧ができない状況となった。また、福島第一1～4号機においては、津波による被災以降、すべてのプラントで電源を喪失した状況となったため、隣接号機からの電源融通も不可能となった。

福島の事故を顧みると、今回の津波の影響により、これまで国と一体となって整備してきたアクシデントマネジメント策の機器も含めて、事故対応時に作動が期待されていた機器・電源がほぼすべて機能を喪失した。このため、現場では消防車を原子炉への注水に利用するなど、臨機の対応を余儀なくされ、事故対応は困難を極めることとなった。このように、想定した事故対応の前提を大きく外れる事態となり、これまでの安全への取り組みだけでは事故の拡大を防止することができなかった。結果として、今回の津波に起因した福島第一原子力発電所の事故に対抗する手段をとることができず、炉心損傷を防止できなかった。

ところで、今回の事故対応において現場で行われた消防車による注水、仮設バッテリーによる水位計や主蒸気逃がし安全弁の機能回復などの臨機の応用動作は米国の ICM order (セーフガードとセキュリティに関する暫定的補償措置命令) における B. 5. b 項で要求される事故時対応と極めて類似したものであった。B. 5. b 項は航空機衝突事象を含む事象による大規模火災及び爆発により施設の大部分が喪失する状況でも炉心冷却能力、格納容器の閉じ込め機能、使用済燃料プール冷却能力を維持・復旧できる緩和策を策定するよう要求するものであり、今回の事故進展防止にも寄与した可能性が考えられる。これは 9. 11 以降とられた施策で、米国 10CFR Part73¹で規定される防護情報に分類されており、原子力安全・保安院は平成15年、平成19年にNRCからその内容を伝えられたが、我が国の民間電気事業者は知り得る情報ではなかった。

<福島第二原子力発電所に関して>

福島第二原子力発電所では、襲来した津波の規模が福島第一原子力発電所よりも小さかったこと、電源喪失を免れたことなどから、これまでに整備してきたアクシデントマネジメント策を有効に機能させることができ、プラントの安定化、冷温停止に至った。

詳細の対応状況については8章に示すが、これらの操作のほとんどは、事故時運転操作手順書〔徴候ベース〕(EOP)に基づいて行われた。なお、EOPには無いが、可燃性ガス濃度制御系の冷却器を経由した圧力抑制室への注水を、発電所対策本部の発案により実施した。

EOPは想定事象シナリオに沿って運転手順を定めるのではなく、プラントの状態(徴候)に応じた対応手段を示すもので、TMI事故の教訓を受けて開発され、チェルノブイリ事故後のアクシデントマネジメント整備の一環で改良されたものである。今回の事

¹ 10CFR (Title 10 Code of Federal Regulation) は、原子力法等の法律に基づき連邦行政機関が作成する規則で、原子力規制委員会(NRC:Nuclear Regulatory Commission)が定める規則に、Part 0～199までである。Part 73 (Physical Protection of Plant and Materials) は、ある特定サイト内、あるいは輸送中の特殊核物質及び特殊核物質が使用されているプラントにおける、特殊核物質に対する防護能力を有する核物質防護システムの設置と保守について規定している。

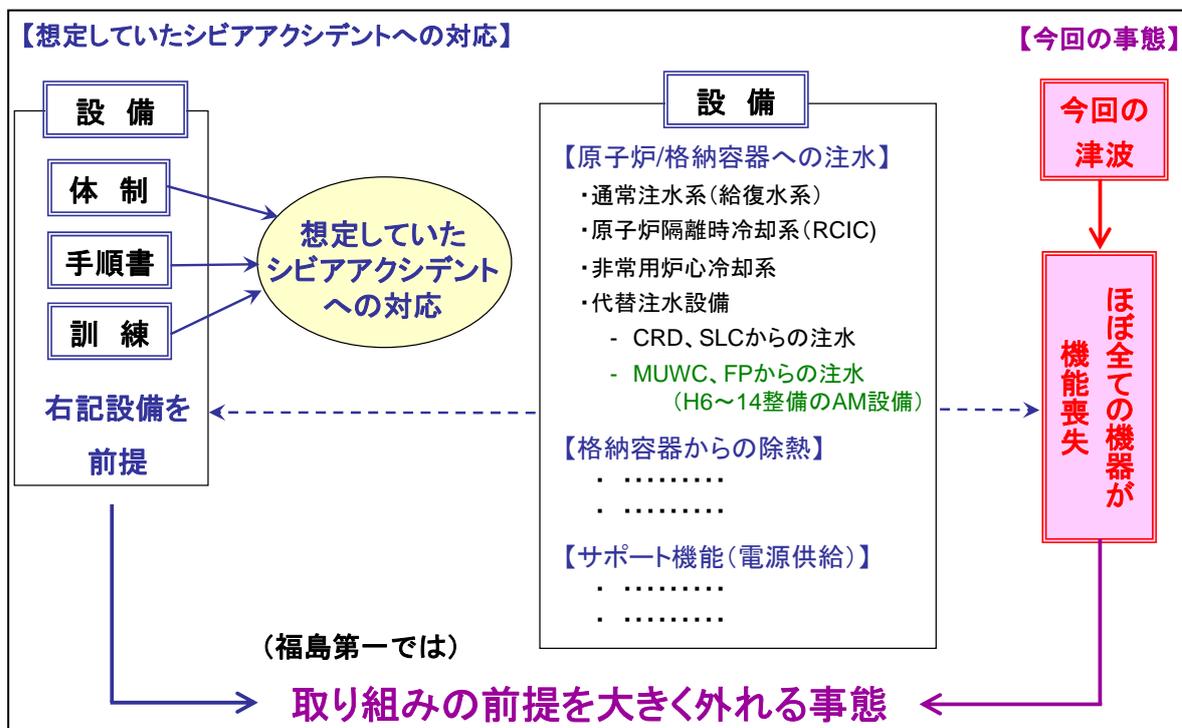
象は事前に想定されていなかったが、事象を想定しなくても状況に応じた対応ができるように開発していたEOPが有効であった。

運転員はシミュレータを使って、EOPを使いこなす訓練を受けている。今回、福島第二原子力発電所では、福島第一原子力発電所とは異なり、中央制御室でプラントの主要パラメータが把握可能であり、運転員は状況を判断して臨機応変にEOPのなかから該当する手順を適用することができた。

また、当直長はEOPに基づく状況判断と対応操作の権限を有すると定められており、今回の対応においても、当直長が判断して発電所対策本部が確認するという意思決定の手順が基本的に守られている。このことは、プラントの状況に応じた適時的な運転操作を可能にするとともに、発電所対策本部が全体を俯瞰した対応戦略の統括と、設備の復旧活動へのマネジメントの機能を発揮するうえで有効だったと考えられる。

さらに、原子炉隔離時冷却系のような高圧で原子炉に注水できる設備と、復水補給水系のような代替設備を含む低圧注水設備を使って、シームレスに注水しつつ原子炉の減圧に成功すれば、その後には復旧活動への時間的余裕が生まれ、この時間を活用して機動的に冷却手段を回復させる可能性が高まることから、今回の福島第二原子力発電所における対応からわかる。

このことは、中央制御室の機能を維持させてEOPの実行を可能にすることと、高圧注水設備の信頼性を確保することが重要であること、ならびに原子炉の減圧後には低圧注水の水源を確保し、機動的な手段で冷却機能を回復させる安全対策が有効であることを示唆している。このような対応を、福島第一原子力発電所が今回置かれた状況を含むより厳しい条件下でも実施できるように、設備、資機材、手順の改善と訓練を行うことが、どんな状況下でも炉心損傷を防ぐために今後とるべき改善の一つの方向性として考えられる。



4. 6 安全文化・リスク管理面での取り組み

(1) 安全・品質の向上に向けた取り組み

<原子力不祥事の再発防止>

平成14年8月に、当社原子力発電所の点検・補修作業に係る事実隠しや記録の修正等の不適切な取り扱いが行われたことが判明したことから、信頼回復のため「しない風土」と「させない仕組み」のもとで、原子力部門にとどまらず、当社グループの総力をあげて企業倫理や法令遵守、安全・品質管理の徹底、情報公開による透明性の確保に取り組んできた。

その後、平成18年にも、当社の水力・火力・原子力発電設備におけるデータ改ざん、必要な手続き不備等の事案が判明したことを踏まえ、それまでの取り組みを充実・徹底させるとともに、業務上の課題・問題を自発的に言い出し、積極的に受け止める「言い出す仕組み」を構築し、再発防止に向け、全社を挙げて取り組んできた。

<原子力部門の品質保証活動>

原子力部門においては、従来から原子力発電所の運営・管理等の日常業務の中で、安全性・信頼性の向上に努めてきたが、平成14年の原子力不祥事を契機に、社会、とりわけ立地地域の皆さまからの理解・信頼をいただくことが不可欠との原点に立ち、原子力発電所の安全を確保するための活動を体系的に実施するため、「品質マネジメントシステム」を構築した。

この中では、経営トップ（社長）が品質方針を掲げ、その実現に向けた必要なプロセスと各組織の役割を規程・マニュアルで明確化することで、安全と品質向上のPDCAの更なる充実を目指してきた。

<品質方針>（原子力品質保証規程）

原子力発電所の運営管理に当たっては、

「安全の確保」「情報の公開」「社会との対話」

によって、社会からゆるぎのない信頼と安心が得られるよう努力する。

このため、経営のトップから第一線現場に至るまで、自らの役割と責任を認識して、

「法令・ルールを遵守し」「地域とともに考え、歩み」「技術・技能を発揮し」

「共に働く人たちと連絡を密にし、」「ムリ・ムダを省いて、標準化を図り」

常に問題意識を持ち、謙虚に学びつつ、安全と品質向上のPDCAを廻すことに継続的に取り組む。

具体的には、機器故障・トラブル・ヒューマンエラー等の事象や国内外の運転情報等を扱う不適合管理（不適合管理委員会）や、発電所の建設・修理改造工事及び運用等に至る各段階における設計管理（デザインレビュー委員会）等、プラントの安全性・信頼性に関わる業務プロセスを明確化し、PDCAを確実にまわすとともに、これらの取り組み状況については、発電所・部門全体の各階層において、発電所のパフォーマンスを現す指標（PI:Performance Indicator）を活用し、定期的にその成果を確認している他、

社長によるマネジメントレビュー¹（年1回）等も実施している。

特に、再発防止策のひとつである不適合²管理は、不適合の的確な処理と、「教訓の宝庫」である不適合情報の活用により、品質と安全を一層高めるとともに、透明性を確保するため、報告された全ての不適合事象をプレス発表や発電所ホームページ等で速やかに公表する等の仕組みを構築し、部門を挙げて取り組んできた。

また、原子力部門から独立した社長直轄の社内監査組織として設置した「原子力品質監査部」及びそれに所属する原子力発電所「品質監査部」が、原子力部門からは独立して品質保証活動等を確認・評価し、是正処置及び改善処置をフォローアップすることで、原子力安全や品質の継続的な向上に努めてきた。

<第三者的視点の導入>

原子力不祥事を受け、原子力部門の閉鎖的な組織風土が不適切な取り組みを助長・温存させた面がある、という反省にたち、第三者的視点を積極的に取り入れることで、透明性を高めるとともに、閉鎖性を打破し、風通しのよい企業風土の構築を目指してきた。

具体的には、社外委員にて構成され、原子力安全及び品質保証について総合的に審議を行う「原子力安全・品質保証会議」を設置し、第三者的視点にたった評価・ご意見をいただき、改善に取り組んできた。

また、世界原子力発電事業者協会（WANO）や国際原子力機関（IAEA）、日本原子力技術協会（JANTO）といった国内外の専門機関によるレビューを通じて、世界のトップレベルの視点を積極的に取り入れ、指摘等をいただく機会を設けてきた。

さらに、原子力部門を中心とした部門間の人事交流を積極的に推進し、平成14年からこれまでに、原子力部門から火力やネットワーク、営業等の他部門へ毎年約20名、他部門から原子力部門へ毎年約15名の交流異動を行ってきた。

<安全文化の醸成>

安全文化は、経営層のリーダーシップのもと、原子力発電所にかかわる人たちの具体的な活動の積み重ねを通じて醸成・定着していくものとの認識の下、様々な取り組みを進めてきた。特に、原子力不祥事以降、安全文化の醸成・定着に向け、謙虚に学ぶ（他に学ぶ、失敗に学ぶ）文化の醸成や情報公開による透明性の確保等に取り組んできた。

平成20年に行われた「WANOコーポレートピアレビュー（概略下記参照）」において、安全文化に対して指摘（要改善事項）を受けたことから、目指すべき安全文化の姿を改めて明記した「安全文化7原則」を策定（平成21年11月）し、経営層から安全最優先の考え方を適宜発信するとともに、社員の理解・浸透に向け、ケーススタディやキャラバンによる教育活動に取り組んできた。また、安全文化の醸成のための活動計画を作成し、実践するとともに、原子炉主任技術者による安全文化評価結果等を活動計画に反映すること等により、安全文化の醸成に努めてきた。これらの取り組みを進め、平成22年に行われたWANOによるフォローアップレビューでは、安全文化に関する指摘に対し、改善が十分との評価であった。

¹組織としてPDCA（Plan,Do,Check,Action）を大きく回すため、品質マネジメントシステムの改善の機会の評価、並びに品質方針及び品質目標を含む品質マネジメントシステムの変更の必要性の評価を行い、品質マネジメントシステムが適切、妥当かつ有効であることを確認すること

²不適合：本来あるべき状態とは異なる状態、本来行うべき行為・判断とは異なる行為・判断

WANOコーポレートピアレビュー

各国原子力事業者のエキスパートで構成されるレビューチームにより、パフォーマンス目標と基準、各国発電所の最高水準に照らした行動観察及びインタビュー等の調査を行い、改善可能な事項についての助言を与える相互活動である。

コーポレートピアレビューでは、プラントのパフォーマンスに対する本社組織の有効性向上や優良なプラント運転の推進につながりうる要改善事項（世界の最高水準を達成するために改善を図ることが望ましいもの）があればレビューの結果として指摘がなされる。

当社の安全文化7原則

- 原則1：すべての職員が原子力安全に関与していることを自覚する
- 原則2：リーダーが自ら安全文化の原則を率先垂範する
- 原則3：社内外の関係者の間に信頼関係を醸成する
- 原則4：原子力安全を最優先した意思決定をする
- 原則5：原子力発電に固有のリスクを強く認識する
- 原則6：常に問いかける姿勢を維持する
- 原則7：日々組織的に学習する

(2) 部門横断的なリスク管理の取り組み

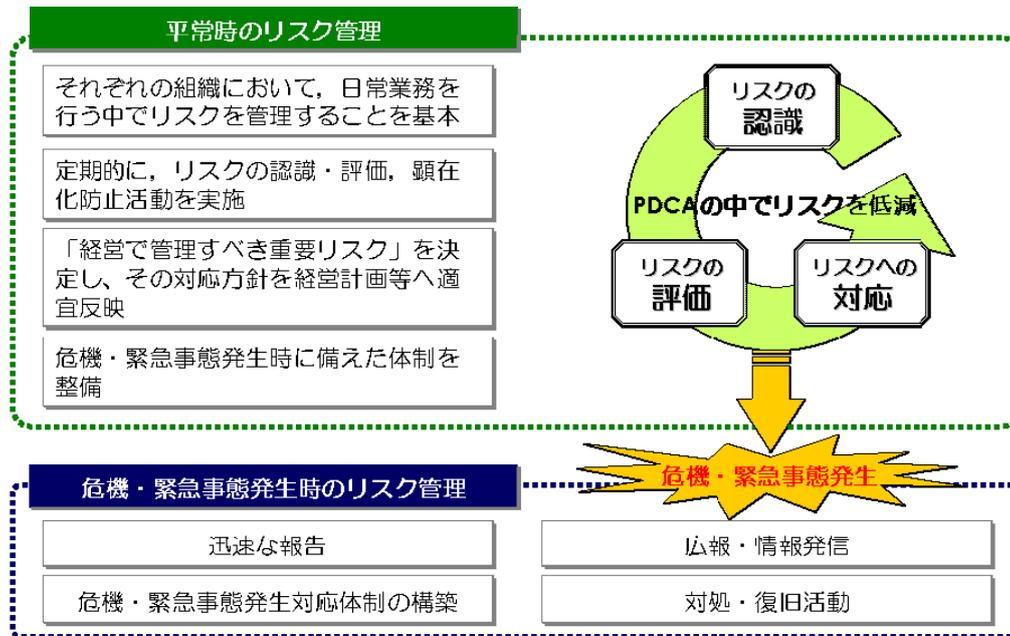
①全社的な取り組み（リスク管理委員会）

平成14年の当社における原子力不祥事、それに前後する他企業における危機管理の不適切な事例の発生等を受け、全社的な危機管理の必要性・重要性が改めて認識されるようになった。

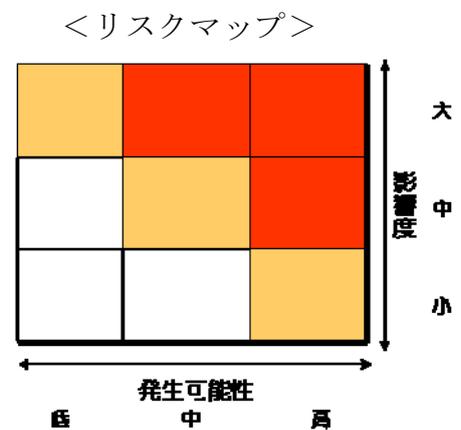
平成16年7月、経営に極めて重大な影響を与えうる「法令違反、企業倫理違反」「人身災害」発生時の的確なダメージコントロール（被害の拡大防止）を全社横断的に総括管理するため、「リスク管理委員会（リスク管理事務局：総務部）」を設置した。

その後、電力自由化範囲の拡大に伴う競争の進展や企業活動の多角化、環境問題の高まり（PCB、アスベスト等）、個人情報保護の強化等、当社が対応すべき問題が多様化するとともに、平成18年の会社法施行に伴い、内部統制（業務の適正を確保するための体制）の整備が義務づけられた。

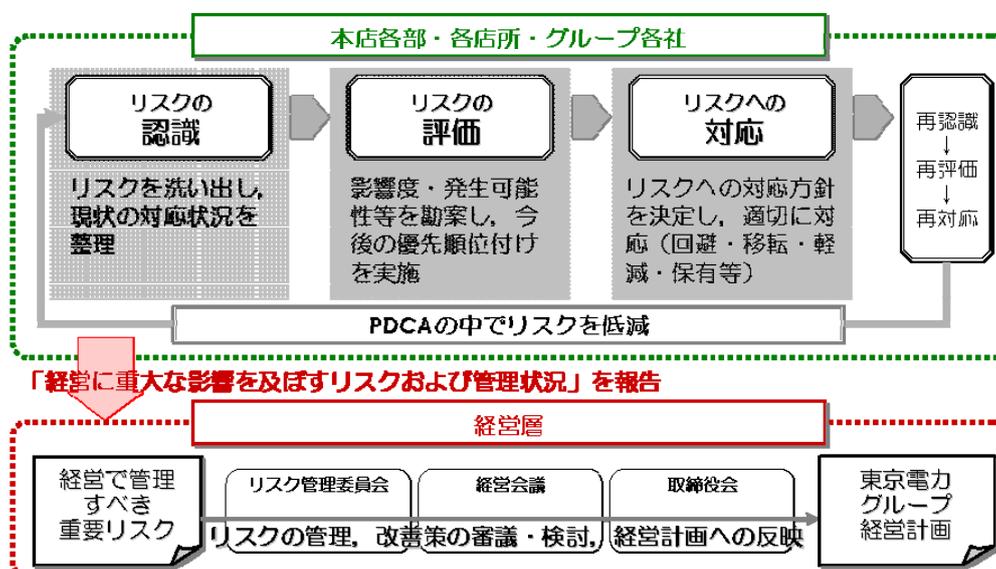
こうした状況を踏まえ、これまで主眼としていた有事のリスク管理（ダメージコントロール）に加え、平常時における当社グループ全体のリスクを総括的に認識し管理していくため、全社的リスク管理の基本方針を定め、東京電力グループ全体のリスク管理体制を整備した。（事務局：企画部、広報部、グループ事業部、総務部）



この中では、これまで同様、本店各部・店所・グループ会社がリスク管理所管箇所として、それぞれの組織におけるリスクに対して、日常業務の中で管理を行うことを基本としている。具体的には、経営目標・事業目標を阻害する要因をリスクとして洗い出しを行い、リスク管理表を作成（認識）、影響度・発生可能性等を勘案したリスクマップを作成し、今後の対応の優先順位付け（評価）を行い、その評価に従って対応方針を決定し、リスク対応（対応）を行ってきた。



また、経営目標への影響度や対応の緊急性、あるいは全社横断的な観点から、特に経営に重大な影響を及ぼすと思われるリスク（「経営で管理すべき重要リスク」）については、リスク管理委員会にて管理状況や対応方針について確認・評価してきた。



「経営で管理すべき重要リスク」の抽出方法についてはまず、リスク管理事務局において、各所のリスクマップを取り纏めた部門別リスクマップ（原子力、火力、ネットワーク、営業、グループ事業、一般管理他）を作成し、その中から、影響度の大きいリスクシナリオを抽出した上で、これらのリスク評価や対応状況、リスクのコントロール状況等を踏まえ、「経営で管理すべき重要リスク」を取り纏めている。震災前のリスク管理委員会（平成23年2月）では、各所から報告されたリスクシナリオ約1,700個の中から、「経営で管理すべき重要リスク」37個を抽出した。

この「経営で管理すべき重要リスク」への対応策については、毎年作成している経営計画の中に反映し、展開している。

なお、全社及び各所におけるリスク管理体制の有効性等については、社内内部監査部門（品質・安全監査部及び原子力品質監査部）が定期的に監査を行い、その結果を経営会議等に報告している。

②原子力部門における取り組み（原子力リスク管理会議）

原子力部門においても、全社的なリスク管理体制の強化にあわせ、平成19年6月に、部門における平常時のリスク管理状況を一元的に統括するための会議体として「原子力リスク管理会議（主査：原子力・立地本部副本部長、事務局：原子力・立地業務部）」を設置した。

その中で、原子力・立地本部内の各部及び各原子力発電所をリスク管理所管箇所と位置付け、日常業務における安全管理により、原子力安全を確保することを前提に、それに加えて、以下のようなリスクについて各所にてシナリオを洗い出し、リスク管理表・リスクマップを作成し、評価・対応策の検討・実施を行ってきた。

- ・社会的信頼の失墜に係わるリスク：法令違反・企業倫理違反リスク 等
- ・原子力発電所の設備利用率低下リスク：設備故障・ヒューマンエラーリスク、自然災害リスク、人身災害リスク 等
- ・原子燃料サイクル事業に関するリスク：六ヶ所再処理工場の停止リスク 等

原子力リスク管理会議では、それら各所のリスク管理の対応状況を取りまとめ、多面的な視点で確認・評価してきた。

今回の震災前の原子力リスク管理会議（平成22年10月）において、地震及び津波については、以下のとおり認識・評価していた。

<地震に関するリスクシナリオ>

設計基準地震動を上回る地震が発生し、複数台プラントの長期停止による需給逼迫

影響度：大

発生可能性：中（余程例外的な場合に限り起こりうる「低」と、3年以内に起こりうる「高」のどちらともいえない）

<津波に関するリスクシナリオ>

津波による引き潮、設計想定高さ以上の津波によるプラントへの影響が懸念される

影響度：大

発生可能性：低

津波によるプラントへの影響の具体的な内容は、貞観津波論文（平成20年）を踏まえた新たな知見が確立した場合、基準見直し等により、必要な設備対策が発生し、「設備利用率の低下による需給逼迫、燃料費の増」や「追加対策費用の発生」につながりうるというものであった。なお、この時点において、新たな知見は未確立であり、プラントの安全性が直ちに脅かされるような切迫性・蓋然性はないとの認識であった。

当社はこれまで、津波リスクに対し、新たな知見を取り入れ安全確保・リスク低減に向けた様々な取り組みを行ってきたが、「想定をはるかに超える津波により、発電所設備のほぼ全てが機能喪失する事態」にまで考え方が及ばず、結果的に今回のような巨大な津波への備えが不十分になった。

なお、我が国の自然災害の想定・シナリオと対応について、震災後に実施された国の防災に関する検討会などでも以下のような言及¹がされているとおり、日本全体として自然災害に対する考え方に課題があったと言える。

～今回の災害は、これまで想定していた災害のレベルと大きくかけ離れたもの

～実際の災害対応への反省を教訓として将来の対応の改善につなげていく努力を積み重ねてきたが、再発防止のような形で改良を積み重ねていく方式のみによる防災対策には限界

～精緻な被害想定に準拠して考えられる対策は、想定以上の被害が発生すると機能不全に陥る

～自然現象は大きな不確実性を伴うことから、想定やシナリオには一定の限界があることに留意することが必要

¹中央防災会議 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 報告書
(平成23年9月28日公表)

内閣府 首都直下地震に係る首都中枢機能確保検討会 報告書(平成24年3月6日公表)

5. 災害時の対応態勢の計画と実際

5. 1 原子力災害発生時の態勢（計画）

（1）防災計画の整備

原子力災害に対する対策の強化等を目的とした原子力災害対策特別措置法（平成11年法律第156号 以下、「原災法」という）は、原子力災害の予防活動の他、発生又は拡大を防止するために、国、地方公共団体、原子力事業者等の関連する機関が、綿密に連携した上で迅速かつ的確に活動することが必要不可欠であるとの観点から定められており、具体的な防災業務計画等が整備され、以下に示すような点に重点をおいて対策が講じられてきている。

- ・ 的確な情報把握に基づく迅速な初期動作と国と地方公共団体の有機的な連携確保
- ・ 原子力災害の特殊性に応じた国の緊急時対応体制の強化
- ・ 事故時の迅速な通報等、事業者の役割の明確化
- ・ モニタリングシステム、情報通信設備の整備

原子力災害に際しては、綿密な連携を実現するために緊急事態の応急対策拠点施設としてオフサイトセンターが整備されており、国、地方公共団体、関係諸機関、原子力事業者が一堂に会し、情報収集の他、応急対策の検討、住民の防護対策、合同プレスの実施等、原子力災害対応の中心的役割を担っている。オフサイトセンターの基本的な体制と役割について以下に述べる。

（2）オフサイトセンターの基本的な体制と役割

①国の体制と役割

原子力事業所周辺において、通常より高い $5\mu\text{Sv/h}$ （マイクロシーベルト毎時）以上の放射線量が検出された場合や安全機能の一部が機能しない場合等においては、原子力事業者は国や地方公共団体に「原災法第10条通報」を行う。通報を受けた主務大臣（今回の事故の場合、経済産業大臣）は経済産業省原子力災害警戒本部を立ち上げるとともに、オフサイトセンターに現地警戒本部を設置する。原子力事業所の地域に常駐する原子力防災専門官等は原子力事業者や地方公共団体と連携しながら情報収集等の活動を開始する。

さらに、原子力災害の状態が悪化し、 $500\mu\text{Sv/h}$ 以上の放射線量を検出するような事態になった場合、原子力事業者は国や地方公共団体に対して「原災法第15条報告」を行う。この報告を受け、主務大臣は原子力緊急事態が発生したと認めた場合、そのことを内閣総理大臣に報告し、内閣総理大臣が「原子力緊急事態宣言」を行うとともに、内閣総理大臣が本部長である「原子力災害対策本部」が設置され、現地のオフサイトセンターにも副大臣又は大臣政務官を本部長とする「原子力災害現地対策本部」が設置される。

原子力災害対策本部長（内閣総理大臣）は、緊急事態応急対策の実施に関し、原災法に基づき一義的には経済産業大臣に指示するものであるが、その必要な限度において関

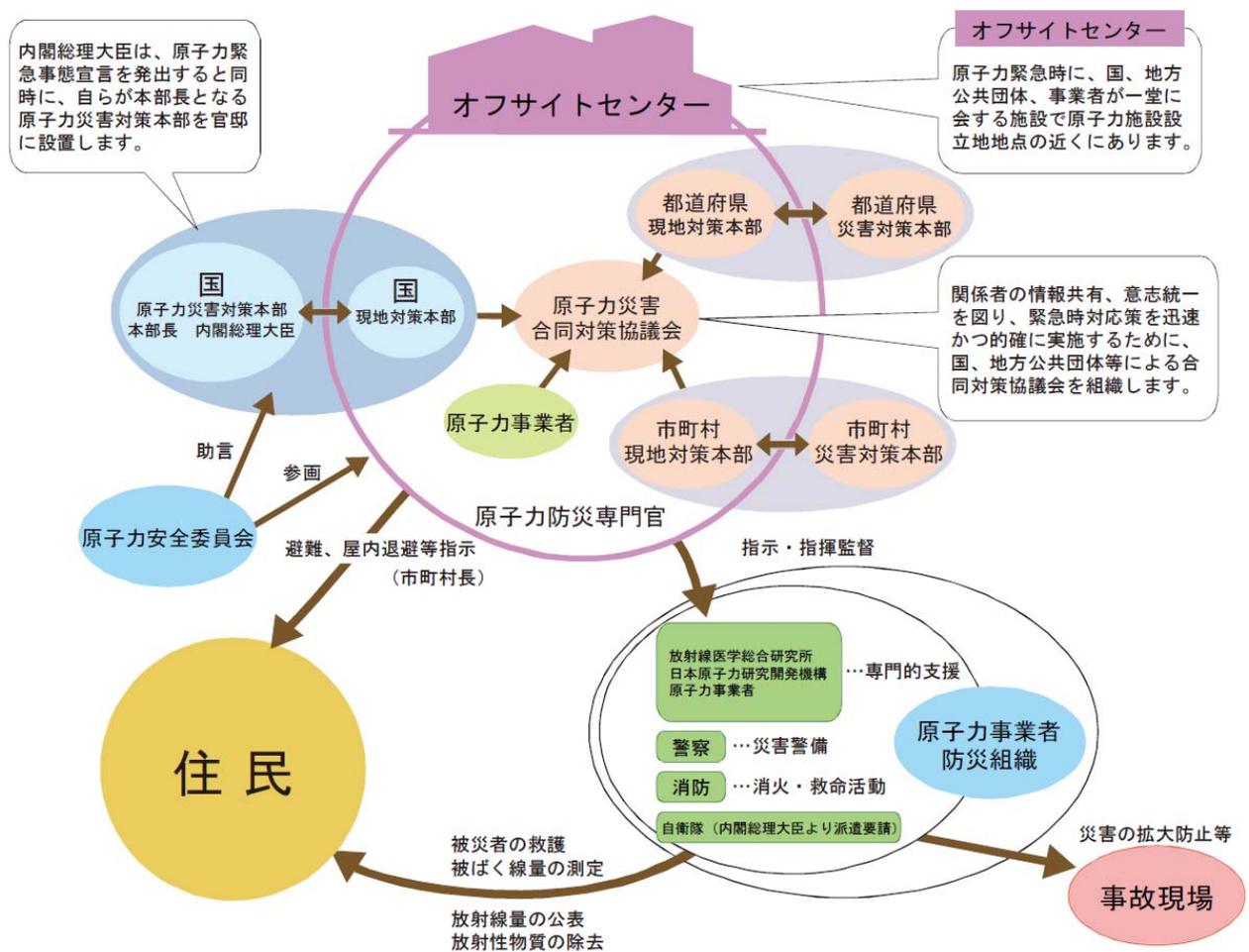
係指定行政機関、指定公共機関等の長や原子力事業者に対しても必要な指示をすることができる。また、必要があると認める時は、防衛大臣に対し自衛隊の派遣を要請することができる。

原子力災害に対応するためには、専門的な知識が必要不可欠であることから、必要に応じて原子力安全委員会の助言を求めることとなっている。

オフサイトセンターに設置された国の「原子力災害現地対策本部」の本部長（副大臣等）は、県現地対策本部長、市町村災害対策本部長、原子力事業者等から構成される「原子力災害合同対策協議会」を組織する。

「原子力災害合同対策協議会」では、住民避難や安定ヨウ素剤の服用に関する事項等、最重要事項の調整を行う「緊急事態対応方針決定会議」と関係者の情報共有等を目的とする「全体会議」を開催する。

原子力防災組織



出典：原子力2010（資源エネルギー庁）

②地方公共団体の体制と役割

地方公共団体が原子力事業者から原子力災害の第10条通報を受けた場合、国の指示等をもとに知事を本部長とする災害対策本部を設置するとともに、オフサイトセンターに現地対策本部を設置する。また、市町村も道府県と同様に現地災害対策本部を設置する。

地方公共団体の現地対策本部は、国の原子力災害現地対策本部とともに「原子力災害合同対策協議会」を組織し、国の専門家の指導・助言やモニタリング結果等から対応策を検討する。

住民の方々の混乱を防ぐために、国と地方公共団体は情報の内容・時期などを調整し、広報の一元化を図りながら、事業者を含め役割分担してオフサイトセンターで広報を行う。

地方公共団体は、緊急時には次に示すような活動を行う。

- ・ 周辺住民に対する広報と指示等の伝達
道府県は当該地域のテレビやラジオなどの緊急放送を流し、住民に情報を伝達する。情報は関係市町村にも伝えられ、市町村ではサイレン、防災行政無線、有線放送、広報車、消防車の巡回などを通じて住民に情報を伝達する。
- ・ 緊急時環境放射線モニタリングの実施
モニタリングの他、緊急時迅速放射能影響予測（SPEEDI）ネットワークシステムによる影響予測情報を入手し、防護対策を実施する。
- ・ 住民の避難・屋内退避区域の設定、避難誘導
避難または屋内退避区域の設定、避難先の決定、誘導を実施する。
- ・ 飲食物の摂取制限等
飲食物の摂取に伴う内部被ばくを防止するため、モニタリング結果等から、必要に応じて飲食を制限することを住民に広報、伝達する。
- ・ 緊急時医療措置
住民等の診断・医療に対処する。

③原子力事業者の体制と役割（詳細は「5. 2 当社の対応態勢詳細（計画）」参照）

原子力事業者は、原子力事業所毎に原子力防災管理者を選任することとなっている。原子力防災管理者は、異常な放射線量の検出等、原子力緊急事態に至る可能性のある事象が生じた場合、主務大臣、道府県知事、所在市町村長等へ通報する。 【添付5-1】

また、原子力事業者は、緊急事態が発令された場合、発電所及び本店に事業者プレスセンターを開設する。ただし、発電所プレスセンターが放射線の影響等により使用できない可能性がある場合は、別に指定する場所でプレス発表を行う。

オフサイトセンターの運営が開始された場合には、プレス発表は原則としてオフサイトセンターのプレスルームで行う。

あわせて、原子力事業者は、事業者の緊急時対策本部を立ち上げるとともに、オフサイトセンターへ人員を派遣し、国や地方公共団体等と連携して活動する。

具体的には、オフサイトセンターにおける下記業務を通じて、指定行政機関並びに地方行政機関等が行う緊急事態応急対策が的確かつ円滑に行われるように支援する。

- ✓ オフサイトセンターにおける業務に関する事項
 - －オフサイトセンターの設営準備の助勢
 - －発電所とオフサイトセンターの情報交換
 - －報道機関への情報提供
 - －緊急事態応急対策についての相互の協力及び調整 等
- ✓ 環境放射線モニタリング等に関する事項
 - －環境放射線モニタリング
 - －身体又は衣類に付着している放射性物質の汚染の測定
 - －放射性物質による汚染が確認されたものの除染 等

(3) オフサイトセンターの設備概要

オフサイトセンターは、大熊町にあり、福島第一原子力発電所から約5km、福島第二原子力発電所から約12kmの位置に設けられている。

オフサイトセンターは約1500m²の広さを有し、各関係機関が使用するブースや様々な活動を行う機能班のためのブースが設定されている他、総理官邸、経済産業省、関係市町村を結ぶテレビ会議システムが設置された緊急事態対応方針決定会議室が設けられている。

オフサイトセンターには、総理官邸等と結んだテレビ会議システムの他、放射線監視システム、気象情報システム、衛星通信システム、SPEEDIネットワークシステム、除染室・体表面モニタ等が備えられている。

オフサイトセンターの設備や資機材等の整備・維持管理は、地方公共団体が国とともに行う。

5. 2 当社の対応態勢詳細（計画）

(1) 非常態勢（一般災害）

当社では、災害対策基本法（昭和36年法律第223号）その他関係法令に基づき、一般災害用の防災業務計画を作成し、また、社内規定を整備して、地震・津波・台風・塩害・雪害等の自然現象や、テロ・武力攻撃等により、電力供給上支障となる災害、設備事故、若しくはそれらに関連して人身安全確保や電力設備機能維持が困難となるような非常災害の発生又はその予兆に対して、通常の業務とは異なる対策活動を迅速かつ的確に行うため、非常態勢を敷くこととしている。

一般災害における非常態勢はその程度によって3段階に区分されており、本店並びに発電所は、それぞれ予め指定する本部長が態勢を発令することとなっている。今回のような大きな地震（供給区域で震度6弱以上）の対応は、この中で最も深刻な場合の第3非常態勢に該当し、本店では社長が、発電所では発電所長が本部長になるものと定めており、不在等の場合はそれぞれ副社長、ユニット所長等がその代行を行うこととしている。

発電所に係る範囲の応急対策・復旧作業等の対応については、発電所の本部長（発電所長）に権限があり、本店と発電所の本部長はTV会議を通じた本部会議等により情報を共有して、発電所の災害復旧並びに通報連絡等の対応にあたる。

(2) 緊急事態勢（原子力災害）

原災法では、原子力災害の発生又は拡大を防止するための組織として、原子力事業所ごとに原子力防災組織による発電所緊急時対策本部の設置及びそれを統括管理する原子力防災管理者の選任並びに原子力事業者防災業務計画の作成・届出を義務付けている。

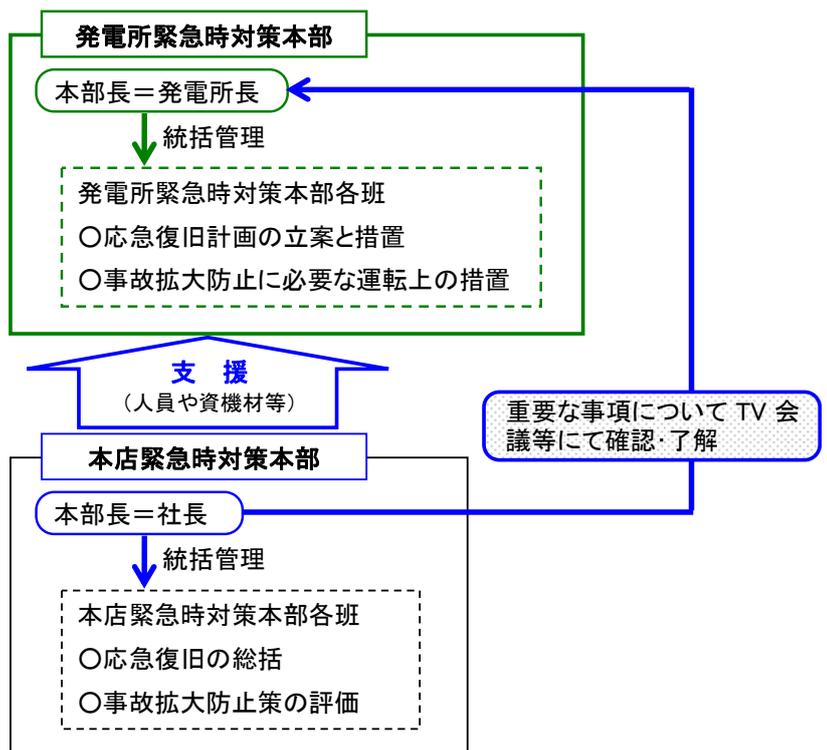
原子力防災管理者の職務は、原子力緊急事態に至る可能性のある事象が生じた場合の通報連絡の他、緊急事態勢の発令、要員の召集と発電所緊急時対策本部の速やかな設置、緊急事態勢への原子力災害の発生又は拡大の防止のために必要な応急措置の実施指示、並びにその概要の関係箇所への報告である。

通報連絡については、原子力事業者防災業務計画に基づき国（内閣官房、経済産業省、文部科学省等）、福島県、関係市町村、警察署、消防本部等の関係機関に対して、発電所からファックス装置を用いて一斉に送信する。さらに、経済産業省（原子力防災課）、福島県（原子力安全対策課）、所在町（生活環境課等）についてはその着信を確認する。これ以外の連絡先については、電話にてファックスを送信した旨を連絡する。確認については、本店と発電所で分担して実施する。 【添付5-1】

原子力発電所において異常が発生した場合、機器の動作状況等を確認し、予め定められた手順に従った操作を行う判断は基本的に当直長が実施する。また、発電所の緊急時対策本部を統括管理する発電所対策本部長には原子力防災管理者である発電所長がその任にあたることと原子力事業者防災業務計画で定めており、発電所緊急時対策本部を支援する本店緊急時対策本部は、社長が本店対策本部長になり統括管理を行うこととしている。なお、社長が不在の場合には副社長または常務取締役の中から選任することとしている。

発電所の緊急事態に対する応急復旧計画の立案と措置、並びに事故拡大防止に必要な運転上の措置等の実施は、原子力防災管理者である発電所長に権限があり、本店緊急時対策本部の本部長（社長）は発電所緊急時対策本部への人員や資機材等の支援にあたる。また、発電所と本店は常時TV会議でつながれており、情報を共有しながら重要な事項について本店は適宜、確認・了解を行う。

具体的な事例としては、福島第一1号機の対応において、格納容器ベントを実施するにあたっては、放射性物質を放出する重要事項であったことから、発電所長の判断に加え、社長の確認・了解を得るとともに、国へも申し入れを実施した。また、同様に、1号機の原子炉注水について淡水注入から海水注入に切り替える判断についても、発電所長が準備を指示し、社長がこれを確認・了解している。



発電所に設置される発電所緊急時対策本部においては、その役割に応じて12の班が活動し、本部長（発電所長）指揮の下、事故の拡大防止並びに復旧、必要な通報連絡、広報活動等を行う。発電所の主たる班の活動については、「8. 地震・津波到達以降の対応状況」に詳細を記載する。 【添付5-2】

本店に設置される本店緊急時対策本部においては、その役割に応じて9つの班が活動し、本部長（社長）統括管理の下、発電所への支援活動や、中央官庁を含む社外関係機関への情報伝達等を行う。本店の主たる班の活動については、後述する各章各項に記載する。例えば、官庁連絡班の活動については、主に「5. 3（2）国への情報提供（①通報連絡及び問い合わせ対応）」や「5. 3（5）人員派遣と活動状況」に、保安班の活動については主に「13. 放射線管理の対応評価」に、技術・復旧班の活動は主に「10. 発電所支援」に記載する。 【添付5-3】

緊急時態勢については、本店、発電所でそれぞれの本部長以下、本店で233名、福島第一原子力発電所で406名の要員に対して、休祭日、深夜を問わず、参集要請がかかるようになっている。また、毎年訓練を実施し、教育や運用の改善を図っている。

5. 3 今回の事故における対応状況

（1）非常態勢並びに緊急時態勢の確立

今回の東北地方太平洋沖地震では、福島県をはじめ当社供給エリア内の茨城県や栃木県などで震度6弱以上の地震が観測されたことから、本店及び関係店所では、一般災害用の防災業務計画及び社内規定に従って、第3非常態勢が同時に自動発令され、非常災害対策本部が設置された。

今回の東北地方太平洋沖地震においては広範囲に強い揺れを生じたため、当社設備だけでも7火力発電所、25水力発電所、8変電所が停止し、約400万軒が停電した。このため、本店非常災害対策本部は、関連部署からの対応要員で混雑し、当初は給電情報をはじめに、数多くの関連情報が次から次に送られてきていた。

本店原子力部門の対応要員も遅滞なく活動を開始していたが、当社設備の被害が甚大であり、関連する他部門の対応要員で混雑していたために、本店の緊急時対策室内に座る場所さえも確保できない状況での対応を余儀なくされていた。

なお、当社社内においては、本店、支店、発電所等がTV会議を活用してリアルタイムで情報が共有されていた。

原子力発電所においては、地震後に緊急停止した原子力プラントの冷温停止に向けた操作等の対応を行っていた。福島第一原子力発電所の各プラントにおいても、地震直後、外部電源を喪失していたものの、非常用D/Gにより冷温停止に向けた安全系設備の電源は確保されており、各中央制御室において当直長以下運転員が緊急停止（スクラム）成功後の冷温停止に向けた運転操作を行っていた。

福島第一原子力発電所では、地震直後、非常態勢の要員等が免震重要棟で活動を開始するとともに、一般職員は避難場所である免震重要棟脇の駐車場において人員確認を行った上で免震重要棟へ入った。この免震重要棟は、柏崎刈羽原子力発電所が平成19年に新潟県中越沖地震で被災した経験を元に建設された施設で、震度7クラスに耐える設

計としており、自家発電設備としてガスタービン発電機を設置し、通信設備、TV会議システム、高性能フィルタ付きの換気装置等を装備しており、現地事故対応の拠点ともなった。



免震重要棟(左:外観、右:緊急対策本部)

今回の事故対応では、平日の勤務時間中に起きたことから、本店及び発電所等において非常態勢に従って各班が迅速に組織され、直ちに復旧に向けた対応に着手した。この時に立ち上がった本店非常災害対策本部においては社長が本部長であるが、当日、社長は出張中であつたために、社長が帰社するまでの間、社内規定に従って藤本副社長が代行し、対応にあつた。

社長は当日、関西に出張中であり、発災後の15時頃ようやく本店と連絡がとれ、急遽帰社しようとしたものの、交通障害のため当日の移動は名古屋近郊までとなり、翌12日9時頃に帰社した。なお、会長は当日、中国出張中であり、空港閉鎖等の影響により翌12日16時頃に帰社している。

また、地震の規模が極めて大きかったことから、新潟県中越沖地震の反省に基づき予め定めてあつた対応要領に従い、発電所の支援のため武藤原子力・立地本部長等が15時30分頃に本店を出発、ヘリで福島への移動を開始し、3月11日18時頃に福島第二原子力発電所に到着した。

このような状況の中、大津波の襲来による全交流電源喪失事象の発生を受け、3月11日15時42分に原災法第10条通報を行なつたため、本店内に緊急時対策本部(原子力災害)が設置され、以後、非常災害対策本部(一般災害)と緊急時対策本部(原子力災害)の合同本部体制となつた。

地震発生以降の本店の態勢概要

項目	3月11日	3月12日
一般災害	14:46 地震発生 ▽第3非常態勢発令	▽社長帰社
	本部長代行：副社長	本部長：社長
原子力災害	15:42 原災法第10条通報 ▽第1次緊急時態勢発令	▽社長帰社
	本部長代行：小森常務	本部長：社長
	〔 常務不在の場合は高橋フェロー または原子力運営管理部長が代行 〕	

本店緊急時対策室に設置されているTV会議システムは、初期段階においてはTV画面を分割し、原子力だけでなく、火力、支店等をもつなぎ、被害状況等の情報伝達がなされていた。画面は分割されていても、発言すれば発言箇所の画面が強調され、全員で情報共有できる状況にはなつていた。本店緊急時対策室は、原子力以外の様々な部門の情報伝達にも用いられており、話が交錯するような状況となつていた。

原子力発電所の事態の進展に伴う原災法第10条通報、第15条報告は、遅滞なく実施できたが、交流電源のみならず直流電源さえも1号機、2号機ともに喪失し、プラント情報が見えない、プラント情報を把握するには時間を要する、地震の継続、津波警報の継続など、様々な要因からプラントに関する情報がなかなか得られない状況に陥った。

発電所支援のために福島に移動を開始していた武藤原子力・立地本部長（取締役副社長）は、社内規定に基づき、オフサイトセンターの要員となり、本店緊急時対策本部（原子力災害）においては小森明生原子力・立地本部副本部長（常務取締役）が社長の代行を務めた。

なお、小森原子力・立地本部副本部長も不在となった際には高橋明男フェローまたは原子力運営管理部長が小森原子力・立地本部副本部長の指示により代行を務めている。

当社から16時45分に出された原災法第15条報告から約2時間後、原子力緊急事態宣言が発令され、国の原子力災害現地対策本部がオフサイトセンターに設置されたが、オフサイトセンターが12日まで運営を開始できなかったため、武藤原子力・立地本部長等はオフサイトセンターでの活動を始められず、待機状態となった。翌12日未明にオフサイトセンターが活動を開始するまでの間、武藤本部長は福島第一原子力発電所へ移動し免震重要棟で対応に参加した。その後も大熊町役場、双葉町役場等を訪問し、内堀福島県副知事、大熊町長、双葉町長などに状況を説明するとともに、福島民報、NHKへの状況説明などを終え、3時57分には活動を開始したオフサイトセンターに入った。

一方、本店では、前述したように小森原子力・立地本部副本部長が本店緊急時対策本部の本店対策本部長代行を務めていたが、官邸、原子力安全・保安院等との電話対応に追われた。また、後述する格納容器ベントの政府への申し入れで、海江田経済産業大臣への説明に伺うなど離席することもあり、本店緊急時対策本部の席で事故対応に専念しにくい状況であった。

今回の事故は、福島第一、第二原子力発電所で複数号機において危機的状況が続き、長期化することになるが、対応可能な人員全てを対応要員として投入していた。部分的には交代制を取り入れ対応した所もあるが、予断を許さない状況の中、長期的な対応に備えた態勢作りが遅れた部署もあり、結果として長時間労働、連続勤務を続けた者も多く、疲労困憊しながらの対応を余儀なくされ、体調を崩すものが現れた。

また、事故規模の大きさの問題や、プラントデータが少ないことによるプラント状態の把握の難しさなどから、当社が行うプレス発表等における説明要員として技術系社員で対応せざるを得なかったことから、この間、時間単位ではあるが事故対応にあたれないという、事故対応の面からは好ましくない結果を招いた。

このような状況に対応するため、原子力部門の建設所勤務者、出向者、退職者を招集し、対応要員に組み入れて態勢の強化を図った。3月末までの人事発令により招集された人数は約60人にのぼり、その他、人事発令によらない当社からの要望によって応援に入ってくれた人もいた。

(2) 国への情報提供

①通報連絡及び問い合わせ対応

中央制御室内では監視できる計器はなく、緊急時に情報伝送するシステムも喪失する中、発電所対策本部ではわずかに残された情報伝達手段であるホットラインや現場から戻った人の口伝えにより情報を収集し事故の状況を把握するとともに、情報の発信に努めていった。

情報提供の発信方法のひとつは、通報連絡として、原災法に基づく第10条通報、第15条通報報告とそれに添付する資料をファックスで送付することである。

福島第一原子力発電所は津波により全交流電源喪失に至った。このため、3月11日15時42分に原災法第10条通報を行った。

同日16時36分、福島第一1, 2号機の原子炉水位が確認できず、注水状況が不明なため原災法第15条に基づく事象（非常用炉心冷却装置注水不能）が発生したと判断し、16時45分に原災法第15条報告を行った。

その後も事象進展に伴うプラント情報の提供、格納容器ベントの実施予告、ベント時の被ばく評価等の情報を、限られた情報ではあったが国、県、町等、関係機関へ適宜、一斉ファックスや電話で連絡を継続して行った。通報連絡については、把握している連絡先に繰り返し異なる手段で連絡を試みたが、通信不良等の影響により伝達できない事態が生じた。さらに、その後もしばらく通信状態の不良等により避難先への情報連絡が行えない自治体もあったことから、そうした自治体との連絡が可能となるまでには時間を要した。周辺地域への情報提供の詳細については後述する。

通報連絡は、15日までで82件、頻度にして1時間あたり1件程度を送信していた。

通報連絡のほかには、原子力安全・保安院の緊急時対応センター（ERC）に3～5名を連絡者として派遣し、本店対策本部とのコミュニケーションを図った。派遣した連絡者はERCプラント班のテーブルに同席しパイプ役として原子力安全・保安院からの問い合わせに対応した。おもに、ERCプラント班を通じて口頭で問い合わせを受け、当社連絡者の携帯で本店対策本部の官庁連絡班メンバーに問い合わせ、その場で回答していった。ERCへ派遣された連絡者に状況を確認したところ、以下の証言が得られた。

- ・ 携帯電話を本店対策本部の官庁連絡班のメンバーと常時つないで質問回答にあたった。
- ・ 原子力安全・保安院は当社連絡者に質問をし、当社連絡者は常時つないでいた携帯電話で質問し、原子力安全・保安院はその回答を電話の耳元で一緒に聞くことが多かった。
- ・ 初期の頃には長期にわたって電話をつなぎっぱなしにしていたため、たびたび携帯電話のバッテリーが切れることもあった。

調査が必要でその場で回答できなかった問い合わせは、本店緊急時対策室の各班や発電所に問い合わせを行って回答した。経路は、本店対策本部官庁連絡班から本店対策本部情報班を経て、発電所対策本部情報班から発電所対策本部各班となっており、本店一発電所間の窓口をひとつにすることで、発電所への問い合わせが錯綜しないようにした。また情報班に回答を蓄積することで、同じ質問が繰り返さないようにした。質問は記録として残っているものだけで、15日までに約224件にのぼった。なお、原子力安全・

保安院以外も含めると300件以上の質問に回答している。

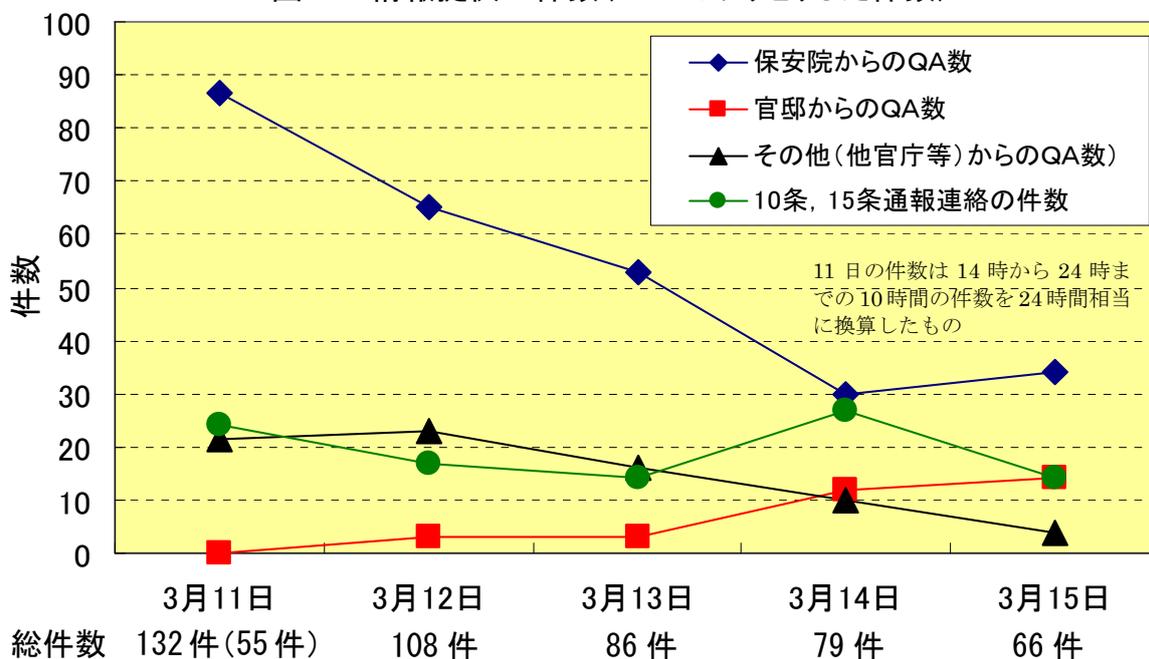
さらに、ERCへ派遣された連絡者とメールでの連絡も行った。15日までに約60通で、内容は原災法第10条、15条通報分が多いが、あわせて質問事項への回答も行った。

この際に得られた情報が原子力安全・保安院でどのように使われたかは不明であるが、当社連絡者の証言によると同じテーブルにいた原子力安全・保安院のERCプラント班ではすぐに共有されていたようである。

一方、15日までの間で、原子力安全・保安院の次に問い合わせが多かったのは、官邸からである。現在、記録が残っている件数は15日までに32件あるが、発災初期の問い合わせはほとんどなく、14日頃から増えている。原子力安全・保安院を通じないで直接聞くという確認経路が定着してきたものと思われる。

なお、原子力安全・保安院からの問い合わせは減る傾向にあった。

国への情報提供の件数(FAXでやりとりした件数)



さらに、官邸からの要請により、13日6時20分に官邸から発電所へ直接かかる電話回線を構築した。それまで、発電所へは一般回線はかかりにくい状況であったが、これにより、直接官邸から電話が発電所へ行くようになった。発電所長によると、総理を始め官邸にいるメンバーからたびたび問い合わせがあったとのことである。

本店、発電所の対策本部では、このような問い合わせへの対応のため一定程度の要員が割かれる事態となっていた。

また、原子力安全・保安院が官邸へどのように情報を上げていたかは不明なものの、官邸からの直接の問い合わせが増えていること、発電所と直接繋がる回線を構築したことを見ると、官邸では本来のルートから情報が得られなかったため、当社から直接情報を入手するという方法に至ったものと推測される。

しかし、全電源喪失に伴い採取可能なプラントデータが限定的であり、さらに、発電所対策本部と現場の通信手段が少なく、情報を得ること自体に時間を要する状況であったことから、本店対策本部、発電所対策本部ともにプラントに関する情報量が絶対的に少なく、伝達できる情報は限られていた。このような中、本店対策本部、発電所対策本

部ともに、得られた情報についてはファックス、電話などを通じて国等へ発信していた。

なお、本来であれば、発電所の情報は本店を經由して経済産業省、経済産業省を經由して官邸の原子力災害対策本部へ送られる。また、原子力災害対応の拠点であり、政府や原子力安全・保安院の関係者も集まるオフサイトセンターにも発電所の情報は集約され、オフサイトセンターからも経済産業省や官邸の原子力災害対策本部へ送られることから、当社の対策本部への問い合わせが多くなることは考えにくい。実際にオフサイトセンターで対応した者の証言によると、オフサイトセンターのシステムは当初機能せず、事業者ブースのTV会議システムが本店、発電所と繋がっていたため、そこに県や原子力安全・保安院の方も集まってきていたとのことである。

このことから、関係機関との間の情報流通を難しくした要因の1つは、オフサイトセンターが機能しなかったことにあると考えられる。

前述したように本来オフサイトセンターに情報や人材等を集め、原子力災害に対応することとしていたが、後述する事情によってオフサイトセンターは当初の役割を果たすことができず、福島県庁に移転した。また、最終的には本店が事故対策の統合本部となったが、自治体組織は統合本部に組み入れられなかった。また、当初は福島第一原子力発電所の免震重要棟に詰めていた国の原子力保安検査官は、3月12日朝に全員がオフサイトセンター側に移動し、13日に一旦発電所に戻るが14日夕方以降再度オフサイトセンターに移動、翌日の原子力災害現地対策本部の移転に伴い福島県庁に移動した。このため、3月12日以降、復帰する22日まで、国の保安検査官は福島第一原子力発電所にほとんど不在であり、最前線である福島第一原子力発電所から経済産業省への情報は当社から提供するものに限られた。【添付5-4】

また、地震の影響による電源の喪失等により、モニタリングポストが使用できない状態となり、モニタリングカーによって対応したためデータ処理に時間を要したり、計測に欠落がでるなど、データ提供に支障をきたした。

②緊急時対応情報表示システム（SPDS）【添付5-5】

当社の緊急時対応情報表示システム（SPDS）は、プロセス計算機から伝送されるプラントデータを利用して機能する（プラントの監視に必要な各種データを表示する）システム構成となっている。今回の事故では津波の影響等で伝送元であるプロセス計算機が、プラントデータを伝送できなくなった時点で、その役目を果たすことができなくなった。

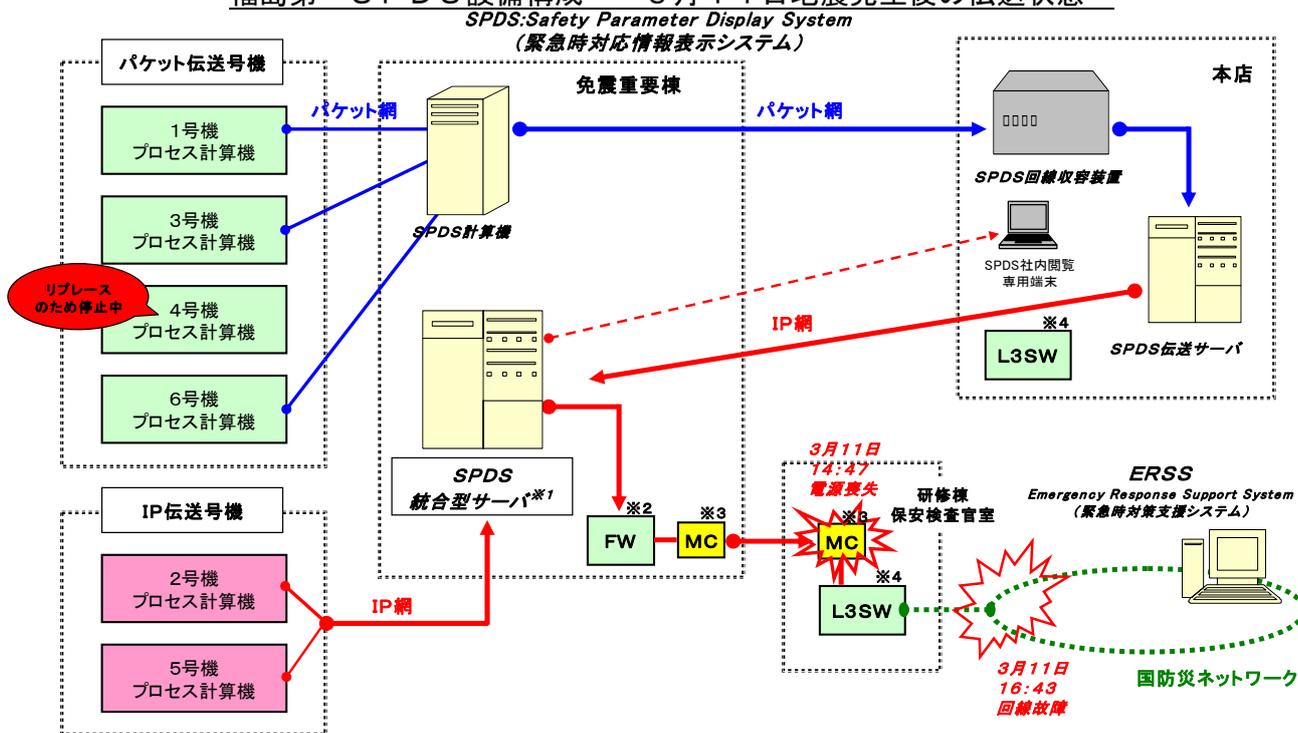
一方、国へのプラントデータの伝送については、国の緊急時対策支援システム（ERSS）に、当社のSPDSからデータを伝送するシステム構成となっていたが、津波の影響等でプラントデータそのものを喪失する前に、以下の理由からデータ伝送が途絶した。

- 福島第一原子力発電所においては、ERSSとSPDSを連携するための通信機器（メディアコンバーター；信号変換機器）は、発電所内の研修棟保安検査官室に設置されており、主電源は交流電源となっていた。主電源である交流電源を喪失した場合のバックアップ電源は、国の保有する無停電電源装置（UPS；バッテリー）を使う予定としていた。しかし、接続工事の事前の調整段階で本店と発電所のコミュニケーション不足から無停電電源装置の収容されているラックが明確に示されな

かったこと、また、その後の現場確認の際に保安検査官から聞いていた無停電電源装置に接続されている機器の収容ラック場所が異なっていたため、結果として接続工事当日に、手配しておいた電源ケーブルでは短く無停電電源装置へ接続することができなかった。このため、無停電電源装置への接続については、後日改めて実施することを保安検査官に説明した。当日の工事は、交流電源に電源ケーブルを接続した上で伝送試験を実施し、伝送に問題ないことを確認してから終了した。なお、無停電電源装置へ接続するための電源ケーブルについては、近くのホームセンターにて調達しようとしたものの、十分な長さのケーブルがなく調達できなかった。その後、免震重要棟やモニタリングポスト設備などにおいて通信関係の規模の大きい工事が続いたこともあり、電源ケーブルの調達・接続を失念してしまい、結果として無停電電源装置へ接続されず、地震により外部電源を喪失した3月11日14時47分頃にERSSへのデータ伝送が停止した。

- また、SPDSの状況を詳細調査したところ、3月11日14時49分に1号機、3号機の伝送故障の記録が残されていることから、1号機、3号機については、この時点において何らかの原因によりプロセス計算機からの伝送が停止し、免震重要棟においてもプラントデータが確認できない状態になっていたと考えられる。なお、1号機、3号機と同じ伝送方式を採用していた6号機については、プラントデータの伝送は問題なく継続されていた。4号機も1号機、3号機と同じ伝送方式であるが、定期検査においてプロセス計算機の取替工事を実施中であり、SPDS自体が使用できない状態であった。
- なお、福島第二原子力発電所からのデータ伝送についても、問題なく行われていたが、3月11日16時43分頃にERSSが接続されている国の原子力防災専用ネットワーク（公衆通信サービス）の回線が故障し、伝送停止になったため、SPDSからERSSへのデータ伝送は不可能となった。（専用ネットワークは福島第一・第二原子力発電所共通）

福島第一SPDS設備構成 ～3月11日地震発生後の伝送状態～



※1 バックアップ電源は免震重要棟設備専用ガスタービン発電機とバッテリー
 ※2 FW:ファイアウォール
 ※3 MC(メディアコンバーター):光ファイバーと銅線など、異なる伝送媒体や規格を相互接続し、信号の変換を行うための機器
 ※4 L3SW(レイヤ3スイッチ):IPアドレスによる経路制御、パケットを目的のIPアドレスに対応する出力ポートに転送する。

この後、福島第一1号機～4号機においては、津波の影響で全ての電源を順次失い、プラントデータそのものを監視できなくなるが、バッテリーの接続などで回復できたプラントデータや作業状況については、取り纏めて適宜関係各所に情報として提供した。

(3) 周辺地域への情報提供

当社は福島県及び原子力発電所が立地する4町（福島第一原子力発電所は大熊町・双葉町、福島第二原子力発電所は楢葉町・富岡町）と安全協定を締結している他、福島第一原子力発電所に係る異常時等の通報等に関し浪江町と、福島第二原子力発電所に係る異常時等の通報等に関し広野町と、それぞれ通報連絡協定を締結している。また、原災法第10条に該当する事象が発生した場合、原子力事業者防災業務計画に基づき、関係自治体等に通報を行うこととなっている。

今回の地震発生以降の福島第一原子力発電所から関係自治体への通報については、福島県、立地4町へファックスまたは電話にて連絡を行った。浪江町については、ファックスの送信を試みた後（受信確認はできず）、普通電話、災害時優先携帯電話、衛星携帯電話、ホットラインを用いて繰り返し連絡を試みたものの、通信手段の不調により、結果として電話連絡がとれなかったことが確認されている。

また、原子力発電所の所在4町には3月11日より当社社員が帯同し、状況説明等を実施した（帯同できない日も適宜当社社員が訪問）。浪江町には13日から社員が訪問し、状況説明を実施したが、15日からは帯同した。

なお、3月12日に実施された福島第一1号機のベントにあたっては、帯同していた当社社員から「発電所南側近傍の一部地区が避難できていない」との情報があり、9時02分に当該地区の避難確認をした。

周辺地域への情報提供としては、新潟県中越沖地震における広報活動に関する反省から、地震等による原子力発電所への被災が予想される場合に、その情報を住民の方へ提供することを社内ルールとして定めていた。

一方、原子力災害時には、国等による一元的な広報活動となることから、これの適用外としていたが、今回の事故ではオフサイトセンターが機能しなかったことから、臨機の対応として社内ルールを準用し、当社独自に住民の方への情報提供活動を実施した。

具体的には、3月11日の夜から福島県内ラジオ放送局のラジオ放送を使った情報提供、福島県内民放各局のテレビテロップによる情報提供及び福島第二原子力発電所の広報車両を使い巡回による住民の方への周知を実施した。 【添付5-6】

(4) 情報公開

① 広報活動の実施状況について

<本店における広報>

本店では、3月11日の夕刻に本館1階にプレスルームを設置し、原子力発電所の状況及び当社供給エリア内の約14%に該当する400万軒以上のお客様で発生していた停電状況に関する当社プレスリリース文を来社した記者に配布するとともに、その内容に関する簡単な説明を実施した後、質疑応答を行った（以降、「記者レク」と言う）。

今回、原子力災害に発展し、状況の理解・説明が難解であったことから、原子力発電

所の状況等、原子力に関するプレスリリースについては、原子力部門の技術担当者が記者レク場で適宜説明を実施した。

当社がプレスリリースする際には、通常はエネルギー記者会（大手町）、経済産業記者会社会部分室（霞ヶ関）等記者クラブに資料を持参し、発表を行っている。しかしながら、本店プレスルームを開設した以降は、本店に来訪する記者が増えてきたこと、迅速な情報提供を求められようになっていたことから、基本的に本店プレスルームでの対応を中心に行うこととした。

原子力設備を含めた当社設備全般の被害状況などのプレスリリースをできるだけ定期に行うとともに、新たな事象が生じた場合には、たとえ深夜であったとしても、とりまとまった段階でプレスルームでの発表ならびに記者レクを実施した。【添付5-7】

<現地（発電所立地点）における広報>

原子力発電所においては、プレスセンターの開設を想定していた発電所サービスホールが電源を喪失しており、また、報道機関が発電所に来所できるような状況ではなかったことから、プレスセンターの開設はしなかった。

原子力災害が発生した場合、オフサイトセンターにプレスルームが設置され、そこで事業者である当社を含め広報対応を一元的に実施することが国の防災基本計画や原子力事業者防災業務計画で定められている。

既に発電所支援のために本店から移動を開始していた武藤原子力・立地本部長に広報部員1名も随行しており、本部長とともに発災同日の18時頃には福島第二原子力発電所対策本部に到着し、待機していた。

また、3月12日3時20分、オフサイトセンターの活動が開始されたとの報告を受け、福島第一原子力発電所からも広報要員として2名を派遣した。

しかしながら、3月12日にはオフサイトセンター自体が避難区域に含まれたことなどから、今回の事故において、同センターでプレス発表が行われることはなかった。

<県庁所在地（福島市）における広報>

福島市においては、地震発生に伴い福島県自治会館に設置された県の災害対策本部に、当社福島事務所の所員が設置直後より常駐し、発電所の状況を報告するとともに、県政記者クラブにおける広報活動にもあたった。具体的には、以下のとおりである。

県災害対策本部

福島県災害対策本部の本部員会議は、報道機関に公開されており、発災当初は1日に数回開催された。当社は、県災害対策本部員の要請に応じて、発電所の状況を報告していた。本部員会議への報告は発電所からの通報連絡の内容をベースに、当社福島事務所の所員が発電所より聞き取った詳細情報を適宜付け加えて行っており、これにより発電所の状況が報道機関に伝えられていた。

県政記者クラブ

県政記者クラブに対しては、事故発生当初は案件発生の都度断続的に、3月13日頃以降は1日4回程度、記者レクの時間を定めて実施していた。

記者レクの内容は、主として当社プレスリリース文と通報連絡の説明であり、通報連

絡の説明は、県災害対策本部と相談の上、特定事象（圧力の上昇や温度の上昇、線量の上昇など）を中心に、通報連絡原文を用いて行なった。

②広報活動での初動対応における特徴的事項

今回の事故においては、当初予定していたオフサイトセンターでの一元的なプレス発表ができなかったことから、官邸、原子力安全・保安院、福島県及び当社が各々にプレス発表を行う形となった。また、プラント状況や通信事情などにより限られた情報しか得られず、プラント状態が把握できにくい状況の中、広報活動については、次に述べるような様々な問題が生じた。

<広報活動の状況>

3月11日～12日頃

東電社内においては、福島地区における報道発表は、通常であればその内容を本店と調整し、本店における報道発表と連携させながら行っている。今回の対応においては、当社福島事務所所員の自治会館における通信手段は県から借用する衛星電話に限定され、福島事務所が保有する通信設備の機能も限定的で、事象が早く進展する中、思うように本店と連絡を取ることができなかった。そのため福島事務所は、本店との調整が未了であっても、通報連絡の内容をベースに、県災害対策本部と調整しながら公表内容を判断した。

原子力発電所に関するプレス発表に際しては、常日頃から事前にその内容を原子力安全・保安院や福島県に説明し、了解が得られた後にプレス発表を行う運用を行っている。また、安全協定に基づき、プレス発表の内容は事前に所在町（福島第一原子力発電所の場合は、双葉町及び大熊町）にも連絡している。

しかしながら、今回の事故においては通信環境や自治体の避難に伴って、事前連絡の徹底が困難な状況にあり、プレス発表の直前、場合によっては事後にファックス等によりその内容を原子力安全・保安院と自治体に連絡していた。

3月12日に福島第一1号機の原子炉建屋が爆発したが、その状況を爆発後の原子炉建屋の写真を用いて当社福島事務所が福島県に説明している様子が全国ニュースで放送された。この写真を広報用を使用することについては、本店、官邸ともに把握していなかったが、特に官邸はこのニュースに対して、事実関係の説明を当社に求めるとともに、官邸の知らないところで上記対応が行われたとして当社は強い注意を受けた。

具体的には、上記ニュースで官邸が知らない写真を使って広報している経緯を説明するよう官邸で対応していた当社社員は求められ、事実関係を確認の上回答したところ、官邸から由々しき問題との指摘を受けた。この問題のため、清水正孝社長は3月13日午後2時頃に官邸を訪問し、強い注意を受けた。

これを契機として、清水社長は社内関係者に対し、「今後広報する時は、まず官邸にお伺いをたてて、官邸の許しがでるまでは、絶対に出してはいけない」と指示した。

3月13日頃～3月21日頃

プレス発表の内容を官邸及び原子力安全・保安院に事前に送付し、了解を得た後にプレス発表を行うことで徹底したが、官邸及び原子力安全・保安院の事前了解のプロセスにより、プレス発表のタイミングや内容に一定の制約が生じた。

なかでも、3月14日早朝に福島第一3号機の格納容器圧力が上昇し、同日7時53分に関係機関への通報連絡を行った件については、速やかにプレス発表の準備を整えており、また、通報連絡で内容を把握していた福島県からは同日9時に行う予定の本部員会議（マスコミ公開）までには本件を公表するように強い要請があった。当社は速やかにプレス発表をすべく官邸の了解を得るために、官邸に駐在していた原子力安全・保安院に働きかけを行ったが、了解は得られず、福島県の要請に応えることができなかった。一方、本件について原子力安全・保安院は、9時15分頃に記者会見で説明している。

統合本部が設置された3月15日以降も、原子力事故に関するプレス発表は、官邸、原子力安全・保安院及び当社の3者で行われていたが、それぞれの会見における説明内容にずれが生じ、報道機関から指摘を受けることもあった。

また、プラントの状態や通報連絡の内容については当社から原子力安全・保安院にタイムリーに報告していたものの、プレス発表資料については、その完成がプレス発表直前となり、官邸及び原子力安全・保安院との調整に十分な時間がとれないこともあった。官邸及び原子力安全・保安院からはプレス発表資料の提供が遅いとの指摘があったため、資料の作成段階から、官邸及び原子力安全・保安院に事前連絡を行うように改めた。

3月21日～4月24日

統合本部としての一体的な広報を行う意向が細野豪志内閣総理大臣補佐官より示され、その結果として、当社のプレス発表前に課長クラスの社員が原子力安全・保安院広報班に発表資料の説明を行い、事実関係における両者の認識の摺り合わせを行うよう、原子力安全・保安院より当社に指示が出された。なお、摺り合わせという表現ながら、実際には当社プレス発表資料に対する一方的な確認が行われるのみであり、原子力安全・保安院のプレス発表資料については、規制当局の見解が含まれるとの理由から、当社が事前に確認することは認められなかった。【添付5-8】

これを受け、当社プレス発表の内容を国と調整する専任のチームを社内に設置し、国との調整機能を強化せざるをえなくなった。具体的には、プレス発表予定時刻の20分前までに官邸及び原子力安全・保安院に当社プレス発表資料案を送付し、了解が得られた後にプレス発表を行う運用となった。

本運用においては、事前了解のプロセスによりプレス発表が遅くなることは決してないように運用することが肝要とされていたが、実運用においては、事前了解を得るのに時間を要し、当初予定していたプレス発表時間が遅れることもたびたびあった。

4月25日以降

政府、原子力安全・保安院、当社の三者別々による記者会見のスタイルでは、各々の会見内容に若干の相違が生じることがあり、これを問題視した細野補佐官からの打診により、4月以降、会見の一本化に向けた調整が行われた結果、同月25日から統合会見が始まった。なお、当社が行うプレス発表のうち、主だったものについては、現在でも細野環境大臣（平成24年6月時点）の大臣秘書官、原子力安全・保安院広報班への事前説明を継続実施している。

③情報公開に関する課題

当社は、平成14年に発覚した原子力発電所の点検・補修作業に係る不祥事を契機として、情報公開の徹底に取り組んできた。

平成15年11月には新しい情報公開の基準（公表基準）を定め、発電所運営の透明性をより高める観点から、法律上報告が義務づけられている重要な事象以外にも、プラントの安全運転に影響しない比較的軽度な機器の不具合、日常的に発生するメンテナンスなどの情報に至るまで、発電所の最新状況を、プレスリリース、ホームページ等を通じて公表している。

また、発電所の状態把握と問題点やその対応策について議論する社内会議については、国や自治体など社外にも参加を呼びかけ、ご意見をいただいております、各種情報を会議の場で公開している。

今回の事故対応においても情報公開に努めてきたところではあるものの、振り返ってみれば以下のような課題があったものと考えられる。

<社外からの指摘状況>

当社は前述のとおり情報公開に積極的に取り組んできており、今回の事故においても、正確な情報を速やかに出すことに努めてきた。しかしながら、中には情報提供に時間を要した事例や、情報に誤りがあった事例もあり、社外から様々なご指摘を受けた。

【添付5-9】

ここでは、今回の事故において特徴的な指摘である「情報提供が遅い」「情報を隠しているのでは」「炉心溶融を認めなかった／事態を矮小化しようとした」「経営陣による説明の不足」の4点について、何故そのような状況になったかの考察を記す。

情報公開に時間を要した要因

今回全電源喪失に伴って、中央制御室ではプラント監視機能のほとんどを喪失し、確認できるプラントデータが限定的であり、また、その入手に時間を要したことが、情報公開までに時間を要した最大の要因であったと考えている。さらに、通信環境の悪化に伴い、中央制御室と発電所対策本部間の情報伝達は困難を極めた。このため、発電所と本店対策本部間はTV会議システム等を通じて情報共有ができていたものの、本店からプラントの事故状況を迅速に伝達できる状況にはなかった。

また、当社は原子力発電所運営の透明性をより高める観点から、公表基準を定めるなど、積極的な情報公開に取り組んできたが、今回のような原子力災害時に、どのような情報をより迅速にお伝えしていくのか等について、具体的な定めがなかった。また、報道に携わった者は、複数のプラントで同時に事象が進展するなかで、周辺住民の皆さまや広く国民の皆さまの安全に関わる、特に迅速にお伝えすべき情報について、その内容や評価を十分に把握できていないなかで、対応を余儀なくされた。さらには、当社がプレスするにあたっては、官邸や国への説明など、事前調整が必要だった。

これらの要因が重なって情報公開に時間を要し、皆さまに大変なご迷惑とご心配をおかけしてしまった。

情報を隠しているのではないかとの指摘について

このような指摘を受けた遠因として、当社は過去にデータ改ざん等といった不祥事を起こしたことがあり、報道においては、この不祥事事例を引用しながら、当社の情報公

開姿勢に疑問を呈するものが見られた。

当社としては情報を隠蔽したり、改ざんしたりする意図はなく、そのような事実はなかったものの、当社の対応にも至らない点があり、データの公開に消極的であるかのように受け取られる以下のような事例が散見されたのも事実である。

- ・ 記者会見において、プラントデータを紙で配布せず、口頭で説明した。
- ・ 未公開のプラントデータやモニタリングデータが後日明らかになった。
- ・ ホームページ上でのプラントデータ公開の時期が平成23年4月になった。

しかし、これらの事例は、情報を隠す意図によったものではなく、以下に示すような、情報公開や記者会見におけるデータ公開時の説明不足、作業環境等の問題、リソース上の限界等によったものであった。

- ・ 例えば、同種データにおいて、場所によって2分間隔で測定したデータ（機械測定）と10分間隔で測定したデータ（人間が測定）があった場合、データの見やすさや整理の都合から、公表するデータは10分間隔で測定したデータだけに統一して公開し、2分間隔のデータが存在することについて説明しなかったため、2分間隔に測定したデータの存在を知ったマスメディアから、情報隠しとの誤解を受けた。
- ・ 今回の事故は、全ての電源を喪失し、中央制御室や屋外さえも汚染された炉心損傷事故であったために、通常の事故では簡単に回収できるプラントデータについても、そのままでは持ち出せないような状況となった。このため、ある程度事態が落ち着いた段階で、全面マスク等のフル装備で記録をコピー機で電子化し、汚染させないようにして持ち出すことに成功した。また、コンピュータのハードディスクに残されていたデータについては、ハードディスク自体を汚染しないように持ち出したり、電源を復旧するなどしてデータをコピーして取り出した。このため、正確なデータを早期に提供するのは難しかった。
- ・ 広報関係者は、新たに判明した事実を速やかに記者会見で発表することと、記者会見において答えられなかった質問への回答を次の会見までに用意することなどで精一杯の状況が続いていた。特に記者からの質問については、情報が限られた状況の中で、回答を準備することには非常に時間と労力がかかった。加えて、技術的な質問に対応できる原子力の技術系社員は、発電所の支援対応で手一杯の状況であったため、広報班を充分フォローできる状況ではなかった。そのため、記者会見の開催に際して、お知らせすべき事項を精緻に検討する余裕や、配布資料の準備に割く余裕がなかった。

炉心溶融を認めず／事態を矮小化しようとしたとの指摘について

当社は把握している事実を正確に伝えることを重視し、憶測や推測に基づく説明を記者会見で行うことは極力控えていた。

炉心の状況についても、そもそもその状況を示す情報が限定的であり、その状況が明らかでなかった。一方、「炉心溶融」や「メルトダウン」といった用語については言葉の定義自体が共通認識となっておらず、あたかも炉心全体が溶融し落下している状態を断定するかの意味合いで用いられる懸念もあった。

このため、当社は限られたデータからできるだけ正確に分かっていること、すなわち格納容器雰囲気モニタ（CAMS）の計測データにより燃料棒被覆管に損傷が生じていることはほぼ間違いない事実と認められるので、その状態を「燃料損傷」の用語で説明したり、「ペレット等が一部溶けて被覆管からむき出しになっていることはあると思う」等の具体的表現を用いるよう心掛けていた。

しかしながら、正確な表現に努めようとしたことが、かえって事象を小さく見せようとしているとの指摘につながった可能性がある。このため、言葉の定義をこちらから示しながら説明する等、説明の仕方等について検討・工夫を重ねていくことが必要と考えられる。

なお、「東京電力は炉心溶融を否定し続けてきた」といった報道も一部にあるが、記者会見等においてその可能性を問われた場合には、当初より「具体的に断定・判断するだけの材料がない」「可能性はある」「被覆管が溶融している可能性も含めて対応を検討していく」等と回答しており、否定し続けた事実はなかった。

経営陣による説明の不足について

3月中における原子力部門担当の役員会見は主に重大事象の発生状況を考慮して行っており、小森常務（原子力・立地本部副本部長）による対応が3月12日未明（ベントの会見）、同日夜（需給関連・プラント状況説明（1号機爆発後）、3月13日夜（社長会見）、3月14日昼（3号機爆発後）に行われ、武藤副社長（原子力・立地本部長）による対応が3月14日夜（2号機水位低下）及び3月21日から3月31日までの間、連日にわたり行われた。また、社長による会見が3月13日に、会長による会見が3月30日に行われた。

3月15日から3月20日までの間は原子力部門担当の役員会見を行っていないが、3月15日には2号機の圧力抑制室圧力低下、注水作業に直接関連のない所員の一時退避、4号機の火災（爆発）といった重大事象が発生しており、以降も予断を許さないプラント状態が継続していたことに鑑みると、当該期間においても役員会見を適宜行うことが望ましかったものと考ええる。

一方、社長による会見は、3月13日に実施して以降、4月13日まで一ヶ月間行われなかった。この間、体調を崩していた事情もあつたとはいえ、社会の皆さまへ多大なご迷惑とご心配をお掛けしている企業のトップとして、記者会見などを通じたお詫びやご説明が不十分だったとのご指摘については、真摯に受け止めたい。

(5) 人員派遣と活動状況

①原子力安全・保安院

3月11日の地震スクラム発生後、原子力安全・保安院との情報連絡を密にするため、本店対策本部官庁連絡班等の要員を原子力安全・保安院の緊急時対応センター（ERC）等に派遣した。なお、原子力発電所のトラブル発生時には通常こうした対応が図られており、今回の事故に際しても常時5名程度が交代しながら原子力安全・保安院ERCに駐在する形での要員派遣を行った。

事故対応の初期段階においては、原子力安全・保安院のERCのファックスが、他社との共同使用で混雑していたことから、派遣された要員が本店からの情報を電話で聞き、定期的に発電所で読み上げられたモニタリングポストの線量や原子炉水位、原子炉圧力

等のデータを原子力安全・保安院の緊急対策室に口頭で伝えることとした。なお、原子力安全・保安院のパソコンを利用した電子メールも一部で併用した。

②政府、総理官邸

3月11日19時03分に官邸に原子力災害対策本部が設置されたが、原子力について話を聞きたいので誰か来てほしいとの漠然とした要請が原子力災害対策本部設置以前にあり、本店対策本部のスタッフながら、特定の機能班を受け持っていなかった原子力部門の部長を派遣することとした。また、説明には菅直人内閣総理大臣も同席するとの話があったために、より上位職の者を出すことになり、直接的には福島事故対応をしていなかった武黒フェローをも派遣することとし、他に2名を加えた4名を急遽、技術補助者として派遣した。

官邸での説明の後、帰社する途中で、再度、官邸から戻ってきてほしいという連絡が本店にあったことから、武黒フェロー以下全員が急遽もう一度官邸に向かった。

これらの者は、官邸地下階にある官邸危機管理センターの関係機関の控え室を見下ろす位置（中間階）にある部屋で翌日昼頃まで待機した。15日までの間、一部の時間を除いて官邸に常駐し、必要に応じて総理執務室等に呼び込まれる形で時々の質問に対応していたが、当初はほとんど呼ばれることはなかった。官邸の危機管理センターや待機した中間階の部屋においては、携帯電話の通信が遮断され、外部との連絡もできなかった。また、危機管理センターから情報を与えられることもなかったために、派遣された4名の情報源は基本的に部屋に設置されていたテレビしかなかった。途中、危機管理センターにある固定電話を借りて外部と連絡をとったが、得られた情報は限られていた。このため、12日の昼頃までは、発電所の状況に関する質問をされても、答える術がない状態となっていた。

3月12日、原子力部門の部長は、当時菅総理から呼ばれて官邸にいたという総理の知人から米国スリーマイルアイランド（TMI）原子力発電所の事故について説明を聞きたいとの要請があり、TMI事故の概要（主給水ポンプが停止したことで蒸気発生器への冷却水が供給されなくなったことを起因に、原子炉の圧力が上昇、加圧器逃し弁が開放し、閉まらなくなったことで原子炉水位が低下し、緊急炉心冷却装置（ECCS）が作動したものの、加圧器水位を運転員が誤認してECCSを停止してしまったことで原子炉の水位が低下して炉心が露出、損傷するという事故に至る経過）を説明した。

おそらくこれに続いてのことと思われるが、総理から発電所長に電話があり、総理やその電話を引き継いだ総理の知人から、TMI事故の原因はタービン設備へ導くべき蒸気を止めたために起こった事故であるとして、タービン復水器に蒸気を送り原子炉を冷却することの提案があった。この提案に対して福島第一、第二原子力発電所のそれぞれの発電所長は、この時のプラントの状態ではタービンの復水器では冷却できないことを説明している。この電話対応には数十分費やした。現場実態と乖離した指導の中にはこのようなものもあった。なお、この総理の知人は、後日（3月20日）に内閣官房参与に任命されたとのことである。

12日（土曜日）昼頃から14日（月曜日）未明までは、官邸5階の部屋に移され、外部との通信状態も改善された。この頃から、当社からの派遣者らは、官邸5階の総理

大臣応接室等で開催される会議に参加し、本店から得られた情報を説明するようになった。

派遣者らは、14日未明から、危機管理センターとは離れた位置にある官邸地下階の部屋に移され、徐々に危機管理センターを中心とした対応をすることとなった。15日には東電本店に統合本部が設置されたが、官邸にいる当社からの派遣者には、それまでに議論になったとされている全面撤退の話も含めて事前に問い合わせ等がされることはなかった。

官邸については、原子力災害時に当社から要員を派遣することにはなっていなかったが、上記4名とは別に官邸の危機管理センターへの要員派遣の要請があった。このため、3月13日以降、官邸2階に4～5名程度社員の派遣を増員するとともに、3月14日以降は地下の危機管理センターにも4名程度の社員を派遣し、24時間体制で常駐させた。官邸への情報提供についても経済産業省を通さず当社へ直接提供を求められることが多かった。情報提供内容については、官邸側の質問に対応する他、モニタリングポストの線量やプラントパラメータ等、順次定例的な情報も提供していくこととなった。

官邸への直接的な人員派遣以外にも、前述した格納容器ベントの実施に関する国への申し入れについては、既に1時30分頃、1号機及び2号機のベントについて了解を得ていたが、3月12日2時34分、小森原子力・立地本部副本部長等が海江田大臣を訪問し、プラント状況の説明を行い、2号機を優先してベントを実施することについて申し入れを行った。菅総理には海江田大臣から説明をすることで政府として了承され、同日3時に格納容器ベントの実施について、海江田大臣同席で格納容器ベントに関するプレス発表した。

3月12日6時14分、菅総理は班目春樹原子力安全委員会委員長とともに官邸をヘリで離陸し、7時11分に福島第一原子力発電所グラウンドへ着陸した。オフサイトセンターの要員として現地にいた武藤原子力・立地本部長が出迎え、吉田所長は発電所対策本部を約20分間離席し、プラント状況や格納容器ベントに関する作業状況の説明を行った。菅総理は8時04分に同発電所を離陸した。

5.3(2)①で述べたとおり、当社は原災法や原子力事業者防災業務計画に基づき、プラント情報等を国（原子力安全・保安院はもとより、官邸内危機管理センター等）などの関係機関へ随時提供していたほか、原子力安全・保安院に派遣した連絡者を通じて、国からの質問等にも答える態勢をとっていた。官邸は、予め定めている原子力安全・保安院からの連絡経路を利用せず、また、一部情報は危機管理センターに送信されていたがそれらの利用もせず、直接原子力発電所と連絡をとれる方法を要請してきた。菅総理の命を受けた細野補佐官の強い要請で、官邸から発電所長へのホットラインが開設された。官邸からの質問には、基礎的な質問や官邸・国が担うべき退避範囲の妥当性に関する質問が含まれていた。

一方、吉田所長には、細野補佐官の携帯電話番号や細野補佐官の秘書の携帯電話番号が知らされ、社内電話回線を使って直接連絡をとることとなる。直接報告された内容としては、3号機の水素爆発直後に1号機と同様に格納容器圧力に変動がないこと（＝損傷がないと思われること）、負傷者の状況、2号機の原子炉への注水がうまくいかない

中で、場合によっては大きな炉心溶融になる可能性があること等、適宜細野補佐官に連絡した旨が吉田所長の証言として得られている。

なお、3月15日4時17分頃官邸に呼び出された清水社長は、菅総理から直接に、撤退するつもりであるか否かについての真意を問われた。それに対して、清水社長は全員撤退については考えていないと回答した。（撤退問題詳細については、別途（7）項に記載）

（6）オフサイトセンターでの活動状況

当社から3月11日16時45分に行われた原災法第15条報告により、約2時間後の同日19時03分に、内閣総理大臣から原子力緊急事態宣言が発令されるとともに、官邸に原子力災害対策本部が、現地の緊急対策拠点であるオフサイトセンターに原子力災害現地対策本部（原子力災害合同対策協議会）がそれぞれ設置された。

オフサイトセンターは、原子力災害発生時には情報を一元的に集め、緊急時の対応対策を決定する重要な機関となっている。このため、その開設時には、福島第一、第二原子力発電所からの要員派遣の他、本店からは原子力・立地本部長等が派遣され、即座に判断できる体制としていた。

オフサイトセンターの原子力災害現地対策本部は、地震による外部電源の停電や非常用ディーゼル発電設備の故障の影響もあって当初活動ができない状態となっており、一部要員を除き、オフサイトセンターが開設される翌12日まで待機となった。11日深夜に原子力災害現地対策本部の本部長である池田経済産業副大臣がオフサイトセンターに入るとの連絡を受け、福島第一原子力発電所は、事情をよく把握しているユニット所長1名を池田副大臣への説明者としてオフサイトセンターへ派遣した。

派遣されたユニット所長は、1号機のベントの必要性について状況を説明した。情報については、繋がりにくい携帯電話で本店や発電所と連絡をとり、何度か池田副大臣に説明した。

本店から派遣された原子力・立地本部長等は、前述したように18時頃には福島第二原子力発電所に到着しており、内閣総理大臣から原子力緊急事態宣言が出された19時03分にはオフサイトセンターへの要員派遣の準備は整っていた。しかしながら、オフサイトセンターが開設されなかったために、翌12日未明まで待機となった。

オフサイトセンターは、周辺住民に対する広報活動や住民避難、屋内待避区域の設定、避難誘導等を行う拠点となるものであったが、3月11日20時50分には福島県による一部周辺住民への避難指示、同日21時23分には政府による福島第一原子力発電所半径3km圏内の住民に対する避難指示等、オフサイトセンターが開設する前に避難措置等が動き出した。避難指示については距離を変えて何度か発出されたが、本来オフサイトセンターで決めるべき事項でありながら、実際にはテレビで枝野幸男内閣官房長官の発表を聞いて知るような状況に陥っていた。

オフサイトセンターは当初開設されなかったため、全面的な人員派遣は見合わせられていたが、12日3時20分に活動が開始されたとの情報を受け、当日中には合計28名（14日は最大で38名）が同所での活動を開始した。本店対策本部から発電所支援のために来ていた原子力・立地本部長以下5名の本店の要員についても、活動開始以降

12日中にオフサイトセンターへ入っており、これらも上記人数に含まれている。

オフサイトセンターの当社派遣要員は、訓練の際と同様に、当社の使用ブースに設置され、地震等による被害を受けず機能が維持されていた当社所有の保安回線を介するTV会議システムや保安電話等を活用して、発電所及び本店の対策本部との間でリアルタイムの情報共有を図ることができた。当社の会議がある時は、そのうちに福島県や原子力安全・保安院のメンバーも含めて、TV会議システムの前に皆が集まり、プラントの状況を聞くようになっていった。

オフサイトセンターに本店から派遣されていた武藤原子力・立地本部長は、オフサイトセンターの運営の実情等を勘案して本店対策本部へ戻ることとし、本店から新たに派遣された小森原子力・立地本部副本部長と14日に交替した。

その後、原子力事故の進展によって、オフサイトセンター内や周辺の放射線量の上昇や食料不足が生じ、これに伴い継続的な活動が困難になったとの判断がなされ、15日に現地対策本部は福島県庁に移動した。

オフサイトセンターの福島県庁への移動に伴い、福島第一、第二原子力発電所から派遣されていた人員も、福島第一ユニット所長以下、放射線管理業務を行うメンバー等が発電所での事故対応に当たるべく小森原子力・立地本部副本部長の了解を得て発電所に戻ることにし、オフサイトセンター対応者の再編成を行った。

(7) 撤退問題

一部報道において、東京電力が福島第一原子力発電所から全面撤退しようとしているという官邸内の認識のもとに「撤退を食い止めるためには東電に乗り込むしかない」として総理が当社本店で発言するに至る経過が連載され、また、民間の事故調査報告書を踏まえ、「福島フィフティーが残留したということは、ある意味では菅首相の実は最大の功績であったかもしれない」などとの主張も見られる。

しかし、当社は全面撤退しようとはしておらず、本件については平成23年12月2日に公表した中間報告書別冊において解明・報告済の事項と考えていたが、このような情勢に鑑み、改めて事実関係の調査・整理を行った。

当社としては、事態収束のため社員が残って対応した、あるいは自ら戻って対応したという厳然たる事実があり、決して、全面撤退しようとしていたなどということではない。結局のところ、撤退問題とは福島第一原子力発電所の現場が事故対応を継続したという事実が、はたして総理の撤退拒否の言動の結果であったのか否かということである。

①事実関係の経緯

<清水社長から海江田大臣への電話連絡>

津波発生後4日目、3月14日、2号機の原子炉水位が低下していることから、当社は13時25分、原子炉隔離時冷却系の機能が喪失したと判断した。有効燃料頂部（TAF：燃料集合体の発熱部上端）到達は同日16時30分頃と見込まれた。しかしながら、1号機（12日）、3号機（14日）の建屋爆発の影響もあり、原子炉への注水作業が困難を極めたことや、格納容器のベントも圧力抑制室側（大弁）からのベントもで

きないことなど非常に厳しい状態となった。（操作経緯の詳細は8章参照のこと）

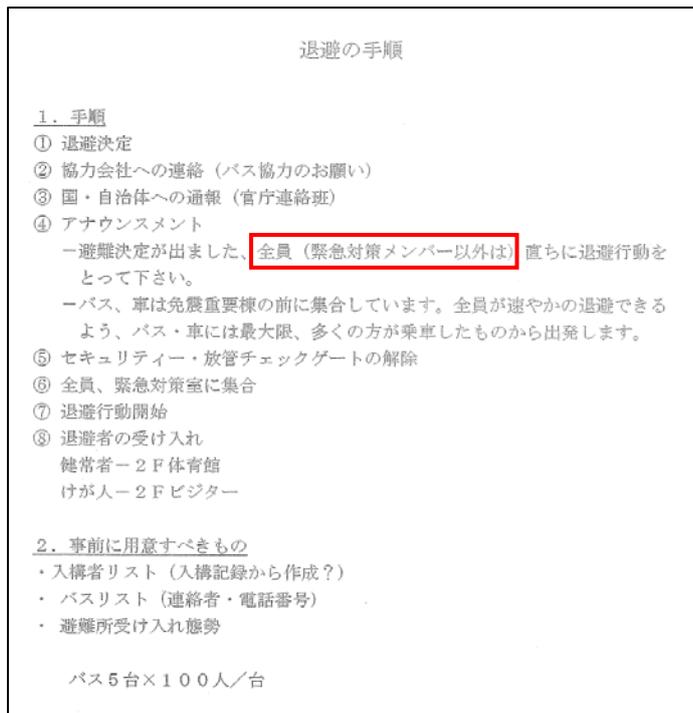
炉心が露出して損傷する危険性に加え、圧力抑制室側からのベントができず、圧力抑制室にある水によるフィルタ効果（スクラビング効果）がないドライウェル側からのベントしかできない場合やベントができず格納容器が過圧破損した場合には放射性物質が放出される危険もあり、発電所にとどまる者に制御できない被ばくを与える可能性のある状態に近づく危機的な状況になった。

このとき、福島第一原子力発電所には、数百人（およそ700名）がとどまっており、これら全員が危険にさらされることになる。その中には、事務系職員や女性、当座の緊急作業に直接関わらない者も含まれており、皆が昼夜のない連日の作業に従事し体力的にも極限状態にあった。吉田所長は、「何度も死んだと思ったが、この時は本当に死んだと思った。原子炉を安定させる復旧要員は残すとしても、それ以外の人には退避がよいと思った。」と述べている。また、国の保安検査官は、2号機の状況が緊迫化する中、全員がオフサイトセンターに移動したため、14日夕方以降、福島第一原子力発電所から国関係者はいなくなった。福島第一原子力発電所においては、危機回避のために注水やベントのラインを構築する等の事故対応の継続は当然行うとしても、発電所にとどまっている多数の職員の身体的安全確保を考慮しなければならない局面であった。

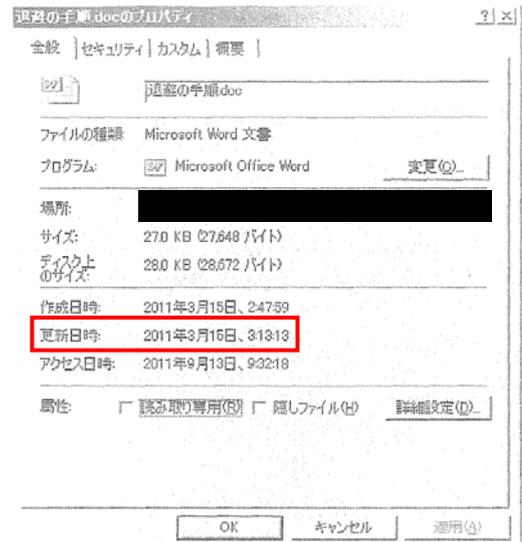
このため、3月14日19時30分前後に、福島第一2号機の危機的状態に関連して、本店と福島第一原子力発電所間で退避基準について議論されている。本店、発電所ともに、事故対応に必要な人間は残し事故対応を継続することは大前提であった。19時45分頃、武藤原子力・立地本部長が「退避の手順」を検討するように部下に指示し、退避の手順書が作成されている。

当該の手順書には、退避の決定からの手順が記載されており、協力会社へのバス手配の協力願い、国・自治体への通報、緊急時対策室内の職員に対するアナウンスメント、受け入れ先、事前の準備事項（リスト、避難受け入れ態勢など）が記載されており、アナウンスメントには具体的に「避難決定が出ました。全員（緊急対策メンバー以外は）直ちに退避行動をとって下さい」と、避難する人員は緊急対策メンバー以外であることが明記されており、危機回避のための活動は継続する意志が示されている。

なお、当該退避手順書の作成履歴（プロパティ）を確認したところ、最終更新は3月15日3時13分であって、菅総理が清水社長を呼んで撤退の有無を確認し、また、本店に来社して撤退を封じたとされるいずれの時刻より以前の作成である。



作成された「退避の手順」



「退避の手順」の最終更新日時を示す電子ファイル（退避の手順.doc）のプロパティ

それぞれを拡大したものを
【添付5-10】に示す

当然のことながら、プラントが厳しい状況にあることは、本来の通報連絡ルートによって通報するだけでなく、電話等によって国に随時通報・連絡をしている（なお、14日18時41分から20時34分に至る時間帯、及び、15日1時30分頃に清水社長（秘書からの電話を含む）から経済産業大臣秘書官などに電話をかけていることが確認されている。）。

清水社長が電話で海江田大臣に伝えた趣旨は、「プラント状態が厳しい状況であるため、作業に直接関係のない社員を一時的に退避させることについて、いずれ必要となるため検討したい」というものであり、全員撤退などというものではなかった。

しかし、この電話で清水社長が海江田大臣に「一部の社員を残す」ということを同大臣の意識に残るような明確な言葉を持って伝えたかどうかは明確でない。そして、海江田大臣は、清水社長が「撤退」ではなく「退避」という言葉を使ったことは認識していたものの、「全員が発電所からいなくなる」との趣旨と受け取り、官邸内で共有し、その旨を菅総理に伝えたようである。

枝野官房長官の発言によれば、このころ福島第一原子力発電所の吉田所長に電話で意志を確認したところ「まだやれることがあります。頑張ります。」との返事であり、官邸側としても吉田所長は、全面撤退など考えていないことを確認したことを述べている。なお、吉田所長は最初から一貫して、作業に必要な者は残す考えであった。

<総理による清水社長への真意確認>

清水社長が海江田大臣に電話をかけてから、しばらく時間が経過して後に清水社長に官邸へ来るようにとの連絡があった。用件は示されなかったが、ともかくすぐに来るよようにということであった。3月15日4時17分頃、官邸に赴いた清水社長は、政府側関係者が居並ぶなか、菅総理から直々に撤退するつもりであるか否か真意を問われた。

清水社長によれば、ここで、両者間に次のような趣旨のやりとりがあった。

菅総理 「どうなんですか。東電は撤退するんですか。」

清水社長 「いやいやそういうことではありません。撤退など考えていません。」

菅総理 「そうなのか。」

いわゆる撤退問題において、ここでのやりとりが最も重要な場面である。概略このようなやりとりがあったことは、後記の通り、菅総理自身が、事故からまもない4月18日、4月25日、5月2日の3回の参議院予算委員会での答弁（後述）に合致するものであって、確かな事実であったと見られる。

したがって、清水社長と海江田大臣との間の電話によって、菅総理等官邸側に当社が全面撤退を考えているとの誤解が一時あったとしても、それは、このやりとりによって解消されていたと考えられる。

それに続けて話題はすぐ「情報共有」になり、菅総理から「情報がうまく入らないから、政府と東電が一体となって対策本部を作った方がよいと思うがどうか。」との要求があり、清水社長は事故対策統合本部の設置を了解した。

<当社本店での菅総理>

4時42分頃、清水社長は官邸を辞し、同時に出発した細野補佐官等が、本店対策本部に来社したところで細野補佐官の指示に基づき、本店対策本部室内のレイアウト変更が行われ、菅総理を迎え入れる準備が行われた。

5時35分、菅総理が本店に入り、本店対策本部で福島事故対応を行っていた本店社員やTV会議システムでつながる発電所の所員に、全面撤退に関して10分以上にわたって、激昂して激しく糾弾、撤退を許さないことを明言した¹。前述の通り菅総理は官邸での清水社長とのやりとりによって当社が全面撤退を考えているわけではないと認識していたはずであり、上記菅総理の当社での早朝の演説は、意図は不明ながらも、当社の撤退を封じようとしたものとは考え難い。

清水社長は、国の対策本部長として懸命に取り組まれていることを感じながらも、「先ほどお会いしたときに納得されたはずなのに違和感を覚えた」とこの時の総理の態度が理解できなかったことを証言している。

また、福島第一・第二原子力発電所の対策本部において、菅総理の発言を聞いた職員たちの多くが、背景の事情はわからないまま、憤慨や戸惑い、意気消沈もしくは著しい虚脱感を感じた、と証言している。

後日マスコミにて、菅総理の来社時の映像に関して、当社が保有しているTV会議システムの録画の有無が取り沙汰された。そもそもTV会議システムの録画は社内規定等で録画する運用となっている訳ではなく、担当者の機転で録画を行ったものであった。録画は、本店緊急時対策本部と福島第二原子力発電所緊急時対策本部のシステムで行われた。しかしながら、本店では録画機器のハードディスクの容量が一杯になり、自動的に記録が停止した15日0時過ぎから、停止に気付いて録画を再開した16日の3時半頃までの記録が欠落している。そのため、菅総理が来社した時間帯は録画されていない。また、福島第二原子力発電所緊急時対策室のTV会議システムでは画像収録時の音声録音の設定を失念したため、音声のない映像が録画された。このため、菅総理来社時の映像には音声が入っていなかった。

＜2号機の衝撃音と所員の一部退避／吉田所長らの残留＞

その後、引き続き菅総理は本店幹部を本店対策本部が設置された緊急時対策室と廊下を隔てた小部屋に集め質問等をしていたところ、6時14分頃の2号機で大きな衝撃音と震動（後の調査で4号機の建屋爆発と判明）が発生した。

異変が生じたことから、本店・緊急時対策メンバーは緊急時対策室（対策本部）に戻り、発電所長との状況確認を再開した。なお、小部屋にもTV会議システム端末があり、現地の状況を知ることができる。菅総理は引き続き小部屋にとどまった。本店及び発電所の緊急時対策室では、2号の圧力抑制室が破損した可能性の報告、チャコールフィルタ付全面マスク着用の指示などがあり、6時30分、「一旦退避してパラメータを確認する（吉田所長）」、「最低限の人間を除き、退避すること（清水社長）」、「必要な人間は班長が指名（吉田所長）」などのやり取りがあり、吉田所長が一部退避の実行を決断、清水社長が確認・了解した。班長の指名した者の氏名は同発電所緊急時対策室のホワイトボードに書き込まれた。福島第一原子力発電所には、吉田所長を筆頭に発電所幹部、緊急時対策班の班長が指名した者など総勢約70名が残留した。

6時37分、吉田所長から異常事態連絡発信（71報）『2号機において6時00分～6時10分頃に大きな衝撃音がしました。作業に必要な要員を残し、準備ができ次第、念のため対策要員の一部が一時避難いたします。』として通報している。菅総理は、8時半ごろ本店から退去した。

なお、同日、政府の原子力災害現地対策本部は、発電所立地点の大熊町オフサイトセンターを引き払い福島県庁に移動した。

＜吉田所長の意志＞

吉田所長は、TV会議を通じて当時目の当たりにした菅総理の言動について「極めて高圧的態度で、怒りくるってわめき散らしている状況だった」と記憶している。「もともと全員撤退などは考えたこともない。私（吉田所長）は当然残る、操作する人間も残すが、最悪を考えて、関係ない大勢の人間を退避させることを考えた。」と証言した上で、一連の全面撤退についての風聞に対して「誰が逃げたのか、事実として逃げた者がいるというのなら示してほしい」と憤慨している。

実際、所長を中心に約70名が発電所にとどまり事故対応は継続された。また、全社からの発電所への人的支援も、滞ることなく15日も継続して行われている。

また、福島第一原子力発電所から避難した者も、発電所からの撤退ではなく、一時的な退避であり、福島第二原子力発電所に避難した者の一部は、短時間の休養の後福島第一原子力発電所に戻り、事故対応を継続している。

＜事実関係のまとめ＞

3月14日午後以降、福島第一2号機の状況が厳しくなる中、福島第一原子力発電所にとどまっている多数の職員の身体的安全確保の考慮も必須の局面となった。

このため、事故対応の継続に必要な人間は残すが、作業に直接関係しない者を一時退避させることを本店と発電所で協議した。また、社長は、そのことを海江田大臣に電話で連絡した。

ところが、清水社長からの電話を受けた海江田大臣は、全面撤退の打診と受け止めたとしている。なお、官邸が独自に吉田所長の意志も確認したところ全面撤退など考えていないことを確認したことも述べている。

15日4時17分、官邸に呼びだされた社長は、総理から直々に全面撤退ではないかと真意を確認された。清水社長は全員撤退ということは考えていないことを回答し、理解を得たと考えた。また、その場で総理から統合対策本部を設置するとの提案があり、社長は了解している。

15日5時台、総理が本店にて、撤退を許さないとの発言をしたが、本店・発電所共に、もとより対応に必要な人間を残す考えであったため、大きな違和感を感じた。

発電所にとどまって対応することができたのは、新潟県中越沖地震を受けて自主的に免震重要棟を整備していたことにもよるが、実際、福島第一原子力発電所の現場においては、免震重要棟を中枢として、原子力プラントが危機的状況にあっても、当社社員は身の危険を感じながら発電所に残って対応する覚悟を持ち、また実際に対応を継続した。この行為は、総理の発言によるものではない。

②官邸関係者の発言

撤退問題に関して、どのような発言がなされてきたか、公表されている発言を整理して次表に示す。この表は、吉田所長や清水社長のいわゆる撤退に関する考えを、関係者各人がどのように認識していたとしているのかを様々な場での発言記録を基に整理したものである。(以下、この表に基づいて記載する。)

福島第一原子力発電所の撤退問題に関する関係者の発言

吉田所長や清水社長の意志をどのように認識したとしているか(▲;当初電話連絡時、●;官邸での真意確認時)

	官邸関係者			その他	
	海江田大臣(事故当時) の発言趣旨	枝野官房長官(事故当時) の発言趣旨	菅総理(事故当時) の発言趣旨	保安院関係者 の発言趣旨	
吉田所長 の意志に関 する認識	-	▲「まだ、やれることはありま す。頑張ります」 (国会・事故調査委員会 (平成24年5月27日))	▲「吉田所長は、まだやれるというお話 でした。」 (国会・事故調査委員会 (平成24年5月28日))	-	
清水社長 の意志に関 する認識	3月～ 【事故後初期】	▲「私は承知をしております」 (全面撤退の打診の有無を問わ れて) (3月18日官房長官記者会見)	▲(大臣から撤退意向と報告) ●「社長は、いやいや、別に撤退とい う意味ではないんだということを言われ ました」 (4月18日参議院予算委員会答弁) (4月25日参議院予算委員会答弁) (5月2日参議院予算委員会答弁)	-	
	9月～ 【菅総理退陣後のインタビュー等】	▲「私が受けた印象は、今いる作業 員が全員、福島第一から第二に行く と。」 (9月15日東京新聞インタビュー)	▲「全面撤退のことだと全員が 共有している。そういう言い方 だった。」 ●(清水氏は今後の対応につ いて明言しなかったという。) (9月7日読売新聞インタビュー)	▲大臣から撤退意向と報告あり、 ●社長を呼んで真意確認、不明確だ った (9月6日朝日新聞インタビュー)	必要な人を残して一時退避と理解 【森山原子力災害対策監】 (9月8日記者会見)
	12月～ 【事故検証の発言等】 ・各種メディアのインタビュー ・民間事故調査報告書における聞き取り等	●社長を呼んで真意確認、 撤退ではないと明確に否定をし たと承知 (H24年2月7日参議院予算委員会答弁)	▲「私のところには海江田大臣がこう いう話に来ているからどうしましょ うか。」「受け止めた二人の大臣は現場 から撤退したいと・・」 (12月7日TBS出演)	-	
	▲「多くの官邸関係者が一致して東京電力からの申し出を全面撤退と受け止めていることに照らしても、東京電力の主張を支える十分な根拠があるとは言えない(p. 86)」、「直接電話で清水社長と話した海江田経産相、枝野官房長官、細野補佐官のいずれも全員撤退と受け止めている。(p. 98)」 「むしろ菅首相自らが東電に乗り込んでですね、それで15日の曉の、東電での、菅首相の演説というのが行われた訳ですけど、・・(略)・・福島フィフティーが残留したと言うことは、ある意味では菅首相の実は最大の功績であったかもしれない(2月28日;北澤・福島事故独立調査委員会委員長による報告書記者会見)」、「(菅総理は、公平な評価とコメント。) (H24年2月28日民間事故調査委員会・事故報告書及び記者会見(官邸関係者インタビューを踏まえ))	-	-	「現地では東電からは『必要最小限の人間はずっと置く』という話しか聞いていない。」 【OFC黒木副本部長】 (H24年2月23日東京新聞)	
	(撤退の要請について、細野大臣にも清水社長から電話があったということが事実かと問われ) ▲「私にも電話はあったのですが、私自身は電話をとらなかつたんです実は。内容は分かっていました。」「【細野大臣】(首相の決断で撤退阻止) (H24年3月9日 フジTV スーパーニュース出演の細野大臣発言)	-	-	(東電常務に)電話すると「・・・必要な人を残し退避させることも考えている」と。【平岡保安院次長】 (H24年3月11日東京新聞)	
▲「第一発電所から第二発電所に、 (中略)退避という言葉」、「私は当然 頭の中で全員がという認識」 ●(清水社長から全員撤退ではない と聞いて)「私が電話で受け取った 話と違いますので、それはちょっと びっくりしました。」 (国会・事故調査委員会 (平成24年5月17日))	▲「社長から全面撤退の趣旨の お話し」「正確なやり取りまでは 覚えておりません」「部分的に残 す趣旨でなかった」 ●(清水社長は簡単に撤退をし ないと言う様な回答をしたで良 いか?)「はい」 (国会・事故調査委員会 (平成24年5月27日))	▲(海江田大臣から撤退意向の報告) ●「私が、撤退はありませんよと言 ったとき、『そんなことは言ってい ない』とか『そんなことは私は申し 上げたつもりはありません』とか そういう反論が一切なくてそのま ま受け入れられた。」「清水社 長の方から撤退はないと言った ということに少しこの話が変わって おりますが、そういうことではあり ません」 (国会・事故調査委員会 (平成24年5月28日))	-		

＜清水社長から海江田大臣への電話連絡の官邸内での受け止め＞

発端となった清水社長と海江田大臣との間の電話連絡の時点の状況については、海江田大臣自身が、平成24年5月17日、国会の事故調査委員会に参考人として答弁している。また、5月27日、枝野官房長官も参考人として関連する事項等について答弁をしている。この際の撤退問題に関連する質疑応答を別紙1＜発言抜粋1, 2＞に示す。

海江田大臣は、当時、清水社長からの電話を直接受けているが、「**第一発電所から第二発電所に、撤退という言葉ではありませんで、退避という言葉がございました。**」、「**頭の中で全員が退避と認識した**」としている。この認識は清水社長が大臣にまで直接電話をかけてきたことに重い決断がその後ろにあると海江田大臣が思ったことによるとのことである。

また、海江田大臣は、官邸の幹部が現場の作業の継続が必要との認識で一致したことを証言しており、これは、清水社長からの電話の後、東電が全員の退避を申し出たとの情報を官邸幹部間で共有したことを示している。枝野官房長官も官邸内の情報共有で東電が全面撤退しようとしているとの報告を受けたとしている。なお、官邸では、福島第一原子力発電所の吉田所長に全面撤退の意志がないことを独自に確認する一方で、東電本店からの電話には敢えて出ないといったことも行われたとのことである。細野補佐官も、東電の撤退要請に関してニュース番組のインタビュー（平成24年3月9日フジTVスーパーニュース出演）にて、清水社長とは話をしていないが、全員撤退と認識していたとの趣旨のことを述べている。このように、官邸幹部間では全面撤退との共通認識が広がっていたとされている。

その後、枝野官房長官は清水社長からの電話を受けたとされており、この時の正確なやり取りは覚えていないが「**部分的に残すという趣旨でなかったのは明確**」との認識を示している。

なお、菅総理へは、15日3時頃に仮眠中の総理を起こして、海江田大臣から、「**東電から撤退したいと、そういう話**が来ている。どうしよう」と伝達されたとのことである。

その後、清水社長が官邸に呼び出されて真意を問われた際に、清水社長が全員撤退ということではないことを明らかに述べたことに対して、海江田大臣は、「**電話で受け取った話と違いますので、それはちょっとびっくりしました。**」と、当初、「**全員が退避**」と受け止めた認識とは異なることに戸惑ったことを述べている。

この経緯から見て、清水社長が海江田大臣に電話連絡をした際に、言葉の行き違いで互いの認識に誤解があり、認識の差になった可能性は否めない。今振り返って、清水社長は、「受け手と話し手の違いがあるとすれば、これはやはり、そのところは、**もう少しきちんとコミュニケーションギャップをきちんと埋めておく余地はあった**」と述べている。

なお、枝野官房長官の過去の発言は、例えば、平成23年3月18日の内閣官房長官記者会見において、東電が全面撤退の意向を政府に打診したという事実の有無を問われた際、「**私は承知をしておりません**」としていたが、同年9月には、「**全面撤退のことだと全員が共有している。そういう言い方だった。**」と発言（9月7日読売新聞インタビュー）している。

以上の様に官邸内では、東京電力が全面撤退をしようとしているとの認識が広がり、「**東京電力の清水社長にお越しをいただくということ(海江田大臣)**」と、官邸に清水社長を呼び出して真意を確認することになったことの経緯が示された。

＜総理による清水社長への真意確認＞

上述の経緯によって、ともかくすぐに来るようにとの連絡を受け、3月15日4時17分頃、官邸に赴いた清水社長は菅総理から真意を確認された。最初の電話の時点で認識に差が生じていたとしても、菅総理に呼ばれ、東電の意志を菅総理自身が確認した時点でその問題は解消され、その結果が事故からまもない平成23年4月18日、25日、5月2日の総理自身の国会での答弁になっているものと考えられる。答弁の抜粋を別紙1＜発言抜粋3, 4, 5＞に示す。

この答弁記録によれば、「そしたら社長は、いやいや、別に撤退という意味ではないんだと言うことを言われました。(4月18日 参議院予算委員会)」、「それで社長にまず来て頂いて、どうなんですか、とても引き揚げられてもっては困るじゃないですかと言ったら、いやいやそういうことではありませんと言って。(4月25日 参議院予算委員会)」、「社長をお招きしてどうなんだと言ったら、いやいや、そういうつもりではないけれどもという話でありました。(5月2日 参議院予算委員会)」との総理答弁がなされており、菅総理自身が、官邸での清水社長の真意確認をしたところ、撤退ではないと聞いたという認識を示している。

しかしながら、夏以降の菅総理のインタビューなどでは、清水社長を官邸に呼んで確認した東電の意志については、例えば、別紙1＜発言抜粋6＞に示す平成23年9月の新聞社のインタビューでは、「そして、東電の清水正孝社長を呼んだ。撤退しないのかするのかはっきりしない。」と、社長の意志は不明確であったとしている。

また、平成24年5月28日の国会の事故調査委員会での関連の答弁を別紙1＜発言抜粋7＞に示す。この答弁においては、清水社長を官邸に呼んで確認した東電の意志については、「私が撤退はありませんよと言ったときに、そんなことは言っていないとか、そんなことを私は申し上げたつもりはありませんとかという、そういう反論が一切なくてそのまま受け入れられたものですから、そのまま受け入れられたということを国会で申し上げたことを、何か清水社長の方から撤退はないと言ったということに少しこの話が変わっておりますが、そういうことではありません。」としているが、清水社長に全面撤退の意志はないことは示されている。また、吉田所長に関しても現場対応を継続する意志であることは知っていたことが示されている。

なお、前述の通り、官邸内で菅総理の質問に対する清水社長の回答については、菅総理自らが国会の場で「別に撤退という意味ではないんだということを言われました。(参議院予算委員会 平成23年4月18日)」と答弁され、この他4月25日及び5月2日の参議院予算委員会にても、清水社長は発電所から撤退する考えでなかったことが事故発生後まもない頃の国会答弁で明確に示されている。

一方、別の角度から関わった原子力安全・保安院は平成23年9月28日の記者会見において、森山善範原子力災害対策監が「ご質問の中に(東電の)撤退の話はございましたが、保安院としてはですね、撤退ということではなくて、福島第一から必要な人を残して第二に一時退避するという、そういったふうに保安院は理解しています。」と回答している。また、直接当社と接したオフサイトセンターの黒木慎一副本部長や原子力安全・保安院の平岡英治次長は、全面撤退との認識ではないと述べている。(平成24年2月23日、3月11日 東京新聞)

国会での答弁に関して言えば、別紙1＜発言抜粋8＞に詳細を示すが、菅総理が身体の危険もある事故現場からの東電従業員の撤退を阻止したとしていることの法的な根拠の

有無について、平成24年2月7日に枝野経済産業大臣（答弁当時）が答弁をしており、この中で官邸において清水社長の真意を確認したところ明確に撤退の意志はなかったということ述べている。

③撤退問題に関する調査結果総括

上述したとおり、3月14日、当社は、現場の状況が厳しくなる中、作業に直接関係しない者の一時退避を検討したのであって、もとより作業に必要なものは残って対応に当たる前提であり、全面撤退しようとしていたものではない。これについては、本店と発電所間で連携がなされており、方針は一致している。

事実関係の経緯で述べてきたように、清水社長が官邸に呼ばれ真意を確認された4時17分、菅総理が当社で「全面撤退はありえない」と話をされる5時35分のいずれよりも前の3時13分に本店で作成された退避の手順には、「緊急対策メンバー以外は」と明記されており、危機回避のための活動は継続する意志が示されている。

発端となった清水社長と海江田大臣などとの間の電話連絡の時点で、言葉の行き違いで互いの認識に誤解があり、認識の差になった可能性は否めない。これを契機に官邸内では、「（東電が全面撤退しようとしており）現場の方たちには大変申し訳ないが頑張っていたかなければならない」という意見の一致がなされたとされ、誤解・認識の差が官邸幹部で広まったと言える。

15日3時頃、清水社長から海江田大臣への電話の内容について報告を受けたとされる菅総理が、15日4時17分、官邸に清水社長を呼び出した際、自ら直接に清水社長の真意を確認したところ、清水社長は全面撤退を考えているものではないことを明確に述べている。ここに、上記誤解、認識の差は解消したものと考えられる。

また、官邸が独自に発電所・吉田所長の意志を確認したところ、吉田所長は全面撤退など考えていないということを確認したとしている。

この時の経緯については、その後、何度も国会（福島原子力発電所事故調査委員会を含む）の質疑で取り上げられ、菅総理や海江田大臣、枝野官房長官が答弁しており、清水社長を官邸に呼び出し真意を確認したところ、清水社長の回答は全面撤退ということではなかったという点で全ての答弁は一致している。清水社長の真意確認は、総理が、東電本店に来て撤退は許さないとの発言をするよりも以前の出来事である。

本件は、本店と官邸の意思疎通の不十分さから生じた可能性があるが、本店も発電所も、もとより作業に必要なものは残って対応に当たる考えであった。現実の福島第一原子力発電所の現場においては、当社社員は原子力プラントが危機的状況にあっても、身の危険を感じながら発電所に残って対応する覚悟を持ち、また実際に対応を継続したということが厳然たる事実である。この行為は、総理の発言によるものではない。

6. 地震の発電所への影響

6. 1 地震発生直前のプラント状況

(1) 福島第一原子力発電所の状況

地震発生直前の福島第一原子力発電所各号機の状態は、1号機から3号機までは定格出力運転中であった。

また、4号機から6号機までは定期検査のため停止していた。これらのうち、4号機はシュラウド取替工事のため、原子炉圧力容器から使用済燃料プールへすべての燃料を移動して保管・冷却した状態となっていた。

5号機は、定期検査の終盤にあり、原子炉圧力容器の中に燃料を装荷し、健全性を確認するための水圧による漏えい試験を実施していた。

6号機については、定期検査の終盤にあり、燃料は原子炉圧力容器に装荷された状態となっていた。

(2) 福島第二原子力発電所の状況

地震発生直前の福島第二原子力発電所は、1号機から4号機までの全基が定格出力運転中であった。

6. 2 地震発生直後のプラント状況

地震発生直後のプラント情報については、運転員による記録の他、チャート¹、警報発生記録、過渡現象記録装置等の記録が採取されている。これらの記録類から確認できるプラントの状況を以下に示す。

(1) 福島第一1号機の状況

①地震に伴う自動停止

- ・ 1号機は平成23年3月11日14時46分、地震によりスクラム動作し、同47分に制御棒がすべて挿入された。【添付6-1(1)】
- ・ これに伴い平均出力領域モニタ(APRM)の指示値は急減しており、スクラムが正常に動作したことが確認できる。【添付6-1(2)】
- ・ 外部電源が喪失したことにより、14時47分に非常用D/G2台が自動起動しており、その電圧は正常に確立している。【添付6-1(3)】

¹ 福島第一1号機原子炉圧力容器温度記録計(TR-263-104)に接続されている信号(打点11用信号)が解線され、代替として同等の別信号(打点12用信号)がつなぎ込まれていたことが確認された(平成24年3月23日公表)。このため、今回の事故のプラントデータとして公表されている記録計(平成23年5月16日公表(福島第一)、平成23年8月10日公表(福島第二))について点検した。当該温度記録計(TR-263-104)について同様の信号の代用(打点4用信号が解線され打点3用信号のつなぎ込み)が確認された他は、同様の別信号のつなぎ込みがないことを確認した。

- 外部電源の喪失に伴って、非常用D/G起動までの間に非常用母線の電源が一時的に喪失したため、原子炉保護系の電源がなくなり、主蒸気隔離弁が自動閉となった。【添付6-1(4)】

②自動停止から津波襲来までの動き

- 原子炉水位は、スクラム直後はボイド（気泡）がつぶれることで低下したが、非常用炉心冷却系の自動起動レベルに至ることなく回復している。【添付6-1(5)】
- 原子炉圧力は、スクラム直後は低下したが、主蒸気隔離弁が自動閉したことにより上昇している。【添付6-1(6)】

原子炉水位、原子炉圧力の変動はスクラム時の正常な動きをしている。警報発生記録データにおいて、主蒸気隔離弁閉の信号に前後して、主蒸気配管破断等に関連する隔離信号が打ち出されているが、主蒸気流量は0（ゼロ）となっており、蒸気流量の増大は見られない。【添付6-1(7)】

このことから、打ち出された隔離信号は、外部電源の喪失によって計器電源が喪失したことで当該信号が発せられたものと考えられる。

- 14時52分、非常用復水器が「原子炉圧力高（7.13MPa [gage]）」により自動起動した。これにより、原子炉内の蒸気が冷却され、原子炉圧力は低下した。原子炉圧力の低下が速く、操作手順書で定める原子炉冷却材温度降下率 $5.5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ を遵守できないと判断し、約10分後の15時03分、戻り配管隔離弁（MO-3A、3B（以降、それぞれ3A弁、3B弁という））を一旦「全閉」とし、非常用復水器を停止、原子炉圧力は再び上昇している。なお、他の弁は開状態で、通常の待機状態とした。【添付6-1(8)】

非常用復水器の操作については、操作手順書で原子炉圧力容器への影響緩和の観点から原子炉冷却材温度降下率が $5.5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ を超えないよう調整することとしている。実際、非常用復水器の作動時に急激に温度が低下した後、停止操作を行っており、その操作は操作手順書に則って行われている。

- 非常用復水器の2系列使用は冷却効果が大きく、原子炉圧力の低下が速いことから、原子炉圧力を6～7MPa程度に制御するためには、非常用復水器は1系列で十分と判断、A系にて制御することとし、津波の影響で操作ができなくなる15時30分過ぎまで、3A弁を操作して非常用復水器（A）の手動起動・停止を繰り返すことでこの圧力の範囲で制御していた。【添付6-1(6)】

非常用復水器は、冷却された戻り水が原子炉再循環系配管（B）に流入するが、原子炉再循環ポンプ（B）入口温度と原子炉圧力の変動時期が一致しているため、非常用復水器により正常に圧力制御されていたことがわかる。【添付6-1(9)】

非常用復水器1系列の操作とすることできめ細かな圧力調整を行っている。

- 格納容器（ドライウェル）圧力は、原子炉スクラム以降上昇している。また、格納容器圧力と圧力抑制室圧力の差圧に変曲点が見られる。【添付6-1(10)】

格納容器の圧力上昇は大きなものではなく、格納容器内の温度上昇に伴う圧力上昇の結果と考えられる。

また、差圧の変曲点については、圧力抑制室の冷却を行うために、15時10分前後に格納容器スプレイ系のポンプを手動で起動したことにより、圧力抑制室側の圧力低下が加わり差圧に変曲点が生じたものと考えられる。

配管等の破断や格納容器の損傷による急激な圧力変動は認められない。

- 格納容器温度は、温度上昇が緩やかで、数10℃の温度上昇にとどまっている。

【添付6-1(11)(12)】

格納容器内において急激な温度上昇は認められず、原子炉圧力も制御されていることから、配管等の破断はなかったものと考えられる。格納容器内の温度上昇は、電源喪失による格納容器冷却の停止に伴うものと考えられる。

- 格納容器床サンプル水位は、地震の際の変動が見られるが、地震後から津波による計測停止までの間、水位は一定である。

【添付6-1(13)】

格納容器床サンプルの水位は漏えい検知に用いているが、格納容器床サンプルの水位が増加していないことから、配管等の損傷による原子炉水の漏えいはなかったと考えられる。

以上、地震発生以降、津波による計測停止までの間、格納容器の圧力に異常な上昇は認められず、格納容器温度にも異常は認められない。また、格納容器床サンプル水位も一定であること等から、格納容器内での原子炉水や蒸気の異常な漏えいの兆候は認められず、配管等の破断はなかったものと考えられる。

- 通常換気空調系は常用電源喪失により停止したが、原子炉水位低(L-3)または安全保護系電源喪失による原子炉格納容器隔離系隔離信号により、非常用ガス処理系が自動起動したことから、原子炉建屋の負圧は維持されたものと考えられる。

【添付6-1(14)】

- 排気筒放射線モニタは、原子炉スクラム以降もノイズはあるものの、記録が残っている範囲では安定した値を示しており、異常は認められない。【添付6-1(15)】

- 低線量モニタリングポスト¹(MP)は、津波が到達する15時30分頃の記録終了までの間、すべての測定点で地震発生前から変化なく、異常は認められない。

【添付6-1(16)】

高線量MPの一部指示値がダウンスケールしたり、15時29分に一部MPにおいて高高警報(警報設定値430nGy/h)が発生し15時36分にクリアするなどの状況がチャートやホワイトボードの記録により確認できるものの、同じ場所に設置されている低線量MPは上記の通り正常に測定され、その指示値も40nGy/h程度と安定していることから、実際の線量は上記の通り地震前からの変化はなく、異常はないものと考えられる。

¹ モニタリングポストは低線量用と高線量用が一式で設置され、空間線量率を測定している。高線量用は広い範囲で線量測定ができ、他方、低線量用では、測定範囲は狭いが細かい指示値を確認することができる。

(2) 福島第一2号機の状況

①地震に伴う自動停止

- ・ 2号機は平成23年3月11日14時47分、地震によりスクラム動作し、同47分に制御棒がすべて挿入された。【添付6-2(1)】
- ・ これに伴い平均出力領域モニタ(APRM)の指示値は急減しており、スクラムが正常に動作したことが確認できる。【添付6-2(2)】
- ・ 外部電源が喪失したことにより、14時47分に非常用D/G2台が自動起動しており、その電圧は正常に確立している。【添付6-2(3)】
- ・ 外部電源の喪失に伴って、非常用D/G起動までの間に非常用母線の電源が一時的に喪失したため、原子炉保護系の電源がなくなり、主蒸気隔離弁が自動閉となった。【添付6-2(4)】

②自動停止から津波襲来までの動き

- ・ 原子炉水位は、スクラム直後はボイド(気泡)がつぶれることで低下したが、非常用炉心冷却系の自動起動レベルに至ることなく回復している。【添付6-2(5)】
- ・ その後、14時50分、外部電源喪失による原子炉隔離時(主蒸気隔離弁閉時)の対応手順書に従い、原子炉隔離時冷却系を手動起動している。原子炉隔離時冷却系は原子炉水位が過渡的に上昇し、14時51分に原子炉水位高により停止、以降、15時02分に手動起動、15時28分に原子炉水位高により停止、15時39分に再度手動起動している。【添付6-2(6)】
- ・ 原子炉圧力は、スクラム直後は低下したが、主蒸気隔離弁が自動閉したことにより上昇している。この上昇の後、主蒸気逃がし安全弁が開閉を繰り返し、安定的に圧力が制御されている。【添付6-2(5)(7)】

原子炉水位、原子炉圧力の変動はスクラム時の正常な動きをしている。また、原子炉隔離時冷却系の操作は通常の操作である。

警報発生記録データにおいて、主蒸気隔離弁閉に前後して主蒸気配管の破断等に関連する隔離信号が打ち出されているが、1号機と同様に外部電源の喪失によって計器電源が喪失したことで当該隔離信号が発せられたものと考えられる。【添付6-2(8)】

- ・ 操作手順書で原子炉冷却材温度降下率が $5.5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ を超えないよう調整することとしているが、原子炉水温(原子炉再循環系(PLR)ポンプ入口温度)の記録で確認可能な1時間程度の範囲において数 10°C 程度の変化で安定している。【添付6-2(9)】
- ・ 格納容器(ドライウエル)圧力は、原子炉スクラム以降上昇している。【添付6-2(10)】

格納容器の圧力上昇は大きなものではなく、格納容器内の温度上昇に伴う圧力上昇の結果と考えられる。また、後述するとおり、圧力抑制室温度が上昇していることから、格納容器の圧力上昇傾向は継続している。
配管等の破断や格納容器の損傷による急激な圧力変動は認められない。

- 格納容器温度は、温度上昇が緩やかで、数10℃の温度上昇にとどまっている。【添付6-2(11)】

格納容器内において急激な温度上昇は認められず、原子炉圧力も7MPa程度で制御されていることから、配管等の破断はなかったものと考えられる。格納容器内の温度上昇は、1号機と同様に電源喪失による格納容器冷却の停止によるものと考えられる。

- 圧力抑制室温度は、圧力抑制室が原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービンの排気や主蒸気逃がし安全弁の排気先となっていることから上昇している。このため、15時00分から07分にかけて残留熱除去系ポンプを順次起動し、圧力抑制室の水の冷却を行っている。水温は15時30分頃から上昇に転じているが、津波到達により残留熱除去系ポンプが停止したことによるものと考えられる。【添付6-2(12)】
- 格納容器床サンプル水位は、地震の際の変動が見られるが、地震後から津波による計測停止までの間、水位は一定である。【添付6-2(13)】

格納容器床サンプルの水位は漏えい検知に用いているが、格納容器床サンプルの水位が増加していないことから、配管等の損傷による原子炉水の漏えいはなかったと考えられる。

以上、地震発生以降、津波による計測停止までの間、格納容器の圧力に異常な上昇は認められず、格納容器温度にも異常は認められない。また、格納容器床サンプル水位も一定であること等から、格納容器内での原子炉水や蒸気の異常な漏えいの兆候は認められず、配管等の破断はなかったものと考えられる。

- 通常換気空調系は常用電源喪失により停止したが、原子炉水位低(L-3)または安全保護系電源喪失による原子炉格納容器隔離系隔離信号により、非常用ガス処理系が自動起動したことから、原子炉建屋の負圧は維持されたものと考えられる。【添付6-2(14)】
- 排気筒放射線モニタは、1号機と排気筒を共用しているが、1号機で記した通り、原子炉スクラム以降、ノイズはあるものの記録が残っている範囲では安定した値を示しており、異常は認められない。【添付6-2(15)】

(3) 福島第一3号機の状況

①地震に伴う自動停止

- ・ 3号機は平成23年3月11日14時47分、地震によりスクラム動作し、同47分に制御棒がすべて挿入された。【添付6-3(1)】
- ・ これに伴い平均出力領域モニタ(APRM)の指示値は急減しており、スクラムが正常に動作したことが確認できる。【添付6-3(2)】
- ・ 外部電源が喪失したことにより、14時48分に非常用D/G2台が自動起動しており、その電圧は正常に確立している。【添付6-3(3)】
- ・ 外部電源の喪失に伴って、非常用D/G起動までの間に非常用母線の電源が一時的に喪失したため、原子炉保護系の電源がなくなり、主蒸気隔離弁が自動閉となった。【添付6-3(4)】

②自動停止から津波襲来までの動き

- ・ 原子炉水位は、スクラム直後はボイド(気泡)がつぶれることで低下したが、非常用炉心冷却系の自動起動レベルに至ることなく回復している。【添付6-3(5)】
- ・ その後、15時05分、外部電源喪失による原子炉隔離時(主蒸気隔離弁閉時)の対応手順書に従い、原子炉隔離時冷却系を手動起動している。原子炉隔離時冷却系は原子炉水位が過渡的に上昇し、15時25分に原子炉水位高により停止、16時03分に再度手動起動している。【添付6-3(6)】
- ・ 原子炉圧力は、スクラム直後は低下するが、主蒸気隔離弁が自動閉したことにより上昇している。この上昇の後、主蒸気逃がし安全弁が開閉を繰り返し安定的に圧力が制御されている。【添付6-3(5)(7)】

原子炉水位、原子炉圧力の変動はスクラム時の正常な動きをしている。また、原子炉隔離時冷却系の操作は通常の手順である。
警報発生記録データにおいて、主蒸気隔離弁閉に前後して主蒸気配管の破断等に関連する隔離信号が打ち出されているが、1号機と同様に外部電源の喪失によって計器電源が喪失したことで当該隔離信号が発せられたものと考えられる。【添付6-3(8)】

- ・ 操作手順書で原子炉冷却材温度降下率が $5.5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ を超えないよう調整することとしているが、原子炉水温(原子炉再循環系(PLR)ポンプ入口温度)の記録で確認可能な1時間程度の範囲において数 10°C 程度の変化で安定している。【添付6-3(9)】
- ・ 格納容器(ドライウェル)圧力は、原子炉スクラム以降上昇している。【添付6-3(10)】

格納容器の圧力上昇は大きなものではなく、格納容器内の温度上昇に伴う圧力上昇の結果と考えられる。また、後述するとおり、ドライウェル温度の上昇が抑制されることによって静定している。
配管等の破断や格納容器の損傷による急激な圧力変動は認められない。

- 格納容器温度は、温度上昇が緩やかで、数10℃の温度上昇にとどまっている。
【添付6-3(11)(12)】

格納容器内において急激な温度上昇は認められず、原子炉圧力も7MPa程度で制御されていることから、配管等の破断はなかったものと考えられる。格納容器内の温度上昇は、1号機と同様に電源喪失による格納容器空調の停止によるものと考えられる。なお、補助海水系ポンプ(B)の起動(15時02分)により原子炉補機冷却系が冷却され、空調ユニットの冷却が回復することによってドライウェル温度の上昇が抑制されている。

- 格納容器床サンプル水位は、地震の際の変動が見られるが、地震後から津波による計測停止までの間、水位は一定である。
【添付6-3(13)】

格納容器床サンプルの水位は漏えい検知に用いているが、格納容器床サンプルの水位が増加していないことから、配管等の損傷による原子炉水の漏えいはなかったと考えられる。

以上、地震発生以降、津波による計測停止までの間、格納容器の圧力に異常な上昇は認められず、格納容器温度にも異常は認められない。また、格納容器床サンプル水位も一定であること等から、格納容器内での原子炉水や蒸気の異常な漏えいの兆候は認められず、配管等の破断はなかったものと考えられる。

- 通常換気空調系は常用電源喪失により停止したが、原子炉水位低(L-3)または安全保護系電源喪失による原子炉格納容器隔離系隔離信号により、非常用ガス処理系が自動起動したことから、原子炉建屋の負圧は維持されたものと考えられる。
【添付6-3(14)】

- 排気筒放射線モニタは、原子炉スクラム以降、ノイズはあるものの記録を終了するまで安定した値を示しており、異常は認められない。
【添付6-3(15)】

(4) 福島第一4号機の状況

- 4号機は地震発生時、定期検査中で全燃料が原子炉から使用済燃料プールに取り出されていた。
- 地震発生時は、原子炉ウェル側でシュラウド取替工事が実施されており、プールゲートが閉じられ原子炉ウェルは満水状態であったが、地震後も原子炉ウェル側の大きな水位変動は見られていない。
- 地震により外部電源を喪失したため、待機中の非常用D/G1台が起動した(残り1台は点検中)。

非常用D/Gは、定期検査中でプロセス計算機、過渡現象記録装置の取り替え作業中だったこと等から、起動信号、電圧確立状態等に関する記録は残されていないが、燃料油タンクレベルの低下が確認されていることから正常に起動しているものと考えられる。

非常用の低圧電源盤（P/C）の負荷として、中央制御室の制御盤に設置されている記録計のチャートに地震以降の記録が残されていることから、非常用D/Gから非常用の低圧電源盤（P/C）まで地震後も健全であったことが確認できる。

非常用ガス処理系は、非常用D/Gの電源供給により起動していたものと考えられる。

- 地震前、使用済燃料プールの冷却のため、残留熱除去系ポンプ（D）を運転していたが、地震後、外部電源喪失によって当該ポンプは停止した。なお、地震前に使用済燃料プールの水位が満水であること、プール水温が27℃であったことから、早期に燃料の冷却に支障をきたす状況ではなく、津波到達前に再起動するには至らなかった。
- 排気筒放射線モニタは、3号機と排気筒を共用しているが、3号機で記した通り、ノイズはあるものの記録が残っている範囲で安定した値を示しており、異常は認められない。

（5）福島第一5号機の状況

- 5号機は地震時、定期検査中で全燃料が原子炉内にあり制御棒はすべて挿入された状態で、原子炉圧力容器の耐圧漏えい試験を実施しており、約7MPaに加圧・保持されていた。
- 地震発生により、原子炉を加圧していた制御棒駆動水圧系ポンプ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が、その後は崩壊熱により8MPa程度まで緩やかに上昇した。
- 外部電源が喪失したことにより、非常用D/G 2台が自動起動しており、その電圧は正常に確立している。
- 外部電源が喪失したことにより、使用済燃料プールを冷却していた燃料プール冷却浄化系が運転を停止したが、プールの冷却は、使用済燃料プールの水位が満水であり、プール水温が約24℃であったことから、早期に支障をきたす状況ではなかった。このため、プールの冷却に使用可能な残留熱除去系は待機状態とした。
- 通常換気空調系は常用電源喪失により停止したが、安全保護系電源喪失による原子炉格納容器隔離系隔離信号により、非常用ガス処理系が自動起動し、原子炉建屋の負圧は維持されたものと考えられる。
- 排気筒放射線モニタは、原子炉スクラム以降、記録が残っている範囲で安定した値を示しており、異常は認められない。

（6）福島第一6号機の状況

- 6号機は地震時、定期検査中で全燃料が原子炉内にあり、制御棒はすべて挿入され、圧力容器の上蓋がボルトで締め付けられた状態であった。
- 原子炉圧力は、地震発生後、崩壊熱により緩やかに上昇した。なお、5号機と比較

して停止期間が長かったことにより、その推移はより緩やかであった。

- ・ 外部電源が喪失したことにより、非常用D/G 3台が自動起動した。
- ・ 外部電源が喪失したことにより、停止時冷却モードで運転中であった残留熱除去系、燃料プール冷却浄化系が運転を停止したが、プールの冷却は、地震前に使用済燃料プールの水位が満水で、プール水温が25℃程度であったことから、早期に支障をきたす状況ではなかった。このため、残留熱除去系及び燃料プール冷却浄化系は待機状態とした。
- ・ 通常換気空調系は常用電源喪失により停止したが、安全保護系電源喪失による原子炉格納容器隔離系隔離信号により、非常用ガス処理系が自動起動し、原子炉建屋の負圧は維持されたものと考えられる。
- ・ 排気筒放射線モニタは、5号機と排気筒を共用しているが、5号機で記した通り、ノイズはあるものの記録が残っている範囲で安定した値を示しており、異常は認められない。

(7) 福島第二原子力発電所の状況

- ・ 福島第二1～4号機は、定格運転中のところ、地震によりスクラム動作しすべての制御棒が全挿入となり、原子炉は自動停止した。
- ・ 原子炉水位は、原子炉が自動停止した直後にボイド（気泡）のつぶれにより「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。
- ・ 「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。
- ・ なお、津波襲来後の操作であるが、津波の影響により循環水ポンプが停止するなどして復水器で原子炉内の蒸気を水に戻すことができなくなることから、主蒸気隔離弁を手動で全閉とし、原子炉圧力の制御を主蒸気逃がし安全弁にて行った。
- ・ 主蒸気隔離弁全閉に伴い、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て原子炉の水位を調整した。
- ・ 排気筒放射線モニタやモニタリングポストの指示値に異常な変化はなく外部への放射能の影響がないことを確認した。

6.3 外部電源の状況

原子炉の通常運転時、当該号機で使用する電力は運転中の主発電機から受電するが、運転中の原子炉を停止する場合、停止や冷却に必要な電力は、停止した当該号機の主発電機からは供給できないため、送電線を通して電力系統から、または隣接号機の運転中の主発電機から供給できるよう設計されている。これらの電力系統に連系する送電線などの設備や隣接号機の主発電機を外部電源と呼んでおり、安全設計審査指針（原子力安全委員会決定）及び法令の技術基準では、2回線以上の送電線により電力系統に接続することが要求されている。

また、外部電源が停止した場合、原子炉の冷却等に必要な電力は、非常用ディーゼル発電機（非常用D/G）などの非常用所内電源設備から供給される設計となっている。

非常用D/Gは単一故障を考慮し2台設置され、1台で必要な電力を賄える容量をもっている。

なお、耐震基準としては、耐震設計審査指針(原子力安全委員会決定)の重要度分類上、非常用D/Gは最上級のSクラス(基準地震動に十分耐える設計)であり、一方、送電線に接続される発電所の受変電設備(受電遮断器等)はCクラス(一般産業と同等の安全性)に該当し、民間指針である「変電所等における電気設備の耐震設計指針」(日本電気協会電気技術指針J E A G 5 0 0 3)に準拠した設計を行ってきた。

当社では、平成19年7月の新潟県中越沖地震により送変電設備の被害を経験したことから、福島方面の重要な送変電設備など、福島第一及び福島第二原子力発電所の外部電源設備について、新耐震指針の基準地震動などの高いレベルの地震動を用いてJ E A G 5 0 0 3に準拠した耐震評価を行い、その結果をもとに変電所の地盤安定化など必要な工事を進めているところであった。

(1) 福島第一原子力発電所

①地震及び津波前後の外部電源の状況

福島第一原子力発電所の外部電源は、新福島変電所からの送電線6回線(275kV大熊線1L～4L及び66kV夜の森線1L, 2L)と、1号機に東北電力から供給される1回線(66kV東電原子力線)の計7回線で構成される。新福島変電所からの送電線は、大熊線1L, 2Lが1, 2号機に、大熊線3L, 4Lが3, 4号機に、夜の森線1L, 2Lが5, 6号機に、それぞれの開閉所を經由し所内電源系に供給する。なお、東電原子力線は、1号機常用高压電源盤(M/C)に接続できる構成となっていたが、常時は使用していない設備であった。

また、併設号機の主発電機(運転中)や送電線からも受電できるよう、1～4号機間または5～6号機間の常用高压電源盤(M/C)を相互に接続できる構成となっていた。なお、1～4号機と5, 6号機の間では接続されていなかった。

地震当日、3号機は、大熊線3Lの受電設備が工事中で使用できなかったため、2号機と常用高压電源盤(M/C)を相互に接続し受電する構成としており、福島第一原子力発電所で受電中の外部電源は大熊線3Lを除く5回線となっていた。

今回の地震により、福島第一原子力発電所の外部電源(大熊線1～4L。(3Lは工事中)。夜の森線1L, 2L)は、地震発生とほぼ同時期に、全回線が受電停止した。このため、各号機の非常用D/Gが自動起動(工事中のものを除く)し、非常用所内電源は確保された。

その後、津波の建屋への浸入等により6号機の非常用D/G(6B)を除き、各号機の非常用D/Gが自動停止し、1～5号機で全交流電源喪失に至った。

平成23年3月11日夕方から福島第一原子力発電所の外部電源系及び所内電源系の現場状況を確認した結果、大熊線1L, 2Lの受電遮断器の損傷や、大部分の高压電源盤(M/C)等が水没・浸水状態であることから、外部電源及び所内電源系の早期の復旧は困難と判断、福島第一原子力発電所では、使用可能な所内電源系と電源車を用いた電源復旧を目指した。なお、福島第一原子力発電所の外部電源被害状況を【添付6-4】に示す。

一方、送電設備及び新福島変電所については、工務部門が地震直後から巡視により得られた設備の被害状況から、被害を受けた設備の復旧に着手した。また、福島第一原子力発電所から、発電所構内に設置された夜の森線No. 27鉄塔の倒壊の可能性があるとの情報を得た。

本店では、これらの現場での設備損傷状況を踏まえて、発電所へ外部電源からの供給を復旧させる方法についての検討を開始した。

その後の調査により、夜の森線No. 27鉄塔の倒壊、並びに東電原子力線からの所内電源系のケーブル不具合（原因特定できず）が確認され、また、送電線がトリップした原因は、地震動により、受電遮断器等が損傷したこと、又は電線が鉄塔と接触若しくは接近したことから、送電線の保護装置が動作したものと推定された。

②外部電源の復旧

<復旧方針・復旧準備>

本店では、3月11日に外部電源の被害状況を復旧班（配電・工務・原子力）で把握し、復旧方法の検討を開始した。

3月12日、当初復旧班では、275kV大熊線の発電所内受電設備の損傷・浸水状況などから早期の復旧は困難と判断し、66kV夜の森線1L、2L活用による復旧方法（所内電圧（6kV）への降圧には移動用変圧器（66kV/6kV）の使用）を選択した。66kV夜の森線を活用し、発電所構内で電線路をおろしてから1～4号機に送電する案が提案されたが、電源を最も必要とする1～4号機により近い場所となるよう、夜の森線1Lを同じ鉄塔上にある大熊線3Lに接続し、新福島変電所から3、4号機超高压開閉所付近まで送電する復旧案（以下「大熊線3L」という）を選択した。

3月14日の3号機原子炉建屋の水素爆発により、建屋周辺に高線量の瓦礫が散乱し、作業環境の悪化及び瓦礫撤去作業の発生に伴い、大熊線3L復旧に時間を要することが想定されたことから、他の外部電源の復旧方法についても検討した。

3月15日、検討中のものを含め、以下の3つすべての外部電源復旧方法を継続して進めることとした。

- ・東北電力の66kV東電原子力線から受電
- ・夜の森線1Lを大熊線3Lに接続し、受電（6kVで受電）
- ・66kV夜の森線2Lにより5、6号機を中心に受電

<外部電源復旧工事の実施>

福島第一原子力発電所構内での外部電源設備復旧工事は、構内の放射線量の上昇により、作業環境が悪化する中で、また同時期に最優先された使用済燃料プールへの放水作業と時間を調整しながら進められた。

東電原子力線は、東北電力に依頼し3月15日に予備変電所内の断路器まで充電後、順次設備の健全性を確認し、その後、予備変電所から、1、2号仮設メタクラまでの約1.5kmのケーブルを敷設し、20日に1、2号機所内電源系に供給を開始した。

送電設備の復旧工事は猪苗代電力所浜通り電力所を中心に進められ、大熊線3Lは、3月15日に夜の森線1Lと送電鉄塔上で接続、その後、受電側の移動用ミニクラッド（工務部門設置）に接続し、18日に充電し、多回路開閉器（配電部門設置）及び仮設ケーブルを経由し、22日に3、4号機所内電源系に供給を開始した。

また、夜の森線2Lは、倒壊したNo. 27鉄塔の代わりに双葉線No. 2鉄塔を経由

した新たな送電ルートで復旧作業を進めるとともに、本設機器（起動用変圧器、遮断器等）の健全性確認ならびにケーブル敷設を行い、3月20日に起動用変圧器まで充電し、21日に5，6号機所内電源系に供給を開始した。

なお、外部電源の復旧の経緯を【添付6－5】に示す。

<外部電源の強化工事>

上記の外部電源の復旧工事に引き続き、以下のような外部電源の強化工事を行っている。

- ・ 大熊線3Lの6kV→66kV化による供給信頼性の向上（耐雷対策など）（平成23年4月完了）
- ・ 275kV大熊線2Lの復旧による1，2号機を中心とした供給信頼性の向上（平成23年5月完了）
- ・ 大熊線3L受電設備の増容量化による設備増強（平成23年5月完了）
- ・ 双葉線を活用した5，6号機電源2回線化による供給信頼性の向上（平成23年7月完了）

（2）福島第二原子力発電所

福島第二原子力発電所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停止し設備の復旧を行った。

このため、外部電源は一時的に1回線による受電となったが、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。福島第二原子力発電所の外部電源被害状況を【添付6－6】に示す。

（3）外部電源設備の損傷原因

①変電機器の損傷原因

福島第一原子力発電所においては、地震時に電気設備が損傷し、外部電源停止の原因となった。このことから、損傷を受けた1，2号機超高圧開閉所の空気遮断器・断路器について損傷原因の分析を行った。

今回の地震は地表面地震動が非常に大きく、民間指針J E A G 5 0 0 3「変電所等における電気設備の耐震設計指針」を超過したことが主な原因であり、275kV空気遮断器については、耐震強化のために設置したステーが緩むことにより、遮断部の変位が増大してがいし破損に至ったと推定され、275kV断路器については、接続される空気遮断器倒壊時の荷重がリードを介して加わることによりがいし破損に至ったと推定さ

れた。

なお、本解析結果は「福島第一原子力発電所内外の電気設備の被害状況等に係る記録に関する報告を踏まえた対応について（指示）に対する追加報告について」（平成24年1月19日）で原子力安全・保安院に提出している。

②送電鉄塔の倒壊原因

地震により、夜の森線No. 27鉄塔が倒壊し5～6号機への外部電源が停止した。このことから、夜の森線No. 27鉄塔の倒壊原因について分析を行った。

現地を確認したところ、鉄塔脚部は土砂や倒木に埋もれているが、鉄塔上部は土砂の上に倒れており、電線も土砂や倒木の上に存在する事などから、鉄塔隣接地の盛土が崩壊したことにより鉄塔が倒壊したと判断した。

また、崩壊した盛土については解析の結果、崩壊した箇所地の地盤強度が特に低かったとはいえないこと、崩壊箇所の法面が1:3という緩勾配で施工されていたことに加え、最大加速度発生時にも盛土は崩壊していないことから、盛土は供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動（レベル2地震動）に対する耐震性を有していたと考えられた。

結果的に盛土が崩壊していることから、崩壊原因は、沢を埋めた盛土中に地下水位が存在する状況の中で、史上稀にみる強くて長い地震動の繰り返し応力が作用したことにより、地下水位内の地盤の強度が低下したことによるものと推定した。

なお、本解析結果は「福島第一原子力発電所内外の電気設備の被害状況等に係る記録に関する報告を踏まえた対応について（指示）に対する追加報告について（鉄塔倒壊に関わる福島第一原子力発電所内の盛土の崩壊原因）」（平成24年2月17日）で原子力安全・保安院に提出している。

（4）外部電源まとめ

福島第一原子力発電所における外部電源系については、地震により発電所内の開閉所設備が損傷、送電鉄塔隣接地の盛土崩壊による鉄塔倒壊が発生、その後の津波により所内電源系が被水・浸水し使用できず、地震前の外部電源5回線すべてから受電できない状況となった。

また、福島第二原子力発電所では、3回線にて受電していたが、地震により新福島変電所内の設備損傷が発生し、1回線が受電を停止、2回線は受電を継続、そのうち1回線は受電を継続できたものの、設備損傷の拡大防止のために停止し、残り1回線からの受電となったが、速やかに停止回線の復旧を行い、3月13日には3回線での受電を行った。

外部電源の復旧は、福島第一原子力発電所では、原子炉建屋の水素爆発による作業環境が悪化するなかで、東電原子力線、大熊線3L及び夜の森線2Lを復旧し、3月20日～22日に、それぞれ1, 2号機、3, 4号機及び5, 6号機の所内電源系への供給を開始した。

今回の地震により損傷を受けた変電機器や倒壊した送電鉄塔について、それぞれの原因分析を行った。その結果、一部変電機器については、民間指針のJEAG 5003「変電所等における電気設備の耐震設計指針」に定められている地震動を超える地震動が発生

したことが原因と推定された。また、送電鉄塔については、沢を埋めた盛土中に地下水が存在する状況の中で強く長い地震動により地盤強度が低下したことが原因と推定された。

原子力発電所の設計においては、福島第一及び福島第二原子力発電所の外部電源は、安全設計審査指針等に定められる2回線以上の送電線により電力系統に接続された設計であることを満足していた。また、外部電源系からの電力供給が失われた場合も考慮されており、実際6.2項の通り、地震により外部電源が失われた各号機において、非常用D/Gが正常に起動し、非常用所内電源が設計通り確保できていたことが確認されている。

6.4 地震による設備への影響評価

福島第一原子力発電所を襲った津波は地震発生から1時間に満たないうちに到達したため、発電所の設備が地震でどの程度の損傷を受けたのかについて、発電所所員は津波が来るまで間には明確に確認できていない。また、事故が炉心損傷や水素爆発にまで至り、建屋内の汚染水の滞留の問題や放射線の問題等から、原子炉建屋内の機器やタービン建屋地下階の機器の状態確認は現在も困難である。

そのため、福島第一原子力発電所について、次に掲げる観点から設備の健全性に関する考察を加え、可能な範囲で損傷原因を究明し、当該地震による安全上重要な機器の機能への影響の有無についての評価を行った。

(1) プラントパラメータによる評価

プラント情報を記録する媒体としては、前にも述べたとおり、運転員による記録の他、チャート、警報発生記録、過渡現象記録装置等が挙げられる。これらは、プラントの状態を示すものであり、設備の健全性を評価するための重要な情報となっている。

今回、津波の影響によりほとんどの計器電源等も喪失したため、情報は限定的であるが、その多くは津波襲来までのプラント状態を示している。

地震直後の主たる設備の状況は既に述べたが、高圧注水設備（非常用復水器、原子炉隔離時冷却系）が、問題なく動作していると判断され、特に異常は認められない。

主蒸気流量、格納容器圧力・温度、格納容器床サンプル水位のチャートから、配管の健全性についても、異常はないと考えられる。

なお、福島第一3号機の高圧注水系の蒸気配管に関する地震の影響について、原子炉隔離時冷却系が停止し、高圧注水系が起動してから原子炉圧力が約7MPaから約1MPaまで低下しているため、3号機の高圧注水系の蒸気配管破断の可能性も含め確認を行った。この結果、運転員からの聞き取りにより、実際に高圧注水系（HPCI）室に入室し異常が見られなかったことが確認され、高圧注水系の蒸気配管に異常はなかったことが確認された。また、トラス室（圧力抑制室が設置されている部屋）にも蒸気配管が通っているが、高圧注水系が停止した後の13日朝に運転員が入室しており、配管が破断したような異常は認められていない。3号機の原子炉圧力の低下は、タービン駆動用に原子炉から引き込む蒸気の消費量が大きい高圧注水系（蒸気駆動）を連続運転したことにより生じたものと考えられる。

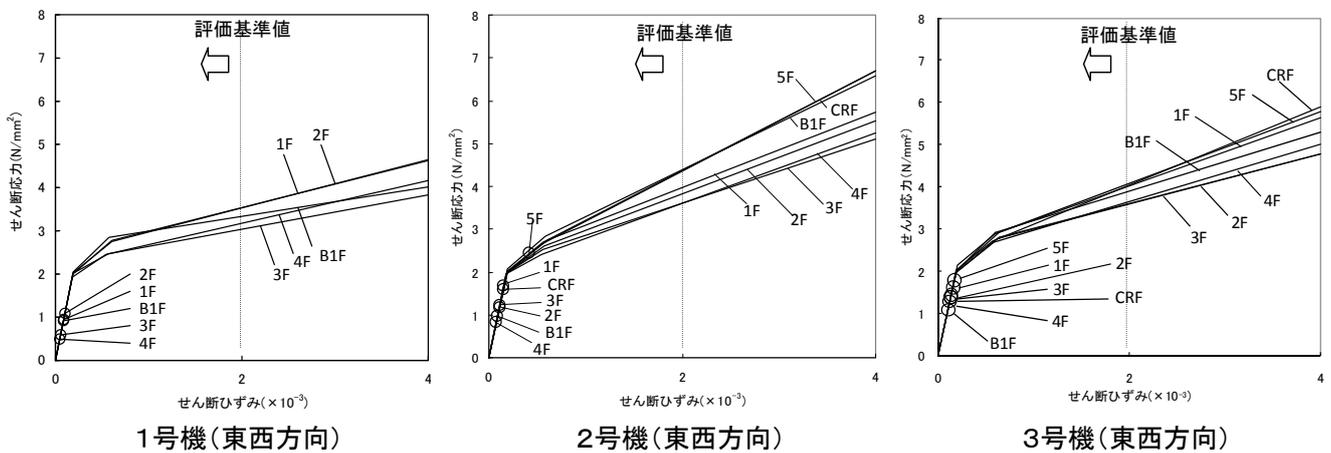
(2) 観測記録を用いた地震応答解析結果

東北地方太平洋沖地震の観測データに基づいた原子炉建屋の地震応答解析を用いて解析的検討を行い、東北地方太平洋沖地震が耐震安全上重要な機器・配管系へ与えた影響を評価した。

影響評価の具体的な方法としては、原子炉建屋の地震応答解析及び原子炉建屋と原子炉等の大型機器を連成させた地震応答解析で得られた応答荷重や応答加速度等を、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析で得られた地震荷重等と比較することにより実施した。

本検討の地震応答解析で得られた地震荷重等が、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析で得られた地震荷重等を上回る場合は、安全上重要な機能を有する主要な設備の耐震性評価を実施した。主な評価結果を以下に示す。(詳細は【添付6-7(1)】参照。あわせて、福島第二原子力発電所の各号機の評価結果【添付6-7(2)】、並びに地震・津波被災後の福島第一1~6号機の建屋評価結果を【添付6-7(3)】に示す)

福島第一1~3号機の原子炉建屋評価結果



福島第一1~3号機の主要設備評価結果

単位: MPa

設備	1号機		2号機		3号機	
	計算値	評価基準値	計算値	評価基準値	計算値	評価基準値
炉心支持構造物	103	196	122	300	100	300
原子炉圧力容器	93	222	29	222	50	222
主蒸気系配管	269	374	208	360	151	378
原子炉格納容器	98	411	87	278	158	278
停止時冷却系	ポンプ	8				
	配管	228	414			
残留熱除去系	ポンプ		45	185	42	185
	配管		87	315	269	363
その他*	105	310	—	—	113	335

* その他に記載した評価対象設備 (1号機)非常用復水器配管、(3号機)高圧注水系蒸気配管

注；原子炉建屋基礎盤上に設置した地震観測装置の観測結果を用いて解析を実施している。この観測値は本震の記録開始から130秒から150秒で記録が中断しているが、本震の最大加速度は時刻歴の観測記録が得られている範囲で発

生ししていることが確認できていることから、記録の中断は地震応答解析の結果に有意な影響を与えない。なお、福島第一6号機については、原子炉建屋基礎盤上の近接する2つの地震記録計があり、中断した記録と中断のない記録の両方が得られているが、両者の最大加速度及び応答スペクトルが概ね同程度であることも確認できている。

【添付6-7 (1-7、2-5)】

結果に示すとおり、今回の地震に対して、原子炉を「止める」、「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」に係わる安全上重要な機能を有する主要な設備の耐震性評価の計算値は、すべて評価基準値以下であることを確認したことから、これらの設備の機能に地震の影響はないと考えられる。

また、自由地盤系の地震観測記録から地盤構造モデルを特定し、はぎとり解析によって再現した地震波を用いて、代表機器の疲労評価（解析）を行った。その結果、地震の揺れによる疲れ累積係数（材料の疲れ度合いを示す数値）は10のマイナス5乗のオーダーであり、基準値1に対して極めて小さく、今般の地震による疲労影響は無視できると考えられる。なお、本評価は、原子炉建屋基礎盤上に設置した地震観測装置の観測値に本震の記録開始から130秒～150秒で記録が中断し、一部欠測があったため、本震時に欠測しなかった自由地盤系の地震観測記録を用いた。 【添付6-8】

以上の評価結果は、現時点における地震後のプラントの動きに関する分析結果と整合していることから、安全上重要な機能を有する主要な設備は、地震時及び地震直後にいて、要求される安全機能を保持できる状態にあったといえる。

(3) 発電所設備の目視確認結果

発電所設備の損傷状況を確認するべく、福島第一1～6号機までの設備状態を可能な範囲で目視によって確認した。汚染水が滞留しているエリアや高線量エリアなど、直接的な確認ができない範囲もあるが、各所の目視結果から以下のような観点での整理ができる。

- ・ 冷温停止に至った福島第一5号機及び6号機の屋内設備については、原子炉建屋、タービン建屋に設置されている機器の目視確認ができる。これらの機器の一部は、被水、浸水という意味で津波の影響を受けているものの、耐震クラスに係わらず設備に対する地震のみの影響を確認することができる。と考える。
- ・ 福島第一1号機～3号機については、原子炉建屋内の設備の確認は難しいが、タービン建屋内に設置されている機器については、地下階を除き目視確認することができる。これらの機器も5号機、6号機と同様に一部は、被水、浸水という意味で津波の影響を受けているものの、地震のみの影響を確認することができる。と考える。
- ・ タービン建屋に設置されている設備については、そのほとんどが常用系の設備であり、耐震クラスが低い機器が多いことから、それらの機器に地震による影響が少なければ、プラントの耐震安全性に関する重要な判断材料になると考える。
- ・ 屋外設備については、損傷を受けている機器も多くある。後述するが、その多くは津波や津波による漂流物の衝突などによるものと考えられる。しかしながら、厳密に

は地震による影響を必ずしも否定する判断材料としては使用できない場合も見られる。このため、屋外の損傷設備の要因については、損傷形態から原因を特定できるもののみを判断材料とした。

- ・ また、上記目視確認に加えて、回転機器について以下の項目を調査・検討している。
 - ✓ 5号機, 6号機において現在使用中の機器
 - ✓ 5号機, 6号機において試運転により運転可能なことを確認できている機器
 - ✓ 運転や試運転を実施するにあたって事前に分解などの点検している場合、点検結果に地震による損傷が認められるか否かの確認

① 5号機目視確認結果【添付6-9 (1)】

5号機原子炉建屋に設置されている設備について、目視により確認したところ、損傷は認められなかった。

また、タービン建屋内に設置されている設備を目視により確認したところ、非常用D/Gや電源盤など重要な機器については地震による損傷は認められないが、高圧タービンと低圧タービンの中間にある湿分分離器のドレン配管のサポートがずれており、そのドレン配管に接続されている小口径配管1箇所破損が認められた。これは破損形態から地震による損傷と判断される。

② 6号機目視確認結果【添付6-9 (2)】

6号機の原子炉建屋は複合建屋方式を採用しており、原子炉棟の周囲に付属棟が設置された構造になっているが、付属棟に設置されている非常用D/Gも含めて設備に外観上の損傷は認められない。

タービン建屋に設置されている設備に外観上大きな損傷はないが、給水加熱器(5B)の固定脚基礎に割れが確認されており、これは地震による損傷と思われる。

③ 1号機 非常用復水器目視確認結果【添付6-9 (3)】

1号機の原子炉建屋に設置されている非常用復水器の本体、主要配管及び主要弁に原子炉の冷却材喪失となるような損傷の有無がないかを目視により確認した。なお、格納容器内側には立ち入ることができないため、格納容器外側の本体、配管、弁を確認対象とした。

非常用復水器本体が設置されている原子炉建屋4階では、5階での水素爆発の影響で天井の北側に破損開口部が生じ、非常用復水器上部北側で爆風によると思われる保温材の脱落や瓦礫の散乱が認められた。また、非常用復水器本体南側の保温材が激しく脱落しているが、原子炉建屋の機器ハッチ(吹き抜け)側であり、5階で生じた水素爆発の爆風が、吹き抜けを通じて非常用復水器の保温材を損傷させたものと考えられる。なお、3階、2階においては保温材の脱落、飛散は認められなかった。

非常用復水器本体の損傷、配管の破断、フランジ部からの漏えい、弁の脱落等は認められなかった。また、配管破断が生じて原子炉内の高圧蒸気が大量に噴出したような状況は認められなかった。

これらのことから格納容器外側に原子炉の冷却材喪失となるような損傷はないことが

確認された。

この目視による現場確認にあわせ、非常用復水器の弁の開閉状態及び非常用復水器の水位の確認を行った。A系の2A弁、3A弁は開であり、B系の2B弁、3B弁は閉であることが確認された。また、非常用復水器への補給水弁はA系、B系ともに閉であることが確認された。非常用復水器の現場水位計（冷却水）は、A系65%、B系85%であり、中央制御室の指示計と一致することが確認された。

④ 2号機 原子炉建屋内の状況（ロボットによる確認結果）【添付6-9（4）（5）】

原子炉建屋で水素爆発を生じていない2号機については平成23年10月及び平成24年2月にロボットを用いて原子炉建屋内の状況確認を実施した。

VTRにより確認された範囲で建屋内には特段の乱れがなく、機器にも地震の影響による転倒や変形、破損などは認められなかった。

また、原子炉建屋の最上階の使用済燃料プール回りにおいても溢水防止フェンスに異常は認められず、その外側にある仮置きの区画フェンスの転倒も見られず、作業用の長靴も整頓された状態で床面に並んでいるなど、地震動の影響や溢水による影響は認められなかった。

さらに、平成24年4月18日にロボットを用いてトーラス室内の状況確認を実施した。その結果、配管保温材の一部が落下していたものの、VTRにより確認された範囲で圧力抑制室（トーラス）、マンホール（2箇所）を含め、トーラス室内に大きな変形、損傷、漏えいは認められなかった。

⑤ 1号機～3号機タービン建屋設備目視確認結果【添付6-9（6）】

1号機～3号機のタービン建屋に設置されている設備について、汚染水が溜まっている地下階を除き1階、2階に設置されている設備を目視により確認した。その結果、確認できた範囲で、1階に設置されている機器は津波による被水・浸水の痕跡があるが、地震による損傷は認められなかった。

なお、4号機については、被災当時定期検査の最中であり、分解されている機器も多いと考えられたことから、今回の目視確認対象外とした。

⑥ 1号機～4号機側屋外設備目視確認結果【添付6-9（7）】

タービン建屋海側には、機器の冷却用の海水を送水する海水ポンプが設置されている。これらは津波の影響を受けて機能を喪失したが、主要なポンプについては津波の影響を受けても倒壊することなく、自立している。このことから、地震によるポンプの損傷は基本的にはなかったものとする。

津波で流された、または、モータ自体が外れたポンプとしては、点検のために分解点検中のポンプの他、海水の除塵装置に使用されている海草やゴミなどを洗い流すための小型のポンプがある。《写真③中央の小型のポンプ》

ボイラー用の重油タンクは津波によって流されており、地震の影響がどの程度であったかは判断できない。また、非常用D/Gの燃料に使用される軽油タンク、冷却水の水源の一つである復水貯蔵タンクについては、地震の影響と思われる基礎周りの地面の沈降が認められるが、タンクに漏えいなどの損傷は認められない。《写真⑦、⑧、⑨》

屋外に設置されている取水設備関係の電源盤は、その形状から津波の圧力を受けやすいためか、なぎ倒されている。このため、地震の影響がどの程度であったかは判断できない。《写真⑬》

⑦ろ過水、純水タンク他目視確認結果【添付6-9(8)】

純水タンクについては、地震による影響で座屈による歪みが生じている（No.1 純水タンクの上段中央の写真のタンク下部ふくらみが代表的）。また、No.1、No.2 純水タンクについては、タンク付きの配管と外部配管を連結するフレキシブルの短管部分及び補給水配管フランジ部から地震時に漏水したことが確認されている。これらの漏水については、タンク側の弁を閉止することで漏えい量を抑制した。No.2の純水タンクについては、タンク底部が地震により損傷しており、量的には多くないものの継続的に漏水した。

ろ過水タンクについても、純水タンクと同様に座屈による歪みが発生しているが、漏えいは発生していない。

ろ過水タンクを水源としている変圧器防災用配管において、連結部分が外れ漏水していた。当該防災配管は斜面下部に設置されており、斜面を降りてきている別の配管と斜面下部で交差していた。地震により斜面が崩れ、斜面を降りてきていた配管がサポート部分から変位した。

この傾いたサポートが交差部分に位置する当該防災配管の連結部分に力を加え、連結部分が外れたもので、地震の二次的な影響により損傷したものと考えられる。

⑧屋外消火系配管目視確認結果【添付6-9(9)】

屋外消火系配管について損傷状況を調査した。消火系配管は、新潟県中越沖地震の教訓から配管の架空化、溶接構造化などの強化策を実施していた。また、原子力発電所では、消火系配管を原子炉圧力容器への注水に使用できるように設備変更していた。なお、津波や爆発による瓦礫を建屋周辺から除去する過程で、重機により撤去された箇所もあり、すべての場所については確認できていない。

損傷事例としては、雑用水取り口《写真③》、4号機採水口基礎部《写真⑬》が漂流物等の衝突による損傷事例と見られる。両方ともに地震に対して強固な構造であり、雑用水の取り口先端は地震で荷重がかかるような構造でないこと、4号機採水口は長手方向に基礎が剥がされていることなどから、地震による被害ではなく津波によるものと考えられる。

漂流物等が配管上に乗り上げている事例としては、消火栓《写真⑤、⑥、⑱》、消火栓他《写真⑳》があり、配管が変形している。

建屋壁面のサポートにUバンドで固定されていた消火配管《写真㉒～㉔》は、Uバンドが破損し、配管が脱落・変形している。これらは海に面した建屋の壁であり、津波が壁に衝突し、下から配管を突き上げたことで損傷したものと考えている。

配管が敷設されている土台部分が損傷し、消火配管が変形した事例《写真⑩》が認められる。土台部分の損傷原因は特定できない。

津波の影響を受けにくい奥まった部分《写真⑯》やトレンチ内に設置されている消火配管《写真⑭》に損傷は認められない。また、屋外の海側に設置されていても、防波堤の内側の海に面した配管に損傷は認められず、衝撃が少なかった、あるいは漂流物が当たらなかったなどの影響が考えられる。

⑨建屋の目視確認【添付6-9(10)】

5号機、6号機については、地震の被害確認の目視点検を実施しており、原子炉建屋の耐震壁等に構造強度に影響する有意な損傷は認められなかった。また、原子炉建屋、タービン建屋、サービス建屋などの建屋外部については、建屋間の継ぎ目のエキスパンションカバーの損傷が見られ、建屋内部については、軽微な損傷（エキスパンション部や遮蔽ブロック壁境界部の亀裂、間仕切り壁の損傷等）が見られたが、地震が原因と考えられる建屋の構造強度に影響する有意な損傷は認められなかった。

なお、1～4号機については、地震の被害として1号機タービン建屋屋上のパラペット¹部に剥落や亀裂が見られたが、パラペットは屋根部の雨仕舞いのための仕上げ部材であり、建屋躯体の構造強度に関わらない部位である。

⑩防災道路目視確認結果【添付6-9(11)】

発電所構内の道路は、車両が通行するなど、事故対応する上で重要なものである。新潟県中越沖地震でも発電所構内道路に段差が生じたり、道路脇の斜面が一部崩れるなど、車両の移動に支障を与えるような事例が生じた。このような反省から、福島第一原子力発電所では道路の補強工事や道路脇の斜面の強化工事を実施してきた。

福島第一原子力発電所構内の防災道路については、各プラント周辺を周回できるように施設されているが、5号機南東側の防災道路に損傷が見られた。ただし、車両1台の通行が可能なように補強しており、補強部分の通行は可能な状態となっていた。

このように道路について地震の影響は少なかったものの、津波で破壊された物や流された物が通行を阻害しており、大きい物では重油タンクやクレーンが道路を塞いでいる状況が認められた。

⑪設備の運転状況確認結果【添付6-10(1)(2)】

5、6号機においては、非常用D/G、原子炉の冷却に必要な残留熱除去系機器、使用済燃料プールの冷却に必要な燃料プール冷却浄化系、弁作動や水の補給の役割を有する純水補給水系、復水補給水系、計装用圧縮空気系などが、機器の運転あるいは運転可能なことを確認して待機した状態となっている。

これらの機器のうち、気密性の高い原子炉建屋に設置されていたポンプ等の機器については地震の影響もなく、事前の確認の上で運転を行い、健全性を確認している。

海水が多く浸入したタービン建屋については、付属する設備に微少な漏えいが認められるなどの不適合はあったものの、機器本体に地震による損傷と思われる影響は認められておらず、点検を実施した上で運転可能な状態となっている。

屋外に設置されている海水系のポンプ類については、津波によりモータに付属する小口径の配管が破損したり、軸受へ砂が混入したためにモータ取替や軸受交換を行った上で運転を開始しているが、地震で機能を喪失したような事例は確認されていない。

¹ 平面屋根の建屋の雨水が外壁に流れ落ちることを防ぐために端の部分に立ち上げられた小壁

以上、確認できた範囲においては、安全上重要な機器はもとより、耐震クラスの低い機器でも地震によって機能に影響するような損傷を受けたものはほとんど認められなかった。

なお、5号機の原子炉建屋最地下階の地震加速度は5.48ガルであり、最大値が確認された2号機と同等である。

(4) 設備への影響評価まとめ

以上述べたとおり、福島第一原子力発電所においては、プラント運転状況及び観測された地震動を用いた耐震評価の解析結果から、安全上重要な機能を有する主要な設備は、地震時及び地震直後において安全機能を保持できる状態にあったものと考えられる。

また、プラント内の巡視の結果や5号機、6号機の一部の機器では既に使用中、または試運転済みであることから、安全上重要な機能を有する主要な設備に地震による損傷は確認されておらず、耐震重要度の低い機器においても地震によって機能に影響する損傷はほとんど認められなかった。

従って、地震によって外部電源の喪失は生じたものの、地震後の時点においては非常用D/Gによる電源確保に成功しており、プラントとしては地震時及び地震直後の対応を適切に実施できる状態にあったものと考えられる。

なお、福島第二原子力発電所については、地震による原子炉自動停止と同時に起動した非常用機器冷却系のポンプが津波到達まで運転状態に異常が無かったこと、プラントが炉心を損傷することなく安全に冷温停止に成功していること、その後の設備確認においても安全上重要な機器の機能に津波による被害以外は確認されていないことなどから、当該地震による安全上重要な機器の機能への影響はなかったと考えられる。

7. 津波による設備の直接被害の影響

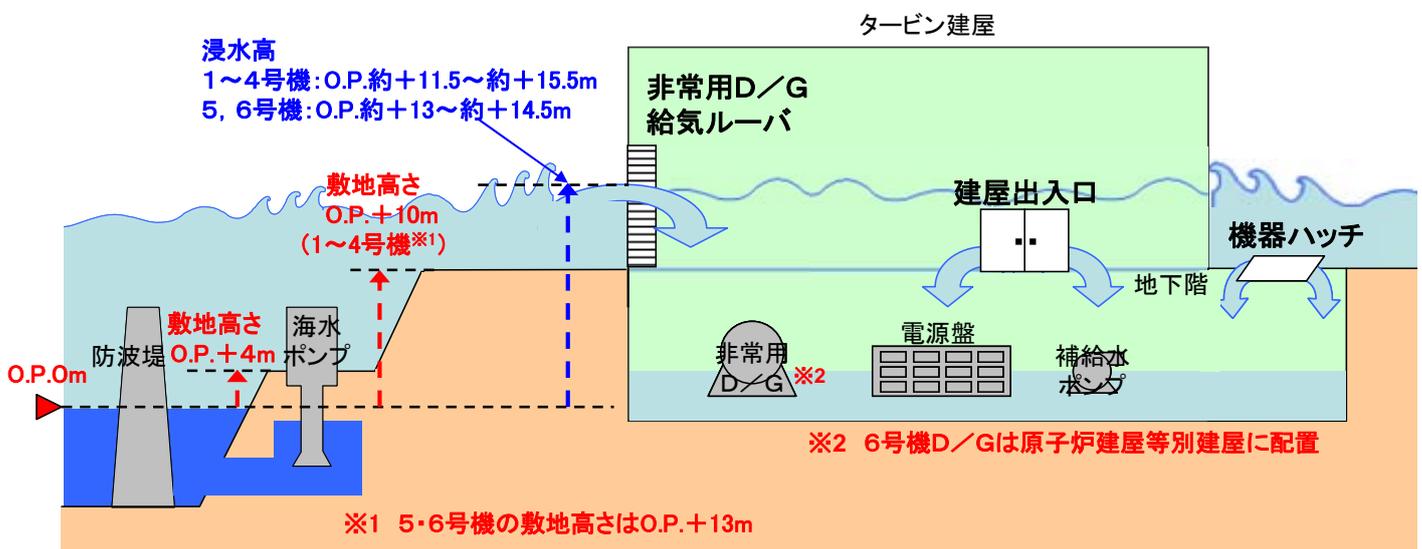
7. 1 福島第一原子力発電所の被害状況

(1) 主要建屋への浸水経路

福島第一原子力発電所の主要建屋（原子炉建屋、タービン建屋、非常用D/G建屋、運用補助共用施設（共用プール建屋）、コントロール建屋、廃棄物処理建屋、サービス建屋及び集中廃棄物処理建屋；1～4号機側はO.P.+10m、5，6号機側はO.P.+13mの敷地高さ）の周囲は全域が津波の遡上により冠水した。冠水は1～4号機側のエリアで厳しく、建屋周囲の浸水深は5.5mにも及んだ。

これらの主要建屋について、外壁や柱等の構造躯体には津波による有意な損傷は確認されていない。一方で、建屋の地上の開口部に取り付けられている建屋出入口、非常用D/G給気ルーバ、地上機器ハッチや、建屋の地下でトレンチやダクトに通じるケーブル、配管貫通部が、津波により浸水、損傷したことを確認した。これら建屋の地上の開口部や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。【添付7-1】

なお、建屋内部の水配管等からの溢水で重要機器が損傷しないように必要な箇所には溢水対策を講じており、隣接するエリアからの浸水防止のため堰や水密扉の設置などを行っている。しかし、今般のようにルーバなど上部から浸水し、その浸水箇所の水密性が高い場合（非常用D/G室など）、浸水が滞留するケースも見られた。



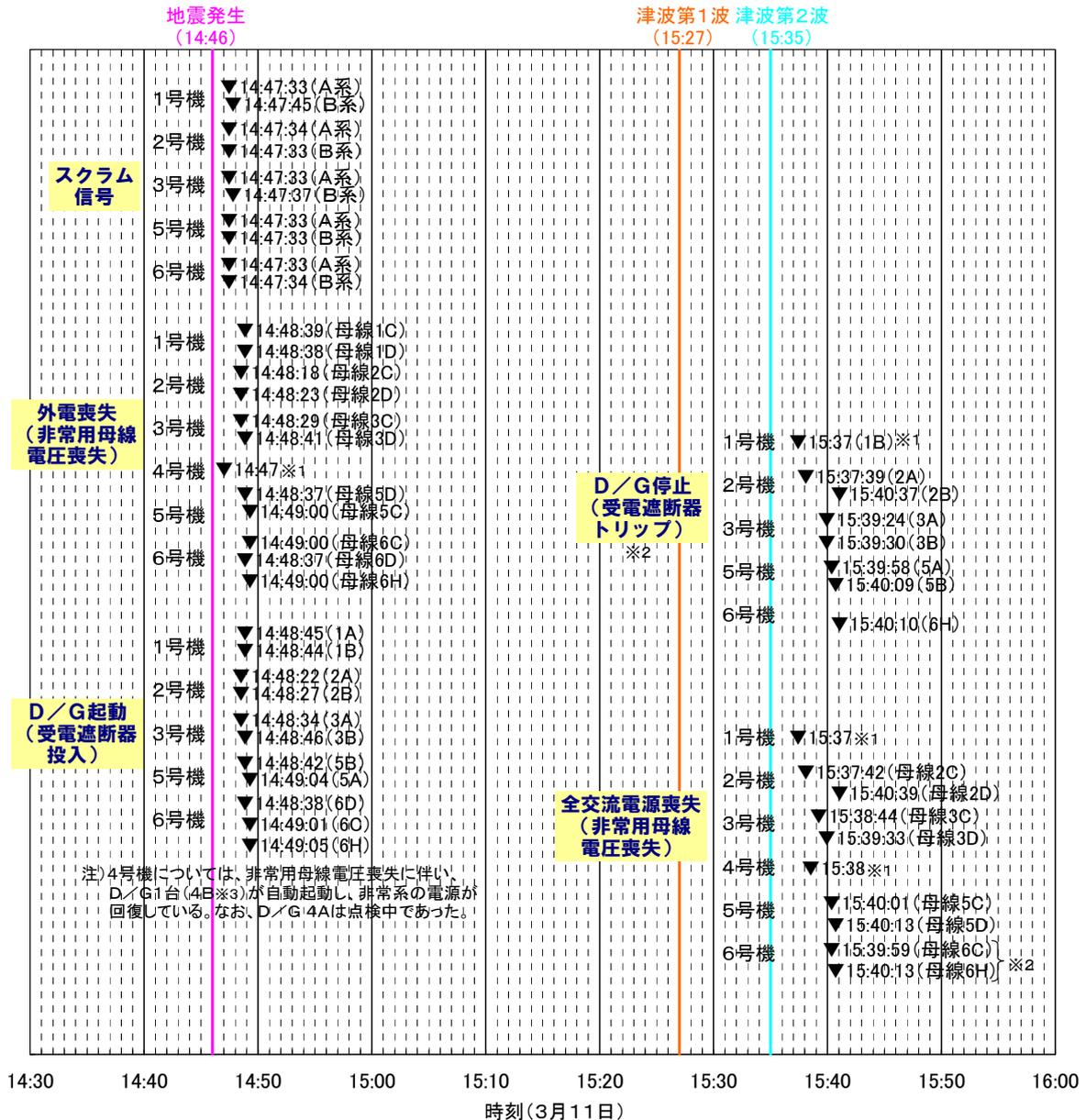
(2) 津波による設備被害

14時46分に地震が発生し、その地震動の到達によって各プラントでは地震動を検知しスクラム信号を発している。点検のためプロセス計算機が停止していた4号機以外では地震加速度によるスクラム信号の発生時刻が記録されており、14時47分に集中している。

地震発生後の外部電源喪失、D/G起動時刻、また、津波後のD/Gのトリップ、非常電源喪失などの発生時刻を次表に示す。発電所に地震動が伝わると各プラントでスクラム信号を検知し、その後、外部電源は喪失したが直ちにD/Gが起動し電源が確保されている。しかし、15時35分の津波第二波の襲来後に短時間の間で6号機非常用D/G(6B)を除き、全ての非常用交流電源の喪失に至っている。

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。

福島第一 アラームタイパ出力等からみた事象の進展



◆時報で時刻補正されている2, 5号機のうち、最も早くスクラム信号を発生した2号機のB系原子炉スクラム信号(14:47:33)を基準とし、各プラントでより早くスクラム信号を発生した系統の時刻と比較し補正を行う。
 1号機 14:47:33-14:46:46(A系信号)=+47秒
 3号機 14:47:33-14:47:00(A系信号)=+33秒
 5号機 14:47:33-14:47:35(A,B系信号)=-2秒
 6号機 14:47:33-14:47:41(A系信号)=-8秒

◆4号機については、定検停止中であり、プロセス計算機、過渡現象記録装置の取替え作業中であったことから、アラームタイパ等による記録上の確認はできない。

※1 当直員引継日誌より
 ※2 6号機D/Gの6Bは運転を継続していたため、受電遮断機トリップ及び非常用母線電圧の喪失なし。6Aは浸水により運転を停止しているが、アラームタイパの記録なし。
 ※3 燃料油タンク(燃料ディタンク)レベルの低下が確認されている。

①非常用海水系ポンプ

1号機から6号機は海水を利用することで崩壊熱の除去を行う構造になっている。また、一部の空冷式を除き、非常用D/Gも海水を利用して機関の冷却を行う構造である。このため、海水を取り込むための非常用海水系ポンプ¹が海側エリアに設置されている。

これらの非常用海水系ポンプを設置している海側エリアの敷地高さは0.P. + 4 mであり、津波高さの評価結果を踏まえ、津波の高さ5.4～6.1 mに対して機能を確保できるよう対策を講じていたものの、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冠水し、系統の機能を喪失した。

なお、屋外海側エリアに設置されている非常用海水系ポンプ設備については、設備点検用クレーンの倒壊、漂流物の衝突等によるポンプならびに付属機器の損傷、モータ軸受潤滑油への海水の混入が確認されたものもあったが、点検中で取り外していた4号機の残留熱除去海水系ポンプ（A、C）を除き、いずれも津波を受けた後も据付場所に自立しており、ポンプ本体が流出したものはなかったなど、非常用海水系ポンプの躯体の機械的損傷は限定的であった。例えば、6号機のD/G（6A）冷却用の海水ポンプは平成23年3月18日時点で特段の修理を行わずに起動することができたことから、その後の平成23年3月19日、D/G（6A）を起動することができた。



1号機格納容器冷却海水系ポンプ

【添付7-2】

②非常用ディーゼル発電機

主要建屋エリア全域が津波の浸水を受け、建屋への浸水が生じた結果、建屋内の電気品の機能喪失が生じた。

5号機及び6号機の水冷式非常用D/G（D/G（5A）、D/G（5B）、D/G（6A）及び高圧炉心スプレイ系D/G）本体は被水を免れたが、1号機から4号機の水冷式の非常用D/G本体はすべて被水により停止している。被水しなかった5号機及び6号機の水冷式非常用D/Gも、非常用海水系ポンプ等が機能喪失したため運転することができず、結果として、水冷式の非常用D/Gはすべて停止した。

一方、2号機のD/G（2B）、4号機のD/G（4B）及び6号機のD/G（6B）は空冷式の非常用D/Gであり、これらについては非常用海水系ポンプがないため津波による冷却系への影響はなかった。D/G（2B）及びD/G（4B）については、4号機原子炉建屋の南西にある運用補助共用施設（共用プール建屋）に設置しており、非常用D/G本体に浸水被害がなかったものの、運用補助共用施設（共用プール建屋）地下の電気品室が浸水被害を受け、非常用D/Gの電源盤が水没し機能を喪失した。



被水した1号機D/G（1B）

¹非常用海水系ポンプ設備は、格納容器冷却海水系ポンプ、残留熱除去海水系ポンプ、非常用D/G海水ポンプをいう。

この結果、1号機から5号機ですべての非常用D/Gが停止し、全交流電源喪失となった。6号機は空冷式のD/G（6B）が運転を継続し電源が維持された。

【添付7-3】

③電源盤

外部電源及び非常用D/Gの電力は、高压電源盤（M/C）、低压電源盤（P/C、MCC）を經由して各機器に供給される。また、交流電源喪失時に最低限の監視機能等を確保するために直流電源盤（バッテリーあり）が用意されている。

今回の津波襲来により、1号機から5号機までは常用系、非常用系の高压電源盤（M/C）がすべて被水しており、仮に外部電源や非常用D/Gが機能していたとしても電力を必要とする機器に供給することができない状況であった。

また、低压電源盤（P/C）についても大半が被水しており、高压電源車などの接続可能な箇所は限られてしまう状況であった。

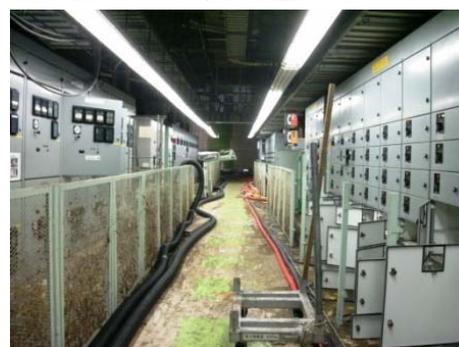
直流電源盤の被害については、1号機、2号機及び4号機で被水したが、3号機、5号機及び6号機では被水していない。3号機、5号機及び6号機の直流電源盤は、タービン建屋の中地下階に設置されていたことで浸水被害が及ばなかったものと推定される。

建屋への大規模な浸水が生じた施設では、建屋最地下階の浸水が顕著であり電源盤の被害もこれに対応している。最地下階に設置してあった電源盤は被水の被害を受けているのに対して、中地下階（一部被水の被害を受けているものあり）に設置してある電源盤は、被水を免れた。

また、最地下階に設置してあっても、建屋周囲の浸水高に対して建屋への浸水経路となる非常用D/G給気ルーバ等の最下端が浸水高より上に設置され、浸水経路となるダクト、トレンチ等の貫通部もない箇所では、建屋への浸水がなく、設備も被水していない。5号機及び6号機の非常用D/Gや6号機の非常用電源盤（高压電源盤（M/C）、低压電源盤（P/C））などがこれに該当した。

なお、6号機については、空冷式のD/G（6B）のみならず、高压電源盤（M/C）、低压電源盤（P/C）といった電源盤（非常用電源系D系）も被害がなかったことから、供給先の機器を作動継続させることができた。

【添付7-4】



被水した1号機タービン建屋1階電源盤

④屋外の被害状況

福島第一原子力発電所においては、海側エリア（敷地高：0.P. + 4 m）に設置されていたNo.1重油タンク（大きさ：直径11.7 m×高さ9.2 m、重量：32トン）が、津波により1号機原子炉建屋・タービン建屋北側の構内道路（敷地高：0.P. + 10 m）まで漂流するなど、多数の漂流物が確認されている。また、駐車中の車両も多数漂流した。

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、開口部となったのが1～4号機側（敷地高：O.P. + 10 m）で20箇所、5、6号機側（敷地高：O.P. + 13 m）で5箇所確認されている。

なお、開口部の数については、瓦礫の存在等により状況を確認できなかった箇所が多数存在することから、さらに多かった可能性がある。



建屋敷地エリアの津波の状況
(4号機南側)



5号機海側海水ポンプエリア



4号機タービン建屋東側

7. 2 福島第二原子力発電所の被害状況

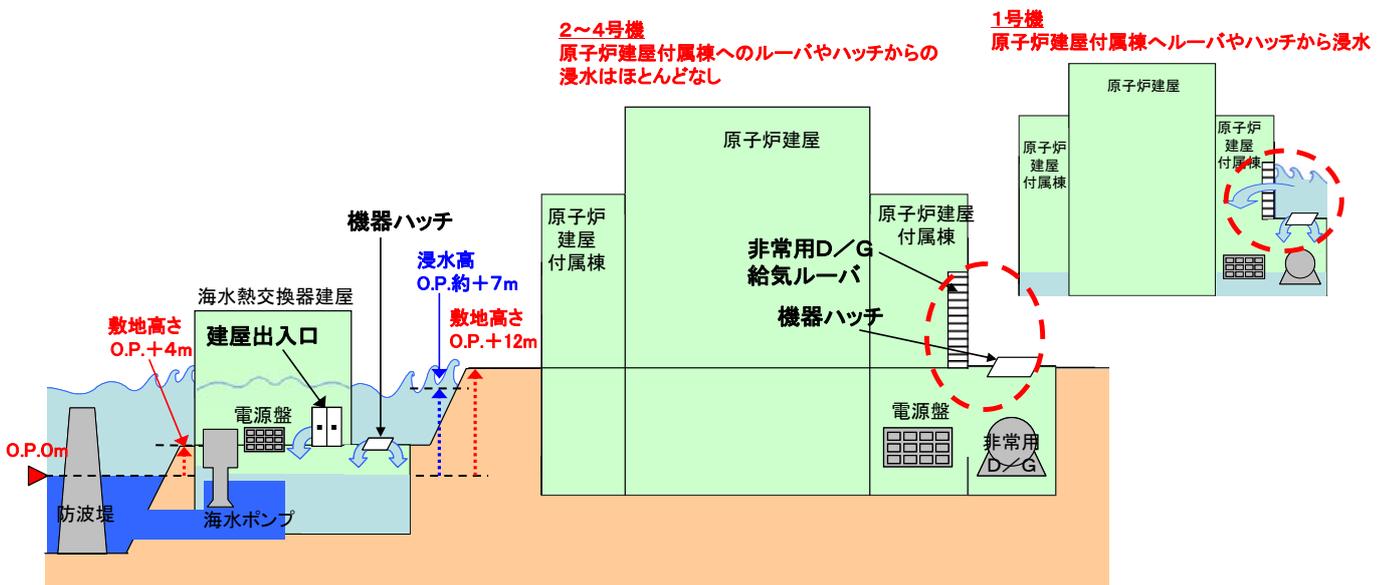
(1) 主要建屋への浸水経路

福島第二原子力発電所の主要建屋周囲（原子炉建屋、タービン建屋；O.P. + 12 m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/G 3台全数、非常用電源（C系及び高圧炉心スプレイ系）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、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。

【添付7-5】



(2) 津波による設備被害

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。

①非常用海水系ポンプ

1号機から4号機は海水を利用することで崩壊熱の除去を行う構造になっている。また、非常用D/Gも海水を利用して機関の冷却を行う構造である。このため、海側エリアに海水を取り込むための非常用海水系ポンプ¹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することとせず、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する海水熱交換器建屋を設置することにより、海水の炉水への漏えい防止や保守性の向上などを目的としたものである。なお、海水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。

これらの非常用海水系ポンプを設置している海側エリアの敷地高さは0.P.+4mであり、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に対策を講じていたものの、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、システムの機能を喪失した。

なお、福島第二原子力発電所の非常用海水系ポンプは、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、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。また、A系、B系、H系の3系統ある非常用D/G海水系は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。



被水した1号機残留熱除去海水系
中間ループ循環ポンプ

②非常用ディーゼル発電機

福島第二原子力発電所では、各号機毎に3台(A, B, H)の非常用D/G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。また、非常用D/G本体は被水を免れても津波浸水によって非常用D/G海水系の電源盤・ポンプのモータが被水したものは、ディーゼル機関の冷却ができなくなり機能を喪失した。非常用D/Gの海水系は3号機(B, H)及び4号機(H)の3系統を除き



被水した1号機D/G (A)

¹非常用海水系ポンプ設備は、残留熱除去海水系ポンプ及び中間ループ循環ポンプ、非常用ディーゼル発電設備冷却系中間ループ循環ポンプ、高圧スプレイ系ディーゼル発電設備冷却系海水ポンプ及び中間ループ循環ポンプをいう。

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、福島第二原子力発電所では、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。【添付7-6】

③電源盤

福島第二原子力発電所においては、福島第一原子力発電所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系D系が残り、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, B 2系統、非常用系C, D 2系統、高圧炉心スプレイ系電源H系を有する）



被水した1号機M/C電源盤
(床面水有り)

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。【添付7-7】

④その他、屋外の被害状況

福島第二原子力発電所においては、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：0.P. + 1.2 m）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。



建屋敷地エリアの津波の状況
(1号機南側)



物揚場



3, 4号機タービン建屋
(津波浸水の痕跡無し)

7. 3 津波による設備被害まとめ

(1) 福島第一原子力発電所

福島第一原子力発電所においては、津波による設備被害によって、以下の状況に直面した。

- ① 地震後の津波襲来により全プラントで非常用海水系ポンプ設備の機能を喪失し、炉心の残留熱（崩壊熱）を海水によって冷却することができなくなった。
- ② 1号機から5号機については電源設備の機能喪失から、電動の設備（安全系、並びにその他注水、冷却設備等）はすべて使用できない状態となった。また、電動弁を中央制御室から開閉することができなくなった。
- ③ 直流電源を喪失した1号機、2号機及び4号機では中央制御室での計測機器がすべて機能喪失しプラントの状態監視ができなくなり、直流電源が残った3号機及び5号機も計測や状態監視がバッテリー残量の影響を受ける状況となった。
- ④ 原子炉を減圧する主蒸気逃がし安全弁や格納容器のベント弁（空気作動式）の制御電磁弁の操作ができなくなった。
- ⑤ 中央制御室や各建屋内部及び屋外の照明の停電や通信手段の制約が生じ、対応をさらに困難にした。
- ⑥ 屋外においては津波による瓦礫や残留水、再度の津波襲来のリスクなど作業環境は極めて厳しい状態となった。

すなわち、原子炉の熱除去ができなくなり、すべての電動機器は動力源を喪失し、中央制御室の監視機能及び操作手段を喪失し、現場との通信手段がなくなり、照明も無い状態で事故対応を始めなければならなくなった。

なお、1～4号機については、代替注水として重要な設備である復水補給水系ポンプは電源の喪失のみならず、モータの被水のため使用できない状態となった。

以上、津波襲来後の設備状況は、事故収束の対応が困難な状態にあったものと言える。

（安全系等の主要機器の設備被害状況は【添付7－8】参照）

(2) 福島第二原子力発電所

福島第二原子力発電所においては、津波規模が異なり設備被害の様相も異なった。地震後の津波襲来により、1号機、2号機、4号機で非常用海水系ポンプ設備の機能を喪失し、炉心の残留熱（崩壊熱）を海水によって冷却することができなくなった。

しかし、全号機とも非常用電源系統が使用可能であったことから、復水補給水系などの代替の低圧注水機能は使用可能な状況であった。また、中央制御室の監視、操作の機能も維持された。（安全系等の主要機器の設備被害状況は【添付7－9】参照）

8. 地震・津波到達以降の対応状況

運転中に原子炉が自動停止（自動スクラム）した場合、制御棒がすべて挿入され燃料の核分裂による熱の発生はなくなるが、燃料内の核分裂生成物による崩壊熱は発生し続ける。このため、炉心は停止後も冷却し続けなければならないが、冷却を継続できない場合は、原子炉水位が低下し炉心損傷に至るとともに、放射性物質を閉じ込めることができなくなる恐れがある。

今回の事故は、津波を起因として通常的手段での原子炉の冷却ができなくなった事象である。事故対応としては、炉心の冷却を行うための原子炉への注水作業、格納容器の大規模な損傷に至らないよう格納容器の圧力を逃がすベント操作が重要になった。特に、注水にあたっては、原子炉へ水を供給しなければならないことに注力し、淡水のみならず、海水も含めて原子炉への水の補給に努めた。

運転中の福島第一1～3号機では、繰り返し起こる余震と継続する大津波警報の中、津波被害による瓦礫の散乱や屋外のトレンチなどに開口部が生じ墜落の危険性などの厳しい環境下で、この対応を開始した。

以降に、延べ約600人の社員等からの聞き取り調査の結果を踏まえ、現時点で確認されている福島第一1～3号機以外のプラントも含めた福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所の事故発生当時の対応操作や作業の状況を記す。なお、聞き取り調査結果の詳細な取りまとめ記録は別紙2（「福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における対応状況について」）に示す。

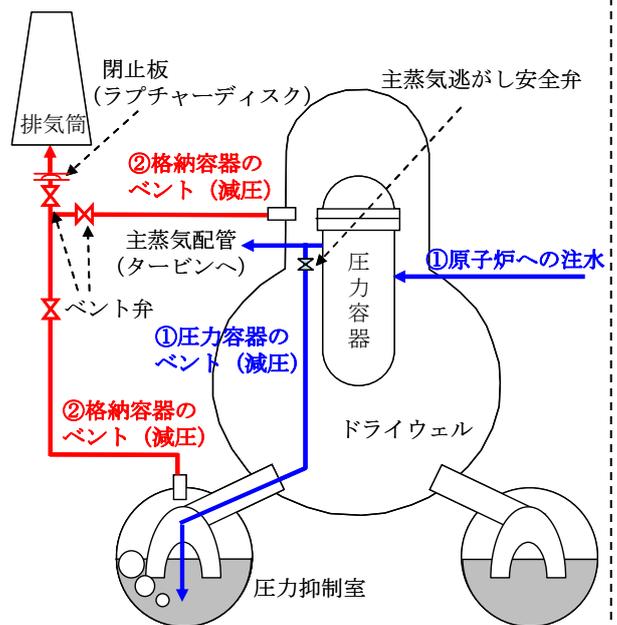
参 考

①原子炉への注水と压力容器のベント（減圧）

- 運転時の原子炉圧力は約7MPaと高い。
- 一方、原子炉内（压力容器内）の燃料は、運転を停止しても崩壊熱が発生するため、冷却が必要。
- このため、事故当初は、高い圧力で原子炉へ水を入れることができる設備で注水・冷却する。（高压注水）
- 原子炉の圧力を大気圧程度まで下げることができれば、低い圧力で原子炉へ水を入れることができる設備で注水・冷却する。（低压注水）
- なお、低压での注水が可能となるよう、压力容器の圧力を減圧する配管を設置。この配管は主蒸気逃がし安全弁を開閉することで压力容器の蒸気を圧力抑制室へ導く。

②格納容器のベント（減圧）

- 格納容器が破損した場合、放射性物質の放出をコントロールできない状態となり被害が拡大するおそれがある。このような事態を避けるため、格納容器内の気体を大気放出（ベント）することで圧力を減圧するための配管を設置。
- この配管は、圧力抑制室からの配管とドライウェルからの配管を有する。
- 圧力抑制室からの配管を用いると水により放射性物質を減少させることができるため、基本的には当該配管を用いてベントを行う。
- なお、いずれの配管も、配管途中にある弁を開けた上で、閉止板が一定圧力以上で破けると排気筒から気体が放出される。



格納容器：ドライウェルと圧力抑制室をあわせた部分

8. 1 構内の人の動き

(1) 地震前の発電所構内の社員及び協力企業作業員の勤務状況

1～3号機は運転中、4～6号機は定期検査中であり、平日勤務時間中であつたため、福島第一原子力発電所の敷地内には約6,400名（うち当社社員約750名）が勤務していた。

そのうちの協力企業を含む約2,400名もの作業員が放射線管理区域での作業に従事していた。放射線管理区域内の作業員数の内訳は下表のとおりである。

場所	1, 2号機	3, 4号機	5, 6号機	その他	合計
人数	約160名	約1,200名	約800名	約240名	約2,400名

上表に示す通り、3, 4号機、5, 6号機で放射線管理区域内の作業員数が多くなっているが、これは、4号機でシュラウド取り替え工事、5号機で原子炉压力容器の漏えい試験などを行っていたことによるものである。

当社社員は約750名が敷地内で勤務していたが、そのうち、各中央制御室の運転員の勤務者数は97名であつた。各中央制御室の運転員の内訳は下表のとおりである。

場所	1, 2号機	3, 4号機	5, 6号機	合計
人数	24名 当直 : 14名 作業管理G : 10名	29名 当直 : 9名 作業管理G : 8名 定検チーム : 12名	44名 当直 : 9名 作業管理G : 8名 定検チーム : 27名	97名

(2) 地震発生直後の人の動き（放射線管理区域からの避難・誘導）

上に述べた通り、地震発生前、放射線管理区域内で約2,400名が作業に従事していた。

これらの作業員は、地震から津波到達までの40分強の間に、中央制御室などに避難した一部の作業員を除いて、免震重要棟などがある高台までかろうじて避難することができた。

今回の事故では津波による建屋内への大量の浸水が確認されたが、この速やかな避難により、地震発生の際の退避時における人的被害はなかった。ただし、4号機では、そのときの警報発生に伴う現場調査において運転員2名の尊い命を失った。

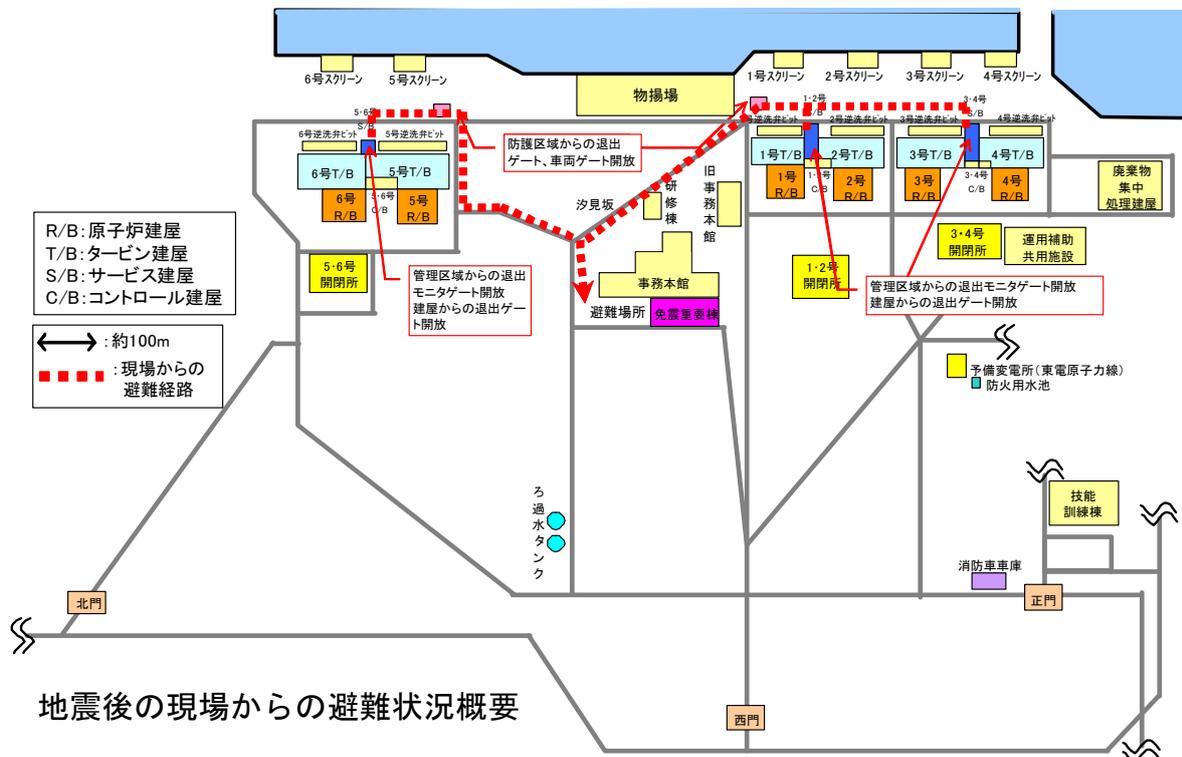
シュラウド取り替え工事で作業員が多かった3, 4号機の放射線管理員は、自身が避難するにあたり、高台に上る坂道で津波により重油タンクが流されているのを目撃した。放射線管理員及び防護区域の警備を行っていた社員は、津波襲来のギリギリまで避難誘導を行い、目視にて避難する人がいなくなったことを見届けた上で避難している。《詳細は別紙 2P4～5 参照》

地震により外部電源が喪失し、建屋内は非常灯のみとなるなど制約のある中、厳しいタイミングではあつたが、かろうじて避難することができたのは以下の要因が考えられる。

- 中央制御室の運転員がページング（拡声）により、幾度となく避難を呼びかけたこと。
- 現場から避難してくる作業員が管理区域の出入管理エリアに殺到する中、放射線管理員は、放射線・化学管理GMの指示を受け、予め定めた手順に従い退出モニタゲートや管理区域入口側の扉を開放し、管理区域から身体サーベイなしに避難誘導したこと（その後、避難場所である免震重要棟前で身体サーベイを行うとともに、直接発電所正門及び西門に向かった作業員の身体サーベイを正門及び西門で行った。なお、汚染者はいなかった。）。
- 防護区域である建屋の退出ゲートに作業員が殺到し、退出待ちの状態になっていたため、防護区域の警備を行っていた社員は、防護管理GMの指示を受け、退出ゲートを開放するとともに、防護区域外へ出るための車両ゲートを開放し、チェックなしに避難誘導したこと。
- 放射線管理員、防護区域の警備を行っていた社員は、避難してくる人がいなくなった事を確認の上、現場に取り残された作業員がいる可能性も考慮し、退出モニタゲート、退出ゲート、車両ゲートを開放し、避難ルートを確認した状態で避難したこと。

このような対応は、新潟県中越沖地震の対応を踏まえ、緊急時に退出モニタゲートの開放やその後の汚染検査手順を予め定めるなどの対策に従って実施されたものである。

3号機原子炉建屋5階では天井クレーンから降りられなくなった作業員がいたため、運転員が非常灯のみとなった建屋の中で懐中電灯の灯りを頼りに誘導し、救出している。一方港湾では、重油タンクに給油作業を行っていたタンカーが作業を中止し、津波に備えて沖合に移動しており、津波の被害を免れている。



(3) 中央制御室の人の動き

地震発生前の中央制御室の人数は上に述べたが、地震・津波の発生当初はこれらの人数で初動対応を実施している。

その後、11日21時頃には、1, 2号機で17名、3, 4号機で7名、5, 6号機で9名の次の勤務帯のメンバーやその他の班のメンバーが応援として入っている。また、継続して応援が入っている（人数は不明）。

1, 2号機では、12日15時36分に原子炉建屋で爆発が発生。中央制御室では、爆発の原因及び影響がわからない状況の中で、運転員の身の危険が考えられたため、当直長、副長、主任（応援として中央制御室にいた要員含む）はデータ採取と現場対応に必要な要員として中央制御室にとどまり、比較的若手である残りの副主任、主機操作員、補機操作員は免震重要棟へ移動した。

13日夕方になり、3, 4号中央制御室でも放射線量が上昇している状況の中、中央制御室で対応可能な操作が少なくなってきたことから、数名を対応要員とし、残りの運転員は免震重要棟へ移動した。

その後は交替体制をとって各中央制御室での対応を行った。

15日6時14分頃に衝撃音と振動が発生し、その後に2号機圧力抑制室の圧力指示値が発電所対策本部へ「0」と報告されたことから、圧力抑制室が損傷した可能性があると考え、1, 2号、3, 4号中央制御室から一旦免震重要棟に移動したが、11時頃には、中央制御室に戻り、交替による監視を再開した。

(4) 12日以降の社員、協力企業作業員の人の動き

免震重要棟には、11日に帰宅出来なかった協力企業作業員や、女性社員等が多数避難した。12日早朝より、バス4台を手配し、近くの自治体指定の避難場所へのバス移動を開始、数回ピストン輸送を行った。

13日も引き続き避難を実施。バス1台を使用し、数回避難場所への移動を行った。

14日夕方頃、2号機において原子炉への注水ができない状況となり、このまま原子炉への注水が進まなければ、放射線量の上昇等の事態の悪化が考えられたことから、今後の事象の進展によっては、プラントの監視と復旧作業に必要な要員を除いて退避する必要があると考え、退避場所の選定やバスの手配等、退避に向けた検討と準備を開始し、作業のない協力企業社員へ避難を促すとともに、協力企業に加えて、女性や体調を崩した一部の社員をオフサイトセンターへバスで避難させた。

以上、12日から14日にかけて手配したバスにより、少なくとも300～400名程度は避難したと考えられる。また、人数は確認できないが、自家用車に乗り合わせるなどの方法により多数避難したと考えられる。

14日夜から15日未明にかけて、2号機のドライウェル圧力が上昇し、15日6時14分頃に衝撃音と振動が発生し、その後に2号機圧力抑制室の圧力指示値が発電所対策本部へ「0」と報告されたことから、圧力抑制室が損傷した可能性があると考え（後日、衝撃音は「11. プラント爆発評価」に記載する通り2号機ではなく4号機である

ことを確認)、プラントの監視と復旧作業に必要な要員約70名を残し、約650名がバスや自家用車で福島第二原子力発電所へ一時退避した。

15日昼頃には、中央制御室でデータ監視を行う運転員や、現場の放射線量測定や免震重要棟の出入管理を行う保安班、発電所への出入管理を行う警備誘導班などの要員が、福島第一原子力発電所に戻っている。さらに、同日夕方頃には爆発の瓦礫撤去への対応を行う復旧班（土木部門）の要員が、徐々に福島第一原子力発電所に戻り、復旧作業を再開・継続した。

地震以降、復旧作業のために発電所構内へ入ってきている人もいるが、その詳細については「10. 発電所支援」に記す。

8. 2 福島第一1号機の対応とプラントの動き

(1) 対応状況の概要

① 11日15時30分頃～11日16時頃

福島第一1号機は、定格電気出力で運転していたが、3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震によって自動停止した。地震により外部電源を喪失したが、非常用D/Gは自動起動した。中央制御室では、非常用復水器の弁の開閉操作によって原子炉圧力を制御するなど、訓練と同じように冷温停止に向けた対応操作を行っていた。

約50分後の15時35分頃に海面から10m上にある原子炉建屋やタービン建屋を数mも覆う津波が襲来し、建屋内へ大量の水が浸水した。幸い、中央制御室のあるサービス建屋2階は浸水を免れたが、サービス建屋1階は浸水し、管理区域入域のための装備品や線量計などが海水で使えなくなったり、ラックごと倒れたりするなどの被害を受けた。また、建屋内にある電源設備の電源（交流、直流）はすべて喪失し、電動の弁やポンプ、監視計器などが動かなくなった。この時点で事前に定めた手順類の前提を大きく外れる事態へ進展した。「海水が流れ込んできている」と叫びながら、ずぶ濡れの運転員が戻ってきたことで、中央制御室の運転員は津波の襲来を確信した。

このとき、発電所の海側周辺は津波による瓦礫が散乱し、マンホールの蓋が流され、現場の道路は陥没するなど危険な状態へと変わり果て、建屋内は照明がなくなり手探りの状態に進むしかないような暗闇となった。さらに、通信障害も発生し建屋内（中央制御室外）や建屋外に出ると通信が困難な状態に至った。依然として、余震は繰り返し大津波警報は継続、高さが異なる津波がたびたび押し寄せており、サービス建屋2階にある中央制御室を出て、再び津波に襲われる可能性があるサービス建屋1階を通過して現場に向かうことはできなかった。

② 11日16時頃～11日21時頃

発電所長は今後非常に厳しいシビアアクシデント対応を余儀なくされる可能性があると考え、手順を応用した消火系ラインや消防車による注水などの検討を指示した。発電所員は、建屋内外の厳しい環境の中で現場調査、電源復旧、道路復旧など必要な対応を開始した。

中央制御室では、起動可能であったタービン建屋内にある消火系のディーゼル駆動消火ポンプによる原子炉注水を考え、当直長の指示のもとタービン建屋での現場作業を実施した。非常用復水器のある原子炉建屋へ向かったものの、持っていた汚染検査用の放射線測定器が通常より高い値を計測し、どの程度の放射線量かわからず、通常と異なる状況であったことから、現場状況の報告が必要と考え一旦引き返した。その後、中央制御室において、非常用復水器の表示灯が一時期回復したことから、その起動操作も行った。さらに並行して、ベントの手順等の検討のため非常灯のみの中で懐中電灯を使いながら図面の確認などを行った。

発電所対策本部でも、ベントに必要な図面を確認するとともに、復旧班による中央制御室での監視計器の復旧作業、電源復旧のための建屋内外の電源設備の健全性確認、消防車の所在確認、津波による瓦礫の状況確認、プラントへの通行障害となる道路の復旧、瓦礫の撤去などを行った。

また、本店対策本部では電源喪失を踏まえ、電源車の確保と移動経路の確認を指示し、

手配を開始した。

③ 11日21時頃～12日2時頃

11日21時頃に、発電所対策本部復旧班による監視計器の復旧作業によって、徐々に原子炉水位などのプラントパラメータが確認できるようになった。なお、この頃に確認した原子炉水位は燃料を覆うレベルを示していた。

ディーゼル駆動消火ポンプによる原子炉注水については、運転員が原子炉への注水ラインを確保していたが、確認できた原子炉圧力は高く、当該ポンプの圧力では注入できない状況にあった。また、一旦復活した非常用復水器の表示灯が不安定な状態となる中、起動操作を行った。

予断を許さない状況が続く中、屋内での格納容器ベントの検討や屋外での道路の復旧等の作業が続いた。一方、22時頃には東北電力の電源車が発電所へ到着し、仮設電源ケーブルの収集が行われるなど、電源復旧に向けた準備が進められた。

懸命に作業が続けられたが、23時頃からプラントが異常な状態であることを示す原子炉建屋内の異常な線量上昇、ドライウェル圧力の異常上昇が立て続けに確認されるとともに、12日2時前には運転していたディーゼル駆動消火ポンプが停止した。

ディーゼル駆動消火ポンプの停止によって、残る注水手段は消防車しかない状況となる一方、屋外では瓦礫撤去によって1号機の送水口があるあたりへ消防車を近づけることができる状態となった。

④ 12日2時頃～12日9時頃

津波による瓦礫が散乱する中、消防車をつなぐ送水口を探しながら、消防車を1号機脇に持ち込み、タービン建屋入口扉裏にあった送水口を見つけ、4時頃から消防車による淡水注入を開始した。

一方、ドライウェル圧力は依然として高い状態を維持しており、すぐにでも格納容器ベントを行う必要があった。ただし、原子炉建屋内の線量が上昇しており、暗闇での作業となることから、中央制御室では現場でのベント作業を成功させるべく、具体的なベント手順を繰り返し確認していた。また、発電所対策本部では、原子炉建屋内の線量の確認や作業時間の評価、ベントによる放射性物質の発電所外への放出に伴う地域住民の避難状況の確認などを行っていた。

⑤ 12日9時頃～12日19時頃

屋外での消防車による原子炉への淡水注入が続く一方、9時頃に避難状況が確認されるなど格納容器ベントの準備がようやく整ったことから、当直長・当直副長で編成するチームはベント作業を行うため現場へ出発した。ベントを行うためには2つの弁を開操作する必要があるが、そのうちの1つは開いたものの、もう1つは、設置場所の線量が高くたどりつくことができなかった。その後、中央制御室で仮設電源をつないでスイッチをひねるなどを試みたが、ベントの成功がしっかりと確認できなかった。このため、空気圧縮機を構内から持ってきて接続するなどの作業を行い、14時30分にベントの成功に至った。

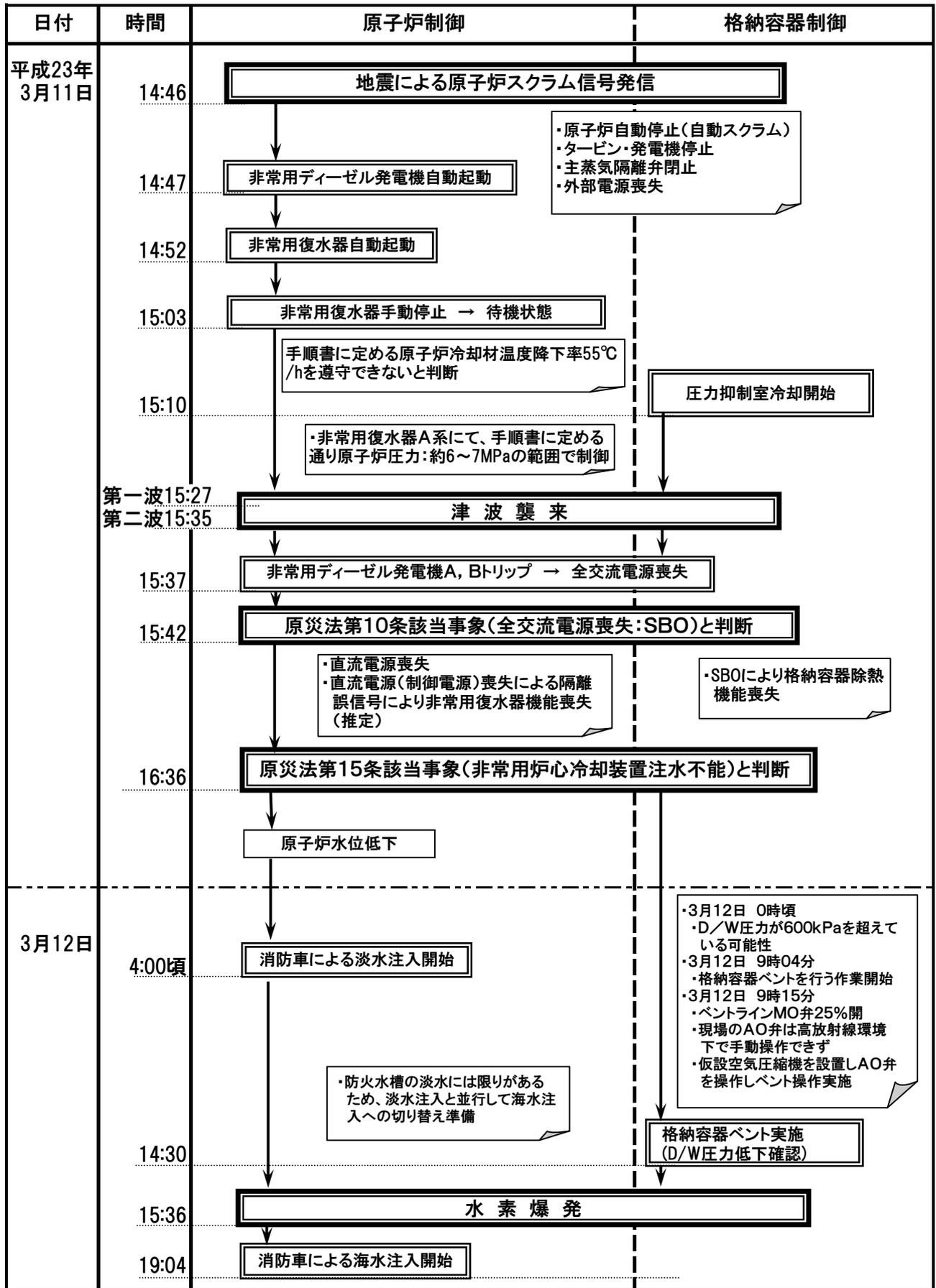
発電所長は、淡水注入を行っている途中で、いずれは淡水が枯渇すると考え、12日

昼頃に社長の了解を得た上で、海水注入の準備を指示した。これを受け、所員は海水が溜まったピットから1号機に送水するよう消防車の配置に向かった。

また、11日夜から行っていた電源復旧も1号機へ注水できるポンプへの送電準備が完了し、あともう少しで注水という段階に至っていた。

その矢先、15時36分に1号機の原子炉建屋が爆発し、電源ケーブルや消防車のホースが損傷した。

爆発後、けが人の確認や線量の確認などを行うとともに、注水を早く回復するために、爆発による瓦礫が散乱し、既に暗くなっていた屋外で消防車のホースを懸命に復旧し、19時頃に海水による原子炉への注水を開始した。



福島第一発電所1号機 地震後の主な流れ

(2) 対応状況詳細

① 11日15時30分頃～11日16時頃

地震により原子炉が自動停止。非常用復水器により原子炉圧力を制御するなど、冷温停止に向けた操作を行っていたが、津波により電源を喪失。すぐに電源車等の手配を始めるものの、プラントは電動設備の機能や監視機能を喪失し、事故対応の前提を大きく外れる事態となった。

<地震発生直後の対応（スクラム確認～非常用復水器による原子炉圧力制御）>

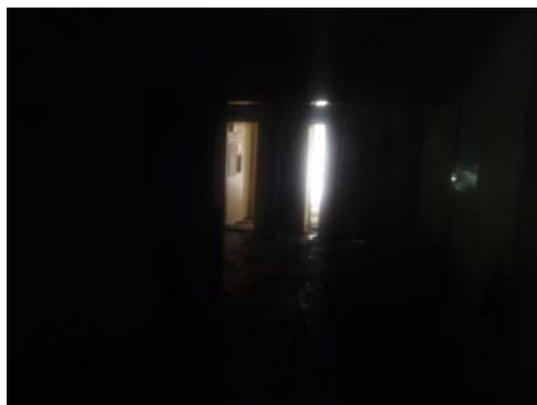
- ・ 1号機は、3月11日14時46分に地震に襲われ、原子炉が自動停止し制御棒はすべて挿入された。
- ・ 11日14時52分、非常用復水器2系統が自動起動し、原子炉圧力が下降し始めた。中央制御室では、非常用復水器起動による蒸気発生音を確認した。
- ・ 中央制御室では、非常用復水器起動に伴う原子炉圧力の低下が速く、操作手順書に定める原子炉冷却材温度降下率 $5.5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ を遵守できないと判断¹したことから、11日15時03分、非常用復水器の戻り配管隔離弁（MO-3A、3B）を一旦「全閉」とし、他の弁は開状態で、通常の待機状態とした。
- ・ その後、非常用復水器停止により、原子炉圧力が再び上昇したが、操作手順書で定める原子炉圧力を6～7MPa程度に制御するためには、非常用復水器は1系列で十分と判断、A系にて制御することとし、戻り配管隔離弁（MO-3A）を開閉することにより、原子炉圧力制御を開始した。この状況は、中央制御室から発電所対策本部に報告された。
- ・ 高圧注水系などの非常用炉心冷却系については、異常を示す警報は確認されず、表示灯も正常であった。運転員は、原子炉水位が安定しており、非常用復水器により原子炉圧力が制御できていたことから、高圧注水系が自動起動可能な状態であることを確認し、他の運転操作や監視に専念した。
- ・ 中央制御室では、パラメータに異常もなく、冷温停止に向けて、スクラム対応を続けた。当直長は「このまま収束（冷温停止）に持っていける」と感じていた。

<津波襲来（全交流電源喪失～非常用炉心冷却装置注水不能）>

- ・ 11日15時37分、津波の浸水によって、全ての交流電源を喪失。前後して、建屋内への海水の浸入を思わせる警報が発生、直流電源も喪失し、中央制御室の照明の他、監視計器や各種表示ランプも消灯、警報音も消え中央制御室は一瞬シーンとなった。最初は何が起きたか分からず、目の前で起きていることが本当に現実なのかと疑いたくなるような状況であった。その後、「海水が流れ込んで来ている」と大声で叫びながら、ずぶ濡れの運転員が戻ってきたことで、中央制御室の運転員は津波の襲来を確信した。
- ・ 11日15時42分、発電所長は原災法第10条該当事象（全交流電源喪失）と判断した。

¹沸騰水型原子炉（BWR）では、原子炉圧力容器内は飽和状態にあり、原子炉圧力の変化で原子炉冷却材温度の変化を確認することができる。

- 1号機側は非常灯のみ、2号機側は真っ暗となった中央制御室で、運転員は当直長の指示に基づき、動作している主要な計器及び使用できる設備の確認を開始した。
- 津波の影響による全交流電源喪失により、トーラス水冷却モードで圧力抑制室の冷却をしていた格納容器冷却系(A系、B系)が停止し、非常用ガス処理系も停止した。
- 津波襲来前まで原子炉圧力の手動制御に用いていた非常用復水器は、表示灯が消灯し、弁の開閉状態の確認も弁の操作もできない状態となった。また、非常用復水器と同様に直流で操作可能な高圧注水系についても制御盤の表示灯が消灯し起動不能な状態となった。
- 11日15時50分、原子炉水位が不明な状態となっていることが確認された。高圧注水系の表示灯が消灯し起動不能な状態であり、原子炉への注水状況を確認できないため、同日16時25分、当直長は原災法第15条該当事象が発生したことを発電所対策本部に報告、同日16時36分に、発電所長は原災法第15条該当事象(非常用炉心冷却装置注水不能)と判断した。
- この津波により、すべての直流電源、交流電源を喪失するとともに、機器の冷却に必要な非常用海水系も喪失した。また、余震頻発による津波発生リスクがある中(【添付8-2】参照)、重油タンクが流されていること、サービス建屋まで津波が来たことなど、想像を超える状況が徐々に明らかとなり、即座に現場確認を行える状況ではなかった。
- その後の復旧活動においては、重油タンクや瓦礫など津波による漂流物が電源車や消防車等の車両や作業員の移動の障害となり、かつ、建屋内外の照明やPHSやページング装置等の通信手段がほとんど使用できなくなるなど、厳しい環境下での対応操作を余儀なくされることとなった。



サービス建屋入口の建屋内の状況

【添付8-1】

② 11日16時頃～11日21時頃

余震が継続し、大津波警報が発令されている中、今後の復旧に向けて現場の状況確認を開始。照明や計器類を含む電源復旧を継続しつつ、ディーゼル駆動消火ポンプによる原子炉代替注水ラインの確保と、非常用復水器への対応、プラントへのアクセスを可能にするための道路復旧とゲート開放を実施。一方、ベント実施に向けた検討も並行して実施。

<復旧活動に必要なアクセス道路の確保と電源車の手配>

- 11日16時00分頃、今後の復旧作業に必要な道路を確保するため、社員と協力企業社員が、正門付近の道路が崩れているとの情報をもとに津波が到達していない山側を手始めに構内道路の健全性確認を開始した。1～4号機へ向かう道路は、津波で流された重油タンクが道をふさぎ、通り抜



津波で流されて道をふさいだ重油タンク
(直径11.7m×高さ9.2m)

けができない状況で、5, 6号機へ向かう道路は、陥没や段差などにより通行不能であり復旧が必要な状況であった。健全性確認の結果は、11日19時24分、発電所対策本部に報告された。

- ・ 構内道路の健全性確認と並行して、発電所対策本部復旧班は、全電源を喪失した中央制御室の照明と計器類の復旧のために、必要な図面を用意、小型発電機やバッテリー、ケーブルの収集を開始した。
- ・ 11日16時10分、本店配電部門は全店に対して電源車の確保を指示。16時30分頃に他の電気事業者へ電源車の救援を要請。16時50分頃、全店の電源車が福島第一原子力発電所に向かった。地震による道路被害や渋滞の中、電源車が思うように進まなかったが、11日22時00分頃には、東北電力からの支援の電源車が、12日1時20分頃には当社電源車が到着した。

<電源設備の状況確認>

- ・ 大津波警報が継続し、余震が頻発する状況の中、津波の危険性から海側の現場調査に対して慎重な意見もあったが、発電所対策本部復旧班は、電源復旧のためには電源設備の状況確認が必要と考えた。所内電源と外部電源に分かれて現場調査に向かった。
- ・ 11日16時00分頃に外部電源の現場調査を、11日18時00分頃に所内電源の現場調査を開始。瓦礫が散乱し、マンホールの蓋が開いている箇所や、道路が陥没している箇所が多数ある中、調査を進めた。
- ・ 調査の結果、外部電源の早期復旧は困難な状況であり、所内電源は非常用ディーゼル発電機や電源盤等が水没・浸水状態であり早期の復旧が困難な状況であった。このため、発電所対策本部では、使用可能な2号機の低圧電源盤（P/C）と電源車を用いて、原子炉への高圧注水が可能なほう酸水注入系等の電源復旧を開始した。

<運転員による現場確認とディーゼル駆動消火ポンプによる代替注水ラインの確保>

- ・ 津波によりタービン建屋地下階が水没し、サービス建屋1階も浸水、余震が継続、大津波警報が発令され高さの異なる津波が何度も押し寄せ海側のエリアを覆う津波も確認される中では容易に現場確認を開始することができなかった。当直長は、運転員から復旧のために現場確認をしたいと進言され、自身もその必要性を認識していたが、現場の安全確認が取れておらず、必要な装備も整っていなかったためすぐには現場に向かわせることができなかった。
- ・ しかしながら、監視計器や各種表示ランプが消灯した中央制御室ではプラントの状態を把握できないことから、当直長は今後の復旧に向けた建屋内の被害状況や進入ルート of 把握、津波による電源設備の被水状況、設備の使用可否の確認等の現場確認を行う準備を開始した。現場の状況がわからないこと、設備の使用可否の判断を行うこと等を考慮し、若い運転員ではなく、当直長、当直副長に現場を熟知している運転員を加えた2名1組の体制とした。また、万が一の場合に中央制御室から救援に向かうことができるよう、行き先を明確にするとともに、現場確認時間の制限を行った。
- ・ 11日16時35分、中央制御室では、ディーゼル駆動消火ポンプの状態表示灯が停止状態で点灯していることを発見した。現場に向かう体制が整ったことから当直長は現場確認に向かうことを決断、運転員は16時55分、現場確認を開始したが、現場へ向かう途中津波が来るとの情報が入り一旦引き返した。

- 11日16時42分頃から17時頃にかけて、中央制御室でそれまで見えなかった原子炉水位（広帯域）が一時的に確認¹できるようになったが、17時07分に再度原子炉水位が不明となった。
- 11日17時19分、運転員は再度現場に向かい、同日17時30分、運転員による故障復帰操作により、ディーゼル駆動消火ポンプが自動起動したが、原子炉への代替注水ラインが整っていなかったため、代替注水ラインが整うまで停止することとした。ディーゼル駆動消火ポンプの操作スイッチは、停止位置で保持することが出来ない構造であったため、自動起動しないよう運転員が操作スイッチを停止位置にして、交替で保持し続けた。
- 11日18時35分、中央制御室では、消火系による原子炉代替注水ラインを構成するための電動弁を手動で開ける操作を開始。運転員及び発電所対策本部発電班は、照明が消えた暗闇の中、懐中電灯を照らしながら原子炉建屋に向かった。
- 11日20時50分、消火系による原子炉代替注水ラインの構成が完了したことから、運転員はディーゼル駆動消火ポンプを起動し、原子炉圧力の減圧後に注水が可能となった状態とした。
- なお、電源喪失により、中央制御室の監視計器の指示値が表示されていない状況の中、11日20時07分、運転員は原子炉建屋内にある原子炉圧力計を確認しに行ったところ、原子炉圧力は6.9 MPaを示していた。

<非常用復水器の運転操作>

- 中央制御室では非常用復水器の隔離弁の状態表示灯が消灯し、隔離弁の状態を確認できないため、運転員は、非常用復水器が機能しているかどうかわからなくなった。当直長は、中央制御室からは非常用復水器のベント管を確認することができなかったため、発電所対策本部に確認を依頼した。
- 11日16時44分、発電所対策本部発電班は、原子炉建屋の非常用復水器ベント管から蒸気が出ていることを確認した。
- 中央制御室では原子炉圧力や原子炉水位などのパラメータ、非常用復水器に関する確認ができないため、原子炉建屋内にある原子炉圧力計の指示や、非常用復水器の冷却水である胴側の水の水位計レベルなどを確認することとした。11日17時19分、運転員が現場に向かったが、原子炉建屋入口付近で持っていた汚染検査用の放射線測定器が通常より高い値を計測し、どの程度の放射線量かわからず通常と異なる状況であったことから、現場確認を断念した。運転員はその状況を報告しようと考え、17時50分に一旦引き返した。
- ディーゼル駆動消火ポンプによる原子炉への代替注水ラインの確保に向けた対応や現場指示計の確認作業などを進めている中、津波の影響で直流電源が一時的に不安定な状態にあったのか、一部の直流電源が復活し、非常用復水器（A系）の供給配管隔離弁（MO-2A）、戻り配管隔離弁（MO-3A）の「閉」を示す緑ランプが点灯していることを運転員が発見した。
- 通常、開である非常用復水器の供給配管隔離弁（MO-2A）が閉となっていたことから、運転員は「非常用復水器の配管破断」を検出するための直流電源が失われたことに伴い、安全側への動作として、「非常用復水器の配管破断」信号が発信され、

¹ 16時42分 TAF（有効燃料頂部）+2,500mm相当

非常用復水器のすべての隔離弁が閉動作したと考えた。

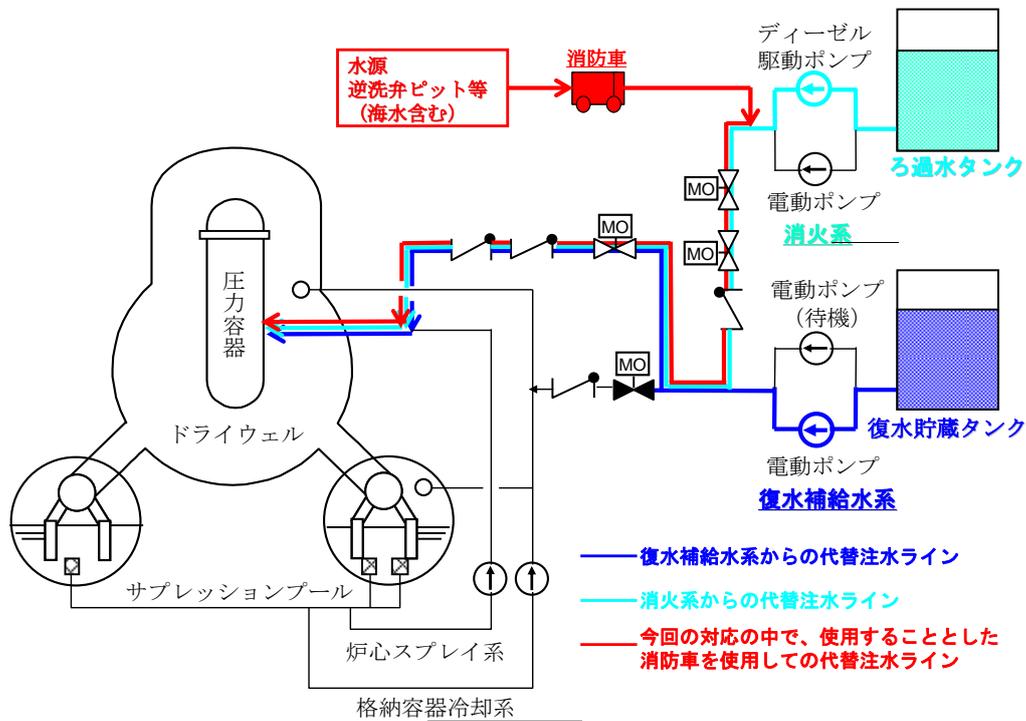
- ・ 閉のランプが点いたものの、バッテリーが被水して動かすと地絡¹して二度と操作できなくなることも懸念されたが、運転員数名で協議した後、格納容器の内側隔離弁（MO-1A、4A）が開いていることを期待し、18時18分、非常用復水器の戻り配管隔離弁（MO-3A）、供給配管隔離弁（MO-2A）の開操作を実施したところ、状態表示灯が閉から開となった。
- ・ 中央制御室では、電源が喪失したため監視計器により非常用復水器が動作していることを確認する手段がなかった。このため、運転員は、目視（原子炉建屋越しに見えた蒸気）と音（蒸気発生音）により非常用復水器ベント管から蒸気が発生したこと²を確認した。なお、余震が頻発し、大津波警報が発令されている中で、津波襲来の可能性もあり、非常用復水器ベント管を直接目視できる場所（屋外）に行ける状況ではなかった。
- ・ しばらくして蒸気が発生が停止した。予想できないことが次々と起こる中、運転員は蒸気発生が停止した原因として、格納容器の内側隔離弁（MO-1A、4A）が隔離信号により閉となっていることを考えたが、非常用復水器の冷却水である胴側の水が何らかの原因でなくなっている可能性を懸念した。
- ・ 運転員は非常用復水器が機能していないと考えるとともに、胴側への水の補給に必要な配管の構成ができていなかったことも考え合わせて、11日18時25分、戻り配管隔離弁（MO-3A）を一旦閉操作した。
- ・ 11日20時50分、中央制御室では、ディーゼル駆動消火ポンプを起動したことにより、非常用復水器の胴側へ冷却水を補給できる見通しを得た。その後、運転員が非常用復水器の運転状態を確認したところ、非常用復水器の戻り配管隔離弁（MO-3A）の閉状態表示灯が不安定で、消えかかっていることを確認した。

<注水確保に向けた活動（消防車による注水の検討）>

- ・ 11日17時12分、発電所長は今後非常に厳しいシビアアクシデント対応を余儀なくされる可能性があると考え、消火系、復水補給水系や消防車による代替注水について検討・実施するよう指示した。
- ・ 防災安全部は、消防車による消火活動を委託している協力企業に、消防車の状態を確認。発電所に配備していた消防車3台のうち、車庫に待機していた1台は使用可能、1～4号機の防護本部付近にあった1台は津波で故障、5、6号機側にあった1台は、道路の損傷や津波による瓦礫の影響で5、6号機側との通行が分断されており、また津波で流されたとの情報もあり、使用できない状況であることを確認した。使用可能であった1台を免震重要棟脇に待機させ、出動に備えた。
- ・ 屋外では、消火栓からの噴き出し等により消火系の水源であるろ過水タンクの水がなくなる可能性があった。11日19時18分、津波が到達する前から現場で作業員の避難誘導や津波監視を行っていた自衛消防隊が、発電所対策本部発電班とともに、原子炉への注水に必要な消火系ライン以外のろ過水タンクの出口弁を閉としたことが発電所対策本部に連絡された。

¹ 事故などによって、装置などに大地との電氣的接続が生じること

² 原子炉の蒸気を冷却したクリーンな水が気化して大気に放出されていること



代替注水ライン（消防車による注水ライン含む）

<アクセス道路の確保と復旧（1～4号防護区域への通行ルートと、5,6号アクセス道路の確保）>

- ・ 通常使用する1～4号機の防護区域のゲートは津波で流され、周辺の海側の道路は津波による瓦礫が散乱し、車両が往来できない状態であった。発電所対策本部復旧班は、11日夕方、他の防護区域のゲートを開放するための作業を開始。同日19時00分頃、2、3号機の間にあるゲートを開放し、1～4号機への車両の通行ルートを確保した。
- ・ 構内道路の健全性確認の結果から、社員及び協力企業は、5、6号機へのアクセス道路の復旧作業を開始した。耐震裕度向上工事等のために構内に入っていた協力企業の協力を得て重機やダンプ、砂利を確保し、通行不能となっていた道路を復旧。11日22時15分、5、6号機へのアクセスが可能となったことが発電所対策本部に報告された。

<格納容器ベントの準備>

- ・ 11日夕方、計器類の復旧が行われる中、中央制御室ではアクシデントマネジメント操作手順書の確認を実施していた。早い段階で格納容器ベントの準備を進めるべく、バルブチェックリストを用いて格納容器ベントに必要な弁及びその位置の確認を行った。
- ・ 発電所対策本部発電班でも、電源がない状況における格納容器ベント操作手順の検討を開始した。また、発電所対策本部復旧班は、ベント操作に必要な弁を手動で開けることが可能かどうか、弁の型式・構造を確認するために、関連する図面の調査や協力企業への問い合わせを行い、空気作動弁の小弁がハンドル操作で開操作可能であることを確認し、中央制御室へ連絡した。

③ 11日21時頃～12日2時頃

監視計器が仮設電源により徐々に復旧。一方、非常用復水器の表示灯が不安定になり、また、ディーゼル駆動消火ポンプも停止。さらに、建屋内の線量上昇、ドライウェル圧力上昇、原子炉圧力の低下を確認。

<中央制御室の照明確保と原子炉水位の判明>

- ・ 発電所対策本部復旧班は、中央制御室照明、監視計器類の復旧を進め、11日20時47分に小型発電機を用いて仮設照明を復旧、同日21時19分に仮設バッテリーをつなぎこみ、原子炉水位計を復旧、指示値が有効燃料頂部（TAF）から+200mmであることを確認した。

<非常用復水器の運転操作>

- ・ 原子炉水位は燃料より上にあるものの、蒸気駆動の高圧注水系の表示灯が消灯し起動ができない状況になっており、この時点で非常用復水器は作動が期待できる唯一の高圧系の冷却装置であった。
- ・ 通常であれば、胴側給水がなくても非常用復水器は10時間程度運転できること、ディーゼル駆動の消火ポンプが起動していることで非常用復水器胴側への給水にも対応できるようになったことから、胴側の水の不足の懸念はなくなった。非常用復水器の戻り配管隔離弁（MO-3A）の閉状態表示灯が不安定で消えかかっており、次はいつ操作できるか分からない状況であることも踏まえ、高圧系の冷却装置である非常用復水器が動作することを期待し、一旦は閉止した戻り配管隔離弁（MO-3A）を21時30分に再度開操作した。
- ・ 運転員は、開動作したことを、目視（原子炉建屋越しに見えた蒸気）と音（蒸気発生音）により非常用復水器ベント管から蒸気が発生したことで確認した。また、発電所対策本部発電班も免震重要棟の外に出て、非常用復水器ベント管からの蒸気発生を確認した。この頃、発電所対策本部では、非常用復水器の機能を維持するために、11日20時50分に起動したディーゼル駆動消火ポンプにより非常用復水器の胴側への水補給が行われていると考えていた。

<建屋内の線量上昇>

- ・ 11日21時51分、非常用復水器の胴側の水位と原子炉水位の確認のために原子炉建屋に入域していた運転員から、APD（警報付きポケット線量計）の数値がごく短時間に0.8mSvとなり現場確認を断念したことが中央制御室に報告された。
- ・ 中央制御室では、一旦原子炉建屋への入域を禁止し、22時03分、発電所対策本部に状況を報告。報告を受けた発電所対策本部保安班が、現場へ出動し放射線量の測定を行ったところ、23時00分の時点でタービン建屋1階の原子炉建屋二重扉前は高い線量（北側二重扉前1.2mSv/h、南側二重扉前0.52mSv/h）であることを確認し、23時05分に発電所長は原子炉建屋への入域を禁止した。

<原子炉水位の上昇>

- ・ 原子炉水位は、11日21時19分に有効燃料頂部（TAF）から+200mmであることが判明して以降、22時00分にはTAF+550mm、22時35分にはTAF+590mmとなり、徐々に上昇していた。

<ドライウェル圧力の上昇と格納容器ベント実施に向けた対応>

- ・ 11日23時50分頃、中央制御室で発電所対策本部復旧班が、中央制御室の照明仮復旧用に設置した小型発電機をドライウェル圧力計に繋いで指示値を確認したところ、600kPa [abs]であることが確認され、発電所対策本部へ報告した。
- ・ 原子炉建屋内の放射線量上昇という事実に加え、ドライウェル圧力が600kPa [abs]であるとの事実から、発電所長は非常用復水器が動作していないかもしれないと考えた。
- ・ ドライウェル圧力計の異常も考えられたが、ドライウェル圧力は既に格納容器ベントが必要な圧力になっていたことから、12日0時06分、発電所長は格納容器ベントの準備を進めるよう指示を出した。同日0時49分、発電所長は、ドライウェル圧力が最高使用圧力（最高使用圧力528kPa [abs]（427kPa [gage]））を超えている可能性があることから、原災法第15条該当事象（格納容器圧力異常上昇）に該当すると判断した。
- ・ 1号機、2号機の原子炉代替注水ラインの構成を完了させた中央制御室では、配管計装線図、アクシデントマネジメント操作手順書などの資料、アクリルボードをもってきて、弁の操作方法など、具体的な手順の確認を開始した。
- ・ 12日1時30分頃、1号機及び2号機の格納容器ベントの実施について、内閣総理大臣、経済産業大臣及び原子力安全・保安院に申し入れ、了解を得た。

<ディーゼル駆動消火ポンプ停止>

- ・ 12日1時25分頃から、運転員が現場にてディーゼル駆動消火ポンプの運転確認を行っていたところ、1時48分に燃料切れを確認した。運転員は、2時10分から燃料補給を開始。別の運転員が津波監視を行う中、瓦礫が散乱する現場で燃料タンクに燃料を補給し、2時56分に完了し起動操作を行ったが起動しなかった。
- ・ 並行して、運転員はバッテリー交換を発電所対策本部復旧班に依頼。発電所対策本部復旧班は余震が発生し作業が中断することがあったが、12時53分、バッテリー交換作業を完了。運転員が起動操作を行ったが、セルモータの地絡により使用できなかった。
- ・ なお、12日2時45分、中央制御室で原子炉圧力計の電源を復旧し、原子炉圧力が0.8MPaであることが判明した。

<消防車による注水の検討と現場作業の開始（送水口の搜索と瓦礫撤去）>

- ・ 発電所対策本部復旧班、自衛消防隊など関係部署は、消防車による原子炉注水の机上検討・準備を進める中で、消防車を繋ぎ込む送水口の位置を確認した。建屋壁面近くに設置されている送水口は、タービン建屋の海側にある大物搬入口脇にあり、消防

車による注水ラインの確保には、津波による瓦礫撤去が必要な状況であった。

- ・ 発電所対策本部復旧班は、電源復旧作業のために重機を用いて、2号機タービン大物搬入口のシャッターを開放するとともに、海側へのアクセス道路の瓦礫を撤去し、車両での海側へのアクセスを可能とした。
- ・ 12日2時10分から、タービン建屋大物搬入口脇にある送水口の搜索を開始。タービン建屋大物搬入口付近は、津波による瓦礫が散乱しており、また、開いていたタービン建屋大物搬入口防護扉の影響で、発見できなかった。その後、発電所対策本部復旧班は、重機を用いてタービン建屋大物搬入口付近の瓦礫を撤去した。

④ 12日2時頃～12日9時頃

ディーゼル駆動消火ポンプが停止し、消防車による注水が必須の状況の中、瓦礫が撤去され送水口へアクセスが可能となったことから、消防車による注水準備を急ぎ進め、淡水の注入を開始した。一方、ドライウェル圧力は依然として高く、格納容器ベントに向けた作業も並行して続けた。

<格納容器ベント実施に向けた対応>

- ・ 12日2時24分、ベントの現場操作に関する作業時間の評価結果が発電所対策本部に報告される。300mSv/hの雰囲気であれば緊急時対応の線量限度（100mSv）で17分の作業時間と報告した。
- ・ 12日3時44分、本店対策本部にてベント時の周辺被ばく線量評価を作成、発電所と共有。4時01分、発電所対策本部は、評価結果を官庁等に報告した。
- ・ 発電所対策本部は、12日0時頃のドライウェル圧力の上昇や放射線量の上昇によってプラントが異常な状態にあるかもしれないとの疑義を持っていたが、4時過ぎには放射線量の上がり方から炉心が損傷している可能性が高いと認識した。
- ・ ベントの具体的な手順の確認を行っていた中央制御室では、ベント操作に向けて、弁の操作の順番、トラス室での弁の配置、弁の高さ等について確認し、少しでも現場作業時間を短くするようイメージトレーニングを繰り返した。作業に必要な装備（耐火服、セルフエアセット、APD（警報付きポケット線量計）、サーベイメータ、懐中電灯、全面マスク）を、運転員が手分けして津波によりいろいろな物が散乱するサービス建屋1階や休憩室などから可能な限り収集。発電所対策本部からも、4時39分と8時00分頃に、警報が80mSvにセットされたAPDが中央制御室に届けられた。
- ・ 中央制御室では、現場で弁の操作を行う体制を検討。原子炉建屋内は暗闇であり、1人で作業することは非常に困難であり危険を伴うこと、高い放射線量が予測されること、余震で引き返すことを考慮し、2名1組の3班体制とした。静まりかえった中央制御室では、線量が上昇した影響で運転員が2号側に寄り集まる中、人選を開始した。若い運転員も自ら手を挙げたが、放射線量が高く、状況もわからない中へは若い運転員を行かせることができないと考え、当直長、副長を割り振るよう構成した。
- ・ 12日6時33分、発電所対策本部は、地域の避難状況として、大熊町から都路方面への移動を検討中であることを確認した。
- ・ 12日6時50分、経済産業大臣より法令に基づくベントの実施命令（手動によるベント）が口頭で伝えられ、TV会議で共有された。（その後に命令文書を受領）

<消防車による原子炉代替注水の開始>

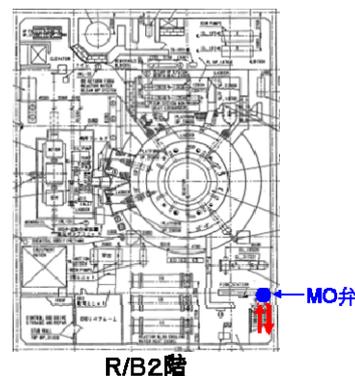
- 消防車をつなぐ送水口は瓦礫を撤去しつつもなかなか見つからなかったが、12日3時30分頃、社員及び協力企業は免震重要棟脇に待機していた消防車に乗って現場に向かい、タービン大物搬入口防護扉の裏にあった送水口を発見。4時00分頃、消防車に積載していた淡水を注水。現場の放射線量上昇により一旦注水作業を中断後、自衛消防隊及び協力企業が、同日5時46分に消火系ラインを用い、防火水槽などを水源とした消防車による注水を再開した。
- 消防車に防火水槽から水を汲み上げ、消火系ラインの送水口まで移動して原子炉へ注水していたが、瓦礫などの障害物が多く、消防車の移動に時間がかかることから、防火水槽から送水口間の連続注水ラインを構成し、注水を継続した。

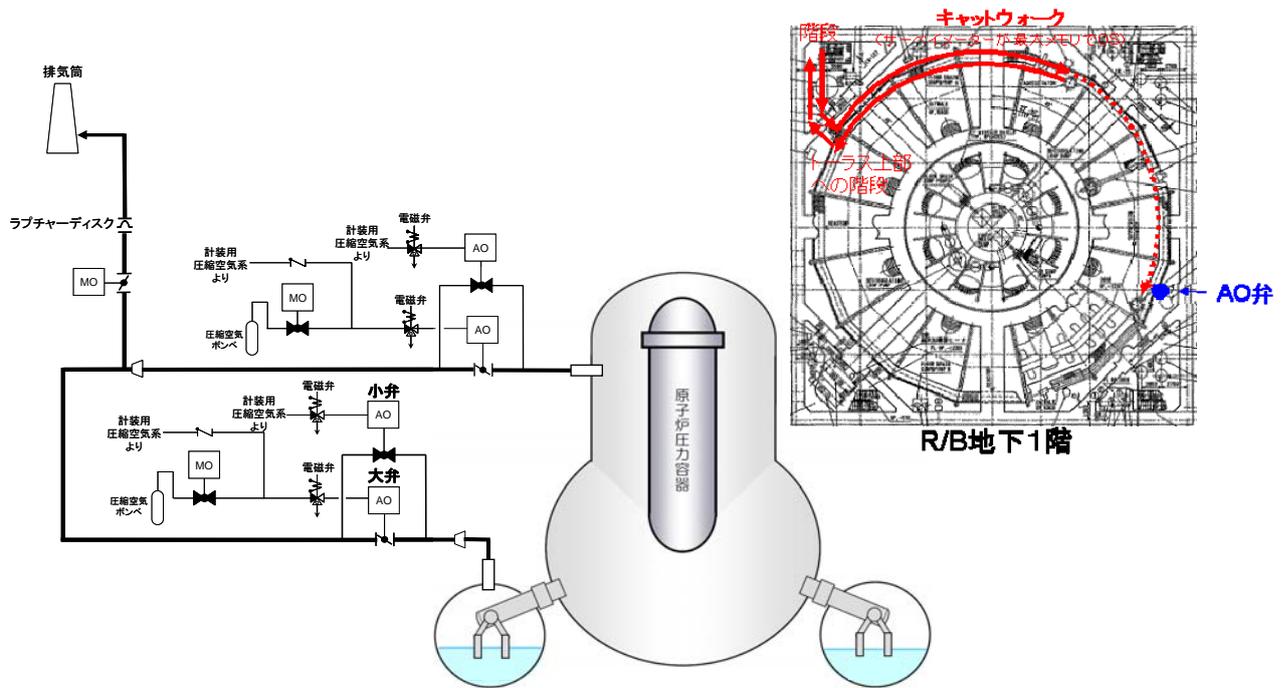
⑤ 12日8時30分頃～12日19時頃

格納容器ベントの準備が完了、住民避難状況を確認し高放射線環境の中、ベント操作を開始、ドライウェル圧力の低下を確認。消防車による淡水の注入を継続する一方、海水注入の準備を開始するとともに、ほう酸水注入系の電源復旧を進めていたところ、1号機原子炉建屋で爆発発生。電源復旧による注水が困難となり、かつ、海水注入準備に手戻りが生じたが、12日19時頃から海水注入を開始した。

<格納容器ベントの開始>

- 12日8時03分、発電所長よりベント操作は9時を目標とするよう指示が出された。
- 消防車による原子炉への注水が継続的に行われるようになる中、格納容器ベントによる周辺住民への影響を考え、住民避難の状況を確認する必要があった。発電所対策本部は、避難指示の出ている3km圏内の避難状況の確認に加え、風向を考慮して、発電所南側近傍の大熊町（熊地区の一部）の住民の避難状況を大熊町役場に派遣していた当社社員に確認し、一部が避難出来ていないことを12日8時27分に確認。12日8時37分、福島県へ9時ベント開始に向けて準備していることを連絡し、避難状況を確認してからベントすることで調整。12日9時02分、大熊町（熊地区の一部）の避難ができていることを確認した。
- 12日9時04分にベントの操作を行うため第1班の運転員が耐火服とセルフエアセット、APD（警報付きポケット線量計）を着用して、暗闇の中、懐中電灯を持って現場へ出発。原子炉建屋2階南東階段上3mの高さの位置にある電動弁を、9時15分に手順通り25%開とした。
- 12日9時24分、第2班の運転員は原子炉建屋地下1階にある空気作動弁を開操作するために現場へ出発したが、トラス室内の通路（キャットウォーク）を半分程度進んだところで持っていた線量計が振り切れ、現場の放射線量が高く被ばく線量限度である100mSvを超えるおそれが出てきたため、引き返した。第3班は、現場の放射線量が高かったため作業を断念した。





- ・ これを受け、発電所対策本部では、仮設空気圧縮機の手配や接続箇所を検討を開始した。また、空気作動弁の小弁の空気の残圧に期待して、10時17分、23分及び24分の3回、中央制御室で開操作（電磁弁の励磁）を実施した（開となったかどうかは確認できず）。
- ・ 12日10時40分、正門付近及びモニタリングポスト付近の放射線量の上昇が確認されたことから、発電所対策本部では格納容器ベントによる放射性物質の放出である可能性が高いと考えたが、11時15分には放射線量が低下したことから、ベントが十分効いていない可能性があることを確認した。
- ・ 発電所対策本部は、仮設空気圧縮機を手配、接続箇所を確認した上で仮設空気圧縮機を設置し、14時頃に起動した。14時30分にドライウェル圧力の低下を確認、ベントによる「放射性物質の放出」と判断した。【添付8-3, 4】

<海水注入に向けた準備、電源復旧の中、原子炉建屋の爆発発生>

- ・ 防火水槽を水源として淡水注入を継続していたが、防火水槽の淡水確保には限りがあることから、12日昼頃に発電所長は、本店対策本部長である社長の確認・了解を得た上で海水注入の準備を指示した。自衛消防隊は、発電所長の指示を受け、海水注入の準備を並行して進めた。構内道路の状態や1号機との距離などから判断し、海から直接取るのではなく、津波により海水が溜まっていた3号機逆洗弁ピットを水源とした注水ラインとすることとした。
- ・ 12日14時54分頃、発電所長から原子炉への海水注入を実施するよう指示が出された。
- ・ 発電所対策本部は、1号機防火水槽内の淡水が無くなってきたことから、他の防火水槽等から淡水の搬送を急ぐとともに、海水注入に切り替える作業を進めた。また、ほう酸水注入系の電源復旧を進めた。
- ・ 12日15時36分、原子炉建屋上部で水素爆発が発生し、屋根及びオペレーティングフロア（最上階）の外壁が破損した。この爆発により、海水注入のためのホースやほう酸水注入系の電源ケーブルが損傷し、現場からの退避、安否確認が実施され、

現場の状況が確認されるまで復旧及び準備作業が中断した。

<海水注入の開始>

- ・ 12日17時20分頃、現場確認を開始。海水注入のためのホースの引き直し等の準備を再開した。海水注入のために準備していたホースは損傷し使用不可能な状況であった。また、1号機付近は、1号機原子炉建屋の鉄板など、放射線量の高い瓦礫が散乱していた。散乱していた瓦礫を片付け、ホースをかき集め再敷設の作業を進めた。
- ・ 海水注入のラインナップを行っている中、18時05分、経済産業大臣から海水注入を行うよう法令に基づく命令が口頭で出されたことが、TV会議で共有された。(その後命令文書を受領)
- ・ 海水注入のラインナップが完了し、19時04分に消防車による海水注入を開始した。また、19時06分頃、注入を開始したことについて原子力安全・保安院に連絡した。
- ・ 19時25分、当社の官邸派遣者からの状況判断として「官邸では海水注入について総理の了解が得られていない」との連絡が本店と発電所の対策本部にあり、本店と発電所で協議の結果、いったん注入を停止することとした。(本件に関して、武黒フェローから発電所へ直接連絡があったことについても、複数の証言が得られているが、証言以外に連絡の事実を示すものは確認できていない。)
- ・ 武黒フェローは、18時頃に始まった1回目の説明において、菅総理が海水注入に伴う影響についての懸念を述べたり、現場準備状況を細部まで質問しているので、菅総理の納得を得ない限り次に進むことはできないと受け止めた。特に、海水注入によって、再臨界が起きないことの説明を強く求めており、関係者は2回目の説明のために改めて準備を進めることとした。¹
- ・ 官邸内のこのような状況も踏まえ、原子力災害対策本部の最高責任者である総理の了解なしに現場作業が先行してしまうことは今後ますます必要な政府機関との連携において大きな妨げとなること、また、再臨界の恐れがないことの説明さえできれば、短時間の停止で済むと考えられたことから、注水を一旦停止することを進言したということである。
- ・ 本店対策本部は、原子力災害対策本部の本部長である内閣総理大臣のもと、原子力安全委員会の助言も得ながら海水注入の是非についての検討が続いている状態であり、総理の了解を得ずに海水注入を実施することが難しいと考えた。また、当時の官邸に派遣していた者の説明で短期間の中断となる見通しと考えていた。
- ・ しかし、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であると考えた発電所長の判断で、実際には、海水注入は継続された。

¹ 菅総理自身が納得しないと進めないということは、17時55分に海江田大臣から海水注入の指示が出ているにもかかわらず、2時間後の19時55分に菅総理から改めて海水注入指示が出ていることから推測される。(詳細時系列は平成23年6月10日に政府・東京電力統合対策室から出された「3/12の東京電力福島第一1号機への海水注入に関する事実関係(再訂正版)」参照)

福島第一号機 注水に関する主な経緯(津波襲来以降)

3月11日

15:42 原災法10条事象発生(全交流電源喪失)
 16:36 原災法15条事象発生(原子炉水位が確認できず、注水状況が不明なため、非常用炉心冷却装置注水不能) →16:45 通報
 16:45 原子炉水位を確認 →16:55 原災法15条事象の解除を通報
 17:07 原子炉水位を再度確認できなくなる →17:12 原災法15条通報

計器類の確認・復旧作業

16:42 炉水位 TAF+2500mm相当

20:07 現場圧力計確認 炉圧 6.9MPa

21:19 水位計復旧 (バッテリー2個持込) 炉水位 TAF+200mm

非常用復水器(IC)操作

18:18 開操作
 18:25 閉操作 (ラインナップ作業)

21:30 開操作

17:12 消火系及び消防車を使用した注水方法の検討開始を所長が指示

17:30 D/D FP起動、CS「切」保持

20:50 D/D FP起動 炉圧高く待機状態

海水注入

消防車・水源・注水ラインの確認、消防車の追加手配等

ホウ酸水(SLC)注入

・電源車手配
 ・電源盤の状況確認、絶縁測定等

2号機のP/Cを介して電源車により電源復旧検討

電源車到着

12日

2:30 原子炉水位 (A)+1300mm (B)+500mm

2:45 炉圧0.8MPa

炉圧一定 原子炉水位低下

※ 高圧注水系は、制御盤の表示灯が消灯したため、起動不能と判断

1:25頃 待機中のD/D FP 運転状態確認

1:48 燃料切れ確認

軽油補給・バッテリー交換作業

12:53 D/D FP 作業完了

12:59 D/D FP 起動できず

13:21 セルモータ地絡、起動不可

4:00頃 消防車による淡水注入開始

14:53 約8万リットル淡水注入完了

所長が海水注入の準備を指示

・海水取水場所検討
 ・消防車配置検討
 ・ホース引き回し

14:54 所長が海水注入の実施を指示

・ケーブル敷設作業
 ・ケーブル端末処理

・ケーブルつなぎこみ
 ・高圧電源車へ接続

15:30頃 注入準備作業完了

<劣悪な作業環境>

- ・暗所作業
- ・緊対室との通信手段なし
- ・障害物散乱
- ・マンホール蓋欠落
- ・余震による作業の中断
- ・線量が高く、防護服を着た作業で、交替が必要

15:36 1号機 水素爆発
 けが人発生、爆発の影響調査のためのサーベイ・現場確認等を実施
 爆発により海水注入ライン及びSLC電源ケーブル損傷

・線量の高い瓦礫の片づけ
 ・ホースの収集・再敷設

19:04 消防車による海水注入開始

福島第一号機 ベントに関する主な経緯(津波襲来以降)

<p>3月11日</p>	<p>15:42 原災法10条事象発生(全交流電源喪失) 16:36 原災法15条事象発生(非常用炉心冷却装置注水不能)</p> <p>【プラント挙動】 21:51 原子炉建屋の線量上昇 23:00 原子炉建屋二重扉前線量上昇 23:50頃 D/W圧力が600kPaであることを確認</p>	<p>【ベントの検討・操作】 ベントに向けた事前準備を開始 ・AM操作手順書、バルブチェックリストの確認 ・電源がない場合のベント操作手順の検討</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p>発災直後からベントの必要性を認識し、事前準備</p> </div>
<p>12日</p>	<p>2:30 D/W圧力が840kPaに到達したことを確認</p> <p>(その後、750kPa前後で、圧力安定)</p> <p>5:44 国が半径10km圏内の住民に避難指示</p> <p>10:40 正門、MPの線量上昇 11:15 線量が低下</p> <p>14:30 D/W圧力低下</p>	<p>0:06 D/W圧力が600kPaを超えている可能性がありベントの準備を進めるよう発電所長指示 弁の操作方法や手順など具体的な手順の確認を開始</p> <p>1:30頃 ベントの実施を国に申し入れ・了解</p> <p>2:24 ベントの現場操作に関する作業時間の確認(緊急時対応の線量限度で17分の作業時間)</p> <p>3:06 ベント実施に関するプレス会見 3:44 ベント時の周辺被ばく線量評価を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋二重扉を開いたら白い“もやもや”。線量測定できず ・中央制御室では、弁の操作の順番等を、繰り返し確認。 <p>作業に必要な装備を可能な限り収集。</p> <p>4:39 80mSvセットのAPDが中央制御室に届く 6:33 地域の避難状況確認(大熊町から移動を検討中) 8:03 ベント操作を9:00目標で行うよう発電所長指示 8:27 発電所南側近傍の一部の地区が避難できていないとの情報 9:02 発電所南側近傍の地区が避難できていることを確認</p> <p>9:04 ベントの操作を行うため運転員が現場へ出発 (9:15に第1班がPCVベント弁(MO弁)開、第2班が現場へ向かうが線量が高くS/Cベント弁(AO弁)小弁開できず)</p> <p>10:17~S/Cベント弁(AO弁)小弁の遠隔操作実施(3回:開となったか不明)。並行して仮設空気圧縮機の接続箇所検討 12:30頃 仮設空気圧縮機確保、ユニック車を用いて移動。接続用アダプタの搜索 14:00頃 仮設空気圧縮機を原子炉建屋大物搬入口外に設置・起動</p> <p>14:30 ベントによる「放射性物質の放出」と判断</p> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p>D/W圧力が高まったためベントの準備を開始し、ベントを国に申し入れ</p> </div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p>手動での手順の確認 作業時間の確認 周辺被ばく線量の評価 現場の線量確認</p> </div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p>住民避難を考慮する必要があり、避難状況を確認</p> </div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p>高線量、暗闇、通信機能を喪失した中での作業</p> </div>

(3) プラントの動き

①解析による事象進展の評価

事故時の福島第一1号機の原子炉水位、原子炉圧力、格納容器圧力などに関する実機計測値（実際に計測された値）をもとに、事故解析コード（MAAP）を用いて事象進展を評価した結果を以下に示す。

<原子炉圧力及び格納容器圧力の動き>

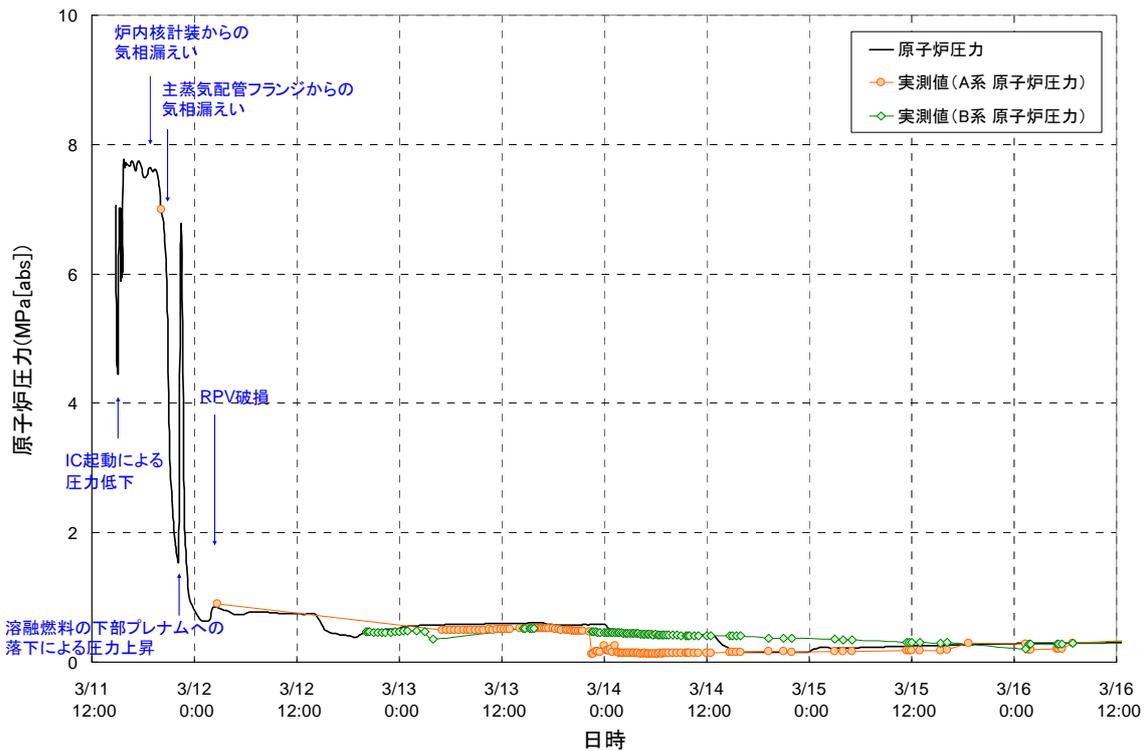
原子炉圧力の実機計測値は、3月11日20時頃に7.0MPa [abs]、12日2時45分には0.9MPa [abs]を示しているが、当社が平成23年5月に公表したMAAP解析では、12日5時頃に圧力容器が破損することにより圧力容器が減圧される結果となっており、実機計測値を再現できていなかった。そこで、炉内構造物の配置や機器の設計情報等について検討し、炉心が露出し、燃料が過熱・熔融することや、これに伴い炉内温度が上昇することにより、原子炉圧力容器から格納容器ドライウェルへの気相漏えいが発生する可能性が考えられたため、以下に示す最新の解析（平成24年3月公表）においてはこれを解析上の仮定¹として設定した。

なお、非常用復水器については、前節で述べた通り津波到達以降、二度にわたりA系の外側隔離弁を開操作しているが、解析では以下の理由により、津波到達以降、非常用復水器は動作していないものと仮定している。

- ①内側隔離弁の開閉状態が不明であること。
- ②燃料の過熱に伴う水-ジルコニウム反応により発生する水素が、非常用復水器の冷却管に滞留することで、非常用復水器の除熱性能は低下すること。
- ③原子炉圧力は、遅くとも実測値の低下が確認された12日2時45分までには低下しており、圧力の低下により原子炉で発生した蒸気の非常用復水器に流れ込む量が低下することで、非常用復水器の除熱性能は低下すること。

原子炉圧力容器の気相漏えいの仮定により、地震発生（11日14時46分）から約5時間後に原子炉圧力（解析値）は低下を始め、最終的に低い圧力で維持される結果となり、実機計測値を再現した。ただし、実機計測値を再現する気相の漏えい経路は複数考えられることから、原子炉圧力容器破損前に気相漏えいが発生した可能性は高いものの、かならずしも、今回採用した漏えい発生規模・タイミングが実機の動きと一致しているわけではないと考えられる。なお、地震発生から約8時間後に解析の原子炉圧力にピークが見られるが、これは炉心支持板の破損によって熔融燃料が下部プレナムへ落下するというMAAPで採用しているモデル上の仮定に基づき生じているものであり、実現象を反映したものではないと考えられる。

¹ 被覆管破損後に原子炉冷却材圧力バウンダリの一部を構成する核計装管の損傷を想定した気相漏えいが生じたと仮定（漏えい面積：約0.00014m²）。また、圧力容器内のガス温度が450℃到達後に、主蒸気配管等のフランジ部（ガスケット）から気相漏えいが発生すると仮定（漏えい面積：約0.00136m²）



1号機 原子炉圧力変化

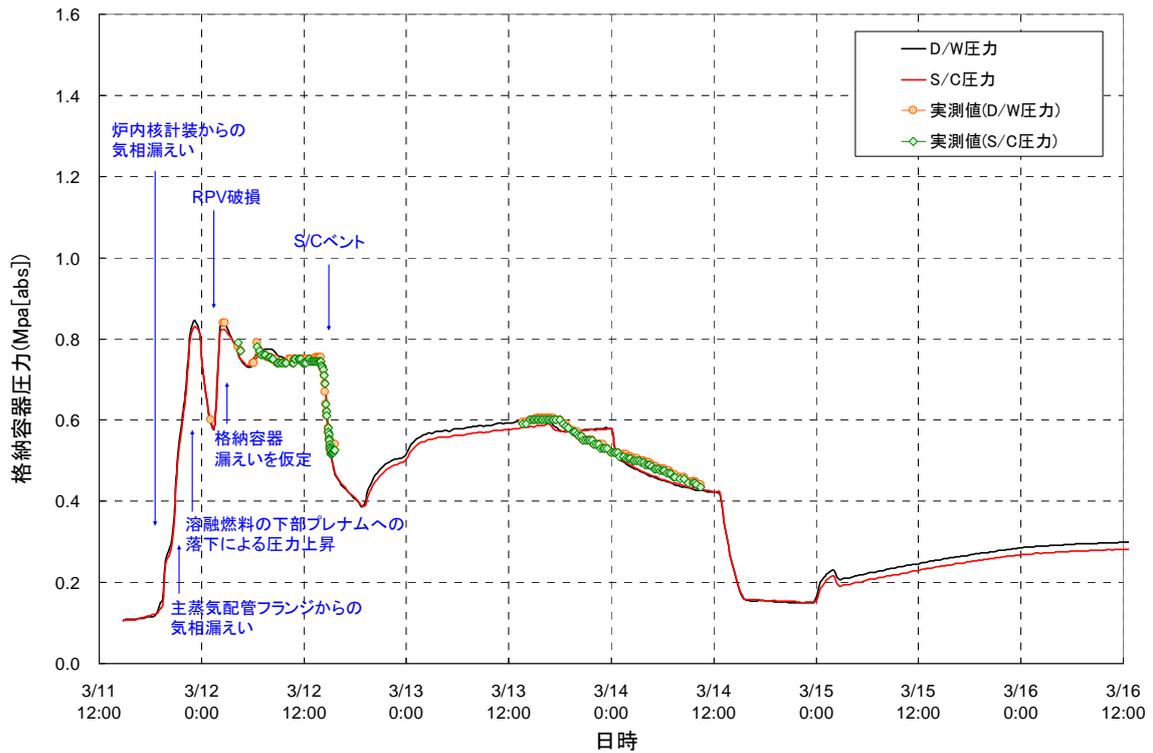
格納容器圧力の解析値は、仮定した圧力容器からの気相漏えいに伴って上昇する。

その後もこの気相漏えいが継続するため、格納容器圧力が上昇していくが、原子炉圧力が十分に低下した後、圧力抑制室による凝縮の効果により格納容器圧力は減少に転じる。

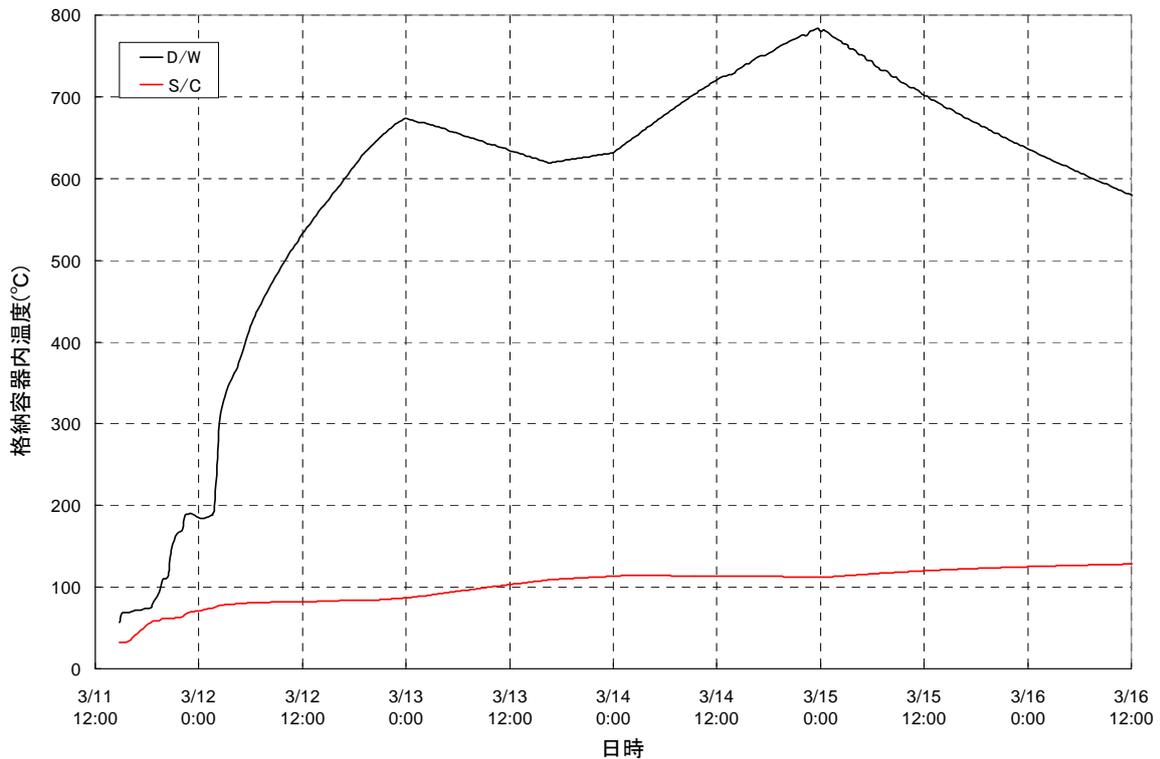
地震発生から約11時間後に圧力容器が破損し、格納容器圧力が再度上昇するが、実機計測値は約0.8 MPa [abs]の一定レベルを維持していること、解析結果から格納容器内の温度が上昇していると考えられることから、このとき、格納容器からの漏えいが発生していたと想定される。

以上のように原子炉圧力容器から格納容器ドライウェルへの気相漏えいを仮定することで、解析値は、原子炉圧力及び格納容器圧力の実機計測値をよく再現することとなることから、実機において圧力容器破損前に圧力容器から格納容器ドライウェルへ気相漏えいが生じていた可能性が示唆された。

¹ 解析では、格納容器内温度が300℃に到達した時点で過温漏えいを仮定（漏えい面積：約0.0004m²）。また地震発生から約50時間後、70時間後にそれぞれ格納容器の気相部の漏えい面積の増加（0.0008m²、0.004m²）を仮定



1号機 格納容器圧力変化

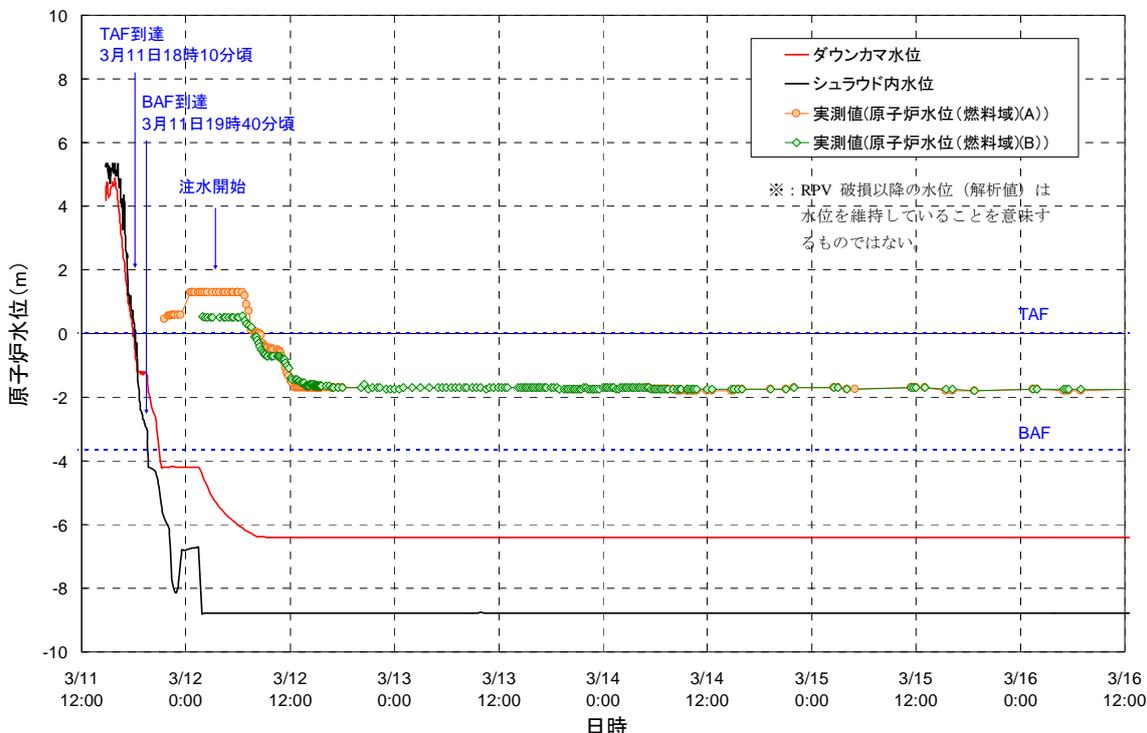


1号機 格納容器内温度変化

<原子炉水位の動き>

原子炉水位の解析値は仮定した非常用復水器の停止後、蒸発した原子炉冷却材が主蒸気逃がし安全弁から圧力抑制室へ排気され、水位低下が始まる。原子炉水位が有効燃料

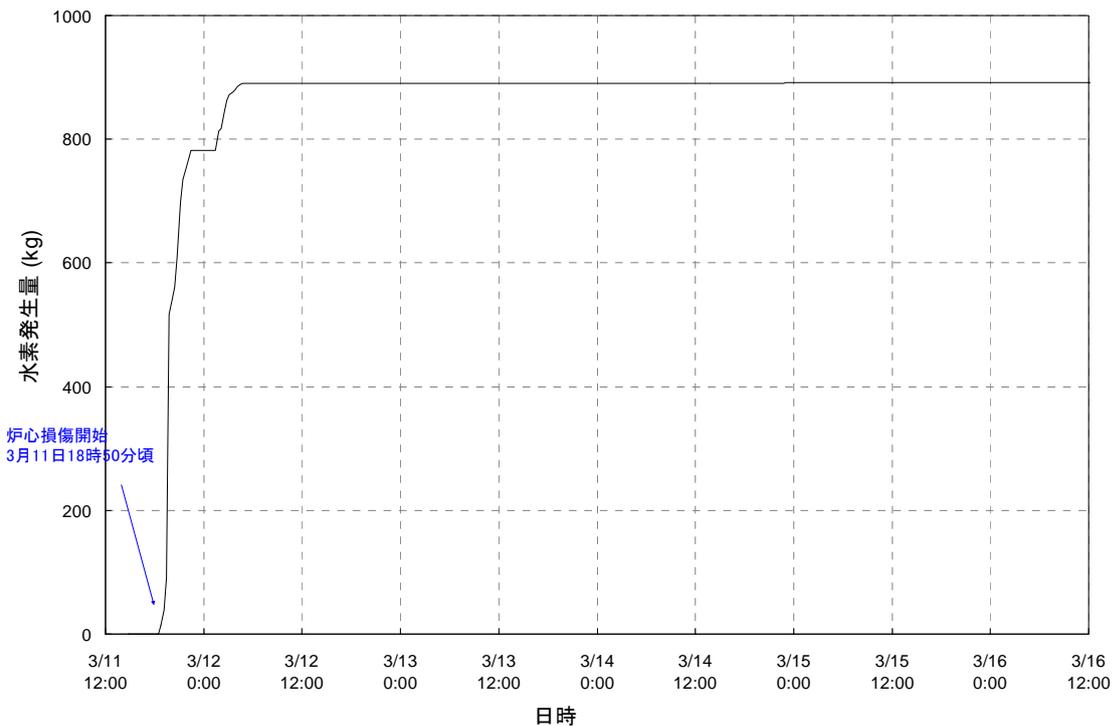
頂部（T A F）に到達する時刻は、地震発生から約3時間後であり、炉心損傷が開始する時刻（燃料最高温度の解析値が1200℃を超えた時刻）は、地震発生から約4時間後である。その後さらに原子炉水位は低下し、地震発生から約5時間後には有効燃料底部（B A F）に到達する。なお、水位の実機計測値については、前節で述べた通り正しい値を示していないと考えられる。



1号機 原子炉水位変化

<水素発生量について>

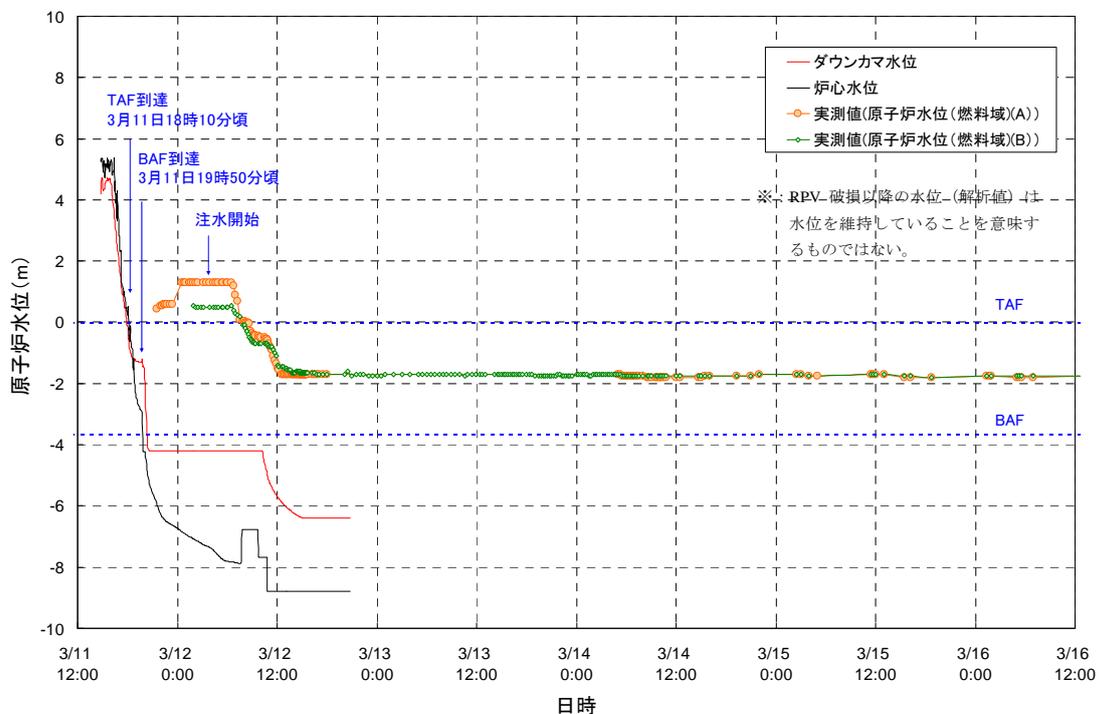
炉心損傷が始まるなど、燃料温度が上昇することに伴って、水-ジルコニウム反応等により非凝縮性ガスである水素が発生する。なお、原子炉建屋で水素によるものと考えられる爆発が発生した12日15時36分までの水素発生量は、約890kgである。



1号機 水素発生量変化

<非常用復水器の動作に関する感度解析について>

パラメータ・スタディとして、非常用復水器が津波到達以降も一時的に動作¹していたものとした場合の感度解析を行ったところ、炉心損傷や炉心溶融のプロセスが若干遅れる程度の影響はあるものの、最終的な炉心の状態が有意に変わる結果とはならなかった。



1号機 原子炉水位変化（非常用復水器が一時的に機能していたと仮定）

¹ 津波到達以降、片系の非常用復水器が3月11日18時18分～25分の間で動作、同日21時30分から胴側水位が65%（平成23年10月18日の現場調査の結果明らかになったA系胴側水位）に至るまで動作していたと仮定した解析を実施

②プラントパラメータの動きに関する評価

1号機の事故発生時の原子炉水位、原子炉圧力、ドライウェル圧力等のプラントパラメータの推移を【添付8-5】に示す。プラントパラメータから確認できる特徴として以下のポイントがあげられる。なお、《A》等の記号は、添付資料中のグラフの着目点を示す。

- 11日16時42分から17時頃にかけて、それまで見えなかった原子炉水位（広帯域）が一時的に確認できるようになり、津波襲来前に確認されていた水位より低下していることを確認したが、その後は、津波の影響により、プラントパラメータが得られない状態が続いていた。11日20時頃、原子炉圧力が定格圧力付近にあることを確認できているが、原子炉水位は不明であり、炉心の状態は把握できていなかった。なお、この段階では原子炉冷却材圧力バウンダリは健全であった可能性も考えられるが、解析ではこの頃には既に炉心が損傷しており、微少な気相漏えいが発生している可能性も考えられる。《A》
- 同日21時19分に原子炉水位（燃料域A系）の指示が得られ、有効燃料頂部（TAF）を若干上回るレベルであったため、この時点では炉心が健全であると考えていた。その後、23時にはタービン建屋1階原子炉建屋二重扉前の線量の上昇が確認され、炉心の状態に疑義を抱かせる状態となったが、原子炉水位は特に変化が見られず、有効燃料頂部以上を指示していた。《B》
- 津波発生からおよそ8時間半後の11日23時50分頃、津波後初めてドライウェル圧力が測定できたが、その時点で既にドライウェル圧力は設計圧力を大幅に超えており、原子炉建屋内の線量が増加していた状況も踏まえると、この時点では既に炉心損傷が発生していた可能性が高い状態となっていた。《C》
- 原子炉水位計を仮復旧してからこの時点までの原子炉水位の指示は継続して有効燃料頂部以上で安定している。その後も水位指示値は安定していたものの、この状態は上述した建屋内の線量やドライウェル圧力などから推察されるプラント状況と矛盾しており、津波発生からおよそ6時間後の11日21時台に仮復旧された水位計で測定された原子炉水位は、プラントパラメータやプラント状態に即しておらず、正しい値を示していない状態にあったと考えられる。《B》
- 原子炉水位計は原子炉内の水頭と原子炉の外に設置された凝縮槽の基準水面の水頭との差圧から水位を計測するものである。炉心損傷による温度上昇で基準水面側が蒸発して低下すると実際の水位と異なった値を示すが、5月11日に校正作業を行ったところ、燃料域内に水位がないことが判明しており、実際に蒸発していた可能性が高い。したがって、炉心損傷後に測定された水位は信頼性が低く、解析による水位の方が実態に近かったものと考えられる。
- 原子炉圧力は、12日3時頃には1MPa [abs]以下に減圧されており、この間、原子炉の減圧操作を行っておらず、何らかの理由で原子炉冷却材圧力バウンダリから格納容器への漏えいが生じたと考えられるが、その経路については明確ではない。この格納容器への漏えいが、先に測定されているドライウェル圧力の増大につながったと考えられる。《A》、《C》、《D》
- 以上の状況から、津波直後のプラントパラメータの測定が困難である間に事象が進展していたと考えられる。《E》

- ・ ドライウェル圧力は12日2時過ぎに約0.8 MPa [abs] のピークを示して以降、増加することなく、ほぼ横ばい、若しくは若干の低下傾向が見られており、この段階で、格納容器から放射性物質及び炉心の水—ジルコニウム反応等で生じた水素を含むガスが漏えいしていたと考えられ、このことが4時過ぎの発電所構内の線量上昇につながったものと推定される。
- ・ 12日4時頃にアクシデントマネジメント策である消火系ライン経由で消防車を利用し、原子炉への淡水注入を開始した。このときは既に炉心の損傷が進んでおり、炉心損傷を防止できなかったものの、この操作（作業）は、その後の進展の抑制に寄与したものと考えられる。
この頃には、炉心損傷に伴い、大量の水素が格納容器内に充満しており、格納容器圧力や温度が高かったことから、原子炉建屋に放射性物質及び水素が漏えいしたものと推定される。《F》
- ・ 格納容器内の圧力を低下させるため、圧力抑制室ベントの操作を実施し、12日14時過ぎに格納容器内の圧力低下が確認されたことから、ベントは成功したものと判断された。《G》
- ・ その後、12日15時36分、原子炉建屋が爆発したが、これは、炉心損傷等に伴い発生した水素が原子炉建屋に蓄積し、何らかの理由で着火したことで発生したものと考えられる。

③非常用復水器に関する考察

前項に示すプラントの事象進展の経緯を踏まえると、炉心の損傷は津波到達以降、短時間で進展していると考えられ、停止後の初期段階において原子炉の冷却を行う設備である非常用復水器の状態が事象進展に影響を与えた可能性が考えられる。

非常用復水器に関する3月11日の初動における操作状況は「(2) 対応状況詳細」で述べた通りであるが、以降の経緯は以下の通りである。

参考：非常用復水器の概要（構成は【添付8-6】参照）

- ・ 非常用復水器は原子炉が隔離された際に原子炉を冷却するもので、原子炉から蒸気を取り出し、非常用復水器内に貯めた冷却水と熱交換することで蒸気を冷却し、凝縮水を原子炉に戻す設備で、福島第一1号機のみ設置されている。なお、原子炉への注水機能を持つものではない。
- ・ 非常用復水器は、2系統（A系、B系）設置されており、原子炉の蒸気が循環する配管は4つの弁で構成されている。これらの弁は、非常用復水器入口側と出口側で格納容器を挟む形で各2弁ずつ設置されており、格納容器内側2弁は交流電源で駆動、外側2弁は直流電源で駆動する。
- ・ 通常、非常用復水器出口側にある格納容器外側の1弁（3A弁、3B弁）が閉まっており、残りは全開した状態で待機している。非常用復水器の起動・停止は、この3A弁、3B弁を開閉することによって行う。
- ・ 原子炉圧力は、当該弁を開閉操作して断続運転を行うことで制御される。
- ・ また、非常用復水器の破断検出（制御電源喪失も含む）がなされた場合、両系統の4つの弁の全てに閉止動作を要求するインターロックが働き、弁の駆動用モーターが回転して弁を閉止する。
- ・ 以上は、国内外で非常用復水器を持つプラント（非常用復水器が1系統のみの場合もある）の多くで採用されている形式である。
- ・ なお、1号機の非常用炉心冷却系（ECCS）は、「炉心スプレイ系」と「高圧注水系」であり、この内、「高圧注水系」は、非常用復水器と同様、直流電源のみで運転制御が可能である。

<非常用復水器に関する操作経緯：3月11日以降>

3月29日；非常用復水器の胴側水位計の復旧

非常用復水器の胴側水位計を復旧した。

4月1日；非常用復水器の弁の制御回路による弁開閉状態の確認

復旧作業の一環として非常用復水器の弁の制御回路の導通状態から弁の開閉状態の確認を実施した。格納容器の内側の弁については、事故時の加熱等の影響もあり確認できなかったが、格納容器の外側の弁については開閉状態を判定することができた。非常用復水器(A系)の3A弁、2A弁は開状態、非常用復水器(B系)の3B弁、2B弁は閉状態であった。

4月3日；非常用復水器、胴側水位の確認

中央制御室で非常用復水器の水位計の指示値を確認したところ、A系63%、B系83%であった。

10月18日；現場調査

現場における目視確認によって、非常用復水器の格納容器外側の状態を確認した。本体、主要配管に破損は認められず、弁状態は4月1日の回路調査の結果と同様であった。なお、非常用復水器の現場水位計がA系65%、B系85%であることが確認され、同じ日に中央制御室で確認した計器指示値と一致することが確認された。

以下に、これまで述べた経緯と解析結果を踏まえた考察を記す。

<非常用復水器の地震直後の動作に関する評価>

「6.2 地震発生直後のプラント状況」で述べた通り、手順書で原子炉圧力容器保護の観点から原子炉冷却材温度降下率が55℃/hを超えないよう調整することとしており、また、手順書に基づき手動で適切な圧力制御を行っていることから、設備・操作ともに問題はなかったと考える。

<津波襲来後の非常用復水器の弁の状態>

津波襲来時までの操作経緯及び原子炉圧力の記録紙等の分析結果からは、津波襲来時非常用復水器(A系)の弁の状況は、3A弁閉、その他の3つの弁は全開であったと考えられる。B系については、待機状態であったことから3B弁が閉であり、その他の3つの弁は全開であった。津波襲来によって、交流電源と直流電源の全てが失われたため、以後、電動駆動である非常用復水器の弁は操作できなくなった。

また、A系については、直流電源が復帰し、18時18分に操作していない2A弁が全開であったことが確認されている。また、B系についても、4月1日に行った弁の回路調査結果から同じく操作をしていない2B弁が全閉である事が確認された(このことは10月18日に現場の当該弁の開度計によっても確認されている。)。以上の通り、2A、2B弁ともに、津波到達前には開の状態であり、その後に操作していないにもかかわらず閉となっていたことが確認された。

2A弁、2B弁の動作については、過渡現象記録装置の開閉記録から最初の停止操作

の時点まで確認できたことから、運転員が誤って操作した可能性は考えられない。一方、ロジック回路の構成から、ロジック回路の直流電源が喪失した場合には、インターロックが作動し、非常用復水器 1 系統あたり 4 弁あるすべての弁が両系統ともに自動的に全閉動作する仕組みとなっている。今回の場合、津波によってロジック回路の直流電源が喪失し、当該インターロックにより弁の閉動作要求が働いたと考えられる。【添付 8 - 7】

なお、ロジック回路も弁の駆動機構も同じ直流電源母線にぶら下がる分岐先の端末の機器であり、直流電源喪失によるインターロックによって弁の閉動作要求が働いたとしても、弁の駆動用電源が喪失していれば弁を動作させることができず開閉状態に変化は生じないこととなる。しかし、上述のとおり、操作を行っていない 2 A 弁、2 B 弁ともに実際に閉止動作していたことが確認されていることから、何らかの理由によって、直流電源の分岐先であるロジック回路と弁駆動機構のそれぞれの直流電源喪失に時間的な相違があり、駆動電源が後に残っていた結果と考えざるを得ない。

弁の全開から全閉までの動作に要する時間は、格納容器外側弁は 15 秒以内、格納容器内側弁は 20 秒以内である。津波による被水で直流電源が喪失したが、計測用の直流電源が津波浸水によって影響を受け、インターロックが作動してから、動力用の直流電源が喪失するまでの間に時間差があれば弁は自動的に閉動作することができる。

閉動作中に動力用の直流電源が喪失した場合は中間開度となるが、前述の通り、2 A 弁、2 B 弁は全閉であることが確認できているため、今回の事故の場合では、津波の浸水により電源盤が被水したことで、非常用復水器の弁へ隔離信号が入り、結果的には動力用の直流電源が喪失する前に自動で全閉した蓋然性は高い。

ロジック回路と弁駆動機構の直流電源喪失に時間的な相違があった理由としては、直流電源盤に浸水が生じた際に電源盤の部分ごとの浸水影響が厳密には同時でなかったこと等が推定される。

また、格納容器内側の弁は動力が交流電源であるが、これらの弁は制御用の直流電源と交流電源の喪失したタイミングの前後関係によって開閉状態が定まることとなる。格納容器内側弁の開閉状態を特定することはできないが、全開から全閉までのすべての可能性があり得る。

したがって、直流電源を含む全電源が喪失した後の非常用復水器の弁の開閉状態は、ロジック回路と弁駆動電源喪失の前後関係という偶然的要素に依存して決まったと考えられる。電源喪失で弁の駆動電源が喪失すれば実動作しないので、全電源が喪失したということだけで、インターロックで弁が動作したとは、その時点では分からないことであった。

今般の事象は、津波浸水により非常用復水器の交流電源や直流電源の全てが喪失するという設計前提を大きく外れた特異な状況下で生じた現象と言える。結果論ではあるが 2 A 弁、2 B 弁が閉止していたということは、3 A 弁や 3 B 弁の津波前の開閉状態によらず津波後には非常用復水器は停止していたということを意味する。そして、弁の駆動電源を失っていることから、非常用復水器は停止状態のまま操作不能となり機能を喪失する結果となった。

【添付 8 - 8】

<炉心損傷との関連について>

非常用復水器は、津波に起因する電源喪失によって、操作できなくなって、その機能を喪失した。事故解析コード(MAAP)の解析結果によれば、崩壊熱が大きい原子炉停止直後であったため、短時間で原子炉水位が低下、炉心の露出(地震発生から約3時間後、有効燃料頂部へ到達)に至ったと考えられる。

その後、非常用復水器(A系)の直流電源が復帰し、18時18分、非常用復水器(A)の隔離弁(3A弁、2A弁)を開けたところ、蒸気が発生したことが確認されたが、その後、蒸気発生は停止した。このため18時25分に3A弁を閉止している。事故解析コード(MAAP)の解析結果から、この時点では既に炉心は露出しており、かつ、非常用復水器も事実上機能していない状態である。18時25分以降の非常用復水器の運転継続の有無に関わらず結果的には炉心は損傷するに至ったものと考えられる。

<津波後の内側隔離弁の状態の推定>

10月18日に非常用復水器の現場確認を行い、現場に設置されている水位計によってA系65%、B系85%の水位であることが確認された。一方、中央制御室の指示計も同じ値であることが確認された。

中央制御室の水位計で読み取った非常用復水器の水位は現場の指示値と一致していることから、データ伝送は正確に行われていたと考えられる。このことから、過去に読み取った中央制御室での指示値も現場計器の出力を示していたと考えられる。

したがって、4月3日に確認した中央制御室の指示値(A系63%、B系83%)も現場計器の指示を反映したものと考えられる。これらの値は、10月18日の現場確認で確認された水位と異なっているが、4月以降、何らかの理由で計器指示値が2%程度変動したものと思われる。

非常用復水器は、津波後の18時18分から18時25分までの間、及び21時30分以降は3A弁が開けられている。計器指示値の誤差等もあり厳密な推計は困難ではあるが、A系の水位計が示している水位からは、地震から津波襲来までの原子炉の発熱量に相当する水量以上の水を消費していると評価される。したがって、A系の内側弁は開度の特定はできないが開いていると考えられる。津波後の非常用復水器運転時にある程度の除熱が行われており、その結果として、指示値65%水位まで減少したものと考えられる。

このことは、18時18分及び21時30分に非常用復水器の3A弁を開けた際に非常用復水器ベント管から蒸気が発生したとの聞き取り結果とも整合する。

しかしながら、胴側に相当量の水量が残っていることが示す通り、この時点においてはA系の非常用復水器による除熱は、結果として限定的なものであったと考えられる。

【添付8-9】

(4) まとめ

①指揮・命令系統について

(当社は、格納容器ベントや海水注入をためらったのではないか、という疑問について)

発電所対策本部では、発電所長が原災法第10条、15条発生の通報連絡を行っている。また、通信手段が限定されていく中、「⑤発電所・本店対策本部における非常用復水器の動作状況に対する認識について」で述べる通り情報共有の困難さがあったものの、その時点で確認できる情報の中で発電所対策本部は発電所長の指示に基づき電源復旧、格納容器ベントや原子炉代替注水に向けた活動を行っていた。

一方、中央制御室では、動かせる設備、確認できる計器がほとんどなく、現場との通信手段もない作業条件の中で、当直長は注水と格納容器ベントに必要な活動を進めており、事故収束に向けた対応を行っていた。また、その状況については唯一の通信手段であるホットラインを通じて逐次、発電所対策本部へ報告していた。

これらのことから、結果的に炉心損傷に至ったものの、発電所長、当直長がその時々プラント状態に応じた指示を出し、本店対策本部を含め、懸命に事故収束に向けた対応をしていたものと考えられる。

海水注入の実施にあたっては、当社の官邸派遣者からの連絡により本店対策本部はやむを得ず中断の判断を行っている。これは、事故の応急復旧に対する責任者である発電所対策本部長（発電所長）の判断を超えて外部の意見を優先し、現場を混乱させた事例であり、**現場から離れた官邸や本店対策本部による発電所支援、応急復旧作業に関する指揮・命令系統のあり方について検討する必要がある**と考えられる。

これらに関して具体的に確認された事実は以下のとおりである。

<通報連絡とアクシデントマネジメント対応>

発電所長は、全交流電源喪失となった11日15時37分の5分後の15時42分に原災法第10条の状態に至ったと判断し、通報連絡を行っている。また、当直長より原災法第15条該当事象が発生したとの報告を受けた16時25分の11分後の16時36分に、原災法第15条の状態に至ったと判断し、通報連絡を行った。

また、発電所長は、余震や津波のため現場確認ができずプラントに関する情報が限定されている中で、今後非常に厳しいシビアアクシデント対応を余儀なくされる可能性があると考え、原災法第15条該当事象発生からの約30分後の11日17時12分にはアクシデントマネジメントの検討、具体的には消火系ラインによる原子炉注水検討を指示し、さらには臨機の対応として消防車による注水の検討を指示した。

[通報連絡の実施：本文 P122, 123、別紙 2P6]

[消火系ラインによる注水や消防車の活用指示：本文 P126、別紙 2P38]

<格納容器ベントの準備指示>

発電所長は、格納容器ベントについても、ドライウエル圧力が初めて確認された11日23時50分頃の約15分後の12日0時06分に準備の指示を出した。「⑦格納容器ベントへの対応について」で述べる通り、この段階では、原子炉が安定していることを示す原子炉水位の情報と、原子炉が既に異常な状態に陥っている可能性を示す放射線量及びドライウエル圧力の情報があった。このような中、発電所長は、ドライウエル圧力

が格納容器ベントを必要とする圧力になっていたこともあり、更に悪化する事態に備え格納容器ベントの準備を進めるよう指示したものである。なお、11日夕方頃から中央制御室や発電所対策本部発電班、復旧班において、事態の進展によってはベントが必要だという認識の下、個別に検討が進められ、手順の確認や格納容器ベントに必要な弁に対する手動開閉の可否の確認などが行われた。

また、実際にベント成功が確認されるまでは電源がない状況での準備作業や周辺住民の避難状況の確認、高線量や通信機能喪失など過酷な作業環境における現場操作を行っており、ためらったり、意図的にベントを遅らせていたということではなかった。

[格納容器ベントの準備指示：本文 P129、別紙 2P54]

<海水注入の指示>

原子炉の冷却は緊急課題であり、発電所対策本部では、津波被災後から原子炉の冷却のためには淡水、海水を問わずとにかく注水が必要であるとの認識を持っていた。

海水の使用については、水源としては無限であり当初からその使用について念頭にあった¹ものの、まずは早期に注水を開始する必要があるため1号機の送水口に近い防火水槽を水源として12日4時00分頃から注水を開始した。

発電所長は、淡水には限りがあることから、淡水注入を行っている12日昼頃には海水注入について社長の確認・了解を得て、発電所長の権限のもと海水注入の準備を指示した。その後、12日14時54分には、海水注入の準備が整ったことから、海水注入実施の指示を行った。なお、「津波警報（大津波）10m以上」が継続している中では、海側エリア（O.P. + 4m）に消防車を配置して海水を取水することは津波による人身災害や消防車流出の危険性があった。

しかし、海水注入のライン構成が完了する前の12日15時36分、1号機の原子炉建屋の爆発が発生した。爆発による現場退避や安否確認の後、同日17時20分頃、現場確認を開始。海水注入のために準備していたホースは損傷し使用不可能な状況であった。また、放射線量の高い瓦礫が散乱していた。散乱した瓦礫を片付け、ホースをかき集め再敷設の作業を進め、同日19時04分消防車による海水注入を開始した。以上の通り、海水注入をためらったり、意図的に遅らせていたということではなかった。

[海水注入の所長指示：本文 P132、別紙 2P46～47]

<国からの命令・連絡>

国から法令に基づき、口頭で、手動での格納容器ベントの実施（12日6時50分）、海水注入の実施（12日18時05分）が命令された。その当時は、それぞれ格納容器ベント実施に向けた周辺住民の避難状況の確認や海水注入に向けた現場確認を進めている時期であり、命令の有無に係わらず、実施の意思は固く、また現場の状況から開始時期が早まるものでもなかった。

[国からのベント指示：本文 P130、別紙 2P56]

[国からの海水注入指示：本文 P133、別紙 2P51]

さらに、海水注入にあたっては、当社の官邸派遣者から「海水注入について総理の了解が得られていない」との連絡があり、本店と発電所の対策本部で協議し、一旦注水を停止することとした。官邸において原子力災害対策本部長である内閣総理大臣のもと、

¹ 海水注入の判断については、「躊躇はなかった。とりあえず淡水でしのげといった。淡水が圧倒的に足りないので海水注入の準備を指示した。」との発電所長の聞き取り結果が得られている。なお、3～6号機では原子炉への海水注入が可能な配管を有しており、その具体的な手順が定められている。

原子力安全委員会の助言も得ながら海水注入の是非について検討が続けられている状況であり、また、官邸派遣者による交渉により短期間の中断となる見通しであったことから、本店対策本部では、やむを得ずこれを了解したものである。しかしながら、発電所長は、事故の進展を防止するには何よりも注水を継続することが重要と考え、海水注入を継続した。このように、本店対策本部の判断に反する判断をせざるを得ない状況に発電所長を追い込むこととなった。事故の応急復旧に対する責任者である発電所対策本部長（発電所長）の判断を超えて外部の意見を優先し、現場を混乱させた事例である。

[官邸の海水注入に関する関与：本文 P133、別紙 2P51～52]

②津波襲来後の中央制御室における非常用復水器への対応について 【添付 8－10】 （当社は、何故、すぐに復旧操作を行わなかったのか、という疑問について）

津波襲来後、中央制御室 1 号機側の照明が非常灯のみとなる中、中央制御室では確認できる計器、使用可能な設備を確認した（非常用復水器などほとんどの設備の状態表示灯は消灯、ディーゼル駆動消火ポンプの状態表示灯が点灯）。

更に、余震が継続し高さの異なる津波が何度も押し寄せ海側のエリアを覆う津波も確認される中、現場確認の体制を整えた後、状態表示灯が停止状態で点灯していることが確認されたディーゼル駆動消火ポンプによる原子炉への注水を可能とすべく、運転員は現場で復旧操作を行い、ディーゼル駆動消火ポンプを起動した。また、非常用復水器が機能しているかどうか把握するために、現場で非常用復水器の胴側の水のレベルを確認しようとしたが、持っていた汚染検査用の放射線測定器が通常より高い値を計測し、どの程度の放射線量かわからず、通常とは異なる状況であったことから、現場確認を断念せざるを得なかった。

このような対応を行っている中、非常用復水器隔離弁の状態表示灯が中央制御室の制御盤で点灯していることを確認し、操作を行った。このように、中央制御室では、プラント状態の把握と非常用復水器の動作状況の確認・操作やディーゼル駆動消火ポンプを用いた原子炉注水へ向けた対応を継続的に行っていた。

一方、事後の解析による評価では非常用復水器は津波襲来直後に機能を喪失し、短時間で炉心損傷に至っている。このように短時間で炉心損傷に至った結果となったことを鑑みると、**今回のような全電源喪失時における非常用復水器の隔離信号のインターロックのあり方など、事故直後に必要となる高圧注水設備の信頼性を向上させることが必要である**と考えられる。

《16. 2 項 高圧注水設備（方針 1、2）、中長期的技術検討課題》
これらに関して具体的に確認された事実は以下のとおりである。

<中央制御室における確認>

津波により全電源を喪失したことから、中央制御室 1 号機側の照明は非常灯のみとなり、警報表示灯や機器の状態表示灯が消灯、計器も徐々に確認できなくなり、警報音も消え、中央制御室は一瞬シーンとなった。

中央制御室では、プラント状態を把握するために原子炉水位や原子炉圧力など動作している主要な計器並びに使用可能な設備が残っていないか確認するよう当直長から指示が出された。

非常灯のみとなった中央制御室では、懐中電灯などの照明を集め、それを用いて、計器の確認を行った。原子炉水位計の指示値が確認できたが一時的であり、それ以外に動

作している主要な計器はなく、指示値を確認することはできなかった。また、使用可能な設備として、電源があり状態表示灯が点灯している設備が残っていないか確認を行った。非常用復水器や高圧注水系などの非常用炉心冷却系を含めほとんどの設備の状態表示灯は消灯しており、動作状態が不明で操作できない状況であった。

非常用復水器の状態表示灯が消灯していたことから、運転員は、非常用復水器が機能しているかどうかわからなくなった。当直長は、非常用復水器のベント管からの蒸気の吹き出し状況の確認を発電所対策本部発電班に依頼した。また、非常用復水器の胴側の水位レベルの確認のために運転員が原子炉建屋に向かった。並行して、ディーゼル駆動消火ポンプの状態表示灯が停止状態で点灯していることを確認した中央制御室では、これを用いた原子炉代替注水手段を整えるため、16時55分より現場確認を開始し、20時50分に当該ポンプを起動し、原子炉代替注水ラインの構成を完了した。

<現場における確認>

津波によりタービン建屋地下階が水没し、サービス建屋1階も浸水し、余震が継続、大津波警報が発令されている中で、容易に現場確認を開始することができなかった。このような中、中央制御室で使用可能な設備の確認を行い、ディーゼル駆動消火ポンプの状態表示灯が停止状態で点灯していることを発見した。余震が継続し津波が押し寄せる中、運転員は現場で故障復帰操作を実施するとともに、当該ポンプを用いた原子炉代替注水ラインを構成した。また、非常用復水器については中央制御室の状態表示灯が消灯していたことから、現場確認に向かったものの汚染検査用の放射線測定器が通常より高い値を計測し、どの程度の放射線量かわからず、通常とは異なる状況であったため、現場確認を断念した。運転員はその状況を報告するために17時50分に一旦引き返した。そのような中、中央制御室で非常用復水器隔離弁の状態表示灯のランプが点灯していることを確認し、11日18時18分に開操作を行った。

[中央制御室、現場での注水手段確保に向けた対応：本文 P124～125、別紙 2P6～8, 36～41]

<事後評価>

事後の評価によれば、非常用復水器は、津波に起因する電源喪失によって非常用復水器の自動隔離インターロックが作動し、その機能を喪失したと考えられる。また、12日3時頃、原子炉の減圧操作を実施していないにもかかわらず、原子炉圧力が低下している。以上2点は、短時間で炉心損傷に至り、原子炉冷却材圧力バウンダリが損傷した可能性を示している。

[非常用復水器の弁の状態に関する事後評価：本文 P143～144]

事後の事故解析コード(MAAP)による解析においても、地震後、有効燃料頂部到達まで3時間程度、炉心損傷開始まで4時間程度と急速に炉心損傷まで進展しており、実機の動きと整合がとれた結果となっている。

また、非常用復水器(A)の弁操作を11日18時18分以降、2回実施しているが、非常用復水器の運転継続の有無に関わらず最終的に炉心は損傷に至ったものと評価される。

③地震後の非常用復水器の運転操作の適切性について

(当社の地震後の非常用復水器の運転操作は操作ミスではないか、という疑問について)

1号機は、地震後に非常用復水器が自動起動し、非常用復水器による原子炉圧力制御を行っている最中に津波が襲来し、「②津波襲来後の中央制御室における非常用復水器への対応について」で述べたとおり、津波に起因する電源喪失によって自動隔離インターロックが作動し、その機能を喪失したと考えられ、結果として炉心の損傷に至った。非常用復水器の運転操作については、以下のとおりその時点のプラント状態を踏まえた対応が行われていたと考えられる。

- ・ 非常用復水器2系統が自動起動したことに伴う原子炉圧力の低下が早く、手順書に定める原子炉冷却材温度降下率 $5.5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ を遵守できないと判断¹したことから、戻り配管隔離弁(MO-3A、3B)を一旦「全閉」とした。その後、1系統を使用して、操作手順書に基づき原子炉圧力を6~7MPa程度に制御した。
- ・ 11日15時37分津波による電源喪失後、供給配管隔離弁(MO-2A)、戻り配管隔離弁(MO-3A)の「閉」を示す緑ランプが点灯していることを発見、11日18時18分に開操作を行い、蒸気発生音と蒸気発生を確認。その後、蒸気発生が停止した。運転員は蒸気発生が停止した原因として、格納容器の内側隔離弁(MO-1A、4A)が直流電源喪失により「非常用復水器の配管破断」信号が発信され閉となっていることを考えたが、非常用復水器の冷却水である胴側の水が何らかの原因でなくなっている可能性を懸念した。非常用復水器が機能していないと考えると共に、胴側への水の補給に必要な配管の構成ができていなかったことも考え合わせて、11日18時25分戻り配管隔離弁(MO-3A)を一旦閉操作した。
- ・ 通常であれば胴側給水がなくても非常用復水器は10時間程度運転できること、また、11日20時50分にディーゼル駆動消火ポンプを起動し非常用復水器胴側への給水にも対応できるようになったことから、胴側の水の不足の懸念はなくなった。一方、戻り配管隔離弁(MO-3A)の閉状態表示灯が不安定で消えかかっており次にいつ操作できるかわからない状況であることを踏まえ、非常用復水器が動作することを期待し11日21時30分に再度戻り配管隔離弁(MO-3A)を開操作、蒸気発生音と蒸気発生を確認した。

[非常用復水器の運転状況：本文P125~126, 128、別紙2P2~3, 38~40, 42~43]

④非常用復水器に対する教育・訓練の状況について

(当社が動作状態を正しく認識できなかったのは教育・訓練の不足なのではないか、という疑問について)

非常用復水器に関する教育については、日々の現場巡視や定例試験、OJTなどの中で行われており、その中で、その系統・機能やインターロックを把握している。また、津波襲来までは非常用復水器を用いて原子炉圧力制御を行っており、運転員は運転操作に必要な知識は有していた。

一方、非常用復水器の隔離弁は、制御電源(直流電源)を喪失した場合、フェールセーフ機能として隔離信号が発信され全ての隔離弁が閉となるため、電源を喪失した時点

¹ 沸騰水型原子炉(BWR)では、原子炉圧力容器内は飽和状態にあり、原子炉圧力の変化で原子炉冷却材温度の変化を確認することができる。

において、非常用復水器が停止していることを容易に気付くことができたとの指摘がある。しかし、今回の事故においては、中央制御室の状態表示灯が消灯しており、各隔離弁がどのような開閉状態にあるか把握し、対応することは現実的に困難であったと考えられる。

ただし、今回の福島第一1号機非常用復水器の状況を鑑みると、**交流電源、直流電源が喪失した場合の機器・システムの動きについて、非常用設備を中心に検討分析し、必要に応じて手順書や教育・訓練へ反映をすることが必要である**と考えられる。

これらに関して具体的に確認された事実は以下のとおりである。

<教育・訓練の実施状況>

非常用復水器については、事故時運転操作手順書等の訓練を行っていく中でシステムの研修を行うとともに、日々の現場巡視や月1回の定例試験、定期検査中の保全活動など業務を通じた教育いわゆるOJTが行われていた。

具体的には、定例試験においては、運転中に実際に蒸気が非常用復水器に流れ込むことがないような手順で各隔離弁を順番に開閉しその動作からシステムが健全であることを確認していた。定期検査においては、非常用復水器のインターロックを理解した上で定期検査中の保全活動を安全に行うことができるようにするための処置（例えば弁が開かないようにするなどの処置）を検討している。このように、実業務の中で知識を習得しており、その中で、その系統・機能やインターロックを把握している。

今回、地震発生以降、津波到達までにおいて、中央制御室では原子炉圧力の制御を非常用復水器を使用して問題なく行っていることは、上述の教育訓練やOJTによりその系統・機能を十分理解し、習得した知識を活用した上での操作といえる。

<非常用復水器の隔離弁に対する認識>

津波襲来後に非常用復水器の隔離弁の状態表示灯は消灯し、操作ができない状況であり、また、弁の開閉状態は不明であった。

非常用復水器の隔離弁は、格納容器内側の隔離弁が交流電源駆動、格納容器外側の隔離弁が直流電源駆動であり、今回は、津波の影響により交流電源、直流電源全てを喪失している。制御電源のみならず駆動電源も喪失しており、駆動電源が喪失していれば隔離信号が発信されても弁は動かず、駆動電源喪失直前の開閉状態が維持される。

各隔離弁の開閉状態は、制御電源（直流電源）を喪失し隔離信号が発信された時点で、隔離弁の駆動電源である直流電源、交流電源がどの程度まで生きていたかによって異なることになるが、今回のようにほぼ同時に電源を喪失し、中央制御室の状態表示灯が消灯している状況では、各隔離弁がどのような開閉状態にあるか把握し、対応することは現実的に困難であったと考えられる。

[非常用復水器の弁の状態に関する事後評価：本文 P143～144]

⑤発電所・本店対策本部における非常用復水器の動作状況に対する認識について

（当社は何故、非常用復水器の動作状況を正しく把握するに至らなかったか。当社が正しく認識できなかったことが、格納容器ベントや注水の遅れを招いたのではないか、という疑問について）

発電所対策本部及び本店対策本部では、通信手段が限定され、ホットラインのみによる口頭伝達でのプラント情報の把握を余儀なくされる中で、複数号機への対応、地震に

よる被害状況の把握や停電等の復旧対応、原災法第10条、15条該当事象発生に関する外部機関への情報提供や問い合わせ対応に追われていた。このような中で、原子炉水位が有効燃料頂部を上回っていたこと、非常用復水器から蒸気発生を確認したこと等の情報が得られ、非常用復水器作動中との情報もあり、非常用復水器が停止していたことを把握するに至らなかった。

しかしながら、「⑥消防車による代替注水への対応について」や「⑦格納容器ベントへの対応について」で述べる通り、早い段階から注水や格納容器ベントに向けた準備・検討を開始しており、非常用復水器の動作状況に対する状況把握が、注水や格納容器ベントの早期実現に影響を与えたとは考えられない。

ただし、中央制御室と発電所対策本部間、発電所対策本部と本店対策本部間で、非常用復水器の動作状態を共有し、正しく把握できなかったことに鑑みると、今回のような**事故対応の前提を大きく外れた過酷な状況下でも、中央制御室と発電所・本店対策本部間で、プラント状況をタイムリーに情報共有する手段を予め構築しておくことが必要**であると考えられる。

さらに、後の調査により原子炉水位計が誤った指示を示していたことが判明したことを踏まえ、**プラント状況を把握するために必要な計装系の信頼性を確保しておくことが重要**であると考えられる。

《16.2項 中長期的技術検討課題》

これらに関して具体的に確認された事実は以下のとおりである。

<プラント情報把握の困難さ（通信手段の状況）>

発電所対策本部及び本店対策本部では、緊急時対応情報表示システム（SPDS）が使用不能となり視覚によるプラント状態の把握が不可能であった。また、中央制御室との通信手段がホットラインのみに限定される状況となり、発電所対策本部、本店対策本部においてプラント状態を把握するには、中央制御室及び現場からの情報が重要になっていた。

11日21時19分に仮設電源を用いた水位計の仮復旧により、原子炉水位が有効燃料頂部を上回っているとの指示値が得られたが、これまでの事故対応の前提を大きく外れた事態の中では、プラントに関する情報が限定されており、これが誤った指示値であることを総合的に判断するに足る情報は得られていない。

[原子炉水位確認時の状況：本文 P123, 128、別紙 2P8, 13～14]

<非常用復水器の動作状況に対する情報共有の状況>【添付8-10】

緊急時対応情報表示システム（SPDS）が使用できず視覚によるプラント状態の把握が不可能となり、ホットラインを通じた口頭伝達によるプラント情報の把握のみとなっていた。地震後に非常用復水器が作動したとの情報を受けた以降、福島第一2号機の注水状況が不明であったことなどによる複数号機への対応の中で、津波襲来後に非常用復水器が停止したとの情報がなかったこと、11日16時42分に一時的に確認できた原子炉水位が有効燃料頂部を上回っていたこと、11日16時44分に非常用復水器からの蒸気発生を確認したことなどの情報から、発電所対策本部及び本店対策本部は、11日21時19分に原子炉水位の指示値が得られた時点では非常用復水器が停止していたことを把握するに至らなかった。

さらに、11日21時19分に原子炉水位が有効燃料頂部（TAF）+200mmであることが判明した以降、発電所対策本部では非常用復水器が動作していると考えており、非常用復水器の機能を維持するために、11日20時50分に起動したディーゼル

駆動消火ポンプは非常用復水器胴側への水補給に用いられていると認識していた。なお、ディーゼル駆動消火ポンプは非常用復水器胴側への水補給が行える系統であるが、中央制御室で原子炉代替注水手段として起動したものであり、非常用復水器胴側の水補給には用いられていなかった。

特に本店対策本部は、発電所を支援する立場であったが、地震による被害状況の把握や停電等の復旧対応など初期の混乱に加えて、原災法第10条、15条該当事象発生という事態の中で、国等外部機関への情報提供や問い合わせ対応を余儀なくされている状況であった。

原子炉水位が有効燃料頂部（TAF）を上回っている一方、11日23時00分に原子炉建屋二重扉前で放射線量が上昇したこと、11日23時50分頃に初めて得られたドライウェル圧力の測定値が異常に高かったことから、この頃に発電所対策本部及び本店対策本部ではパラメータなどの情報に疑問を抱き始めていたが、ドライウェル圧力が既に格納容器ベントが必要な圧力を超えていたため格納容器ベントの実施に向けた対応に傾注しており、非常用復水器が停止していたことを把握するに至っていない。

[非常用復水器の運転状況：本文 P125～126, 128、別紙 2P38～40, 42～43]

⑥消防車による代替注水への対応について

（当社は、消防車による注水について自衛消防隊が、これを自らの役割・責任であると自覚していなかったのではないか、という疑問について）

今回の事故対応では、その前提を大きく外れる事態となったものの、自らの役割・責任を超えて自衛消防隊を含め各々が協力して、消防車の確保、アクセス道路確保、瓦礫撤去などの対応を行った。ただし、今後も今回のような予め定めた役割・責任を超えた対応が必要となる場合もあり得ることから、予め定めのない対応を行う際には**対応に関する役割・責任を明確に指示することが、事故対応をよりスムーズにする上で、重要である**と考えられる。

その他、今回の事故では本設の低圧注水設備が使用できず、消防車が唯一の注水手段となったことから、**消防車を注水手段と位置付けることが必要であり、それを活用するための役割を明確にするとともに訓練を実施することが必要である**と考えられる。

《16.2項 低圧注水設備（方針2）》

これらに関して具体的に確認された事実は以下のとおりである。

＜自衛消防隊の役割と責任＞

消防車は、平成19年7月に発生した新潟県中越沖地震での変圧器火災への対応の教訓から、自衛消防体制の強化を目的として配備されたものであり、定期的に消防訓練が行われていた。また、自衛消防隊は、消火器や消火栓を用いて消火活動を行うことが主な任務であり、消防車による消火活動は専門知識を有する協力企業に依頼していた。

今回の事故における消防車を使用した原子炉への注水は、予めアクシデントマネジメント策として考慮されたものではなく、業務としての役割・責任や実施手順が明確に定められているものではなかった。

＜今回の事故対応＞

11日17時12分に発電所長が消防車による代替注水の検討を指示した以降、防災安全部は使用可能な消防車1台を免震重要棟脇に待機させるとともに、復旧班、自衛消

防隊などがアクセス道路の復旧、瓦礫の撤去、送水口の捜索などの対応を進めていた。

[防災安全部による消防車の確保：本文 P126、別紙 2P42]

[復旧班によるアクセス道路の復旧等：本文 P123～124, 127, 129～130、別紙 2P11～12, 43～45]

自衛消防隊は、防災業務計画に定められた予めの役割に基づく活動としての避難誘導や消火活動（結果的に火災はなかった）に加え、発電所対策本部の指示に基づき津波監視を行うとともに、協力企業の協力を得ながら消防車による原子炉への注水作業を行った。

[自衛消防隊の対応：本文 P126, 129～130, 131、別紙 2P10～11, 41～42, 45～47]

⑦格納容器ベントへの対応について

（当社は、格納容器ベントをためらったのではないか、という疑問について）

格納容器ベントについては、津波被災後、発電所対策本部発電班、復旧班と中央制御室において、事態の進展によっては、格納容器ベントが必要になるとすぐに認識し、手順の確認や格納容器ベントに必要な弁の手動開閉の可否の確認など格納容器ベントに向けた準備・検討を開始した。

[津波到達後すぐの格納容器ベントの準備・検討：本文 P127、別紙 2P53]

また、11日23時50分頃にドライウェル圧力が600kPa [abs]であることが判明した際、ドライウェル圧力計の異常も考えられたが、ドライウェル圧力は既にベントが必要な圧力になっていたことから、発電所長は12日0時06分にベントの準備を進めるよう指示した。これ以降、発電所対策本部では図面やアクシデントマネジメント操作手順書を確認しながら電源がない状態におけるベント操作手順の作成が行われていた。また、国内で初となるベント実施にあたり、国や自治体との調整、住民避難状況の確認を行い、被ばくを可能な限り少なくするよう努めていた。一方、中央制御室では、非常灯のみの中で具体的な手順を確認し体制を整えるなど、予めの手順がない中で、かつ、その他の作業も並行して行いながら準備を進めていた。

[所長指示後のベントの準備等：本文 P129, 130、別紙 2P54～57]

12日9時04分にベント弁の操作のために現場へ向かっているが、空気作動弁の開操作が高線量下でできなかった後も、発電所対策本部では仮設空気圧縮機の手配・設置・接続等の作業を行っており、ベントの実施に向けて継続的に対応していた。

[ベント弁操作に関する対応状況：本文 P131～132、別紙 2P57～59]

以上のとおり、格納容器ベントの実施にあたって、ためらうことはなかった。

なお、1号機では格納容器ベントを実施することができたものの、格納容器ベント弁作動用の電源及び圧縮空気を喪失した中で、臨機の対応としてベント弁の操作を現場で行わなければならなくなったことに鑑みると、**より迅速にベントラインを構成する観点から、確実にベントに必要な弁を開ける手段を事前に確立しておくことが必要**であると考えられる。

《16. 2項 格納容器ベント（方針1、2）》

⑧水素爆発防止について

今回の事故においては、「②津波襲来後の中央制御室における非常用復水器への対応について」で述べた通り、短時間で炉心損傷に至ったものと評価しており、実際の対応時

にも12日0時頃にはドライウェル圧力の上昇や放射線量の上昇によりプラントが異常な状態にあるかもしれないと疑義を持っており、また4時過ぎには放射線量の上がり方から炉心損傷の可能性が高いことを認識している。

炉心損傷に至った場合は、水素が格納容器に滞留することとなるため、格納容器ベントを早期に実施する必要があることは認識されていた。

しかし、本店対策本部も発電所対策本部も、格納容器から原子炉建屋へ水素が漏えいするという認識には至らなかった。

今回の事故では、炉心損傷に伴い発生する水素が格納容器内で完全には保持されず、原子炉建屋に漏えいし、原子炉建屋の爆発の原因となったと推定される。

したがって、この爆発が後の復旧作業に大きく支障を与えたことも踏まえれば、**原子炉建屋へ水素が漏えいしたとしても、爆発を未然に防止するための方策を講じることが重要**であると考えられる。

《16. 2項 水素滞留の防止（方針3）》

8. 3 福島第一2号機の対応とプラントの動き

(1) 対応状況の概要

① 11日15時頃～11日16時頃

福島第一2号機は、定格熱出力で運転していたが、3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震によって自動停止した。地震により外部電源を喪失したが、非常用D/Gが自動起動するとともに、原子炉隔離時冷却系によって原子炉水位の確保を行うなど、訓練と同じように冷温停止に向けた対応操作を行っていたところ、1号機と同様、津波が襲来し電源（交流、直流）をすべて喪失し、電動の弁やポンプ、監視計器などが動かなくなった。この時点で事前に定めた手順類の前提を大きく外れる事態へ進展した。

このときの屋内外の状況は福島第一1号機と同様である。（屋外は瓦礫が散乱、建屋内の照明は消え、通信は困難な状態）

② 11日16時頃～12日15時30分頃

電源喪失に伴い、原子炉水位を確認できず、また、原子炉隔離時冷却系による注水状況が不明となったため、発電所対策本部では、復旧班による中央制御室での監視計器の復旧作業や注水がなされていないとしたときに燃料が露出してしまう時刻の評価などを行った。また、中央制御室では、消火系による代替注水ラインの構成を開始した。

さらに、本店対策本部では電源喪失を踏まえ、電源車の確保と移動経路の確認を指示し、手配を開始した。

そのような中、21時50分に原子炉水位が判明、有効燃料頂部（TAF）から+3400mmであることが確認された。しかし、原子炉隔離時冷却系の運転状態は未だわからず、緊迫した状態が継続した。

12日2時55分によろやく、運転員が暗闇の現場で原子炉隔離時冷却系が運転していることを確認することができ、2号機に関する緊迫した状態が多少緩和される状況となった。

なお、11日から12日にかけて、1号機で異常なデータが立て続けに確認されたことから、電源復旧、1号機への消防車による注水と格納容器ベントの実施に向けて傾注していくこととなった。（詳細は1号機の対応状況に記載）

③ 12日15時30分頃～14日11時頃

12日17時30分、発電所長は、ドライウェル圧力は安定していたものの、いずれベントが必要になると予想されたことから、ベントラインの構成に向けた検討を指示した。これに基づき、発電所対策本部及び中央制御室は検討を行い、13日8時頃から格納容器ベントのライン構成を開始、仮設電源などを用いながら準備を進め同日11時にその準備が完了した。

一方、原子炉隔離時冷却系による注水は、電源が喪失し制御ができない状態にあるにもかかわらず運転を継続しており、原子炉隔離時冷却系が停止すれば、電源が復旧しない限り、原子炉を減圧し消防車により注水するしかなかった。

このような中、13日未明に3号機での注水の切替が困難を極め、非常に緊迫した状況に陥った。3号機では原子炉の減圧に必要な仮設電源（バッテリー）を収集したが、その際、あわせて、2号機分の減圧操作に必要なバッテリーも収集し、1、2号機の中央制御室へ運び、制御盤へつなぎ込んだ。これによって2号機はいつでも減圧可能な状態となった。

また、消防車による注水の準備に関しては、海水注入の準備をするようにとの発電所長の指示に基づき、自衛消防隊が消防車を配置しホースを敷設、消防車を起動することでいつでも消防車による注水を開始できるように準備を整えた。

④ 14日11時頃～14日20時頃

格納容器ベントのライン構成やバッテリーによる減圧と消防車による注水の準備は完了していた中で、14日11時01分に3号機原子炉建屋で爆発が発生した。この爆発による瓦礫の飛散などにより、消防車や注水ラインが破損し使用不可になるとともに、ベントに必要な空気作動弁もその影響により閉動作となった。

このため、爆発の恐怖心が残る中、注水ラインの復旧作業などを懸命に進めていたところ、原子炉水位が低下していることから、同日13時25分に原子炉隔離時冷却系が機能を喪失したと判断され、有効燃料頂部（TAF）到達時刻は16時半頃と評価された。

早く注水を再開しなければならなかったが、福島県沖を震源とする余震が頻発する中、海水注入の準備を懸命に進め、15時半頃ようやく消防車を起動することができ、注水準備が整った。

一方、原子炉の減圧準備は整っていたが、格納容器の圧力と温度の状態から格納容器ベントの準備を先に行うこととした。しかし、ベントに必要な弁の開実施に時間がかかることが判明、このため、16時半頃に減圧を優先することに変更し、主蒸気逃がし安全弁の開操作（減圧操作）を実施した。しかし、開動作しなかったため、別の主蒸気逃がし安全弁へのつなぎこみを行ったが状況は改善せず、10個のバッテリー（12V）の配線をすべてつなぎかえるなどして、18時頃ようやく開動作させることができた。

その後、原子炉の減圧に時間を要したが、消防車による注水が可能な圧力まで低下した。しかし、消防車が燃料切れで停止していたため、20時前頃に消防車を再起動し、消防車による海水の注水を開始した。

⑤ 14日20時頃～15日6時頃

格納容器（ドライウェル、圧力抑制室）圧力に低下が見られない中、格納容器ベントラインの復旧を進め、圧力抑制室側ラインの構成を14日21時頃に完了した。しかしその時点においてはベント実施の設定圧力には至っていなかった。

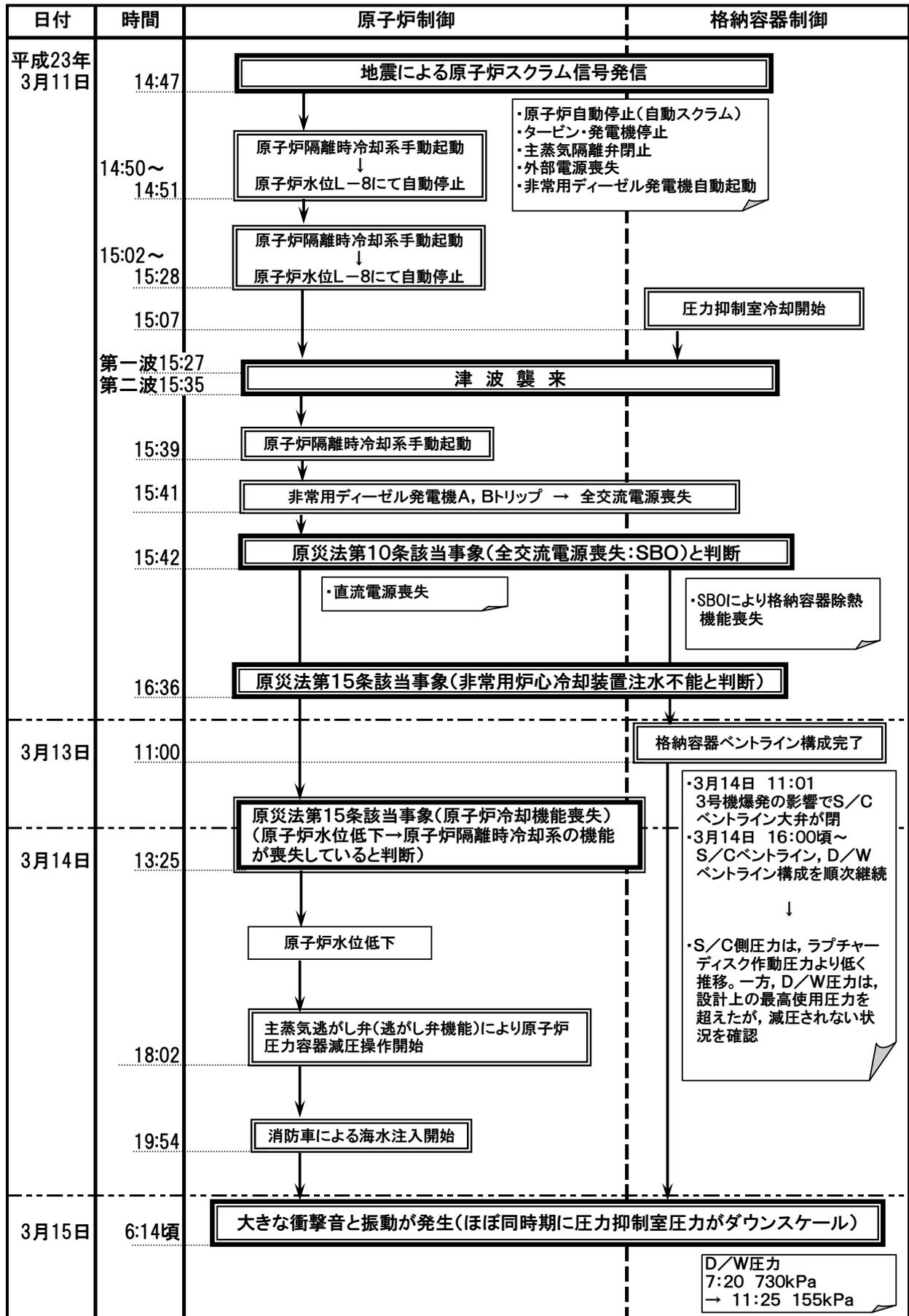
格納容器圧力を監視していたところ、通常はほぼ同じ値であるはずが、ドライウェル圧力が上昇する一方、圧力抑制室の圧力はほぼ一定値を示した。

ドライウェル側のベントラインの構成を試みたが、構成できず緊迫した状況が続く中、15日6時14分頃、大きな衝撃音と振動が発生、ほぼ同時に圧力抑制室の圧力指示値がダウンスケールを示し、発電所対策本部に0 kPa [abs]と伝えられた。

圧力抑制室が破損した可能性が考えられたため、最小限の要員を除き、一時退避した。

その後、データ監視を行う運転員等が徐々に福島第一原子力発電所に戻り、復旧作業

を継続した。



福島第一発電所2号機 地震後の主な流れ

(2) 対応状況詳細

① 11日15時頃～11日16時頃

地震により原子炉が自動停止。主蒸気逃がし安全弁と原子炉隔離時冷却系により原子炉圧力・原子炉水位を制御するなど、冷温停止に向けた操作を行っていたが、津波により電源を喪失した。プラントは電動設備の機能や監視機能を喪失し、事故対応の前提を大きく外れる事態となった。

<地震発生直後の対応（スクラム確認～原子炉隔離時冷却系による原子炉水位制御）>

- ・ 福島第一2号機は、3月11日14時46分に地震に襲われ、原子炉が自動停止し制御棒はすべて挿入された。その後、中央制御室では、主蒸気逃がし安全弁で圧力制御を行い、原子炉隔離時冷却系を手動起動するなど、原子炉水位・原子炉圧力を安定させながら停止操作を実施した。

<津波襲来（全交流電源喪失～非常用炉心冷却装置注水不能）>

- ・ 11日15時41分、津波の浸水によって、全ての交流電源を喪失した。前後して、建屋内への海水の浸入を思わせる警報が発生、直流電源も喪失し、中央制御室の照明の他、監視計器や各種表示ランプも消灯していった。その後、「海水が流れ込んで来ている」と大声で叫びながら、ずぶ濡れの運転員が戻ってきたことで、中央制御室の運転員は津波の襲来を確信した。
- ・ 11日15時42分、発電所長は原災法第10条該当事象（全交流電源喪失）と判断した。
- ・ 11日15時50分、計器用の電源が喪失し、原子炉水位が不明となっていることが確認された。また、同日15時39分に起動し運転中であつた原子炉隔離時冷却系の運転状態が確認できず、高圧注水系も制御盤の表示灯がすべて消灯し、起動不能な状態であつたため、同日16時25分、当直長は原災法第15条該当事象が発生したことを発電所対策本部に報告、同日16時36分、発電所長は原災法第15条該当事象（非常用炉心冷却装置注水不能）と判断した。
- ・ この津波により、すべての直流電源、交流電源を喪失するとともに、機器の冷却に必要な非常用海水系も喪失した。また、余震頻発による津波発生リスクがある中（【添付8-2】参照）、重油タンクが流されていること、サービス建屋まで津波が来たことなど、想像を超える状況が徐々に明らかとなり、即座に現場確認を行える状況ではなかった。
- ・ その後の復旧活動においては、重油タンクや瓦礫など津波による漂流物が電源車や消防車等の車両や作業員の移動の障害となり、かつ、建屋内外の照明やPHSやページング装置等の通信手段がほとんど存在しないなど、厳しい環境下での対応操作を余儀なくされた。

② 11日16時頃～12日15時30分頃

プラントパラメータが確認できず、原子炉への注水状況が確認できない中、原子炉水位の低下状況を予測した。一方で、中央制御室の照明や計器類を含む電源の復旧を進め、原子炉水位が確保されていることが判明した。原子炉代替注水ラインの構成を行った後、原子炉隔離時冷却系が運転していることを確認した。水源を切り替え、原子炉隔離時冷却系の運転を継続。電源車による電源復旧の直前に、1号機が爆発した。

<原子炉水位低下傾向の予測評価>

- 原子炉水位が不明な状況が続き、原子炉隔離時冷却系による原子炉への注水状況についても確認できないことから、有効燃料頂部（TAF）に到達する可能性があることを11日21時02分に官庁等へ連絡した。さらにTAFへの到達時間を21時40分と評価した。

<中央制御室の照明確保と原子炉水位の判明>

- 発電所対策本部復旧班は、中央制御室照明、監視計器類の復旧を進め、11日20時47分に小型発電機を用いて仮設照明を復旧、同日21時50分に原子炉水位計を復旧、指示値がTAF+3400mmであることを確認した。

<原子炉代替注水ラインの構成>

- 中央制御室では、1号機の原子炉代替注水ラインの構成が完了した後、1号機の放射線量の状況を踏まえ、放射線量が高くなる前に、消火系ラインによる原子炉代替注水ラインの構成を整えることとした。
- 11日21時00分頃から、運転員は、原子炉代替注水ラインを構成するための電動弁を手動で開ける操作を開始し、11日中に完了した。

<原子炉隔離時冷却系の運転状態確認>

- 電源喪失以降、原子炉隔離時冷却系の運転状況が確認できなかったが、12日2時55分、運転員が原子炉隔離時冷却系のポンプ吐出圧力が原子炉圧力を上回っていること（運転していること）を現場の圧力計で確認し、発電所対策本部に報告した。
- 運転員は、原子炉隔離時冷却系の水源である復水貯蔵タンクの水位が低下してきたことを確認。圧力抑制室の水位上昇が考えられること、また、復水貯蔵タンクは今後の代替注水設備の水源であることから、原子炉隔離時冷却系による原子炉への注水を途切れさせないために、12日4時20分から5時00分にかけて、原子炉隔離時冷却系の水源を復水貯蔵タンクから圧力抑制室に切り替えた。
- 運転員は、その後も原子炉隔離時冷却系の運転状況を定期的に確認した。

<格納容器ベント実施に向けた対応>

- ・ 12日1時30分頃、1号機及び2号機の格納容器ベントの実施について、内閣総理大臣、経済産業大臣及び原子力安全・保安院に申し入れ、了解を得た。
- ・ 12日2時55分、原子炉隔離時冷却系の運転が確認出来たことから、1号機の格納容器ベントを優先する方向とし、1号機のベント実施に向けた対応を進めるとともに、2号機のパラメータ監視を継続した。

<電源復旧と1号機爆発>

- ・ 11日16時頃から電源車の手配が進められる中、同日20時56分、2号機の低圧電源盤（P/C）の一部が利用可能であることを確認したため、高圧で注水可能な制御棒駆動水圧系ポンプ、ほう酸水注入系ポンプの電源復旧を進めたが、12日15時36分の1号機の爆発により、敷設したケーブルが損傷し低圧電源盤（P/C）の受電が停止した。

③12日15時30分頃～14日11時頃

1号機での対応を踏まえ、格納容器ベントラインの構成を開始した。既設の空気ポンプに加えて、仮設空気圧縮機を設置し、空気作動弁の開状態を維持した。また、原子炉隔離時冷却系の停止に備え、原子炉減圧と消防車による海水注入の準備を整えた。原子炉隔離時冷却系の運転が継続し、原子炉水位が維持されている中、3号機原子炉建屋が爆発した。

<格納容器ベントの準備とライン構成完了>

- ・ 12日15時36分に1号機原子炉建屋上部で水素爆発が発生。現場からの退避や安否確認が実施される中、17時20分頃、現場確認を開始した。
- ・ 原子炉隔離時冷却系による原子炉への注水を継続し、ドライウェル圧力は約200～300kPa [abs]と安定していたが、いずれ格納容器ベントが必要となることから、12日17時30分、発電所長は2号機格納容器ベント操作の準備を開始するよう指示した。
- ・ 運転員は、格納容器ベントラインの電動弁を手動で開操作するため、現場（原子炉建屋内）に出発し、13日8時10分、手順書通り格納容器ベントラインの電動弁《①》を手動で25%開とした。
- ・ 13日10時15分、発電所長は、2号機格納容器ベント操作を実施するよう指示した。
- ・ 13日11時00分、発電所対策本部復旧班は、圧力抑制室からのベントラインにある空気作動弁（大弁《②》）を開にするため、中央制御室仮設照明用小型発電機からの電源を用いて電磁弁を強制的に励磁させ開操作を実施し、ラプチャーディスクを除く格納容器ベントラインの系統構成を完了（ラプチャーディスク開放待ちの状態）した。
- ・ その後、13日15時18分、ベントを実施した場合の被ばく評価結果を官庁等へ連絡した（なお、これ以前の12日3時33分にもその時点での評価結果を連絡して

いる)。

- ・ また、発電所対策本部は、圧力抑制室からのベントラインにある空気作動弁（大弁《②》）の開状態を維持するために、空気ポンベに加えて仮設空気圧縮機を設置することとした。14日3時00分頃、発電所対策本部復旧班は、福島第二原子力発電所より手配した仮設空気圧縮機を設置、計装用圧縮空気系配管に接続し、空気の供給を開始した。

＜消防車による原子炉代替注水に向けたライン構成と原子炉減圧手段の確保＞

- ・ 13日12時05分、発電所長は、原子炉隔離時冷却系の停止に備え、原子炉への海水注入の準備を開始するよう指示した。自衛消防隊は、消防車の配備、ホースの敷設を行い、海水注入ができるよう準備を整えた。
- ・ 一方、発電所対策本部復旧班は、13日7時頃、3号機の原子炉の減圧に必要なバッテリーに加えて2号機用のバッテリーを社員の自動車から収集、13日13時10分、中央制御室の制御盤につなぎ込み、3号機と同様の方法で、制御盤の操作スイッチで主蒸気逃がし安全弁1弁を開操作できる状態とした。
- ・ 14日11時01分、3号機の爆発により、準備が完了していた海水注入ラインの消防車及びホースが損傷し、使用不可能となった。

④ 14日11時～14日20時頃

3号機の爆発により、格納容器ベントラインと消防車による海水注入のラインは再構成が必要となった。復旧作業を開始して間もなく、原子炉水位が低下していることから、原子炉隔離時冷却系の機能喪失と判断した。消防車による海水注入ラインを構成し、原子炉減圧操作を開始、14日20時前頃に海水注入を開始した。

＜3号機爆発後の復旧作業の開始と、原子炉隔離時冷却系の機能喪失＞

- ・ 14日12時50分、発電所対策本部復旧班は3号機爆発の影響により電磁弁励磁用回路が外れて空気作動弁（大弁《②》）が閉となったことを確認した。
- ・ 14日13時05分、発電所長の指示により現場作業を再開した。3号機爆発によって瓦礫が散乱し、放射線量が非常に高い中、現場の状況確認を進めた。
- ・ 発電所対策本部は、当初水源として使用していた3号機逆洗弁ピットに爆発による瓦礫がたまっており、逆洗弁ピット近くの消防車が爆発の影響で故障し、使用可能な注水ラインが物揚場からのラインであったことから、水源を物揚場へ変更することとし、爆発による瓦礫の撤去を行いながら、損傷しているホースの交換など代替注水ラインの構築を進めた。
- ・ 爆発後の復旧作業を開始して間もなく、原子炉への注水は原子炉隔離時冷却系で行っていたが、原子炉水位が低下していることから、発電所長は13時25分、原子炉隔離時冷却系の機能が喪失した可能性があるとし、原災法第15条該当事象（原子炉冷却機能喪失）と判断し、現状から予測すると、有効燃料頂部（TAF）到達は同日16時30分頃と予想した。

<海水注入の準備と原子炉減圧操作>

- ・ 自衛消防隊と協力企業は、原子炉への海水注入の準備作業を進め、14日14時43分、消防車を送水口に接続、福島県沖を震源とする余震が発生する中、15時30分頃に消防車を起動し、原子炉減圧時に海水の注水ができるよう準備を整えた。
- ・ 消防車によって原子炉へ注水するためには、消防車の吐出圧力が低いため、主蒸気逃がし安全弁による原子炉圧力の減圧が必要であった。しかし、原子炉内の蒸気の逃がし先となる圧力抑制室の圧力・温度が高く減圧しにくい可能性があったため、発電所対策本部は格納容器ベントの準備を完了させてから減圧することとした。
- ・ 14日16時15分、班目原子力安全委員会委員長より発電所長にベントよりも減圧・注水を優先すべきとの連絡が入った。この連絡を受け、本店と発電所の対策本部はその対応について協議し、ベントの準備をしてから減圧する方針を再確認し、作業を継続した。
- ・ しかし、14日16時21分、空気作動のベント弁の空気の加圧が十分にできず、ベント弁の開実施まで時間がかかる見通しとなったことから、同日16時28分、主蒸気逃がし安全弁による減圧を優先することとした（空気作動のベント弁は当初、仮設空気圧縮機からの空気が十分でなく開操作できないものと思われたが、その後、加圧されていることが確認できたため、電磁弁の不具合（地絡）により開不能になったと思われる）。
- ・ 14日16時34分、発電所対策本部復旧班は、主蒸気逃がし安全弁を開けるために中央制御室の操作スイッチにて開操作したが、弁がなかなか動作せずバッテリーの接続位置の変更や配線し直しなどして対応し、18時02分より減圧を開始した。

<原子炉減圧と海水注入の開始>

- ・ 14日17時17分には原子炉水位が0mm（有効燃料頂部（TAF））まで低下した。
- ・ 14日18時02分に原子炉圧力の減圧が開始された。主蒸気逃がし安全弁により原子炉圧力が減圧されていく一方、注水に必要な消防車については、14日15時30分頃、消防車を起動し、原子炉減圧時に海水の注水ができるよう準備を行っていたが、現場の放射線量が高く、交代で消防車の運転状態の確認や給油等を余儀なくされていた。特に給油作業は、原子炉への注水を途切れさせないよう消防車のエンジンをかけたまま行わざるを得なかった。このような中、自衛消防隊は同日19時20分に起動していた消防車が燃料切れで停止していることを確認した。
- ・ 消防車の給油に用いていたタンクローリーが瓦礫等によりパンクし移動できない状況であったため、手作業による給油の上、消防車を起動し（同日19時54分、57分に各1台起動）、消火系ラインから原子炉内へ海水注入を開始した。

⑤ 14日20時頃～15日6時頃

格納容器ベントラインを追加したものの、ドライウエル圧力が上昇を開始した。圧力抑制室の圧力は安定した状態であり、圧力が均一化しない状況が発生した。格納容器の健全性を維持するために、ドライウエル側からのベントを行うこととし、ライン構成を行うも、構成できなかった。15日6時14分頃、衝撃音と振動が発生し、圧力抑制室の圧力が0 kPa [abs]になったと発電所対策本部に伝えられた。圧力抑制室が破損した可能性が考えられたため、応急復旧に必要な要員を除き、一時退避した。

<格納容器ベントラインの確保>

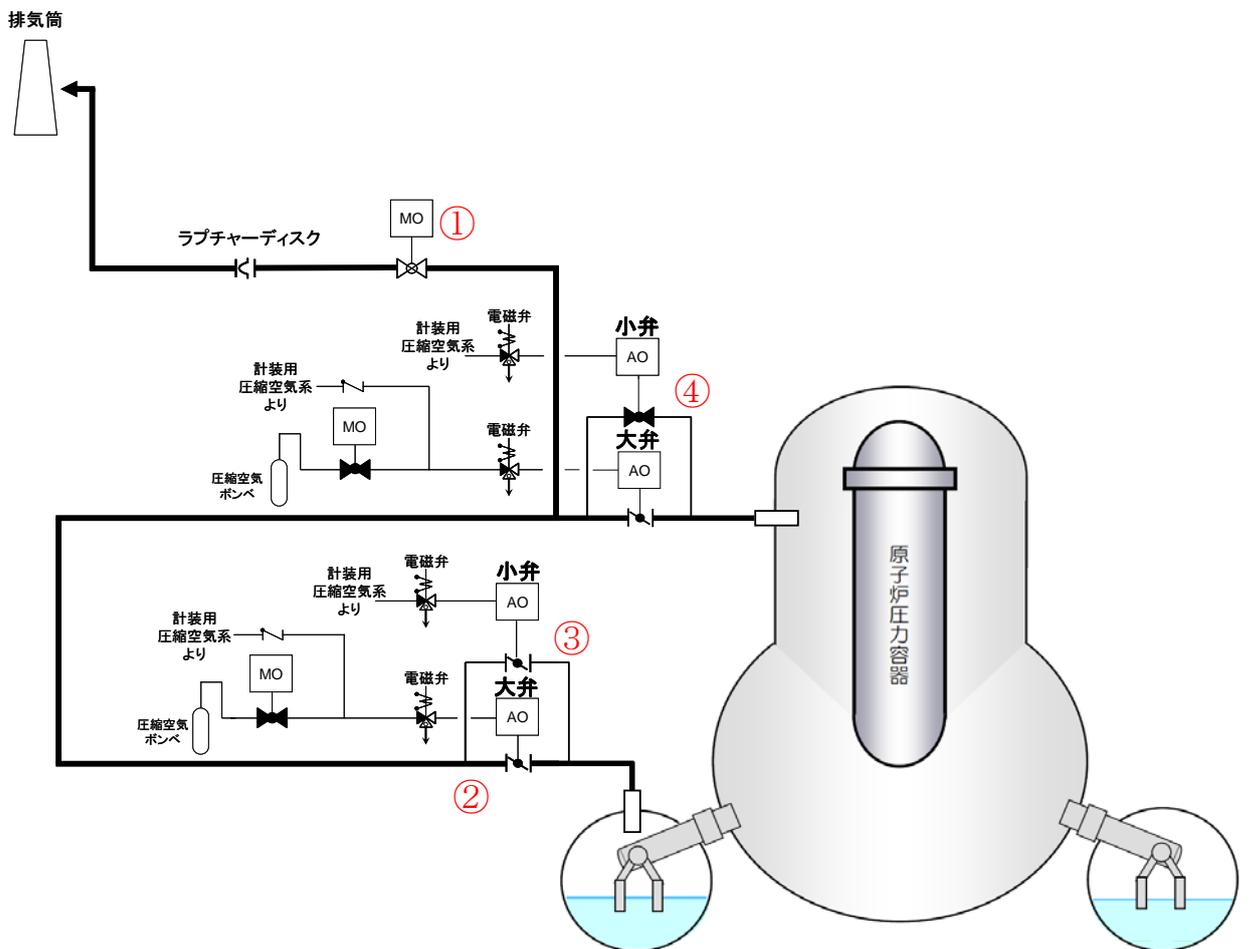
- ・ ドライウエル圧力に低下が見られないことから、発電所対策本部復旧班は14日18時35分、空気作動弁（大弁）だけでなく、空気作動弁（小弁《③》）を対象とした格納容器ベントラインの復旧作業を実施し、21時頃、ラブチャーディスクを除く格納容器ベントラインの系統構成を完了（ラブチャーディスク開放待ちの状態）した。
- ・ 14日22時50分、ドライウエル圧力が最高使用圧力427 kPa [gage]を超えたことから、発電所長は原災法第15条該当事象（格納容器圧力異常上昇）が発生したと判断した。
- ・ ドライウエル圧力は上昇傾向にある一方、圧力抑制室の圧力は約300～400 kPa [abs]で安定し、圧力が均一化されない状況が発生した。圧力抑制室の圧力はラブチャーディスクの作動圧力よりも低く、一方でドライウエル圧力が上昇していることから、14日23時35分、本店対策本部及び発電所対策本部は、ドライウエルからのベントラインにある空気作動弁（小弁《④》）を開けることにより格納容器ベントを実施する方針を決定した。
- ・ 15日0時01分、発電所対策本部復旧班はドライウエルからのベントラインにある空気作動弁（小弁《④》）の開操作を実施したが、数分後に閉状態であることを確認した。ドライウエル圧力は約750 kPa [abs]から低下せず高めのまま推移し、ベントの効果は現れなかった。【添付8-11】
- ・ その後、発電所対策本部復旧班は、原子炉圧力が上昇する都度、原子炉への注水を維持するために、主蒸気逃がし安全弁の開操作を繰り返した。一方、本店対策本部及び発電所対策本部では、原子炉圧力とドライウエル圧力の監視を続けた。
- ・ 15日5時35分、福島原子力発電所事故対策統合本部が設置された。

<衝撃音の発生と、一部要員の退避>

- ・ 15日6時14分頃、大きな衝撃音と振動が発生した。ほぼ同時期に圧力抑制室の圧力がダウンスケールを示し、発電所対策本部に0（ゼロ）kPa [abs]と伝えられた。
- ・ 圧力抑制室が損傷した可能性を考え、プラントの監視、応急復旧作業に必要な要員を除き、一時的に福島第二原子力発電所へ移動することとした。退避直後は約70名が発電所対策本部に残留、その日の昼頃には中央制御室でデータ監視を行う運転員や、現場の放射線量測定や免震重要棟の出入管理を行う保安班、発電所への出入管理を行う警備誘導班などの要員が、同日夕方頃には爆発の瓦礫撤去への対応を行う復旧班（土木部門）の要員が、徐々に福島第一原子力発電所へ戻って復旧作業を再開・継続

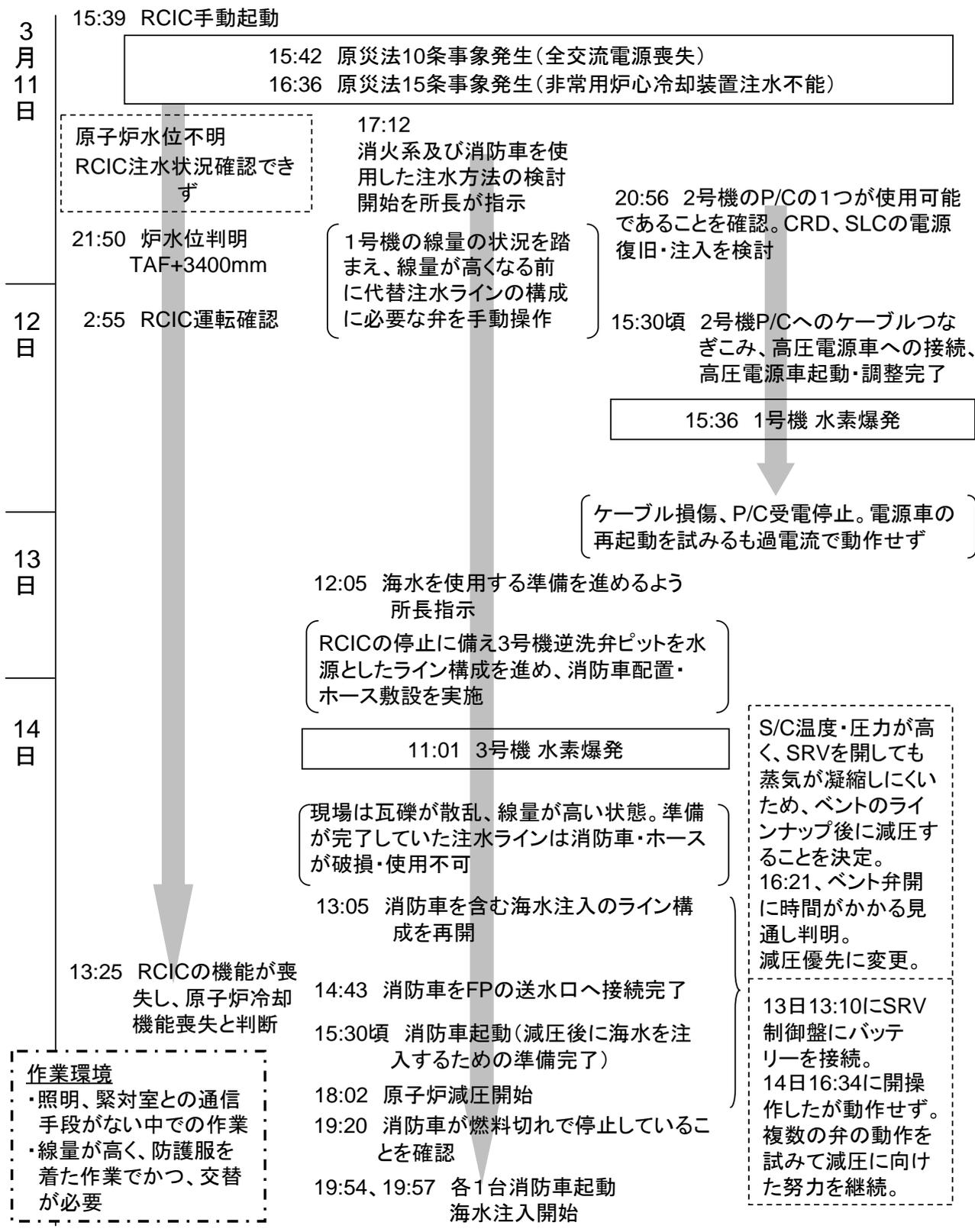
した。

- 一方、ドライウェル圧力は15日7時20分時点で730 kPa [abs] を維持していた。
- 15日10時30分に経済産業大臣より法令に基づく命令が出され、「海水注入を継続すること」との内容を10時37分にTV会議で共有した。なお、経済産業大臣名で発出された命令書には、「極力早期に原子炉への注水を行うこと。必要に応じ、ドライウェルベントを行うこと」と記載されていた。
- 次の測定である15日11時25分時点でのドライウェル圧力は155 kPa [abs] に低下した。この間に、正門付近のモニタリングカーでの測定値が大幅に上昇した。



福島第一2号機 格納容器ベントのライン構成のために操作を行った弁

福島第一2号機 注水に関する主な経緯(津波襲来以降)



福島第一2号機 ベントに関する主な経緯(津波襲来以降)

3月11日	15:42 原災法10条事象発生(全交流電源喪失) 16:36 原災法15条事象発生(非常用炉心冷却装置注水不能)
12日	<p style="text-align: center;"><u>D/W圧力</u> <u>格納容器ベント準備・操作</u></p> 23:25 141kPa 約200~300kPaで安定 D/W圧力はラプチャーディスク開放設定値以下 2:55にRCICの運転が確認できたことから、1号機のベントを優先する方向とし、2号機はパラメータ監視を継続 17:30 ベントの準備を開始するよう発電所長指示 (<ul style="list-style-type: none"> ・1号機のベント操作手順等を基に、ベントに必要な弁の操作方法を確認し、ベント手順を作成。 ・バルブチェックシートを用いてベント弁の現場の位置を確認)
13日	8:10 PCVベント弁(MO弁)を手順通り25%開 10:15 発電所長よりベント実施指示 (<ul style="list-style-type: none"> ・S/Cベント弁(AO弁)大弁の開操作実施(仮設照明用小型発電機により電磁弁を励磁)) 11:00 ラプチャーディスクを除くベントライン構成完了 (<ul style="list-style-type: none"> ・S/Cベント弁(AO弁)大弁の開状態維持のため仮設空気圧縮機の手配を開始)
14日	1:52 福島第二から仮設空気圧縮機到着。3:00頃にタービン建屋1階に設置し供給を開始 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin: 10px 0;">11:01 3号機 水素爆発</div> 12:50 爆発の影響によりS/Cベント弁(AO弁)大弁の電磁弁励磁用回路が外れ、閉になったことを確認 16:00頃 S/Cベント弁(AO弁)大弁開操作実施(16:21 開操作できず) 18:35 S/Cベント弁(AO弁)小弁も対象としてベントラインの復旧作業を継続 21:00頃 S/Cベント弁(AO弁)小弁が微開となり、ラプチャーディスクを除くベントライン構成完成 原災法15条事象「格納容器圧力異常上昇」と判断 22:50 540kPa (D/W圧力上昇) 23:00 580kPa 23:25 700kPa 23:40 740kPa 23:46 750kPa 23:35 S/Cベント弁小弁が開いていなかったことを確認。S/C圧力とD/W圧力が均一化されない状況発生。D/Wベント弁小弁によるベント実施方針を決定
15日	0:05 740kPa 0:10 740kPa 7:20 730kPa 11:25 155kPa 0:01 D/Wベント弁小弁を開操作したが、数分後に閉であることを確認(ベントの成否は確認できず) 6:14頃 大きな衝撃音と振動が発生(S/C圧力の指示値:ダウンスケール) 11:25 D/W圧力の低下を確認

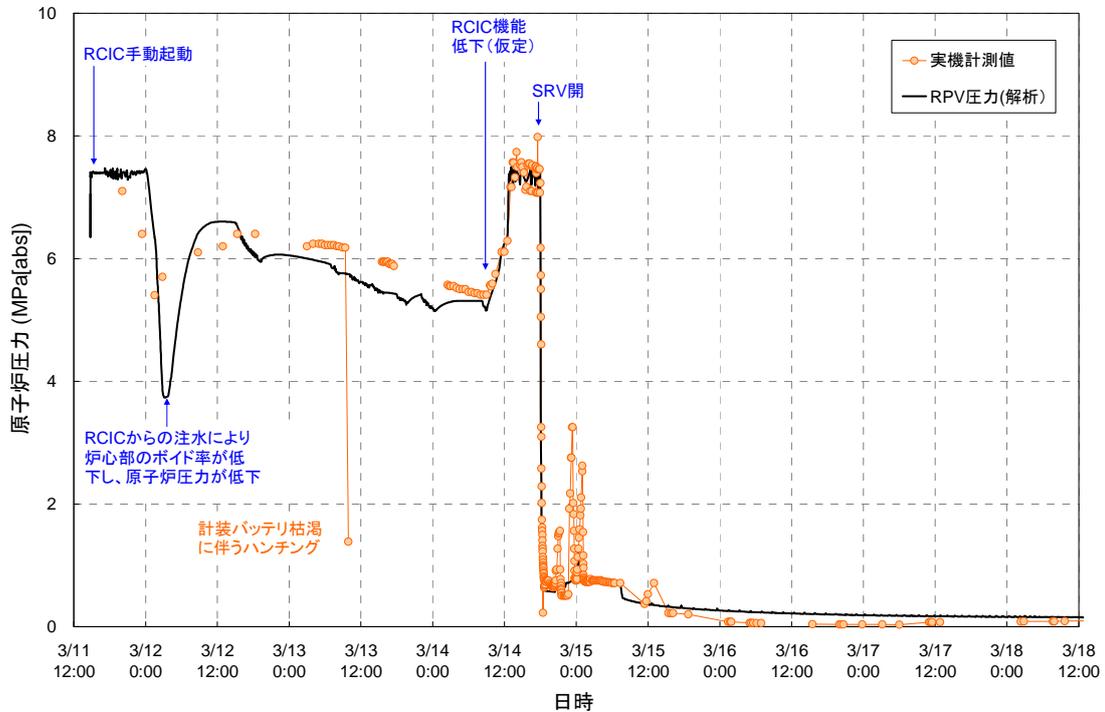
(3) プラントの動き

①解析による事象進展の評価

事故時の福島第一2号機の原子炉水位、原子炉圧力、格納容器圧力などに関する実機計測値（実際に計測された値）をもとに、MAAPコードを用いて事象進展を評価した結果を以下に示す。

<原子炉圧力及び原子炉水位の動き>

原子炉隔離時冷却系の運転期間中、原子炉圧力の実測値は通常運転圧力より低い圧力で推移している。この圧力では主蒸気逃がし安全弁（安全弁機能）の作動はないため、主蒸気逃がし安全弁以外の経路で崩壊熱が格納容器へ移行していないと圧力の動きについて説明ができない。この動きについて、次のように考察した。



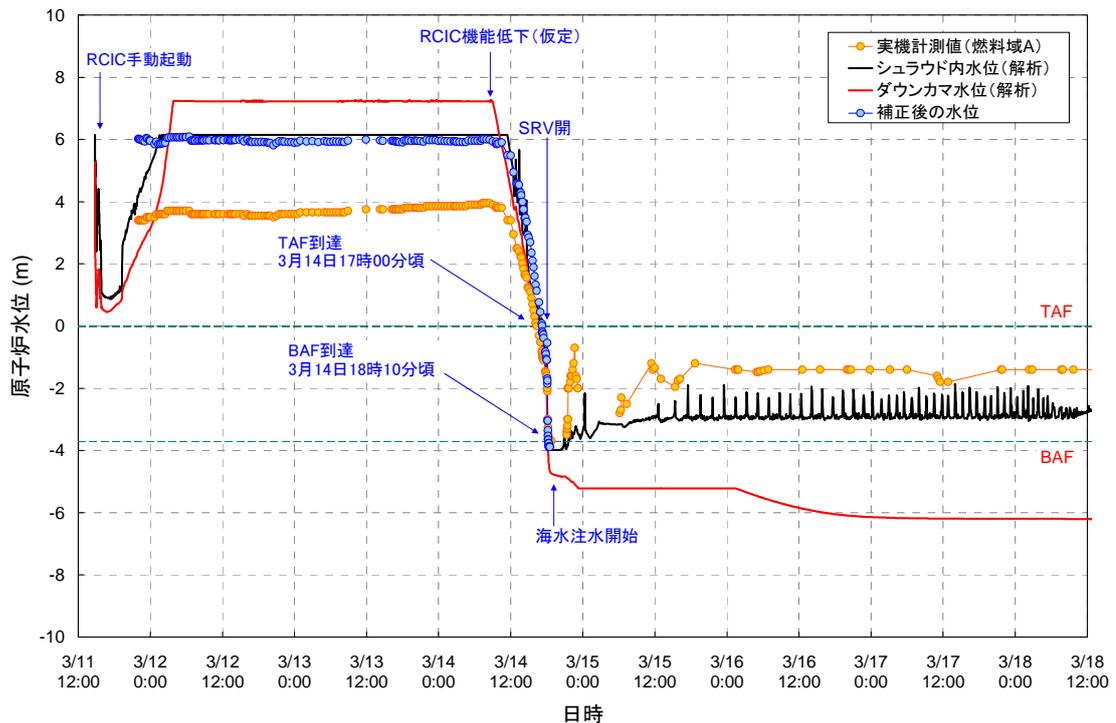
2号機 原子炉圧力変化

まず、原子炉隔離時冷却系の運転期間中、原子炉水位の実機計測値は4000 mm程度で推移している。この計測値は燃料域水位計にて計測したが、燃料域水位計は原子炉冷却材喪失事故時の水位監視等を使用目的としていることから、大気圧、飽和温度で校正されているため、計測された原子炉水位を原子炉圧力及びドライウェル温度で補正¹すると、水位計の基準面器水面（TAF+約5916 mm）程度となる結果となった。

通常、原子炉隔離時冷却系はタービンに水滴を含んだ蒸気が流入することを防ぐため、原子炉水位高L-8（TAF+5653 mm）でトリップする。したがって、基準面器水面まで原子炉水位が上昇することはない。しかし、今回の事故において、福島第一2

¹ 原子炉圧力の実測値がない時刻の水位の補正は、測定されている他の時刻の値をもとに線形補完した。ドライウェル温度は実測値がないため平成23年5月23日に原子力安全・保安院に報告した「東北地方太平洋沖地震発生当時の福島第一原子力発電所運転記録及び事故記録の分析と影響評価について」に記載の解析結果の値を用いた。なお、平成23年5月の解析と今回実施した解析で、ドライウェル温度の解析値に大きな差はない。

号機では、制御電源が喪失したことにより原子炉隔離時冷却系は L-8 トリップすることなく運転を継続し、基準面器水面に到達する程原子炉水位が上昇したと考えられる。



2号機 原子炉水位変化

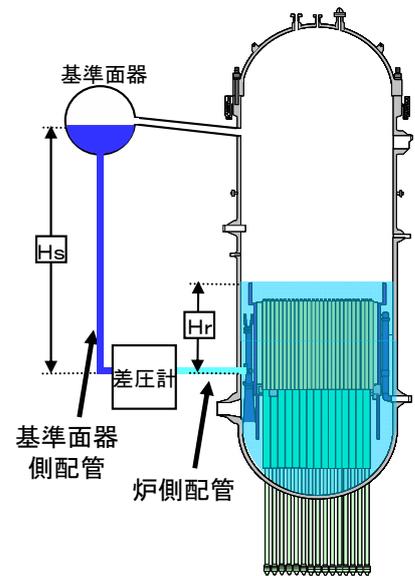
なお、水位計の構造上、原子炉水位が基準面器水面以上となると基準面器側配管と炉側配管の差圧（右図に示す $H_s - H_r$ ）が変化しなくなるため、見かけ上の原子炉水位は基準面器水面の高さで一定となる。このことは、今回計測された水位計の補正後の指示値と一致している。

基準面器高さで水位を維持するメカニズムもないことから、原子炉隔離時冷却系の運転期間中は原子炉水位が基準面器水面以上であった可能性が高く、さらに、主蒸気管高さ（TAF+約7301mm）以上に上昇していたということも考えられる。その場合には、主蒸気管へ原子炉水が流れ込むことにより、原子炉隔離時冷却系のタービン駆動蒸気が二相流となっていたことが考えられる。

駆動蒸気が二相流となった状態での原子炉隔離時冷却系の注水能力については、定量的な評価は困難であるものの、通常の蒸気のみによる運転よりもタービン回転数が少なくなることで注水流量も定格より少なくなっていた可能性が考えられる。

このような推定をもとに、原子炉隔離時冷却系の流量を定格の $95 \text{ m}^3/\text{h}$ の約 $1/3$ である $30 \text{ m}^3/\text{h}$ と仮定して解析を実施したところ、原子炉隔離時冷却系の運転中に計測された定格より低い原子炉圧力の推移をおおよそ再現できる結果が得られた。

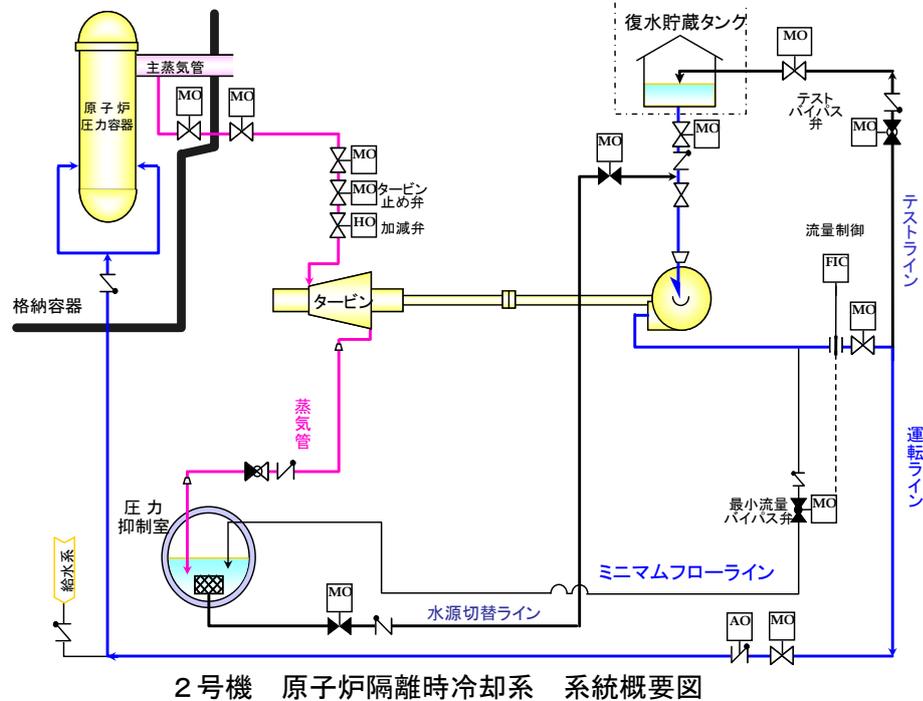
また、解析では、原子炉水位が基準面器水面以上との想定のもと、実機計測値の水位低下速度及び3月14日9時頃から原子炉圧力の実機計測値が上昇していることを踏まえ、3月14日9時から原子炉隔離時冷却系の機能低下を仮定している。その後原子炉水位の解析値は低下し、有効燃料頂部（TAF）到達時刻が、地震発生（11日14時



原子炉水位計の構造

46分) から約74時間後であり、約75時間後には有効燃料底部 (BAF) に到達する結果となった。

なお、実機において、14日18時頃に主蒸気逃がし安全弁を開操作していることにより、原子炉圧力は急速減圧され、1 MPa [abs]以下となった。解析においても、主蒸気逃がし安全弁の開操作を設定したところ、原子炉圧力は実測値と同様の推移を示す結果となった。



<格納容器圧力の動き>

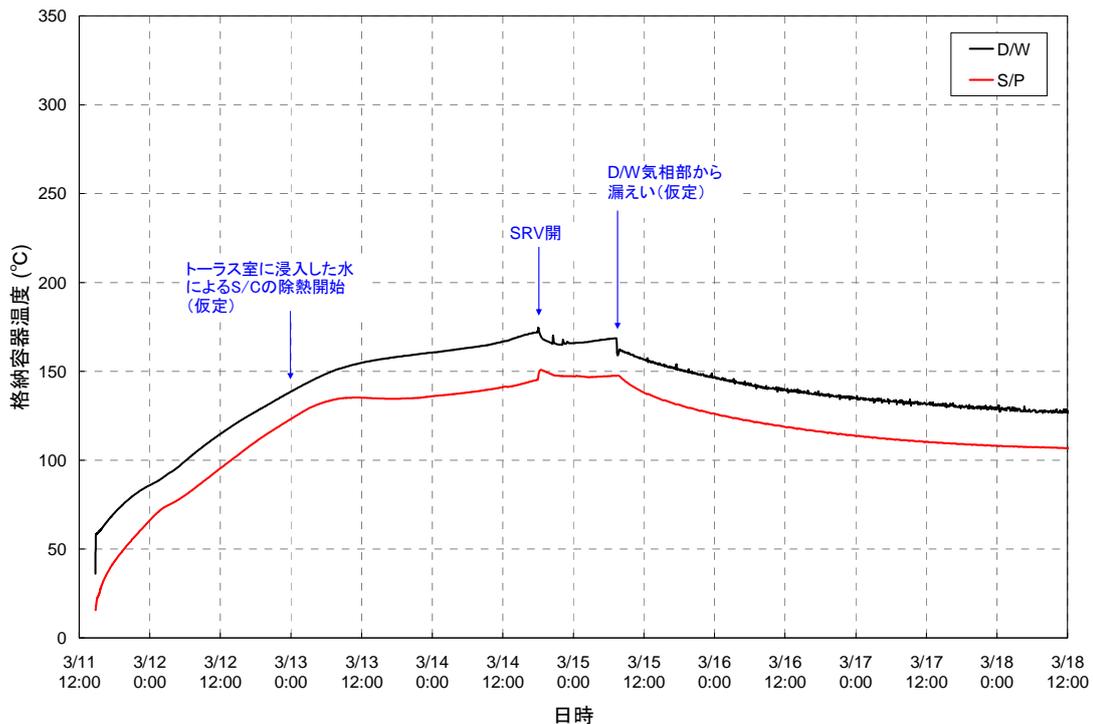
福島第一2号機の格納容器 (ドライウェル、圧力抑制室) 圧力は、本来であれば、原子炉で発生した蒸気が原子炉隔離時冷却系や主蒸気逃がし安全弁を経由して圧力抑制室に排気されることに伴い大きく上昇するところ、3月12日0時頃～14日12時頃の実機計測値は、予想される上昇の度合いと比べ緩慢であることが確認された。

この期間、外部水源からのスプレー等による格納容器内の冷却は実施していないため、この格納容器圧力の動きを説明しうるシナリオとして、「格納容器 (ドライウェル) からの漏えいによる除熱」、「圧力抑制室が収められているトラス室が津波により浸水し、圧力抑制室が壁面を介して浸水した水に熱伝達を行うことによる除熱」が考えられるが、以下の理由から1つ目のシナリオは想定し得ないと評価される。

「格納容器 (ドライウェル) からの漏えいによる除熱」シナリオ

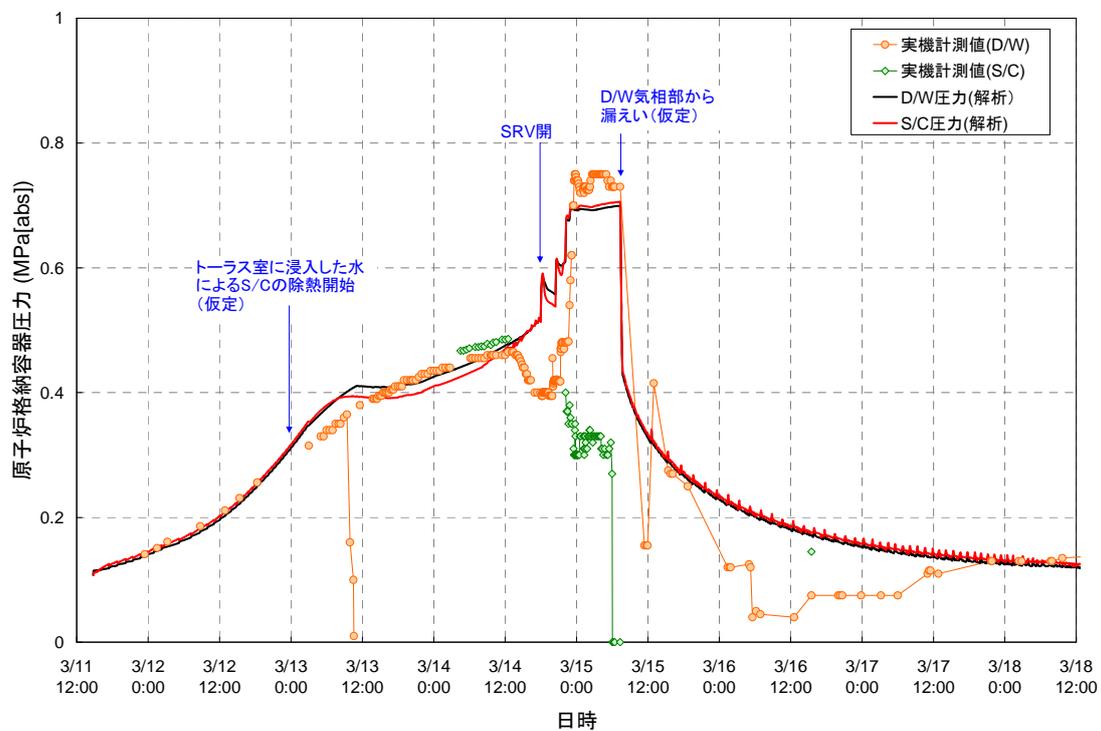
- ・ 実機計測値において、14日22時40分頃にドライウェル圧力が急激に上昇し、その後、高い圧力状態を維持している。ところが、ドライウェルからの漏えいを仮定した場合、このような急激な上昇及び高い圧力状態の維持は模擬できない。
- ・ また、過去の研究¹で得られた知見によれば、過温による格納容器からの漏えいはガスケット等から発生する可能性が高く、その際の温度は300℃程度との知見が得られているが、解析における格納容器内温度は300℃まで上昇していない。

¹ K. Hirao, T. Zama, M. Goto et al., "High-temperature leak characteristics of PCV hatch flange gasket," Nucl. Eng. Des., 145, 375-386 (1993).



2号機 格納容器温度変化

このため、圧力抑制室が収められているトラス室が津波により浸水し、大きな表面積を持つ圧力抑制室が壁面を介して浸水した水に熱伝達を行うというシナリオによる解析を行った。その結果、ドライウェル圧力は原子炉隔離時冷却系が運転している間、緩慢に上昇し、炉心損傷に伴う水素の発生等により急上昇する結果となり、実機で観測された動きをおおむね再現できる結果が得られた。



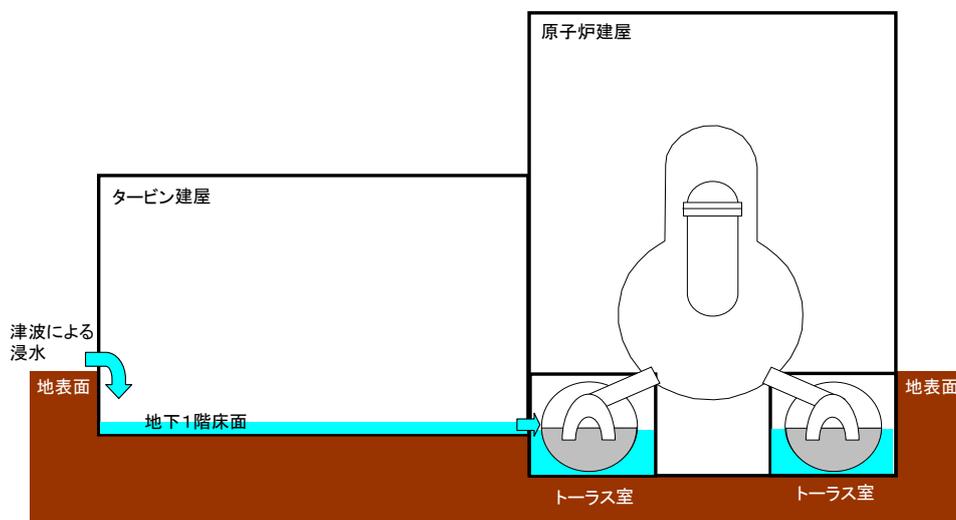
2号機 格納容器圧力変化

解析のシナリオにおいてトラス室が浸水していることを仮定しているが、実際に浸水していたか否かに関する証言等の事実は現在のところ確認できていない。

ただし、津波後の早い段階で原子炉隔離時冷却系（R C I C）室、タービン建屋地下階等が浸水していたことが確認されていること、水が各建屋間のケーブル貫通部等を通じて移動していることは、現在の滞留水の各建屋における水位等から判断できること等を踏まえると、原子炉建屋の最下層にあるトラス室が津波の影響により浸水していた可能性はあると考えられる。

具体的には、タービン建屋と原子炉建屋のトラス室をつなぐ貫通部があり、津波による浸水に伴う水圧によって貫通部のシール機能が喪失した可能性が考えられ、その場合はタービン建屋が浸水するとトラス室へ水が流入することが考えられる。

その場合のトラス室の水没はタービン建屋と原子炉建屋の断面図から半分程度となる。



なお、福島第一2号機とほぼ同じ構造である福島第一4号機のトラス室は圧力抑制室高さの半分程度水没していることが確認されており、4号機が定期検査中、2号機が運転中であったという状況の違いはあるものの、トラス室への浸水については4号機と同様に2号機でも生じていた可能性はあると考えられる。

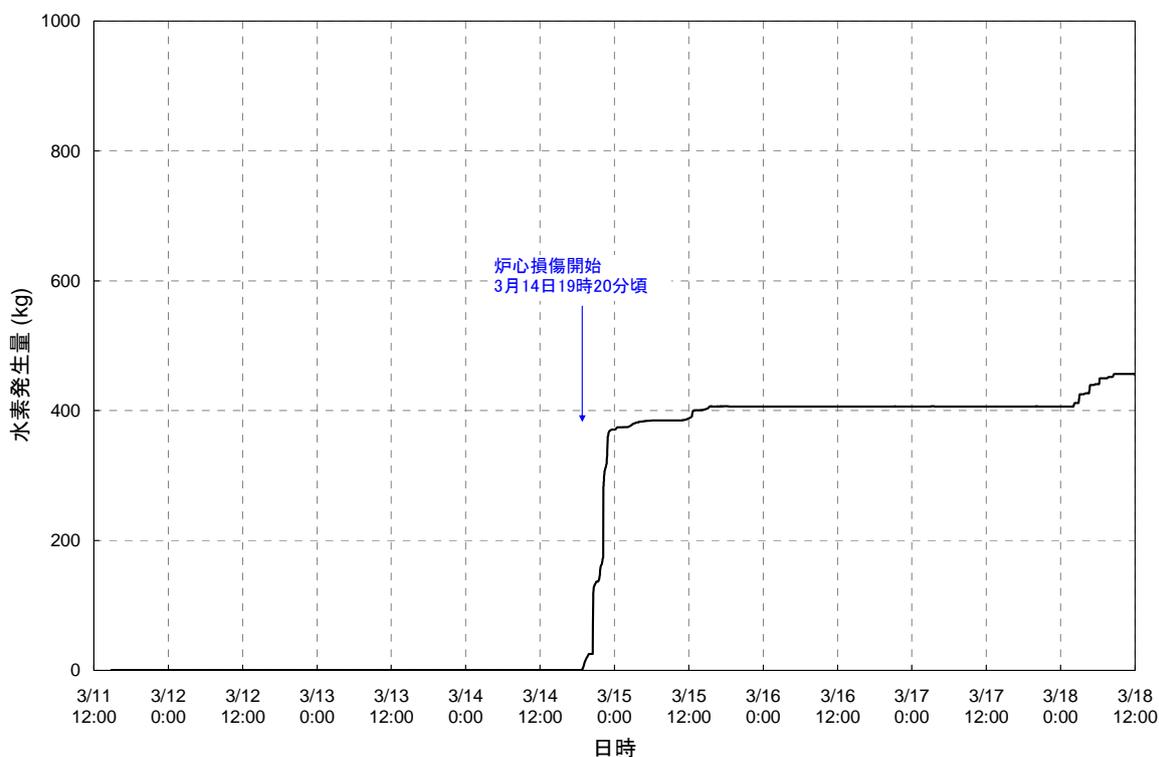


4号機トラス室キャットウォークから真下を撮影

<水素発生量について>

解析では、炉心損傷が開始する時刻（燃料最高温度の解析値が1200℃を超えた時刻）は、地震発生（11日14時46分）から約77時間後である。炉心損傷が始まるなど、燃料温度が上昇することに伴い、水-ジルコニウム反応により水素が発生している。

解析で算出された水素の発生量は約460kgとなっている。



2号機 水素発生量変化

②プラントパラメータの動きに関する評価

福島第一2号機の事故発生時の原子炉水位、原子炉圧力、ドライウェル圧力等のプラントパラメータのトレンドを【添付8-12】に示す。プラントパラメータから確認できる特徴として以下のポイントがあげられる。なお、《A》等の記号は、添付資料中のグラフの着目点を示す。

- 原子炉隔離時冷却系が津波後長時間機能したことから、14日朝まで原子炉水位は維持されている。なお、当該水位は燃料域水位計に仮設電源をつなぎ計測したものであるが、前に述べた通り原子炉圧力、ドライウェル温度の補正等を考慮すると主蒸気管高さまで上昇していた可能性が考えられる。《A》
- また、原子炉圧力は定格圧力より低い約6 MPa [gage] で推移している。これは、注水を行っていた原子炉隔離時冷却系のポンプ駆動用タービンへの蒸気が、主蒸気管に原子炉水が流入することで二相流となり、蒸気のみ状態よりエネルギーが高い状態で原子炉から原子炉隔離時冷却系のタービンを経由して圧力抑制室へエネルギーが多く流出したため、低い原子炉圧力の状態でエネルギーがバランスした

ものと考えられる。《H》

- その後、原子炉隔離時冷却系の機能低下に伴って原子炉圧力は主蒸気逃がし安全弁（安全弁機能）の作動圧まで上昇している。《B》
- この間に、14日11時頃から原子炉水位は低下し、その後、主蒸気逃がし安全弁から圧力抑制室に蒸気が逃げることで炉内の保有水量が減少し、有効燃料頂部（TAF）を下回るに至っている。《B》、《C》
- その後、主蒸気逃がし安全弁を作動させて原子炉を減圧したが、低圧の注水が直ちに成功していないこと、また、原子炉の減圧に伴う圧力抑制室への蒸気流出によって生じる更なる保有水量の急減で、結果として冷却が一段と悪化したことから、炉心の損傷が始まり14日22時頃からCAMS（格納容器雰囲気モニタ）の測定値が急上昇している。また、ほぼ同時期にドライウェル圧力が上昇し始め、水素発生が始まっていることを示唆している。《D》、《E》、《F》
- 水位低下開始（14日11時頃）から、炉心損傷（14日19時頃）までの動きが比較的穏やかであるのは、炉心の崩壊熱が減少しているためと考えられる。
- なお、原子炉水位計は原子炉内の水頭と原子炉の外の基準水面の水頭の差圧から水位を計測するものであり、炉心損傷に伴う格納容器内の温度上昇等で基準水面側が蒸発して低下すると実際の水位と異なった値を示すが、2号機も1号機と同様、6月23日に水位計の水張り作業を行ったところ、燃料域内に水位がない可能性が示唆されており、実際に基準水面側が蒸発していた可能性が高い。したがって、炉心損傷後はMAAP解析結果の方が現実に近い動きを模擬していることが考えられる。
- 14日22時頃より、ドライウェル圧力と圧力抑制室の圧力が乖離しており、これらの圧力の値に関する信頼性が疑われていたところ、15日6時14分頃に圧力抑制室の圧力がダウンスケールとなり、一方、ドライウェル圧力は7時20分時点で730 kPa [abs] を維持していた。なお、圧力計はダイヤフラム式等のシンプルな構造で測定の信頼性は高いが、ドライウェルと圧力抑制室の圧力はほぼ同じ値になるものであり、圧力抑制室の圧力計の故障の可能性が考えられる。
- 次の測定である15日11時25分時点でのドライウェル圧力は155 kPa [abs] に低下しており、この間に格納容器内のガスが何らかの形で大気中に放出されたと考えられ、正門付近のモニタリングカーでの測定値も大幅に上昇している。

③原子炉隔離時冷却系の運転に関する考察

原子炉隔離時冷却系タービンへ流入する蒸気が二相流となっている可能性について前述したが、一般にタービンへ流入する蒸気の状態が設計条件より多少悪化しても直ちに翼破損やブレーキにはならず、かつ、ドレン水（二相流の水）は圧力抑制室方向へ排出され、直ちにタービン内に蓄積されることはないと考えられる。

このことから、福島第一2号機では当該タービンが二相流により駆動し、運転が継続された可能性が考えられる。

さらに原子炉水位が上昇し、主蒸気管（原子炉隔離時冷却系の蒸気供給ライン）が水没、もしくはそれに近い状態となった場合には、原子炉隔離時冷却系タービンへの蒸気供給が十分でなくなるため、タービンが減速し停止に至る可能性がある。

ただし、タービンは直ちに停止せず、減速に伴う注水量の減少により原子炉水位が低下してタービンへ蒸気が流入する状態に戻るなど、原子炉水位が主蒸気管高さ近傍で維

持され、運転が継続された可能性も考えられる。

以上より、原子炉隔離時冷却系による注水は、不確かさは残るものの、制御電源の喪失により制御されることなく運転が継続したことで駆動用タービンへ供給される蒸気が二相流となり、二相流による原子炉から持ち出されるエネルギーと崩壊熱が主蒸気逃がし安全弁の作動がなくてもバランスした状態となっていたものと考えられる。

(4) まとめ

①指揮・命令系統について

(当社は、格納容器ベントや海水注入をためらったのではないか、という疑問について)

発電所対策本部では、発電所長が原災法第10条、15条発生の通報連絡を行うとともに、1号機、3号機の対応を踏まえて、原子炉隔離時冷却系運転中に格納容器ベントや注水の指示を行い、これらの準備を完了していた。

中央制御室では、仮設電源で復旧された監視計器による監視や代替注水ラインの確保、原子炉隔離時冷却系の水源切替などを行っており、動かすことができる設備、確認できる計器がほとんどなく、現場との通信手段もない作業条件の中で事故収束に向けた対応操作を行った。

以上より、結果的に炉心損傷に至ったものの、発電所長、当直長がその時々プラント状態に応じた指示を出し、本店対策本部を含め、事故収束に向けた対応をしていたものと考えられる。

なお、格納容器ベント実施に向けた対応を行っている最中に、その対応方法について官邸から発電所長に直接連絡がされており、**現場実態を踏まえた対応指示と意思決定という原則に鑑みると、現場の情報が限定される中での本店や官邸等からの指示の方法には、検討の余地がある**と考えられる。

これらに関して具体的に確認された事実は以下のとおりである。

<通報連絡とアクシデントマネジメント対応>

発電所長は、11日15時41分に全交流電源喪失となつてすぐの15時42分に原災法第10条の状態に至つたことを判断し、通報連絡を行った。また、当直長より原災法第15条対象事象が発生したとの報告を受けた16時25分の11分後の16時36分に原災法第15条の状態に至つたことを判断し、通報連絡を行った。

[通報連絡の実施：本文 P159、別紙 2P6]

発電所長は、原子炉隔離時冷却系が運転を継続している中で、1号機の原子炉建屋爆発後に現場作業を開始(12日17時20分頃)し、12日17時30分に格納容器ベントの準備を指示した。また、3号機の消防車による注水(13日9時25分開始)から約2時間半後の13日12時05分に臨機の対応として消防車による海水注入の検討を指示した。

[消火系ラインによる注水や消防車の活用指示：本文 P162、別紙 2P71]

[格納容器ベントの準備指示：本文 P161、別紙 2P77]

この結果、原子炉隔離時冷却系が停止する前に一度、注水とベントの準備を完了していたものの、3号機原子炉建屋の爆発の影響により再度準備が必要となった。

[3号機爆発前の低圧注水への移行準備：本文 P161～162、別紙 2P71～72]

<国からの命令・連絡>

14日夕方、圧力抑制室の圧力・温度が高く原子炉が減圧しにくい可能性があったことから、格納容器ベントの準備を完了させてから減圧を行うこととして対応を進めていた中、官邸（班目原子力安全委員会委員長）から発電所長へ「格納容器ベントよりも減圧・注水を優先すべき」との連絡が直接入っている。対応を協議した本店対策本部と発電所対策本部は、格納容器ベントの準備を完了させた上で原子炉の減圧を行うという方針を再確認し、現場作業を継続したが、結果的には、格納容器ベントの構成に時間がかかることになったため、減圧・注水を優先することとなった。

[班目委員長による復旧作業への関与：本文 P163、別紙 2P73～74, 79～80]

また、15日10時30分に国から「海水注入を継続すること」との命令が出されている¹が、現場では既に消防車による海水注入を実施しており、命令が出されたことによる現場対応への影響はなかった。

[国からの海水注入等に関する命令：本文 P165、別紙 2P65, 84]

②原子炉隔離時冷却系の運転中における注水切替の可能性について

（当社は何故、原子炉隔離時冷却系が運転中に消防車による注水に切り替えなかったのか、という疑問について）

3号機原子炉建屋の爆発前には海水注入の準備が整っていたが、11日から13日にかけて1号機、3号機において電源を喪失した中で注水手段を失い、また2回の爆発が発生するなどの厳しい状況の中で事故収束に向けた対応が続けられており、その時点で消防車による注水への切替操作を行うことは、現実的には難しかったと考えられる。

むしろ、原子炉隔離時冷却系が長期にわたって運転した結果として、その間、より状況の厳しい1号機及び3号機の対応に要員と逆洗弁ピット内の限られた海水を含む資機材を振り向けることが可能となっていた。さらに、1号機及び3号機の対応の後で消防車による注水に切り替えたことで崩壊熱を可能な限り減じることができた。

加えて、その当時は、原子炉隔離時冷却系によって注水がなされ、原子炉水位も確保されており、臨機の対応として準備した仮設電源による原子炉の減圧、消防車による注水の信頼性と供給力を考えると積極的に切替を行う理由は見あたらない。

これらに関して具体的に確認された事実は以下のとおりである。

<切替に向けた準備とプラント状態>

海水注入に向けて、11日中に運転員が消火系を使用した代替注水ラインの構成を、13日中に自衛消防隊が消防車の配備とホースの敷設を、また発電所対策本部復旧班が原子炉の減圧に必要なバッテリーの準備を、各々完了させており、注水の準備が整っていた。また、この時点では、原子炉隔離時冷却系が運転を継続しており、原子炉水位も十分に確保されていた。

[3号機爆発前の低圧注水への移行準備：本文 P161～162、別紙 2P71～72]

14日11時01分に発生した3号機原子炉建屋の爆発後間もなく、原子炉水位が低下して原子炉隔離時冷却系が機能喪失したと判断し、爆発による影響（安否確認、負傷者の救出等）への対応も余儀なくされる中で、結果的に原子炉の減圧と注水が間に合わず、炉心損傷に至った。[プラントパラメータに関する評価：本文 P173～174]

¹ 発出された命令書には「極力早期に原子炉への注水を行うこと。必要に応じ、ドライウエルのベントを行うこと」と記載されている。

③原子炉隔離時冷却系の機能喪失後の注水切替について

(当社は何故、原子炉隔離時冷却系の機能喪失後すぐに注水を開始できなかったのか、という疑問について)

3号機原子炉建屋の爆発後の現場は散乱する瓦礫の影響で放射線量が高く、再爆発の恐怖の中ですぐには作業を再開できる状況ではなかった。1号機に続き2度目の爆発直後という作業環境的にも精神的にも厳しい状況の中で、爆発で生じた高線量の瓦礫の撤去や、損傷した消防車及びホースの取替等の対応を進めたが、結果として炉心損傷を防ぐことができなかった。

炉心損傷に至ってしまったことに鑑みると、**全電源が喪失した場合においても、速やかに減圧、低圧注水へ移行できる電源、ポンプ等の圧縮空気（窒素）等の資機材を予め準備しておくとともに、それらを活用するための訓練を行っておくことが必要である**と考えられる。《16.2項 減圧装置（方針1、2）、低圧注水設備（方針1、2）》これらに関して具体的に確認された事実は以下のとおりである。

<現場の状況>

2号機は、原子炉隔離時冷却系が比較的長時間機能していたことから、炉心の崩壊熱は停止直後より小さくなっていった。原子炉水位の低下が始まり、14日13時25分、高圧系（原子炉隔離時冷却系）の機能喪失と判断した。

高圧系（原子炉隔離時冷却系）から低圧注水（消防車による海水注入）へ切り替える準備は、13日夕刻には完了していたものの、14日11時01分の3号機原子炉建屋の爆発により、消防車やホースは損傷し、取水場所である逆洗弁ピットも爆発で生じた瓦礫が散乱し、新たなラインを再構築せざるを得ない状況となった。しかしながら爆発後の現場は散乱する瓦礫の影響で放射線量が高く、さらに再爆発の恐怖の中ですぐには作業を再開できる状況ではなかった。

[3号機爆発の影響：本文 P162、別紙 2P72]

14日13時05分の作業再開後、瓦礫撤去や損傷した消防車・ホースの取替等を進め、15時30分頃に消防車のポンプを起動し低圧注水の準備を整えた。その後の原子炉の減圧操作において、事前に仮設電源等により準備していたものの、主蒸気逃がし安全弁を直ちに動作させることはできなかった。また、主蒸気逃がし安全弁が動作し、18時02分から原子炉圧力が減圧される一方で、現場の放射線量が高いため現場に常駐できず、交替で消防車の運転状態の確認等を余儀なくされている中、消防車が燃料切れとなり、再起動が必要となった。

[3号機爆発後の復旧作業：本文 P162～163、別紙 2P72～75]

8. 4 福島第一3号機の対応とプラントの動き

(1) 対応状況の概要

① 11日15時頃～12日12時頃

福島第一3号機は、定格熱出力で運転していたが、3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震によって自動停止した。地震により外部電源を喪失したが、非常用D/Gが自動起動するとともに、原子炉隔離時冷却系によって原子炉水位の確保を行うなど、訓練と同じように冷温停止に向けた対応操作を行っていた。しかし、津波により非常用D/Gが停止し交流電源を喪失、交流電源の電動の弁やポンプ、監視計器などが動かなくなった。一方、3号機は1, 2号機と異なり、直流電源は機能喪失を免れた。

このため、直流電源で起動できる原子炉隔離時冷却系によりその流量を調整しながら、かつ、バッテリーの節約措置をとりながら冷却を継続することができた。

なお、津波到達直後の屋内外の状況は福島第一1号機と同様である。(屋外は瓦礫が散乱、建屋内の照明は消え、通信は困難な状態)

また、中央制御室では、圧力抑制室の圧力が上昇傾向にあったため、消火系のディーゼル駆動消火ポンプを起動して、12日12時頃に圧力抑制室スプレイを開始した。

② 12日12時頃～12日20時30分頃

12日11時半頃に冷却に使用していた原子炉隔離時冷却系が自動停止し原子炉水位が低下したが、1時間後には高圧注水系が自動起動し、原子炉水位が回復するとともに、原子炉圧力が減圧され始めた(容量が大きい高圧注水系を運転すると、ポンプ駆動用タービンに原子炉の蒸気が逃がされることで、原子炉圧力が低下する)。

また、この頃には高圧注水系の後はディーゼル駆動消火ポンプにより注水するということが発電所対策本部と中央制御室で共有されていた。

一方、格納容器圧力はそれほど高くなっていなかったが、いずれは格納容器ベントが必要になると考え、発電所長は格納容器ベントの準備を指示し、発電所対策本部及び中央制御室は手順等の検討を開始した。

さらに、3, 4号機で使用できる電源設備の調査を開始し、12日20時頃に4号機の電源盤が使用できる可能性があることを確認、電源車を用いた復旧作業を開始した。

そのような中、20時36分に原子炉水位計が電源喪失により監視できなくなったため、発電所対策本部が計器の復旧作業を開始した。

③ 12日20時30分頃～13日5時頃

高圧注水系による注水が継続されるとともに、ディーゼル駆動消火ポンプは使用可能、また、主蒸気逃がし安全弁の状態表示灯も点灯して操作可能であり、注水のバックアップの準備が整った状況が継続していた。

一方、高圧注水系の運転により原子炉圧力が低い状態が継続する中、13日2時頃原子炉圧力がさらに低下傾向を示し、本来なら自動停止する圧力となったが、停止しなかった。併せて、高圧注水系から原子炉へ注水されていない状況となった。このため、高

圧注水系からディーゼル駆動消火ポンプによる原子炉注水への切替作業を開始した。

この当時、現場でディーゼル駆動消火ポンプを圧力抑制室スプレイから原子炉注水へライン構成の変更を進めていたことから、中央制御室では既に変更が完了したと考え、13日2時42分に高圧注水系を手動停止、2時45分にディーゼル駆動消火ポンプによる注水を可能とするため、状態表示灯が点灯している主蒸気逃がし安全弁を開操作し、原子炉を減圧しようとした。しかし、主蒸気逃がし安全弁は開動作せず、減圧されなかったため、ディーゼル駆動消火ポンプによる注水を開始することができなかった。

運転員はすぐに主蒸気逃がし安全弁の復旧に向けて現場へ向かうとともに、原子炉隔離時冷却系や高圧注水系の再起動を試みたが、いずれも復旧がかなわなかった。このため、発電所長は、13日5時10分に原災法第15条事象（原子炉冷却機能喪失）に該当すると判断した。

④ 13日5時頃～13日9時頃

原子炉への注水設備を早く復旧しなければならず、高圧で注水可能な系統の起動に必要な電源復旧を進めていたが、12日15時36分の1号機爆発で予め準備していたケーブルが損傷していることを確認した。電源復旧に時間を要することとなったため、注水の選択肢はディーゼル駆動消火ポンプと消防車による注水のみとなった。

ただし、これらによる注水のためには原子炉の減圧が必要であった。発電所対策本部は主蒸気逃がし安全弁の仮設電源としてバッテリー確保に奔走した。車のバッテリー10個を確保し、中央制御室に運んで制御盤へつなぎこんでいたところ、13日9時頃に主蒸気逃がし安全弁が開き、原子炉の減圧が始まり、ディーゼル駆動消火ポンプとそれまでに準備した消防車による原子炉への淡水注入を開始した。

なお、この頃に中央制御室並びに発電所対策本部は発電所長の指示のもと、格納容器ベントのライン構成を開始し、13日8時41分にライン構成を完了した。

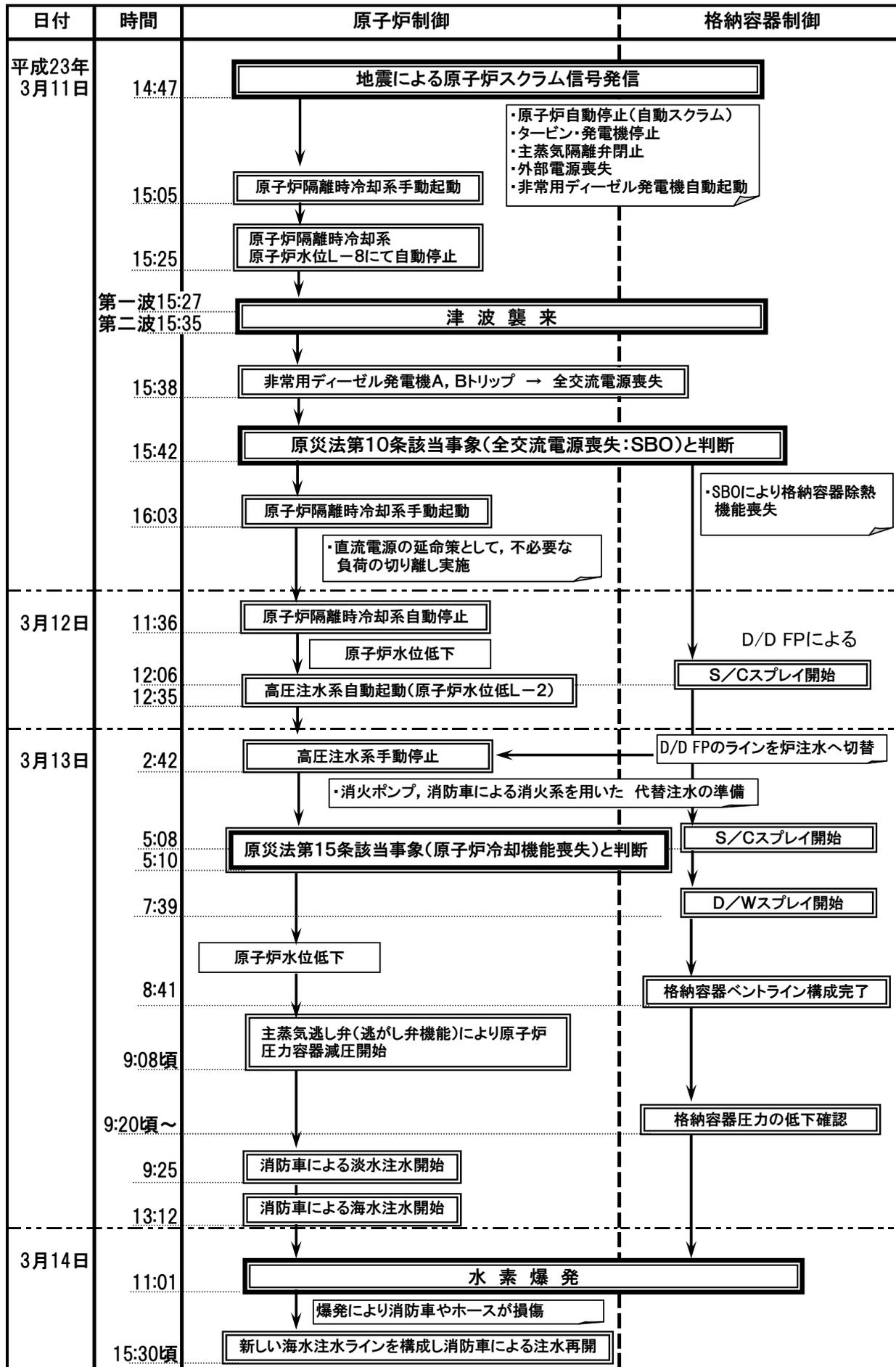
⑤ 13日9時頃～14日15時30分頃

13日9時20分頃、ドライウェル圧力が低下したことを確認し、格納容器ベントが実施されたと判断した。

その後、格納容器ベントの弁の開状態を維持するために必要な空気ポンペを交換するなど対応していた。

また、淡水が残り少なくなったため、水源切替を行い、海水注入を開始した。

そして、注水、ベントを継続している中で14日11時01分に3号機の原子炉建屋が爆発した。なお、12日の1号機の原子炉建屋爆発を受けて、爆発を回避するために建屋の穴開けを行う装置を発電所へ輸送する等の対応をしていたが間に合わなかった。爆発の影響で注水が停止したが、運転可能な消防車を使用して、物揚場からの注水ラインを構成し、15時30分頃に海水注入を再開した。



福島第一発電所3号機 地震後の主な流れ

(2) 対応状況詳細

① 11日15時頃～12日12時頃

地震により原子炉が自動停止した。主蒸気逃がし安全弁と原子炉隔離時冷却系により原子炉圧力・原子炉水位を制御するなど、冷温停止に向けた操作を行っていたが、津波により全交流電源を喪失した。直流電源が使用可能であったため、バッテリー節約措置をして原子炉隔離時冷却系により原子炉水位を維持した。その後、圧力抑制室の圧力が上昇傾向にあったため、ディーゼル駆動消火ポンプにより圧力抑制室スプレイを開始した。

<地震発生直後の対応（スクラム確認～原子炉隔離時冷却系による原子炉水位制御）>

- ・ 3号機は、3月11日14時46分に地震に襲われ、原子炉が自動停止し制御棒はすべて挿入された。その後、主蒸気逃がし安全弁で圧力制御を行い、原子炉隔離時冷却系を手動起動するなど、原子炉水位・原子炉圧力を安定させながら冷温停止に向けた操作を実施していた。

<津波襲来（全交流電源喪失～原子炉隔離時冷却系による原子炉水位制御）>

- ・ 11日15時38分、津波の浸水によって全ての交流電源を喪失。機器の冷却に必要な非常用海水系も喪失した。
- ・ 直流電源は、交流電源喪失により充電機能が失われたためバッテリーが枯渇するまでの期間ではあったが、その機能を確保していた。また、余震頻発による津波発生リスクがある中（【添付8-2】参照）、重油タンクが流されていること、サービス建屋まで津波が来たことなど、想像を超える状況が徐々に明らかとなり、即座に現場確認を行える状況ではなかった。
- ・ その後の復旧活動においては、重油タンクや瓦礫など津波による漂流物が電源車や消防車等の車両や作業員の移動の障害となり、かつ、建屋内外の照明やPHSやページング装置等の通信手段がほとんど存在しないなど、厳しい環境下での対応操作を余儀なくされた。
- ・ 11日15時42分、発電所長は原災法第10条該当事象（全交流電源喪失）と判断した。
- ・ 11日15時25分の原子炉水位高による原子炉隔離時冷却系自動停止に伴い原子炉水位が低下したが、津波襲来後の11日16時03分に、運転員が原子炉水位維持のために原子炉隔離時冷却系を手動起動した。

<バッテリー節約措置による原子炉隔離時冷却系の運転>

- ・ 運転員は、原子炉隔離時冷却系の起動停止によるバッテリー消費を避けること及び原子炉水位を安定して確保するために、原子炉水位高による自動停止に至らないよう原子炉注水ライン及びテストラインの両ラインを通水するライン構成とした上で、原子炉水位を緩やかな変化となるように流量を設定し運転することで、原子炉水位を維持した。

- 中央制御室では、さらにバッテリーを節約するため、監視計器や制御盤、計算機について、監視及び運転制御に最低限必要な設備を除き、負荷の切り離しを実施した。また、中央制御室の非常灯や時計、別室の蛍光灯を抜くなどのことを行った。

<中央制御室の照明確保>

- 発電所対策本部復旧班は、中央制御室照明の復旧を進め、11日21時27分に小型発電機を用いて仮設照明を復旧した。

<代替圧力抑制室スプレイの開始>

- 原子炉隔離時冷却系及び主蒸気逃がし安全弁からの排気蒸気により、11日以降、圧力抑制室の圧力が上昇傾向にあった。中央制御室では、圧力上昇を抑制するために、ディーゼル駆動消火ポンプを用いた圧力抑制室スプレイを行うこととした。運転員が、照明が消えた暗闇の中現場にて電動弁を手動で開け、12日12時06分にディーゼル駆動消火ポンプを起動し圧力抑制室スプレイを開始した。

② 12日12時頃～12日20時30分頃

11時36分に原子炉隔離時冷却系が自動停止したが、その後、高圧注水系が自動起動し、原子炉減圧とともに原子炉水位を維持した。そのような中、20時36分、原子炉水位計の電源が喪失し、原子炉水位が不明となった。また、1号機での対応を踏まえて、格納容器ベントの準備を開始した。更に、電源復旧を開始した。

<原子炉隔離時冷却系の停止、高圧注水系の自動起動>

- 12日11時36分に原子炉隔離時冷却系が停止し、12日12時35分に原子炉水位低(L-2: TAF+2950mm)により高圧注水系が自動起動した。高圧注水系の起動により、原子炉減圧が開始された。
- 高圧注水系は原子炉隔離時冷却系と同様に、原子炉への注水ライン及びテストラインの両ラインを通水するライン構成とし、バッテリー節約措置を行い、原子炉水位高により自動停止に至らないよう中央制御室で流量制御をしつつ運転を行った。
- この頃、発電所対策本部と中央制御室は、原子炉注水手段を原子炉隔離時冷却系の後は高圧注水系、高圧注水系の後はディーゼル駆動消火ポンプにより注水することを考えていた。

<格納容器ベントの準備>

- 12日15時36分に1号機原子炉建屋上部で水素爆発が発生した。現場からの退避や安否確認が実施される中、17時20分頃、現場確認を開始した。
- 12日17時30分、発電所長は格納容器ベントの準備を開始するよう指示した。
- 中央制御室では、手順の検討や必要な弁の設置場所の確認等を実施。発電所対策本部発電班では、1号機のベント操作手順書や3号機アクシデントマネジメント操作手順書を見ながら、発電所対策本部復旧班とともにベント操作手順の検討を実施した。

<電源復旧>

- ・ 発電所対策本部復旧班は、1号機原子炉建屋爆発の原因がわからず、現場に行くことに不安を感じる中、3、4号機で使用できる電源設備の調査を開始した。12日20時05分、4号機の低圧電源盤（P/C）が使用できる可能性があることを発電所対策本部に報告、電源復旧の作業を開始した。

<原子炉水位計の電源喪失>

- ・ 12日20時36分、原子炉水位計の電源喪失により、原子炉水位の監視ができなくなった。運転員は、原子炉圧力や高圧注水系の吐出圧力などにより高圧注水系の運転状態を監視した。
- ・ 発電所対策本部復旧班は、中央制御室へバッテリーを運び込み、仮設照明だけの中央制御室で、格納容器ベントの作業と並行して、計器復旧作業を開始した。13日3時51分に原子炉水位計を復旧した。

③ 12日20時30分頃～13日5時頃

高圧注水系がいつ停止するかわからない状態で、原子炉水位が不明な状態が継続した。安定していた原子炉圧力が低下を始め、高圧注水系の損傷により原子炉の蒸気が放出されることが懸念されたことから、高圧注水系を手動停止した。主蒸気逃がし安全弁を操作し、ディーゼル駆動消火ポンプにより原子炉注水を試みたが、主蒸気逃がし安全弁が動作せず、原子炉圧力が上昇、代替注水はできなかった。また、原子炉隔離時冷却系、高圧注水系の操作を試みたが動作しなかった。

<高圧注水系の手動停止>

- ・ 高圧注水系のタービン回転数は、操作手順書に記載のある運転範囲を下回る低速度となり、いつ止まるか分からない状況で、原子炉水位が監視できず、水位不明の状態が継続していた。このような中、13日2時頃、約1MPaで安定していた原子炉圧力が低下傾向を示し、本来なら自動停止（隔離）する圧力（0.69MPa）となったが、停止しなかった。
- ・ 発電所対策本部発電班と中央制御室は、高圧注水系のタービン回転数が低下し、設備損傷により原子炉の蒸気が漏れることを懸念した。さらに原子炉圧力と高圧注水系の吐出圧力が同程度となっていたことから、原子炉へ注水がなされていない状況となった。また、中央制御室では、主蒸気逃がし安全弁の状態表示灯が点灯していたため、操作可能と考えた。以上より、ディーゼル駆動消火ポンプによる原子炉注水と高圧注水系の停止を早急を実施することとした。
- ・ 運転員が、ディーゼル駆動消火ポンプを圧力抑制室スプレイから原子炉注水へライン構成を切り替えるために現場に向かってしばらくたっていたことから、当直長は、高圧注水系の停止操作を行うことを発電所対策本部発電班に連絡し、13日2時42分に手動停止した。なお、手動停止時の原子炉圧力は0.58MPaまで下がっていた。

<原子炉圧力上昇>

- ・ 13日2時45分、中央制御室では、状態表示灯が点灯していた主蒸気逃がし安全弁を開操作し、アクシデントマネジメント策である代替注水手段としてディーゼル駆動消火ポンプによって注水することを試みた。しかし、主蒸気逃がし安全弁が動作せず、一時低下していた原子炉圧力が13日3時44分に約4.1 MPa [gage]まで再び上昇し、注水できなかつた。なお、この状況については、中央制御室と発電所対策本部発電班で継続的に共有され、発電所対策本部全体には原子炉圧力上昇後に報告された。

<主蒸気逃がし安全弁、原子炉隔離時冷却系、高圧注水系の復旧対応>

- ・ 運転員は、主蒸気逃がし安全弁が動作しなかつた原因として、駆動用窒素ガスが供給されなかつたと考え、すぐに現場へ行って供給ラインからの補給を試みたが、供給ラインの弁は構造上手動で操作することはできず、駆動用窒素ガスの補給はできなかつた。また、原子炉圧力が上昇していたことから、タービン駆動である原子炉隔離時冷却系及び高圧注水系を再起動して原子炉に注水することを試みたが、高圧注水系は電源となるバッテリーの枯渇により起動できず、また原子炉隔離時冷却系も弁の不調により起動できなかつた。
- ・ 13日5時08分、原子炉隔離時冷却系による原子炉注水ができなかつたことから、13日5時10分、発電所長は原災法第15条該当事象（原子炉冷却機能喪失）と判断した。

④ 13日5時頃～13日9時頃

格納容器ベントのライン構成を開始し、8時半頃完了した。一方、電源車を用いた電源復旧による高圧注水手段の確保を進めたが、時間がかかることが判明したため、急遽バッテリーにより主蒸気逃がし安全弁を動作させ、原子炉減圧し、消防車により注水することとした。バッテリーを収集し、接続作業を行っていたところ、9時頃原子炉の急速減圧が開始された。

<原子炉注水手段の確保に向けた対応（電源復旧の継続と消防車の手配）>

- ・ 発電所対策本部は、12日から準備を開始した電源車を用いた電源復旧を進め、高圧注水が可能なほう酸水注入系を用いた原子炉注水の検討、及び消防車の手配を開始した。
- ・ 発電所対策本部は、ドライウェル及び圧力抑制室の圧力が上昇していたが、格納容器ベントのライン構成が未完了であったことから、代替圧力抑制室スプレイにより圧力上昇を抑えることとした。13日5時08分、運転員は、ディーゼル駆動消火ポンプによる圧力抑制室スプレイを開始した。また、同日7時39分、圧力抑制室スプレイラインからドライウェルスプレイラインに手動にて切り替え操作を行い、ドライウェルスプレイを開始した。7時43分に、圧力抑制室スプレイ弁を手動にて閉操作し、圧力抑制室スプレイを停止した。この頃、圧力抑制室スプレイ弁があるトラス室は高温な状態となっており、切り替え操作時に圧力抑制室上部に足をかけた際に、運転

員の靴が溶けた。

<格納容器ベントのラインナップ開始>

- ・ 13日4時52分、発電所対策本部復旧班は圧力抑制室からのベントラインにある空気作動弁（大弁）を開けるために、中央制御室仮設照明用小型発電機からの電源を用いて、当該弁の電磁弁を強制的に励磁させた。
- ・ 13日5時15分、発電所長はラブチャーディスクを除く、格納容器ベントの系統構成を完成させるよう指示した。
- ・ 電磁弁を励磁した後、運転員がトーラス室に行き、空気作動弁（大弁）の開度を確認したところ全閉であった。このため、発電所対策本部復旧班は、13日5時23分より、当該弁を駆動させる空気ポンベの交換を行い、健全性の確認を実施。その後、運転員が当該弁の開閉状態の確認に向かったが、トーラス室は高温の状態であり、開閉状態を確認できなかった。この時、弁の開閉状態を確認しようと圧力抑制室上部に足をかけた際に運転員の靴が溶けた。
- ・ 13日5時50分、格納容器ベント実施に関するプレス発表を実施し、7時35分、格納容器ベント実施時の発電所周辺への被ばく評価結果を官庁等に連絡した。

<原子炉注水手段の確保に向けた対応（消防車による注水手段の確保）>

- ・ 発電所対策本部復旧班が電源車による電源復旧を進めていたところ、13日未明、3、4号機の電源復旧のために予め準備していたケーブルが1号機原子炉建屋の爆発の影響で損傷していることを確認した。電源車による電源復旧に時間がかかるため、原子炉注水の選択肢はディーゼル駆動消火ポンプ及び消防車による注水のみとなった。
- ・ 発電所に配備していた消防車3台のうち、1台は1号機の海水注入に使用しており、1台は津波の影響により使用不能、5、6号機側の消防車1台については津波で流されたとの情報もあり、使用できない状況であった。
- ・ 13日6時頃、5、6号機側の消防車が使用可能であることが確認できたため、5、6号機側の消防車を1～4号機側に移動した。さらに、福島第二原子力発電所で緊急時のバックアップとして待機していた消防車1台も福島第一原子力発電所へ移動した。
- ・ 13日5時21分、発電所長の了解を得て、これらの消防車を用いて海水注入のラインの構成を行い、ほぼ完了していた状況で、同日6時50分頃、当社の官邸派遣者から極力淡水を注入することを検討するよう発電所長に連絡があった。このため、海水注入のラインから淡水注入ラインへの切替を急遽行い、防火水槽を水源とした淡水注入ラインを構成した。
- ・ 消防車によって原子炉へ注水するためには、消防車の吐出圧力が低いため、主蒸気逃がし安全弁による原子炉圧力の減圧が必要であった。また、この主蒸気逃がし安全弁を開けるためにはバッテリーが必要であったが、1、2号機の計器復旧等のために所内のバッテリーを集めた後だったこともあり、必要な電源が確保できず主蒸気逃がし安全弁を操作できない状態であった。
- ・ このため、13日7時頃、発電所対策本部の社員の自動車のバッテリーを取り外して集め、発電所対策本部復旧班が中央制御室へ運搬した。

<格納容器ベントラインナップ完了>

- ・ 13日8時35分、運転員が格納容器ベントラインにある電動弁を現場で手動にて15%開状態とした《①》。手順書では25%開が標準的な調整開度であるが、格納容器圧力の下がりすぎを考慮し、若干絞った15%開度に設定した。
- ・ 13日8時41分にラブチャーディスクを除く格納容器ベントライン構成を完了し、ドライウエル圧力がラブチャーディスク作動圧力(427kPa [gage])よりも低く、格納容器ベントされない状態(ラブチャーディスク開放待ち)で、格納容器ベントを系統構成する弁《②》の開状態を保持し、ドライウエル圧力の監視を継続した。

<原子炉急速減圧開始>

- ・ 発電所対策本部復旧班が、中央制御室にて主蒸気逃がし安全弁の駆動電源としてバッテリーを直列に接続する作業を行っていたところ、運転員が原子炉圧力の低下を確認した。13日9時08分頃に主蒸気逃がし安全弁が開いて、原子炉圧力の急速減圧が開始された(その後、直列に接続したバッテリーを制御盤につなぎこみ、主蒸気逃がし安全弁を開いて、減圧を維持した)。

⑤ 13日9時頃～14日11時頃

原子炉の減圧によりディーゼル駆動消火ポンプによる注水を開始するとともに、9時25分、消防車による注水が開始された。また、同時期にドライウエル圧力が低下し、格納容器ベントが実施されたと9時20分頃に判断した。その後、ドライウエル圧力が上昇したため、再度格納容器ベントラインを構成し、その後、繰り返した。また、淡水が残り少なくなったため、水源切り替えを行い、13時12分海水注入を開始した。14日11時頃、原子炉建屋が爆発した。爆発の影響で注水が停止したが、運転可能な消防車を使用し、物揚場からの注水ラインを構成し、15時30分頃海水注入を再開した。

<原子炉注水と格納容器ベントの開始>

- ・ 原子炉急速減圧により、ディーゼル駆動消火ポンプによる注水が開始されるとともに、13日9時25分、ほう酸を溶解した防火水槽(淡水)を水源として、消防車による原子炉への注水を開始した。
- ・ 13日9時24分、ドライウエル圧力の低下(同日9時10分: 0.637MPa [abs]→同日9時24分: 0.540MPa [abs])が確認されたことから、発電所対策本部は、9時20分頃に格納容器ベントが実施されたと判断した。

【添付8-13、14】

<格納容器ベントラインの維持>

- ・ 13日11時17分、ポンベの圧力低下により空気作動弁(大弁《②》)が閉となったため、発電所対策本部復旧班はポンベを交換して開操作を再度実施し、12時30分当該弁が開になっていることを確認した。

- ・ この頃、発電所対策本部復旧班が空気作動弁（大弁《②》）を開で保持するための措置を試みたが実施できなかった。

<海水注入開始>

- ・ 13日12時20分、防火水槽の淡水が残り少なくなったため、自衛消防隊は逆洗弁ピットの海水を注入するよう注水源の系統変更を行い、同日13時12分に海水注入を開始した。なお、消防車による海水への水源切替に伴う中断時も、ディーゼル駆動消火ポンプは運転を継続していた。

<格納容器ベントラインの維持、追加>

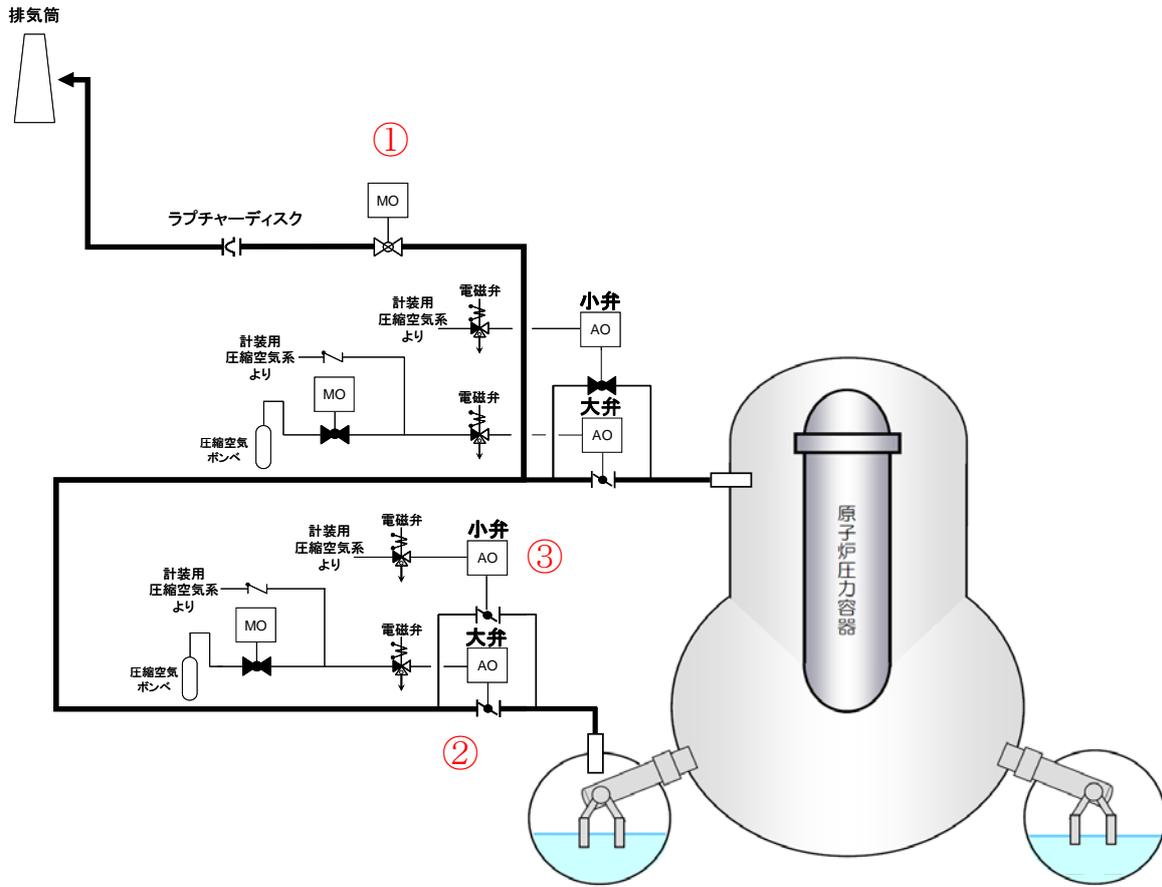
- ・ 13日15時頃よりドライウェル圧力が再度上昇してきたことから、同日17時52分、発電所対策本部復旧班はタービン建屋大物搬入口に仮設空気圧縮機を設置するために現場へ出発、19時頃に計装用圧縮空気系へ接続し、起動した。同日21時10分にドライウェル圧力が低下したことから、発電所対策本部は圧力抑制室からのベントラインにある空気作動弁（大弁）が開になったと判断した。《②》
- ・ ドライウェル圧力が上昇傾向であったことから、発電所対策本部復旧班は、圧力抑制室からのベントラインにあるもう一つの空気作動弁（小弁）についても、14日5時20分開操作を開始し、6時10分に開になったことを確認した。《③》

<原子炉建屋爆発>

- ・ 14日11時01分、原子炉建屋で水素爆発が発生し、オペレーティングフロア（最上階）から上部全体とオペレーティングフロア1階下の南北の外壁が損壊した。この爆発により、海水注入を行っていた消防車及びホースが破損し、現場からの退避と、安否確認が実施され、現場の状況が確認されるまで復旧作業が中断した。
- ・ なお、1号機と同様に原子炉建屋内に水素が溜まっている可能性が考えられたため、原子炉建屋の水素を抜く方法として、「ブローアウトパネルの開放」「原子炉建屋天井の穴開け」などの方法について検討がなされたが、照明などない中での高所作業になり、現場が高線量であることや火花が散り爆発を誘発する可能性が高いこと等により実現に至らなかった。また、爆発を誘発する危険性が低い「ウォータージェットによる原子炉建屋壁への穴開け」については、機器の手配はすんでいたものの、3号機の爆発までに発電所へ到達しなかった。

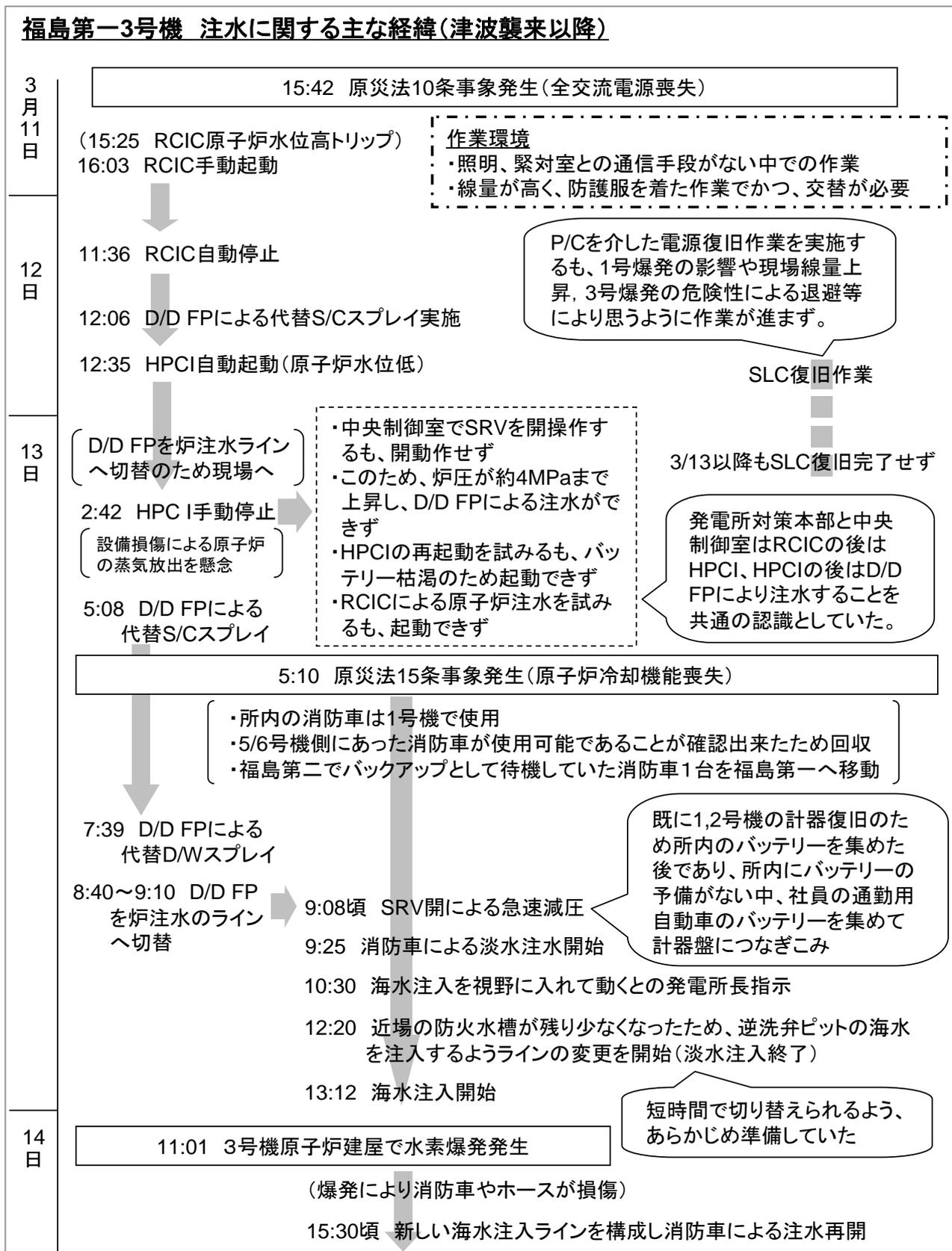
<海水注入再開>

- ・ 14日13時05分、発電所長の指示後現場に向かい、散乱する瓦礫の影響で高い放射線量の中、現場の状況を確認。注水ラインは、消防車及びホースが破損して使用不可能な状況だった。物揚場から逆洗弁ピットに海水の補給を行っていた消防車が運転可能であったため、その消防車を使用し、物揚場から直接海水を送水することとし、損傷しているホースなどを交換、同日15時30分頃に消防車を起動し、海水注入を再開した。



福島第一3号機 格納容器ベントのライン構成のために操作を行った弁

福島第一3号機 注水に関する主な経緯(津波襲来以降)



(3) プラントの動き

①解析による事象進展の評価

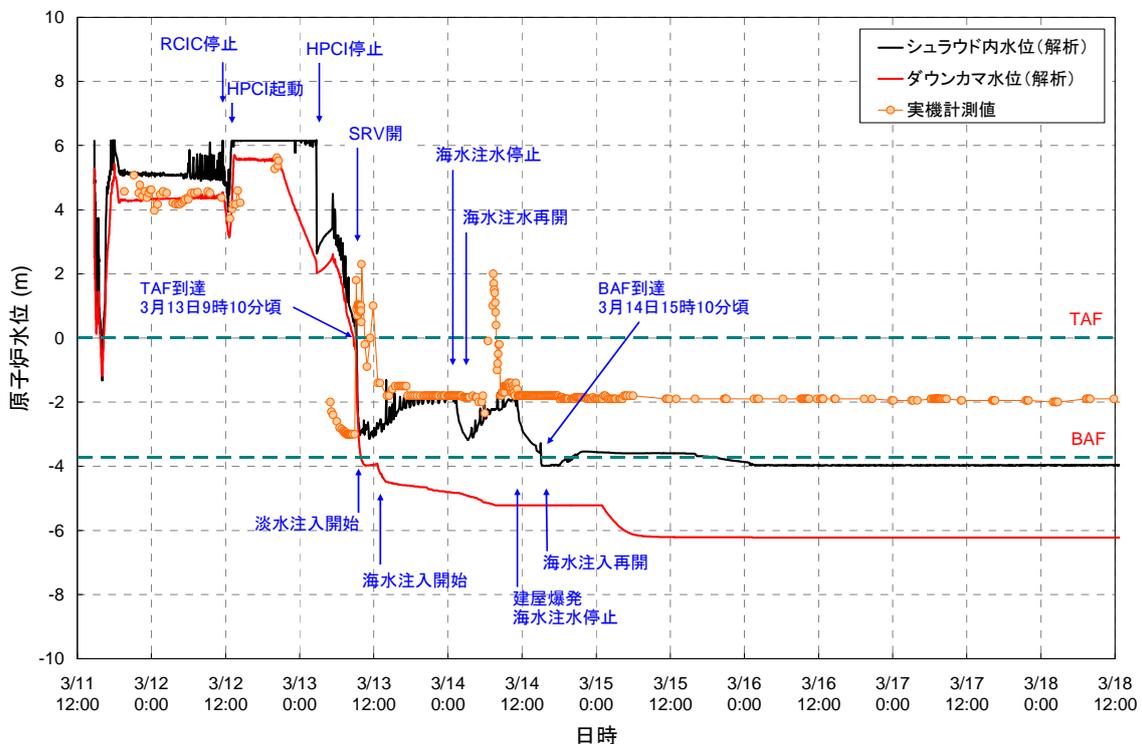
事故時の福島第一3号機の原子炉水位、原子炉圧力、格納容器圧力などに関する実機計測値（実際に計測された値）をもとに、MAAPコードを用いて事象進展を評価した結果を以下に示す。

<原子炉水位の動き>

原子炉への注水に関して、原子炉隔離時冷却系及び高圧注水系の運転期間中、運転員は原子炉水位の変動による起動と停止の繰り返しを回避するため、原子炉水位を確認しながら注水流量を調整していたことが確認できている。

このことから、これらの運転期間中においては、実際に測定された原子炉水位を模擬するよう、注水量を変化させた解析を行った。原子炉水位の解析値は13日2時42分の高圧注水系停止に伴い低下し、解析では、原子炉水位が有効燃料頂部（TAF）に到達する時刻は、地震発生（11日14時46分）から約42時間後であり、約72時間後には有効燃料底部（BAF）に到達する結果となった。

ただし、高圧注水系停止後から主蒸気逃がし安全弁を開とするまでの期間、解析値は実機計測値より高い値で推移していることから、有効燃料頂部（TAF）に到達した時刻について、実機では解析で求めた時刻より早かった可能性がある。

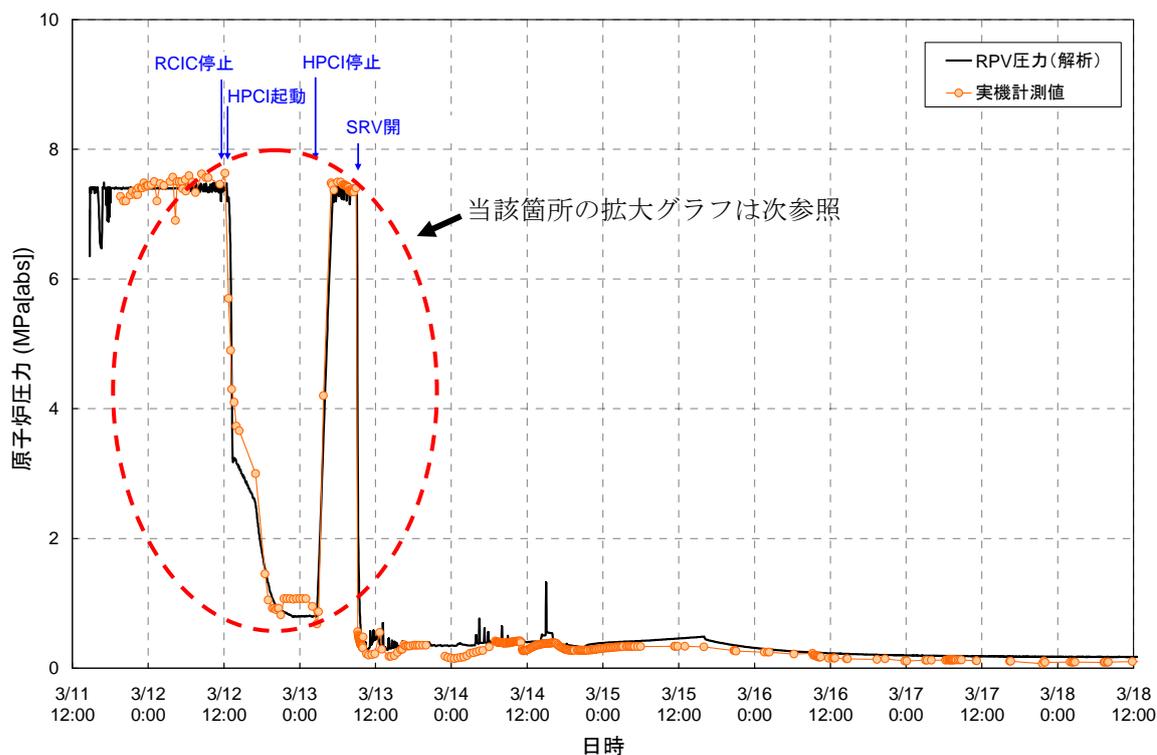


<原子炉圧力の動き>

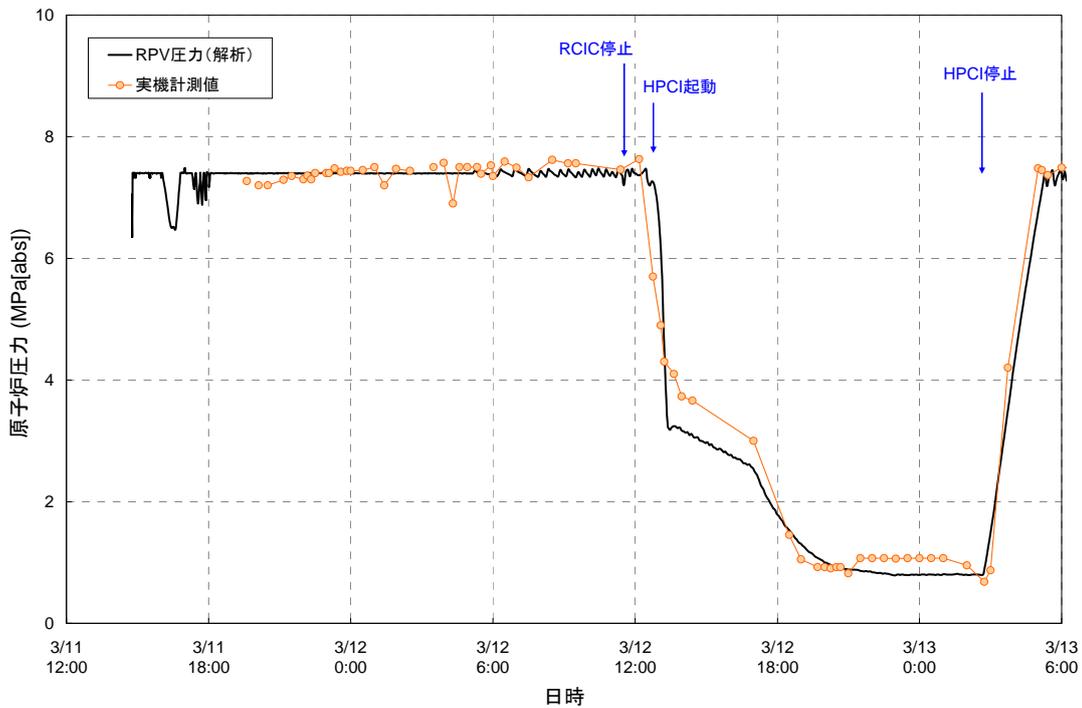
次に原子炉圧力について、実測値は原子炉隔離時冷却系が運転している間はほぼ一定の圧力を保っていたが、高圧注水系の起動により低下している。これは、いずれも原子炉の蒸気をタービン駆動用として使用するが、高圧注水系の方が原子炉隔離時冷却系より容量が大きいことによるものであった。

高圧注水系起動後の原子炉圧力の低下について、実機計測値では途中で低下速度が緩やかとなっている。高圧注水系は上記の通り流量調整をしていることから、解析において、高圧注水系起動直後に注水量を多くし、水位が上昇した後は少なくするとの流量調整を仮定した。その結果、注水量低下直後はタービン流量が低下し、蒸気発生量が増加することによって、一時的に原子炉圧力低下速度が緩やかとなり、実機計測値と概ね整合する結果が得られた。

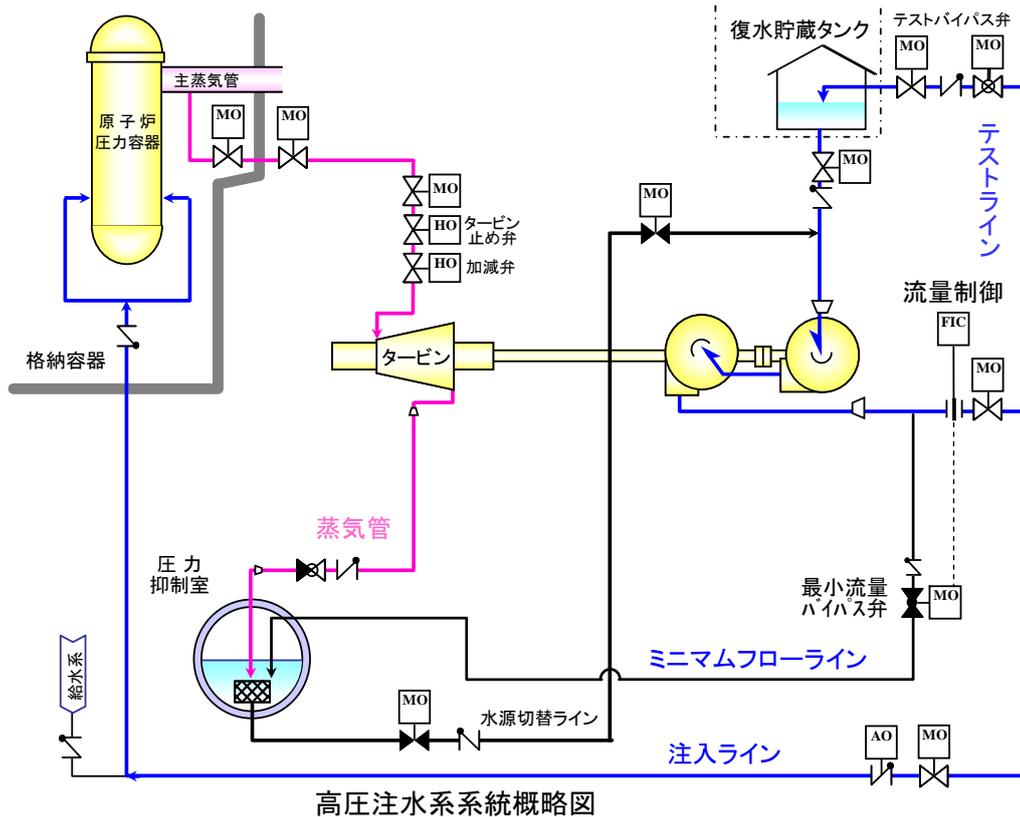
高圧注水系の運転中に、原子炉圧力の実測値が低い値で推移していることについては、流量調整により高圧注水系を継続運転していることによると考えられ、また、高圧注水系が停止した後はタービンによる蒸気の消費がなくなるため原子炉圧力が上昇することとなるが、これらの動きは実機計測値、解析値ともに同様の推移を示している。



3号機 原子炉圧力変化

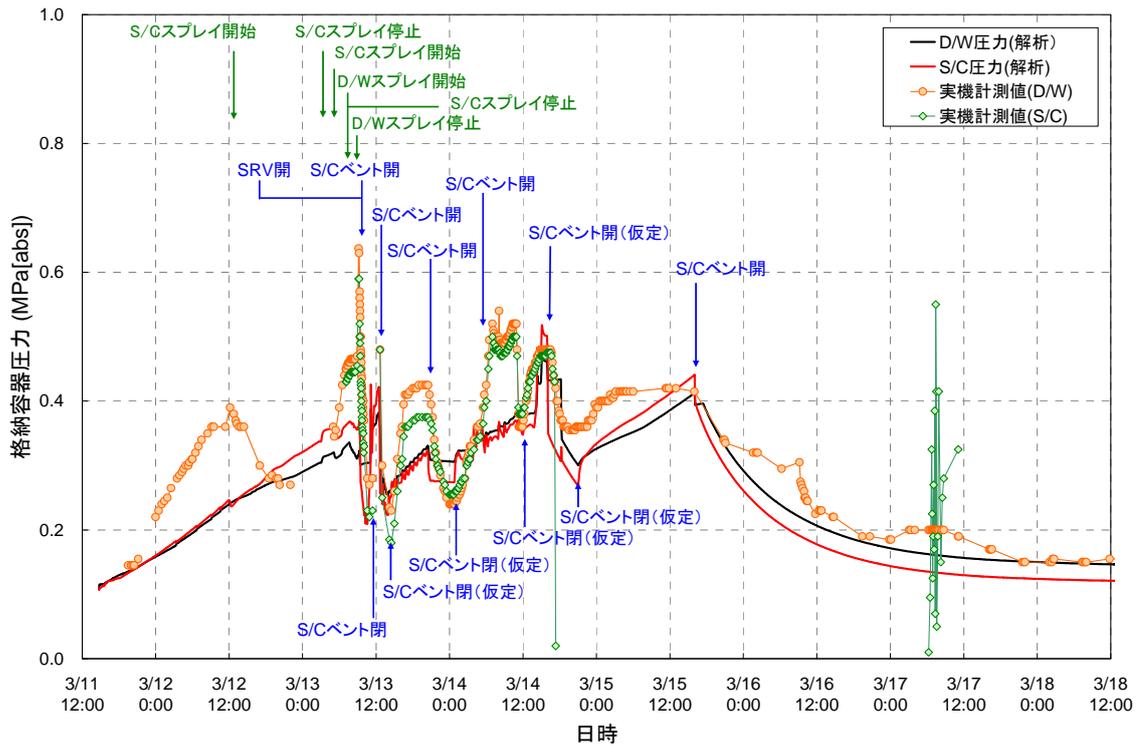


3号機 原子炉圧力変化（原子炉隔離時冷却系、高圧注水系運転期間を拡大）



<格納容器圧力の動き>

3号機の格納容器圧力の実測値は、3月12日12時頃まで上昇を続け、その後同日22時頃にかけて低下する推移を示しているが、解析の結果と比較すると、3月12日12時頃までの期間においては、実測値の方が最大で150kPa程度高い推移を示し、その後の同日22時頃までの実測値の低下傾向を解析では再現できていない。



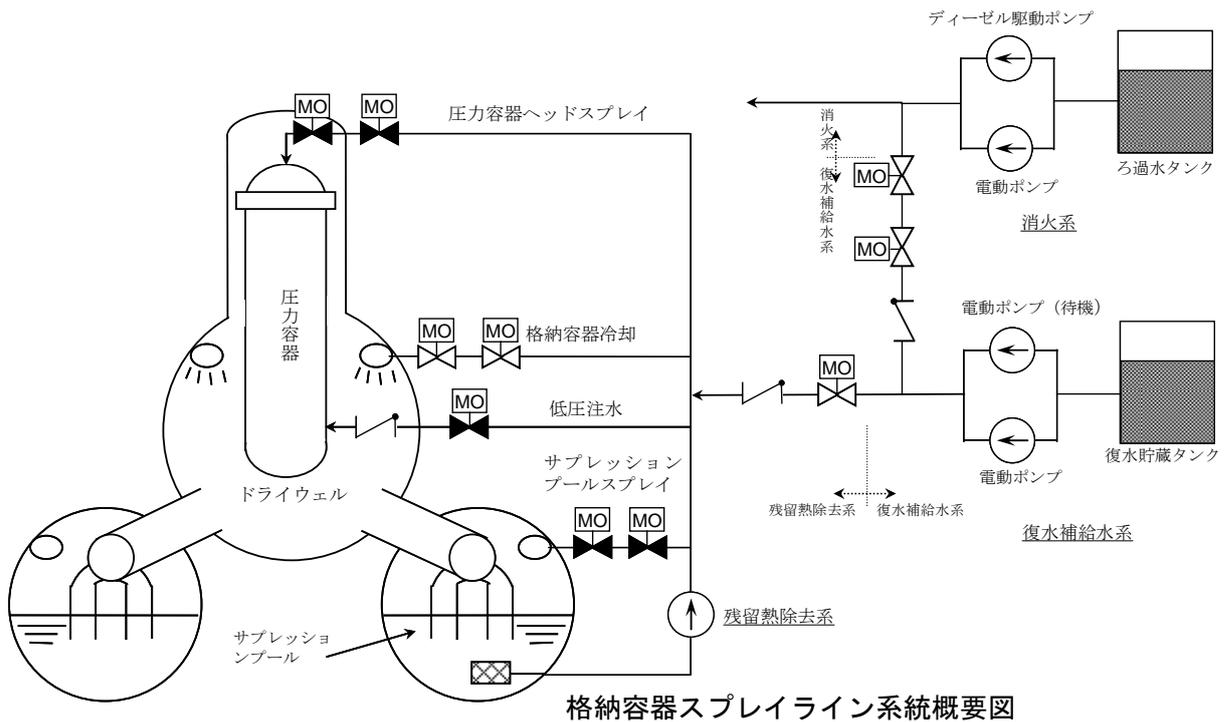
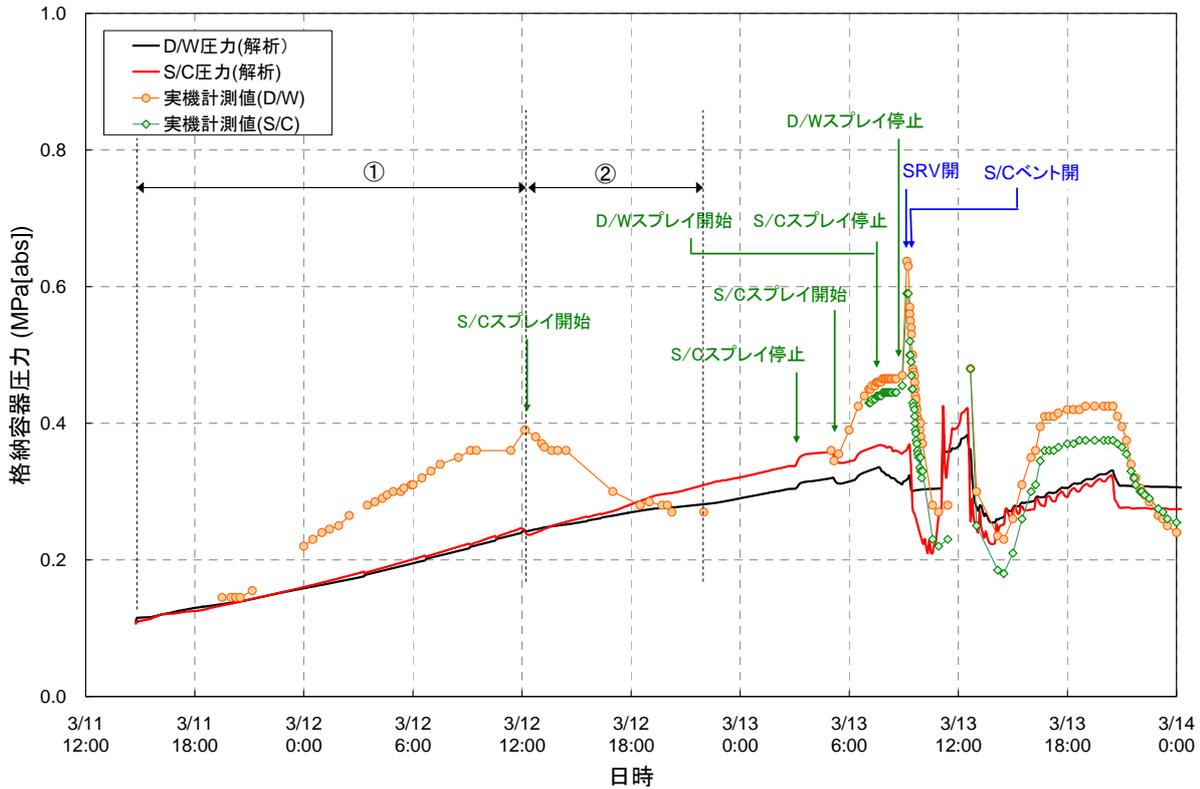
3号機 格納容器圧力変化

上述した再現できていない①地震発生から3月12日12時10分までの期間（実測値の格納容器圧力が上昇している期間）と、②3月12日12時10分から同日22時00分までの期間（実測値の格納容器圧力が低下している期間）の2つに分けて検討を行った。

なお、格納容器の冷却の操作に関する解析上の仮定は以下の通りである。

日付	時刻	事象
3/12	12:06	D/DFP※ ¹ によるS/C※ ² スプレー開始
3/13	3:05	D/DFPによるS/Cスプレー停止
	5:08	D/DFPによるS/Cスプレー開始
	7:39	D/DFPによるD/W※ ³ スプレー開始
	7:43	D/DFPによるS/Cスプレー停止
	8:40~9:10	D/DFPによるD/Wスプレー停止

※1 D/DFP：ディーゼル駆動消火ポンプ、※2 S/C：圧力抑制室、※3 D/W：ドライウェル



①の期間に関する考察

この期間の格納容器圧力の上昇は、主に、主蒸気逃がし安全弁の動作及び原子炉隔離時冷却系の排気蒸気によるものと考えられる。両者ともに、圧力抑制室のプール水において蒸気凝縮することから、格納容器の圧力上昇は抑制される。そこで、圧力抑制室ではなく、ドライウェルに直接エネルギーが移行する経路を想定すると、格納容器圧力の上昇を再現することが可能であると考えられる。なお、地震後のプラントパラメータから、原子炉冷却材圧力バウンダリは健全であると考えられることから、バウンダリの損傷以外のメカニズムについて検討した。

メカニズムの1つとして、再循環系（PLR）ポンプメカシールからの炉水の漏えいが考えられる。通常、再循環系ポンプメカシールでは、制御棒駆動水圧系（CRD）ポンプから供給されるシール水により炉水をシールし、シール水の一部が再循環系ポンプ主軸部からドライウェル機器ドレンサンプに滴下する構造（この滴下量をコントロールブリードオフ流量という）となっているが、外部電源喪失時には制御棒駆動水圧系ポンプからのシール水の供給が失われるため、高温の炉水が再循環系ポンプ主軸部からドライウェル機器ドレンサンプに滴下していたものと考えられる。

そこで、メカシールからの漏えい量をコントロールブリードオフ流量と同じポンプ1台あたり約3リットル/分と仮定して解析を実施したが、実機計測値の圧力上昇を再現するには至らず、実測値より最大で150kPa程度低い値を示すこととなった。

その他の可能性として、原子炉隔離時冷却系運転期間においては、原子炉隔離時冷却系タービンの排気蒸気により排出管近傍における圧力抑制室のプール水温が上昇し、高温水が水面近傍を周方向に拡がることでプール上部が高温になり、温度成層化が発生した結果として①の区間で格納容器圧力が上昇した可能性が考えられる。

今回の解析では、圧力抑制室のプール水は全体が平均温度となるモデルを使用しているため、成層化を扱っていないが、仮にこれが原因であるとすれば、今回の解析で①の区間における格納容器圧力の再現性が悪いことと整合する。

②の期間に関する考察

3月12日12時06分から圧力抑制室スプレイを実施しており、②の期間における格納容器圧力の低下に影響を与えたものと考えられる。今回の解析はこの操作をもとに実施したものであるが、得られた結果をみると、②の期間で格納容器圧力の上昇を抑制する効果はあるものの、格納容器圧力を低下させるには至っていない。

原子炉隔離時冷却系、高圧注水系の運転中は水位が保たれ、燃料の除熱ができている状態であるため、原子炉圧力、格納容器圧力は、津波により海水系のヒートシンクを喪失してからの崩壊熱の積分量が、原子炉水、構造物、ドライウェル、圧力抑制室の気相、水相のそれぞれにどのように配分されたかによって決定される。現在の解析では高圧注水系運転時の水位等を実測値と相違がみられ、その配分が現実と異なっている可能性があり、結果として格納容器圧力を過大に評価している可能性はある。ただし、②の期間の後半では、解析値と実測値はほぼ同程度の圧力となった。

なお、②の期間も①の期間と同様、再循環系ポンプメカシールからの漏えいが発生していると考えられるが、高圧注水系の運転の影響により原子炉圧力が大きく低下していることから、漏えい水量は減少しており、かつ漏えい水のエンタルピーも減少していると考えられる。従って、メカシールからの漏えい水による格納容器圧力の上昇については、①の期間よりも寄与が小さいものと考えられる。

一方、①の期間と同様に、温度成層化が発生した可能性を考えた場合、圧力抑制室スプレイを実施するとプール表層部が優先的に冷やされることから、スプレイ実施時（高圧注水系への切替時とほぼ同時）の格納容器圧力の低下を説明できる可能性がある。

解析では、圧力抑制室スプレイによる効果が落ち着いた3月12日18時頃以降の値が実機計測値と良い一致を見せている。これは、圧力抑制室スプレイの実施によりプー

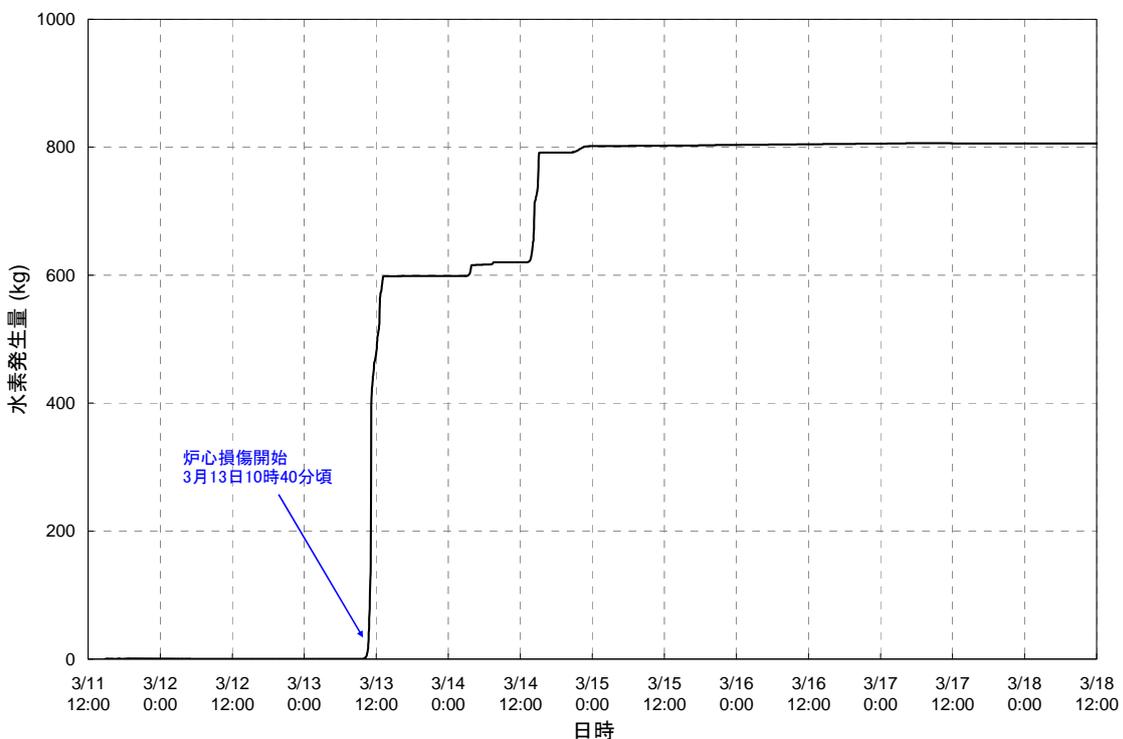
ル水温が均一化することで圧力抑制室の成層化が是正され、実機と解析の格納容器圧力の乖離が改善された可能性が考えられる。

以上のことから、①②の期間において格納容器圧力の実機計測値が解析値よりも高い要因として、圧力抑制室の温度成層化が発生していた可能性が考えられる。

<水素発生量について>

炉心損傷が開始する時刻（燃料最高温度の解析値が1200℃を超えた時刻）は、地震発生（11日14時46分）から約44時間後である。解析では、炉心損傷が始まるなど、燃料温度が上昇することに伴い、水-ジルコニウム反応により水素が発生している。

14日11時01分に原子炉建屋で水素によるものと思われる爆発が発生している。解析で算出された水素の発生量は地震発生後約1週間までに約810kgとなっている。



3号機 水素発生量変化

②プラントパラメータの動きに関する評価

福島第一3号機の事故発生時の原子炉水位、原子炉圧力、ドライウェル圧力等のプラントパラメータのトレンドを【添付8-15】に示す。プラントパラメータの動きから確認できる特徴として以下のポイントがあげられる。なお、《A》等の記号は、添付資料中のグラフの着目点を示す。

- ・ 事象初期において、1号、2号機の場合と異なり直流電源が機能していたことから原子炉水位（広帯域）が計測可能な状態であった（添付10-6の広帯域の原子炉水位計測値は有効燃料頂部（TAF）を基準（0mm）として換算表記している）。12日20時過ぎに電源が枯渇して計測が途絶えたが、13日に電源を仮復旧し計測（広帯域及び燃料域水位計）を再開した。
- ・ 原子炉水位は、原子炉隔離時冷却系が12日11時半頃まで作動したこと、原子炉隔離時冷却系トリップ後に原子炉水位低（L-2）で高圧注水系が自動起動したことによって、揺らぎはあるものの有効燃料頂部（TAF）に対して十分な余裕を維持していた。《A》
- ・ 原子炉圧力に関しては、高圧注水系の作動によって蒸気の消費量が増大したことにより低下しており、その後、13日2時42分の高圧注水系停止によりおよそ2時間で主蒸気逃がし安全弁の作動圧まで増加した。9時頃には主蒸気逃がし安全弁によるとと思われる減圧が確認された。原子炉圧力の動きの詳細については【添付8-16】に示す。《B》
- ・ 高圧注水系が停止する直近の原子炉水位は電源が無く不明である。また、電源の仮復旧後は広帯域水位計、燃料域水位計（A）及び（B）がそれぞれ異なった値を示しておりこれ以後の水位の判定は難しい。《C》、《D》
- ・ 13日9時過ぎに主蒸気逃がし安全弁が作動し原子炉の減圧が開始されたが、高圧注水系の停止後に低圧注水への切替えが直ちに成功していないことから、結果として燃料の冷却が悪化し、炉心損傷が始まったものと考えられる。また、原子炉の減圧に伴う圧力抑制室への蒸気流出によって生じる保有水量の急減で、結果として燃料の冷却が一段と悪化したことも考えられる。同時期に、ドライウェル圧力が上昇しており炉心損傷による水素発生が始まっていることを示唆している。《E》
- ・ なお、高圧注水系停止によって注水が停止したと仮定した事故解析コードによる解析結果では、およそ13日9時頃に有効燃料頂部へ到達、10時40分頃に炉心損傷開始との解析結果であり、ドライウェル圧力の測定値が9時頃に急増して炉心損傷開始を示唆していることと概ね整合した結果を得ている。
- ・ 13日9時頃に圧力抑制室からのベントを実施して以後、複数回の当該ベントを実施しており、正門付近のモニタリングカーの指示が一時的に上昇したものの、バックグラウンドレベルに大きな上昇は見られていない。
- ・ その後、14日11時01分に原子炉建屋が爆発したが、これは、炉心損傷に伴い発生した水素が原子炉建屋に蓄積し、何らかの理由で着火したことによるものと考えられる。

(4) まとめ

①指揮・命令系統について

(当社は、格納容器ベントや海水注入をためらったのではないか、という疑問について)

発電所対策本部では、発電所長が原災法第10条、15条発生の通報連絡を行っている。また、結果的に炉心損傷に至ったものの、発電所長、当直長は先行する1号機の状況をもとに3号機においてもその時々プラント状態に応じた指示を出し、本店対策本部を含め、事故収束に向けた対応をしていたものと考えられる。

なお、発電所で海水注入の準備をしていたが、当社の官邸派遣者から極力淡水を注水することを検討するよう発電所長に連絡があり、準備が完了しつつあった海水注入ラインを淡水注入に変更した。**現場実態を踏まえた対応指示と意志決定という原則に鑑みると、現場の情報が限定される中での本店や官邸等からの指示の方法には、検討の余地がある**と考えられる。

これらに関して具体的に確認された事実は以下のとおりである。

<通報連絡とアクシデントマネジメント対応>

発電所長は、全交流電源喪失となった11日15時38分の4分後の15時42分に原災法第10条の状態に至ったことを判断し、通報連絡を行った。また、高圧注水系停止後に原子炉隔離時冷却系が起動できなかった13日5時08分の2分後の5時10分に原災法第15条の状態に至ったことを判断し、通報連絡を行った。

[通報連絡の実施：本文 P181, 184、別紙 2P6, 97]

さらに、発電所長は、原子炉隔離時冷却系や高圧注水系が運転を継続している中で、炉心損傷に発展する可能性を踏まえ、1号機の原子炉建屋爆発後に現場確認を開始(12日17時20分頃)し、12日17時30分に格納容器ベントの準備を指示した。また、高圧注水系停止後の13日5時21分に臨機の対応として消防車による海水注入に関する指示をした。

[格納容器ベントの準備指示：本文 P182、別紙 2P104]

[消火系ラインによる注水や消防車の活用指示：本文 P185、別紙 2P98]

<中央制御室における対応>

中央制御室では使用可能であった直流電源の節約措置を施した原子炉隔離時冷却系や高圧注水系の運転、監視及び運転制御に最低限必要な設備を除く負荷の切り離しによる更なる直流電源の節約措置の実施、消火系ラインを用いた代替圧力抑制室スプレイの実施、また仮設電源で復旧された監視計器による監視などを行っており、現場との通信手段がない作業条件の中、数少ない動かすことができる設備を活用しながら、事故収束に向けた対応操作を行った。

[直流電源の節約措置：本文 P181～182、別紙 2P90～91, 93]

[代替スプレイの実施：本文 P182, 184、別紙 2P92, 97～98]

<国からの命令・連絡>

ディーゼル駆動消火ポンプ及び消防車による注水しか原子炉注水の選択肢がなくなった中、発電所長の了解を得て、5、6号機側及び福島第二原子力発電所から移動した消防車を使用して海水注入ラインの構成を行い、ほぼ完了していた。そのような中、極力淡水を注水することを検討するよう当社の官邸派遣者から発電所長に連絡がなされた。このため、海水注入ラインから淡水注入ラインへの切替を急遽行い、防火水槽を水源とした淡水注入ラインを構成した。

[官邸からの注水方法に関する関与：本文 P185、別紙 2P98]

②高圧注水系の運転（切替）操作について

（当社の高圧注水系の停止操作は手順書違反ではないか、という疑問について）

3号機は、ディーゼル駆動消火ポンプを起動して低圧系の注水準備を整えていたが、高圧注水系の停止後に低圧系の注水への切替えが直ちに成功せず、結果として炉心の損傷に至った。低圧系の注水への切替えが直ちに成功しなかった点については、高圧注水系停止前に代替注水ラインの切替が完了していることを確認したり、主蒸気逃がし安全弁が動作することを確認すべきではなかったか、との意見があるが、以下の通り運転操作が進められており、その時点におけるプラント状態を踏まえた対応が行われていたと考えられる。

- ・ ページングやPHS等の通信手段がなく現場の操作状況を現場間で直接確認できない中で、高圧注水系の停止前からディーゼル駆動消火ポンプによる原子炉注水ラインへの切替操作を開始していたことから、停止操作をする時点ではライン構成が完了していると考えられた。

[ディーゼル駆動消火ポンプのライン構成：本文 P183、別紙 2P95]

- ・ 主蒸気逃がし安全弁は、中央制御室の操作スイッチにより作動する開動作用電磁弁と状態表示灯の供給電源が同じであり、操作の時点で状態表示灯が点灯していた。電磁弁はわずかな電力で励磁することで開けることが可能であり、状態表示灯が点灯していたことから開操作可能と考えていた。

なお、高圧注水系停止後に主蒸気逃がし安全弁を開操作したものの開動作しなかったが、このときも状態表示灯は点灯している。「なぜ主蒸気逃がし安全弁の電磁弁駆動用の直流電源が枯渇しているかもしれないと考えなかったのか、もっと前に確認しておくべきでなかったか」という意見もあるが、先の通り状態表示灯が点灯しており、高圧注水系が直前まで動いていた状況（高圧注水系動作時に必要な5600Wの油ポンプが動いている状態）から、主蒸気逃がし安全弁が開動作するために必要な小さな電磁弁（8.5Wで動作）を動かすことができると考えることは自然である。

[主蒸気逃がし安全弁の状態：本文 P183、別紙 2P95]

- ・ 高圧注水系のタービン回転数が低下し、操作手順書に記載のある運転範囲を下回る低速度となり、いつ停止するかわからない状況が続いていた。そのような中、原子炉圧力が低下傾向を示すという厳しい運転状態に高圧注水系が陥り、本来なら停止（隔離）¹する圧力となったにもかかわらず、停止しない状況となった。また、高

¹ 停止しない場合タービンの振動が大きくなり設備が損傷する可能性がある。タービン付近が損傷すると駆動蒸気である原子炉内の蒸気が高圧注水系（HPCI）室内に放出されることが考えられる。仮に原子炉内の蒸気が放出された場合、HPCI室がある原子炉建屋内は放射線量が上がり、その後の事故収束に大きな制約を与えることになる。

圧注水系の吐出圧力が原子炉圧力と同程度になり、原子炉へ注水がされていない状態となった。以上より、高圧注水系の早期停止が必要な状況となったことから、手動停止した。

- ・ 高圧注水系を停止する前に主蒸気逃がし安全弁を開操作すると更に原子炉圧力が低下することとなるため、高圧注水系停止直後に主蒸気逃がし安全弁を開操作したものである。

[高圧注水系の手動停止の状況：本文 P183、別紙 2P94～95]

③高圧注水系停止後の対応操作について

(当社は、高圧注水系停止後、もっと早く原子炉注水を行うことができたのではないか、という疑問について)

主蒸気逃がし安全弁や高圧注水系、原子炉隔離時冷却系の復旧操作、ほう酸水注入系を使用した原子炉への注水の検討、消防車の手配など注水手段確保に向けた対応を進めており、結果的に炉心損傷に至ったものの、発電所長、当直長がその時々プラント状態に応じた指示を出し、事故収束に向けた対応を進めていたと考えられる。

なお、原子炉隔離時冷却系及び高圧注水系による高圧系の注水は13日2時42分の高圧注水系の手動停止まで継続した。想定より長く運転ができたのは、それまでの運転員によるきめ細やかなバッテリーの節約措置によるもので、この結果として、その間、より状況の厳しい1号機の対応に要員と資機材を振り向けることが可能となった。

ただし、3号機が炉心損傷に至ってしまったことに鑑みると、**全電源が喪失した場合においても、速やかに減圧、低圧注水へ移行できる電源、ポンプ等の圧縮空気（窒素）等の資機材を予め準備しておくとともに、それらを活用するための訓練を行っておくことが必要である**と考えられる。

《16.2項 減圧装置（方針1、2）、低圧注水設備（方針1、2）》

これらに関して具体的に確認された事実は以下のとおりである。

<中央制御室での対応>

中央制御室では、主蒸気逃がし安全弁の状態表示灯が点灯している状況で、開操作をしたが開動作しなかった。その後も状態表示灯は継続して点灯していたことから、主蒸気逃がし安全弁が開動作しない要因として、駆動用窒素ガスが供給されずに開動作しなかったものと考え、すぐに窒素ガスの供給ラインからの補給を試みたが、供給ラインの弁は手動で開けることができる構造ではなかったことから補給できなかった。

主蒸気逃がし安全弁を開動作させることができない状況の中で、原子炉圧力が上昇していたことから、タービン駆動である原子炉隔離時冷却系及び高圧注水系を再起動して原子炉に注水することを試みたが、高圧注水系は電源となるバッテリーの枯渇により起動できず、また原子炉隔離時冷却系も弁の不調により起動できなかった。

[中央制御室の対応状況：本文 P184、別紙 2P95～97]

<発電所対策本部での対応>

発電所対策本部では、電源車を用いた電源復旧を進め、高圧注水が可能なほう酸水注入系を使用した原子炉への注水の検討と、消防車の手配を行った。電源復旧に時間がかかることが判明し、ディーゼル駆動消火ポンプ及び消防車による注水しか選択肢がなくなった際には、臨機の対応として、主蒸気逃がし安全弁を開するために必要なバッテリー

一を急遽収集し、原子炉の減圧を行った上でディーゼル駆動消火ポンプとそれまでに手配した消防車により原子炉へ注水を行ったものの、炉心損傷を防ぐことができなかった。

[発電所対策本部の対応状況：本文 P184～185、別紙 2P98～99]

④高圧注水系の運転中における注水切替の可能性について

(当社は何故、高圧注水系運転中に低圧注水へ切り替えなかったのか、という疑問について)

中央制御室と発電所対策本部は、ほう酸水注入系の復旧、高圧注水系のバッテリーの充電を可能とする電源復旧、また消防車の手配の見通しが明確でない中、高圧注水系による原子炉への注水の後にはディーゼル駆動消火ポンプによる注水を考えていた。主蒸気逃がし安全弁は状態表示灯が点灯しており、操作可能と考えていた。また、容量の小さな本来消火のために使用するディーゼル駆動消火ポンプよりも、注水設備として設置されている高圧注水系の方が原子炉への注水の信頼性が高いと考え、できるだけ長期間高圧注水系により注水することを考えていた。

3号機がこのような状況にある一方、12日21時頃まで1号機の格納容器ベントや注水の対応に発電所対策本部が奔走しており、1号機と並行して3号機のディーゼル駆動消火ポンプによる低圧注水への移行を慎重に実施できる状況にはなかった。逆に運転員によるバッテリー節約措置の工夫によって3号機の原子炉への注水が長期間継続していたため、より状況の厳しい1号機の対応へ要員と資機材を振り向けることができた。

また、高圧注水系が起動(12日12時35分)して約8時間たった20時36分に原子炉水位計の電源が喪失し、原子炉水位の監視ができなくなっている。原子炉の減圧は、減圧沸騰に伴って原子炉水位が急激に低下することから、より早期に燃料を露出させるリスクがある。そのため原子炉水位の確認ができない中で、主蒸気逃がし安全弁による早期の減圧とディーゼル駆動消火ポンプによる低圧注水への移行は難しかったものと考えられる。

⑤高圧注水系停止に関する情報共有について

(当社の高圧注水系停止に関する情報共有の後れが、その後の対応に影響を与えたのではないか。高圧注水系の停止において、発電所対策本部の指示を仰ぐべきではなかったか、という疑問について)

高圧注水系の後にディーゼル駆動消火ポンプを使用して原子炉に注水することについては、中央制御室及び発電所対策本部全体の共通の認識となっていた。

[中央制御室と発電所対策本部の注水方針の認識：本文 P182、別紙 2P93]

高圧注水系からディーゼル駆動消火ポンプによる注水への切替にあたり、高圧注水系を停止させるなどの具体的操作については当直長の権限で行うものであり、また上述のとおり対応の方向性は既に共通の認識となっていた。

このような中で、ディーゼル駆動消火ポンプによる注水ラインが構成され、主蒸気逃がし安全弁の状態表示灯が点灯し、中央制御室で運転操作が可能な状況であったことから、低圧系の注水への切替操作前に発電所対策本部へ指示を仰ぐ必要はなかったと考えられる。

しかしながら、主蒸気逃がし安全弁による減圧操作が成功しなかったという一連の情報は発電所対策本部発電班と共有されていたものの、発電所対策本部全体で認識される

までに1時間程度の時間を要してしまった。

[減圧操作後の情報共有の状況：本文 P184、別紙 2P95]

発電所対策本部への報告が1時間程度後となったものの、その間にも、「③高圧注水系停止後の対応操作について」で述べたとおり、主蒸気逃がし安全弁の開操作への試み、高圧系による注水の試み、ならびに電源復旧等が進められ、原子炉の減圧を開始した際には消防車による注水の準備が完了している。これらのことから、高圧注水系を停止した後原子炉の減圧に成功しなかったという一連の情報について、発電所対策本部全体で認識されるまでに1時間程度要したことが、今回の事例においてその後の対応操作に影響を与えたとは考えられない。

しかしながら、各段階で発電所対策本部と共通認識をもつことが重要であったと考えられ、今回のような**事故対応の前提を大きく外れて長期の対応を余儀なくされ、かつ、1号機原子炉建屋の爆発の影響等による情報が錯綜するような過酷な状況下でも、中央制御室と発電所対策本部において、プラント状況をタイムリーに情報を共有する手段を構築しておくことが必要**であったと考えられる。

⑥水素爆発の回避の可能性について

14日11時01分に原子炉建屋の爆発が生じているが、その原因は炉心損傷に伴い発生した水素が格納容器内で完全には保持されず、原子炉建屋に漏えいしていたことによるものと考えられる。なお、1号機原子炉建屋の爆発以降、以下の対応を行っていたものの、3号機原子炉建屋の爆発を未然に防止することができなかった。

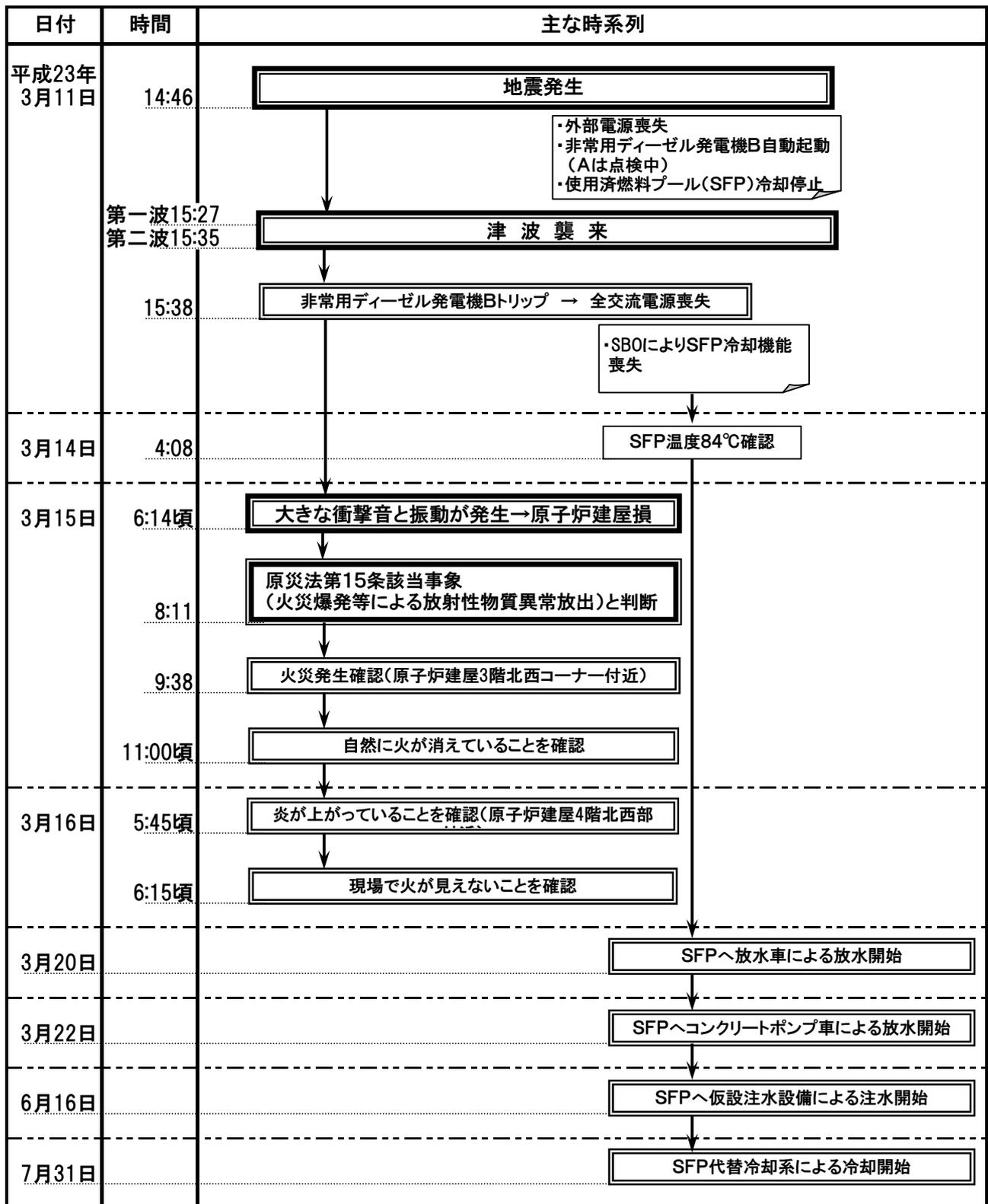
- ・ 12日の1号機原子炉建屋爆発後、早い段階から、本店対策本部原子力復旧班では爆発の原因として水素が疑わしいと考え、原子炉建屋に滞留する水素を抜く方法として、「ブローアウトパネルの開放」、「原子炉建屋天井の穴開け」、「ウォータージェットによる原子炉建屋壁への穴開け」などについて検討を開始した。
- ・ 検討の過程においては、滞留している水素に引火させないように、工法の選定には最大限留意することとした。機械ドリルによる穴開けについては、火花が出て引火する可能性が高いこと、及び現場が高線量のため接近作業が困難であることから、「ウォータージェット」を主軸に検討を進め、14日0時頃、プラントメーカーへウォータージェット装置を発注した。
- ・ 14日、ウォータージェット装置は、メーカー工場からメーカー関係企業のいわき市四倉工場へ搬送され、その後、小名浜コールセンター経由で発電所へ納入する計画であったが、11時01分に3号機において爆発が発生したことから、装置の搬送は四倉工場までで中断され、発電所までは搬入されなかった。

このことからすれば、**原子炉建屋へ水素が漏えいしたとしても、爆発を未然に防止するための方策を講じることが重要**であると考えられる。

《16. 2項 水素滞留の防止（方針3）》

8. 5 福島第一4号機の対応とプラントの動き

- ・ 3月11日14時46分に地震に襲われた時点で、4号機は定期検査中であり、シュラウド取替工事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され、使用済燃料プールには燃料集合体1535体が貯蔵されていた。
- ・ 11日15時30分に前後して津波が襲来し、直流電源及び交流電源がすべて喪失するとともに、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。
- ・ 14日4時08分、運転員は使用済燃料プール水温が84℃であることを確認した。
- ・ 15日6時14分頃、大きな衝撃音と振動が発生し、その後、原子炉建屋5階屋根付近に損傷を確認した。
- ・ さらに、15日9時38分には原子炉建屋3階北西コーナー付近で火災が発生していることが確認されたが、同日11時頃、自然に火が消えていることを確認した。また、16日5時45分頃にも、原子炉建屋4階北西部付近で炎が上がっているとの連絡があったが、同日6時15分頃、現場で火は確認できなかった。
- ・ なお、これらの火災の間である15日10時30分に経済産業大臣より、法令に基づき「使用済燃料プールの消火に努めること、あわせて再臨界の防止に努めること」との命令が出された（その後、時間は不明だが同日中に「使用済燃料プールへの注水を可及的速やかに行うこと」との命令が出されている）。
- ・ 使用済燃料プールの注水・冷却の対応状況については「9. 使用済燃料プール冷却の対応」に、原子炉建屋上部の爆発に関する考察については「11. 3 水素爆発の原因」に記す。



福島第一発電所4号機 地震後の主な流れ

8. 6 福島第一5号機の対応とプラントの動き

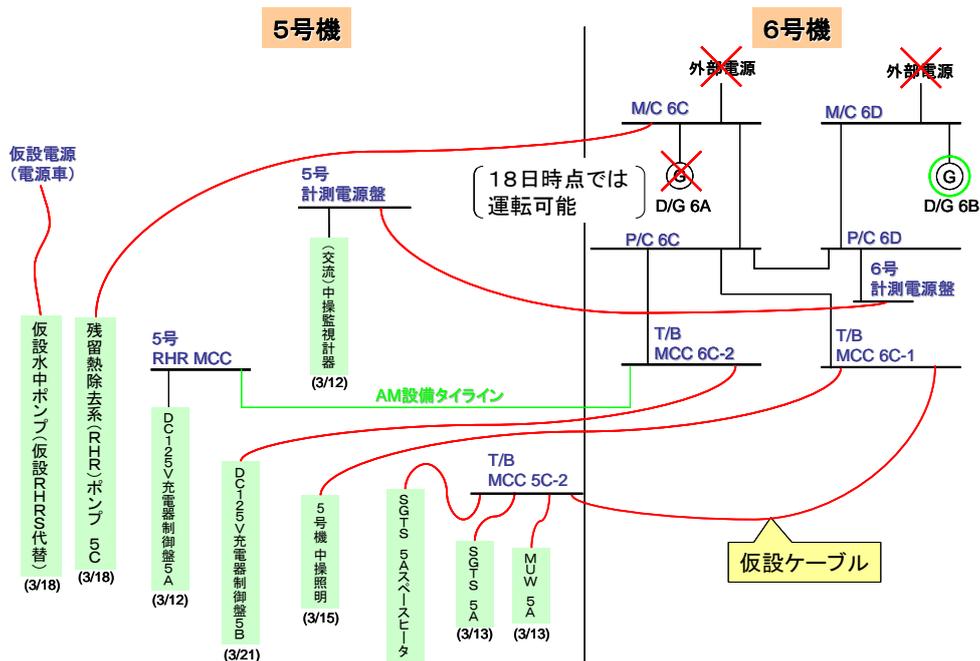
(1) 対応状況

<地震発生から津波到達まで>

- 3月11日14時46分の地震に襲われた時点で、5号機は定期検査中であり、原子炉内に燃料を装荷した状態で、原子炉圧力容器の耐圧漏えい試験（原子炉圧力容器満水、原子炉圧力約7MPa [gage]、原子炉水温度約90℃）を実施中であつた。耐圧漏えい試験中は、制御棒駆動機構ポンプにて原子炉を加圧していたが、電源喪失により自動停止したため、原子炉圧力が一時的に5MPa [gage]程度まで低下した。
- 地震発生時は、全制御棒は全挿入位置にあり、地震による停止状態の異常は認められなかった。
- 地震の影響で、夜の森線の鉄塔倒壊などによって外部電源が全喪失したことにより、3月11日14時47分、非常用母線の電源が喪失し、非常用D/G 5A、5Bが自動起動し、非常用系の高压電源盤（M/C）の電源が回復した。
- その後、津波の影響を受け、非常用D/G 5A、5Bの海水ポンプまたは電源盤の被水等により非常用D/G 5A、5Bが自動停止したことから、3月11日15時40分に全交流電源喪失となり、残留熱除去系、炉心スプレイ系は動作不能となった。
- 5号機側の中央制御室内は非常用照明灯のみとなり、その後消灯した。なお、監視計器の一部は直流電源で動作可能であり、全交流電源喪失後も動作し、指示値を確認することができた。

<6号機から5号機への電源融通>

- 3月11日23時30分頃から、5、6号機所内電源システムの点検のため、5号機側は照明が切れて暗闇の中、運転員は懐中電灯を持ち現場確認を行った。電源設備は、高压電源盤（M/C）が津波の影響ですべて使用不可であつたが、直流電源設備は被水を免れ使用可能であつた。



- 中央制御室の監視計器の一部は、直流電源で動作可能であり、全交流電源喪失後も動作し指示値を確認することができていたが、いずれ直流電源が枯渇して指示値が確認できなくなるため、早急に交流電源を確保する必要があった。
- 交流電源で動作する中央制御室の監視計器については、3月12日5時頃に5号機タービン建屋サービスエリアの6号機計測電源盤から5号機計測電源盤へ直接仮設電源ケーブルを敷設することで、監視可能となった。
- 3月12日6時過ぎに6号機側で所内電源供給のためのラインを構成したことから、アクシデントマネジメント策で敷設済みであった5号機と6号機間の本設電源ケーブル（タイライン）が使用可能となり、同日8時13分、空冷式であり津波の影響を受けなかった6号機の非常用D/G 6 Bから6号機タービン建屋の低圧電源盤（T/B MCC 6 C-2）を介して、5号機原子炉建屋の低圧電源盤（5号RHR MCC）へ電源融通が開始された。これにより、残留熱除去系の電動弁及び主蒸気逃し安全弁の励磁用電磁弁等の電源が確保された。
- また、3月13日、6号機タービン建屋の低圧電源盤（T/B MCC 6 C-1）から、5号機低圧電源盤（T/B MCC 5 C-2）まで仮設電源ケーブルを敷設したことにより、復水補給水系ポンプ、非常ガス処理系に電源を供給することが可能となった。
- さらに、電源融通が可能となった低圧電源盤（5号RHR MCC）を介して、健全性確認が完了した5号機低圧電源盤の一部に仮設電源ケーブルを敷設するなど、順次電源を復旧していった。

<原子炉圧力の減圧>

- 5号機は、原子炉圧力容器の耐圧漏えい試験を実施中で、原子炉圧力約7 MP a [gage]であったが、地震の影響による電源喪失によって制御棒駆動機構ポンプが自動停止し、原子炉圧力は一時的に5 MP a [gage]程度まで低下した。その後、原子炉圧力は、燃料からの崩壊熱により緩やかに上昇した。
- 減圧操作に伴い原子炉水位が低下するため、原子炉への注水手段を確保する必要があったが、蒸気駆動の高圧注水系ポンプ、原子炉隔離時冷却系ポンプは定期検査中であつたため使用できず、また残留熱除去系も津波による電源喪失等の影響から使用できなかった。このため、復水補給水系ポンプによる代替注水を行うこととし、原子炉圧力を復水補給水系ポンプにて注水可能となる圧力まで減圧することとした。
- 耐圧漏えい試験中の主蒸気逃し安全弁は、格納容器内に設置されている駆動用窒素ガス供給ラインの弁を閉としていたため、中央制御室から操作することができない状態であった。主蒸気逃し安全弁を使用可能とするには、格納容器内での復旧作業が必要な状況であったが、まずは作業環境が悪い格納容器内に極力入らずに減圧操作ができる手段から実施することとした。
- 3月11日21時頃から原子炉隔離時冷却系蒸気ライン、高圧注水系蒸気ライン及び高圧注水系排気ラインを順次使用して減圧操作を試みた。しかし、原子炉圧力に変化は見られず、その後も原子炉圧力は上昇し、3月12日1時40分頃から主蒸気逃しがし安全弁の安全弁機能により自動開を繰り返して8 MP a [gage]程度を維持（最高使用圧力：8.27 MP a [gage]、設計圧力：8.62 MP a [gage]）した。
- 上記の減圧操作にて原子炉圧力に変化が見られなかったことから、現場で原子炉圧力容器頂部ベント弁の駆動用窒素供給ラインを構成し、同日6時06分に中央制御室

から原子炉圧力容器頂部ベント弁を手動開操作して、原子炉圧力の減圧を実施し、大気圧程度まで降下させた。

- ・ しかし、その後、崩壊熱の影響により原子炉圧力は再度徐々に上昇した。この時点では早急に減圧する必要はなかったものの、減圧手段を確保する目的から、3月12日7時31分に残留熱除去系（A）ラインによる減圧操作を実施した。また、3月14日0時頃からは、主蒸気ラインによる減圧操作を試みたが、いずれも原子炉圧力に変化はなかった。このため、3月14日未明より原子炉圧力容器の耐圧漏えい試験のために中央制御室からの操作ができない状態にしていた主蒸気逃がし安全弁の復旧作業を開始した。
- ・ 中央制御室で電源ヒューズを復旧するとともに、格納容器内で主蒸気逃がし安全弁駆動用窒素ガス供給ラインの弁開操作によって主蒸気逃がし安全弁操作のためのライン構成が完了した。
- ・ 3月14日5時に主蒸気逃がし安全弁を中央制御室から手動開操作し、原子炉圧力容器の減圧を行った。その後も断続的に減圧操作を実施した。

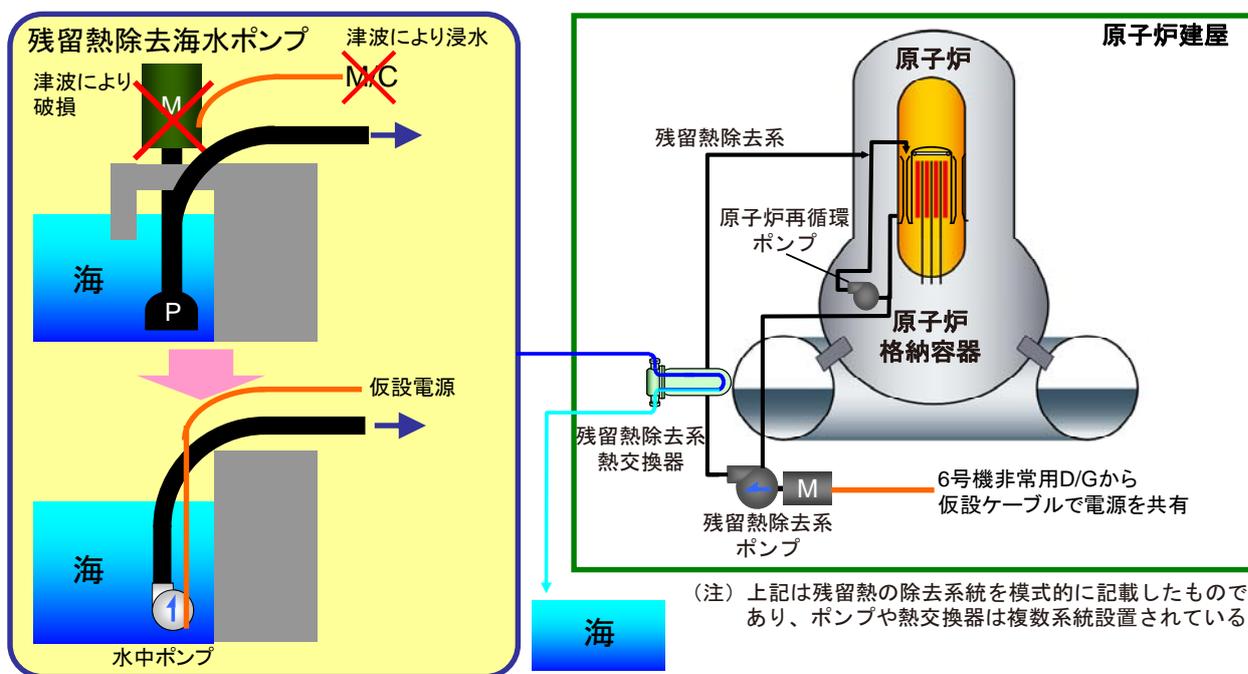
<原子炉への注水及び使用済燃料プールへの水補給>

- ・ 3月13日20時48分、6号機低圧電源盤（T/B MCC6C-1）から5号機低圧電源盤（T/B MCC5C-2）へ仮設電源ケーブルを敷設し、6号機非常用D/G6Bから電源供給が開始され、同日20時54分に復水補給水系ポンプを手動起動した。
- ・ その後、主蒸気逃がし安全弁で原子炉を減圧し、3月14日5時30分、復水貯蔵タンクを水源として、復水補給水系による代替注水ラインを使用した原子炉注水を開始した。以降、断続的に原子炉への注水を継続し、原子炉水位調整を行った。
- ・ 津波の影響で補助冷却海水系ポンプがすべて使用不可の状態であり、使用済燃料プールの冷却もできない状況であった。3月14日9時27分からは、アクシデントマネジメント策で設置されたラインを使用して、復水補給水系ポンプによる使用済燃料プールへの水の補給を実施した。その後も必要に応じて水の補給を行い、ほぼ満水状態を維持した。
- ・ 使用済燃料プール内の崩壊熱について温度上昇率を評価したうえで、除熱機能の復旧まで使用済燃料プール水温の監視を継続した。
- ・ 除熱機能復旧までの間、使用済燃料プール水温の上昇を抑制するため、3月16日22時16分から3月17日5時43分にかけて温度が上昇した使用済燃料プール水の一部を圧力抑制室へ排水するとともに、アクシデントマネジメント策で設置されたラインを使用し、復水補給水系ポンプによる水の補給を実施した。

<残留熱除去系の復旧>

- ・ 3月11日以降、原子炉水位及び使用済燃料プール水位は十分に確保されていたものの、水温が上昇傾向にあることを踏まえ、3月15日夕方に本店対策本部内にて原子炉と使用済燃料プールの冷却方策検討指示が出され、翌16日から本店にて検討を開始した。残留熱除去系は6号機からの仮設電源ケーブルを用いた電源融通により、また、残留熱除去海水系は電源車を電源として一般汎用品の水中ポンプによる代替策により復旧することを16日午後から深夜にかけて順次発電所に提案した。

- これをを受けて、発電所では、前日まで1～4号機への事故対応支援を行っていた要員を呼び戻し、5、6号機対応の体制を整えた上で復旧策の詳細検討、設備調査、準備作業及び各種調整を開始した。
- 準備作業として、3月16日より仮設の残留熱除去海水系ポンプ（水中ポンプ）設置に関わるエリア調査を兼ねての瓦礫撤去、工事用道路の整地を開始した。
- 3月17日夕方までには、高圧電源車から屋外ポンプ操作盤（仮設）までの仮設電源ケーブル敷設及び5号機の仮設水中ポンプの設置が完了した。その後、3月18日12時頃までに仮設水中ポンプへの電源接続を行い、3月19日1時55分に起動した。
- 一方、3月17日から18日にかけて発電所対策本部復旧班で実施した点検の結果、6号機D/G 6Aが起動可能であることが確認されたことから、復旧対象として選定した残留熱除去系ポンプ（C）への電源供給は、D/G 6Aから6号機高圧電源盤（M/C-6C）を経由し、仮設電源ケーブルを用いて直接電源を供給することとした。仮設電源ケーブル敷設は3月18日14時頃から19日早朝にかけて実施した。
- 3月19日5時頃、残留熱除去系ポンプ（C）を手動起動し、非常時熱負荷モードで使用済燃料プールの冷却を開始した。



<原子炉の冷温停止>

- 3月20日10時49分、非常時熱負荷モードで使用済燃料プールの冷却をしていた残留熱除去系ポンプ（C）を手動停止し、同日12時25分、停止時冷却モードで残留熱除去系ポンプ（C）を再度起動し、原子炉冷却を開始した。同日14時30分に原子炉水温が100℃未満となり、原子炉冷温停止となった。
- 以降、残留熱除去系により原子炉と使用済燃料プールの冷却を交互に実施していたが、海水系ポンプの復旧により使用済燃料プールの除熱機能が確保できたことから、6月24日16時35分に燃料プール冷却浄化系ポンプを起動、燃料プール冷却浄化系による使用済燃料プールの冷却を開始し、残留熱除去系は原子炉冷却とした。

<原子炉建屋の負圧維持と水素ガスが発生した場合の対応>

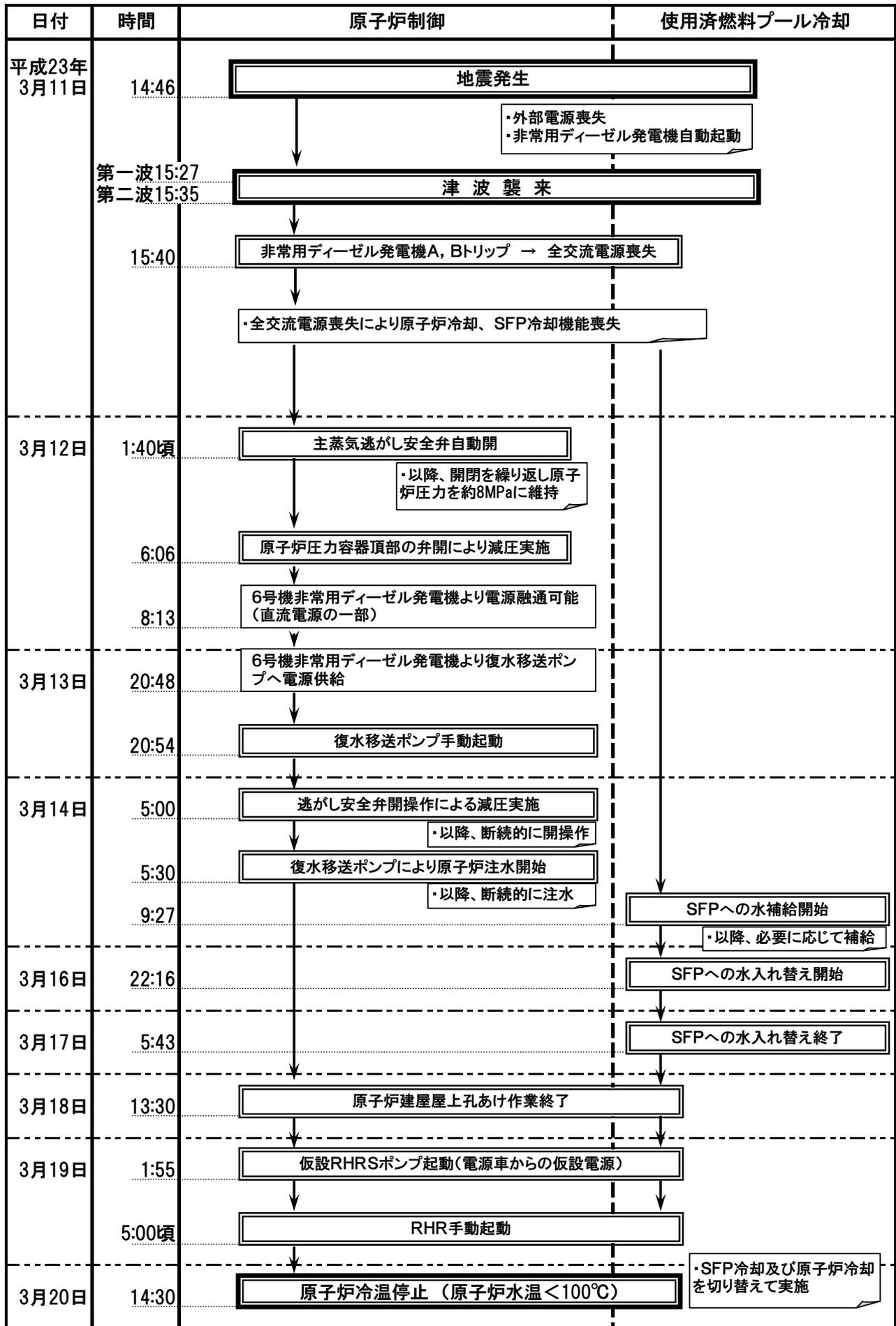
- ・ 高圧電源盤（M/C）の水没により低圧電源盤への電源が供給できなかったため、6号機タービン建屋の低圧電源盤（T/B MCC6C-1）から、5号機低圧電源盤（T/B MCC5C-2）まで仮設電源ケーブルの敷設を実施した。非常用ガス処理系は、3月13日21時01分に手動起動し、原子炉建屋の負圧を維持した。
- ・ また、地震発生以降、原子炉及び使用済燃料プールの水位は維持されており、ただちに水素ガスが発生する状況ではなかったが、余震により設備が被災し注水機能や除熱機能が失われるリスクもあることから、3月16日より発電所対策本部にて水素ガス滞留防止策を検討し、万全を期すため、ボーリングマシーンを使用して原子炉建屋屋上の屋根（コンクリート）に孔あけ（直径約3.5cm～7cmを3ヶ所）作業を実施し、3月18日13時30分に完了した。

（2）まとめ

地震発生時は定期検査中であったため、全交流電源喪失後も事象の進展は緩やかであったが、1～4号機側の事故対応に多くの要員が必要であったこともあり、5、6号機側の対応にあたっては、適切なタイミングでの判断及び確実な対応実施が必要な状況であった。そのような中で発電所対策本部と運転員は連携を密にしながら、発災後早くからプラント状態に基づく対応計画策定と実施を迅速に行い、さらに残留熱除去系の機能復旧に向けては本店やプラントメーカー等との協力体制のもと、対応に取り組むことができた。（6号機も同様）

また、5号機は、6号機からの電源融通により、早期の段階で事故対応に必要な監視計器の復旧、原子炉減圧、復水補給水系及び残留熱除去系・残留熱除去海水系の機能復旧ができたことから、事象の進展が抑制された状態で冷温停止に至った。

なお、この一連の対応においては、日頃の教育・訓練及び業務の積み重ねによる経験が生かされ、これまでに整備してきたアクシデントマネジメント策も有効に機能させることができた。（6号機も同様）



福島第一発電所5号機 地震後の主な流れ

8. 7 福島第一6号機の対応とプラントの動き

(1) 対応状況

<地震発生から津波到達まで>

- ・ 3月11日14時46分に地震に襲われた時点で、6号機は定期検査中であり、原子炉内に燃料が装荷され、冷温停止状態であった。
- ・ 地震発生時は、全制御棒は全挿入位置にあり、地震による停止状態の異常は認められなかった。
- ・ 地震の影響で、夜の森線の鉄塔倒壊などによって外部電源が全喪失したことにより、3月11日14時47分、非常用母線の電源が喪失し、非常用D/G 6 A、6 B、高圧炉心スプレイ系D/Gが自動起動し、非常用系の高圧電源盤(M/C)の電源が回復した。
- ・ 津波の影響を受け、非常用D/G海水系ポンプまたは電源盤の被水等(非常用D/G本体を除く)により非常用D/G 6 A及び高圧炉心スプレイ系D/Gが停止した。このため、高圧炉心スプレイ系ポンプは電源喪失により使用不能となった。非常用D/G建屋に設置されている空冷式の非常用D/G 6 Bについては、海水系による冷却の必要がないこと及び電源盤が被水しなかったことなどから停止に至らず、非常用の高圧電源盤(M/C-6 D)の電源を供給し続けた。
- ・ また、残留熱除去海水系ポンプは、ポンプ本体が海水に冠水し、使用不能となった。このため、残留熱除去系及び低圧炉心スプレイ系ポンプはモータ、熱交換器等の冷却ができず、使用不能となった。

<所内電源系統の現場確認>

- ・ 3月11日23時30分頃から、5、6号機所内電源系統の点検のため、運転員は現場に向かった。電源設備は、一部の高圧電源盤(M/C)が津波の影響で使用不可であったが、直流電源設備は被水を免れ使用可能であった。
- ・ また、非常用D/G 6 Bは、津波の被害を受けず健全であることを確認した。

<中央制御室内空気浄化の開始>

- ・ 12日6時03分、非常用D/G 6 Bから所内電源供給の構成を開始し、同日14時42分、非常用D/G 6 Bからの電源により、5、6号中央制御室非常用換気空調系(5号側：2台、6号側：1台)のうち6号側の空調系を手動起動し、中央制御室内の空気浄化を開始した。

<原子炉圧力の減圧と原子炉への注水>

- ・ 復水補給水系ポンプは、非常用D/G 6 Bからの電源供給により起動できる状態であり、3月13日13時01分に手動起動し、13時20分、復水貯蔵タンクを水源として復水補給水系による代替注水ラインを使用した原子炉注水を開始した。以降、断続的に原子炉への注水を継続し水位を調整した。

- ・ 一方、崩壊熱の影響により、原子炉圧力が緩やかに上昇してきたことから、3月14日以降、主蒸気逃がし安全弁を中央制御室から手動開操作し、原子炉圧力の減圧を断続的に実施した。

<使用済燃料プール水の温度上昇抑制>

- ・ 3月11日の津波の影響により、補機冷却海水系が機能喪失したことから燃料プール冷却浄化系の除熱機能が喪失した。また、地震時のスロッシングによる使用済燃料プール水位低下の可能性があったことから、3月14日14時13分からアクシデントマネジメント策で設置されたラインを使用して水張りを実施したところ、プール水の正確な温度が判明し、地震発生前の約25℃から50℃程度まで温度が上昇していることが確認された。以降、使用済燃料プール内の崩壊熱について温度上昇率を評価したうえで、プール水温の監視を継続した。
- ・ 海水系による除熱機能復旧までの間、使用済燃料プール水温の上昇を抑制するための暫定処置について、発電所対策本部にて3月16日朝から検討を行った。6号機の燃料プール冷却浄化系ポンプ及び原子炉補機冷却系ポンプが非常用D/G6Bからの電源供給により起動できる状態であったことから、燃料プール冷却浄化系によるプール水の循環・攪拌運転及び原子炉補機冷却系の循環運転を行うこととし、同日午後以降実施した。その結果、プール水温度の上昇を抑制できた。

<非常用D/Gの復旧>

- ・ 3月15日朝、運転員は、5、6号機屋内外設備状況の確認を実施し、唯一動いている非常用D/G6Bに加え、非常用D/G6Aをバックアップとして復旧し、電源系を補強する必要性を確認した。
- ・ 3月17日から18日にかけて発電所対策本部復旧班で海水ポンプエリアの浸水状況や外観の損傷状態等の目視点検、機器の絶縁抵抗測定等を実施し、非常用D/G6Aが起動可能であることが確認された。3月18日19時07分に非常用D/G6A海水ポンプを起動、3月19日4時22分に非常用D/G6Aを起動した。これにより6号機の非常用電源は非常用D/G2台が確保された。

<残留熱除去系の復旧>

- ・ 3月11日以降、原子炉水位及び使用済燃料プール水位は十分に確保されていたものの、水温が上昇傾向にあることを踏まえ、3月15日夕方に本店対策本部内にて原子炉と使用済燃料プールの冷却方策検討指示が出され、翌16日から本店にて検討を開始した。残留熱除去海水系は電源車を電源として一般汎用品の水中ポンプによる代替策により復旧することを16日午後から深夜にかけて順次発電所に提案した。
- ・ これを受けて、発電所では、前日まで1～4号機への事故対応支援を行っていた要員を呼び戻し、5、6号機対応の体制を整えた上で復旧策の詳細検討、設備調査、準備作業及び各種調整を開始した。
- ・ 準備作業として、3月17日より仮設の残留熱除去海水系ポンプ（水中ポンプ）設置に関わるエリア調査を兼ねての瓦礫撤去、工事用道路の整地を開始した。

- ・ 3月19日に高圧電源車からの仮設電源ケーブルの敷設と屋外ポンプ操作盤の設置が完了したことから、同日21時26分に仮設水中ポンプを起動した。
- ・ 残留熱除去系ポンプ（B）は非常用D/G6Bから電源供給が可能であり、同日22時14分、残留熱除去系ポンプ（B）を手動起動し、非常時熱負荷モードで使用済燃料プールの冷却を開始した。

<原子炉の冷温停止>

- ・ 3月20日16時26分、非常時熱負荷モードで使用済燃料プールの冷却をしていた残留熱除去系ポンプ（B）を手動停止し、同日18時48分に停止時冷却モードで残留熱除去系ポンプ（B）を再度起動し、原子炉冷却を開始した。同日19時27分に原子炉水温が100℃未満となり、原子炉冷温停止となった。
- ・ 以降、残留熱除去系による停止時冷却系モードでの原子炉冷却と非常時熱負荷モードでの使用済燃料プールの冷却を交互に実施した。

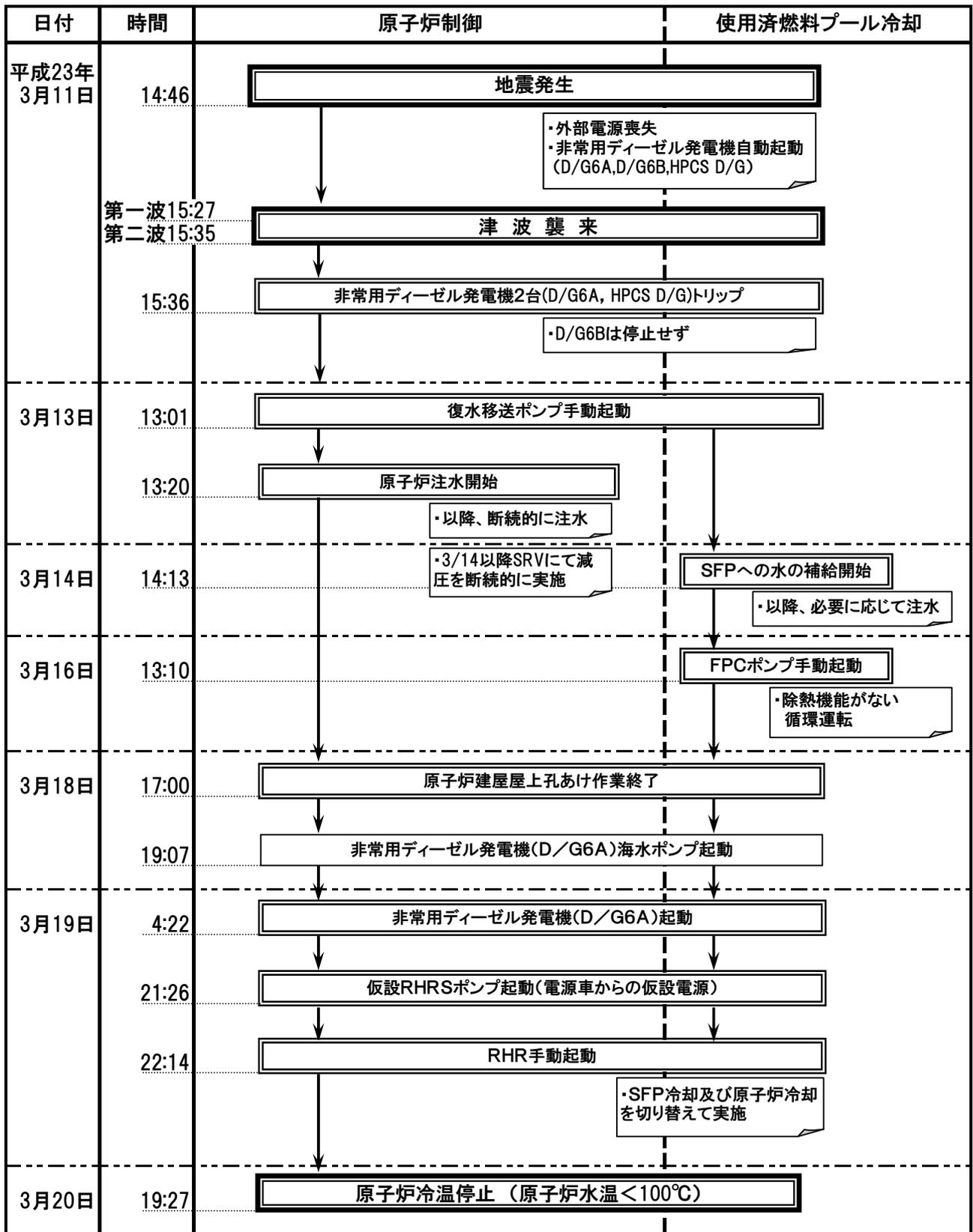
<原子炉建屋の負圧維持と水素ガスが発生した場合の対応>

- ・ 3月11日15時36分、非常用D/G6A停止により非常用ガス処理系（A）は電源喪失となっているが、非常用ガス処理系（B）は非常用D/G6Bからの電源供給によって継続して運転しており、原子炉建屋の負圧が維持された。
- ・ また、地震発生以降、原子炉及び使用済燃料プールの水位は維持されており、ただちに水素ガスが発生する状況ではなかったが、余震により設備が被災し、注水機能や除熱機能が失われるリスクもあることから、3月16日より発電所対策本部にて水素ガス滞留防止策を検討し、万全を期すため、ボーリングマシーンを使用して原子炉建屋の屋根（コンクリート）に孔あけ（直径約3.5cm～7cmを3ヶ所）作業を実施し、3月18日17時00分に完了した。

(2) まとめ

6号機は、非常用D/G1基を確保でき、事故対応に必要な監視計器の確認が可能であったこと、また、早期に復水補給水系による注水及び残留熱除去系・残留熱除去海水系を復旧し、冷却機能を確保できたことから事象の進展が抑制された状態で冷温停止に至った。

なお、この一連の対応においては、日頃の教育・訓練及び業務の積み重ねによる経験が生かされるとともに、これまでに整備してきたアクシデントマネジメント策を有効に機能させることができた。



福島第一発電所6号機 地震後の主な流れ

8. 8 福島第二1号機の対応とプラントの動き

(1) 対応状況

<地震発生から津波到達直後まで>

- 1号機は、定格熱出力一定運転中のところ、3月11日14時46分に発生した三陸沖を震源とする地震により、同日14時48分、原子炉が自動停止し、同日15時00分には原子炉が未臨界となったことを確認した。
- 福島第二原子力発電所の外部電源設備は4回線（富岡線2回線、岩井戸線2回線）あり、地震発生前は点検停止していた岩井戸線1回線を除く3回線が使用できた。このうち、地震によって富岡線1回線が停止し、さらに岩井戸線1回線が新福島変電所の設備不具合により停止したが、富岡線1回線による受電が継続した。
- 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（運転操作にあたる当直班とは別に、当直長及び運転員で構成するチーム）が中央制御室に駆けつけ、当直班の支援にあたった。また、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。
- その後到達した津波（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とするとともに、原子炉隔離時冷却系を同日15時36分に手動起動して原子炉への注水を行いつつ、同日15時55分より主蒸気逃がし安全弁にて原子炉圧力の減少操作を開始した。原子炉隔離時冷却系による原子炉水位制御、主蒸気逃がし安全弁による原子炉圧力制御は、いずれもプラントのパラメータに応じて、事故時運転操作手順書〔徴候ベース〕（EOP）の該当する箇所を用いて実施された。
- 一方、津波の影響により、全ての非常用機器冷却系ポンプ¹が起動できない状態（一部モータ及び電源被水による使用不能のため）となったことから、全ての非常用炉心冷却系ポンプ²が起動不可能な状態となった。
- このため、原子炉から残留熱を除去する機能が喪失したことから、11日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。

<原子炉への注水と格納容器の冷却>

- 原子炉への注水は、当初、原子炉隔離時冷却系にて行っていたが、12日0時00分からは復水補給水系による代替注水（アクシデントマネジメント策として導入し、EOPに反映）と併用して行った。
- 原子炉隔離時冷却系については、原子炉圧力の減少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12日4時58分に手動隔離³し、これ以降は復水補給

¹ 全ての非常用機器冷却系のポンプ：残留熱除去機器冷却系ポンプ(A, B, C, D)、残留熱除去機器冷却海水系ポンプ(A, B, C, D)、非常用ディーゼル発電設備冷却系ポンプ(A, B)、高圧炉心スプレー系ディーゼル発電設備冷却系ポンプ、高圧炉心スプレー系ディーゼル発電設備冷却海水系ポンプ

² 全ての非常用炉心冷却系ポンプ：残留熱除去系ポンプ(A, B, C)、低圧炉心スプレー系ポンプ、高圧炉心スプレー系ポンプ

³ 隔離：原子炉隔離時冷却系タービンの駆動用蒸気圧力低下に伴い、蒸気を取り出している原子炉側から原子炉隔離時冷却系を切り離す（隔離する）こと

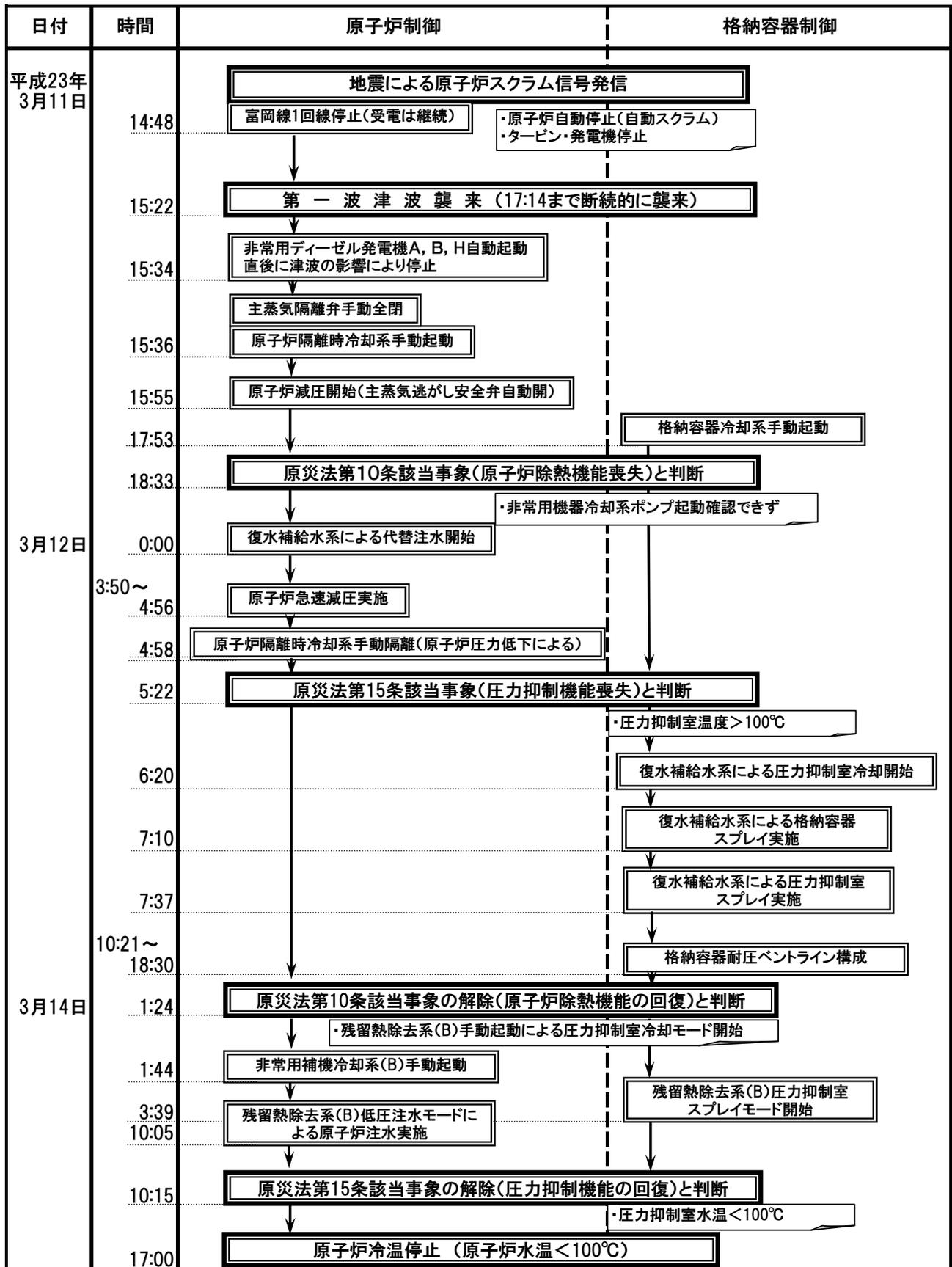
水系による代替注水にて原子炉の水位を調整した。

- ・ 原子炉隔離時冷却系運転及び主蒸気逃がし安全弁開に伴う圧力抑制室水温の上昇により、12日5時22分、圧力抑制室の水温が100℃以上となったことから、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。
- ・ 圧力抑制室の冷却のために、12日6時20分より可燃性ガス濃度制御系の冷却器から圧力抑制室への冷却水排水ラインを利用して、冷却水（復水補給水系）を圧力抑制室へ注水するとともに、格納容器の冷却のために、復水補給水系によるドライウェルスプレイ（同日7時10分より）、圧力抑制室スプレイ（同日7時37分より）を適宜実施した。復水補給水系によるドライウェル・圧力抑制室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、EOPに反映されていたものである。これによって、格納容器の温度及び圧力の上昇を一時的に抑制することができ、残留熱除去系等の復旧への時間的余裕を得ることができた。
- ・ 一方、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、格納容器耐圧ベントのためのライン構成（圧力抑制室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。これは、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は異なり、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に事前にライン構成を実施したものである（その他の号機も同様）。なお、結果的には、格納容器圧力が格納容器耐圧ベント実施圧力まで至らなかったことから、格納容器耐圧ベントは実施していない。

<残留熱除去系等の復旧と原子炉の冷温停止>

- ・ 地震及び津波後の対応操作と並行して、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。
- ・ 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。
- ・ 伝令なども配置する待避連絡手順を定め、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被害現場の確認を開始したのは、11日の22時頃だった。
- ・ 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。なお、今回の震災においては、柏崎刈羽原子力発電所が福島第一・第二原子力発電所で必要な資機材の調達などを積極的に支援していた。
- ・ また、これらのポンプのモータに電気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。

- ・ 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るからであり、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原子力発電所へ順次到着した。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。
- ・ 仮設ケーブルは4プラント合計で総延長約9 km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。
- ・ なお、ケーブル敷設作業は、発電所対策本部内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、当初は格納容器圧力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。なお、その後の事象推移では確かに1号機の格納容器圧力上昇が早かったが、この変更によって1号機も格納容器のベントを必要とすることなく復旧が完了し、冷温停止に成功した。
- ・ ケーブル敷設に並行して、ポンプの機械部品の状態確認、モータの据え付けを行い、準備が整ったポンプから13日20時17分より順次起動した。
- ・ その後、14日1時24分に残留熱除去系ポンプ(B)を起動したことにより、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。
- ・ また、残留熱除去系ポンプ(B)にて圧力抑制室の冷却を実施した結果、徐々に圧力抑制室水温が低下し、14日10時15分には圧力抑制室の水温が100℃未満となったことから、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。
- ・ さらに、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、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（圧力抑制室→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→圧力抑制室）による冷却を応急的に実施した。これにより、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ことを確認した。
- ・ なお、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。



福島第二発電所1号機 地震後の主な流れ

(2) プラントパラメータの動き

福島第二1号機の事故発生時の原子炉水位、原子炉圧力、ドライウェル圧力等のプラントパラメータのトレンドを【添付8-17】に示す。プラントパラメータから確認できる特徴として以下のポイントがあげられる。なお、《A》等の記号は、添付資料中のグラフの着目点を示す。

- ・ 津波後、原子炉隔離時冷却系によって原子炉水位が維持された。《A》
- ・ その状態で主蒸気逃がし安全弁によって、原子炉圧力を徐々に低下させることで復水補給水系が注水可能な圧力まで低下させた。《B》
- ・ 復水補給水系によって原子炉水位維持ができる状態にして、原子炉隔離時冷却系タービン駆動蒸気圧力低下のため、原子炉隔離時冷却系を手動隔離した。《C》
- ・ 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。《A》
- ・ ドライウェル圧力は、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日目にはドライウェルの設計圧力に到達したが、最高使用圧力(0.41 MPa [abs])には到達しなかった。《D》
- ・ 4日目には原子炉からの除熱機能が回復したため、ドライウェル圧力は減少に転じた。《E》
- ・ 仮に除熱機能の回復が更に延びた場合には、格納容器ベント操作によって格納容器圧力を下げることになるが、その準備は既に整えてあった。

なお、冷温停止のおよそ2日後に格納容器雰囲気モニタで水素濃度の増加傾向が見られた。炉心は健全に冷温停止に至っていることから、炉心損傷に伴う水素発生は考えられない。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。

- ・ 定性的には、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。なお、冷温停止後においても、格納容器内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条件を逸脱したと推定されるが、冷温停止以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。

(3) まとめ

福島第二1号機は、津波の影響により全ての非常用機器冷却系ポンプが使用不能となり、原子炉除熱機能喪失に至ったものの、原子炉隔離時冷却系によって原子炉水位を維持しつつ、主蒸気逃がし安全弁で原子炉圧力の制御（減圧操作）を行うことができた。原子炉減圧後は、原子炉への注水を原子炉隔離時冷却系から復水補給水系による代替注水にシームレスに切り替えることができた。

さらに、社員・協力企業作業員の一丸となった懸命な復旧活動により、3月14日には一部の非常用機器冷却系ポンプを使用可能な状態とした。その結果、喪失していた原子炉除熱機能を回復させ、最終的に原子炉を冷温停止とするに至った。

また、これまでに整備してきたアクシデントマネジメント策については有効に機能させることができ、事象の進展を抑制することに大きく寄与した。

以上の対応においては、地震発生後も外部電源設備1回線からの受電が継続できたこと、これにより一部を除いた機器の使用、計器（パラメータ）の監視が可能であったこと、一部のエリアを除いて通信手段（ページング、PHS）が使用可能であったこと、などが大きく影響している。

発電所内の指揮命令系統や原子力防災組織内の役割・権限については、当初の設計どおりに機能したことが、プラント側の的確な対応操作と迅速な復旧活動による事態の収束に大きく寄与した。具体的には、発電所長は発電所対策本部長として発電所の原子力災害対策活動の全体を統括し、そのもとで原子力防災組織の各班がそれぞれの役割に応じて課題と進捗状況を明確化し共有しつつ活動することができた。また、EOPに基づく判断と対応操作は当直長の権限のもと適切に実施され、プラントの状況に応じた臨機応変な対応についてもその都度適切に判断し、発電所対策本部との連携を保ちつつ実行することができた。

一方、本店対策本部は、発電所対策本部から適宜報告を受けるとともに、発電所対策本部からの緊急調達要請などに対して支援活動を実行した。このように、発電所対策本部が現場の原子力災害対策活動にガバナンスを効かせつつ、最前線の組織が自らの役割と権限に基づいて迅速に活動すること、本店対策本部がこれを後方支援するという基本的なメカニズムが有効に機能したものである。この状況は福島第二2, 3, 4号機も同様である。

なお、ケーブル敷設に関して、今回の事象では作業の大半を人海戦術でほぼ1日のうちに完了させることができたが、作業に必要な重機や、ケーブルの端末処理技能を持つ作業員が必要となったことから、特殊機器や特殊技能が必要な場合に対応できる方策を予め確立しておくことが重要であると考えられる。（2号機においても同様）

8. 9 福島第二2号機の対応とプラントの動き

(1) 対応状況

<地震発生から津波到達直後まで>

- ・ 2号機は、定格熱出力一定運転中のところ、3月11日14時46分に発生した三陸沖を震源とする地震により、同日14時48分、原子炉が自動停止し、同日15時01分には原子炉が未臨界となったことを確認した。
- ・ 福島第二原子力発電所の外部電源設備の状態は福島第二1号機の項に記載した通りであり、また、1号機と同様に作業管理チームが当直班の支援にあたった。
- ・ その後到達した津波（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34分に主蒸気隔離弁を手動全閉とするとともに、同日15時41分より主蒸気逃がし安全弁にて原子炉圧力の減少操作を開始、また原子炉隔離時冷却系を同日15時43分に手動起動して原子炉への注水を行った。（事故時運転操作手順書〔徴候ベース〕（EOP）を用いて実施）
- ・ 一方、津波の影響により、一部の非常用機器冷却系ポンプ¹が起動できない状態（一部モータ及び電源被水により使用不能のため）となったことから、全ての非常用炉心冷却系ポンプ²が起動不可能な状態となった。
- ・ このため、原子炉から残留熱を除去する機能が喪失したことから、11日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。

<原子炉への注水と格納容器の冷却>

- ・ 原子炉への注水は、当初、原子炉隔離時冷却系にて行っていたが、12日4時50分からは復水補給水系による代替注水（アクシデントマネジメント策として導入し、EOPに反映）を開始した。
- ・ 原子炉隔離時冷却系については、原子炉圧力の減少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12日4時53分に自動隔離し、これ以降は復水補給水系による代替注水にて原子炉の水位を調整した。
- ・ 原子炉隔離時冷却系運転及び主蒸気逃がし安全弁開に伴う圧力抑制室水温の上昇により、12日5時32分、圧力抑制室の水温が100℃以上となったことから、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。
- ・ 圧力抑制室の冷却のために、12日6時30分より可燃性ガス濃度制御系の冷却器から圧力抑制室への冷却水排水ラインを利用して、冷却水（純水補給水系）を圧力抑制室へ注水するとともに、格納容器の冷却のために、復水補給水系によるドライウェルスプレイ（同日7時11分より）、圧力抑制室スプレイ（同日7時35分より）を適宜実施した。1号機と同様に復水補給水系による格納容器の冷却によって、格納容器の温度及び圧力の上昇を一時的に抑制し、残留熱除去系等の復旧への時間的余裕を得ることができた。

¹ 一部の非常用機器冷却系ポンプ：残留熱除去機器冷却系ポンプ（A, B, C, D）、残留熱除去機器冷却海水系ポンプ（A, B, C, D）、非常用ディーゼル発電設備冷却系ポンプ（A, B）、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備冷却系ポンプ

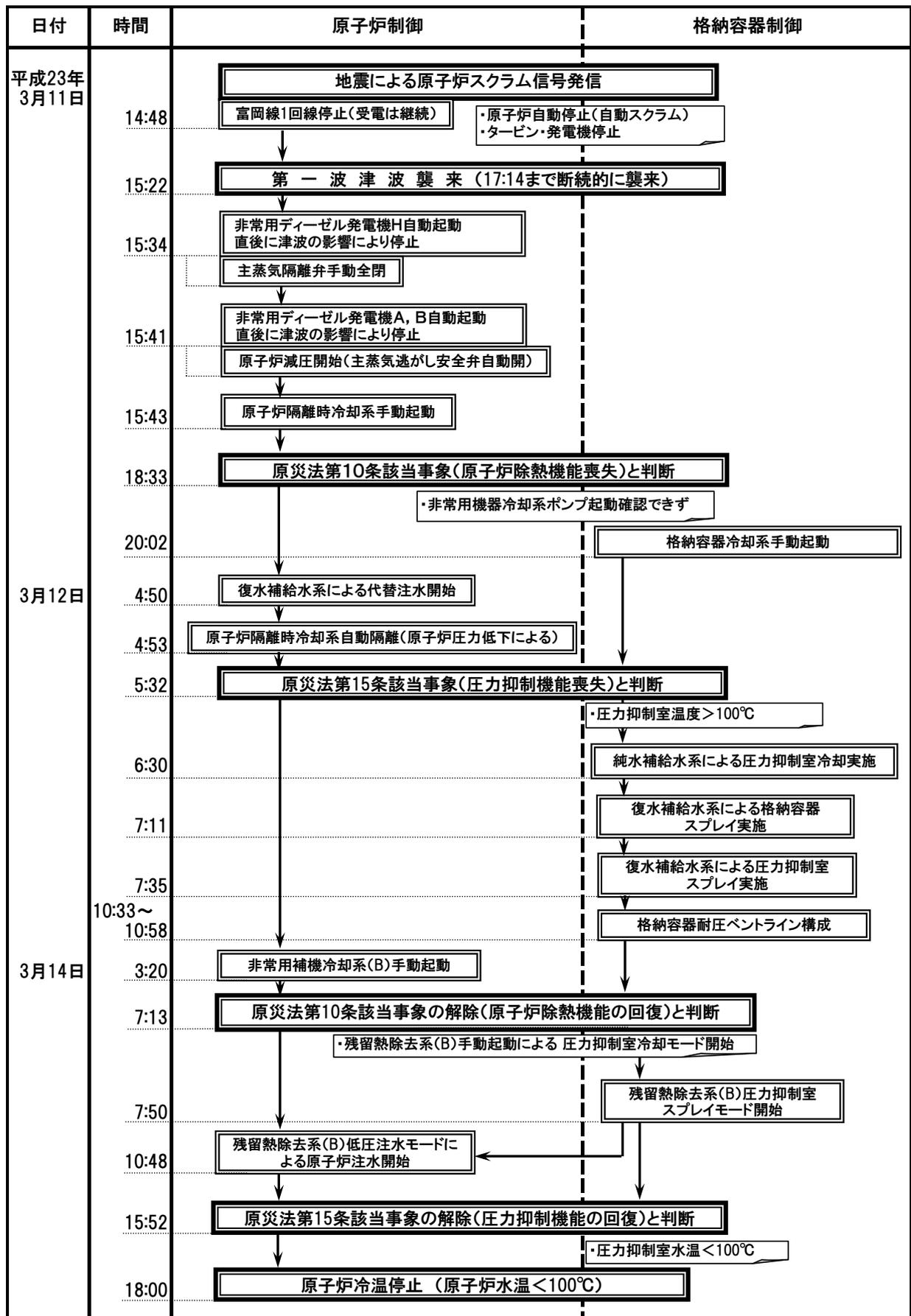
² 全ての非常用炉心冷却系ポンプ：残留熱除去系ポンプ（A, B, C）、低圧炉心冷却系ポンプ、高圧炉心スプレイ系ポンプ

- ・ 一方、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33分から同日10時58分にかけて、格納容器耐圧ベントのためのライン構成（圧力抑制室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、1号機と同様、結果的には格納容器耐圧ベントは実施していない。

<残留熱除去系等の復旧と原子炉の冷温停止>

- ・ 地震及び津波後の対応操作と並行して、1号機の項にも記載した通り、発電所対策本部では現場確認を計画し、11日の22時頃に開始した。
- ・ 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(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。
- ・ また、これらのポンプのモータに電気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とモータを直結することを計画し、ケーブルの緊急調達を本店対策本部に依頼した。
- ・ 1号機の項に記載した通り、非常に苦労しながらも速やかにケーブルを敷設し、ほぼ1日のうちに完了させた。なお、2号機については、放射性廃棄物処理建屋の電源盤の他に、3号機の海水熱交換器建屋の電源盤からもケーブルを敷設した。
- ・ なお、ケーブル敷設作業は、発電所対策本部内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、当初は格納容器圧力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。しかしながら、2号機についても格納容器のベントを必要とすることなく復旧が完了し、冷温停止に成功した。
- ・ ケーブル敷設に並行して、ポンプの機械部品及びモータの状態確認を行い、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。
- ・ その後、14日7時13分に残留熱除去系ポンプ(B)を起動したことにより、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。
- ・ また、残留熱除去系ポンプ(B)にて圧力抑制室の冷却を実施した結果、徐々に圧力抑制室水温が低下し、14日15時52分には圧力抑制室の水温が100℃未満となったことから、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。
- ・ さらに、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、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（圧力抑制室→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→圧力抑制室）による冷却を応急的に実施した。これにより、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ことを確認した。
- ・ なお、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増加傾向（水素約5%、酸素計不良）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。水素検出の理由については、福島第二1号機で述べた通りである。



福島第二発電所2号機 地震後の主な流れ

(2) プラントパラメータの動き

福島第二2号機の事故発生時の原子炉水位、原子炉圧力、ドライウェル圧力等のプラントパラメータのトレンドを【添付8-18】に示す。プラントパラメータから確認できる特徴として以下のポイントがあげられる。なお、《A》等の記号は、添付資料中のグラフの着目点を示す。

- ・ 津波後、原子炉隔離時冷却系によって原子炉水位が維持された。《A》
- ・ その状態で主蒸気逃がし安全弁によって、原子炉圧力を徐々に低下させることで復水補給水系が注水可能な圧力まで低下させた。《B》
- ・ 復水補給水系によって原子炉水位維持ができる状態において、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、原子炉隔離時冷却系が自動隔離した。《C》
- ・ 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。《A》
- ・ ドライウェル圧力は、原子炉からの除熱機能を喪失しているため徐々に上昇したものの、ドライウェル圧力は設計圧力まで到達しなかった。《D》
- ・ また、4日目には原子炉からの除熱機能の回復がなされたため、ドライウェル圧力は減少に転じた。《E》
- ・ 仮に除熱機能の回復が更に延びた場合には、格納容器ベント操作によって格納容器圧力を下げることになるが、その準備は既に整えてあった。

(3) まとめ

福島第二2号機は、福島第二1号機と基本的に同じ進め方で冷温停止に成功した。

また、福島第二1号機と同様に、これまでに整備してきたアクシデントマネジメント策を有効に機能させることができたものと考えられる。

8. 10 福島第二3号機の対応とプラントの動き

(1) 対応状況

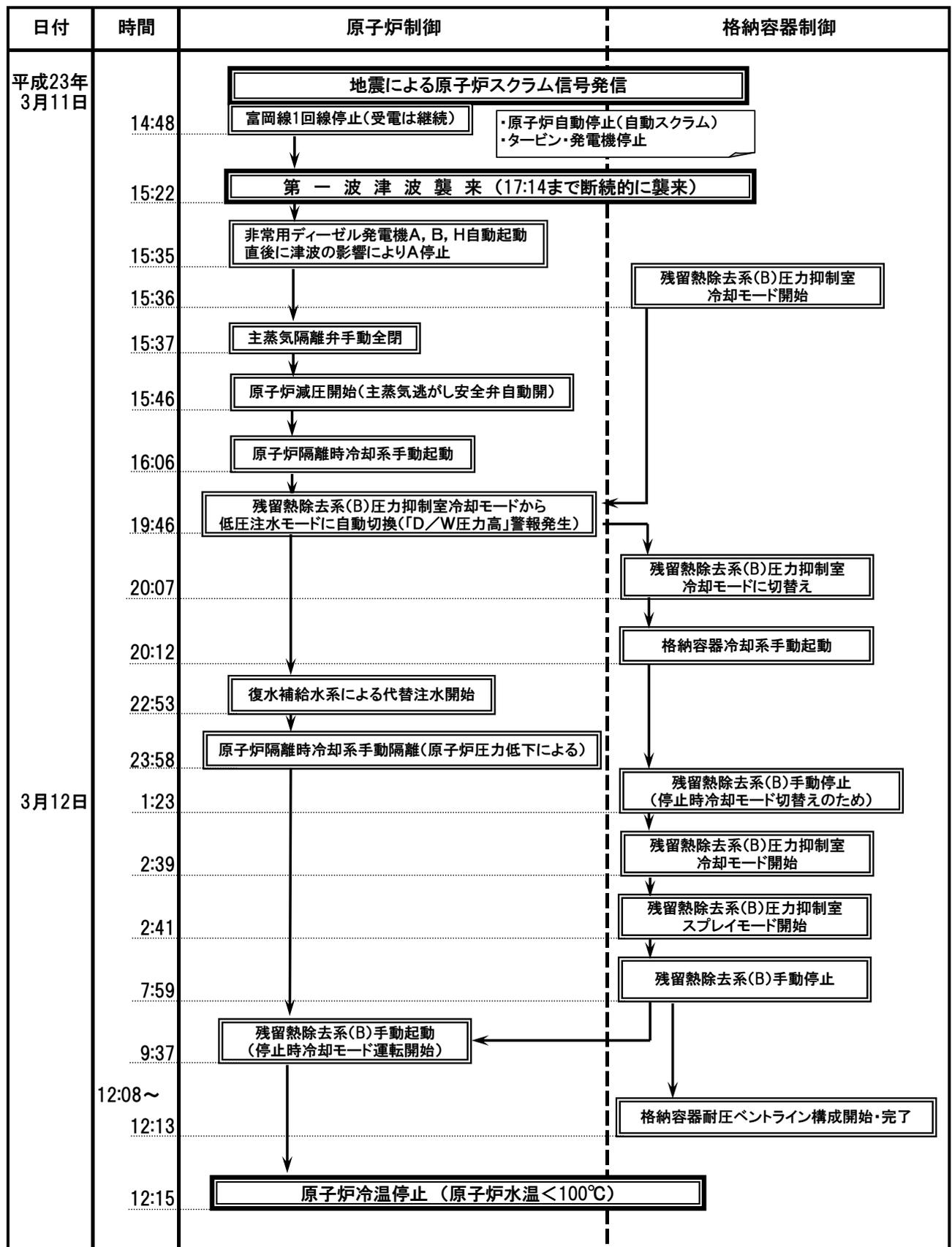
<地震発生から津波到達直後まで>

- ・ 3号機は、定格熱出力一定運転中のところ、3月11日14時46分に発生した三陸沖を震源とする地震により、同日14時48分、原子炉が自動停止し、同日15時05分には原子炉が未臨界となったことを確認した。
- ・ 福島第二原子力発電所の外部電源設備の状態は福島第二1号機の項に記載した通りであり、また、1号機と同様に作業管理チームが当直班の支援にあたった。
- ・ 3月11日14時48分「地震加速度大トリップ」により原子炉が自動停止した直後は、原子炉出力の急激な低下に伴い、炉心内のボイドが減少し、原子炉水位は「原子炉水位低(L-3)」まで下降した。その後の原子炉水位は、原子炉給水系からの給水により非常用炉心冷却系ポンプ及び原子炉隔離時冷却系の自動起動水位まで低下することなく回復した。
- ・ また、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。
- ・ なお、非常用の低圧電源盤(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した。
- ・ また、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。

<原子炉への注水と冷温停止>

- ・ 原子炉への注水は、当初は原子炉隔離時冷却系にて行っていたが、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復水補給水系による代替注水と併用し行った。その後、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、原子炉隔離時冷却系を同日23時58分手動隔離した。これ以降は、復水補給水系による代替注水を行った。(事故時運転操作手順書[徴候ベース](EOP)を用いて実施)
- ・ 一方、万が一の格納容器圧力上昇に備え、格納容器耐圧ベントのライン構成(圧力抑制室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。



福島第二発電所3号機 地震後の主な流れ

(2) プラントパラメータの動き

福島第二3号機の事故発生時の原子炉水位、原子炉圧力、ドライウェル圧力等のプラントパラメータのトレンドを【添付8-19】に示す。プラントパラメータから確認できる特徴として以下のポイントがあげられる。なお、《A》等の記号は、添付資料中のグラフの着目点を示す。

- ・ 津波後、原子炉隔離時冷却系によって原子炉水位が維持された。《A》
- ・ その状態で主蒸気逃がし安全弁によって、原子炉圧力を徐々に低下させることで復水補給水系が注水可能な圧力まで低下させた。《B》
- ・ 復水補給水系によって原子炉水位維持ができる状態にして、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、原子炉隔離時冷却系を手動隔離した。《C》
- ・ 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。《A》
- ・ ドライウェル圧力は、原子炉からの除熱機能が確保されていたため、ほぼ一定の圧力を維持することができた。
- ・ なお、除熱機能は確保されていたものの、万が一の格納容器圧力上昇に備え、格納容器ベント操作の準備を整えていた。

(3) まとめ

福島第二3号機は原子炉からの除熱機能を有する残留熱除去系が1系統使用可能であったことから、福島第二1, 2, 4号機のような大がかりな復旧活動をすることなく、EOPで定める手順に従って原子炉を冷温停止とすることができた。

8. 1 1 福島第二4号機の対応とプラントの動き

(1) 対応状況

<地震発生から津波到達直後まで>

- ・ 4号機は、定格熱出力一定運転中のところ、3月11日14時46分に発生した三陸沖を震源とする地震により、同日14時48分、原子炉が自動停止し、同日15時05分には原子炉が未臨界となったことを確認した。
- ・ 福島第二原子力発電所の外部電源設備の状態は福島第二1号機の項に記載した通りであり、また、1号機と同様に作業管理チームが当直班の支援にあたった。
- ・ その後到達した津波（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とするとともに、同日15時46分より主蒸気逃がし安全弁にて原子炉圧力の減少操作を開始、また原子炉隔離時冷却系を同日15時54分に手動起動して原子炉への注水を行った。（事故時運転操作手順書〔徴候ベース〕（EOP）を用いて実施）
- ・ 一方、津波の影響により、一部の非常用機器冷却系ポンプ¹が起動できない状態（一部モータ及び電源被水により使用不能のため）となったことから、一部の非常用炉心冷却系ポンプ²が起動不可能な状態となった。
- ・ このため、原子炉から残留熱を除去する機能が喪失したことから、11日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。

<原子炉への注水と格納容器の冷却>

- ・ 原子炉への注水は、当初、原子炉隔離時冷却系にて行っていたが、原子炉圧力の減少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12日0時16分に自動隔離した以降、復水補給水系による代替注水（アクシデントマネジメント策として導入し、EOPに反映）を開始し、原子炉の水位を調整した。
- ・ その後、12日12時32分からは復水補給水系に代わり、津波の影響を受けず使用可能であった高圧炉心スプレイ系ポンプの起動・停止により原子炉の水位を調整した。
- ・ 原子炉隔離時冷却系運転及び主蒸気逃がし安全弁開に伴う圧力抑制室水温の上昇により、12日6時07分、圧力抑制室の水温が100℃以上となったことから、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。
- ・ 圧力抑制室の冷却のために、12日7時23分より可燃性ガス濃度制御系の冷却器から圧力抑制室への冷却水排水ラインを利用して、冷却水（純水補給水系）を圧力抑制室へ注水するとともに、復水補給水系による圧力抑制室スプレイ（同日7時35分より）を実施した。1号機と同様に復水補給水系による圧力抑制室スプレイによって格納容器の温度及び圧力の上昇を一時的に抑制し、残留熱除去系等の復旧への時間的余裕を得ることができた。

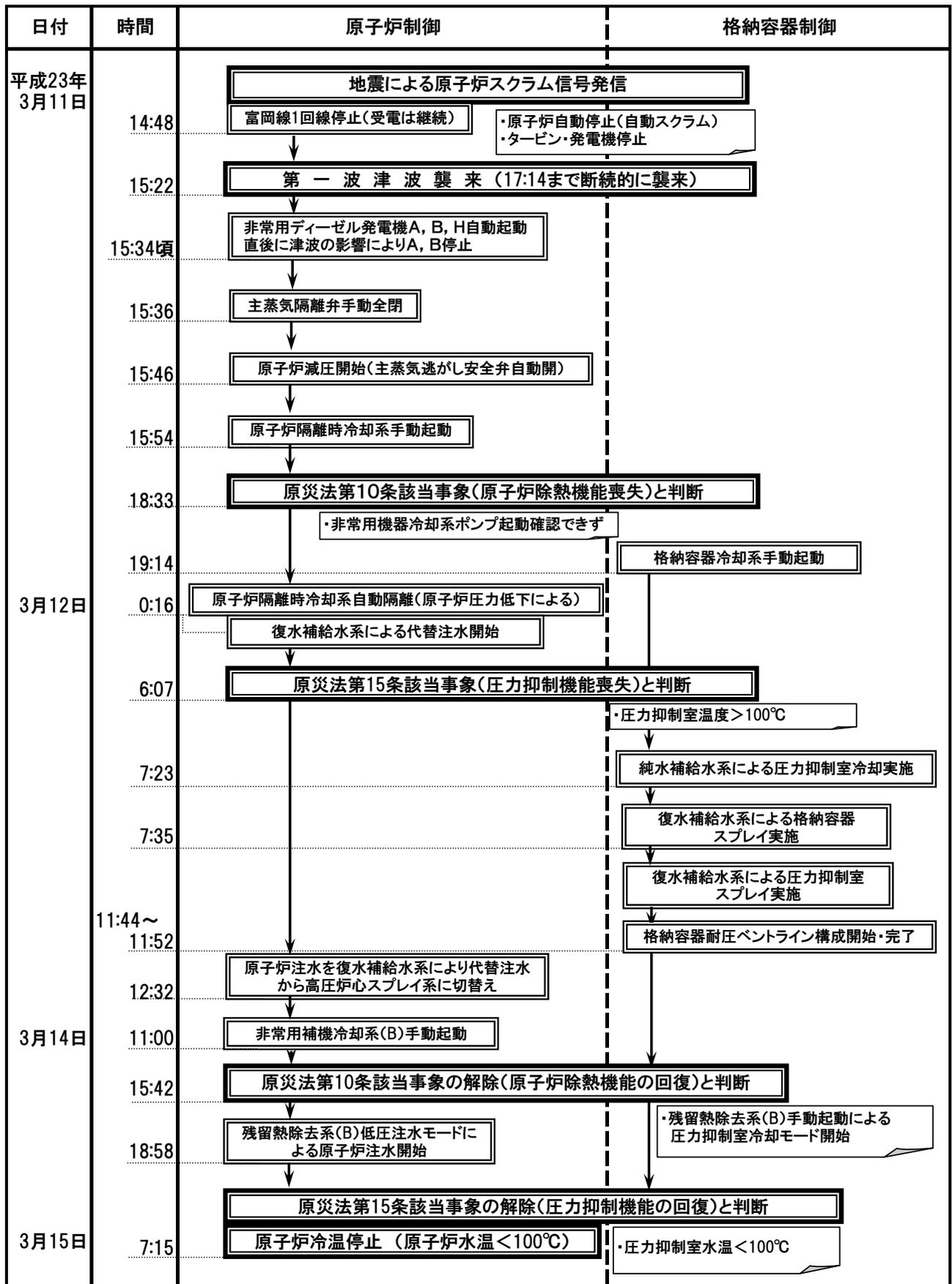
¹ 一部の非常用機器冷却系ポンプ：残留熱除去機器冷却系ポンプ(A、B、C、D)、残留熱除去機器冷却海水系ポンプ(A、B、C、D)、非常用ディーゼル発電設備冷却系ポンプ(A、B)

² 一部の非常用炉心冷却系ポンプ：残留熱除去系ポンプ(A、B、C)、低圧炉心冷却系ポンプ

- ・ 一方、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、格納容器耐圧ベントのためのライン構成（圧力抑制室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、1号機と同様、結果的には格納容器耐圧ベントは実施していない。

<残留熱除去系等の復旧と原子炉の冷温停止>

- ・ 地震及び津波後の対応操作と並行して、1号機の項にも記載した通り、発電所対策本部では現場確認を計画し、11日の22時頃に開始した。
- ・ 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(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。
- ・ また、これらのポンプのモータに電気を供給する電源盤が損傷していたことから、発電所対策本部は津波の影響を受けなかった3号機の海水熱交換器建屋内の電源盤や、高圧電源車とモータを直結することを計画し、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。
- ・ 1号機の項に記載した通り、非常に苦労しながらも速やかにケーブルを敷設し、ほぼ1日のうちに完了させた。
- ・ ケーブル敷設に並行して、ポンプの機械部品の状態確認、モータの据え付けを行い、準備が整ったものから14日11時00分より順次起動した。
- ・ その後、14日15時42分に残留熱除去系ポンプ(B)を起動したことにより、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。
- ・ また、残留熱除去系ポンプ(B)にて圧力抑制室の冷却を実施した結果、徐々に圧力抑制室水温が低下し、15日7時15分には圧力抑制室の水温が100℃未満となったことから、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。
- ・ さらに、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、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（圧力抑制室→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→圧力抑制室）による冷却を応急的に実施した。これにより、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ことを確認した。
- ・ なお、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。水素検出の理由については、福島第二1号機で述べた通りである。



福島第二発電所4号機 地震後の主な流れ

(2) プラントパラメータの動き

福島第二4号機の事故発生時の原子炉水位、原子炉圧力、ドライウェル圧力等のプラントパラメータのトレンドを【添付8-20】に示す。プラントパラメータから確認できる特徴として以下のポイントがあげられる。なお、《A》等の記号は、添付資料中のグラフの着目点を示す。

- ・ 津波後、原子炉隔離時冷却系によって原子炉水位が維持された。《A》
- ・ その状態で主蒸気逃がし安全弁によって、原子炉圧力を徐々に低下させることで復水補給水系が注水可能な圧力まで低下させた。《B》
- ・ 復水補給水系によって原子炉水位維持ができる状態において、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原子炉隔離時冷却系が自動隔離した。《C》
- ・ 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。《A》
- ・ また、4号機においては、高圧炉心スプレイ系が機能を確保できていたことから、圧力抑制室を水源として注水を行った。《D》
- ・ ドライウェル圧力は、原子炉からの除熱機能を喪失しているため徐々に上昇したものの、ドライウェル圧力は設計圧力まで到達しなかった。《E》
- ・ 4日目には原子炉からの除熱機能の回復がなされたため、ドライウェル圧力は減少に転じた。《F》
- ・ 仮に除熱機能の回復が更に延びた場合には、格納容器ベント操作によって格納容器圧力を下げることになるが、その準備は既に整えてあった。

(3) まとめ

福島第二4号機は、福島第二1, 2号機と基本的に同じ進め方で冷温停止に成功した。また、福島第二1, 2号機と同様に、これまでに整備してきたアクシデントマネジメント策を有効に機能させることができたものと考えられる。

9. 使用済燃料プール冷却の対応

(1) 福島第一原子力発電所における使用済燃料プールの注水確保の経緯

東北地方太平洋沖地震により引き起こされた津波の影響を受け、1～5号機と共用プールは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補給水機能が喪失した。また、6号機については、D/G(6B)が機能維持したものの、海水ポンプの機能が喪失したため、使用済燃料プールの冷却機能が喪失した。福島第一原子力発電所における使用済燃料プールの注水確保の経緯は以下の通りである。

なお、キャスク保管建屋も全交流電源が喪失したが、乾式貯蔵キャスクは自然対流により空冷される設計となっている。

- 1号機から3号機については原子炉が運転中であり、原子炉の冷却は緊急の課題であった。その一方で、1号機から6号機の使用済燃料プール及び共用プールでもプール冷却が停止しており、原子炉ほどの緊急性はないものの燃料の崩壊熱の除熱は必要であった。使用済燃料プールの発熱は貯蔵している燃料の原子炉から取出後の経過期間や燃料集合体数によって異なることから、個々の燃料プールについて発熱量の評価をおこなった。
- 1号機から6号機の使用済燃料プール及び共用プールの注水・冷却回復は共に必須の事項であるが、時間的な余裕には大きな違いがあった。特に定期検査中ですべての燃料が使用済燃料プールに貯蔵されていた4号機の発熱量は大きく、3月下旬には燃料上端まで水位が失われることが予想され、冷却が急がれる設備であった。
- しかしながら、1号機から3号機の原子炉の冷却ができず炉心が損傷し、1, 3号機の原子炉建屋で水素爆発に至ったため、アクセスや環境面から使用済燃料プールへの注水や冷却の実現は著しく困難な状況になった。3月15日には4号機の原子炉建屋も水素爆発に至って、4号機の使用済燃料プールへの注水も困難になるばかりでなく、爆発原因として4号機使用済燃料プール内に貯蔵されている燃料の状態が懸念された。
- 使用済燃料プールは格納容器の中にあることや、貯蔵されている燃料集合体数が多いことから、冷却不能に陥り燃料の露出・溶融に至った場合、周辺に及ぼす影響は甚大で、災害規模が更に拡大する可能性も考えられた。翌3月16日に発電所状況の確認のために飛行した自衛隊のヘリコプターに同乗した当社社員が確認したところ、4号機使用済燃料プールの水位が維持されていることが判明した。
- 一方、原子力安全・保安院が段取りした米国の原子力規制委員会(NRC)の専門家との打合せが行われ、原子力安全・保安院、NRCは4号機の使用済燃料プールの水位が下がり、燃料が露出していることを主張していたが、当社からは4号機の使用済燃料プールは、4号機原子炉建屋で爆発が生じた15日時点までに燃料の露出に至るほどの発熱量ではないこと、燃料が露出しているにすれば周辺線量などが低いこと等から、露出していないことを主張し、見解が平行線のまま使用済燃料プールの注水・冷却方法について意見交換した。
- 何らかの手段で注水を行わなければならないことは自明であったが、爆発後の状態で短期間に実現できる注水可能な手段は、この時点では建屋周辺からの放水車などに

よる建屋上部を狙っての放水に限られていた。

- このため、自衛隊ヘリコプターによる散水、自衛隊、東京消防庁、警視庁の消防隊による放水などが行われたが、注水の確度、量の確保といった点から長期間にわたり安定して注水できる対応策が求められていた。
- このような状況の中、使用済燃料プールへの注水が注目された3月18日頃、ほぼ同時期に3社（プツマイスタージャパン、中央建設、三一重工（中国））から大型コンクリートポンプ車の利用提案の申し出があり、官邸・国土交通省・警察関係者の協力を得て迅速に福島第一原子力発電所へ搬入し、使用することとなった。
- このとき、最大のネックとなったのは、オペレーターの確保を含む安定的に注水を行うための運用体制の確立であった。コンクリートポンプ車は特殊な大型車両であり、危険で線量の高い原子炉建屋直近からブームを伸ばして高所に注水する作業となることから、オペレーターの確保ができなければ、機材のみあっても安定した確実な運用ができないことは明らかであった。
- 本店メンバーを中心に運用チーム（キリンチーム）が編成されるとともに、東電工業の全面的な支援を得て、オペレーターの確保が行われた。東電工業で重機の運転経験を有する者がコンクリートポンプ車メーカー等の技術指導員から操作方法の訓練を受け、オペレーターが養成された。訓練には大林組の支援を得るとともに、プール注水に使用するための改造についても、東京エネシス、日立GEニュークリア・エナジーの協力で迅速に行われた。4号機には、3月22日からコンクリートポンプ車による注水が開始され、以後、3号機（3月27日）、1号機（3月31日）に展開された。
- また、原子炉建屋の爆発が生じなかった2号機については、建屋の屋根があるためコンクリートポンプ車では注水することができず、消防車による建屋内の配管（燃料プール冷却浄化系）を利用した注水手段が検討され、3月20日から注水が開始された。
- 恒久的注水手段としては配管を経由して直接プールへ注水することが望ましいため、コンクリートポンプ車を使用していた1号機、4号機、3号機についても順次展開していくとともに、熱交換器を備えたシステムへの機能向上を図っていった。
- 5号機、6号機においては別項で述べたとおり、原子炉の冷温停止に成功し、同じく、プールの冷却も可能となった。しかし、共用プールにおいては、数千体の使用済燃料が保管されており、冷却手段の復旧が必須であった。共用プールの使用済燃料は1体毎の発熱量は小さいが総数が多く、注水の所要量は大きいことから、運用補助共用施設（共用プール建屋）に設置されている冷却装置の復旧が必要であった。
- これには電源の復旧が必要であったが、工務・配電部門の活動で構内に外部電源が供給され、これを用いて共用プールの冷却復旧（3月24日）を行うことができた。
- 以上、使用済燃料プールの対応は、これに失敗した場合に破局的な影響が懸念されるものであったが、冷却を回復することに成功した。特に福島第一4号機の使用済燃料プールへの注水を行い燃料の冠水を維持したことは災害規模の更なる拡大を防止したという点で極めて重要な分岐点であった。

(2) 福島第一原子力発電所の使用済燃料プールの冷却

3月11日の時点の使用済燃料貯蔵体数は以下の通りである。

号機	使用済燃料体数	新燃料体数
1号機	292	100
2号機	587	28
3号機	514	52
4号機	1331	204
5号機	946	48
6号機	876	64
共用プール	6375	0
キャスク保管建屋	408	0

以下に、1～6号機の使用済燃料貯蔵プール、共用プール及び乾式貯蔵キャスクの冷却状態について述べる。【添付9-1～9】

- 1号機：3月12日に原子炉建屋上部が爆発により損傷したため、3月31日からコンクリートポンプ車で放水を行っている。
その後、5月28日からは燃料プール冷却浄化系配管を用いて注水、8月10日から代替冷却系による冷却を開始した。
- 2号機：3月20日から燃料プール冷却浄化系配管を用いて注水を開始、5月31日から代替冷却系による冷却を開始した。
- 3号機：3月14日に原子炉建屋上部が爆発により損傷したため、3月17日にヘリコプターによる放水、3月17日から放水車、屈折放水塔車により放水、3月27日からコンクリートポンプ車による放水を行っている。
その後、4月22日から燃料プール冷却浄化系配管を用いた注水を開始、6月30日から代替冷却系による冷却を開始した。
- 4号機：3月15日に原子炉建屋上部が爆発により損傷したため、3月20日から放水車による放水、3月22日からコンクリートポンプ車による放水を行っている。
その後、6月16日から仮設の燃料プール注水設備による注水を開始、7月31日から代替冷却系による冷却を開始した。
- 5号機：3月19日に残留熱除去系ポンプを手動起動し、非常時熱負荷モードで冷却を開始、6月25日から燃料プール冷却浄化系による冷却を行っている。
- 6号機：3月19日に残留熱除去系ポンプを手動起動し、非常時熱負荷モードで冷却を開始した。
- 共用プール：外部電源の復旧に伴い、共用プールの電源について仮設電源設備を経由して受電し、3月24日に仮設の冷却設備による冷却を開始した。
- キャスク保管建屋：津波の影響により、大量の海水、砂、瓦礫等が流れ込み、ルーバや扉等が損壊したが、自然空冷で期待している空気の流れが阻害される状況にはなく、冷却上問題がないことを確認した。キャスクの外観からも健全性に関する異常は確認されていない。

以上より、水冷式の1～6号機使用済燃料プール、共用プールともに30～50℃の水温で安定した状態であり、また空冷式の乾式貯蔵キャスクの冷却状態にも異常は認められない。

また、地震発生以降の1～6号機使用済燃料プール及び共用プールの水位に関して評価した結果、いずれも使用済燃料を覆うのに十分な水位があり、燃料の露出はなかったと推定している。

なお、4号機については、原子炉内のすべての燃料を使用済燃料プールに移動していた状態で、原子炉建屋上部が爆発により損傷している。

原子炉から水素が発生する可能性はないため、使用済燃料プールの漏えいによる燃料破損が懸念されたが、ヘリコプターにより上空から確認したところ（3月16日）、当該プールに水が満たされており燃料が露出していないことが確認できている。また、プール水の核種分析を行った結果からも、燃料の損傷を示すデータは認められなかった。

現在のところ、プールに水を張って冷却を行っており、プール水位も維持できていることから、プール自体に損傷はないと考えられる。

（3）福島第二原子力発電所の使用済燃料プールの冷却

福島第二1～4号機ともに、使用済燃料プールの冷却機能が一時的に失われたものの、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位：オーバーフロー水位付近、水温：65℃以下）を満足することができた。

10. 発電所支援

今回の福島第一原子力発電所の炉心損傷事故では、東北地方太平洋沖地震によって発生した津波の影響により、電動駆動の原子炉注水設備が機能を喪失した。また、初期段階で機能した蒸気駆動の原子炉隔離時冷却系等についても、制御に必要な直流電源を喪失するなどの理由から機能を喪失し、最終的にはこれらすべての原子炉注水手段を喪失した。

このように今回の津波は、福島第一原子力発電所の安全への備えの機能をことごとく奪ったために、発電所は満足な設備の無い中での対応を余儀なくされ、結果的に事象の進展に追いつけず、炉心損傷に至ってしまった。

福島第一原子力発電所においては、前章までに記載した通り、電源等の本設設備の復旧活動を行うとともに、本来発電所設備として期待していなかった消防車等を活用する等、臨機の対応を行った。このような活動を支援するため、当社のみならず他の電気事業者や協力企業、さらには海外からも物的、人的支援が行われた。これらの支援の状況を以下に述べる。支援の内容に関して本章ですべてを記載してはいないが、国内外からいただいた支援については、その関係者に感謝申し上げます。なお、保安用品に関する物的支援の状況については「13. 放射線管理」に記載した。

10. 1 福島第一原子力発電所への人的支援

福島第一原子力発電所への人的支援に関して、東北地方太平洋沖地震が発生した災害発生初期（平成23年3月11日から15日）に行われた初動対応の人的な支援実績について以下にとりまとめる。 【添付10-1】

(1) 福島第一原子力発電所への支援人数

①本店緊急時対策本部からの派遣

発災初期における本店緊急時対策本部から福島第一原子力発電所への応援要員の派遣実績を下表に示す。

本店・緊急時対策本部から福島第一原子力発電所への人的支援実績

派遣元	3月				
	11日	12日	13日	14日	15日
当社	152名	257名	304名	346名	253名
協力企業・他事業者	104名	197名	153名	194名	147名
支援人数合計	256名	454名	457名	540名	400名

初期対応における人的支援は平均的に約400名を超える規模である。そのうち、約6割が当社からの緊急派遣、約4割は協力企業と他の電気事業者の社員である。

人的支援については、緊急時態勢の班別にまとめると、主に復旧班関係として電源復旧や監視計器の復旧、消防隊関係として消防車による原子炉注水等、保安班関係として福島第一原子力発電所内の線量管理や周辺線量管理、資材班関係として物流支援が挙げ

られる。

上表の人的支援を緊急時態勢の班別の内訳（各支援箇所の日別最大の支援人数及び12～15日の平均人数）を以下に示す。

<当社及び協力企業>

柏崎刈羽原子力発電所

緊急時態勢の班構成	日別最大支援人数	平均支援人数	備考
復旧班	36	21	当社社員のみ
消防隊	6	6	協力企業のみ
保安班	42	34	当社社員のみ
資材班	24	15	当社社員+協力企業

柏崎刈羽原子力発電所からの支援として、上記のほかに潜水捜索要員20名（社員3名、協力企業17名）を派遣している。

なお、福島第二原子力発電所へは当社社員5名の支援を行っている。

当社・各店所

店所各部門	支援の内容	日別最大支援人数	平均支援人数	備考
配電部門	復旧班関係 (電源復旧)	376	303	当社社員 +協力企業 +他事業者
工務部門	復旧班関係 (電源復旧)	52	31	当社社員 +協力企業
火力部門	消防隊関係	25	11	協力企業のみ
資材部門	資材班関係	63	43	当社社員 +協力企業

その他、初動対応以降において、建設部門による瓦礫撤去や福島第一原子力発電所周辺も含めた道路補修等の支援や通信部門によるページングやPHS、携帯電話などの各種通信機器類の復旧等の支援が行われている。

②他の電気事業者（原子力事業者間協力協定に基づく）

他の電気事業者とは「原子力災害時における原子力事業者間協力協定」を締結しており、これに基づき電力各社からの応援者が3月13日より派遣され、15日時点で約120名の応援を得ている。支援を受けた主な業務は、保安班関係（20km圏内から退域する人・車両等のサーベイ（表面汚染検査）及び除染作業等）である。

なお、他の電気事業者からの支援は、下表にある15日以降、現在も継続している。

他の電気事業者からの支援実績

月日	3月				
	11日	12日	13日	14日	15日
人数	—	—	41	116	120

③その他

復旧作業全般に関連して、地震の被災当初から支援している人も含め、グループ企業やメーカー、地元企業等の支援を受けており、約250名を超える協力企業の方が福島第一原子力発電所構内での支援に当たったと推計される。

また、これまでの聞き取り結果から、支援をいただいた企業は電源復旧に必要なケーブルの敷設や端末処理、瓦礫撤去等に従事していたことを確認している。

なお、福島第二原子力発電所においても、約50名がケーブル敷設やモータ取り替え等の支援、約15名が瓦礫撤去等の支援を実施している。

(2) 支援活動の内容

福島第一原子力発電所への派遣要員の主な応援分野は、前に述べた通り、復旧班関係、消防隊関係、保安班関係、資材班関係が挙げられるが、これらに関する主な実施内容は以下の通りである。

福島第一原子力発電所への主な支援実施内容

業務分野	主な支援実施内容
復旧班関係	①高圧電源車による電源復旧 ・高圧電源車の移送及び電源盤への高圧電源車の接続 ・中央制御室照明の復旧 ②外部電源復旧 ・新福島変電所の復旧 ・新福島変電所からの電源供給ラインの構築 ・福島第一原子力発電所内の電源供給ラインの構築 ③監視計器の復旧 ・バッテリー運搬、監視計器の復旧 等
消防隊関係	④消防車による原子炉注水 ・消防車による注水のためのホースの敷設 ・消防車の配置 ・消防車への給油対応
保安班関係	⑤免震重要棟の入退域管理やモニタリング ・敷地境界の環境放射線測定の支援 ・免震重要棟への入退域管理の支援 ⑥避難区域からの退域する人・車両等のサーベイ ・20km圏内から退域する人・車両等のサーベイ（表面汚染検査）及び除染作業の支援
資材班関係	⑦物流支援 ・現地物流拠点の設置・運営 ・運搬作業等の支援
その他	⑧4号タービン建屋での行方不明者（社員2名）の搜索

以上より、それぞれの業務支援分野に対する支援の状況は以下の表の通りまとめられる。

派遣要員の業務支援分野（3月15日時点までの集計）

業務分野	福島第一 要員数（社員）	主な支援活動	要員支援規模		支援派遣元
			日別最大	平均	
復旧班	57	①電源車による電源復旧 ②外部電源復旧 ③監視計器の復旧 等	439	354	工務・配電部門 柏崎刈羽復旧班
消防隊	33	④消防車による原子炉注水 等	31	17	柏崎刈羽消防隊 火力・消防隊
保安班	49	⑤免震重要棟の入退域管理 やモニタリング ⑥避難区域から退域する 人・車両等のサーベイ 等	162	103	柏崎刈羽保安班 他の電気事業者
資材班	13	⑦物流支援	87	58	資材部門 柏崎刈羽資材班
その他	—	⑧行方不明者搜索	20		柏崎刈羽 土木建築班
		⑨復旧全般	(250名以上)		協力企業各社
合 計			552※		—

※要員支援規模（平均）の合計と行方不明者搜索の支援者数を合計

（3）支援活動の実績

①電源車による電源復旧

福島第一1号機のほう酸水注入系ポンプ等の復旧に向け、福島第一原子力発電所の復旧班及び配電部門や協力企業により2号機の低圧電源盤（P/C 2C）への高圧電源車のつなぎ込みや負荷へのケーブル敷設、つなぎ込みを行った。その後、送電の準備が整ったことから、電源車を起動し、12日15時30分頃に電源車の調整が完了した。（最終的にはつなぎ込み直後の福島第一1号機の爆発により低圧電源盤（P/C 2C）の受電停止。その後、再送電を試みたが、低圧電源盤（P/C 2C）につながる高圧ケーブルの損傷に伴い、ほう酸水注入系ポンプ等を動作させることができなかった）

一方、福島第一3、4号機の電源復旧のため、4号機の低圧電源盤（P/C 4D）への電源車のつなぎ込みを実施。13日14時20分に受電したが、14日に発生した3号機の爆発により低圧電源盤（P/C 4D）の受電が停止した。

②外部電源復旧

外部電源の復旧については、工務部門、配電部門、福島第一原子力発電所が協働して実施した。

福島第一1、3、4号機の爆発が発生するとともに、線量が上昇する中、新福島変電所の復旧及び大熊線、夜の森線の復旧、東電原子力線からの受電のための作業を実施し、東電原子力線の充電を3月15日、夜の森線から大熊線への仮設ラインによる充電を3月18日、福島第一原子力発電所構内配電線の敷設を3月19日、夜の森線の充電を3月20日に完了した。

そして、3月20日に低圧電源盤（P/C 2C）、21日に福島第一5、6号機の高圧電源盤（M/C）に受電、22日には3、4号機の低圧電源盤（P/C 4D）に受電した。

③監視計器の復旧

柏崎刈羽原子力発電所の支援要員が3月14日～15日にかけて監視計器の復旧を支援。支援の内容は中央制御室へのバッテリーの運搬や計器の復旧作業。なお、バッテリーの運搬は電源復旧に含まれる柏崎刈羽原子力発電所の支援要員も実施している。

これにより、各種計器の復旧が進められた。

④消防車による原子炉注水

福島第一原子力発電所の当社社員と協力企業により、福島第一1号機への淡水注入は12日4時頃に開始された。

一方、3月11日21時すぎに柏崎刈羽原子力発電所から化学消防車1台（3名）、水槽付消防車1台（3名）を派遣。12日10時30分頃に水槽付消防車、13日6時30分頃に化学消防車が福島第一原子力発電所に到着し、福島第一1～3号機への消防車による注水のための活動を実施。同活動は福島第一1、3号機の爆発以後も続き、17日に3名、18日に3名が柏崎刈羽原子力発電所に帰所するまで継続された。柏崎刈羽原子力発電所からの支援者はホースの引き回しのサポートも実施している。これらの支援のもと、福島第一2号機の海水注入、3号機の淡水・海水注入が行われている。

また、3月12日に広野火力から派遣された協力企業の防災要員は上記の柏崎刈羽原子力発電所から派遣された支援者と一緒に注水活動にあたったが、福島第一1号機の爆発に伴う退避指示があり広野火力へ退避、3月13日に派遣された千葉、姉崎、袖ヶ浦、南横浜火力から消防車4台と防災要員は14日に福島第一原子力発電所に到着し、15日まで注水活動の支援を実施した。その他にも防災要員が派遣されていたものの、爆発の影響により撤収を余儀なくされた。

⑤免震重要棟の入退域管理やモニタリング

線量管理は、福島第一原子力発電所構内や敷地境界の線量が徐々に上昇していく中、12日未明には免震重要棟での出入り管理が必要となった。福島第一原子力発電所の放射線管理要員だけでなく、柏崎刈羽原子力発電所からも当該要員が派遣され、免震重要棟の出入り管理（保安装備の着用確認・着脱補助、汚染検査）を行った。

また、柏崎刈羽原子力発電所からは、モニタリングカーの搬送により、環境放射線のモニタリングも行っている。

⑥避難区域から退域する人・車両等のサーベイ

3月15日に、当社放射線管理要員（本店3名、福島第二原子力発電所1名）が入退域管理を開始するために、Jヴィレッジへ入り、それ以降、Jヴィレッジでの出入り管理（管理に必要な準備を含む）を開始。その際には、柏崎刈羽原子力発電所からの支援要員や他の電気事業者からの放射線管理要員とともにサーベイ、除染作業等を行った。

また、他の電気事業者からの放射線管理要員の支援として、避難住民のサーベイ（福島県支援）も行われている。

⑦物流支援

本店対策本部資材班は、関係部署と調整の上、3月12日夜に小名浜コールセンターを現地物流拠点とすることを決定した。

重機の操作者等の手配を行い、同日中に、協力企業12名の体制で運営を開始した。

これにより、ガソリン、放射線管理用品、発電機、水中ポンプ、バッテリー等の輸送を実施している。

なお、福島第一1, 3号機の爆発により、3月14日頃には協力企業による輸送ができなくなり、福島第一原子力発電所や配電部門により輸送を行ったが、その後16日に協力企業による輸送が再開されている。

⑧行方不明者の搜索

3月12日、柏崎刈羽原子力発電所から福島第一4号機タービン建屋での行方不明者(社員2名)の搜索のためダイバーを派遣。(全20名;社員3名、協力企業ダイバー17名、トラック、排水ポンプ(16台)、ポンプ駆動用発電機(9台)、発電機用燃料・ケーブル等を搬送)

ただし、福島第一3号機・建屋水素爆発の発生により、この時点では搜索活動は実施できなかった。(その後、3月30日に亡くなられた2名を発見)

10. 2 福島第一原子力発電所への資機材支援

(1) バッテリーの確保【添付10-2】

今回、福島第一1号機～4号機については、大津波の影響で交流電源を失うとともに、直流電源についても時間差はあるものの、その機能を喪失していった。直流電源(バッテリー)については、蒸気駆動の高圧注水系(HPCI)や原子炉隔離時冷却系(RCIC)の運転・制御や監視計器の電源等として使用されている。このため、バッテリーは、発電所で発生した事故対応における監視、注水・冷却、減圧に必要な不可欠の設備といえることができる。

しかし、バッテリーは常時充電し、定期的な試験・検査により性能・機能を維持管理しており、予備品等を持たないため、3月11日夕方から、発電所対策本部自らもバッテリーの確保に奔走したが、本店対策本部においても仕様を限定せず、できる限りのバッテリー収集に動いた。バッテリー確保の方法は大別して3通りであり、所内での収集、購入、自社設備の流用が挙げられる。

①所内での収集による確保

3月11日津波の襲来以降、福島第一1, 2号機において監視計器の電源を喪失し、プラントの状態が確認できない状態となっていた。このため、11日以降、構内の車両からバッテリーを収集し、監視計器用電源等に利用している。現時点で判明している収集したバッテリーは以下の通り。

所内で収集したバッテリーの確保状況

確保元	確保日	バッテリー仕様	個数
構内企業バスから取り外し	3月11日	12V（車両用）	2
構内企業から収集	3月11日	6V（通信・制御用）	4
当社業務車から取り外し	3月11日	12V（車両用）	3
個人所有車から取り外し	3月13日	12V（車両用）	20

<確保の状況と活用実績>

11日の夕刻以降、取り急ぎ電源を確保するために、所内の構内企業のバス等から、バッテリー（12V×2個、6V×4個）を収集しているが、福島第一1，2号機中央制御室に運び込み、津波襲来以降ほとんど確認できていなかった原子炉水位計の計器用電源（24V）として利用している。これにより、21時19分に福島第一1号機、21時50分に2号機の原子炉水位A系の確認が可能となっている。

その後、同一バッテリーを用いて並列に回路を構成することにより、福島第一1号機においては12日1時55分頃、B系の原子炉水位計を確認可能とし、2号機においては13日9時25分頃にB系の原子炉水位計を確認可能としている。

東電業務車から収集したバッテリーについても3月12日未明に福島第一1，2号機中央制御室に運搬し、計器用電源として利用した。

発電所対策本部復旧班は、福島第一2号機及び3号機の主蒸気逃がし安全弁による原子炉圧力の減圧のために電源が必要となったこと、業務車は福島第一原子力発電所での業務に活用されていたことから、13日7時頃から、発電所対策本部にいる社員に自家用車のバッテリーの借用を要請し、バッテリー20個を収集した。

収集したバッテリーのうち10個を福島第一3号機中央制御室に運び込み、直列に接続する作業を開始していたところで、9時08分頃に主蒸気逃がし安全弁が開放されたことにより原子炉の減圧が開始された。その後、10個直列に接続する作業が完了し、主蒸気逃がし安全弁の制御盤につなぎ込み、9時50分に開操作した。

一方、福島第一2号機についても、3号機の対応と並行して収集した車用バッテリー10個を中央制御室へ運びこみ、2号機主蒸気逃がし安全弁の電源復旧準備を進めた。13時10分に2号機主蒸気逃がし安全弁制御盤につなぎ込むことにより、操作スイッチにより主蒸気逃がし安全弁を手動で開操作できる状態とした。

②購入による確保

福島第一原子力発電所のバッテリー確保を支援するため、本店、柏崎刈羽原子力発電所でもメーカーや店舗からのバッテリー確保に活動した。また、発電所も自らいわき市内に購入に出かけている。購入したバッテリーは下記のとおり。

購入によるバッテリーの確保状況

確保元	確保日	確保先	バッテリー仕様	個数
A. 本店手配	3月14日	小名浜コールセンター	12V (車両用)	1000
	3月14日	小名浜コールセンター	12V (車両用)	20
B. 福島第一手配	3月13日	発電所 (いわき市で購入)	12V (車両用)	8
C. 柏崎刈羽手配	3月14日	発電所 (柏崎市内で購入)	12V (車両用)	20

※ 3月14日の本店手配の小名浜コールセンターへ納品された1000個は、同日中に約320個が福島第一原子力発電所へ、15日にも個数は不明だが発電所へ運び込まれている。

<確保の状況と活用実績>

A. 本店手配

本店対策本部原子力復旧班は、福島第一原子力発電所と電気機器を担当する者同士で連絡担当を決定し、発電所の情報を入手していた。電気設備の被害状況が概略把握できた段階で、基本的にバッテリーと充電器をセットで手配し、バッテリーは分電盤や中央制御室で接続し、バッテリーが枯渇するような事態には充電器で充電できるだろうと考えていた。

福島第一原子力発電所のバッテリー要求については、仕様を限定せずに送っていたが、最初は大きい物で原子炉隔離時冷却系や高圧注水系の作動に使用することを考えていた。しかし、発電所から重機が使えず、原子炉隔離時冷却系等で使えるような所まで運べないとの情報があり、運びやすい車両用のバッテリーの発注に切り替えていった。このように発電所との情報交換で対応に修正を加えていった。

バッテリーの確保についてメーカーなどに問い合わせていたところ、3月11日深夜から12日朝方にかけて、プラントメーカーから「車両用12Vバッテリーが手配可能」との連絡を受け、大至急で輸送するよう1000個を発注した。しかしながら、実際には高速道路の利用許可をスムーズに得られないなど、都内から輸送車がなかなか出られない状況が生じた。結果として、バッテリーについては3月14日0時頃、小名浜コールセンターに陸送にて納品された。3月14日21時頃までに、発電所対策本部資材班が、大型トラック2台を用いて、小名浜コールセンターから福島第一原子力発電所までバッテリー約320個を搬送した。また、3月15日3時頃、配電部門の応援者が小名浜コールセンターから福島第一原子力発電所までバッテリーを搬送した。

本店対策本部資材班は、資材センターに納入された12Vバッテリー20個について、3月14日小名浜コールセンター経由で福島第一原子力発電所まで搬送を開始。小名浜コールセンターまで輸送したものの、福島第一原子力発電所において発生した爆発の影響により、3月14日、15日は発電所への輸送が中断された。

B. 福島第一手配

3月13日午前中、オフサイトセンター滞在の福島第一原子力発電所員が、いわき市内へバッテリーの買い出しに向かい、数件の店を回っても在庫がなく調達できなかった。同日日中帯、発電所対策本部資材班は、いわき市内へバッテリーの買い出しに向かい、車用12Vバッテリー8個を購入し、福島第一原子力発電所まで持ち込んだ。22時頃、発電所対策本部復旧班は、資材班が購入してきた8個のバッテリーを4個ずつ、1、2号機中央制御室、3、4号機中央制御室に運搬した。

一方、発電所対策本部復旧班は、時期は不明であるが、福島第一原子力発電所現地のプラントメーカーにバッテリーの手配を要請しており、3月17日2時頃、小名浜コールセンターに追加のバッテリー約1000個が納品された。これらのバッテリーについては、後日、プラントメーカーの倉庫に搬送し待機保管状態となっている。

C. 柏崎刈羽手配

柏崎刈羽原子力発電所資材班は、3月13日午前におフサイトセンター派遣の当社社員からの依頼を受け、柏崎市内で車用12Vバッテリー20個を購入した。購入したバッテリーは、同日12時30分に柏崎刈羽原子力発電所を出発した応援者人員輸送バスに積み込んだ。応援者人員輸送バスは、同日22時20分に小名浜コールセンターに到着し、翌1時40分頃、福島第一原子力発電所に到着した。

③自社設備からの確保

本店から当社各部門に働きかけて、火力発電所や支店の協力を得て、自社設備で保有している各種バッテリーに関して提供を受けた。確保したバッテリーは以下のとおり。

自社設備からのバッテリーの確保状況

確保元	確保日	確保先	バッテリー仕様	個数
A. 広野火力発電所	3月12日	福島第一	2V	50
B. 川崎火力発電所	3月12日	Jヴィレッジ (16個を13日に福島第一へ)	2V	100
C. 東京支店	3月12日	Jヴィレッジ	2V	132
D. 新いわき開閉所	3月12日	Jヴィレッジ	2V	52

<確保の状況と活用実績>

A. 広野火力発電所からの支援：50個

3月11日夕方、本店対策本部原子力復旧班からの要請を受けた本店火力復旧班は、福島第一原子力発電所に近い広野火力発電所からのバッテリー搬送を決定。搬送のための準備を開始し、同日19時30分頃、現場から2Vバッテリー50個（1個あたり12.5kg）の取り外し完了。夕方、原子力安全・保安院から本店へ自衛隊ヘリコプターの輸送支援の打診があったことから、協力いただくこととした。

このため、自衛隊ヘリコプターへの受け渡し場所であるJヴィレッジにバッテリー50個を搬送し、3月12日1時00分頃、自衛隊ヘリコプター2機に積み込みJヴィレッジから福島第一原子力発電所に向けて出発、1時20分頃、発電所に到着し、発電所対策本部復旧班はワンボックス車に積み込んで保管した。6時34分、2Vバッテリー12個を1号機消火ポンプ室に設置された1号ディーゼル駆動消火ポンプの起動用バッテリーの交換作業に利用した。

12日20時36分、福島第一3号機原子炉水位計の電源が喪失し、原子炉水位の監視ができなくなった。このため、発電所対策本部復旧班は、深夜に、3、4号機中央制御室において2Vバッテリー12個を3号機原子炉水位計の復旧に利用した。これにより、13日3時51分に原子炉水位の確認が可能となっている。

B. 川崎火力発電所からの支援：100個

3月11日夕方、本店対策本部原子力復旧班からの要請を受けた本店火力復旧班は、増設工事中の川崎火力発電所からのバッテリー搬送を決定。同夕方、前述した原子力安全・保安院からの自衛隊ヘリコプターの輸送支援を受けることとし、搬送に向けた準備を開始。

翌12日0時45分、川崎火力のバッテリーの受け渡し場所として、川崎市及び国土交通省より東扇島東公園ヘリポートへの自衛隊ヘリコプターの着陸許可を受領。同47分、川崎臨港警察署からヘリコプターへのバッテリー積み込みに使用するフォークリフトの公道利用許可を受領し、その後、荷下ろし用フォークリフトは東扇島火力から受け渡し場所へ向け出発。

1時～2時頃、東扇島東公園ヘリポートの照明準備完了（国土交通省にて手配）。1時51分、川崎火力において、2Vバッテリー100個（143kg/個）を次々にユニック車へ分載して、自衛隊ヘリコプターへの受け渡し場所である東扇島東公園に向け、ユニック車で最初の便が出発した。

3時47分、川崎火力のバッテリーを積んだ最後の便が東扇島東公園に到着し、4時11分、荷下ろし完了（自衛隊ヘリコプターの到着に向け待機）。4時頃、防衛省から本店対策本部に対し、ヘリコプター3機の飛行計画（4時50分、5時20分、5時50分到着予定、目的地はJヴィレッジ）について連絡あり。5時12分、自衛隊ヘリコプター1機目が東扇島東公園に到着し、川崎火力の2Vバッテリーの受け渡しを完了。

空輸実績（3月12日）については、以下のとおり。

	発	着
1機目	5時12分 東扇島東公園到着、 28個積み込み 6時17分 離陸	9時頃、Jヴィレッジに着陸
2機目	6時33分 東扇島東公園到着、 36個積み込み 7時36分 離陸	プロペラが停止しないトラブル発生により、バッテリー36個を積んだまま、自衛隊百里基地に帰還
3機目	8時13分 東扇島東公園到着、 36個積み込み 9時30分 離陸	11時頃、Jヴィレッジに着陸

Jヴィレッジに到着済のバッテリーは、福島第一原子力発電所へ輸送の準備中であったが、福島第一1号機において爆発が生じたことから、物品輸送の作業は中断せざるを得ない状況となった。3月13日午前中に発電所対策本部資材班がJヴィレッジまで受け取りに行き、川崎火力のバッテリー16個を福島第一原子力発電所まで搬送したが、重量が143kg/個あり、重機が手配できず、重機なしでは現場にも持ち込めないことから発電所では使用されなかった。

C. 東京支店からの支援：132個

3月11日夕方、本店対策本部原子力復旧班からの要請を受けた本店工務復旧班は、在庫が確認できた東京支店の変電所からのバッテリー合計132個の搬送を決定。同夕方、前述した原子力安全・保安院からの自衛隊ヘリコプターの輸送支援を受けることとし、搬送に向けた準備を開始。

3月12日3時頃、東京支店から提供された2Vバッテリー（角筈変電所53個、江東変電所54個、通信用25個：1個あたり、12～33kg）は、自衛隊ヘリコプター

への受け渡し場所である東京ヘリポートに全数到着し、自衛隊ヘリコプターの着陸に向け待機。7時頃、自衛隊ヘリコプターが東京ヘリポートに着陸した。その後、東京支店の2Vバッテリーを全数積み込んでJヴィレッジに向けて離陸し、日中帯にJヴィレッジに着陸した。

Jヴィレッジに到着した東京支店のバッテリーについては、福島第一原子力発電所に向けて輸送準備中であったが、15時36分に福島第一1号機において爆発が生じたことから、物品輸送の作業は中断せざるを得ない状況となった。

D. 新しいわき開閉所からの支援：52個

3月11日、本店対策本部原子力復旧班からの要請を受けた本店工務復旧班は、福島第一原子力発電所からの距離が近い新しいわき開閉所からのバッテリー搬送を決定した。

17時頃から搬送準備を開始したが、新しいわき開閉所の入口は凍結しており、運搬用の大型車両が入所不可能な状況であった。また、福島第一原子力発電所まで輸送可能な運送会社の当てがなく、陸送手配に向けた調整を進めていた。

3月12日朝方、新しいわき開閉所からJヴィレッジまでの陸送の調整がついたことから、新しいわき開閉所の2Vバッテリー52個（21kg/個）の搬送を開始することとなった。搬送に際しては、開閉所入口が凍結していたため、人力によるトラックへの積み込みとなったことから、バッテリーの積み込みに時間がかかり、Jヴィレッジへの到着は午後となった。

Jヴィレッジに到着した新しいわき開閉所のバッテリーについては、福島第一原子力発電所に向けて輸送準備中であったが、15時36分に福島第一1号機において爆発が生じたことから、物品輸送の作業は中断せざるを得ず、Jヴィレッジに保管した。

(2) 電源車の確保【添付10-3】

福島第一原子力発電所は津波襲来に伴う非常用D/Gトリップにより6号機を除き全交流電源喪失に至った。所内電源及び外部電源の現場状況確認の結果、非常用D/Gや高圧電源盤(M/C)等は浸水、被水した状態であり、外部電源も含めて早期の復旧が困難であると判断されたことから、使用可能な所内電源設備と電源車を用いた電源復旧を目指すこととなった。

電源車確保の方法は大別して、社内から、他の電気事業者から、自衛隊からの3通りが挙げられる。

電源車到着台数の推移（数値は各時点で福島第一原子力発電所にあった電源車の数を示す）

日時		電源車種別	高压電源車				低压電源車				
			最終到着地		1F		2F		1F		2F
		電源車保有者		A 当社	B 他事業者	計	計	A 当社	C 自衛隊	計	計
3/11	22:00 頃	東北電力高压電源車到着確認		0	1	1	—	0	0	0	—
	23:30 頃	東北電力高压電源車、自衛隊の低压電源車*1到着確認		0	2	2	—	0	1	1	—
3/12	1:20 頃	東北電力高压電源車計4台を確認 当社高压電源車到着確認		1	4	5	—	0	1	1	—
	3:00 頃	当社高压電源車計8台、低压電源車7台を確認		8	4	12	—	7	1	8	—
	7:18 頃	自衛隊の低压電源車3台到着確認		8	4	12	—	7	4	11	—
	10:15 頃	当社電源車の全台現地到着確認		9	3	12	42	7	4	11	11

*1：自衛隊の低压電源車は複数台との情報もある。

1F 福島第一原子力発電所、2F 福島第二原子力発電所

<確保の状況と活用実績>

A. 当社所有の電源車

3月11日16時10分、本店対策本部からの指示に基づき、本店配電復旧班は全店の配電部門に対して高压電源車・低压電源車の確保と福島第一原子力発電所への移動経路の確認を指示した。16時30分頃、電源車については、高压車48台、低压車79台準備中との情報が入り、16時50分頃から全店の電源車が福島に向け順次出発した。

道路被害や渋滞により電源車が思うように進めないことから、17時50分頃、本店対策本部は、自衛隊ヘリコプターによる電源車の空輸の検討を依頼、20時50分に電源車の重量が重すぎることからヘリコプターによる電源車の空輸を断念した。その後、22時頃、高压電源車51台が福島方面へ移動中との情報が入る。

一方、福島第一原子力発電所では、地震・津波後の電源設備について現場状況の確認や電源盤の絶縁抵抗測定など健全性の確認を16時00分頃から開始した。この結果、使用可能と思われる2号機の低压電源盤（P/C 2C）に高压電源車を接続することを念頭に、ケーブル敷設ルートのご検討やケーブルの手配、瓦礫撤去等を進めた。

3月12日1時20分頃、社内からの救援として、1台目の高压電源車が福島第一原子力発電所に到着したことを確認。発電所対策本部復旧班は、電源車つなぎ込みにあたって、社内の電源車を使用した。3時頃には、当社が派遣した電源車としては、高压電源車計8台、低压電源車計7台が福島第一原子力発電所に到着していることが確認されている。

福島第一2号機の低压電源盤（P/C 2C）へのケーブル敷設作業や高压電源車とのケーブルつなぎ込み作業等を行い、送電の準備が整ったことから、電源車を起動し、15時30分頃に電源車の調整が完了した。その直後の15時36分、福島第一1号機原子炉建屋爆発の影響により低压電源盤（P/C 2C）の受電が停止した。

3月12日20時05分、福島第一4号機の低压電源盤（P/C 4D）が使用できる可能性があることを確認。ケーブル敷設ルートの確保等、高压電源車による電源復旧の準備を進めた。

3月13日8時30分頃、福島第一2号機の低压電源盤（P/C 2C）及び1号機低

圧電源盤（P/C）のMCC端子への再送電を試みるも、2号機低圧電源盤（P/C 2C）につながる高圧ケーブルの損傷に伴い、送電することはできなかった。

3月13日14時20分に高圧電源車1台を稼働し、福島第一4号機の低圧電源盤（P/C 4D）の受電に成功した。しかし、3月14日11時01分、福島第一3号機原子炉建屋が爆発したため、4号機低圧電源盤（P/C 4D）の受電が停止した。

B. 他の電気事業者から提供された電源車

3月11日16時30分頃、本店対策本部から他の電気事業者へ電源車の救援を要請し、18時15分頃、東北電力から電源車3台融通可能との情報を得た。22時頃、東北電力からの救援電源車の第一陣として、高圧電源車1台目が福島第一原子力発電所へ到着したことを確認した。その後、23時30分頃に東北電力から2台目の高圧電源車が到着した。

3月12日1時20分頃には、東北電力の高圧電源車計4台が福島第一原子力発電所に待機中であることを確認しているが、つなぎ込み前に当社電源車が到着したことから、電源復旧作業においては当社の電源車を使用した。

C. 自衛隊から提供された電源車

3月11日18時15分頃、自衛隊の低圧電源車が福島第一原子力発電所に向かったとの情報が入る。その後、22時48分頃、自衛隊の低圧電源車があと3台融通できるとの情報を得たため救援を要請した。23時30分頃、自衛隊の低圧電源車1台、3月12日7時18分頃に自衛隊の低圧電源車3台が福島第一原子力発電所に到着した。

実際の電源復旧作業においては、自衛隊の低圧電源車で復旧可能な中央制御室の照明や計器等については、小型発電機で対応できていたことから、当該の電源車は使用しなかった。

(3) 消防車の確保【添付10-4】

3月11日17時12分、福島第一原子力発電所の発電所長は、全交流電源喪失等に伴い本設設備が使用できないことから、アクシデントマネジメント対策の一環として設置した消火系配管、及び消防車を使用した原子炉への注水方法の検討開始を指示した。発電所対策本部においては、消防車を原子炉への注水に使用することから、追加の消防車を手配するよう関係箇所との調整を開始した。消防車の調達方法は別して、社内から、他の電気事業者から、国等からの3通りが挙げられる。

消防車の確保状況（15日までに支援要請を行った台数）

確保先	確保先詳細	確保台数
A. 社内	柏崎刈羽	2
	福島第二	1
	火力発電所	4
B. 他事業者	原電	1
	東北電力	1
	関西電力	1
C. 国等	防衛省（自衛隊）	2
	各自治体消防	12

<確保の状況と活用実績>

A. 社内で確保した消防車

3月11日19時頃、柏崎刈羽原子力発電所では、地震発生の直後から、福島第一原子力発電所支援のために出動させる消防車の台数を確認する等の検討を開始し、2台を出動させられると判断した。

これを受け、福島第一原子力発電所から柏崎刈羽原子力発電所に対して消防車2台の派遣を要請し、21時44分、化学消防車1台が柏崎刈羽原子力発電所の協力企業の運転で柏崎刈羽原子力発電所を出発した。さらに、22時11分、水槽付消防車1台が同様に柏崎刈羽原子力発電所を出発した。

3月12日8時頃、柏崎刈羽原子力発電所から出動した化学消防車及び水槽付消防車が福島第二原子力発電所に到着した。その後、水槽付消防車については、福島第一原子力発電所に向けて出発した。10時30分頃、柏崎刈羽原子力発電所からの水槽付消防車が発電所に到着し、福島第一1号機原子炉への注水作業のため防火水槽へ淡水を供給した。

3月12日11時30分頃、福島第二原子力発電所に配備されていた福島第一原子力発電所と共用の化学消防車1台が協力企業の運転で福島第一原子力発電所へ出発。13時30分頃に到着したが、年式が古かったこともあり、最終的に使用しなかった。

3月13日5時30分頃、福島第二原子力発電所に待機していた柏崎刈羽原子力発電所の化学消防車は福島第二原子力発電所を出発し、6時30分頃に福島第一原子力発電所に到着した。

震災後から構内道路等の復旧を進め、福島第一5,6号機側との往来が可能となっていたことから、6時頃、5,6号機側に乗り捨ててあった所内の消防車の状態を確認したところ、津波による損傷はなく使用可能であることが確認され、利用できる状態となった。

3月13日10時15分頃、TV会議において、本店対策本部火力復旧班から東京湾岸にある火力発電所の消防車を4台手配したとの報告があり、以下の通り順次出動している。

- ・ 11時55分、南横浜火力発電所の消防車が発電所を出発。
- ・ 12時26分、姉崎火力発電所の消防車が発電所を出発。
- ・ 13時58分、袖ヶ浦火力発電所の消防車が発電所を出発。
- ・ 14時03分、千葉火力発電所の消防車が発電所を出発。

同日22時50分頃に袖ヶ浦火力発電所の消防車が、23時30分頃に南横浜・姉崎・千葉火力発電所の消防車3台が福島第二原子力発電所に到着（計4台）した。

3月14日4時32分頃、福島第一原子力発電所への道案内としてオフサイトセンターから来た誘導車と共に南横浜・姉崎・千葉・袖ヶ浦火力発電所の消防車4台が福島第一原子力発電所に向けて出発し、5時03分に発電所に到着した。9時05分、到着した南横浜・千葉火力発電所の消防車2台は物揚場から海水を汲み上げ、プラントへの海水注入作業において貯水槽として利用されている逆洗弁ピットに海水移送を開始した。

B. 他の電気事業者から提供された消防車

3月13日21時20分頃、日本原子力発電敦賀原子力発電所の消防車1台が敦賀原子力発電所から福島に向けて出発した。

同日22時30分頃 関西電力美浜原子力発電所の消防車1台が美浜原子力発電所から福島に向けて出発した。

3月14日13時40分頃、敦賀原子力発電所及び美浜原子力発電所の消防車計2台が東北電力会津技術センターに到着した。

3月16日8時30分頃、東北電力東通原子力発電所の消防車1台が当社小名浜コールセンターに向けて出発し、19時55分に到着した。

同日9時15分頃、東北電力会津技術センターにいた美浜原子力発電所及び敦賀原子力発電所の消防車計2台が、協力企業の運転により小名浜コールセンターに向けて出発し、3月16日13時23分に到着した。

3月18日9時4分、敦賀原子力発電所の消防車1台が協力企業の運転（福島第一原子力発電所社員が誘導）により小名浜コールセンターを出発し、昼前頃に福島第一原子力発電所に到着した。

同日11時20分、東通原子力発電所の消防車1台が当社本店社員の運転により小名浜コールセンターを出発し、昼頃に福島第一原子力発電所に到着した。その後、美浜原子力発電所の消防車1台は4月24日までに福島第一原子力発電所に到着している。

C. 国等から提供された消防車

3月12日午前中、自衛隊の消防車2台が福島第一原子力発電所に到着し、このうち1台を用いて1号機への注水作業のため、3号機防火水槽から1号機防火水槽への水の補給ラインを構成するも、現場の放射線量が高く、淡水の移送前に免震重要棟に戻った。

3月13日20時45分、郡山消防本部から融通していただいた消防車2台が当社猪苗代電力所社員及び協力企業の運転によりオフサイトセンターに到着した。その後、1台は3月18日、もう1台は3月22日までに福島第一原子力発電所に到着している。

3月14日0時45分、いわき、須賀川両消防本部から融通していただいた消防車計2台が猪苗代電力所社員及び協力企業の運転によりオフサイトセンターに到着した。その後、いわき消防本部の消防車1台は3月18日、須賀川消防本部の消防車1台は4月8日までに福島第一原子力発電所に到着している。

3月14日未明、公設消防から消防車2台が福島第一原子力発電所に到着。

同日19時10分、会津若松消防本部から融通していただいた消防車1台が猪苗代電力所社員の運転によりJヴィレッジに到着、3月18日までに福島第一原子力発電所に到着している。

同日21時45分、米沢消防本部から融通していただいた消防車1台が猪苗代電力所社員の運転により当社猪苗代電力所に到着。15日に当社小名浜コールセンターに移動し、4月24日までに福島第一原子力発電所に到着している。

同日21時50分、宇都宮消防本部から融通していただいた消防車2台が栃木支店社員の運転によりJヴィレッジに到着。18日までに福島第一原子力発電所に到着している。

同日23時45分、新潟消防局から融通していただいた消防車2台が柏崎刈羽原子力発電所社員の運転によりJヴィレッジに到着。その後、1台は15日に当社協力企業社員の運転により福島第二原子力発電所に到着。もう一台は18日までに福島第一原子力発電所に到着している。

3月15日1時15分、さいたま消防局から融通していただいた消防車2台が当社関連会社社員の運転（埼玉支店社員同乗）によりJヴィレッジに到着。同日中に当社協力企業社員の運転により福島第二原子力発電所に到着。その後、1台は22日に福島第一原子力発電所に到着している。

3月15日17時頃、三春インターチェンジにて柏崎刈羽原子力発電所社員が警視庁機動隊より高圧放水車を引き取り、自ら運転して福島第二原子力発電所に到着。同日20時頃、警視庁機動隊の高圧放水車を福島第一原子力発電所の社員が運転して福島第二原子力発電所から福島第一原子力発電所に向けて出発。その後、福島第一原子力発電所に到着している。

なお、以上の他にも、3月14日に米軍の消防車を借り受けることが決定され、15日に船引三春インターチェンジで2台の消防車を受け取っている。

10.3 使用済燃料プールへの注水・冷却支援

使用済燃料プールの注水・冷却回復は、原子炉に比較して時間的な余裕があったことから、前述の初動対応期間（平成23年3月11日～3月15日）以降の対応が主体となっているが、最重要課題の一つであり、原子炉の対応に追われている福島第一原子力発電所を支援するため、本店を中心に対応を進めていたことから発電所支援の一項目として記載する。「9. 使用済燃料プール冷却の対応」で冷却の経緯は述べていることから、ここでは対応したチームに焦点を当てて記載する。

- ・ 4号機の使用済燃料プールに関して、3月下旬には燃料上端まで水位が失われることが予想され、自衛隊、東京消防庁、警視庁の消防隊による放水が行われている中、3月18日頃、ほぼ同時期に3社（プツマイスタージャパン、中央建設、三一重工（中国））から大型コンクリートポンプ車の利用提案の申し出があった。コンクリートポンプ車は、低い位置から高圧水を放水する従来の方法と違い、ブームを伸ばすことで高い位置から放水することができた。確実に高い注水位置を確保できることから、当社2階に設けられていた事故対策統合本部の会議において紹介するとともに、その採用について当社経営層の了解を得た。このため、官邸・国土交通省・警察関係者の協力を得てコンクリートポンプ車を迅速に福島第一に搬入し、使用することとした。
- ・ コンクリートポンプ車を使用する上で最大のネックは、オペレーターの確保を含む安定的に注水を行うための運用体制の確立であった。コンクリートポンプ車は特殊な大型車両であり、危険で線量の高い原子炉建屋直近に設置し、ブームを伸ばして高所で離れた使用済燃料に注水する作業となることから、注意深い操作が要求される。
- ・ このような作業に従事する熟練したオペレーターが見つからない等の問題が生じたことから、当社本店メンバーを中心に、東電工業、東京エネシス、日立GEニュークリア・エナジーの全面的な協力を得て、対応した。具体的には、コンクリートポンプ車の運転経験を有するメーカー等の技術指導員から操作方法の訓練に当社と東電工業が参加し、コンクリートポンプ車をプール注水に使用するための改造を東京エネシス、日立GEニュークリア・エナジーが担った。
- ・ 3月22日から4号機でコンクリートポンプ車による注水が開始され、以後、3号機、1号機への注水が開始された。

10.4 発電所支援の評価

発電所支援においては、様々な問題点や評価すべき点が顕在化した。本店で対応した関係者等の聞き取りを通じて得られた情報から、これらを以下に取り纏めた。

(1) 問題点

今回の対応全般を振り返ると、地震災害による路面陥没等の道路事情の悪化や通信環境の悪化といった影響もあるが、特に放射性物質による屋外汚染等により、発電所への輸送力確保の難航という原子力災害特有の影響が加わり、これが円滑な緊急輸送に対する妨げとなった主要因であったと言える。

- 地震発生直後から一般道路は激しい渋滞が続いていたほか、高速道路についても、当初は安全確認のための通行止めや、翌日には緊急交通路の指定がなされ、警察車両による先導または緊急通行車両であることの確認がなければ、原則として通行することができなかった。このため、当社から警察に協力を要請していたが、緊急通行車両確認標章の交付手続き等、初期段階では混乱が生じた。このような状況に対応するため、手続きの注意事項を整理した資料を作成のうえ、輸送会社に周知するなどして、徐々にスムーズな運用が可能となった。
- しかしながら、地震の影響により、一般道路・高速道路ともに各地で路面陥没等の被害が生じており、輸送車両は迂回ルートを進むことを余儀なくされた。通信環境も悪化していたため、走行可能なルートに関する情報を円滑に共有することも難しく、通常時は東京から福島第一原子力発電所までおよそ3時間半程度のところ、倍以上の7～10時間を要することとなった。
- このような中、福島第一原子力発電所では、3月12日朝方から、構内における放射線量が上昇。本店対策本部は、資機材をJヴィレッジに一時保管することとした。同日15時36分には福島第一1号機で水素爆発が発生。福島第一原子力発電所での荷下ろし作業を断念し、Jヴィレッジへ輸送先を変更したり、荷を積んだまま引き返す車両もあった。
- 同日夕方から夜にかけて、Jヴィレッジも、線量の上昇や避難指示区域に含まれることが懸念され、本店対策本部は急遽、小名浜コールセンターを資機材受け入れ場所とすることを決定。13日には資機材の受け入れを開始したものの、一時に大量の資機材が搬入されたこと、小名浜コールセンターの施設自体のインフラが地震被害を受けていたこと、各地からの支援物資を含め、送り主・送り先が不明の資機材もあったことなどから、受払・在庫管理は困難を極めた。このため、資機材のなかには、荷下ろしされたまま、発電所へ運ばれることがなかったものもあった。これは、15日から小名浜コールセンターと発電所間の中継地点とすることに決まったJヴィレッジにおいても、同様であった。
- さらに、14日、15日には福島第一3号機、4号機と原子炉建屋で爆発が発生するなど、発電所周辺環境の悪化懸念から、発電所への輸送が拒まれるようになった。このため、物流拠点の小名浜コールセンターやJヴィレッジに保管された資機材を輸送するため、当初発電所や本店の社員自らが行うこととなった。発電所対策本部資材班等が、自班が必要とする物資の各物流拠点間の輸送を行ったり、全店から大型免許

を有する社員を募って運搬業務に従事することで対応した。

- ・ 福島第一原子力発電所では、3月12日以降、福島第一1号機や3号機で水素爆発が発生する。この爆発以降、発電所までの輸送については敬遠され、当社の物流拠点として利用した小名浜コールセンターやJヴィレッジに資機材が保管されることとなる。ここから発電所までの輸送については、当初発電所や本店の社員自らが行うこととなるが、通信設備のうまく働かないことで連絡ができなかったり、受け渡し場所が急に変更されたことで資機材の場所が把握できなくなる等、混乱が生じている。
- ・ また、輸送経路については情報が少なく、発電所近辺の地理に精通していない運転手の場合、道路の陥没等で道に迷い時間を要したり、通信設備の使えない等の事情もあり、たどり着けない事例が生じている。例えば、ケーブル移送では、常磐自動車道広野インターチェンジまで輸送トラックが向かい、そこから使用場所である福島第二原子力発電所までは同発電所の所員が車両で先導することとなっていた。しかし、詳細経緯は不明であるが、輸送していたトラックが最終的に福島第二原子力発電所から離れた所にある三春町に案内されたとの事例が報告されており、道路情報の不足、通信設備の不足、事前の取り決め不足などの複合的な要因で遅れたと考えられる。このケースでは、自分のいる場所が分からなくなった輸送車の運転手が近くで固定電話を借りて発電所と連絡をとり、同発電所の所員が三春町まで迎えに行きケーブルを無事確保したが、約10時間の時間的な遅れが生じている。
- ・ このように、今回の地震に際しては、地震による道路被害、通信環境の悪化に加え、放射性物質による汚染や被ばくへの懸念から、資機材の輸送に大きな支障を生じている。このため、事前に資機材の輸送について段取りを決めておく必要がある。また、当社（事業者）だけでは限界があり、国等（自衛隊、警察など）との連携についても事前に検討を進めておく必要がある。

（2）評価できる点

福島第一原子力発電所の炉心損傷事象を未然に防止することはできなかったが、外部電源の復旧はより安定的な電源の確保に貢献した。その復旧工事は余震の発生や津波の恐れが継続し、水素爆発が発生するという厳しい環境下で工務部や配電部が1つのチーム（固まり）として対応したことにより復旧が可能になったものと考えられる。

最重要課題の一つであった福島第一4号機の使用済燃料プールの注水・冷却について単なる大型コンクリートポンプ車の調達ではなく、当社本店メンバーを中心に東電工業、東京エネシス、日立GEニュークリア・エナジーなどの協力を得て、対応チームを編成し、輸送からポンプ車改造、訓練後の注入作業まで一貫して行い、早期に注入・冷却に成功している。

資材調達の実績としての記載をしていないが、福島第二原子力発電所への輸送例の中に、津波で使用できなくなったポンプの交換用モータを、三重県にある工場から福島第二原子力発電所まで輸送するために自衛隊の飛行機で輸送した事例がある。三重県の工場から小牧基地までは、モータを2時間程度で企業側が陸送したが、小牧基地から福島空港、福島空港から広野町役場までは自衛隊による一貫した輸送が行われたことでスムーズな輸送が行われた。広野町役場で福島第二原子力発電所側に引き渡されており、自衛隊の尽力で短時間での輸送に成功している。異なる組織によるリレー方式も不可能ではないが、混乱した事態においては今回のようにできるだけ一組織による一貫した輸送が望ましいと考えられる。

1 1. プラント爆発評価

1 1. 1 爆発原因の推定

原子炉建屋爆発の原因としては考えられることは、(1)可燃性液体の気化による爆発、(2)水蒸気爆発、(3)水素爆発が考えられる。しかし、以下に述べるとおり、爆発の原因は原子炉内の冷却水が失われ、燃料が露出したことによって発生した水素によるものが主体であると考えられる。

(1) 可燃性液体の蒸気による爆発

原子炉建屋内に存在する可燃性液体としては、タービン油などの油類や検査用・塗装用の有機溶剤などが挙げられるが、有機溶剤は存在したとしても比較的少量であり、存在する可燃性液体の大部分は油である（例えば、原子炉再循環ポンプの制御用のM/Gセットで使用されている油）。油が爆発するには油が加熱されて蒸気となり、その蒸気と空気の混合気体が生じなければならない。

タービン油が蒸気となるには200℃程度に加熱される必要があるが、原子炉建屋内には格納容器内部を除きそれほど高温となる箇所はなく、可燃性液体の気化による爆発とは考えられない。

(2) 水蒸気爆発

原子炉圧力容器内部では燃料被覆管（ジルコニウム）が溶融した可能性もあり、高温の溶融金属と水の接触は起こり得る。

しかしながら、水蒸気爆発の場合には原子炉圧力容器及び格納容器が大きく破損するはずであるが、格納容器圧力などの動きは準静的であり、高温の溶融金属と水の接触による水蒸気爆発は発生していないと考えられる。

(3) 水素爆発

水素の場合は約4～7.4 vol%（空気雰囲気）存在下で爆発を起こす。原子炉事故時には次の4つの水素の発生メカニズムが考えられる。

- ①水-ジルコニウム反応
- ②水の放射線分解（ヨウ素存在下で促進される）
- ③制御棒に内包するボロンカーバイドと水の反応
- ④PCV内の亜鉛メッキ、亜鉛塗料、アルミニウム材と水との反応

今回の事故では原子炉内の燃料が露出して燃料被覆管表面温度が1000℃以上の高温となった部位があると評価しており、①の原因を主体とする水素の他、燃料被覆管破損により放射性ヨウ素が炉水に溶けていること、原子炉や格納容器内が高温となっていることから、②～④を原因とする水素発生も定性的には起こり得るものと考えられる。しかしながら、保守的な仮定をおいた評価を実施しても、②は①より1～2桁程度（事故初期の高い崩壊熱を仮定）小さく、③は①の数分の一程度（炉内のボロンカーバイド全量が、単位モル数当たり最も多く水素を発生させる反応をしたと仮定）であり、④は①の1桁程度（格納容器内に塗布されている全量が酸化するという仮定）小さい値とな

る。

なお、原子炉建屋最上階に設置されている使用済燃料プール由来の水素ガスについては、収納されていた燃料は冠水されており水-ジルコニウム反応が起きたとは考えられないこと、水の放射線分解も微量であることから原子炉建屋爆発の水素発生箇所とは考えられない。

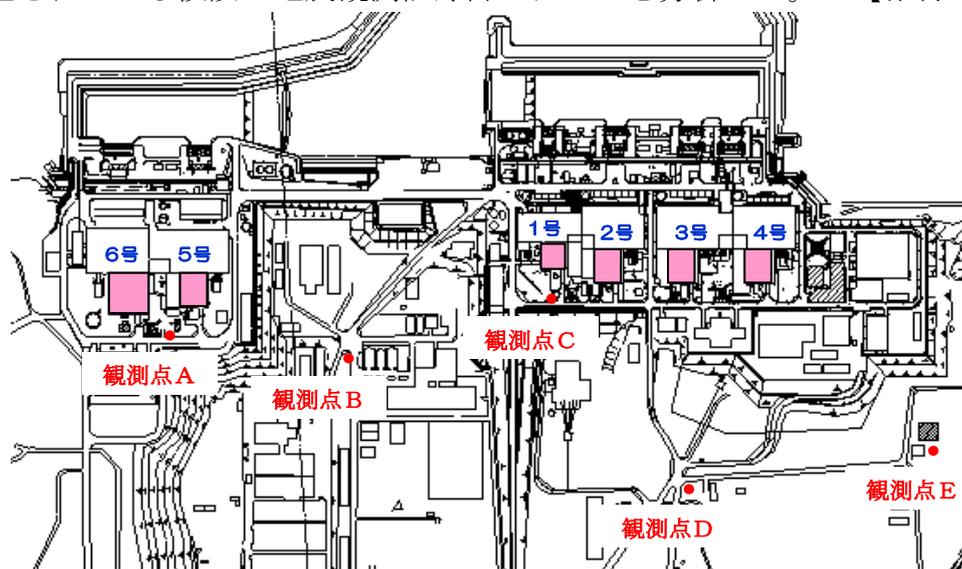
以上のことから、福島第一1号機、3号機の原子炉建屋で発生した爆発は、当該号機で発生した水素による爆発であると考えられる。2号機、4号機で発生したとされた爆発については、1号機、3号機とは状況が異なるために詳細については以下に述べる。

1 1. 2 地震計による爆発事象の考察

福島第一1号機及び3号機の原子炉建屋での爆発は、メディア映像に残されており、爆発発生時刻が特定されている。一方、2号機と4号機に関しては、ほぼ同時刻（3月15日の6時14分頃）に大きな衝撃音と振動が確認されており、2号機では圧力抑制室の圧力指示値がダウンスケールしていること、4号機では原子炉建屋最上階が損傷していることが確認された。

このため、2号機は圧力抑制室で、4号機では原子炉建屋上部で爆発が発生した可能性があるとの見方も出ていた。

今回、2号機及び4号機の爆発発生状況を把握するため、福島第一原子力発電所敷地内に設置されている仮設の地震観測記録計のデータを分析した。【添付11-1】



福島第一原子力発電所 振動観測データ回収地点

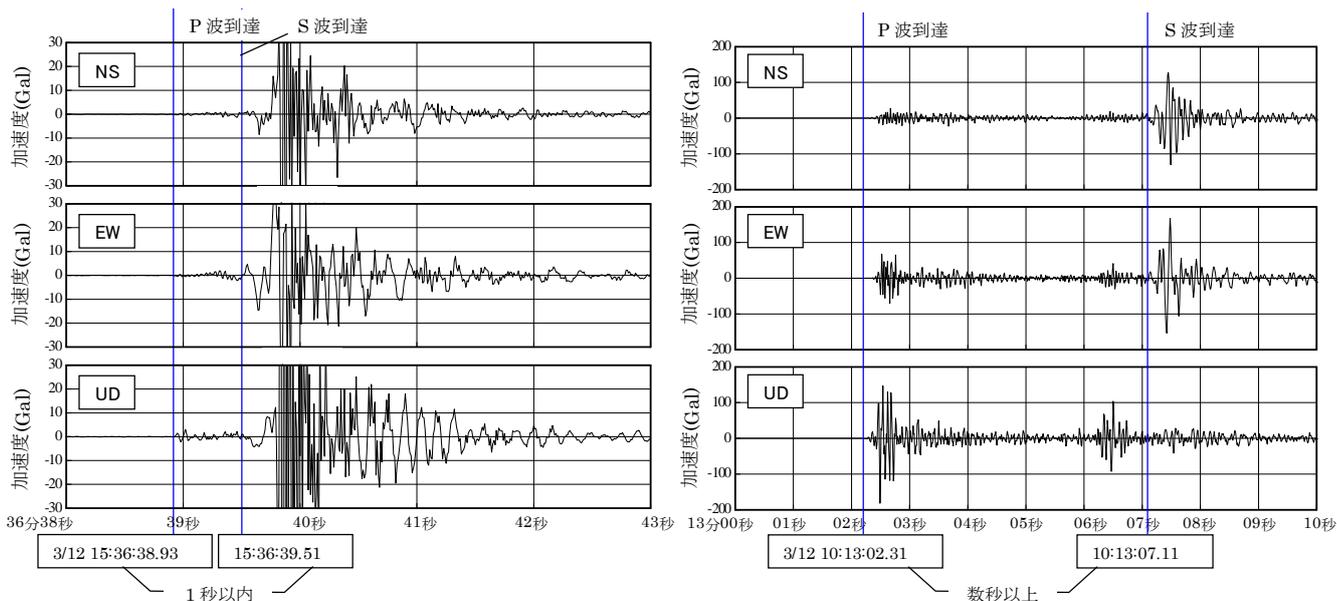
地震、爆発に係わらず、振動にはP波（縦波）とS波（横波）があり、両方の伝達速度は異なっている。一般にP波に比べてS波の伝達速度は遅く、同じ振動源から発せられた振動は、P波よりS波の方が遅れて到達する。このため、振動源の位置が観測点の位置より離れているほど、P波とS波の到達時刻には大きな差が生じることとなる。

このような原理を応用して、敷地内に設置されている地震計の振動を分析すれば、発電所構内での爆発を起因とする振動ではP波とS波の到達時間の差は1秒以内と小さく、震源が遠い地震動の場合には到達時刻の差は数秒となること等から、地震による振動と

爆発による振動を区別することができる。

2号機、4号機でほぼ同時期に大きな衝撃音が確認された3月15日6時～6時15分の間の振動をこのような手法で差別化したところ、爆発による振動は6時12分に記録されているものだけであることが判明した。

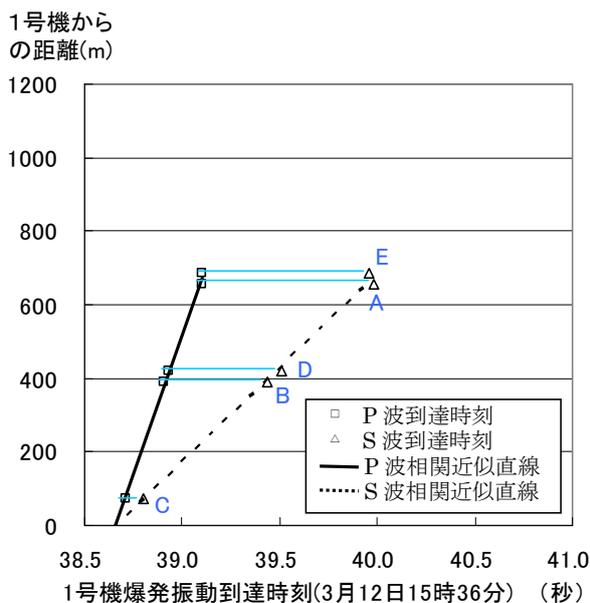
一方、発生が明確に確認されている1号機、3号機の爆発事例において、各号機から地震計までの距離を縦軸に、そこまでのP波、S波の到達時刻を横軸にして、P波とS波の観測記録を整理すると、それぞれ精度よく線形となり、発生源の特定ができることが確認された。



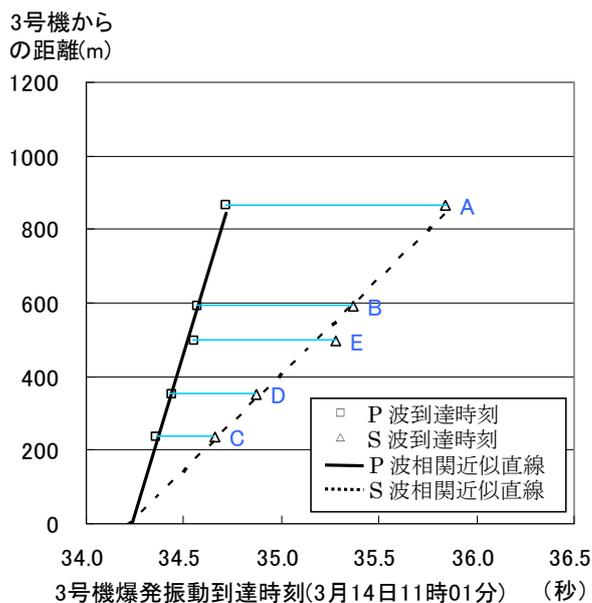
＜1号機爆発時の加速度波形例＞

＜地震の加速度波形例＞

爆発と地震の加速度波形例（観測点D）



＜1号機＞

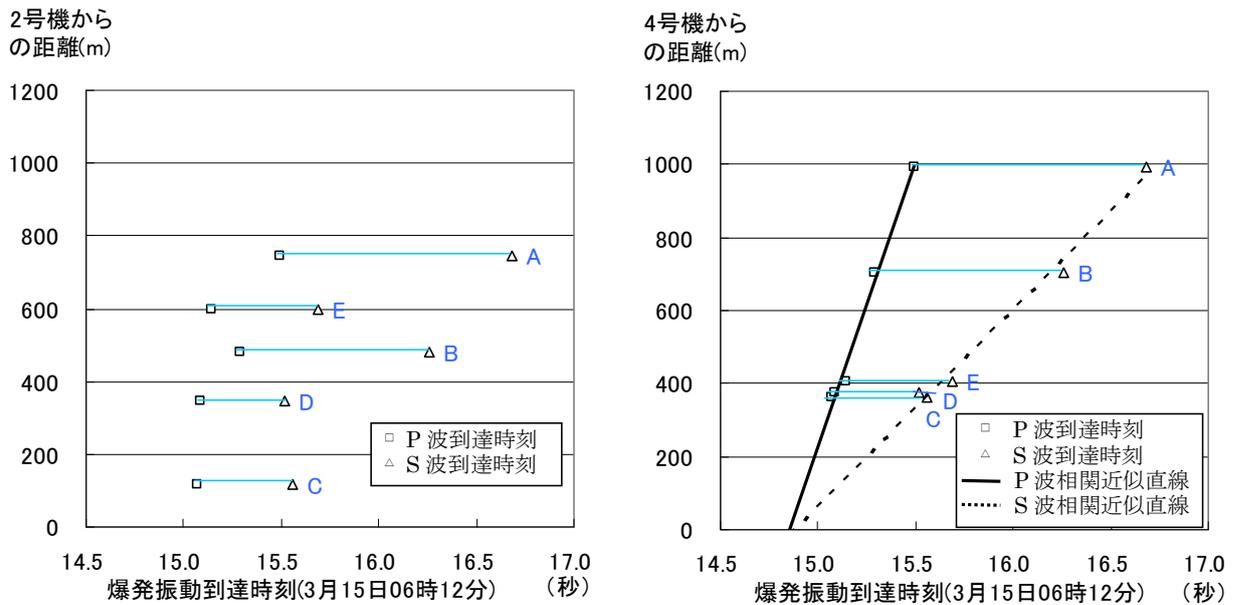


＜3号機＞

1号機、3号機の爆発時のP波、S波到達時刻と1号機、3号機との距離相関図

3月15日6時12分に記録されている振動について、2号機と4号機におけるそれぞれの距離と到達時刻の関係を同じ方法で整理したところ、2号機からの距離で整理した場合はデータに関連性を見いだせないが、4号機からの距離で整理した場合はP波、S波ともに精度良く線形になることを確認した。したがって、当該の振動は4号機の爆発によるものと推定される。

なお、2号機については、念のために、今回の調査範囲である6時～6時15分前後の時間帯におけるデータの精査も行ったが、これまで確認された爆発以外に、爆発的な事象で発生したと思われる振動は確認されなかった。



＜2号機＞
＜4号機＞
6時12分の地盤振動のP波、S波到達時刻と2号機、4号機との距離相関図

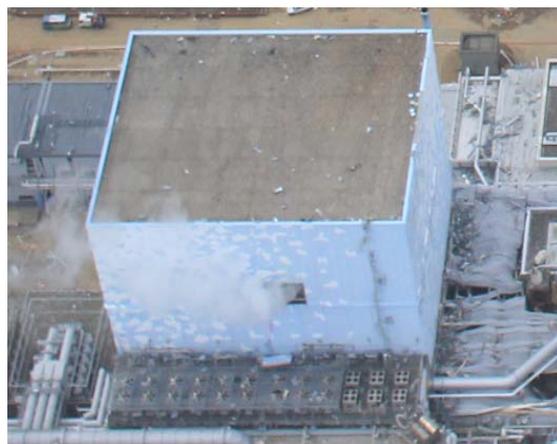
以上のことから、福島第一原子力発電所における爆発は、メディア映像でも確認されている1号機、3号機と今回地震計による観測記録で確認された4号機の3回と推定される。このため、3月15日6時14分頃に確認された大きな衝撃音（爆発）と振動は、正確には6時12分に4号機で発生した爆発によるものと判断した。

2号機については、4号機の爆発音と震動を確認後、圧力抑制室の圧力指示値がダウンスケールし、発電所対策本部へ0MP a [abs]と伝えられたため、2号機の圧力抑制室付近で爆発的な事象が発生した可能性があるとして誤って認識したものと考えられる。なお、6.4(3)④に述べたとおり、後日に行ったロボットを用いたトラス室の目視確認では、トラス（圧力抑制室）等に損傷は見られず、爆発的な現象の形跡は認められない。

また、圧力抑制室の損傷は大気開放を意味するため、絶対圧力で0MP a [abs]というのは物理的にはあり得ない数値である。本来ほぼ同様な圧力であるはずのドライウェル圧力と3月14日夜から異なる動きをしていること、解析結果やCAMS（格納容器雰囲気モニタ）のデータから判断して、その時刻から炉心損傷が進行していることを考え併せれば、ドライウェル圧力は上昇局面にあると想定され、圧力抑制室の圧力計が0MP a [abs]（真空）に低下することは考え難い。

後日の調査で、この時の圧力抑制室の圧力計はダウンスケールしていたことが確認されたことから、原因は圧力計の故障と考えられる。

なお、他の号機と同様に炉心損傷に至ったものの、2号機で水素爆発が発生しなかった要因の一つに、原子炉建屋最上階のブローアウトパネルの開放が挙げられる。ブローアウトパネルの開放は1号機の水素爆発の衝撃で偶然発生したものと推定しているが、この開放により水素が建屋外に放出され、建屋内に滞留する水素が抑制された可能性は高いと考えられる。



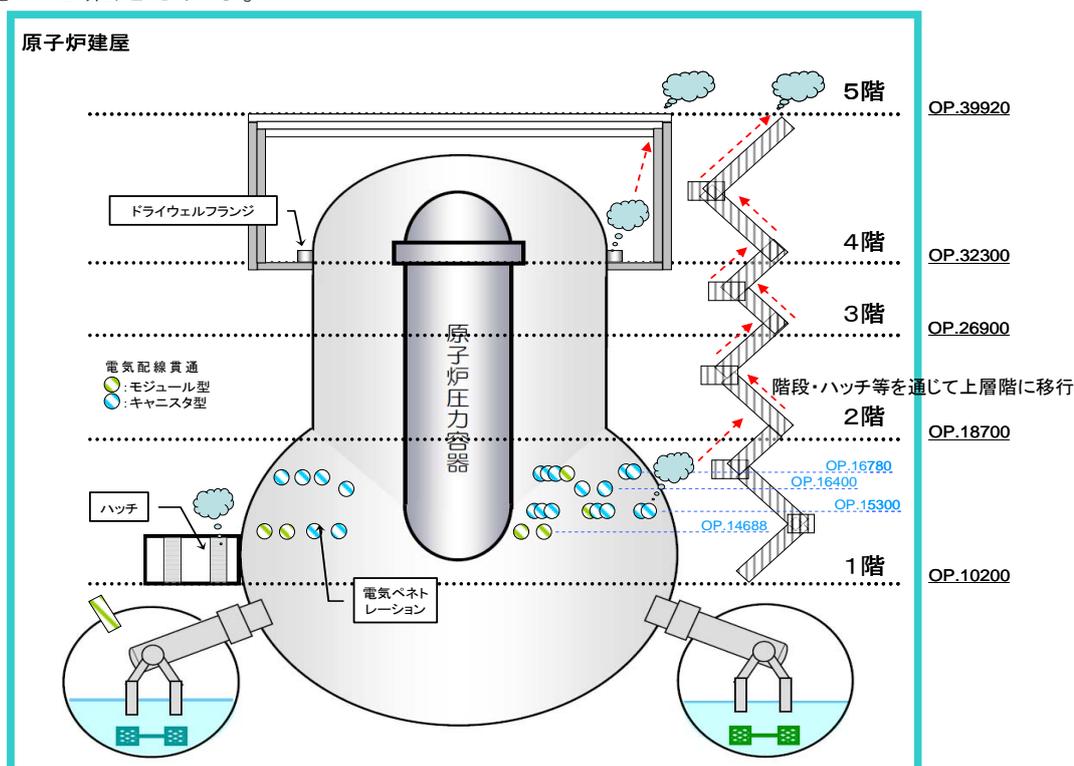
2号機ブローアウトパネルの開放状況

1 1. 3 水素爆発の原因

(1) 水素の原子炉建屋への漏えい経路

1号機、3号機の原子炉建屋で発生した爆発は、原子炉内の燃料損傷に伴い、水-ジルコニウム反応等により発生した水素が格納容器に移行し、最終的には原子炉建屋に漏えいしたものと考えられる。

明確な水素流出経路は不明であるものの、格納容器からの漏えい経路としては、格納容器上蓋の結合部分、機器や人が出入りするハッチの結合部分、電気配線貫通部等が挙げられる。結合部分では漏れ止めとしてシールするためにシリコンゴム等を使用しており、そのシール部分が高温に晒され、機能低下した可能性があると考えられる。水素は、主として格納容器のこのような場所から直接、原子炉建屋へ漏えい・滞留し、水素爆発に至ったものと推定される。



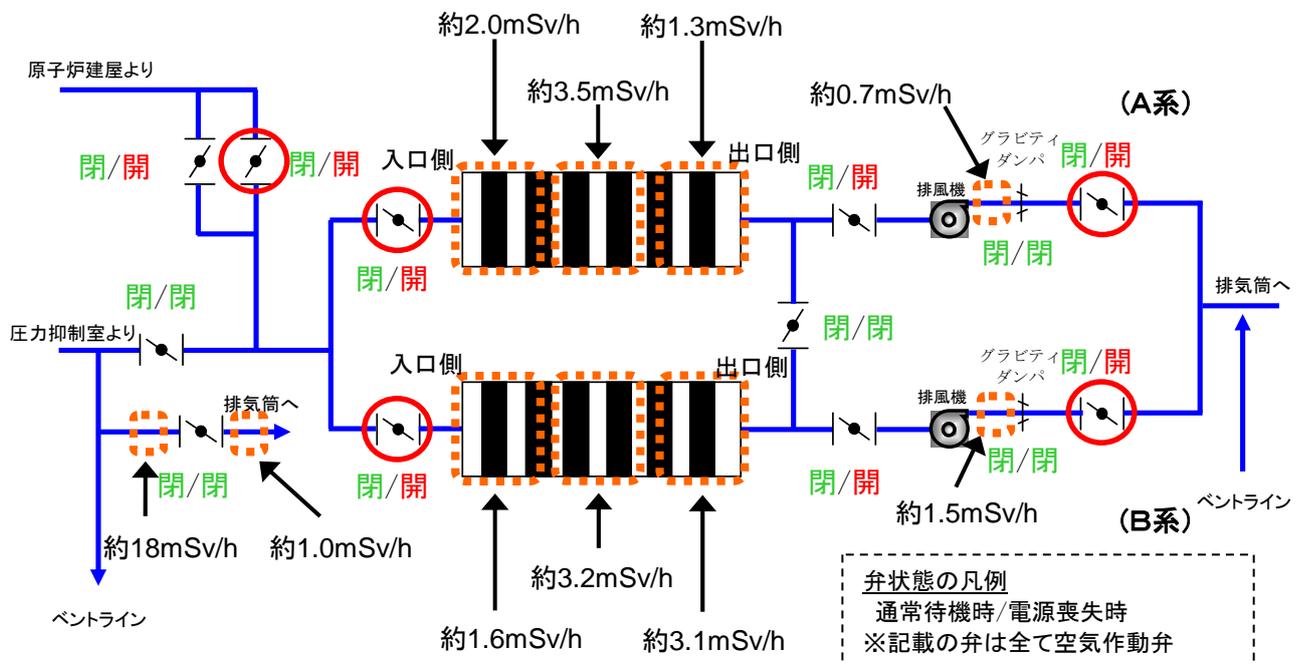
推定漏洩経路はシステム構成の違いにより、1号機と3号機で若干異なる可能性あり。

格納容器からの直接的な漏えい以外に、格納容器のベント時に、ベントラインから非常用ガス処理系のラインを経由して原子炉建屋に流入する経路も考えられる。1号機では高線量のために調査ができていないが、3号機については非常用ガス処理系設備の調査を実施している。その結果などを基に水素の原子炉建屋への流入経路を検討する。

① 3号機非常用ガス処理系状態調査

3月14日11時頃に発生した3号機水素爆発の水素については、3号機の原子炉圧力容器内で発生した水素が格納容器から原子炉建屋に直接漏えいしたことが主たるルートと考えられるが、この直接漏えいの他にも、格納容器ベント時に非常用ガス処理系ラインを経由するルート（ただし、入口側、出口側の各境界には弁やダンパ設置）も可能性としては存在する。このような非常用ガス処理系ラインから原子炉建屋への漏れ込みの可能性を確認するため、平成23年12月22日、3号機において非常用ガス処理系フィルタトレインの線量測定を行うとともに、確認できる範囲で弁状態を確認した。以下に、3号機での調査結果を示す。

- 非常用ガス処理系は、原子炉建屋に放射性物質が漏れ出すような事態において、発電所周辺への放射能放出を制限するため、通常運転時に使用している換気空調設備を停止し、原子炉建屋からの排気を処理した上で排気筒から屋外へ放出するとともに、隔離中の原子炉建屋を負圧に維持する。このように、事故時に機能する必要があるため、非常用ガス処理系に設置されている弁の内、建屋からの排気が流れる流路に設置されている弁については、何らかの異常があった時には開となる設計となっている。



3号機非常用ガス処理系（SGTS）状態調査結果
 （平成23年12月22日実施）

- ・ 3号機の非常用ガス処理系の弁状態については、確認できた範囲であるが、弁の電源喪失時における設計通りの状態、「開」であることを確認した。（上図参照、赤で丸囲みの弁については、状態が確認できた弁）
- ・ 非常用ガス処理系フィルタトレインの線量調査結果から判断して、3号機では格納容器のベントラインから非常用ガス処理系ラインを経由して原子炉建屋へ放射性物質の大量流入はなく、ベント由来の水素ガスの影響は限定的と評価される。また、非常用ガス処理系フィルタトレインのA系とB系で線量の傾向が異なっていることが確認できた。
- ・ A系のフィルタトレインで測定された線量は、中央部が最も高く、入口側（上流側）、出口側（下流側）の順に低くなっている。また、炉心損傷後には非常用ガス処理系は作動していない。以上のことから、出口側からのベント流が逆流した影響は小さく、原子炉建屋内の高線量雰囲気、建屋側からダクトを通じて非常用ガス処理系ラインに流入し、粒子状の放射性物質が非常用ガス処理系フィルタに捕捉された可能性が高いと考えられる。
- ・ 一方B系のフィルタトレインの線量は、出口側と中央部の線量が同程度であり、入口（上流側）より高くなっている。ただし、線量レベル等を次項で述べる4号機の調査結果と比較すると、数値自体が全体的に小さいこと、線量データの変化量も異なる。以上のことから、格納容器ベント時に非常用ガス処理系出口側のバウンダリであるグラビティダンパからのベント流の漏れ込みは否定できないが、その程度は限定的であり、原子炉建屋内の高線量雰囲気の継続的な漏れ込みや水素爆発に伴う押し込みによる数値上昇が考えられる。
- ・ ベントラインから排気筒に繋がる弁の前後についても線量測定した結果、ベントライン側は約18 mSv/hと線量が高かったものの、弁下流側は約1 mSv/hと線量が低い結果が得られたことから、弁の閉鎖性に問題はなかったものと考えられる。非常用ガス処理系入口側（上流側）でベントラインと繋がる弁は、この弁と同様の設計であることから、このラインからの漏えいの可能性は低いものと考えられる。

② 3号機漏えい経路推定

3号機の非常用ガス処理系入口側のベントラインとの接続部にある弁は、「通常運転時閉、電源喪失時閉」の格納容器隔離弁であり、その前後の線量測定結果からベント時にベントガスが非常用ガス処理系に流入した可能性は低いと考えられる。

また、格納容器自体は長時間に亘って高圧状態になっていたのに対し、格納容器ベントは短時間のみであったことから、格納容器ベントラインから非常用ガス処理系ラインを経由して、ベント流が回り込む可能性のある時間は限られていた。

非常用ガス処理系フィルタトレインの線量調査結果から判断して、3号機では格納容器のベントラインから非常用ガス処理系ラインを経由して原子炉建屋へ放射性物質の大量流入はなく、ベント由来の水素ガスの影響は限定的と評価される。

ベントガスは圧力抑制室内でのスクラビング効果が働いていたと推定される¹。また、非常用ガス処理系出口側からベント流が逆流した場合、フィルタで粒子状放射性物質の

¹ 3号機は格納容器ベント時に排気筒からの蒸気放出が見られたものの、モニタリング上昇は見られないこと、屋外の格納容器ベントライン（非常用ガス処理系配管）の線量が10 mSv/h程度であったことから、ベント時には圧力抑制室のスクラビング効果が働いていたものと推定される。

大部分が捕捉される。(このことは、後述する4号機において、非常用ガス処理系フィルタトレインの線量が数mSv/hであったものの、原子炉建屋の汚染の程度が低いことから言える。)このため、圧力抑制室でスクラビングされたベントガスや非常用ガス処理系を逆流したガスであれば、水素ガスは含まれていても汚染の原因となる線源は少ないものと考えられる。しかしながら、3号機原子炉建屋爆発後の原子炉建屋付近では構内サーベイの結果として高線量雰囲気を確認されていることから、3号機原子炉建屋爆発の原因は、格納容器から直接的に原子炉建屋へ漏えいした水素が主体的であると想定される。

1号機の非常用ガス処理系の調査結果はないが、1号機の場合も3号機と同様と考えられ、格納容器から直接的に原子炉建屋へ漏えいした水素が主体的であると想定される。

(2) 4号機水素爆発の原因

以下に4号機の爆発に関する調査・確認結果を示すが、これらの結果から4号機の爆発は、3号機の格納容器からのベント流の回り込みによる水素が原子炉建屋に蓄積し発生したものと考えられる。

①使用済燃料プールの状態

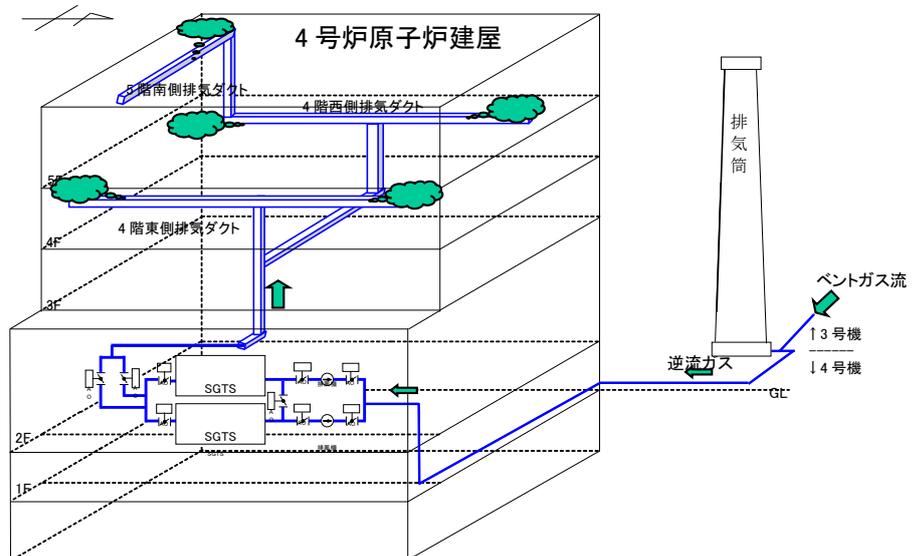
3月15日に発生した爆発が4号機におけるものであったことについては、「11.2 地震計による爆発事象の考察」で特定したが、4号機は定期検査期間中であり、原子炉の燃料はすべて取り出されていたことから、原子炉からの水素発生の可能性はなかった。

また、「9. 使用済燃料プール冷却の対応」に記載した通り、4号機の使用済燃料プールにおいて燃料は露出していないこと、水の分析結果からも燃料破損の兆候がないことが確認されている。

このため、4号機においては、4号機保有の燃料から水-ジルコニウム反応による水素発生が起こったとは考えられない。加えて、使用済燃料プール内での水の放射線分解による水素発生はごくわずかであり、このことも爆発の原因とは考えられない。

②4号機への水素流入経路

このような状況から、4号機の爆発の原因を調査したところ、3号機の水素ガスを含むベント流が排気筒合流部を通じて4号機に流入した可能性があると考えられた。4号機の格納容器ベント配管は、4号機の非常用ガス処理系配管に接続され排気筒に導かれるが、排気筒付近で3号機の非常用ガス処理系配管に合流している。



3号機から4号機への格納容器ベント流の流入経路

通常、非常用ガス処理系は待機状態で停止しており、系統に設置されている空気式の弁も閉止している。このため、3号機側から格納容器のベントガスが流れてきたとしても4号機にベントガスが流れ込むような事象は発生しない。

しかしながら、今回の福島第一原子力発電所で発生した事故は、隣り合う複数の号機で全交流電源喪失が長時間継続するというアクシデントマネジメントの前提を超えた事故であり、全交流電源を喪失した中で3号機の格納容器ベントが行われた。同じく、4号機も全交流電源を喪失しており、非常時にも作動できるように設計されている非常用ガス処理系の弁は、電源を喪失することで開状態となり、3号機からの格納容器のベントガスが非常用ガス処理系配管を通じて4号機に流入できるラインが構成された。

このような経路から、3号機の原子炉で発生した水素が4号機に流入し、蓄積・爆発した可能性は十分にあるものと考えられる。

なお、配管合流部から4号機への配管長は、主排気筒頂部への配管長に比べ長く、配管圧損等から3号機の格納容器ベントガスが主排気筒から大気へ放出される量に対する4号機の非常用ガス処理系配管を通じて4号機原子炉建屋へ流れ込む量の比を概略評価したところ、4号機原子炉建屋へ流れ込む量は主排気筒から放出される量の約4割となった。

【添付11-2】

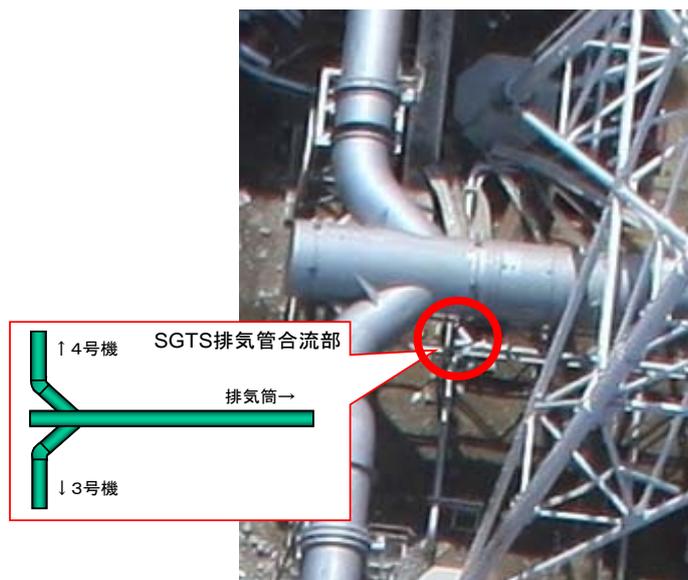
③非常用ガス処理系フィルタの線量測定

非常用ガス処理系には、放射性物質を除去するフィルタ類が収納されており、通常は汚染空気の流れてくる上流側（設置されている号機の原子炉建屋から気体が流入してくる側）のフィルタの方が汚染度合いは高くなる。

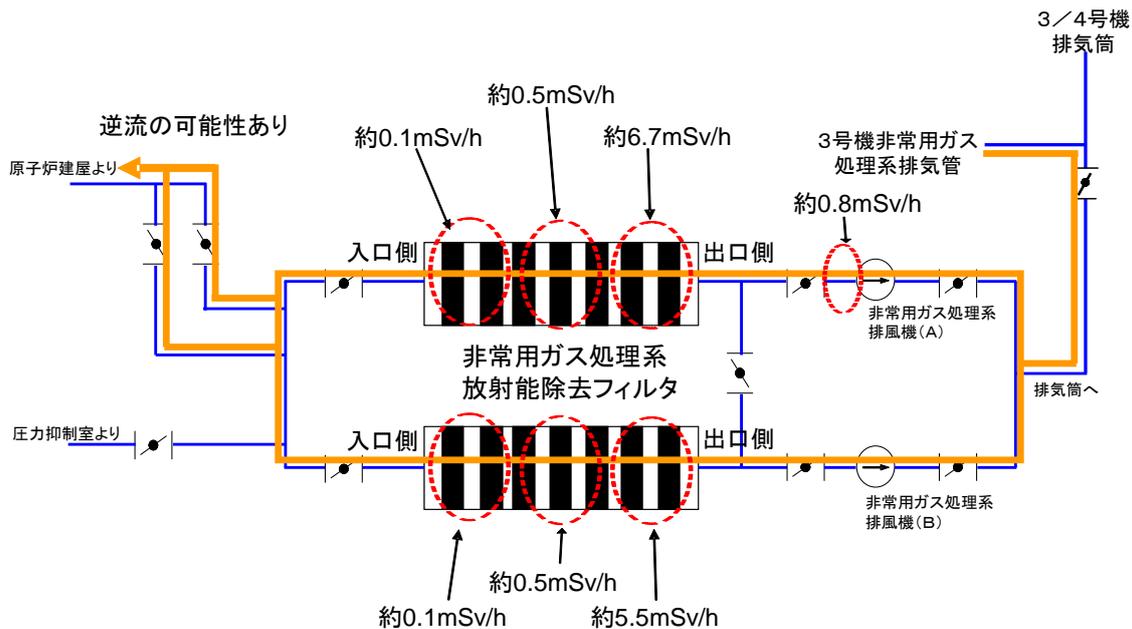
一方、非常用ガス処理系フィルタを3号機の格納容器ベント流が逆流した場合は、下流側のフィルタの汚染度合いが高くなることとなる。この事実関係を確認すべく、4号機の非常用ガス処理系フィルタが収納されているトレインの放射線量測定を実施した。

（平成23年8月25日実施）

調査の結果、通常と異なり、非常用ガス処理系フィルタトレイン出口側（下流側）の放射線量が高く、入口側（上流側）に行くに従い放射線量は下がっていくことが確認された。これは、汚染された気体が4号機の非常用ガス処理系配管を下流側から上流側に流れたことを意味しており、3号機の格納容器ベント流が非常用ガス処理系配管を經由して4号機に回り込んだ可能性を示す結果と考えられる。



非常用ガス処理系（SGTS）配管



4号機非常用ガス処理系（SGTS）放射線量測定結果（平成23年8月25日実施）

なお、3月14日に発電所対策本部復旧班が4号機使用済燃料プールを確認するため原子炉建屋最上階にあるオペレーティングフロアへ向かったが、原子炉建屋内の線量が高い状態¹にあり、オペレーティングフロアへたどり着くことができなかった。4号機の原子炉内に燃料が入っていないこと、後に使用済燃料プールの水位が確保されている状況が確認できたこと、及び3号機の格納容器ベントが13日に実施されていることを踏まえると、この線量上昇はフィルタによって除去されない放射性物質（希ガス）が3号機のベント流として4号機に回り込んだものと考えられる。

④原子炉建屋内の調査

4号機原子炉建屋の現場調査を行ったところ、以下が確認された。

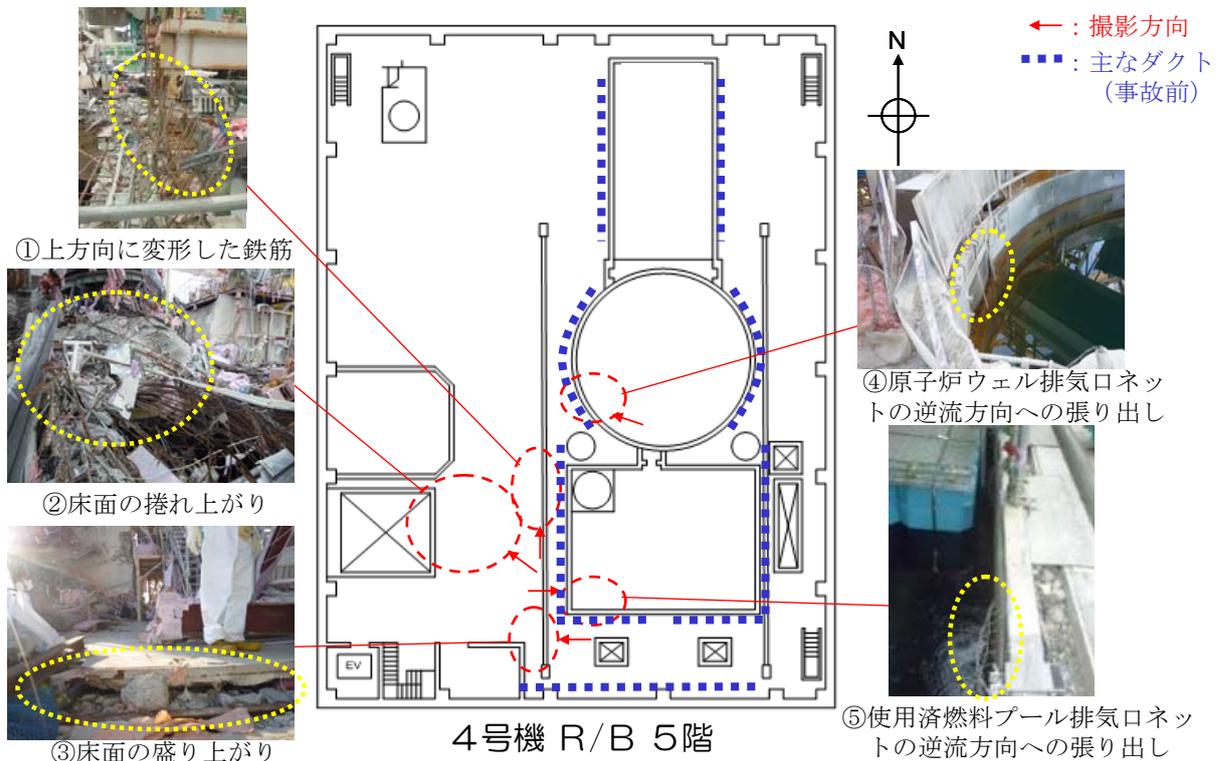
- ・ 非常用ガス処理系の排気ダクトは原子炉建屋2階から3階を経由し、4階の天井中央西寄りの部分を南側へ向かって通り、南壁面付近で5階へ通じる設計となっていた。
- ・ 5階オペレーティングフロアの排気ダクトが設置されていた南壁面は、ほとんどの部分が抜け落ち、ダクトの残骸も認められなかった。
- ・ 5階フロア南西部では、床面が大きく損傷し、鉄筋が上方向に曲げられていた(①)。また、1区画は5階側に捲れ上がるとともに、下からの力による変形（床面、クレーンのレールなど）が認められた(②、③)。
- ・ 4階から通じる、原子炉ウェル及び使用済燃料プールの排気口ネットは逆流方向への張り出しが認められた(④、⑤)。

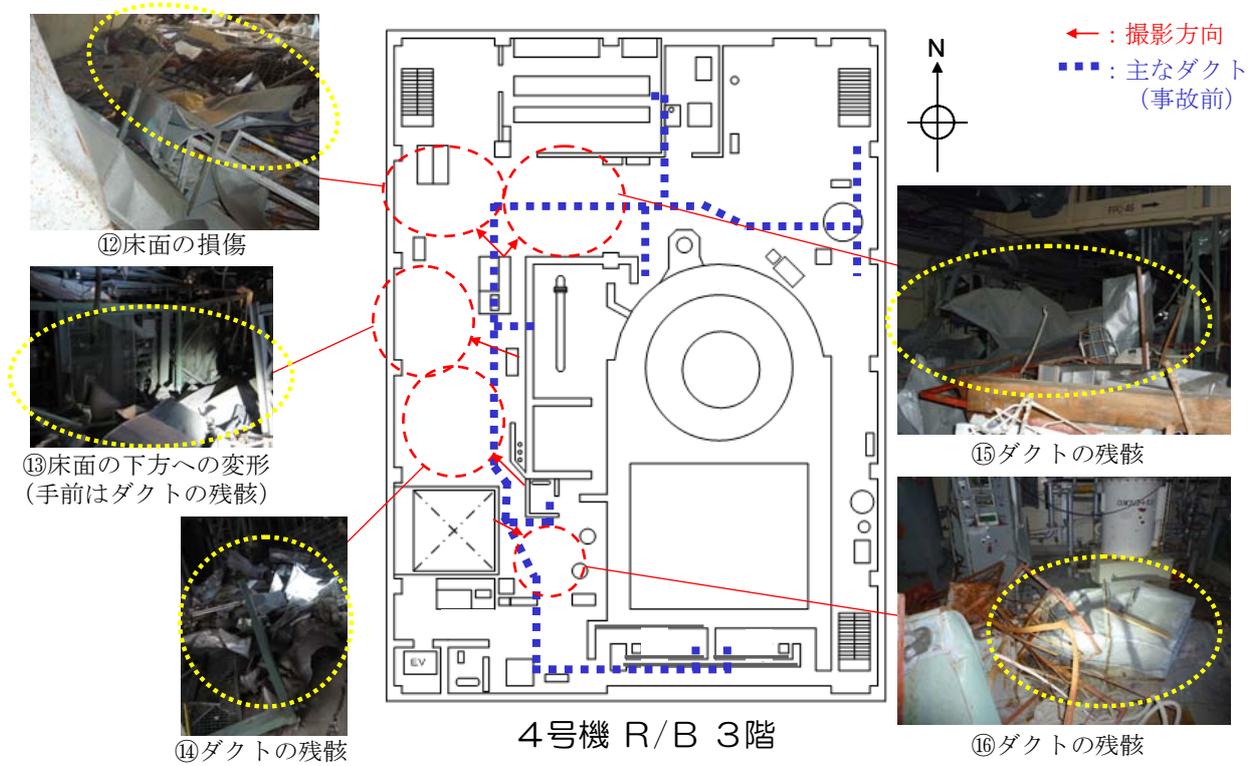
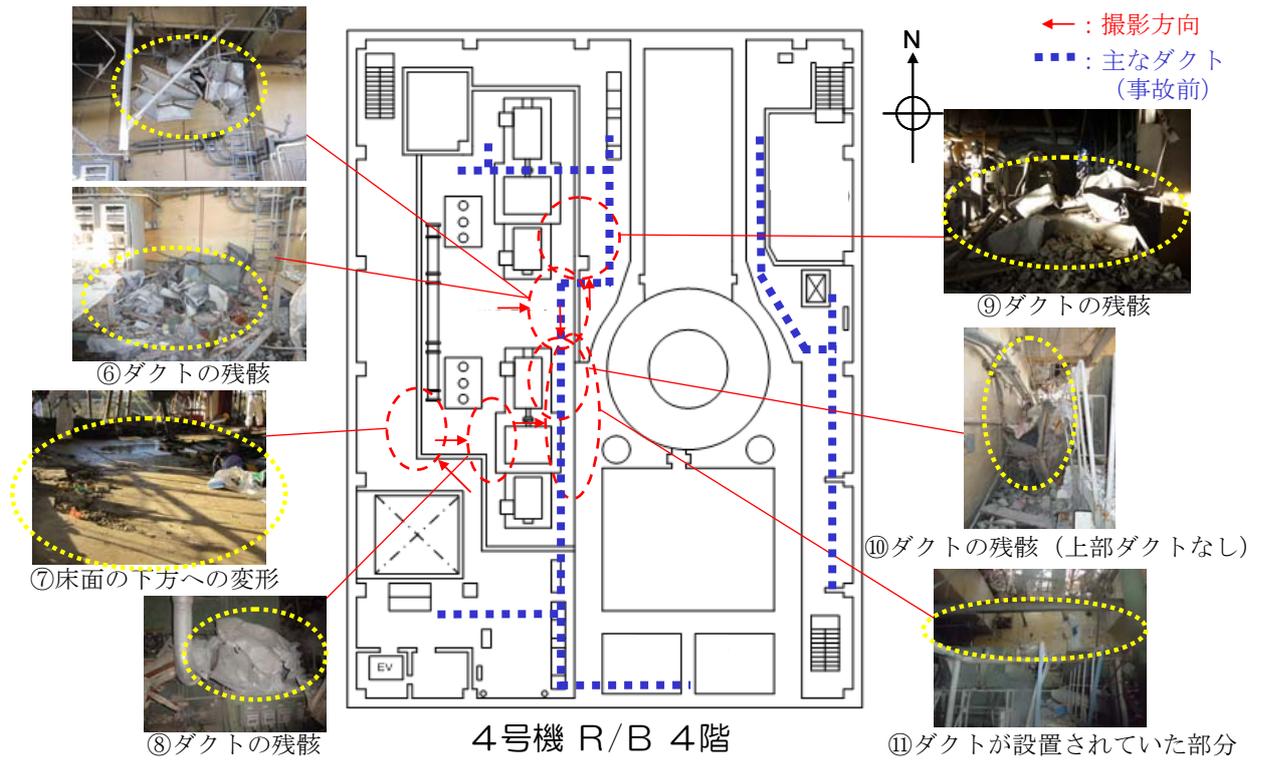
¹ 4号機原子炉建屋へ入った時刻は14日10時30分頃（3号機の原子炉建屋の爆発は11時01分）。原子炉建屋入城後、10～15秒で4mSvのアラーム（APD）が鳴り退避。その後、再入城しようとして原子炉建屋への扉を開けたところ手持ち線量計の最大レンジ（1000mSv）を振り切ったため入城を断念。

- 原子炉建屋4階西側エリアでは、5階フロア床の損傷が大きい箇所の近傍で、床面が下方に変形していたほか、排気ダクトの残骸と推定される瓦礫が多数存在していた(⑥~⑪)。
- 原子炉建屋3階西側エリアでは、4階同様、床面が下方に変形していたほか、北西エリアでは床面の大きな損傷が認められ、付近には排気ダクトの残骸と推定される瓦礫が多数存在していた(⑫~⑯)。

これらのことから、5階フロア床面は、4階で発生した爆発の圧力により、上向き of 力を受けて破壊したものと考えられる。また、原子炉建屋4階南西部では、本来の設置位置にダクトは存在せず、ダクトの残骸と推定される瓦礫が散乱していたことから、爆発による主な圧力の発生場所は4階南西部のダクト付近である可能性が考えられる。さらに、排気ダクトを通じて回り込んだ水素により、3階及び5階でも爆発が生じ、その圧力で建屋等の破損を生じたものと考えられる。

以上より、爆発が発生した現場の状況は、3号機のベント流が回り込み、4号機の原子炉建屋2階から非常用ガス処理系配管・ダクトを經由して建屋の各所に流れ込んだとの推定と一致するものと考えられる。





(3) 非常用ガス処理系の設計・運用と今回の事故

- ① 前述したように非常用ガス処理系は、事故時に機能する必要があるため、非常用ガス処理系に設置されている弁の内、建屋からの排気が流れる流路に設置されている弁については、何らかの異常があった時には開となる設計となっている。
- ② 福島第一1号機～5号機の非常用ガス処理系は100%処理能力の系列を2系列有しており、1系列が起動しても、もう1系列は待機しており、起動した系列に問題がない限りもう1系列は起動しない運用としている。待機状態となっている系列の弁は閉となっていることから、基本的に運転する系列から待機している系列に排気されるべき気体の流れ込むことはない。通常、並列している空調設備の排風機出口には、出口弁に該当するようなものが設置されていない場合も多く、待機側の系列に気体が逆流しファンが逆回転するようなことがないように逆流防止用ダンパが設けられている。非常用ガス処理系の場合は、排風機出口側に弁が設置されているが、ほとんどのプラントで逆流防止ダンパが設置されている。ただし、福島第一4号機においては、先に述べたように1系列運転、1系列待機で待機側の弁は閉止している運用から、逆流防止用ダンパは設置不要と判断され設置されていない。
- ③ 格納容器ベントラインは、非常用ガス処理系に接続され、最終的には放出される排気筒まで導かれている。また、非常用ガス処理系に設置されているフィルタトレインはベントラインに比べて耐圧圧力が低い設計となっている。このため、格納容器ベント操作を実施するにあたっては、手順書においてフィルタトレイン装置出口側に設置されている境界の弁を閉鎖することとなっている。
- ④ しかしながら、非常用ガス処理系の弁は、前述したように異常時には開する設計となっている。このため、非常用ガス処理系とベントラインの境界弁を中央制御室から閉操作できるように対処されていた。具体的には、操作用空気を喪失した場合でも、当該弁の操作に必要な空気を供給するために圧縮空気ボンベが接続、準備されており、圧縮空気ボンベの出口に設置されている電動駆動の弁（通常閉）の操作用電源は非常用電源に接続されており、境界となっている弁を閉止するための空気を供給できるシステムとしていた。
- ⑤ このような備えが事前に準備されていたが、今回の事故は操作用の電源として期待していた非常用電源さえも喪失したために、圧縮空気ボンベの出口に設けられている電動弁、電磁弁は機能を喪失していた。また、当該弁は高い位置に設置されており、操作するための足場もないことから、出口弁を手動で操作することはできない。事故後、格納容器ベント時にベントガスが非常用ガス処理系に流れ込む可能性について調査したが、1号機～3号機については逆流防止ダンパが設置されており、非常用ガス処理系を経由したベントガス（水素ガスが含まれている）の原子炉建屋への環流は限定的であったものとする。
- ⑥ 一方、4号機については、前述したように3号機からのベントガスが4号機原子炉建屋へ流入した。これも設計的な想定を超え、4号機とそれに隣接する3号機で同時に全電源を喪失するような事態に至った中で3号機の格納容器ベントを行うこととなってしまったことによって生じたもので、そのような事態を考えたり、設備的にベントガスの流入を抑制することはできなかった。

(4) 水素爆発防止への取り組み

原子力発電所における水素爆発については、原子炉で発生した水素が格納容器に蓄積し爆発する危険性については認識しており、設計上も考慮していた。このため、格納容器内を不活性ガスである窒素雰囲気とすること、可燃性ガス濃度制御系を設置し水素と酸素を再結合させることで水素量を低減できる対策を講じていた。加えて、圧力抑制室ベントの実施により、水素を放出することでも対応できると考えていた。このため、格納容器から水素が原子炉建屋に漏れいし、原子炉建屋で水素爆発が発生するとの認識は持っていなかった。従って、3月12日に発生した1号機原子炉建屋での水素爆発は想定できていなかった。

1 2. 放射性物質の放出評価

今回の事故では、事象の進展に伴い、格納容器ベント、原子炉建屋の爆発等があり、空気中への放射性物質の放出に至っており、大気中に放出された放射性物質の大半はこれら3月中に発生した事象に伴い放出されている。

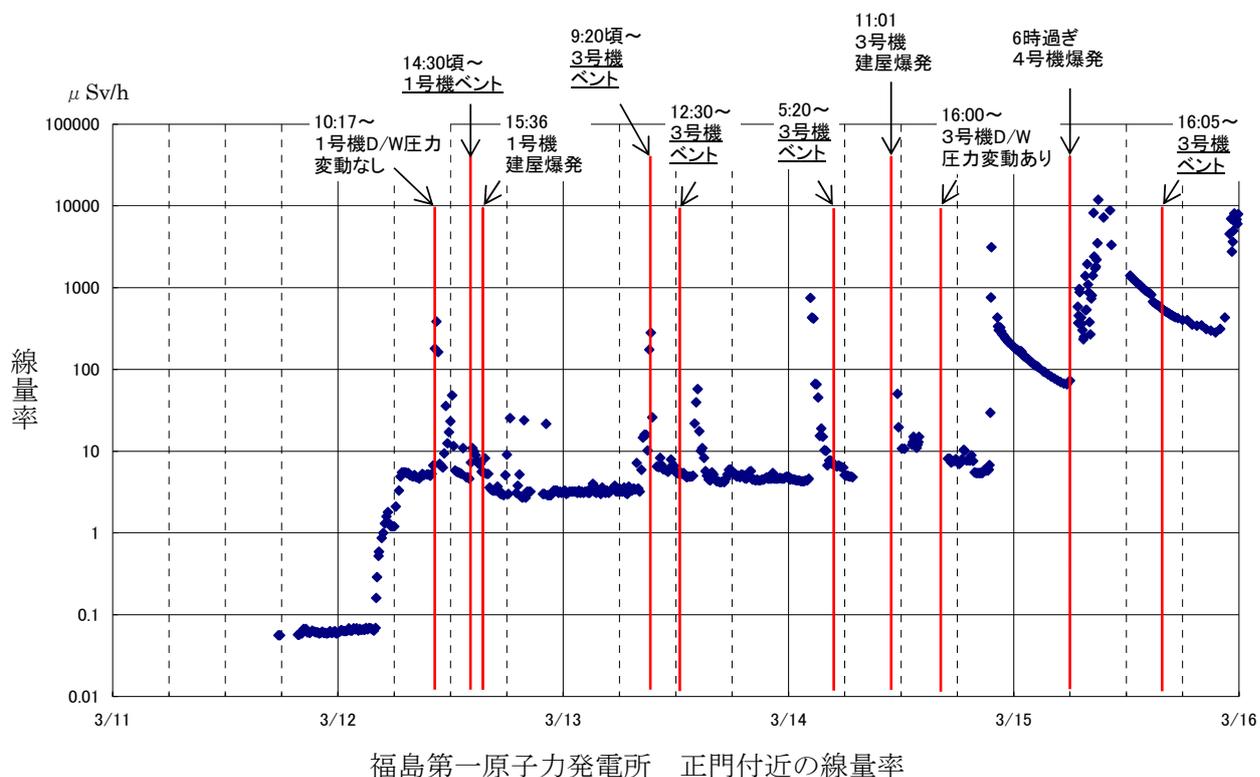
当社におけるこれまでの事故調査において認定された事実と、それらの事実に基づく推定を踏まえて、事故後の格納容器の状態を考察し、放射性物質の空気中への放出がどのようなタイミングで発生していたのか以下に述べる。

また、平成23年4月に発生した2号機取水口付近からの放射性物質を含む汚染水の海洋への流出をはじめとし、海洋への排出基準を超える高濃度の放射性汚染水の海洋放出が4件発生している。これらの事象に伴う海洋への放射性物質の放出について、事実関係を整理した。最後に、現時点における大気中及び海水中への放射性物質の放出量について評価を実施した。

1 2. 1 放射性物質の大気放出

福島第一1～3号機では、東北地方太平洋沖地震に伴う大津波によって注水機能が喪失し、炉心損傷に至った。炉心損傷に伴い、燃料被覆管内の放射性物質が原子炉圧力容器内に漏れだすとともに、燃料被覆管（ジルコニウム）と水蒸気の反応で水素が発生した。この放射性物質と水素は、蒸気とともに逃し安全弁等を経て格納容器へ放出され、格納容器の内圧を上昇させるため、各号機とも格納容器の減圧（ベント）操作を試みている。このベント操作では、蒸気や水素とともに放射性物質が大気中へ放出される。

正門付近のモニタリングカーによる線量率測定結果と各号機でのベント操作等との関係を下図に示す。



12日未明まで正門付近の線量率に変化はないが、4時頃から線量率が全体的に上昇し、1号機の炉心損傷による放射性物質の放出の影響が出てきたものと考えられる。以降、1号機の初回ベント操作を3月12日の10時17分に実施、3号機の初回ベント操作による圧力降下を3月13日9時20分頃から確認した。両ベント共に、線量率が若干増加しており、圧力抑制室からスクラビングされたガスがベントラインから放出された可能性が高いものと考えられる。また、3月15日に線量率が2度10000 μ Sv/h程度まで上昇しているが、これは圧力抑制室からのベント操作でなく、格納容器から直接建屋経由で漏えいした汚染度の高いガスの影響と考えられる。本項では、より詳細にベント操作に伴う放射性物質の放出等について分析するとともに、福島第一原子力発電所からみて北西方向の地域の汚染要因についても検討した。

(1) 格納容器ベント操作

格納容器ベントで格納容器内の圧力を逃がすラインとしては、圧力抑制室からのラインとドライウェルからのラインの2つがある。格納容器ベントを行う際には、どちらのラインも使用することはできるが、通常は圧力抑制室側のラインを構成することで、水を透過したガスを放出することとなり、放射性物質の低減効果が期待できる。

いずれの号機においても、ベント弁（電動弁）を開放した上で、各々のラインに付いている空気作動弁（大弁または小弁）を開放することで基本的なラインは構成され、ラプチャーディスクが作動する（ディスクが破裂し、流路が形成される）圧力まで格納容器圧力が上昇すれば、自動的に格納容器内のガスが大気に放出される。1～3号機におけるベント操作実績を下表に示す。

ベント弁操作実績について

号機	弁開操作日時	操作したベント弁	弁閉鎖確認日時
1号機	3月12日 10時過ぎ	S/C ベント弁小弁	(開確認できず)
	3月12日 14時過ぎ	S/C ベント弁大弁	不明(D/W圧力が3月12日15:00頃から上昇)
2号機	3月14日 21時過ぎ	S/C ベント弁小弁	3月14日 23:35
	3月15日 0時過ぎ	D/W ベント弁小弁	開操作の数分後
3号機	3月13日 9時過ぎ	S/C ベント弁大弁	3月13日 11:17
	3月13日 12時過ぎ	S/C ベント弁大弁	不明(D/W圧力が3月13日15:00頃から上昇)
	3月13日 21時過ぎ	S/C ベント弁大弁	3月15日 16:00
	3月14日 6時過ぎ	S/C ベント弁小弁	3月15日 16:00
	3月15日 16時過ぎ	S/C ベント弁大弁	3月17日 21:00
	3月16日 2時頃	S/C ベント弁小弁	4月8日 18:30頃
	3月17日 21時過ぎ	S/C ベント弁大弁	3月18日 5:30
	3月18日 5時過ぎ	S/C ベント弁大弁	3月19日 11:30
	3月20日 11時過ぎ	S/C ベント弁大弁	4月8日 18:30頃

(注1) D/W：ドライウェル、S/C：圧力抑制室

(注2) 弁閉鎖確認日時は、仮設電源や弁作用空気等を喪失し、ベントラインが閉鎖されていることが確認された時間を記載

(2) 放射性物質を含む「蒸気雲」の移動と空間線量率の変化

通常、放射性物質の放出を監視するため、発電所周辺にはモニタリングポストを設置し、空間線量率を監視している。福島第一原子力発電所の事故では、電源喪失に伴い、モニタリングポストの機能が喪失したため、モニタリングカーを配置し、事故時の空間線量率等を測定した。

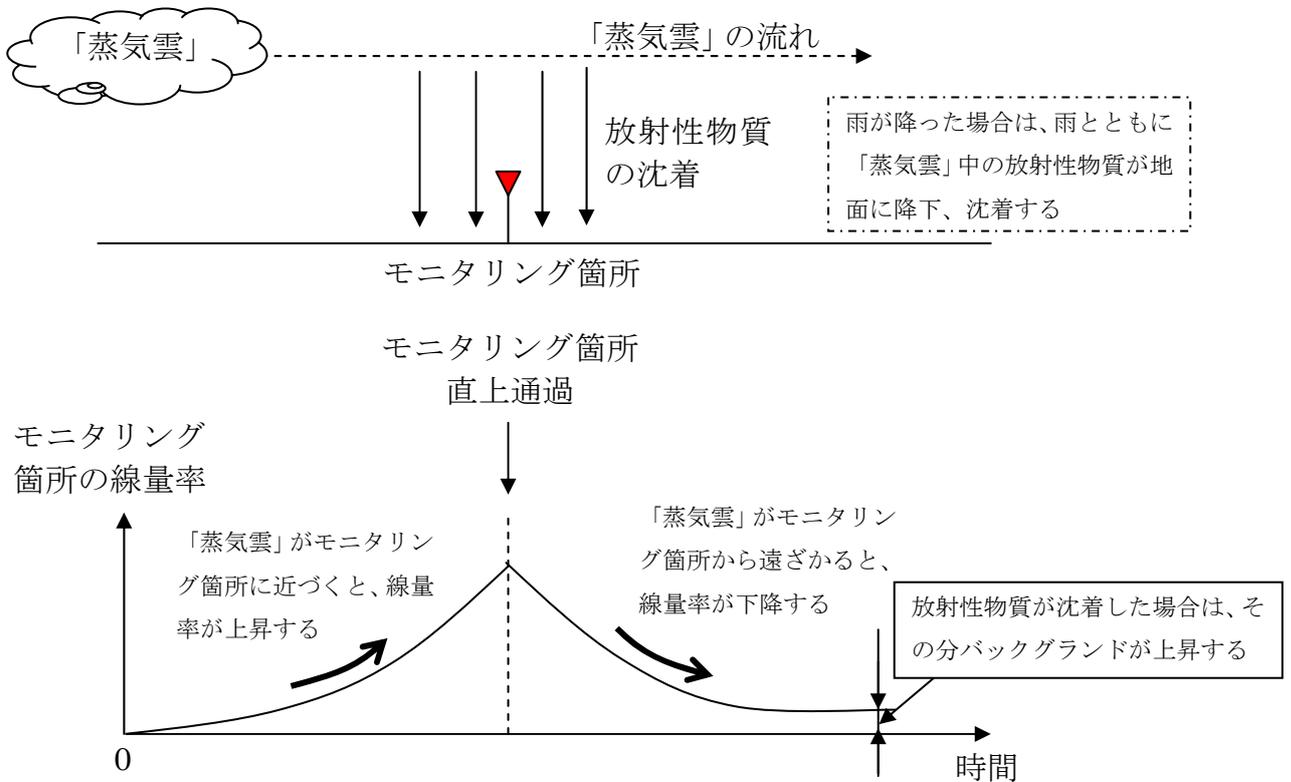
事故後、モニタリングカーにて測定した空間線量率には複数のピークが現れている。空間線量率にピークが現れるケースには次の2つがある。

① モニタリング箇所上空に放射性物質を含む「蒸気雲」が近づいてくるケース

ベント・爆発等によって大気中に放出された放射性物質を含む「蒸気雲」¹は、発電所周辺の風に乗って拡散しながら移動をする。その「蒸気雲」がモニタリング箇所、あるいはその付近を通過した場合、空間線量率にピークが現れる。

風速によっても異なるが、空間線量率の変化率は次の②のケースよりも小さく、比較的ゆるやかに上昇、下降をするのが特徴である。また、その「蒸気雲」は放射性物質を含んでいるため、移動の途中でモニタリング箇所付近に放射性物質が沈着した場合は、空間線量率のバックグラウンドの上昇をもたらすことがある。

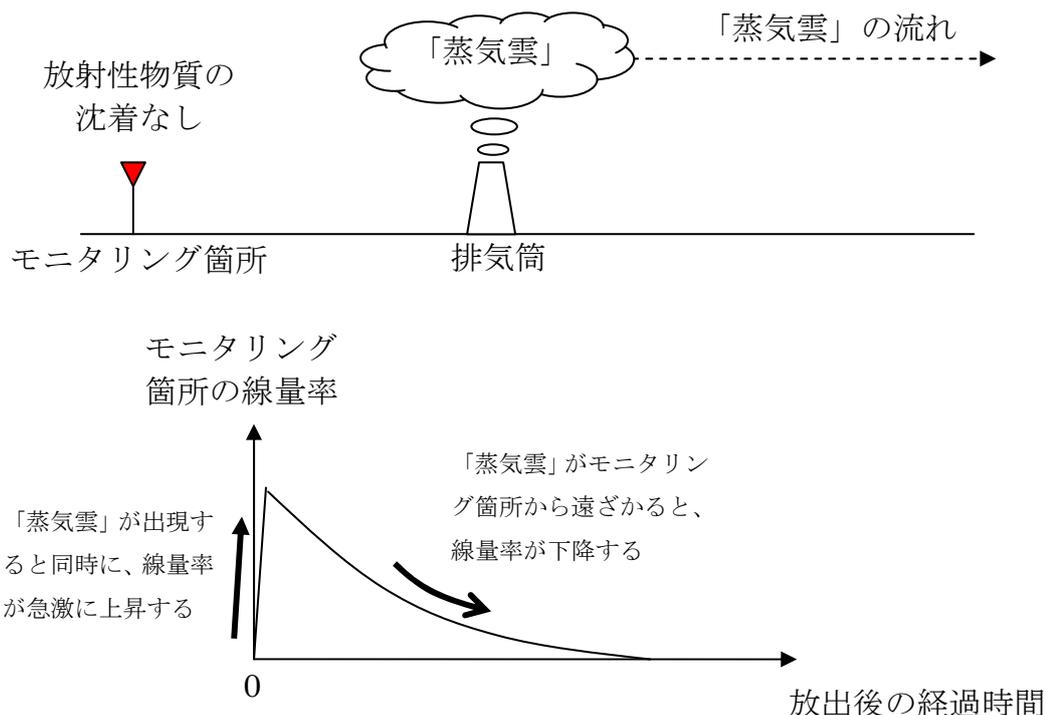
なお、風向の変化によって影響は受けるが、風速1 m/s程度の風が吹いている場合、排気筒から放出された「蒸気雲」は、10～20分程度で発電所敷地外に移動していく。



¹ 蒸気雲とは、気体状（ガス状あるいは粒子状）の放射性物質が大気とともに煙のように流れる状態。放射性プルームとも言う。

② モニタリング箇所上空に放射性物質を含む「蒸気雲」が近づいて来ないケース

放射性物質を含む「蒸気雲」は直接線・スカイシャイン線¹を発生するため、「蒸気雲」がモニタリング箇所、あるいはその付近の上空を通過しなくても、相当量の放射性物質が放出されれば空間線量率にピークが現れることがある。この場合、空間線量率は「蒸気雲」が放出された時点で急激に上昇し、「蒸気雲」がモニタリング箇所から遠ざかるに従い、緩やかに減少する。また、放射性物質を含む「蒸気雲」は、モニタリング箇所付近を通過しないため、放射性物質の沈着はなく、バックグラウンドの上昇をもたらすことはない。



(3) ベント操作とモニタリングデータに関する考察

福島第一原子力発電所事故では、各プラントから放射性物質が放出され、福島第一原子力発電所からみて北西方向に高汚染地域が広がっている【添付12-1】。以下に各号機において3月20日までに実施されたベント操作を対象に、モニタリングデータ等をベースに分析を行うとともに、高汚染が観測されている北西方向の地域の汚染との関係について述べる。

① 1号機のベント操作

<3月12日10時過ぎの圧力抑制室ベント弁小弁操作>

- 3月11日の津波襲来以降、非常用復水器の機能低下に伴い早期に炉心損傷。原子炉圧力容器に繋がる気相部から漏えいが発生したと想定。結果として、格納容器圧力の上昇に伴い、電源がない状況におけるベント操作の手

¹ 放射性物質を内包している建屋天井を通過して施設の外部へ漏れ出た放射線が、施設上方の空気で散乱されて地上に向かう放射線のこと。施設の遮へい設計では、スカイシャイン線と建物側壁を透過してくる放射線（直接線）の線量の合計線量を考慮して設計される。

順検討を行い、圧力抑制室ベント弁小弁は、現場線量が高く、小弁の手動開操作はできなかった。

- ・ 遠隔操作による圧力抑制室ベント弁大弁の開操作の準備も進めつつ、3月12日10時17分、10時23分、10時24分には、弁操作空気（計装用圧縮空気系）の残圧を期待し、中央制御室から圧力抑制室ベント弁小弁の開操作を実施した。

同操作で弁が開となったかについては確認できておらず、格納容器圧力の低下も確認されていない。しかしながら、同時帯には正門付近の線量率が一時的に上昇（約400 μ Sv/h）していることから（【添付12-2】のグラフ参照）、大気中へ蒸気とともに放射性物質が放出されたものと考えられる。

- ・ 「蒸気雲」の放出経路については、線量率が上昇した時刻とベント弁操作の時刻を考慮すれば、圧力抑制室ベント弁小弁の開操作でドライウェル圧力の低下が見られない程度の放出があった可能性と、建屋から直接大気中へ放出された可能性の両方が考えられるが、放出経路については分かっていない。

【添付12-3】に風向・風速・大気安定度から予測した「蒸気雲」の軌跡を示す。図中の四角で囲まれた数字は、「蒸気雲」の移動によって生じる線量率の最大点を10分毎にプロットしたものであり、「蒸気雲」の軌跡を示すものとなる。

この図が示すように、「蒸気雲」は福島第一原子力発電所からみて北西方向の高汚染地域の付近を通過しているが、「(5) 主な事象毎の放射性物質の大気への放出量」に記載する通り、放出量が支配的なものではなかったとの評価結果が得られていることから、同ベントによる土壌汚染への寄与は少ないと考えられる。

<3月12日14時過ぎの圧力抑制室ベント弁大弁操作>

- ・ 3月12日14時過ぎには圧力抑制室ベント弁大弁の開操作を実施しており、格納容器圧力の低下が確認されている。

ふくいちライブカメラの映像【添付8-4】で排気筒上に蒸気が確認できることから、同ベントに伴い蒸気が放出されたものと考えられる。

- ・ 【添付12-2】に示すように、同ベントが実施された時刻には正門付近、MP-8付近に配置したモニタリングカーで線量率を測定しているが、線量率はほとんど上昇していない。

- ・ 【添付12-3】に風向・風速・大気安定度から予測した「蒸気雲」の軌跡を示す。「蒸気雲」は北の方向へ移動しており、福島第一原子力発電所からみて北西方向の高汚染地域の上は通過しておらず、「(5) 主な事象毎の放射性物質の大気への放出量」に記載する通り、放出量は支配的なものではなかったとの評価結果が得られていることから、同ベントによる土壌汚染への寄与は少ないと考えられる。

②2号機のベント操作

<3月14日21時過ぎの圧力抑制室ベント弁小弁操作>

- ・ 2号機も1号機同様にベントが必要となることが予想されたことから、ベント操作の準備として、3月13日11時頃に小型発電機を用いて弁操作電磁弁を励磁し、弁駆動用の圧縮空気を供給して圧力抑制室ベント弁大弁を開操作した。

しかしながら、格納容器圧力がラプチャーディスク作動圧（427 kPa [gage]）よりも低く、ベントされない状態が続いていた。3月14日11時01分に発生した3号機の建屋爆発の影響で、圧力抑制室ベント弁大弁が閉止した。

同様に停止した原子炉への注水や圧力抑制室ベント弁大弁によるベントの復旧を進めつつ、3月14日21時頃に圧力抑制室ベント弁小弁の開操作を実施している。しかし、その後も格納容器圧力は上昇している。また、同時間帯に正門付近の線量率が上昇(約3000 μ Sv/h)していることから、大気中へ蒸気とともに放射性物質が放出されたものと考えられる。【添付12-4】

- ・ 「蒸気雲」の放出経路については、線量率が上昇した時刻とベント弁操作の時刻を踏まえると、圧力抑制室ベント弁小弁の開操作によってドライウェル圧力の低下が見られない程度の放出があった可能性と、建屋から直接大気中へ放出された可能性の両方が考えられるが、放出経路については分かっていない。
- ・ 【添付12-5】に風向・風速・大気安定度から予測した「蒸気雲」の軌跡を示す。「蒸気雲」は福島第一原子力発電所からみて北西方向の高汚染地域の上は通過しておらず、「(5) 主な事象毎の放射性物質の大気への放出量」に記載する通り、放出量は支配的なものではなかったとの評価結果が得られていることから、同ベントによる土壌汚染への寄与は少ないと考えられる。

<3月15日0時過ぎドライウェルベント弁小弁操作>

- ・ その後も格納容器圧力の上昇が続いたため、3月15日0時01分にドライウェルベント弁小弁の開操作を実施した。しかし、数分後には閉であることが確認されており、格納容器圧力の低下も確認されていない。また、同時間帯において正門付近の線量率が変動していないことから、放射性物質は放出されておらず、ベント弁操作による大気放出はなかったものと推定する。

③3号機のベント操作

<3月13日9時過ぎの圧力抑制室ベント弁大弁操作>

- ・ 3号機でも同様にベントが必要となることが予想されたことから、ベント操作の準備として、3月13日の9時過ぎに圧力抑制室ベント弁大弁の開操作を実施している。同ベントではドライウェル圧力の低下が確認されていること、ふくいちライブカメラの映像【添付8-14】で排気筒上に蒸気が確認できることから、ベントに伴い蒸気が放出されたものと考えられる。

【添付12-6】に示すように、同ベントが実施された時刻には正門付近、MP-1付近、MP-4付近に配置したモニタリングカーで線量率を測定しており、正門付近、MP-4付近では線量率が数百 μ Sv/h まで上昇している。

- ・ 【添付12-7】に風向・風速・大気安定度から予測した「蒸気雲」の軌跡を示す。同図に示すように、「蒸気雲」は福島第一原子力発電所からみて北西方向の高汚染地域の上は通過しておらず、「(5) 主な事象毎の放射性物質の大気への放出量」に記載する通り、放出量は支配的なものではなかったとの評価結果が得られていることから、同ベントは土壌汚染への寄与が少ないと考えられる。

<3月13日12時過ぎの圧力抑制室ベント弁大弁操作>

- ・ 3月13日の12時過ぎに圧力抑制室ベント弁大弁の開操作を実施している。同ベントではドライウェル圧力の低下が確認されていること、ふくいちライブカメラの映像【添付8-14】で排気筒上に蒸気が確認できることから、ベントに伴い蒸気が放出されたものと考えられる。

【添付12-6】に示すように、同ベントが実施された時刻には正門付近、MP-1付近、MP-4付近に配置したモニタリングカーで線量率を測定している。

- ・ 【添付12-7】に風向・風速・大気安定度から予測した「蒸気雲」の軌跡を示す。「蒸気雲」は福島第一原子力発電所からみて北西方向の高汚染地域の上は通過しておらず、同ベントによる土壌汚染への寄与は少ないと考えられる。

<3号機その他圧力抑制室ベント弁操作>

- ・ これ以降も圧力抑制室ベント弁大弁及び小弁操作を実施している。【添付12-8 (1) (2)】に示すように、ベント操作を実施した時刻にはモニタリングカーで線量率を測定している（3月18日5時過ぎのベント操作時は除く）が、いずれのベント操作においても線量率の上昇は認められず、ベント操作で放出された放射性物質の量は多くなかったものと推定される。
- ・ 【添付12-9】に風向・風速・大気安定度から予測した「蒸気雲」の軌跡を示す。同図に示すように、いずれの「蒸気雲」も福島第一原子力発電所からみて北西方向の高汚染地域の上は通過しておらず、この間のベント操作による土壌汚染への寄与は少ないと考えられる。
- ・ 3月20日11時過ぎの「蒸気雲」は、福島第一原子力発電所からみて北西方向の高汚染地域の近くを通過しているものの、ベント時に放出された放射性物質の量は「(5) 主な事象毎の放射性物質の大気への放出量」に記載する通り支配的なものではなかったと推定されることから、同ベントによる土壌汚染への寄与も少ないと考えられる。

④ベント操作まとめ

1～3号機では前述したようにベント操作を行っているが、福島第一原子力発電所からみて北西方向の地域の汚染に関与するような大量の放射性物質放出はなかったものと推定される。

したがって、ベント時に放出された放射性物質は、フィルタと同等程度の効果を有する圧力抑制室のスクラビング効果によって相当程度除去され、放出段階では低減されていたと考えられる。

(4) 福島第一原子力発電所からみて北西方向の地域の汚染要因

飯舘村に代表される福島第一原子力発電所からみて北西方向の地域は、【添付12-1】に示す文部科学省の土壌サンプリング調査でも明らかのように、放射性物質によって他の地域よりも汚染されている。ここでは、同地域の汚染の要因について検討した。

- ・ 【添付12-8 (1)】によると、3月15日の放射線測定では、7時過ぎからの数時間程度で正門付近は数100 $\mu\text{Sv/h}$ 程度から10000 $\mu\text{Sv/h}$ 程度まで線量率が急激に上昇し、同日正午過ぎには線量率が1000 $\mu\text{Sv/h}$ 程度まで低下しているものの、23時過ぎにはまた10000 $\mu\text{Sv/h}$ 近くの線量率が測定されており、相当量の放射性物質が放出されていたものと推定される。

- ・ 【添付12-8(1)】によると、同日9時頃の線量率と23時頃の線量率が同程度のものであることから、7時頃から放射性物質が放出されていたと考えられる。また、高い線量率が測定されている時間帯はプラントで放出された放射性物質がモニタリングカーの方へ流れる方向の風(北～北東の風)が吹いており、線量率の上昇は放出量の変化というよりも、プラントからモニタリング箇所への風が吹いた時間帯に線量率が上昇したものと推定する。
- ・ 放射性物質の放出箇所については特定できていないが、2号機において朝方確認された白い煙が9時40分頃に増加していることが確認されており、ふくいちライブカメラの映像【添付12-10】でも確認できること、同時帯には線量が10000 μ Sv/h程度まで増加していること、同日7時から11時の間に2号機の格納容器圧力が大幅に低下していることから、放出箇所は2号機の可能性が高いと考えられる。
- ・ 3号機については3月16日未明まで圧力抑制室ベントで対応できていると考えられること、1号機は格納容器圧力が安定していること、風向を考慮した場合、仮に2号機以外からの放出があれば15日未明から線量率が上昇するはずであるが、実際に線量率が上昇したのは7時以降であることから、1, 3号機からの放出が3月15日の線量率上昇に寄与したとは考えにくい。
- ・ 【添付12-11】に風向・風速・大気安定度から推定した2号機からの放出蒸気の軌跡を示す。この図から、福島第一原子力発電所の北西方向に高汚染地域が広がっていることがわかる。同図に示すように、「蒸気雲」は初め、正門を含む南南西の方向へ向かっており、この「蒸気雲」の移動によって正門付近の線量率が急激に上昇したものと推定される。その後、15日12時辺りから風向が変化し、福島第一原子力発電所からみて北西方向の高汚染地域の方向に蒸気雲が流れていくことがわかる。
- ・ 福島第一原子力発電所から放出された「蒸気雲」を北北西の方向に流す風向は15日23時頃まで続いており、「蒸気雲」が15日12時過ぎから長時間に亘り北北西の方向へ流れ、同方向の地域の上空を浮遊していたと考えられる。これらの蒸気雲は、15日23時頃に観測された北東の風で高汚染地域の上空へ移動するとともに、同時帯に観測された降雨(【添付12-12】に雨雲の状況を示す)の影響で、浮遊していた放射性物質が地表へ沈着し、福島第一原子力発電所からみて北西方向の地域に高い汚染をもたらしたものと推定する。
- ・ このような大規模なバックグラウンドの上昇や遠方におけるセシウム等の粒子状物質の蓄積は、漏えいが圧力抑制室のプールスクラビングを受けない形で生じたものであると推定される。このことは、2号機でその増加が確認された白い煙のふくいちライブカメラの映像【添付12-10】も、排気筒ではなく建屋から立ち上っていることから裏付けられる。

(5) 主な事象毎の放射性物質の大気への放出量

以上のように、格納容器ベントなどにより放射性物質が放出されており、モニタリングデータ等から、その放出量を主な事象毎に評価した結果を表に示す。

福島第一原子力発電所からみた北西方向の地域の汚染は、3月15日の2号機建屋からの放出によるものと考えられる。また、モニタリングデータの挙動から、原子炉建屋の爆発及び格納容器ベントに伴い放出された放射性物質の量は2号機の建屋からの放出

に比べて十分に小さく、当時の気象データから、北西方向の地域における汚染の主たる原因とはならなかったものと考えられる。

なお、3月16日に空間線量率に比較的大きな変動が確認されているが、当時の気象データから、北西方向の地域における汚染の主たる原因とはならなかったものと考えられる。また、16日10時過ぎの3号機の空間線量率の変動については、同日8時30分に3号機の原子炉建屋からの白煙が確認され、同時間帯にドライウェル圧力の変動があることから、同号機の建屋から放出された可能性があると考えられる。

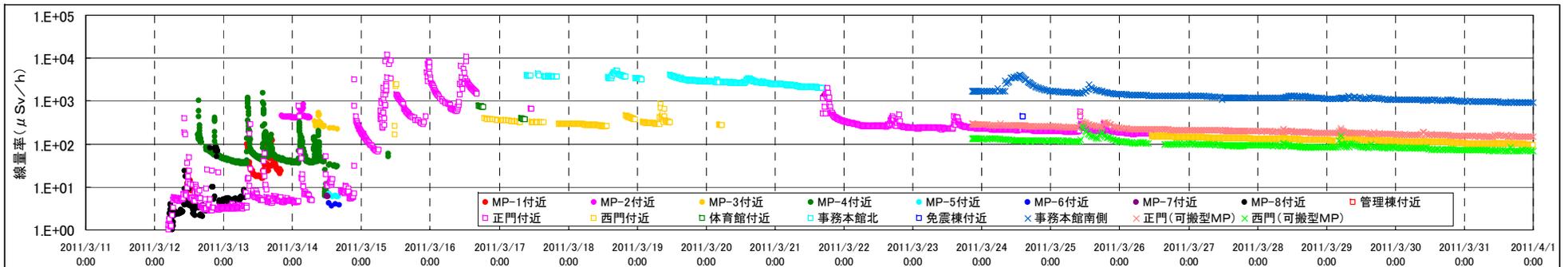
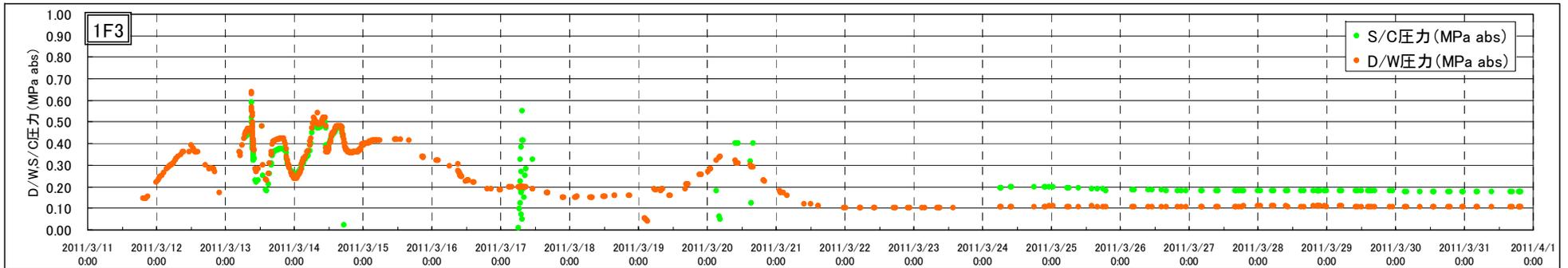
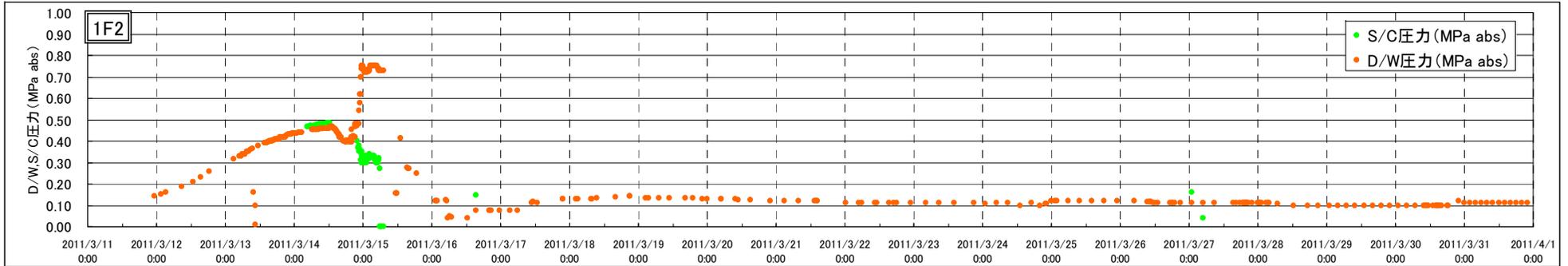
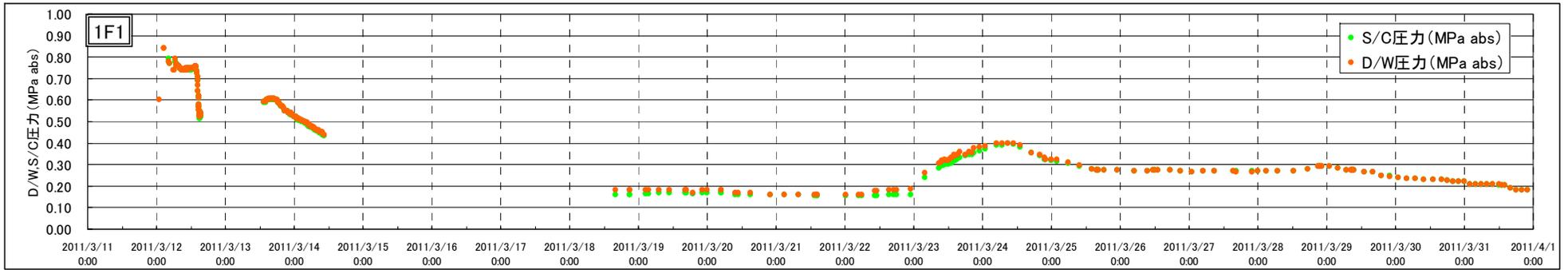
放射性物質の大気放出評価

号機	日時	事象	放出量(PBq ^{※1})			
			希ガス	I-131	Cs-134	Cs-137
1	3/12 10時過ぎ	不明 ^{※3}	3	0.5	0.01	0.008
	3/12 14時過ぎ	S/C ^{※2} ベント	4	0.7	0.01	0.01
	3/12 15:36	建屋爆発	10	3	0.05	0.04
2	3/14 21時過ぎ	不明 ^{※3}	60	40	0.9	0.6
	3/15 7時～24時	建屋放出	100	100	2	2
3	3/13 9時過ぎ	S/C ベント	1	0.3	0.005	0.003
	3/13 12時過ぎ	S/C ベント	0～0.04	0～0.009	0～0.0002	0～0.0001
	3/13 20時過ぎ	S/C ベント	0～0.003	0～0.001	0～0.00002	0～0.00002
	3/14 6時過ぎ	S/C ベント	0～0.003	0～0.001	0～0.00002	0～0.00002
	3/14 11:01	建屋爆発	1	0.7	0.01	0.009
	3/15 16時過ぎ	S/C ベント	0～0.003	0～0.001	0～0.00002	0～0.00002
	3/16 2時頃	S/C ベント	0～0.003	0～0.001	0～0.00002	0～0.00002
	3/16 10時過ぎ	建屋放出	100	100	2	2
	3/17 21時過ぎ	S/C ベント	0～0.003	0～0.001	0～0.00002	0～0.00002
	3/18 5時過ぎ	S/C ベント	0～0.003	0～0.001	0～0.00002	0～0.00002
3/20 11時過ぎ	S/C ベント	0～0.003	0～0.001	0～0.00002	0～0.00002	

※1 PBq : 10¹⁵Bq

※2 S/C : 圧力抑制室

※3 事象として、S/C (圧力抑制室) ベントまたは建屋放出の両方が考えられるが、特定できていない。



ドライウェル圧力と発電所内外のモニタリングデータ

12.2 放射性物質の海洋への放出

3月11日の大津波により、タービン建屋については全号機が海水により浸水している。特に、定期検査中であった4号機のタービン建屋は工事のため開放していたブロック開口部などから海水が流れ込んだと考えられる。一方、運転中の1～3号機は、津波により大物搬入口、入退域ゲート、ダクト／トレンチ、空気を取り入れるためのルーバ、機器ハッチ、連絡通路などから海水が流れ込んだと考えられる。当初、どの程度の海水が各号機のタービン建屋に流れ込んだかは不明であるが、4号機タービン建屋地下階が一番多く、その他は場所にもよるが比較的少ない量と想定される。

原子炉を冷却するため、3月12日から消防車による1号機の原子炉圧力容器への注水が開始され、3号機、2号機の原子炉圧力容器への注水も3月13日、14日と続けて開始した。

使用済燃料貯蔵プールを確保するため、3月17日から3号機の使用済燃料貯蔵プールへの放水がヘリコプター、放水車などから開始された。3月22日から4号機の使用済燃料貯蔵プールへの放水がコンクリートポンプ車から開始された。1号機は3月31日からコンクリートポンプ車から、2号機は3月20日から燃料プール冷却浄化系配管を用いて注水を開始した。

事故発生直後は、これ以上被害が拡大しないように原子炉及び使用済燃料貯蔵プールの冷却を最優先に復旧活動を展開していた。原子炉へ注水した水は、まずは格納容器内に溜まり、格納容器から漏れたとしても気密性の高い原子炉建屋に留まるものと考えていたが、注水を長期間継続すれば、いずれは原子炉建屋から他の建屋へあふれる可能性もあることは認識していた。しかし、3月中に原子炉へ注水した水がタービン建屋に流入してくることまでは想定していなかった。

(1) タービン建屋への汚染水流入

3月24日、3号機タービン建屋地下階で電源ケーブルの敷設作業を実施していた協力企業作業員に170 mSvを超える被ばく線量が確認された。調査の結果、3号機タービン建屋地下階における前日の事前確認では、空間線量率は0.5 mSv/h程度と低く、溜まり水も作業を行う電源盤の前には存在せず、階段下に1～2 cm程度の水溜まりが所々にあるとの状況が確認されていたが、当日は溜まり水の量も増え、高線量であることが判明した。

タービン建屋には、3月11日に発生した大津波による海水が流入していたものの、その溜まり水は低線量であった。3月24日に確認された高線量の水は、原子炉冷却のために注水していた水が原子炉から格納容器へ漏れ出し、更に、原子炉建屋を經由して隣接するタービン建屋地下階に流出したものであり、その過程において高濃度の汚染水（Cs-137で $2.3 \times 10^6 \text{Bq/cm}^3$ ）になったものと推定された。1, 2号機についてもタービン建屋に滞留している水の放射能濃度を測定した結果、3号機と同様に高濃度の汚染水であることが判明した。

存在する約60,000m³の高濃度汚染水をできる限り多く移送するためには、低濃度汚染水をさらに別の場所に移送するか、もしくは海洋放出し、高濃度汚染水を移送するスペースを確保することが不可避であった。しかし、この時点で発電所構内には大きな貯蔵容量を持つタンクや建屋はなかった。

3月末時点、最も早い仮設の貯蔵タンク設置案として検討していた海上ルート運搬案（貯蔵タンクを小名浜港で組み立て、海上輸送にて完成した貯蔵タンクを福島第一原子力発電所まで曳航し、1～4号機の護岸側に設置する案）でも、完成は4月下旬～5月上旬となっていた。また、静岡市から購入したメガフロート（貯水能力1万トン）も、当時の計画で福島第一原子力発電所に入港できるのが5月上旬の予定であった。

（3）特別プロジェクト全体会議での対応検討

3月25日、当社は、高濃度の汚染水処理が今後の復旧活動に大きな支障となることから、至急、この問題を一元的に検討するためのチーム（タービン建屋排水の回収・除染チーム）を編成して対応することとした。また、3月27日から、様々な課題に対して官邸、原子力安全・保安院やメーカー等も参加して特別プロジェクト全体会議が毎日開催されることになり、その中で高濃度汚染水の状況説明や対応方針も相談することになった。

特別プロジェクトは4月1日より細野補佐官が総括リーダーとなり、総理が本部長を務める統合本部の下部に位置づけられた。当初、3月27日は放射線遮へい／放射性物質放出低減対策チーム、長期冷却構築チーム、タービン建屋排水の回収・除染チーム、環境影響評価チームの4チームであったが、4月1日に放射線燃料取り出し・移送チームとリモートコントロール化チームの2チームが追加され、計6チーム（タービン建屋排水の回収・除染チームは放射性滞留水の回収・処理チームと改名）で構成された。各チームには政府側代表（原子力安全・保安院を含む）と東電側代表が1名ずつ任命され、事務局は秘書官、原子力安全・保安院、東電の担当で構成された。チームのメンバーには政府・官邸、原子力安全・保安院、メーカー、東電が参加し、官民一体となって復旧作業にあたった。

3月29日、タービン建屋排水の回収・除染チームは、特別プロジェクト全体会議において、集中廃棄物処理建屋に滞留した低濃度汚染水を海洋へ放出し、空いたエリアに1～3号機タービン建屋の高濃度汚染水を受け入れることを提案した。国からは汚染水の由来について評価すること、建屋の水抜きや排水の移送方法についてスケジュールを示すよう指示があった。

3月31日、タービン建屋排水の回収・除染チームは、特別プロジェクト全体会議において、排出基準を超える汚染水を海洋に放出する際の、年間の一般公衆の被ばく線量を評価し、年間の被ばく線量限度（1mSv／年）を下回っていることを報告（甲状腺被ばく線量約0.244mSv／年）し、環境や人体に影響がないことから準備が整い次第、海洋放出を実施することを再度提案した。国の出席者からは、技術面や法令面の判断の他、政治的な判断も必要であるため、慎重な取り扱いとする旨の発言があった。

4月1日、特別プロジェクト全体会議において、細野補佐官から、海水（滞留水）の緊急放出は絶対にあり得ない選択であり、必ず処理を行うことが最重要課題と認識すること、長期的に排水をどのように処理するのかをしっかりと検討することが重要であり、

国民に対しまき散らしイメージを植え付けないよう取り組むよう指示があり、海洋放出の実施に関する了解を得られないまま時間が経過した。

そのため、4月2日より集中廃棄物処理建屋の低濃度汚染水を、原子炉への注水を実施していない4号機タービン建屋地下に移送を開始し、集中廃棄物処理建屋に高濃度汚染水受け入れのためなるべく大きい貯蔵容量を確保することとした。

(4) 2号機取水口スクリーン（除塵装置）付近からの高濃度汚染水の流出

高濃度汚染水の外部への漏えい防止を目的として、3月28日からタービン建屋とトレンチ立坑の水位を目視で定期的に監視することを開始した。また、可能性は低いが、タービン建屋から周囲の地中に漏えいした場合のために、万々に備えて、3月30日から建屋周辺の地下水の水位（建屋周辺に配置してあるサブドレンピットの水位）の監視も開始した。

4月1日、当社社員が2号機タービン建屋の海水配管トレンチの立坑開口部の水位を常時監視するカメラの設置場所を確認していた際、偶然、 400 mSv/h と線量が高い場所があることに気がついて、保安班に連絡した。連絡を受けた保安班は、夕方で視界が悪いこともあり特に問題となる場所は発見できなかったが、スクリーン海側の線量を測定し 1.5 mSv/h と線量が低かったことから、問題はないものと考えた。翌日（4月2日）、あらためて保安班が2号機のスクリーン付近をサーベイしたところ、9時30分、2号機電源ケーブルを納めているピット内に $1,000\text{ mSv/h}$ を超える水が溜まっていること、スクリーンエリアのコンクリート（厚さ約 1.5 m ）を貫通して海洋に流出していることを確認した。2号機スクリーン脇の当該の電線管ピットは、スクリーン室コンクリート壁の陸側に設置されており、海側との貫通部が存在しないため、前日には海洋への流出は発見できなかった。

海洋汚染を最小限に食い止めるため、コンクリートや高分子ポリマーど、あらゆる手段で直ちに止水処理を試みたが、なかなか有効な手段が見つからなかった。止水により当該箇所からの漏えいを止めることができて、ピットからの溢水や別の場所からの漏えいの危険性もあり、安定して保管できるタンクや建屋に高濃度汚染水を一刻も早く移送し、タービン建屋の汚染水水位を低下させることが必要となった。

【添付12-13】

(5) 6号機建屋内への地下水流入による電源喪失の危険性

6号機については、タービン建屋に津波由来の海水が流入していることに加え、地下水が建屋を貫通している配管などのシール部を通じて廃棄物処理建屋などに流入して滞留水が増加しており、建屋内の水を排出できなければ、電気設備や建屋に影響が出るのは時間の問題であると認識していた。これらの滞留水は、元々建屋内にあった放射性物質や、1～4号機の爆発による放射性物質の降下物の影響で、若干汚染しており（I-131で $4.9 \times 10^0\text{ Bq/cm}^3$ ）、容易に建屋外に出すことはできなかった。

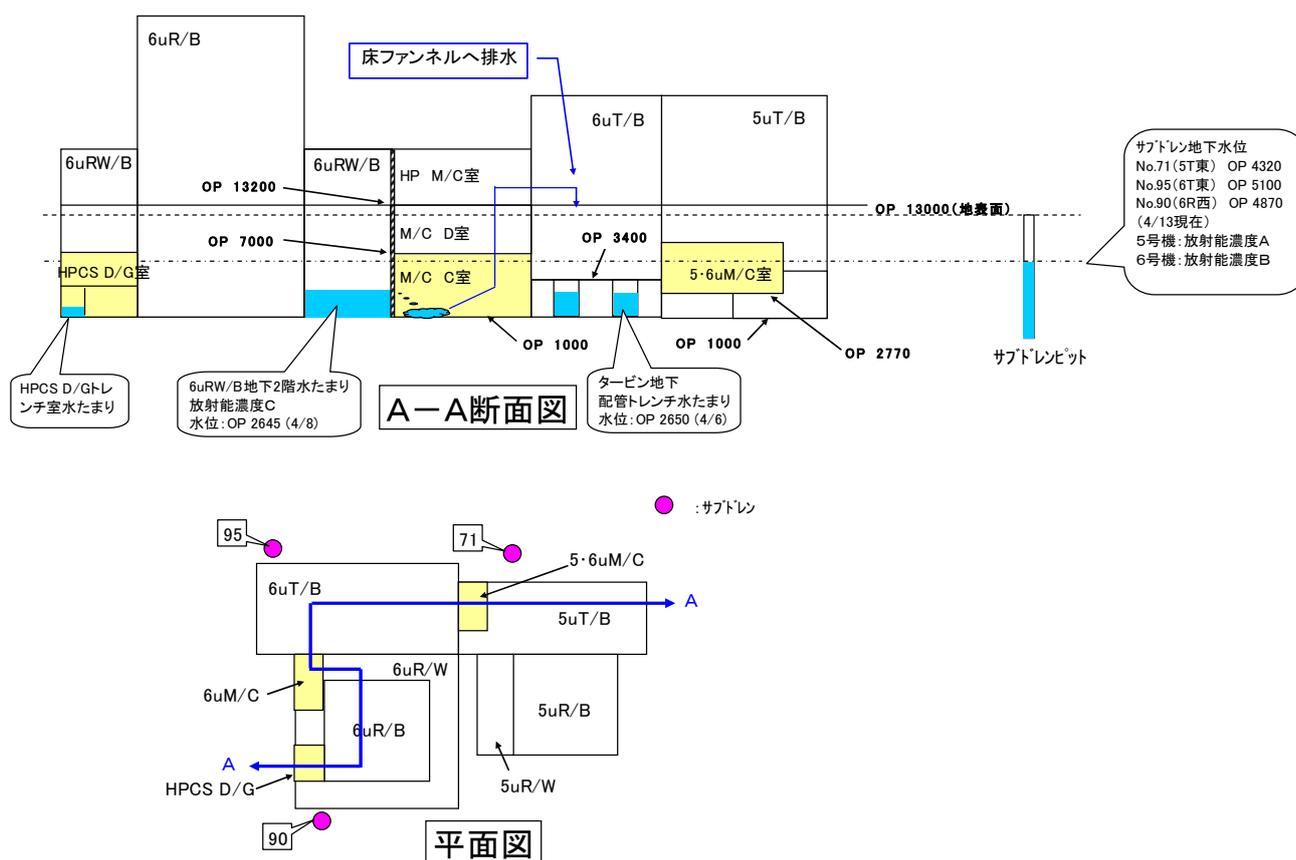
6号機廃棄物処理建屋に漏れ込んだ汚染水が、隣接する6号機高圧電源盤（M/C 6C）（5号機残留熱除去系に電源融通）室の壁からしみ出しており、3月19日以降、人力でタービン建屋の床ファンネルに排水していた。4月1日～2日には、当該汚染水の一部を5号機復水器に移送したものの、ごく一部しか復水器に移送できないことが判

明したため移送を中止した。高圧電源盤（M/C 6C）室への漏えいは継続しており、電源喪失の危険性が続いていた。

4月3日には、6号機高圧炉心スプレイ系（HPCS）ディーゼル発電機室に隣接するトレンチの壁貫通部から、鉛筆1本程度の水が継続的に床へ漏えいしていることが確認された。当時の評価上、5日間程度でトレンチ室入口にある堰（約28cm）を超えてしまうと予測しており、ディーゼル発電機への影響が懸念された。

このように、6号機の安全上重要な設備を設置している部屋への水の漏えいが顕著に見られるようになった。当時、なお余震が続いており、余震に伴う壁の損傷（ひび割れ）の拡大や大雨の影響等により、急激に漏えい量が増加すれば、除熱・冷却機能を喪失し、高圧電源盤（M/C 6C）から除熱設備への電源融通を受けている5号機も1～3号機と同様の事態になりかねないとの危機感、切迫感を持っていた。

すなわち、6号機については建屋貫通配管のシール部を通じて浸入する地下水が顕著となり、高圧電源盤（M/C）など安全確保上重要な機能を守らなければ、6号機高圧電源盤（M/C）から受電していた5号機の炉心冷却装置の電源が喪失するなどより大きなリスクが生じる状況と考えた。



(6) 低濃度汚染水の海洋放出による高濃度汚染水の保管場所確保等

4月4日9時、統合本部全体会議（海江田大臣、細野補佐官出席）において、福島第一原子力発電所の発電所長より以下に示すような報告とともに、問題提議がなされた。

- ・ 集中廃棄物処理建屋から4号機タービン建屋へ低濃度汚染水を4月2日から移送していたが、4号機と3号機のタービン建屋がどこかでつながっている可能性があり、3号機タービン建屋に汚染水が流入し、3号機の立坑水位が上昇した。このままいくと3号機の高濃度汚染水が海洋流出するおそれがあるので集中廃棄物処理建屋から4号機への移送をストップさせる。(この後、4月4日9時22分に移送中止)
- ・ 2号機の高濃度汚染水の流出が続いており、これを止めることに加えて、高濃度汚染水の移送先と考えていた集中廃棄物処理建屋の低濃度汚染水の処理が一番重要な課題であり、対応方針を至急検討してほしい。
- ・ また、現在、サブドレンピットの地下水の排水を全て止めているが、特に5、6号機は地下水が建屋貫通配管のシール部を通じて流入している可能性があり、5、6号機は原子炉に注水していないにもかかわらず、いろいろな場所の水位があがってきており、地下水の建屋内への流入の可能性は極めて高い。
- ・ 6号機建屋周辺の地下水が建屋内のHPCSディーゼル発電機室や重要な電気品室に流れ込んで来ており、5、6号機そのものの健全性に大きな影響を与える状況となっている。(屋外にタンクを作っている時間もない)
- ・ (汚染水を移送する場所もなく、低濃度汚染水を放出することもするなど) 手足を縛られた中で頑張れと言われても、到底頑張れる状況にない。何らかの判断をしてもらわないと5、6号機も含めて設備の健全性の問題になることから、6号機建屋周辺の地下水(雨水なども含まれる)の運用についても至急検討してほしい

これを受けて、統合本部としても、集中廃棄物処理建屋の低濃度汚染水と6号機建屋周辺の地下水の問題は重要な判断をしなければならないことから、全体会議終了後、直ちに協議を開始することとした。

9時40分、統合本部のTV会議終了後、海江田大臣のところに関係者が集まって協議し、大臣から発電所のためにやれることを検討し実施するよう要請があった。当社は、海洋放出に関する評価書のドラフト(特プロ(3月31日)の説明資料)が既にあることから、これをベースに資料を作成することとし、9時55分、本店6階TV会議室において、影響評価書のドラフトの修正作業を開始した。検討内容としては、

- ・ 5、6号機サブドレンピットの地下水の海洋放出を追加(地下水排水量1,500m³)
- ・ 集中廃棄物処理建屋からの海洋放出期間について、10日→5日に変更

などを実施し、適宜、原子力安全・保安院に説明を行った。

10時45分、当社は原子力安全・保安院とともに細野補佐官にサブドレンピットの地下水も含めて海洋放出する旨と、影響評価の内容を説明、11時頃、原子力安全・保安院が原子力安全委員会委員に説明を行った。

11時30分頃、海洋放出には報告徴収が必要であること、作成は本店にて対応していることを本店から福島第一原子力発電所へ連絡を行った。

13時10分、原子力安全・保安院が当社に対して報告徴収を行い、報告書の提出を受けて海洋放出がやむを得ないものと判断するとの方針について、海江田大臣から基本的な了解を得た。その際、同席していた細野補佐官から官邸の了解をとるとの話があった。

15時直前、報告書がまとまり、最終的に海江田大臣に以下の内容を説明した。

- ・ 低濃度汚染水等の海洋放出に伴う影響として、近隣の魚類や海藻を毎日食べ続けるとして評価した場合、成人の実効線量は、年間約0.6mSvと評価(一般公衆

の線量限度：1 mSv/年)

- ・ 評価結果において人の健康への有意な影響はなく、放出される低濃度の汚染水等の放射エネルギーは高濃度の放射性廃液の放出よりも十分に小さいものであることから、リスク管理上、合理的な措置である

大臣より、海洋への影響をなるべく少なくなるようにとの指示があり、直接、放水口の南側に放水するルートとした（本店から福島第一原子力発電所へルートを変更するよう連絡）。

15時、当社から原子力安全・保安院へ、原子炉等規制法第67条第1項に基づく、海洋への放出に係る経緯、影響評価、放出の考え方についての報告を行った。原子力安全・保安院は原子力安全委員会に助言を要請し、15時20分、以下の助言を受け、当社に判断を伝達した。

- ・ 放出水の放射性物質の濃度、放出量を確認すること
- ・ 放出時点の海洋の状態を確認しておくこと
- ・ 放出前後の海水モニタリングを実施すること
- ・ 上記の情報も踏まえて適切に影響評価を行うこと

当社の報告書に対して原子力安全・保安院より了解を得たことにより、当社（武藤副社長が本店対策本部の本部長を代行して）は海洋放出の実施について最終的に判断した。

4月4日16時の官房長官定例記者会見において、枝野官房長官が海洋放出を実施することを発表した。集中廃棄物処理建屋内に溜まっていた低濃度の汚染水については、4月4日19時3分より放水口の南側の海洋への放出を開始し、4月10日17時40分までに放出を完了した。その後、4月11日午前9時55分、建屋内の汚染水が十分排水され、高濃度の廃水を受け入れるに当たっての建屋内における対策（止水対策など）を実施することに支障がないことを確認した。

5号機及び6号機のサブドレンピットに溜まっていた低濃度の地下水については、4月4日午後9時より5、6号機放水口より海洋への放出を開始し、4月9日18時52分までに放出を完了した。

なお、上記海洋放出にあたっては、当社も記者会見を行うとともに、協定に基づく通報連絡について福島県及び発電所周辺5町に実施した。また、協定はないものの、全国漁業協同組合連合会及び福島県漁連に対しては、海洋放出する旨、事前に情報を提供した。

今回の海洋放出については、緊急避難的に行ったものであるが、広く周辺県の方々にもご不安やご迷惑をおかけしていることを思えば、広報や関係者への情報の提供が十分ではなかったと考える。

【添付12-14】

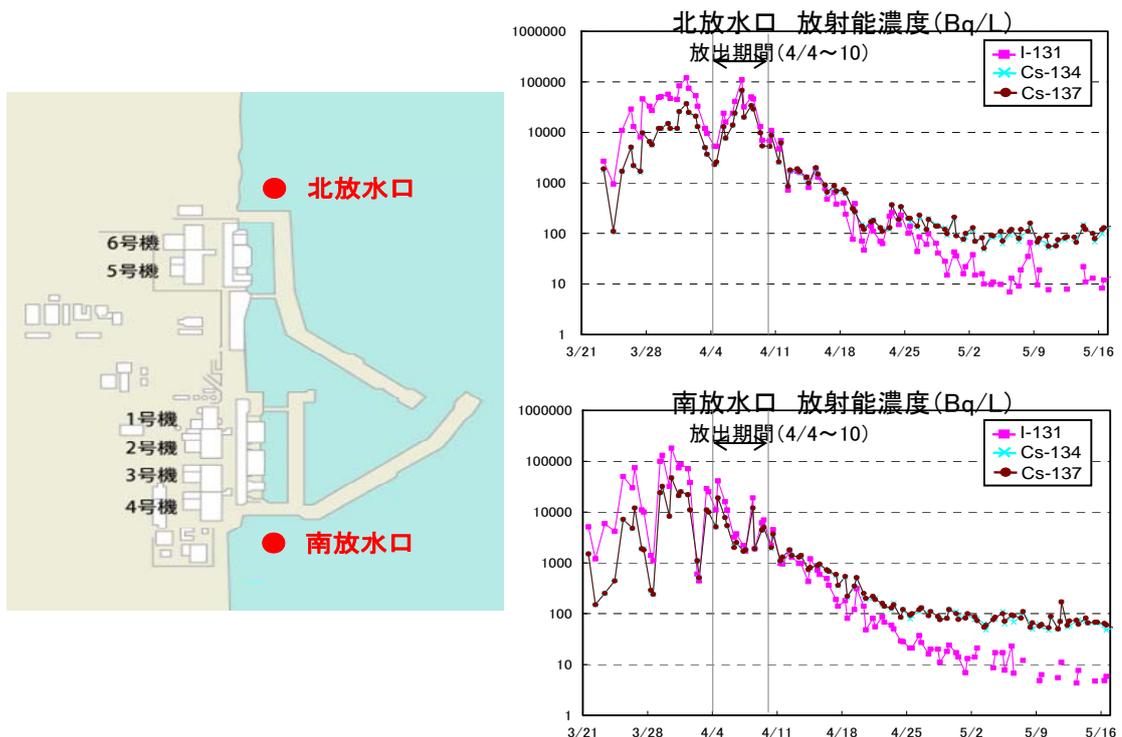
集中廃棄物処理建屋からの放出量は約9,070 m³、5号機及び6号機のサブドレンピットからの放出量は約1,323 m³、放出された全放射エネルギーは約1.5 × 10¹¹Bqであった。

	濃度 (Bq / cm ³)				放出量 (m ³)	放射エネルギー (Bq)
	I-131	Cs-134	Cs-137	合計		
集中廃棄物処理建屋	6.3 × 10 ⁰	4.4 × 10 ⁰	4.4 × 10 ⁰	1.5 × 10 ¹	9,070	1.4 × 10 ¹¹
5号機サブドレン	1.6 × 10 ⁰	2.5 × 10 ⁻¹	2.7 × 10 ⁻¹	2.1 × 10 ⁰	950	2.0 × 10 ⁹
6号機サブドレン	2.0 × 10 ¹	4.7 × 10 ⁰	4.9 × 10 ⁰	3.0 × 10 ¹	373	1.1 × 10 ¹⁰
計	—	—	—	—	10,393	1.5 × 10 ¹¹

放出の海洋への影響についてあらためて評価を行った結果、近隣の魚類や海藻等を毎日食べ続けると評価した場合、成人の実効線量は、年間約0.6 mSvであり、一般公衆が自然界から受ける年間線量の4分の1であり、放出前の評価結果と同程度であった。

この低濃度の汚染水などの海洋放出に際しては、原子力安全・保安院からの指示を受けて、海洋モニタリングを着実に実施するとともに、さらに、測定ポイント及び実施頻度を増加し、放射性物質の拡散による影響を調査・確認したうえで、その結果を公表してきた。

発電所近傍を含めた測定ポイントにおける放射能濃度については、放出前1週間の推移と比較しても、大きな変動は見られなかった。



今回の放出の完了に伴い、2号機タービン建屋内の極めて高い濃度の放射性廃液等については、集中廃棄物処理施設の建屋内における止水対策などが終了した4月19日から同施設の建屋に移送し、安定した状態で保管することとした。

また、5号機及び6号機のサブドレンピットに溜まった地下水については、屋外に設けた仮設タンク等に5月1日より受け入れることとした。

(7) 2号機取水口スクリーン付近からの放出量

2号機からの高濃度汚染水の流出については、本店、発電所とともに、高濃度汚染水の海洋への流出を一刻も早く食い止めなければならないという使命感と緊張感のもと、一体となって本店の検討チームと現場が連携し、生コンクリートの投入、高分子吸収材等の投入、トレーサー¹による流出経路の調査、凝固剤（水ガラス）注入などの諸対策を迅速に実施した結果、4月6日に停止した。以下のように、作業実施にあたっての作業員や資機材の調達が非常に困難を極めた。

- ・ 発電所は、漏えいを発見した後、迅速にコンクリートによって止水するため、コンクリート材料の手配を行ったが、発災により福島第一原子力発電所の近辺には生コンクリートを供給できる会社はなく、距離の離れたいわき市内の会社に発注せざるを得ない状況であった。また、福島第一原子力発電所に入構した車両は、放射性物質の影響で避難指示区域外では使用できなくなることから、Jヴィレッジで、別の生コンクリート車に積み替えが必要となるなど、生コンクリートの手配には時間を要した。
- ・ 止水作業は専門的な技術が必要であり、かつ、線量の高い作業環境において交代で作業を行う必要があったため、専門技術を有する複数の会社に発注しなければならなかったが、作業を請け負ってくれる会社がなかなか見つからなかった。発注できたのは、東京の専門会社であった。

2号機取水口スクリーンからの放出量は約520m³であり、放出された全放射エネルギーは約4.7×10¹⁵Bqであった。 【添付12-13】

	濃度 (Bq/cm ³)				放出量 (m ³)	放射エネルギー (Bq)
	I-131	Cs-134	Cs-137	合計		
2号機取水口スクリーン	5.4×10 ⁶	1.8×10 ⁶	1.8×10 ⁶	9.0×10 ⁶	520	4.7×10 ¹⁵

(8) 3号機取水口スクリーン付近からの放出量

2号機同様の事象を防止することを目的に、取水口周辺に存在するピットをコンクリート等で閉塞することにより、汚染水の流路を遮断する等の再発を防止する措置を順次、講じていたところ、5月11日、3号機スクリーンポンプ室において、電源ケーブルピットからスクリーン室のコンクリート壁に生じた貫通部を介して、新たに汚染水が流出していることが判明した。止水処理により流出は同日に停止した。

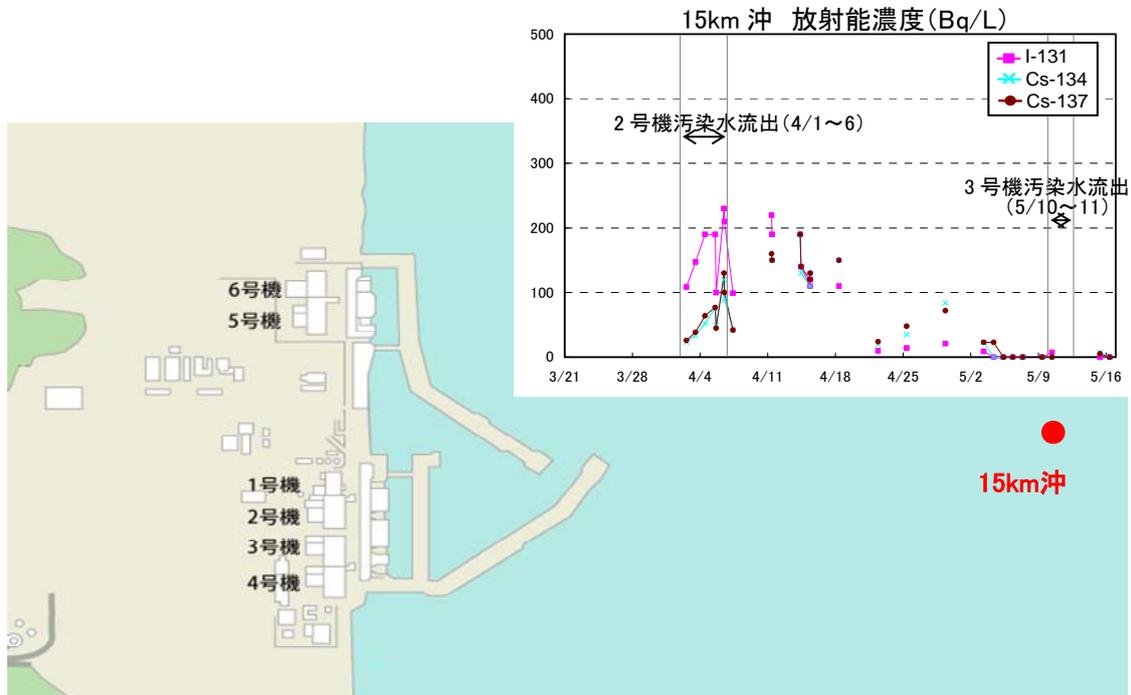
3号機取水口スクリーンからの放出量は約250m³であり、放出された全放射エネルギーは約2.0×10¹³Bqであった。 【添付12-15】

	濃度 (Bq/cm ³)				放出量 (m ³)	放射エネルギー (Bq)
	I-131	Cs-134	Cs-137	合計		
3号機取水口スクリーン	3.4×10 ³	3.7×10 ⁴	3.9×10 ⁴	7.9×10 ⁴	250	2.0×10 ¹³

¹ 液体等の流れを追跡するために使用される薬品等の物質

(9) 海洋への影響

2号機及び3号機の取水口スクリーンから高濃度の汚染水が流出した影響を監視するため、海洋モニタリングを継続して行っている。その結果、4月5日頃から4月20日頃にかけて、発電所近傍のみならず、発電所沖合15km及び周辺海域30kmポイントにおいても、2号機汚染水の流出の影響と思われるピークの上昇が観察されている。



その後、放射能濃度は減少傾向を示し、5月初めには、全般的に検出限界値以下（約10Bq/L）となった。また、3号機からの流出の影響については、5月15日に採取した沿岸15km地点のモニタリング結果においても、ほとんどが検出限界値以下となっており、現状ではその影響は観察されていない。【添付12-16】

(10) 汚染水の流出防止・拡散抑制強化対策

確認した流出経路を踏まえ、以下の流出防止対策を行うとともに、流出した場合に備えた拡散抑制対策を実施した（一部実施中及び実施予定）。

また、建屋、トレンチ等に滞留する高濃度の汚染水の止水、回収及び処理、地下水流入抑制対策を進め、廃炉に向けた障害を取り除いていく計画である。【添付12-17】

①流出防止対策

- 流出経路の上流部に位置する海水配管トレンチの閉鎖
タービン建屋の高濃度汚染水が海水配管トレンチを経由して海洋に流出することを防ぐため、2～4号機海水配管トレンチの立坑部を閉鎖した。(H23/4/5～H23/6/2)

- 流出リスクのあるピットの閉塞

タービン建屋の高濃度汚染水が電源ケーブルトレンチやピットを經由して海洋に流出することを防ぐため、2、3号機における流出事象と類似のスクリーンポンプ室に隣接する全ピットを閉塞した。(H23/4/2～H23/5/19)

海水配管トレンチと電源ケーブルトレンチとの接続部近傍のピット等、接続経路が確認できないピットを含めて、流出の可能性のある全ピットを閉塞した。(H23/5/25～H23/6/25)
- 護岸の損傷箇所の閉塞

地震に伴い鋼矢板が破れている護岸がある。損傷箇所に近接するトレンチがないことなどから、損傷箇所から汚染水が流出することは考えにくいだが、念のため損傷部分においてグラウト材充填による止水対策を実施した。(H23/6/9)
- 1～4号機スクリーンポンプ室の隔離

2号機スクリーンポンプ室からの流出は停止したが、依然、タービン建屋の高濃度汚染水の水位が上昇していたことから、2号機スクリーンポンプ室前面に、応急対策として鉄板を設置した。(H23/4/12～H23/4/15)

2号機以外のスクリーンポンプ室からの流出の恐れがあることから、水平展開として1～4号機の各スクリーンポンプ室前面に角落としを設置した。(H23/6/12～H23/6/29)
- 大型土嚢及びシルトフェンス¹の設置

1～4号機取水路開渠南側の堤防が損傷しており、取水路開渠に流出した放射性物質が外洋に流出する可能性がありこれを防ぐため、1～4号機取水路開渠南側に大型土嚢を設置した。(H23/4/5～H23/4/8)

取水路開渠に流出した放射性物質が外洋に流出する可能性がありこれを防ぐため、1～4号機の各スクリーンポンプ室前面及び1～4号機取水路開渠北側・南側に、応急対策として、シルトフェンスを設置した。(H23/4/11～H23/4/14)
- 透過防止工破損箇所の復旧

取水路開渠に流出した放射性物質が外洋に流出する可能性がありこれを防ぐため、取水路開渠南側の透過防止工のうち、津波により破損した箇所について、鋼管矢板による閉塞工事を行い、破損箇所を復旧した。(H23/7/12～H23/9/6)
- 2，3号機ポンプ室循環水ポンプ吐出弁ピット閉塞工事

比較的高い濃度の放射性物質を含む溜まり水が確認された2，3号機ポンプ室循環水ポンプ吐出弁ピットについては、海に近いため、海への流出防止対策として、溜まり水を移送し、高流動コンクリート等で充填する(H24/4/15から開始し、工期は2ヶ月の予定である)

¹ 水中にカーテンを張ることで拡散する汚濁水を滞留させることができる水中フェンス

②拡散抑制対策

- ・ 前面海域の海水からの放射性物質の除去
海水中に流出した放射性物質の除去を目的とし、ゼオライト土嚢を投入した。
(H23/4/15, H23/4/17, H23/4/19)
ゼオライトを装填した海水循環型浄化装置の運転 (H23/6/13～) を実施している。
- ・ 地下水を經由した海洋汚染の防止対策
現時点では、建屋内の滞留水の水位は地下水の水位と同程度であり、地中へ大量に流出することはないと考えられるが、今後、滞留水が地中へ漏出し、海洋汚染を拡大させる可能性は否定できない。このため、1～4号機の既設護岸の前面に、原子炉建屋周りの難透水層の透水係数と同程度となる 10^{-6} cm/s e c の遮水性を有する鋼管矢板による遮水壁(海側)を設置するとともに、遮水壁(海側)と既設護岸との間に地下水ドレンを設置し、地下水が海洋に漏れ出さないように管理する計画である。遮水壁(海側)の延長は約800m、鋼管矢板の長さは22～24mで、下部の難透水層まで根入れする計画である。(H23/10/28から開始し、工期は約2年の予定である)
- ・ 港湾内海底土被覆工事
海底土のサンプリング結果から、港湾内の海底土からは比較的高い濃度の放射性物質が検出されている。海底土については波浪等の影響による港湾外への拡散が考えられることから、海底土を固化土により被覆することにより、海洋汚染拡大防止を図る。
(H24/2/25から開始し、工期は3～4ヶ月の予定である)

③建屋、トレンチ等に滞留する高濃度の汚染水の止水、回収及び処理

原子炉建屋(格納容器下部を含む)については、漏えい箇所を特定した後に新たに開発した材料を活用して補修(止水)する予定である。建屋内への地下水の流入や建屋外への汚染水の流出を防止するため、原子炉建屋やタービン建屋等に滞留する汚染水を回収する場合は、建屋周辺の地下水位も同時に低下させながら行う。トレンチ等に滞留する汚染水については、可能な箇所についてはすでに回収を始めており、止水が困難と想定される箇所については工法等を検討したうえで止水・回収を行う。回収した汚染水については、プロセス主建屋等の汚染水処理装置で処理する。

なお、建屋やトレンチ等に滞留する汚染水を回収するまで汚染水の水位を周辺の地下水位や設定した制限値以下に維持していく。

④地下水流入抑制対策

- ・ サブドレン水の水位低下による地下水流入量の低減
現在、サブドレン水の水位は、建屋内滞留水が建屋外に流出しないように、建屋内滞留水の水位より高くするよう水位管理を行っている。そのため、建屋内には1日当たり $200 \text{ m}^3 \sim 500 \text{ m}^3$ 程度の地下水が流入しており、流入した地下水も含めて水処理装置で処理を行っている。地下水流入量の抑制(水位管理)の観点からは、建屋に近いサブドレンの復旧が最適な方策と考えられるものの、津波によってサブドレンピットの蓋が開放し地表から放射性物質が雨により流れ込んでいるため、僅かな汚染

が確認されていること、原子炉建屋カバー工事等の周辺工事と干渉するサブドレンピットや、高線量雰囲気下のサブドレンピットがあることから、短期間で全てのサブドレンを復旧することは困難な状況である。

そのため、建屋に流入する地下水抑制策として、実施可能なサブドレンピットからピット内の水を排水可能レベルまで浄化し、ポンプで汲み上げることにより、建屋周辺の地下水位と建屋滞留水の水位の差を減少させ、建屋への地下水流入量低減を図る計画である。

現在、一部のサブドレンピット内の浄化試験ならびに汲み上げ試験によりサブドレンピット内に流入する地下水の水質確認を平成24年5月まで実施し、試験結果の評価を実施していく予定である。

サブドレン設備の復旧については計画的に行っていくこととし、平成24年度中に周辺工事と干渉せず復旧作業が可能なピットについて順次浄化及び復旧を行い、平成25年度以降に周辺工事等と干渉するピットについて、ピットの新設等を含め、復旧方法を検討した上で、復旧を行っていく予定である。

- 地下水バイパスによる地下水流入量の低減

建屋周辺の地下水は、山側から海側に向かって流れていることから、建屋の山側(0.P.+3.5m盤)で地下水を揚水し、その流路を変更して海にバイパスすることにより、建屋周辺の地下水位を低下させ、建屋への地下水流入量の低減を図っていく。

この地下水バイパスの稼働により、建屋周辺の地下水位については、原子炉建屋山側で3m程度、タービン建屋海側で1m程度、現況より低下する見込みであり、これに伴い、建屋内への地下水流入量を半分程度に抑制できるものと想定している。

地下水バイパスの稼働にあたっては、段階的な稼働とモニタリングにより、水質及び地下水低下状況等を確認していく。また、揚水した地下水については、モニタリングの結果を踏まえ専用の水路で海にバイパスする等、汚染拡大防止に万全を期すとともに、建屋内滞留水が建屋外に漏れ出さないように慎重な水位管理を実施していく。

なお、本計画は、サブドレン復旧の補助的な取り組みとして、サブドレンの復旧と並行して実施することとし、準備が整い次第、揚水井・水路等を設置し、段階的に揚水井を稼働していく。

12.3 放出量評価

(1) 大気への放射性物質の放出量評価

大気への放射性物質の放出量を推定するにあたり、事故前であれば排気筒放射線モニタを使用して評価可能であったが、震災の影響で排気筒放射線モニタなど様々な計器が使用できなかったことから、炉心の状況の解析や建屋に付着した放射性物質の量から大気へ放出された放射性物質の放出量を評価することが困難となった。このため、モニタリングカーなどで測定された環境中のデータ（風向・風速・雨量・空間線量率）や土壌の汚染密度から放出量を推定した。推定方法として、計算プログラムを用いて実測の空間線量率データを再現する方法を用いた。

なお、4月以降の放出量は、3月の放出量の1%未満であったことから、大気への放出量の推定期間は平成23年3月12日から同年3月31日までとした。

①大気への放出放射能量の推定方法

当社所有の大気拡散の計算プログラム（名称：DIANA¹）は、ある一定のエネルギーの仮想粒子（0.5MeV換算（1MeV=1.6×10⁻¹³J））の放出率（Bq/10分）と気象データを入力すると、指定した場所と時間の空間線量率と土壌沈着量を評価できるシステムである。

DIANAに気象データを入力し、仮想粒子（0.5MeV換算）の放出率（Bq/10分）を仮定し、事故後から発電所構内で走行しているモニタリングカーなどで測定した実測空間線量率と比較し、実測の空間線量率データに一致する0.5MeV換算の仮想粒子の放出率を求めた。具体的な評価方法は以下の通りである。

- DIANAの評価ステップが10分であるため、上記の作業を3月12日から31日まで繰り返し（約15,000ステップ）、3月中の0.5MeV換算の仮想粒子の放出率（Bq/10分）の総量を評価する。
- 0.5MeV換算の仮想粒子に対して、希ガス・ヨウ素・セシウムごとに放出量を振り分け、核種毎の総量を評価した。
- 推定したCs-137の放出率と気象データをDIANAへ入力し、拡散計算を行い環境中の土壌沈着量を計算した。
- 文部科学省による実測の土壌沈着量と比較し、放出量の妥当性を確認した。

¹ DIANA (Dose Information Analysis for Nuclear Accident)は、放出された放射性物質から、3次元移流拡散線量を評価する計算コード

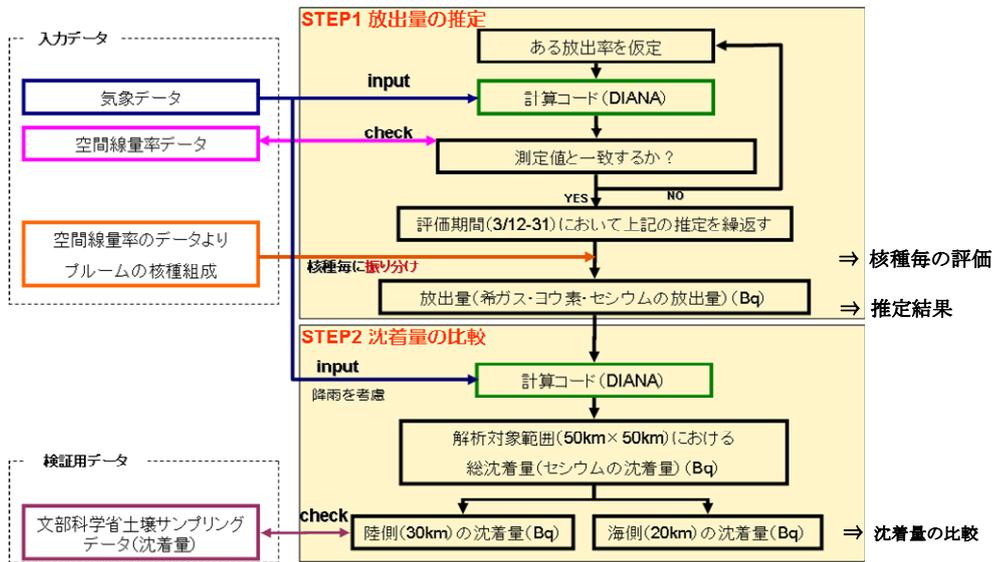
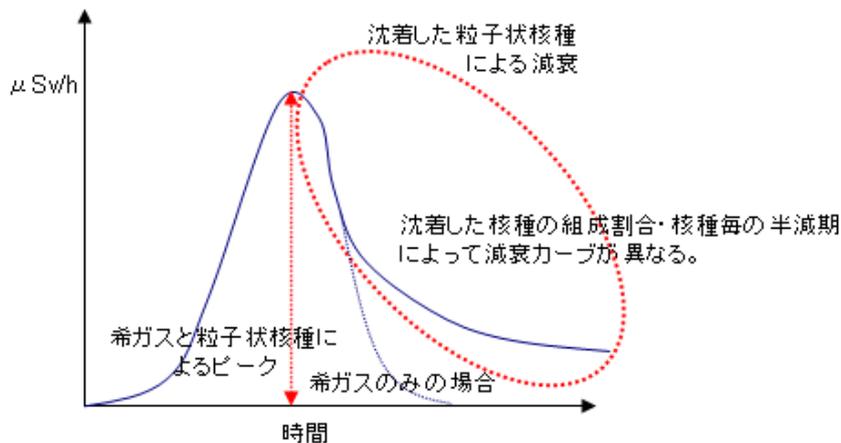


図1 評価方法の概要図

放射性物質が放出されると、放射性物質は蒸気雲として風の流れに乗り、空間線量率データを変動させる。蒸気雲が希ガスだけで構成されていれば、空間線量率データは、蒸気雲通過後、蒸気雲通過前の値に戻る。

しかしながら、実際の蒸気雲には、希ガスのほかやヨウ素・粒子状核種（セシウムなど）が含まれており、ヨウ素・粒子状核種は地上へ沈着する。この現象によって、測定場所周辺のバックグラウンドの線量率が上昇し、地上で測定している空間線量率も上昇する。また、沈着したヨウ素・粒子状核種は、その核種の半減期に従って減衰していく。

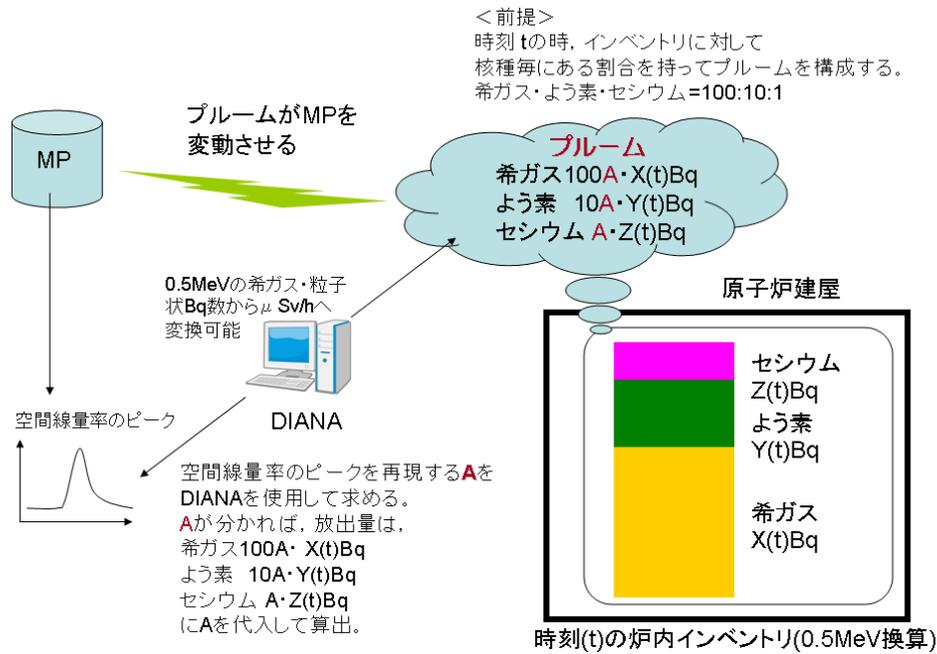


0.5 MeV換算の仮想粒子を核種毎に割り振りをするために、空間線量率の測定データ（ピーク）を複数個選択して、粒子状核種毎の炉内インベントリ¹からの放出されやすさの比を求めた。

DIANAを使用して、沈着したヨウ素・粒子状核種による空間線量率の減衰のカーブと一致する各粒子状核種の放出されやすさを示す比を変えた結果、減衰のカーブをおおよそ再現する比は、10:1であった。

次に、空間線量率データとバックグラウンドの線量率が概ね一致する希ガス、ヨウ素、セシウムの放出されやすさを示す比として、100:10:1を使用することとした。上記の比と評価時点の炉内インベントリから、0.5 MeV換算の仮想粒子を核種毎に振り分けた。

¹ インベントリとは、ある場所にある全ての物のリストのことを意味し、在庫、一覧表など分野に応じて固有の意味で用いられる。炉内インベントリといった場合、特にここでは炉内に含まれる燃料に内包される全放射線量(核種とその存在量のリスト)の事を指している。



②推定結果

推定結果は、表1のとおりとなった。Cs-137に関しては、他機関とほぼ同等な評価値となった。I-131に関しては、他の機関の評価よりも、3倍程度多い結果となった。当社の評価は、評価期間全体にわたって1～3号機の炉内インベントリからの放出されやすさの比について、一定の値を使っているため、I-131の放出量が多くなっている可能性がある。

表1 当社の推定結果と他機関での推定値

	評価期間	放出量 単位:PBq ¹				(参考) INES 評価 ²
		希ガス	I-131	Cs-134	Cs-137	
当 社 ³	3/12-31	約 500	約 500	約 10	約 10	約 900
日本原子力研究開発機構 原子力安全委員会 (H23/4/12. H23/5/12)	3/11-4/5	-	150	-	13	670
日本原子力研究開発機構 原子力安全委員会 (H23/8/22)	3/12-4/5	-	130	-	11	570
日本原子力研究開発機構(H24/3/6)	3/11-4/1	-	120	-	9	480
原子力安全・保安院 H23/4/12	-	-	130	-	6.1	370
原子力安全・保安院 H23/6/6	-	-	160	18	15	770
原子力安全・保安院 H24/2/16	-	-	150	-	8.2	480
IRSN (仏・放射線防護原子力安全研究所)	3/12-22	2000	200	30		-
(参考) チェルノブイリ原子力発電所の事故		6500	1800	-	85	5200

¹ 1 PBq (ペタベクレル) = 1000 兆 Bq = 10^{15} Bq

² INES 評価 (国際原子力指標尺度) は、放射エネルギーをよう素換算した値。他機関との比較のため I-131 と Cs-137 のみを対象とした。(例: 約 500PBq + 約 10PBq × 40 (換算係数) = 約 900PBq)

³ 当社の推定値は、2桁目を四捨五入しており放出時点の Bq 数。希ガスは、0.5MeV 換算値。

③沈着量の比較

文部科学省が実施したCs-137の土壤汚染密度測定値から、DIANAが評価できる範囲（陸側30km×南北50km）におけるCs-137の総沈着量を1PBqと算出した。

DIANAによる沈着量評価値は、約1PBqであった。この結果から、概ね妥当な推定結果であると考えている。

(2) 海洋（港湾付近）への放射性物質の放出量評価

海洋（港湾付近）への放射性物質の放出量の推定にあたり、放出経路として港湾付近への降下物（大気放出の一部）、発電所施設（集中廃棄物処理建屋、2、3号機スクリーンポンプ室）からの直接放出、雨水からの流れ込み等が考えられるが、限られたモニタリングデータからこれらを個別に算出することは不可能であることから、海洋（放水口付近）での放射能濃度の観測値から放出量を推定（逆推定）した。

計算は、電力中央研究所が開発した放射性物質の海洋拡散シミュレーションの計算コードを用いて電力中央研究所にて実施した。

推定を行った期間は、平成23年3月26日から同年9月30日までとした。

①海洋（港湾付近）への放出放射エネルギーの推定方法

- 電力中央研究所が領域海洋モデル（Regional Ocean Modeling system：ROMS¹）をベースに開発した放射性物質の海洋拡散シミュレーションの計算コードを用いて、仮の放出量による移流拡散計算を行い、モニタリングデータ（福島第一原子力発電所の放水口付近での海水中放射能濃度）を再現する放出量を逆推定した。
- ROMSは、短期気象予測システムの結果（風速、波浪、気圧、気温等）を基に拡散計算を実施するモデルであり、広域の海洋再解析データ（HYCOM¹）を予測の精度を高めるために利用している。
- 手順としては、まず仮の放出率を仮定して、海域での拡散計算を行い、モニタリングデータを再現する放出率を逆推定した。その結果を、評価期間全体で積算して海洋への放出量を算出した。
- 求めた放出量を元に、拡散計算を行い、福島第二原子力発電所付近（発電所北側、岩沢海岸）の海水中放射能濃度について、計算値と実測値の比較を行い、結果の妥当性を確認した。

¹ 参照：電力中央研究所 研究報告 V11002 2011
<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/V11002.html>

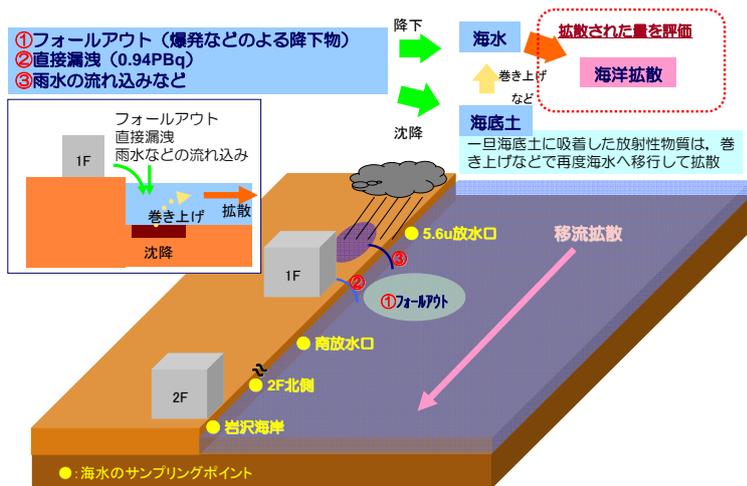


図1 港湾付近における海洋への放射性物質の放出の概念図

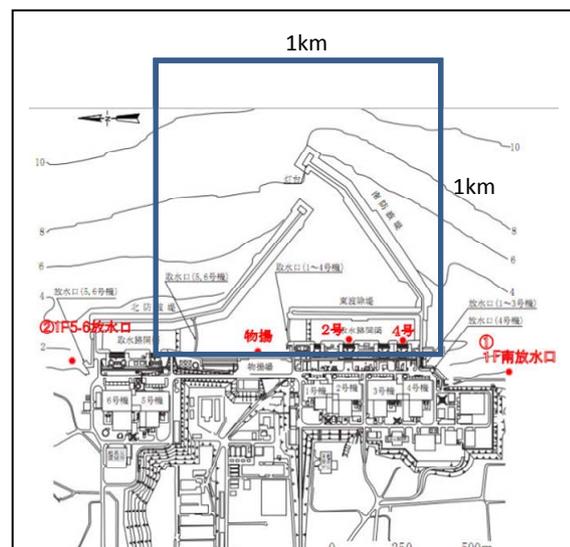


図2 設定した放出源領域

移流拡散計算をするにあたり、放射性物質を海洋へ拡散させる仮の放出源領域（図2）を設定した。（水平解像度：1 km×1 km，鉛直20層（水深500mまで考慮））
 仮の放出量による移流拡散計算を行い、モニタリングデータ（海水中放射性物質濃度）を再現する放出量を逆推定した。

②周辺海域のモニタリング結果の再現性（図3，図4）

計算結果は、福島第一原子力発電所放水口付近及び福島第二原子力発電所付近の濃度変化を再現している。（3/26～9/30の比較）

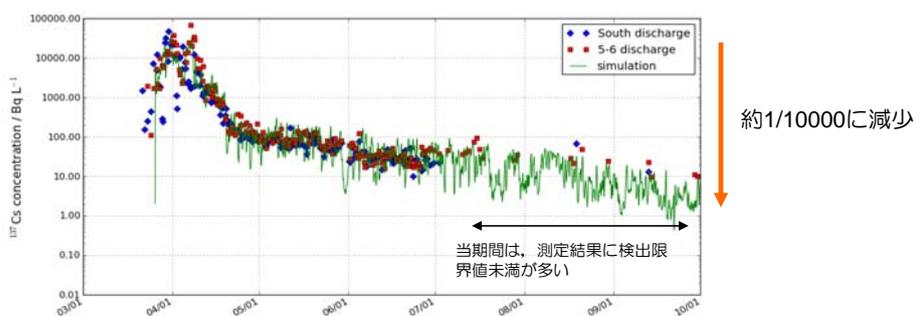


図3 福島第一原子力発電所放水口付近の海水中放射能濃度

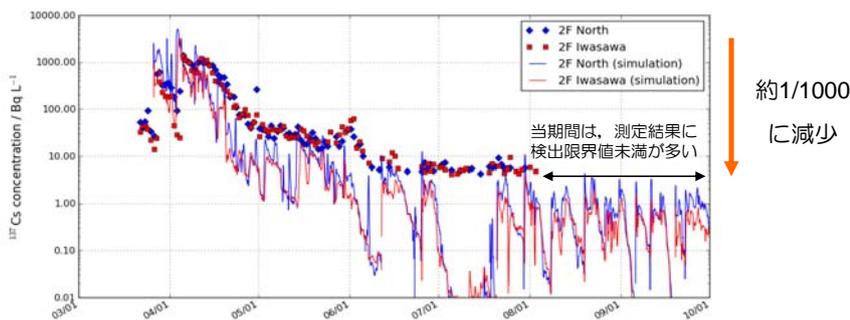


図4 福島第二原子力発電所付近の海水中放射能濃度

③福島第一原子力発電所港湾付近から放出される放射エネルギーの推定結果（図5，表1，2）

3，4月は、発電所施設からの直接漏洩に加え、大気からの降下や雨水の流れ込みなどにより放射性物質が海洋へ流入したと考えられる。図5に逆推定により得られた1日あたりの放出率を示す。5月以降、拡散量は大きく減少しているが、0にならないのは、海底土の巻き上げや雨水からの流れ込み等による放射性物質の拡散が生じていると考えられる。

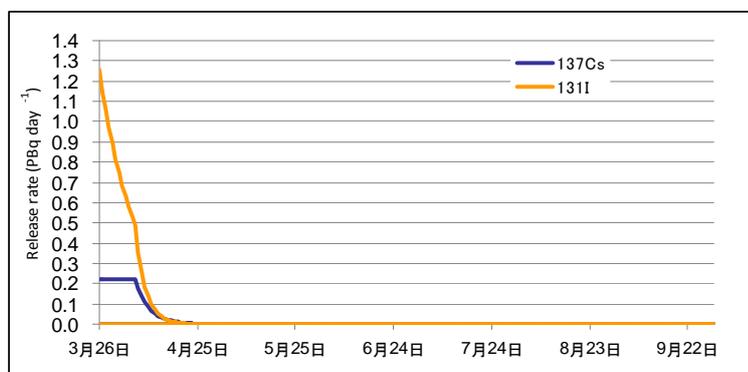


図5 3/26以降の放出率（Bq/日）の推移

得られた放出率の結果を、評価期間全体で積算して海洋への放出量を算出した結果は表1のとおりとなった。また、他機関との比較を表2に示す。

表1 放出量の算出結果（単位：PBq）

核種	総量	3/26-31	4/1-6/30	7/1-9/30	備考
I-131	11	6.1	4.9	5.7E-6	直接漏洩（2.8）を含む (4/1-6 4/4-10 5/10-11)
Cs-134	3.5	1.3	2.2 (1.26+0.94)	1.9E-2	直接漏洩（0.94）を含む (4/1-6 4/4-10 5/10-11)
Cs-137	3.6	1.3	2.2 (1.26+0.94)	2.2E-2	直接漏洩（0.94）を含む (4/1-6 4/4-10 5/10-11)

表2 各機関の算出結果との比較

	評価期間	放出量 単位:PBq		
		I-131	Cs-134	Cs-137
当社（電中研）	3/26-9/30 (注1)	11	3.5	3.6
日本原子力研究開発機構	3/21-4/30 (注2)	11.4	—	3.6
IRSN（フランス放射線防護原子力安全研究所）	3/21-7月中旬	—	—	27

(注1) サンプルを開始した3/21から3/25の間の放出量は、¹³⁷Csで0.1PBq程度と試算しているが、I-131とCs-137の比率から大気放出によるものが主と考える。

(注2) 大気放出分を含む。

1 3. 放射線管理の対応評価

1 3. 1 地震発生前の放射線管理

地震発生前の福島第一原子力発電所では、放射線管理区域（以下、「管理区域」）は、壁、さく等の区画物により区画するほか、標識を設けることにより、ほかの場所と区別を行い、放射線等の危険性の程度に応じて人の立入制限などの出入管理を行っていた。立入制限は、必要のない者以外を立ち入らせないよう、許可を得た者だけが入域できる仕組みとしており、管理区域内で作業を行う場合には、作業を行う者を放射線業務従事者に指定し、作業員一人一人が警報付き個人線量計(Alarm Pocket Dosimeter: A P D)を携帯するとともに、放射性物質の汚染のレベルなどに応じて、保護衣・保護具類を装着して作業にあたることとしていた。また、作業の線量は、作業終了後、A P Dの線量を自動的に読み取り一元的な記録・保管を行うシステムにより、毎日の個人別線量、作業員別線量や企業別線量等の集計及び統計処理などを行っていた。個人被ばく線量管理は、このような外部線量だけでなく、内部線量を評価するために、発電所内に設置したホールボディカウンタ(Whole Body Counter: W B C)による定期的な測定を行っていた。

気体の放射性物質の放出管理等については、排気筒放射線モニタにより連続的に希ガスの放出を監視するとともに、定期的に放射性ヨウ素及び粒子状放射性物質の測定・評価を行っていた。また、周辺監視区域境界近傍8箇所に設置したモニタリングポスト(M P)により、空間線量率の監視を連続的に行い、周辺環境への影響がないことを確認していた。この希ガスやM Pの監視状況は、インターネットHPにて公表するとともに、常時、国の緊急時対策支援システム(E R S S)にも伝送されていた。

1 3. 2 地震発生後の放射線管理

(1) 放射線管理の概要

地震発生後の津波や炉心損傷事故、建屋の爆発により、従来の管理区域という枠組みで他の場所と区別することが意味をなさないものとなった。また、管理区域の出入管理箇所に設けていたA P D及び貸出装置(充電器)については、津波による浸水などにより機能が喪失し、さらには電源喪失により、従前より実施されていた管理区域入退域管理、被ばく線量集計などの各種の管理システムの機能も喪失した。

さらに、電源がなくなったことから排気筒放射線モニタに加えて、モニタリングポスト(M P)が機能せず、モニタリングカーを出動して、発電所敷地境界付近などの環境測定(空間線量率、気象データなど)を開始し、3月12日には柏崎刈羽からの応援のモニタリングカーを含め2台のモニタリングカーで測定を行った。

また、「免震重要棟」に設置された発電所対策本部において、発電所に係わるすべての放射線管理業務を一元的に行うこととした。

3月12日未明には敷地内の放射線レベルが高くなったため、地震発生前であれば、管理区域内に限り携帯していたA P Dや、汚染レベルの状況などに応じて装着していた保護衣・保護具類についても、免震重要棟から出て作業を行う場合には携帯・装着する

こととした¹。

大規模な放射性物質の放出と建屋の爆発は、敷地全体の放射性物質による汚染だけでなく、やがて免震重要棟内の汚染をも招く結果となった。敷地全体の汚染は、バックグラウンドレベルの上昇を招き、敷地内に設置していたWBC（ホールボディカウンタ）による内部被ばくを評価することを困難にした。

事故対応を行うにあたり、免震重要棟以外の拠点も必要となり、福島第一原子力発電所の南約20kmの地点にあるサッカー練習施設「Jヴィレッジ」をその拠点として活用することとし、緊急作業に携わる作業員への教育や防護装備の着用や免震重要棟を経由しないで福島第一原子力発電所の構内で作業を行う場合の線量計の貸出を3月17日よりJヴィレッジで開始した。Jヴィレッジは復旧作業が本格化するにつれ、多くの作業員を受け入れることになり、免震重要棟内では活動するためのスペースが限られているなかで、新たに発電所構内で作業に従事する者を受け入れるために必要な手続き等を行う拠点として有効に機能した。また、緊急作業に従事した作業員の内部被ばくの評価に用いるWBCについては、日本原子力研究開発機構（JAEA）から車載型WBCを借用し、小名浜コールセンターなどで測定を行うなどの対応を行った。

（2）格納容器ベント操作時の環境影響評価

格納容器ベント操作に先立ち、放出される放射能による環境影響評価を行う際、発電所に設置していた原子力発電所周辺線量予測評価システム（DIANA）が使用不能であったことから、本店対策本部保安班が本店に設置してあるDIANAを用いて評価を行った。しかしながら、排気筒放射線モニタや気象観測装置からのデータが使用不能であったことから、実際の放出事象を反映した評価の代わりに重大事故が起こった場合を仮定とした放出放射能及びモニタリングカーの気象データを入力し、気象条件一定での評価を実施し、関係各所への通報連絡を行った。

（3）免震重要棟等の状況と線量低減対策

福島第一原子力発電所の事故対応の拠点となった免震重要棟には多くの人が集まったが、周辺環境の悪化とともに、免震重要棟の環境も悪化していくこととなる。その状況と環境を改善するための取り組みを以下に述べる。

免震重要棟内の出入口は1箇所であり、人の出入りも物品の搬出入もこの出入口から実施している。出入口は二重扉になっており、一方の扉を開ける時には、他方の扉を閉鎖し、外気が直接吹き込んでくることのないように管理を実施した。特に、屋外から免震重要棟へ入る人や物については、扉と扉の間の空間で保護衣等を取り外し、免震重要棟に入ってすぐの場所で汚染のチェック及び汚染の除去を行う対処を実施した。このように、免震重要棟の入口の二重扉の開閉を24時間体制で実施するとともに、通常時の

¹ 事象の急速な進展に伴い、状況に応じて、以下のような放射線防護上の措置を講じた。

- 3月11日23時05分 1号機原子炉建屋の放射線量の上昇を確認したことから、発電所長は原子炉建屋への入域を禁止
- 3月12日4時57分、免震重要棟に戻ってきた作業員に汚染が確認されたことから、現場へ行く作業員にチャコールフィルタ付全面マスクの着用を指示
- 3月12日4時55分、発電所構内における放射線量が上昇したことを確認
- 3月12日5時04分 中央制御室でのダストマスク着用、現場でのチャコールフィルタ付全面マスクの着用を指示
- 3月13日 40歳未満の者及び40歳以上の希望者に対しヨウ素剤の服用を指示

4 B q / c m²の汚染確認はできなかったもののバックグラウンドを超える汚染については除染・養生を行うなど、できる限りの懸命な出入管理を実施していた。しかしながら、放射性物質の放出と爆風による出入口（二重扉の外扉）の歪みの影響で、外気が浸入して免震重要棟内の放射性物質濃度が上昇した影響により、当社女性社員が法令の線量限度を超えることになった。（詳細については13.3（2）①参照）。

また、3月12日未明の作業において免震重要棟に戻ってきた作業員30名程度に身体汚染が確認された。原子力災害発生時のスクリーニングレベルに関する考え方が予め定められていなかったこともあり、汚染拡大防止のための措置として、一時、会議室に隔離し、バックグラウンドが低い場所でより正確な測定を行うために川内村まで移動したが、既に、川内村のバックグラウンドも上昇しており測定をあきらめて免震重要棟に戻っている。

事故直後より膨大な量の作業に対応するため、免震重要棟に寝泊まりして復旧作業に従事する作業員が多数滞在したため、滞在中の被ばく線量を低減する必要が生じた。このため、常設のチャコールフィルタ付空調設備に加え、チャコールフィルタ付局所排風機の導入や入退域に際して汚染を持ち込まないための入口付近への仮設ハウスの設置、放射性物質が付着しやすく汚染除去がしにくいOAフロアマットから除染が容易なタイルへの変更やシートによる養生、線量率の低減を目的とした窓などへの鉛による放射線遮へいの設置などの対策を順次実施していった。これらの対策の結果、免震重要棟における空間線量率は徐々に低下していった。【添付13-1】

また、免震重要棟と同様に、事故直後より原子炉の計器監視などのため長時間の滞在となる中央制御室についても、運転員及び作業員の入室中の被ばく線量を低減する観点から、チャコールフィルタ付局所排風機の導入（1～6号機中央制御室：平成23年4月4日～）や入退域に際して汚染を持ち込ませないためのサーベイエリア等の設置と監視を行った（運転員が常駐する5、6号機中央制御室：平成23年3月30日～）。

これに加え、事故の早期収束を図るべく、多くの作業員が緊急作業に携わることになり、放射線管理上の資機材について不足したことから、現場からの回収や新たな発注を行うなどして確保に努めた。

【添付13-2】

（4）「Jヴィレッジ」及び「小名浜コールセンター」の出入拠点

3月15日、関係者と調整の上、Jヴィレッジが使用できることとなり、ここを福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所への出入拠点とすることとした。

当初、本店対策本部保安班メンバー3名が派遣され、出入拠点の設営に当たった。当時、電気・水道・通信設備などのインフラが整備されていない中、車両・人間の動線を考えた区画及びサーベイ、保護衣・保護具・線量計の配備、発生する廃棄物の仮保管場所の確保などに追われるとともに、放水活動のために出動する自衛隊、警察、消防などの連絡役及び福島第一原子力発電所までの誘導、福島第一原子力発電所の電源復旧に向かう工務・配電部門の作業員のための放射線管理などを実施した。

これらに加え、置き去りにされたペットが連れてこられた場合のサーベイ実施、警戒区域内に廃棄されていたカバーオールの回収を行うなど福島第一原子力発電所の事故に関係した様々な対応要請があった。

Jヴィレッジでは、設営以降、順次体制を強化し、設備も充実させることにより、現在に至っている。

一方、「Jヴィレッジはバックグラウンドが高く、6,000cpmでのスクリーニングが困難である」との連絡を現地から受けたため、本店対策本部保安班は人のサーベイ拠点の小名浜コールセンターに設置することとした。Jヴィレッジ-小名浜コールセンター間は専用バスによる移動とし、この時点では車両は、Jヴィレッジに駐車させておくこととした。その後車両については、3月23日に広野総合グラウンドにおいてサーベイを開始した。

なお、小名浜コールセンターの運用開始にあたっては、本店対策本部保安班メンバー2名を専任し、現地を視察し、人の動線を考慮した必要設備の配置を行い、インフラ整備なども総務・労務・建築など社内関係者と連携を取り実施した。サーベイ要員には、電力支援チームの放射線管理員を依頼した。また、運用開始前日に専用バスを東京から小名浜コールセンターに向かわせる際、Jヴィレッジより退域してくる作業員の身体・着衣に汚染があることを想定し、作業服、トレーナー、スエットスーツ、Tシャツなどの着替えを大量に購入し、合わせて搬送した。これらの事前の対策により、Jヴィレッジのサーベイ拠点設置当初に見られた混乱はなく、初日からスムーズな退域を実現させることができた。

4月20日、スクリーニングレベルを見直したことから、Jヴィレッジにおけるスクリーニングが可能となり、小名浜コールセンター及び広野総合グラウンドでのスクリーニングは廃止し、Jヴィレッジに機能を一元化させた。

(5) 緊急時における被ばく線量基準、スクリーニング基準

福島第一原子力発電所における事故対応において、作業環境から判断して作業員の累積被ばく線量が増加することは明らかであり、事故への対応作業を継続するためには、現行の線量限度以内での実施が懸念される状況となっていた。法令で定められた当時の緊急作業時の線量限度は100mSvであったことから、官邸に詰めていた当社社員を経由して、原子力安全委員会及び原子力安全・保安院に対して、法令の定める線量限度の見直しについて相談した。その後、官邸から本店対策本部保安班に対して線量限度の引き上げに関する問い合わせがあったことから、線量限度を遵守しつつ作業を継続することは難しいため、線量限度を引き上げて頂けると助かる旨を回答した。このような活動を受け、3月14日午後、官邸において、緊急作業時の線量限度を100mSvから250mSvに引き上げることが決められた。250mSvの設定根拠については、当社は知る立場にないが、「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(政府事故調査委員会)」の中間報告書によれば、国際放射線防護委員会(ICRP)で定める緊急時の線量限度下限値の半分の値、あるいは原子力委員会が示していた暫定的な判断の目安値を考慮して決定したとされている。

緊急作業で受けた線量の線量限度管理上の適用方法に関する議論がその後にあった。福島第一原子力発電所での緊急作業に従事中は緊急時の線量限度が適用されるものの、その後他の原子力施設などで従事する場合は通常時の線量限度(100mSv/5年かつ50mSv/年)が適用されるが、後者の適用において、先に受けた緊急作業での線量を合算して線量限度を適用させるか、別枠と扱うかについてである。ICRP勧告及びICRP2007年勧告の取入れに関する審議結果を纏めた放射線審議会基本部会の中間報告では、緊急時の線量は通常時とは切り分けて取り扱われる旨が示されていること、そして、福島第一原子力発電所の事故収束のほか、今後の全国での原子力発電所の定期検査等への対応を円滑に行う観点から、緊急作業での線量は、後に行う通常作業

の線量限度管理において別枠とすべき点（緊急作業の線量と通常作業の線量を独立させ、それぞれの線量限度を適用させる）について、経済産業省を通じて意見発信を行ってきた。しかし、通常作業での線量限度管理においても、緊急作業線量の履歴があれば、これを含めて100mSv/5年を遵守するよう、厚生労働省から通達が発出された。

緊急時の線量限度については、その後も厚生労働省が主体となって検討を行い、11月1日付けで、施行前に従事していた作業員を除き、特にやむを得ない緊急の場合で厚生労働大臣が定める場合以外は線量限度を100mSvに戻す省令を施行した。

一方、福島第一原子力発電所における事故の発生後、汚染エリアとの出入り管理の拠点をJヴィレッジや当社小名浜コールセンターに設置するにあたり、除染等の必要性を判断する基準（スクリーニングレベル）としては法令に定める基準（ $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）があるものの、当時このレベルまで除染することはかなり困難であることが想定された。このため、本店対策本部保安班は、オフサイトセンターにいた当社社員を経由して、緊急被ばく医療派遣チームとして福島県を訪れた緊急被ばく医療の専門家らに助言を求めたところ、 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ をスクリーニングレベルとすることが適当であるとの助言を頂いた。これを確実に守るため、当初、保守的に6,000cpmをスクリーニングレベルとして運用を開始した。その後、福島県をはじめとする関係機関のスクリーニングレベルと整合を図る観点で、4月20日以降は100,000cpmをスクリーニングレベルとした。100,000cpmについては、IAEAの一般住民のスクリーニングレベルとして定めていたマニュアルを参考に原子力安全委員会が3月20日に助言している。さらに、9月16日より、原子力災害現地対策本部がスクリーニングレベルを100,000cpmから13,000cpmに引き下げる際に、当社のスクリーニングレベルについても同様に引き下げるよう指示があり、13,000cpmに引き下げた。

（6）個人被ばく管理体制の再構築

津波の建屋内への浸入により、管理区域の出入管理箇所に備えられていたAPD自体も貸出装置（充電器）などと同様に使用できなくなった。このため、発電所内の各建屋にあるAPDを調査した。当初確保できたAPDは、元々免震重要棟に備えられていたものも含め320台程度であり、配備されていた5000台程度のAPDが津波の影響で使用できなくなってしまった。確保できた320台程度のAPDを使用することで15日頃まで対応することができたが、貸し出しできる在庫が残り10台程度と少なく、APDの数量が各自に携行させるには十分とは言えず、APDの調達を行いつつ、調達できるまでの間、電離放射線障害防止規則（電離則）第8条第3項但し書き¹に基づき、一部の作業では、代表者運用を実施することとした。

具体的な運用は、

- ・ 1作業あたりの線量が大きくないこと
- ・ 作業場所の環境線量率が既知であること
- ・ 環境の線量勾配が大きくないこと
- ・ 作業グループの全員が同一の行動を取ること

を基本的な判断基準として作業内容を確認した上でAPDを代表者に貸し出しており、この運用により過剰被ばくした作業員はいなかった。

¹ 放射線計測器を用いてこれを測定することが著しく困難な場合には、放射線測定器によって測定した線量当量率を用いて算出し、これが著しく困難な場合には、計算によってその値を求めることができる。

4月1日以降、不足していたAPDも作業員一人一人に携行させるための必要数量を確保できたことから、一人1台の運用に戻した。

外部被ばくの線量については、線量計の貸出を実施した免震重要棟またはJヴィレッジで線量計の回収時に手作業による集計を行った。具体的には、氏名とAPD番号をノート等に記載し、返却時に線量を記載していた。これらは、津波等によりほとんどのAPDが使用不能になってしまったこと、従来の集計システムが使用できなくなったことにより取った措置であった。手作業による集計では、事前の個人の登録情報が十分でないために、後において集計作業に支障が生じて困難が伴うものとなった。その後、免震重要棟及びJヴィレッジにおいて、バーコードを利用した作業者証を作成することで個人を特定し、線量計を貸し出す運用を開始する改善を図っていった。なお、Jヴィレッジで利用していたAPDが複数種類あったことなどから、Jヴィレッジでの運用開始は免震重要棟より遅れて開始することとなった。(免震重要棟運用開始：4月14日、Jヴィレッジ運用開始：6月8日)。

その他、APDの警報設定の際に、通常時は自動で行われていた線量値のリセット操作を手作業で行わなければならない、操作を誤って正しくリセットされずに貸し出されたケースがあったが、このようなケースでも同伴者の線量を参考に評価を行うことなど個別の評価を行った。また、APDが充電切れで返却されるケース(中央制御室において運転員が1台のAPDを引き継いで使用していた)があったが、中央制御室で台帳に各人の線量を記録していたため線量管理に問題はなかった。

一方、内部被ばくの測定については、JAEAより車載型(NaIシンチレーション検出器)のWBC3台を借用して対応した。福島県の小名浜コールセンターへ2台、もう1台は、主に関東地方を巡回させ、原子力部門以外から事故対応や支援のために作業に従事した人の内部被ばくの測定に利用した。

7月には福島第一原子力発電所及び20km圏内への入域拠点となるJヴィレッジ隣接の広野町サッカー場へ小名浜コールセンターより車載型のWBC1台を移設し、定置型(NaIシンチレーション検出器)のWBC1台を新設、福島第二原子力発電所より定置型(プラスチックシンチレーション検出器)WBC1台を移設し、合計3台のWBCによる内部被ばくの測定を開始した。8月には福島第一原子力発電所に設置されていた定置型(プラスチックシンチレーション検出器)WBC3台を移設し、10月初旬にはさらに定置型(プラスチックシンチレーション検出器)WBC6台を新設し、合計12台のWBCによる運用とし、月1回の測定を実施可能とすることで、作業員の内部被ばくの把握・評価の迅速化を図っている。(このうち、車載型のWBC1台は、平成24年3月にJAEAに返却。巡回に用いていた1台は平成24年5月にJAEAに返却)

集計作業に困難を極めた個人被ばく線量の把握であったが、データ解析、評価、通知という一貫した線量管理を行う組織を新設するとともに、線量管理に長けている人材を配置することで体制強化し、業務の遅滞防止を図ってきた。このように多くの要員を投入することや各協力企業の多大な協力を得ながら、事故発生以降、作業に従事した作業員については、線量記録リストや、手書きのAPD貸出台帳による調査をもとにした集計作業を進め、これらに加え、元請企業の現地事業所を訪問しての調査、氏名の公表による調査などを実施してきた。平成24年5月時点では連絡先が不明な作業者は10名となっている。

10名の内訳は元請企業による調査で「該当者なし」が7名、「連絡付かず」が3名である。なお、平成23年7月以降、新たに作業に従事した作業員について、連絡先不明者は発生していない。「該当者なし」の7名は、カタカナの姓のみの記録しかない者、

APDの貸出記録があるものの返却の記録がない者、APDの貸出・返却記録があるもののデータの信憑性が低い者など、個人が特定できない者である。「連絡付かず」の3名は、個人が特定ができていないものの退職転居などにより、連絡が取れなくなった者である。

現場の放射線管理に対応する要員を確保するため、福島第一原子力発電所の所外のスクリーニング、環境線量測定などに養成した放射線測定要員を当てることにより、福島第一原子力発電所の放射線管理員を所内対応要員として確保することができた。そのため、放射線測定要員養成教育を5月30日より開始し、約4,000人を養成する計画とし、平成23年度末現在で受講者数は約6,000人に達している。

今回の事故を踏まえ、原子力災害発生時においても個人被ばく線量を適正に管理できるように、中央制御室及び免震重要棟に保安装備品を配置すること、混乱時においても線量集計を確実に実施するため集計作業を簡略化するためのツールの整備などを実施する。

(7) 緊急作業の放射線管理

大規模な放射性物質の放出や建屋の爆発により発生した高線量瓦礫の存在、高線量滞留水の存在したタービン建屋地下、過酷な放射線環境が想定された原子炉建屋内部などにおいて、事故の収束に向けた懸命な作業が実施された。3月24日に3号機タービン建屋地下における作業において、協力企業の作業員3名がケーブル敷設の作業で170mSvを超える被ばく線量を受けている¹。地震前の状況と異なり、どのような場所においても作業環境が大きく変わりうるなどについて周知徹底を図ると同時に、サーベイマップ²などを活用して事前に作業環境の把握に努め、現場状況の共有を図っていたが、この事象を教訓として徹底を図った。

また、このような高線量区域での作業にあたっては、例えば原子炉建屋においては、事前にロボット・カメラ³などを活用した雰囲気線量率の測定を実施することで状態の把握や被ばく低減に努めた。また、屋外の高線量瓦礫の撤去においては、遠隔操作による無人重機の活用により撤去作業を行い、被ばく低減を図っている。

(8) 各種放射線測定とデータ公表

平常時モニタリングポスト等を用いて放射性物質の放出状況等の把握を行っていたが、地震直後の電源喪失により、モニタリングポスト等環境放射線監視システムの機能が停止し、放射性物質の放出状況の把握が困難な状況になった。そのため、福島第一原子力発電所所有のモニタリングカー1台に加え、柏崎刈羽原子力発電所から支援された1台の合計2台のモニタリングカーとともに人手によるサーベイや可搬型モニタリングポス

¹ 作業環境の事前の情報では、前日の情報からは0.5mSv/h程度、溜まり水は作業を行う電源盤の前には存在せず、階段下に1～2cm程度の水溜まりが所々にあるというものであり、この情報を元に作業計画を立案し、作業環境の線量率を2mSv/hと想定して20mSvの警報設定を行ったAPDを着用し、現場に向かった。APDの警報が鳴動したものの、事前の線量率の情報から誤動作と思いこみ、作業を終わらせなければという使命感から作業を継続したが、作業終了後に他の作業グループと遭遇した際に、その作業グループの放射線管理員が予想以上の高線量であることを話しており、協力企業の作業員3名は急いで免震重要棟に戻っている。1・2号機では3月24日以前に高線量の情報があったことが分かっているが、3号機については、高線量の滞留水の存在の情報はなく、号機が異なることから3号機の作業関係者には注目されなかった。

² 発電所における各場所の放射線量を測定し、放射線量を配置図に書き込んだもの

³ 線量率の測定結果と当該測定箇所の写真を重ね合わせ、放射線量を色の変化で表示できるカメラ

トを設置することにより、敷地境界付近の放射性物質の放出状況の把握を図った。モニタリングカーによる測定にあたっては、通信手段がしばしば使用できないことから、手書きによるメモを定期的に免震重要棟から作業員がモニタリングカーまで回収に行くなど、データ収集には厳しい状況であった。これらのデータは、通常時のシステムを用いたデータ伝送・HP掲載ができなかったため、パソコンに手作業で入力し、その結果を当社HPにて掲載・公表した。公表対象は、HPを所管する本店広報部にて通常時と同様に10分毎のデータとしたが、原子力安全・保安院に対しては、本店対策本部保安班が採取できた全てのデータを連絡していた。

その後4月9日以降はすべてのモニタリングポストを復旧させ放射性物質の放出状況を監視し公表している。今回、電源喪失によりモニタリングポスト等の連続的な放射線監視ができず、モニタリングポストの復旧まではモニタリングカー2台を用いた人手による測定結果のみとなったことを踏まえ、発電所からの放射性物質放出事象に対して的確な放射線監視が行えるよう、電源停止の場合の代替監視方法及び要員体制についても予め定めておくとともに、モニタリングのための放射線測定設備の電源強化が必要である。

データの取扱に関しては、地震直後の混乱の中、可能な限り早く情報を公開することに努めたが、訂正・追加が必要となり、5月28日に公表の上、改めて全体をとりまとめてモニタリングデータの追加・修正を行った。

また、 γ 線核種分析に使用するGe半導体検出器は福島第一原子力発電所では電源がないことに加え、バックグラウンドが高かったことにより使用できない状況であった。そのため、採取した試料を福島第二原子力発電所へ運搬し、福島第二原子力発電所のGe半導体検出器を用いて γ 線核種分析を行うこととし、3月19日より、まずは空気中の γ 線核種分析を開始した。しかしながら、3月25日から3月31日に公表した建屋内やトレンチに溜まった水の分析結果に誤りがあった。これは分析プログラムが通常運転状態（臨界状態）を想定した減衰補正がなされていることに気づかなかったことなど複数の要因があり、その後、データのダブルチェックに加え、疑義のあるデータについてはJAEAの専門家の確認を受けるなどの再発防止対策を実施した。なお、福島第一原子力発電所のGe半導体検出器については、測定室のバックグラウンド低減対策を実施した結果、7月1日から海水等の公表試料の測定も可能となった。

Ge半導体検出器による測定結果の生データについても、個人情報をもマスクングの上、本店情報公開コーナーにて公表を行っている。

13.3 作業員の被ばくの状況と対応

(1) 作業員の被ばく線量分布

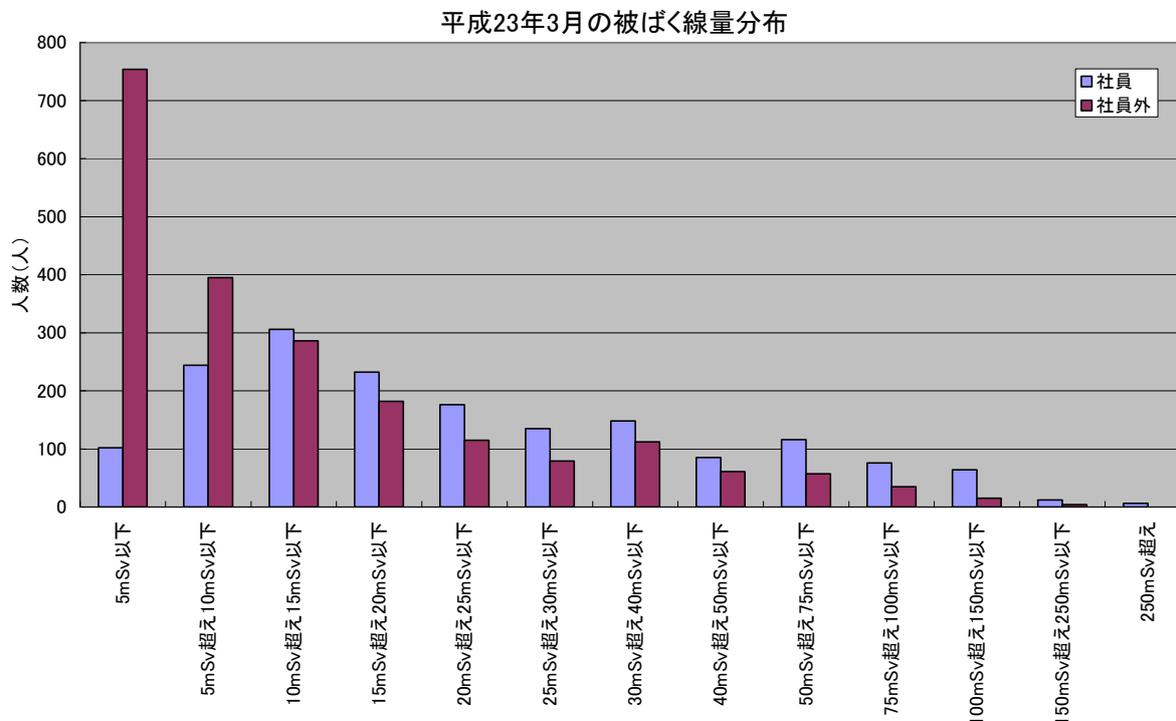
東北地方太平洋沖地震発生後に福島第一原子力発電所の緊急作業に従事した作業員の被ばく線量については、測定・評価を継続して実施中である。

平成23年3月の事故後から平成24年2月までに福島第一原子力発電所にて放射線業務に従事した作業員の外部被ばくの月ごとの状況、平成24年4月までの累積線量（外部被ばく・内部被ばく線量の合計値の累積）分布を【添付13-3】に示す。

作業員の外部被ばくは、平成23年3月は3765人の平均値が、13.81mSvと高かったが、現場の作業環境線量率が低下傾向にあることなども影響し、平成24年

4月は5128人の平均値が、1.07mSv/月となっている。福島第一原子力発電所における通常時の年平均被ばく線量1.4mSv/年（平成21年度）と比べて10倍程度高い被ばく量となっており、平成24年3月における作業環境でも、通常の定期検査の環境より10倍程度高いことを示している。

また、平成23年3月の社員、社員外の被ばく線量分布を以下に示す。これによると、当社社員による被ばくが平均値を押し上げていることがわかる。



緊急作業の作業者の線量限度250mSvを超えた作業者が6名確認されているが、いずれも当社社員で事故発生後に中央制御室等で計器の監視等にあたった運転員や電気・計装系の技術者であった。250mSv超過が判明した時点で福島第一原子力発電所から離れており、健康診断や医師による診察を定期的に行っているが、健康への影響は見られていない。

250mSvを超えた作業者も含めて、今後、緊急作業従事者については、線量に応じて長期的な健康管理を実施していくこととしている。緊急作業従事者の長期的な健康管理に関しては国の指針¹が定められ、線量に応じた定期的な検査・検診等の実施について示されているが、これに加えて、がん検診の対象者の範囲を広げて実施することなど、緊急作業従事者に対する万全な健康管理に努めていく考えである。

(2) 線量限度を超える作業者の被ばく

線量限度の超過については、これまで以下の①と②の事象が発生していることを確認している。これについて、原子力安全・保安院に対し原因の究明及び再発防止対策の策定について報告書を提出し、また、現在、原子力安全・保安院及び厚生労働省の指導のもと、被ばく線量管理の強化、再発防止策の徹底を行っているところである。

なお、以下の社員に対して実施したこれまでの健康診断の結果において、異常は見られていない。

¹ 「東京電力福島第一原子力発電所における緊急作業従事者等の健康の保持増進のための指針」

①当社女性社員2名の法令に定める線量限度（5 mSv / 3ヶ月）¹超過

当社女性社員2名（40歳代、50歳代）は、消防車の給油、免震重要棟での机上業務及び免震重要棟での体調不良者の介護等に対応していた。現場作業時にはチャコールフィルタ付全面マスクを着用する等適切な放射線防護を実施していたが、建屋爆発の影響で放射性物質の流入防止が困難であった免震重要棟内において、外部から流入した放射性物質を吸い込んだことにより、結果として実効線量が法令の線量限度を超えたものと推定している。

なお、3月23日以降、女性は福島第一原子力発電所構内では勤務させていないことから、同日以降、福島第一原子力発電所構内での被ばくの可能性はない。

②当社男性社員6名の法令に定める緊急時の線量限度（250 mSv）²超過

当社男性社員6名は、中央制御室の運転員、電気・計装関係の保全業務従事者であり、地震発生当日から数日間、中央制御室等で運転操作・監視対応、監視計器等の復旧作業対応を行った。

原子炉建屋の水素爆発によって破損した中央制御室の非常用扉（中央制御室に電源を供給するため、3月11日夜にガソリン発電機の電源ケーブルを通していた）から、汚染された空気が中央制御室内に流入していたことに加え、事象の急速な進展に伴いマスクの適切な選択、装着、配備など、防護措置を的確に行うことが困難であったこと等から、放射性物質の体内への取り込みが発生した。 【添付13-4】

緊急作業従事者の線量限度である250 mSvが採用されるに際しては、放射線審議会より、これを妥当とする判断に際して声明が出されている。声明では、判断にあたり、国際的に容認された推奨値（500 mSv）との整合の観点からも妥当であること、そして、500 mSvは組織影響が発生しない閾値であり、国際的にも確定的影響については急性の障害及び晩発の重篤な障害は認められない値とされている旨が発信されている。放射線影響及び防護の点からは、このような位置づけにある線量限度250 mSvであるが、当該線量限度のもとで緊急作業従事者の管理を行い、上記のように事故初期の緊急的な対応者の一部において、放射性物質の体内への取り込みにより結果的に線量限度を超えることとなった事例はあったものの、以降においては、線量限度を超えないよう厳格な管理に移行できている。

このような管理の経緯のもと、現在までに、線量限度を超えた作業者を含め、全ての緊急作業従事者において、放射線による障害の発生はなく、事故初期における非常に厳しい作業条件での対応も存在したものの、放射線障害の防止を観点とした実質的な安全管理は遂行できたものと考えている。

¹ 実用炉規則 第9条第1項第1号 / 実用炉規則に基づく線量限度等を定める告示 第6条第1項第3号
電離則 第4条第2項

² 実用炉規則 第9条第2項 / 実用炉規則に基づく線量限度等を定める告示 第8条
平成23年東北地方太平洋沖地震の特にやむを得ない緊急の場合に係る実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示

電離則 第7条第2項

電離則第7条第3項においては、「放射線業務従事者以外の男性及び妊娠する可能性のないと診断された女性の労働者で、緊急作業に従事するものについて準用する。」とされている。

平成23年東北地方太平洋沖地震に起因して生じた事態に対応するための電離放射線障害防止規則の特例に関する措置

(3) ヨウ素剤の服用状況

3月13日、本店産業医の助言に基づき、発電所対策本部長（発電所長）が指示し、医療班長が所内一斉放送により服用の指示を伝達した。ヨウ素剤の配布については棟内に掲示し、遺漏のないよう周知を図った。

具体的な周知方法は、ヨウ素剤配布開始以降、数日は朝夕の発電所対策本部のミーティングで医療班から服用の案内をし、その後は服用方法の変更の都度、免震重要棟内へ同様の周知を行っている。（3月20日には2日目以降は1錠の服用と運用変更。4月10日には連続投与は14日までとすること。断続的投与の場合はその都度初日は2錠服用に変更）

服用基準は、防災業務に従事するにあたり、放射性ヨウ素による甲状腺等価線量の予測線量が100mSvとなる場合は、40歳未満の者はすべてに、40歳以上の者も本人の意思を確認のうえ服用することとした。

提供期間は3月13日～10月12日の約7ヶ月間、8月2日に一部の指定建屋内作業員のみ適用範囲が縮小された後、11月21日に全面中止となった。服用した作業員は、協力企業、東電社員合わせて約2,000人、提供した薬剤数は約17,500錠、1人あたりでは10錠未満が75%を占め、最多は87錠であった。

ヨウ素剤を20錠以上服用した作業員または14日以上連続して服用した作業員は、健康診断（のべ230回）を実施し、異常のないことを確認している。甲状腺預託等価線量が100mSv以上の作業員は178人いたが、40歳以下で25名がヨウ素剤を服用していなかった。事故当時は放射線管理上の防護措置を的確に行うことは非常に困難な状況であり、服用について周知はしていたものの、結果的に服用しなかった作業員がいたことについては、今後、検討が必要な点と考えている。

ヨウ素剤服用が必要となった際に、ヨウ素剤服用に関する認識がより高められるよう、必要性やヨウ素剤服用に係る運用基準、注意点等について、通常時より教育を行っておくこと、事故発生時の周知方法を予めマニュアル等に定め徹底した周知を行うことなどが有効であると考えている。

(4) 医師の常駐化

各機関の支援により、下記の対応を図ってきている。

- ・ Jヴィレッジは、東電病院の医師と看護師が3月30日から24時間体制で診療（ホテル棟）開始。4月5日以降、メディカルセンターが発足し、東電病院とオフサイトセンター派遣の救急救命医師が24時間体制で診療。9月1日から免震重要棟から移動した産業医大、労災病院の医師を加え、一般診療と作業員の健康管理を強化。
- ・ 福島第二原子力発電所では、3月11日震災以降、産業医と地元の医師と東電病院医師とで交代で診療を継続。7月10日から防衛医大医師によるメンタルヘルスサポートを開始。
- ・ 福島第一原子力発電所の免震重要棟では、産業医が3月11日から3月18日まで避難していたが、3月19日から免震重要棟で医師による診療（免震重要棟に常駐）を開始。5月29日からは産業医大、労災病院から派遣された医師により24

時間常駐化。(8月まで)

- 7月1日より福島第一原子力発電所に救急医療室(5,6号機サービス建屋)を開設。救急医療室においては、政府の協力の下、全国から緊急被ばく医療の専門医師を確保し、2日前後のローテーションにより診療。

14. 事故対応に関する設備（ハード）面の課題の抽出

14.1 プラントの事象進展からの課題【添付14-1, 2】

「8. 地震・津波到達以降の対応状況」に記載した、全体の事象進展から以下に示す進展ステップ毎にその特徴を明確にするとともに、炉心の冷却、損傷防止を確実に達成していくための課題を抽出する。加えて、水素爆発防止のための課題についても抽出する。

- ① 地震後の冷却の維持
- ② 高圧注水（冷却）の維持
- ③ 原子炉減圧による低圧注水系への切り替え
- ④ 非常用海水系による崩壊熱の除熱とベントによる格納容器の除熱
- ⑤ 監視機能の維持
- ⑥ 水素爆発の防止

①地震後の冷却の維持

福島第一原子力発電所の場合は、外部電源が喪失しているが全号機とも非常用D/Gによって非常用の電源供給が確保されている。また、福島第二原子力発電所の全号機とも外部電源が確保されている。したがって、福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所のどちらについても、地震後の非常用交流電源は確保されており、炉心の冷却機能は維持されている。この段階においては、炉心損傷につながる要因は生じていない。

②高圧注水（冷却）の維持

原子炉停止後の早期に高圧系の冷却・注水機能が喪失すると原子炉水位は急速に低下する。冷却・注水機能の喪失が炉停止後数時間以内の場合には、機能喪失後2時間程度で有効燃料頂部（TAF）に至る。高圧系の冷却・注水手段を喪失した後の事象進展は非常に早い。

高圧注水手段は事故発生後直ちに機能する必要がある、本設備で対応できることが重要となる。

→速やかに高圧注水設備による注水手段を確保すること

福島第一1号機は、津波直後に非常用復水器の機能を喪失し短時間で炉心損傷に至ったと考えられる。非常用復水器は運転中に動的機器を必要としない設備であるため、故障停止の確率が小さい信頼度の高い設備であるが、直流電源の喪失によって機能が十分に発揮できない状態となった。

また、バックアップのために高圧の注水手段である高圧注水系（HPCI）を起動することができなかった原因も直流電源の喪失である。直流電源が喪失した原因は津波の浸水によって電源盤が被水したことによる機能喪失である。

福島第一2号機は、津波襲来前に起動した原子炉隔離時冷却系が運転を継続したため高圧状態での注水が維持できている。しかし、直流電源は喪失しており、高圧注水系によるバックアップはできない状態であった。直流電源が喪失した原因は津波の浸水によって電源盤が被水したことによる機能喪失である。

福島第一3号機は、原子炉隔離時冷却系が機能し高圧注水が維持された。直流電源が残存していたことから、原子炉隔離時冷却系が機能喪失したことによる水位低下を検出して、高圧注水系がバックアップで起動し注水が継続された。

ただし、高圧注水系が停止した以降、直流電源が枯渇し、原子炉隔離時冷却系や高圧注水系を再度起動させることはできなかった。直流電源が枯渇した原因は、バッテリーを充電するための交流電源が喪失していたためであり、交流電源喪失は電源盤の被水によって機能を喪失した。

以上、非常用復水器、原子炉隔離時冷却系、高圧注水系といった交流電源を必要としない高圧注水（冷却）機能の維持のためには、直流電源が必要であり、その確保が重要である。

なお、福島第一1号機の非常用復水器が、津波の影響で直流電源を喪失し隔離された事例については、結果として今回冷却機能を失うこととなったことから、在り方を整理・検討し、より柔軟な運用が可能か慎重に検討をする必要があるものとする。

③原子炉減圧による低圧注水系への切り替え

高圧系が作動している間のドライウエル圧力は緩やかに上昇するが、炉心の損傷が開始すると水素が発生することから、ドライウエル圧力の上昇は急速になる。例えば、2号機では格納容器雰囲気モニタの測定によって炉心損傷が開始した時点を特定できるが、ドライウエル圧力の急上昇の開始と整合している。また、原子炉圧力の減圧が行われた後にドライウエル圧力の急上昇が開始している。これは、減圧沸騰によって炉内の保有水量が急減するために、炉心の冷却が一段と悪化し、炉心損傷に至ったと考えられる。

従って、原子炉圧力の減圧までに信頼できる低圧系を準備し、減圧による水位低下と注水量のバランスをとりながら低圧系へスムーズに切替えることが重要となる。また、この際、主蒸気逃がし安全弁による減圧操作の操作性確保も重要である。

→高圧注水機能を喪失する前に減圧手段を確保すること

→減圧段階では、安定した低圧の注水手段が確保できていること

福島第一2号機は、高圧注水手段を喪失した時点において、原子炉を減圧し低圧の注水手段に切替える必要があった。しかしながら、本設の低圧系の注水設備は交流電源の喪失によって運転することができず、大型機器で冷却のために非常用海水系を必要とするものも、容易に使用できる状況ではなかった。さらに、単独での運転が可能な小型の復水補給水ポンプなども交流電源の喪失や当該設備の被水によって使用することができなかった。交流電源を喪失した原因は、津波によって電源盤が被水したことによる機能喪失である。

また、主蒸気逃がし安全弁による減圧操作が滞り、タイムリーな原子炉圧力の減圧が困難であった。操作が困難となった原因は、直流電源喪失により主蒸気逃がし安全弁制御用の電磁弁の操作ができなかったためである。福島第一3号機の場合も、上記とほぼ同様である。

なお、ディーゼル駆動消火ポンプは電源によらない低圧の注水設備であるが、1号機、2号機の場合は、起動したものの津波浸水のため短時間で機能喪失した。3号機については、高圧注水系停止時点では運転可能であったが原子炉圧力の減圧が困難であり、原子炉への注水はできなかった。このため、仮設バッテリーの使用や消防車の使用といった代替操作が必要となった。

以上、主蒸気逃がし安全弁の機能確保のためには、直流電源の確保が重要である。また、信頼性の高い低圧の注水設備の確保が重要である。

④非常用海水系による崩壊熱の除熱とベントによる格納容器の除熱

先にも述べたが、福島第二1号機では高圧注水（原子炉隔離時冷却系）が機能している間に低圧注水（復水補給水系）の運転を開始し、高圧注水によって水位を維持しつつ、減圧操作を徐々に行って低圧注水が可能な圧力まで原子炉圧力を下げ、シームレスに注水機能の切替えを行うことができている。また、低圧の注水手段を確保して注水を維持している間に非常用海水系による除熱機能を復旧している。

福島第二1号機では、結果的に実施することはなかったが、ドライウェル圧力が高くなった場合に低圧注水とベント操作で格納容器から除熱（フィード・アンド・ブリード）が可能な状態にあった。このような対応が、悪条件下でも実現できることが重要である。

→海水による冷却機能の復旧手段を確保すること

→確実な格納容器ベント手段（熱の大気放出による除熱）を確保すること

非常用海水系の除熱機能は、非常用海水系ポンプの本体モータへの津波の被水による機能喪失や、交流電源の喪失によって機能を喪失している。交流電源が喪失した原因は、津波によって電源盤へ被水したことによる機能喪失である。

福島第一1号機～3号機については、非常用海水系の復旧まで至る前に事故が進展し、炉心損傷に至っている。低圧注水の段階まで至ることに成功した福島第一5号機、6号機、福島第二1号機～4号機においては、非常用海水系のモータ復旧、仮設ポンプによる仮復旧及び仮設電源による電源の復旧を行っている。低圧注水に成功し炉心の冷却が確保されたことによって、非常用海水系を復旧する時間的な余裕を確保できたためと考えられる。

以上、まず、低圧の原子炉注水を確実にして対応の時間的な余裕を確保すること、その上で非常用海水系の仮復旧の手段を予め用意することで対応の信頼性を上げることが重要である。

炉心損傷に至った福島第一1号機～3号機については、格納容器の内圧の上昇のためベント操作が必要になった。ベント操作には、2つの弁を開ける必要があり、一つは電

動駆動、もう一つは空気圧駆動である。電動駆動の弁は、交流電源喪失のため中央制御室から操作することができなかった。交流電源喪失の原因は、津波によって電源盤が被水したことによる機能喪失である。また、空気圧駆動の弁は、駆動用空気圧が低下したこと、及び、駆動用空気を送り込む電磁弁操作の交流電源を喪失したため中央制御室から操作することができなかった。駆動用空気圧が低下した原因は、交流電源喪失による本設の空気圧縮機の機能停止によるものである。交流電源を喪失した原因は、津波によって電源盤が被水したことによる機能喪失である。なお、空気圧縮機の運転には冷却が必要であり、海水系による冷却機能も必要である。

以上、ベント経路の確保のためには、交流電源の確保、及び、駆動用空気圧の確保を含む代替手段による弁操作方法を予め用意することが重要である。格納容器ベントは、格納容器からの除熱機能を持つことから、炉心損傷防止のための低压注水手段が確保された時点から、非常用海水系の除熱機能を復旧するまでの間の除熱機能として活用することが重要である。

なお、上記対策の実施により、確実に格納容器ベント操作はできると考えるが、低压注水機能・除熱機能をより確実に確保するためには、ラプチャーディスクを積極的に作動させる方策についても検討する必要があるものとする。ただし、不用意な放出につながる可能性もあることから、慎重に検討を進める必要がある。

⑤監視機能の維持

以上の操作を的確に実施するためには、プラントの状態を正確に把握することが重要である。福島第一1号機の場合、重大な状態変化の進行中に監視装置が機能喪失している。福島第一3号機においても高圧注水系を停止する6時間前から直流電源の枯渇によって原子炉水位の監視ができていない。プラント状態の把握のみならず、注水系の切替え操作においても監視機能は重要である。

したがって、原子炉水位等の計測機能の確保が重要である。

→以上の操作及び状態監視に必要な計測ができる手段を確保すること

今回の事故では、原子炉水位、原子炉圧力など事故時の炉心の状態把握に必要な監視機能が喪失した。監視機能を喪失した原因は、直流電源と交流電源を喪失したことによるものであり、電源が喪失した原因は津波浸水によって電源盤が被水したことによる機能喪失である。

このため、事故時に重要なパラメータの監視に用いる計器の機能維持のためには、計器用電源を確保するための方策が重要である。

更なる安全性向上のためには、例えば今回炉心損傷後の原子炉水位計で実際と大きく指示が異なっていた事例を考慮し、単に水位計の精度の向上だけを目指すのではなく、事故時に必要な目的に応じた計測装置を研究、開発することで多様性を持たせていくことが必要であるとする。

⑥水素爆発の防止

炉心損傷に至ったプラントは、主に原子炉内で水-ジルコニウム反応によって大量発生した水素が格納容器内に滞留した。この水素が何らかの経路で原子炉建屋へ漏えいし、建屋の爆発が発生したと考えられる。格納容器内は不活性ガスである窒素が満たされており、格納容器で爆発が生じていないことから、格納容器への窒素封入は機能したものと考えられる。一方、放射性物質の吸着フィルタを通して建屋換気を行う非常用ガス処理系（SGTS）も交流電源の喪失によって機能を失ったことから、原子炉建屋内に蓄積した水素を積極的に排出することができなかった。交流電源を喪失した原因は、津波によって電源盤が被水したことによる機能喪失である。

福島第一1号機と3号機の場合、水素爆発により原子炉建屋が損傷したが、福島第一2号機の場合は原子炉建屋での爆発は生じていない。原子炉建屋最上階のブローアウトパネルが1号機の爆発の際に開放されたことによって、2号機原子炉建屋内の換気が促進されたためと考えられる。

また、福島第一4号機では、隣接する3号機のベント時に水素ガスが非常用ガス処理系配管を通じて回り込んで滞留し、これが爆発したものと考えられる。

水素爆発の防止については、炉心損傷を防止して水素発生自体を防止することが第一であるが、福島第一2号機の事例から換気を促進することは爆発防止に効果があると考えられる。

1.4.2 事故対応を困難にした阻害要素からの課題

津波によって福島第一原子力発電所では建屋設置エリア全域にわたって浸水した。それによって、安全上重要な設備が機能を喪失する等、事故対応に直接的に必要な設備が影響を受けただけでなく、監視設備、照明、通信連絡手段等、スムーズな事故対応に欠かせない機能もほぼ完全に喪失した。

このような事態は事前の想定（対応体制、手順書等の前提）を大きく外れる事態であり現場対応（オペレーション）は困難を極めた。また、複数の号機で同時にプラント状態が刻々と悪化し、作業の障害が増加するという緊迫した状況に直面した。

そのような中、発電所はこれまでに培ってきた知識、経験等を背景に、プラントの安定化に向けて原子炉への注水、格納容器ベント操作等に関し臨機な対応策を考案し、劣悪な現場環境下でそれらを遂行した。以下に対応上の重要操作である原子炉への注水、格納容器ベントに関連して、発電所が直面した課題（作業障害の増加等）を整理する。

（1）プラント監視機能喪失（放射線監視、気象観測含む）

プラント監視： 中央制御室には原子炉水位等のパラメータ毎に複数の監視計器が備えられていたが、津波によって、直流電源も含めほとんどすべての電源を喪失したことでこれらを利用したプラント監視ができなくなった。

また、弁の開閉表示等の機器状態表示も失われたことから、中央制御室での機器状態の把握が困難になった。

原子炉水位、原子炉圧力、格納容器圧力等、一部の計器については

バッテリー等を接続して指示を確認できるようにしたが、読み取り作業自体に手間がかかり、得られる情報は種類、頻度共に限定的であった。さらに、通常の使用環境条件を大幅に超えている状況で使用されている計器もあったことから、単独の計器指示からはプラント状況の把握が困難なケース（原子炉水位計等）もあった。

放射線監視： 津波後の電源喪失により主排気筒モニタ、プラント建屋内のエリアモニタ、発電所敷地境界付近に設置されたモニタリングポスト等の放射線モニタ設備は稼働不能となった。このため、モニタリングカー、可搬式放射線測定器を活用し線量把握につとめた。

主排気筒放射線モニタが機能を失っていたために、格納容器ベント成功（ラプチャーディスク開放）についてタイムリーでかつ感度の高い情報が得られない状況であった。

気象観測装置： 風向、風速等を観測し、オンラインで表示するシステムが設置されていたが、津波後の電源喪失により稼働不能であった。

このため、格納容器ベントに際しての線量予測・評価にあたっては風向、風速等に関し代替値（例えば福島第二原子力発電所データ）を使用する必要があった。

（２）通信連絡手段喪失

発電所構内連絡用として使用されていた有線ページング設備（プラント内固定通話装置、拡声装置）、PHSともに地震直後は使えていたが、その後の電源喪失等の影響で使用不能となった。また、VHF無線機も配備しており、津波後も使用可能なものもあったが、免震重要棟での通信が難しく、数も限られていたことから、現場との情報連絡（中央制御室と現場、免震重要棟（発電所対策本部）と現場間の連絡）が困難な状況となった。

消防車搭載無線機等が使えた一部の場合を除き、現場に出向した対応者が戻って状況報告するまでは情報が得られない状況となった。

さらに、事故時にプラント状況を伝達する緊急時対応情報表示システム（SPDS）については、津波によるプラント側の電源喪失により伝送すべきパラメータが入手できない、計算機が停止する等の理由により、福島第一原子力発電所のほとんどのプラントでデータ伝送機能を喪失した。中央制御室と免震重要棟間も使用できた連絡手段はホットライン2回線（1中央制御室あたり）のみであった。

このため、現場から得られる情報（プラント情報、操作状況）が大きく制限されただけでなく、限られた情報の入手にも時間を要した。

（３）作業環境等の悪化（津波瓦礫、照明喪失、放射性物質放出、爆発の被害）

余震や津波の継続とリスク、津波による瓦礫が障害となり車両の移動や屋外作業が阻害されたほか、全交流電源の喪失によって、中央制御室、建屋内、屋外の照明が喪失したことにより、作業の困難性が増加した。また、放射性物質の放出の影響で中央制御室、

建屋内外の作業環境が加速度的に悪化していく状況下において、大津波の影響でAPD、チャコールフィルタ付全面マスクなどの保安装備品の十分な配備、個人被ばく線量を適切に管理するために必要なシステムの機能維持ができず、結果として線量限度超えなどの問題が発生した。

さらには、建屋の爆発により負傷者がでたほか、敷設した送水ホースやケーブル等が損傷し手戻りが生じるなど対応作業は極限的状況下で行われた。

1 4 . 3 炉心損傷事象に対する課題のまとめ

事故進展の状況及びプラントの動きから見て、炉心・燃料の損傷へ事故を進展させていく物理的な駆動力は燃料の崩壊熱であり、これは停止後の時間とともに減少するものの、停止後も発生し続ける。従って、事象進展を停止するためには、崩壊熱に応じた注水・冷却手段を維持・復旧する以外に対策はない。一旦炉心損傷が生じると影響の広がりは速く、また、予想できない事態を生じることとなり、放射性物質・水素ガスの拡散・滞留が復旧作業自体を困難にしていくため、第一義的に炉心損傷に至らないようにすることが重要である。

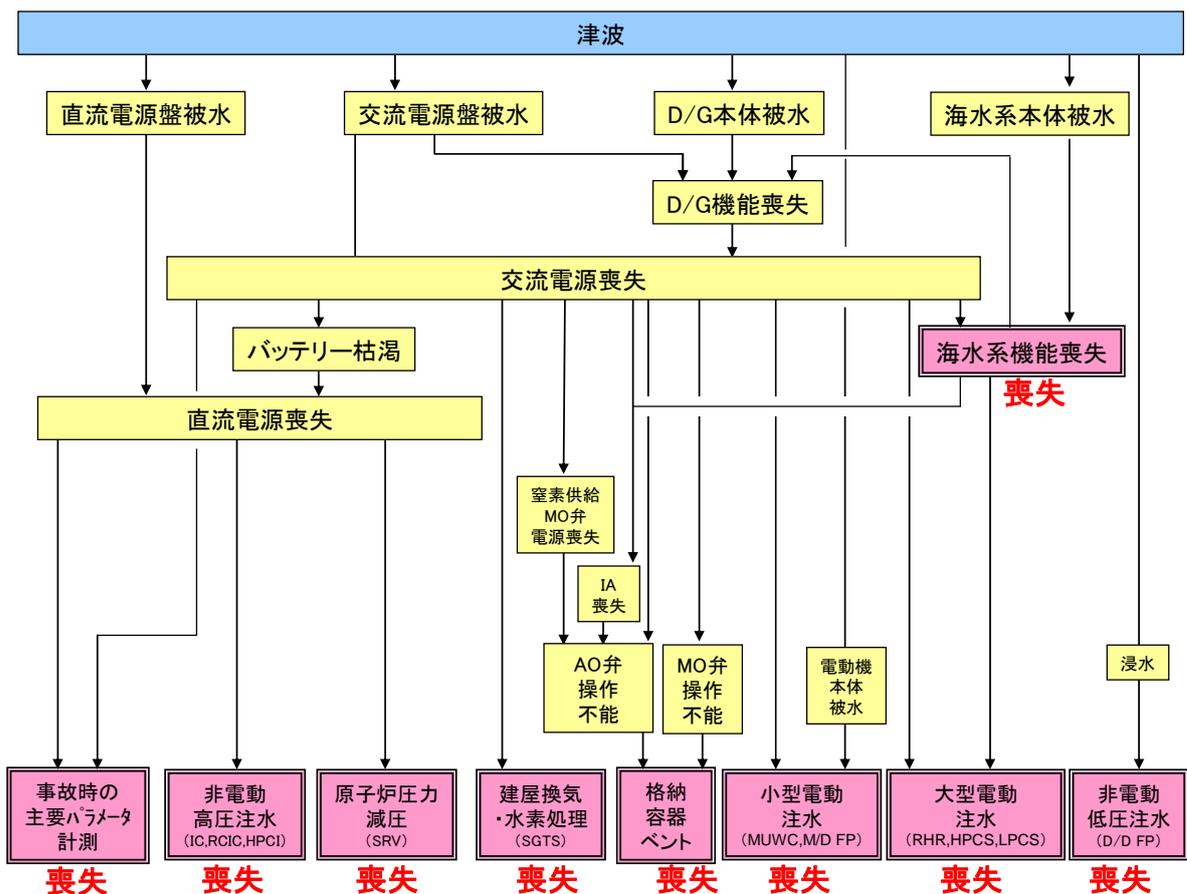
また、実績から示される事項として、津波後の炉心冷却の成否については高圧注水設備による燃料冠水維持の有無、減圧し低圧注水に切替える状態であったか否か、これらの運転操作に必要なパラメータを運転員が利用できたか否かが重要なポイントとなる。すなわち、高圧注水設備が機能している間に準備を整え、低圧注水設備で安定した注水に持ち込めたか、これらで原子炉の安定を維持している間に最終的な除熱・冷却の設備を復旧する対応をとることができたか等が最終的な結果に影響することとなる。今回の場合には、津波による被災後でも、結果的に注水機能等を維持または復旧できたプラントにおいてはプラントの冷温停止に成功し、様々な悪条件により注水機能等を準備できなかったプラントは炉心損傷に至った。

従って、当社が対応策を整備するにあたっては、対応のための環境条件が悪い場合であっても、炉心の注水・冷却が切れることなく確実に実行できるようにしなければならない。すなわち、以下が達成すべき事項である。

- ① 速やかに高圧注水設備による注水手段を確保すること
- ② 高圧注水機能を喪失する前に減圧手段を確保すること
- ③ 減圧段階では、安定した低圧の注水手段を確保できていること
- ④ 確実な格納容器ベント手段（熱の大气放出による除熱）を確保すること
- ⑤ 海水による冷却機能の復旧手段を確保すること
- ⑥ 以上の操作及び状態監視に必要な計測ができる手段を確保すること

福島第一1号機～3号機が炉心損傷に至った原因を事象面で整理すれば、号機間で若干の差違はあるものの、概略以下のように取り纏めることができるものとする。

- 原子力発電所の設計にあたっては、機器の単一故障を想定した事故に対して、多重性や多様性及び独立性を持たせた非常系の冷却設備等を設置してきた。
一方、津波に対しては、その時々最新の知見を設計に反映しながらも、建屋敷地の高さには十分な余裕があるものと考え、建屋敷地レベルに津波が遡上し、機器の多重故障を起こす要因になり得るとは考えていなかった。
- このような状況下において、マグニチュード9.0の世界の観測史上4番目の規模となる巨大な地震が発生し、それに伴って高さが13mにもおよぶ高い津波を発生させた。この津波は福島第一原子力発電所の建屋敷地レベルにまで遡上し、建屋の空気取入口や搬入口等を破壊し、機器の設置されている建屋内に流入してきた。
これにより、屋外に設置されていた機器はもとより、建屋内に設置されている機器、特に非常用D/Gや電源関係の機器がその機能を喪失した。さらに、制御や計測等に必要の直流電源についても、3号機を除いて失うこととなった。
- 今般の事故進展をふまえた重要な機能の喪失に至る事象の相関を以下に示す。



炉心の損傷防止・影響緩和に重要な機能の喪失に至った要因

- 今回の事故は津波による浸水を起因として、多重の安全機能を同時に喪失したことで発生しており、「長時間におよぶ全交流電源と直流電源の同時喪失」と「長時間におよぶ非常用海水系の除熱機能の喪失」が事象面から見た要因である。

- 1号機～3号機は、電源を喪失したため、安全への備えとしてきたすべてのモータ駆動の機器がその機能を喪失した。
- 安全への備えとしては、モータ駆動の機器のほか、蒸気を駆動源とする高圧注水系、原子炉隔離時冷却系や非常用復水器があったが、制御に必要な直流電源の持続時間の問題や浸水による機能喪失の問題から、蒸気を駆動源とする注水系を使った対応時間にも限度があったため、それまでに原子炉圧力の減圧や原子炉圧力が低い状態時に使用する低圧注水設備が必要となった。なお、最終的には原子炉内の崩壊熱を除熱・冷却するための設備が必要となる。
- 本来の目的を低圧注水設備として整備した機器は、全交流電源喪失により機能を喪失したが、更なるプラントの安全性向上を目的に、いわゆるアクシデントマネジメント策としてその能力の活用が想定されていたディーゼル駆動消火ポンプも、原子炉への注入ポンプ（代替注水）として利用を試みたが、屋外配管が津波により損傷を受けていたことや浸水等により、十分な機能を発揮することなく機能を喪失した。
- このように今回の津波は、発電所の安全への備えの機能をことごとく奪ったために、発電所の対応を行った当社社員や関係企業の方々は、満足な設備の無い中での対応を余儀なくされ、結果的に事象の進展に追いつけず、炉心損傷に至ってしまった。
- なお、アクシデントマネジメントで整備した設備を利用しつつ、消防車による原子炉への注水や仮設の空気圧縮機や自動車用のバッテリーを活用して格納容器ベントを行うなど、臨機かつ直接的に安全設備を操作する応用動作により、炉心やプールの冷却を行ったが、この対応はその後の事故の更なる拡大を防止する観点で、対応それ自体としては、その方向性は正しかったものと考ええる。
- 一方、福島第二原子力発電所の各プラントは電源喪失を免れ、原子炉隔離時冷却系で原子炉へ注水しつつ、主蒸気逃がし安全弁で原子炉を減圧し、津波浸水による機能喪失を免れた復水補給水系ポンプで原子炉へ注水することができた。
- また、福島第一5号機及び6号機は、定期検査期間中であり崩壊熱が小さく、運転状態から停止した福島第一1～3号機と比較して事象進展の速度が相対的に遅かったことに加え、津波の浸水による機能喪失を免れた6号機の非常用D/Gを有効活用することにより、必要なプラント状態監視機能の復旧及び復水補給水系ポンプを使った低圧の代替注水などができ、燃料の冷却に成功している。
- このように、これらのプラントが燃料冷却等に成功した要因は、代替注水、電源融通を含めた電源の確保等のアクシデントマネジメント策をはじめ、ほぼ事前に想定した事象の対応の考え方及び手順に沿って対応できたことや、新潟県中越沖地震の教訓として免震重要棟を当社のすべての原子力発電所に設置していたことなどが挙げられる。
- 特に免震重要棟は、緊急時対応のために設置した免震構造の施設で、震度7クラスに耐える設計としており、通信設備、TV会議システム、自家発電設備や高性能のHEPAフィルタ付きの換気装置などを装備し現地事故対応の拠点となったが、仮に本施設がなければ福島第一原子力発電所の対応は、継続不可能であった。



免震重要棟外観



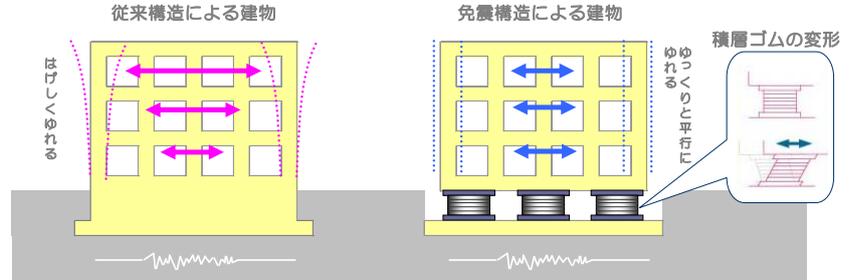
免震重要棟内



免震重要棟入口



積層ゴム



これまで国と一体となって、さらには当社自らが自主的に安全確保のより一層の向上に向けた整備を行ってきたが、以上述べてきたように、今回の事故は津波を起因として「長時間におよぶ全交流電源と直流電源の同時喪失」と「長時間におよぶ非常用海水系の除熱機能の喪失」が複数号機同時に起こり、これまでの安全確保の取り組みの前提を大きく外れる事態に至ったことで発生した。この結果、多重に備えていた安全機能がほぼすべて喪失した。

15. 事故対応に関する運用（ソフト）面の課題抽出

15. 1 事故想定に対する甘さ

今回、東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、原子力発電所における事故対応の前提がことごとく覆され、現場で対応する当社社員や協力企業の方々の勇気や臨機の工夫、智恵に大きく依存した対応にならざるを得なかった。

具体的には、原子力発電所では設計想定事象に対して冷却設備等の機器等を多重に備えており、それを上回る事故（シビアアクシデント）に対しても、原子炉への注水機能の強化を中心に対応策を図っていた。しかしながら、実際には、あらゆる電源を喪失し、事故対応に使用する術をほとんど喪失した。

また、発電所の外では、原子力災害の対応拠点となるべきオフサイトセンターが整備されていたが、地震や津波の対応で関係する自治体に対応態勢を組めなかったこと、放射線の影響に耐えうる設備となっていなかったこと等から、十分な機能を発揮しないままに福島市に撤退した。

さらに、当時の事故対応や言動を顧みれば、東京で対応した多くの者が、津波や原子力災害の現場の惨状・実態を想像することができておらず、具体的に作業等に時間がかかることを理解できていない。

このように今回の事故での経験を顧みれば、我々原子力関係者全体が、安全確保のベースとなる想定事象を大幅に上回る事象を想定できなかった、また、原子力災害に対する我々の備えの想定も甘く、対応においては現場実態を想像できず実戦的な考えが十分でなかったと言わざるを得ない。

15. 2 事故対応態勢

今回の事故では、オフサイトセンターが機能せず、使用できる通信設備も限定的であったために、全ての情報は基本的に原子力発電所と本店から発信される情報となった。このため、官邸を中心として原子力安全・保安院等が当社本店に拠点を構えるなど、通常の事故対応や訓練した態勢と異なり、直接的に政府や国が発電所支援に加わっている。したがって、事故対応態勢の評価においては、政府や国の関与も含めた評価は避けられない。実際、政府、国、当社の対応において、様々な面で不十分な結果を招いたと考える。具体的に以下に示す。

(1) 政府・国、自治体、事業者の役割分担

今回の事故では、あらゆる電源を喪失した事故の性格上、監視機能や通信設備を喪失し、発電所に関する情報自体が限定的である上、入手するにも時間を要した。この影響が大きいものと考えられるが、プラント情報を求めて当社に政府、国、当社の統合対策本部が設けられた。ただし、災害に備えて組織された官邸の危機管理センター、原子力安全・保安院の緊急時対応センター（ERC）、オフサイトセンターなどとの有機的な連携が図られることはなかった。

これらの組織にはそれまでの訓練や手順に従って当社の情報が流されており、国のTV会議システムと当社TV会議システムを連携するなど、工夫することで訓練された組織やより多くの人員が効率的に動くことができた可能性が大きかったものとする。

また、報道では、官邸のTV会議システムは使用されていなかったとされているが、それが事実でシステムが活用されていれば、当社は原子力安全・保安院へ要員も派遣して情報を提供しており、より早い段階で官邸の政府首脳は情報を入手でき、よりの確な対応ができたものとする。

12日未明以降は、運転操作に関する指示など発電所から見て、現場実態からかけ離れた具体的な要求が官邸の政府首脳等から直接・間接になされるようになってきた。このような事態に至ってしまったことは、指揮命令系統において現地対応に当たる発電所の所長を板挟みにするばかりで事故収束の結果を改善するものではなかった。例えば具体的な事例としては、1号機の海水注入中止の事例が挙げられる。実際には海水注入を継続しながら、表向きは海水注入を中断したと偽って報告せざるを得ない立場に所長を追い込むなど、緊急事態対応の中で無用の混乱を助長させた。そのような事態に至ってしまったことは、今回の事故対応における大きな課題であり、当社を含めて関係者は大いに反省すべきである。

この事例の場合、12日17時55分に海江田大臣から海水注入の口頭命令を受けて、1号機において海水注入を既に開始していたところ、官邸へ派遣した武黒フェローから、1号機の海水注入について菅総理の了解が得られていないことを理由に注水停止の連絡が本店に入り、発電所に伝えられている。その後、官邸では海水注入についての検討結果を原子力安全・保安院等が菅総理に説明し、19時55分総理の海水注入了解が得られている。

今回の海水注入停止の連絡は、当社が派遣した者からの連絡ではあるが、少なくとも発電所から見れば官邸からの指示と見え、実際、福島第一原子力発電所では吉田所長も含めて官邸からの命令と理解している。問題の第一は、短時間とは言え注水を停止するという技術的な判断を後回しにした当社本店側の問題や社内の情報伝達の問題も多分にあると判断されるが、訓練された国の緊急時対応態勢や発電所から乖離した場所にある官邸から、当社から派遣された社員を経由した情報が主体ではあるが、官邸内の雰囲気や言動等が発信され、「官邸の判断」として理解され、直接的に事故対応に入り込むような不安定な対応態勢になったことが、混乱を招いた原因と考える。

これ以外にも同様な事例として、5章で述べたように菅総理自身や総理の知人から発せられた発電所への直接的な提案・質問や12章で述べた低濃度汚染水の海洋放出に対する判断の遅れなどが、現場から乖離した判断事例として挙げられる。

一般的な事例としては、国の命令文書が挙げられる。3月12日と3月15日に合計4回の命令文書が国から出されている。文書の内容は、1号機と2号機の格納容器ベント操作や1号機の原子炉への海水注入等であり、国から早期実施を促す命令文書が出された。

【添付15-1】

ベントの実施等は、当社から国へ申し入れたものであり、発電所では既にベント等のための必死の努力が続けられていた。督促の命令文書を出すだけでは問題解決は図れず、あのような緊急事態においては、様々な問題に対して具体的に対処方法を考え、動くことのできる組織が必要であり、命令文書は必要とされていない。政府・国、自治体、事業者等が協力して、真に危機に対応できる組織を確立するためには、それぞれが災害時により実戦的な活動のできる組織になるべきであるとする。

今回の事故対応に関して、このように発電所から見て指揮命令系統に混乱が生じたこと、結果として現場の実態を把握していない場所で、把握していない者が判断するような実戦的でない対応態勢になったことは問題である。このような事態を招いたのは、当社であり、政府であり、国であるものとする。

即ち、挙げられる課題は、事故対応において、どのような事に対して、誰（政府・国、自治体、事業者）が責任を持ち、どのような実効ある対応を実施するのか、明確にしておく必要がある。

（２）初動対応、専念できる態勢

今回の本店の事故対応時の活動を見ると、災害発生当初は会長、社長が出張で不在であり、原子力・立地本部長は発電所支援や原子力災害時のオフサイトセンター対応のために福島へ移動し、原子力・立地本部副本部長は経済産業省等への説明やプレス対応で不在となる時間が生じている。不在時の対応ルールに従い対応はなされているものの、経営トップにおいては常に緊急時対応を念頭においた行動が必要と考える。特に、原子力災害においては原子力部門のトップである原子力・立地本部長、副本部長のどちらかが事故対応時に在席し、発電所支援していくことが必要と考える。

この他、本店対策本部長が外部との電話対応に追われたり、技術系社員がプレス対応等で時間単位であるが事故対応にあたれない状況が生じるなど、発電所の事故対応等に専念できない状況が生じた。

（３）長期対応態勢

当然のことであるが、人間の体力には限界があることから、長期間の対応も考慮した態勢を備えておく必要がある。今回の事故については、複数号機で炉心損傷事故、あるいはその可能性のある事故まで発展した。このため、その対応は長期化するとともに、これまで経験したことのない様々な事態に対して対処する必要性が生じた。

本来であれば長期化が見込まれた段階で対応した組織に移行すべきところであるが、予断を許さない状況の中で当社は通常の事故対応と同様に全員で対処し、要員ローテーションについては要員の増強などに応じて、各班等の自主的な判断で行われていたものであった。

（４）放射線に対処できる態勢

今回の事故では、通常は非管理区域である屋外さえも管理区域と同様に、放射線や放射性物質の汚染に配慮する必要が生じたため、常日頃放射線に係わらない業務に携わる人も含めた誰しものが、放射線に対処した行動をする必要が生じたとともに、通常の管理区域以上の状態が屋外まで拡大したため、放射線管理員が不足した。

15.3 情報伝達・情報共有

今回、プラント監視機能を喪失し、通信機能も低下した。このため、プラント情報を伝送する緊急時対応情報表示システム（SPDS）が問題なく作動していたとしても、得られた情報には限りがある。このような通信設備の問題に加え、情報伝達上の問題等

から、発電所・本店対策本部においてはプラントの状態を正しく認識できなかった。

例えば、福島第一1号機の非常用復水器に対する対応状況等に関して、中央制御室と発電所対策本部等の間で正しく認識できるような伝達がなされなかった。また、3号機において、高圧注水系の停止等について、全体が情報共有するには1時間程度を要した。

15.4 所掌未確定事項への対応

今回の事故対応では、その前提を大きく外れる事態となったことから、事前の役割分担が明確になっていない作業に対して対応指示が出された事例がある。

具体的には、消防車を使って1号機の原子炉へ注水することを検討するように発電所長から指示が出ている。消防車は、新潟県中越沖地震の教訓から、火災対応のために備えたものであって、原子炉への注水に備えたものではない。したがって、火災への消火活動に対しては役割・責任は明確になっていたが、原子炉注水の役割分担は決められていない。

今後、消防車を事故対応の備えとして利用することから、その役割分担についても決められるが、想定外があるとの立場に立てば、今後も役割・責任が不明確な対応が必要になる場合もあり得ると考える。そのような場合に対してどのように備えるのか、検討する必要がある。

15.5 情報公開

社長による記者会見は3月13日から4月13日までの間、役員による記者会見は3月15日から20日の間行われておらず、体調不良や予断を許さないプラント状況への対応の問題はあったにせよ、社会の皆さまへ多大なご迷惑とご心配をお掛けしている企業のトップとして、記者会見などを通じたお詫びやご説明が不十分であったと考える。

今回の事故では全電源喪失により情報の入手に種々の困難があったこと、通常時の原子力発電所の情報公表基準はあったが、原子力災害時にどのような情報をより迅速に伝えていくのか等の広報について具体的な定めがなかったこと、刻々と変化するプラント事象のなかで、周辺住民の皆さまや広く国民の皆さまの安全に関わる、特に迅速にお伝えすべき情報について、その内容や評価を十分に把握できていなかったこと、広報内容について国との事前調整が必要となったことなどから、情報公開に時間を要した。

また、オフサイトセンターによる一元的な広報が機能せず、政府、原子力安全・保安院、当社の役割分担が明確でないままに、各々が記者会見を行った。その結果、三者が同様の情報を発信することとなった事に加え、会見内容に若干の齟齬が生じる場合もあった。

15.6 資機材輸送

今回の地震に際しては、地震による道路被害や通行止め、通信環境の悪化に加え、放射性物質による屋外汚染とそれに伴う被ばくの問題等が資機材輸送の阻害要因となった。

地域事情に精通していない運転手、放射線に関する知識のない、または放射線に関する装備のない運転手の方々にとっては対応が難しく、当初予定していた場所、人や組織まで届けることができない事態が生じ、通信環境の悪化も重なり、予定外の場所に直接的な授受行為なしに置かれるような事例が見られた。

また、APDの輸送事例のように、セットで扱われるべき物が分割で梱包、輸送され、届いてはいるものの一部が発見されなかったために、機材を使用できなかった事例が見られた。

さらに、放射性物質の放出に伴い、避難指示区域が設定されたため、急遽、区域境界近くに物流拠点を構築する等、今回の事故対応事例を教訓に、事前に資機材の輸送について段取りを決めておく必要がある。また、当社（事業者）だけでは対応能力に限界がある。

15.7 放射線管理

(1) 放射線被ばく管理、出入管理

今回の事故においては、法令に定める女性の線量限度超過や内部被ばくの評価に時間を要したことも関連するが、緊急時の線量限度超過事例が発生した。また、被ばく管理に関連して、津波により保有していたAPD自体が使用できなくなってしまったこと、電源喪失により通常使っていたAPDの貸し出しシステムが機能を喪失したため線量集計等に労力を要した。さらには、出入管理拠点の整備にも労力を要した。今回放射性物質の放出に伴い、通常の入退域管理が困難になったため、急遽、出入管理のための拠点選定を行うとともに、電気・水道・通信設備などのインフラが整備されていない悪条件の中、必ずしも放射線に関する知識を有しない部門が放射線管理員のサポートを受けつつ、区域・設備の確保など、拠点の構築を行うこととなった。

これら放射線被ばく管理や出入管理の諸問題に対して、対処方法を検討しておく必要がある。

(2) スクリーニングレベルの見直し方法

今回、通信設備の問題等から、連絡がとりにくい状況の中で、オフサイトセンターの緊急被ばく医療派遣チームの専門家による助言を得ることにより、除染のための基準（スクリーニングレベル）の見直しを実施した。

今後、同様な環境下で発電所が孤立した場合、ある一定の条件の下でスクリーニングレベルの見直しができるよう予め取り決めておくことが事故対応には必要と考える。法律に係わる問題であり、国と事前の調整を行う必要がある。

15.8 機器の状態・動作の把握

福島第一1号機の非常用復水器の隔離弁については、制御電源を喪失した時点で閉動作を開始する仕組みになっている。しかしながら、隔離弁の駆動電源である交流電源や直流電源を喪失した場合、その時点で当該弁の動作は停止する。

このように、各々の電源喪失のタイミングによって弁の開閉状態が異なること、加えて弁等の状態を表示するランプや計器なども電源を喪失していたことから、津波襲来時に当該弁の開閉状態を正確に認識することは困難であった。

16. 事故原因とその対策

<事故原因>

今回の福島第一1号機～3号機が炉心損傷事故に至った直接的な原因は、前章までに述べたように、1号機では津波襲来によって早い段階で全ての冷却手段を失ったことである。2、3号機では津波襲来後も原子炉隔離時冷却系（RCIC）などの高圧注入系が機能したことで2～3日の対応時間を確保することはできた。しかしながら、継続する余震や津波の他、津波による瓦礫の散乱や1号機の水素爆発によって作業環境が悪化し、建屋周辺での活動が制約され時間を要することとなった。このため、高圧炉心注水から安定的に冷却を継続する低圧炉心注水に移行できず、最終的に全ての冷却手段を失ってしまったことである。

すなわち、これまでの原子力発電所における事故への備えは、今般の津波による設備の機能喪失に対応できないものであった。

津波の想定高さについて、当社はその時々最新の知見を踏まえて対策を施す努力をしてきた。この津波の高さ想定では、自然現象である津波の不確かさを考慮していたものの、想定した津波高さを上回る津波の発生までは発想することができず、事故の発生そのものを防ぐことができなかった。このように津波想定については結果的に甘さがあったと言わざるを得ず、津波に対抗する備えが不十分であったことが今回の事故の根本的な原因であり、ほとんど全ての設備機能が根こそぎ失われるという事態を招いてしまったことから、その収束活動についても非常に困難を極めた。

今回の津波に実際に遭遇した今、当社の津波に対する備えが至らなかったことを真摯に反省するとともに、このことから得られた教訓をもとに以下の対策を実施していくこととした。

<対策の考え方>

これまでの章で述べてきたように、日本の原子力発電所における設備形成は、基本的には設計上の想定事故事象（例えば、配管が破断することで原子炉内の冷却水を喪失する冷却材喪失事故など）を想定し、それら想定事象に対して多重、多様な対応手段を講じることで成り立っている。

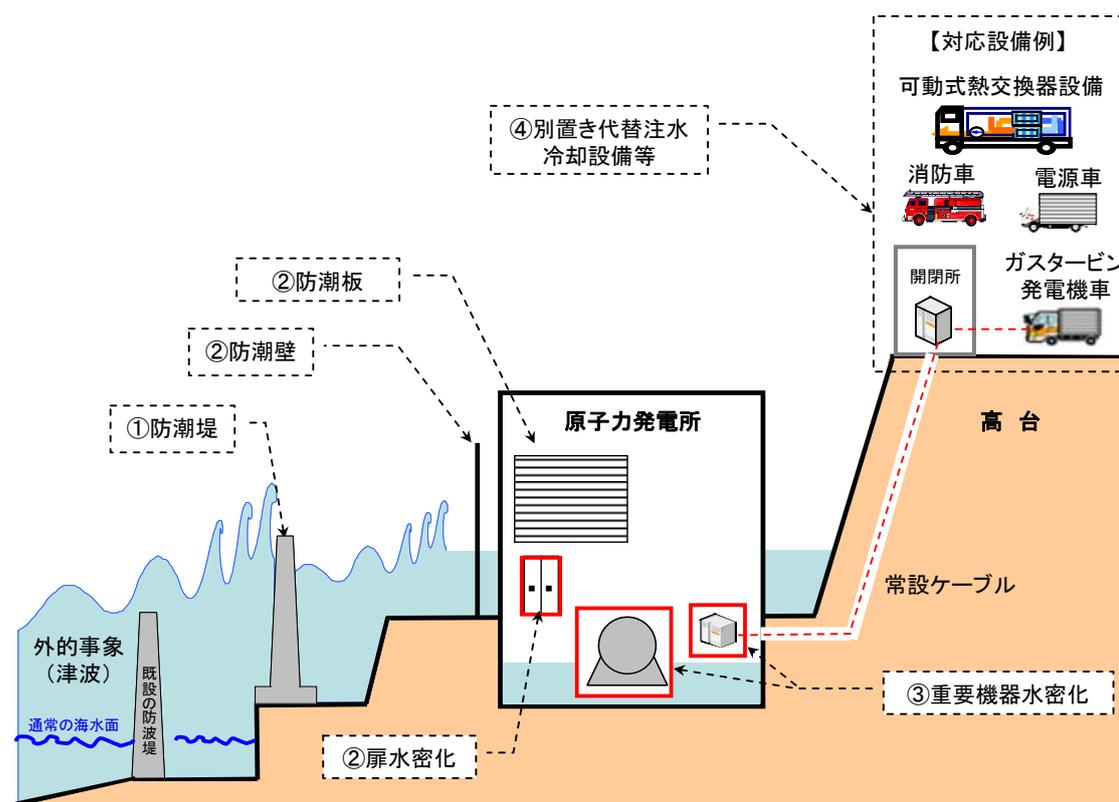
加えて、シビアアクシデント対策として、設計上の想定事故事象を超える事象に対しても、原子炉への注水機能等の強化を中心に対処し、事故事象の発生確率を抑制してきた。しかしながら、今回のように、ほとんど全ての設備機能が根こそぎ失われるという、前提を大幅に上回る津波の発生までは想定できなかった。

今回の津波のような事例に対抗するためには、基本的な考え方として想定を超える事象が発生することを考慮した上で、以下の考えに沿って対策を講じる。

- ① 津波に対して遡上を未然に防止する対策を講じる。
- ② さらに、津波の遡上があったとしても、建屋内に侵入することを防止する。
- ③ 万一、建屋内に津波が侵入したとしても、機器の故障と違って、津波の影響範囲は甚大で多くの機器に影響を与える可能性があることから、その影響範囲を限定するために、建屋内の水密化や機器の設置位置の見直し等を実施する。

- ④ 上記①～③の徹底した対抗策の実施により津波によるプラントへの影響は、最小限にとどめることができると考えられるが、それさえも期待せず、津波により発電所のほとんど全ての設備機能を失った場合を前提としても、原子炉への注水や冷却のための備えを発電所の本設設備とは別置きで配備することで事故の収束を図る。

以上の考え方に従い、設計想定として、蓋然性のある脅威に対して徹底した設備設計で対抗することを基本とするとともに、今般の事故のようにほぼ全ての設備の機能が喪失する場合についても対抗策を備えておく。津波の事例における対抗策のイメージ図を上記丸数字別に下図に示す。



すなわち、『今回の事故原因となった津波事象を含む外的事象に対して、事象の規模を想定し、徹底した対応をすることで事故の発生を未然に防止することを基本とするが、さらに、事故収束に用いる発電所の設備がほぼ全て機能を喪失するという事態までを前提とした事故収束の対応力を検討すること』が安全思想面からの対策として必要不可欠と考える。

その意味では、津波のようにあらゆる設備機能や事故対応活動の環境要素を著しく劣化させた今般の事例から得られた教訓や課題は、当社のみならず原子力発電所を有する他の事業者にも広く共有されるべき貴重な知見であると言える。このような考えに基づき、実戦的な対策を講じることを意図して、炉心損傷防止を図るための設備対応方針と設備面での具体的対策、運用面での具体的対策について、次項以降で述べる。

16. 1 炉心損傷防止のための設備対応方針

- ① 安全確保の考え方としては、異常の発生防止、拡大の防止、影響の緩和という目的で整備された既存の安全設備が津波を起因として多重故障に至ったという事実をふまえ、先ず従来の考え方に沿って、多重故障の要因となった津波による電源喪失や非常用海水系の除熱機能喪失に対する徹底した設備防御の対策を検討する。この考えは、津波以外の外的事象に対しても展開する。
- ② 加えて、想定事象を起点とした発想に囚われず、発電所の設備がほぼ全ての機能を喪失するということを前提とした新たな発想に立ち、対応を検討する。即ち、津波に限らず何らかの理由で多重故障の要因となり得る電源喪失や非常用海水系の除熱機能喪失が発生したとした場合でも、炉心の損傷を防止するための対応力を備えるという観点からの対応方針を検討する。この際には、今回の事故時の経過からも示された炉心損傷を防止するためのサクセスパスを実現するという観点から検討する。
- ③ 更に、炉心損傷防止策に留まることなく、安全性向上の継続的改善の観点から炉心損傷発生を敢えて仮定した上で、その際の影響を緩和するための技術課題も検討していく。

なお、従来の考え方に沿って対処する、津波の想定のある方に関しては、今後十分な検討が必要な課題と認識しているが、ここでは自然現象に含まれる大きな不確定性を考慮し、設計想定を超える福島第一原子力発電所に襲来した津波規模を念頭に検討を進めた。

以上を踏まえ、以下の対応方針のもとで対策を立案することとした。

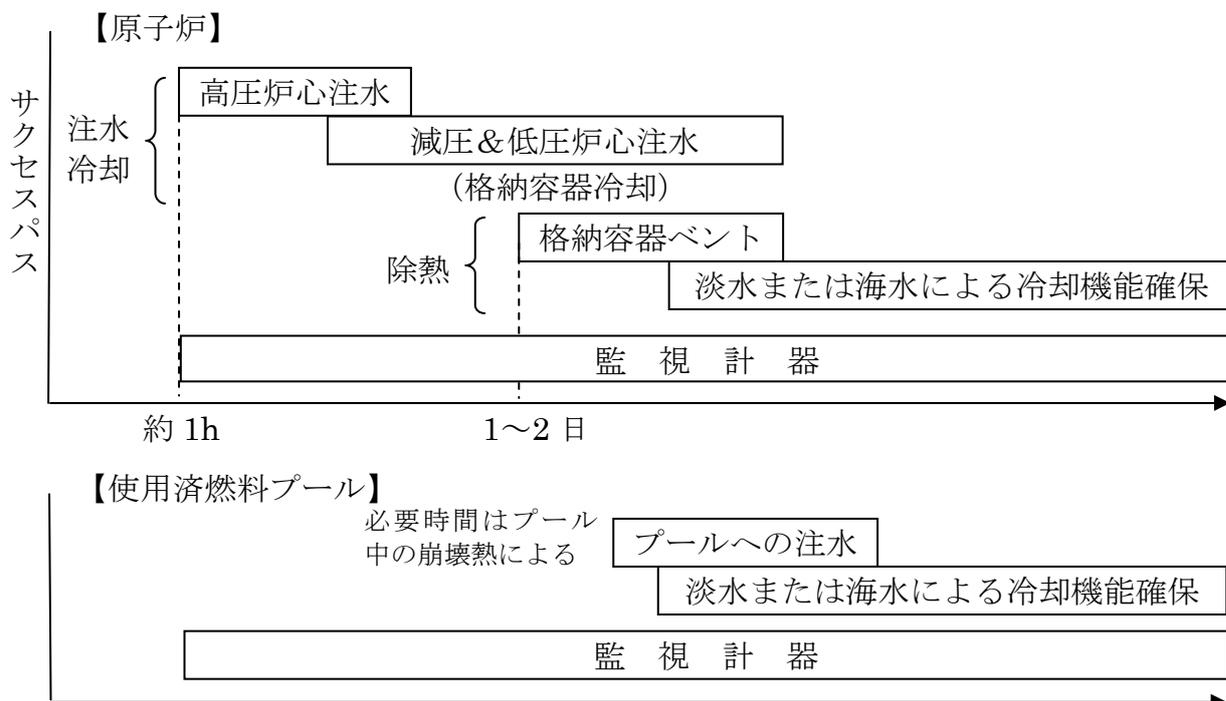
対応方針1：事故の直接原因である津波に対して、津波そのものに対する対策のほか、今回の事故への対応操作やプラントの事象進展からの課題を踏まえた原子炉注水や冷却のための重要機器に対する徹底した津波対策を施すこと

対応方針2：設備の損傷が今回の事故のような（「長時間におよぶ全交流電源と直流電源の同時喪失」や「長時間におよぶ非常用海水系の除熱機能の喪失」による）多重の機器故障や機能喪失に至ることを前提に、炉心損傷を未然に防止する応用性・機動性を高めた柔軟な機能確保の対策を講じること

対応方針3：更なる対策として、炉心損傷防止を第一とするものの、なおその上で炉心が損傷した場合に生じる影響を緩和する措置を講じていくこと

対応方針1、2を具体的に展開していく中で重要なことは、「14.3 炉心損傷事象に対する課題のまとめ」に記載した通り、崩壊熱を除去する注水を切らすことなく確実に行うことである。このときの時間軸も考慮した冷却までのステップは以下の通りである。

原子炉及び使用済燃料プールの冷却・除熱に関するサクセスパス



加えて、対応方針2については、発電所の設備において多重の故障や機能喪失があったとしても、炉心損傷に至ることを未然に防止することが目的としている。したがって、これについては通常は各号機から距離等をおいた場所で備え、対応すべき事故発生時には対象となるプラントへ移動し、原子炉の冷却など必要な機能を発揮する応用性や機動性を高めた柔軟な対策の検討が必要である。

具体的には、福島第一原子力発電所の対応で利用した消防車、電源車等のように、原子力発電所の本設設備として施設されたものではなく、プラントの非常時の設備としてもこれまで期待していなかった機器について、ほぼ全てのプラント設備が故障するような思わぬ事態の機動的な後備えとして、原子炉への注水・冷却が有効に機能するよう配備することを検討する。ここで取り上げた諸対策は、炉心損傷防止のための安全機能の厚みを増す観点から、他の外部事象の発生時にも有用なものになると考えている。

対応方針3については、深層防護の観点から炉心損傷防止対策を講じた上で、なおその上で炉心損傷が生じた場合においても、建屋への水素滞留の防止や放射性物質の放出抑制の対策を講じるとの観点で検討する。

事故の経過と対応方針の関連の概略は次図の通りである。

16. 2 設備（ハード）面での具体的対策

今回の経験を今後の原子力発電所の運転に生かしていくためには、徹底した建屋への浸水対策を講じるとともに、炉心損傷を未然に防止するための必要要件から対策を立案することが重要と考える。

津波への備えのほか、先に述べた冷却成功までのステップ毎に、具体的な対応策を以下に検討・整理した。検討結果については、【添付16-1, 2】参照。

また、万一に備えた炉心損傷後の対策についても整理したが、今後も更なる検討を進め改善を図っていく。

なお、ここでは炉心損傷を未然に防止することに目的を限定した設備的な対策を中心に記載したが、実際に設備を有効活用するためには、手順、訓練などソフト面の充実を確実に図っていく必要がある。

(1) 徹底した建屋への浸水対策

今回の事故はこれまで述べてきたように、津波が主要建屋に流れ込み、重要設備（電源設備等）の浸水により機器の多重故障や機能喪失したことが原因であることから、中長期的に整備するものも含め、重要な設備及び炉心損傷防止に有効な設備を設置するエリアの浸水防止対策が必要である。

[方針1：敷地への浸水対策]

発電所敷地内への浸水を防ぐことは、津波の衝撃緩和及び広範囲に一斉に津波の被害を受けるような事態を防止することに寄与することから、防潮堤の設置を実施する。

[方針1：建屋への浸水対策]

津波の浸水経路となった建屋外壁に設けられた空調設備の空気取り入れ口等の開口部に防潮板、防潮壁を設置することにより、外部からの水の侵入を防止する。加えて、建物内部への水の侵入を防ぐために、扉の水密化を図るとともに、配管・ケーブルを通すために設けられた壁貫通部からの浸水を防ぐための止水処理を実施する。

(2) 高圧注水設備

プラント運転状態から事故停止した場合、当初は原子炉圧力容器の圧力が高いために高圧で注水できる設備の機能が求められる。また、今回の事故において、モータで動く高圧注水用のポンプについてはすべての交流電源が喪失し使用できなかったことから、蒸気駆動の高圧注水設備が重要となる。具体的には、1号機の非常用復水器（非常用復水器の場合冷却機能のみ）や高圧注水系、2号機及び3号機の原子炉隔離時冷却系や高圧注水系が挙げられる。今回、2, 3号機については原子炉隔離時冷却系の長時間運転に成功したが、原子炉隔離時冷却系や高圧注水系を確実に起動するためには、直流電源の確保が必要となる。

[方針1：機器の浸水対策]

前項で述べた徹底した津波対策に加えて、高圧注水設備本体や起動に必要な直流電源（バッテリー室、主母線盤など、供給ルート）を水から守る（被水・浸水させない）ため、設置場所の止水対策を確実に実施する。ポンプ等の機器本体の場合、設計上の制約から水源との位置関係等、設置位置を変更することは根本的な難しさを伴うが、電源等については移設が可能な場合も想定できることから、止水処理に代わって高い場所への移設も選択肢の一つに挙げられる。

[方針2：柔軟な対策による機能確保（蒸気駆動高圧注水設備の強制起動）]

応用性・機動性を高めた柔軟な対策としては、蒸気駆動の高圧注水設備（高圧注水系または原子炉隔離時冷却系）が起動しない場合を想定し、人が現場で強制的に起動させる方法を確立しておくことが挙げられる。高圧注水設備については、即座に対応すべき設備であることから、短時間で対応できることが第一に求められる。従って、高圧注水設備が中央制御室から起動できない場合に、現場で、かつ、人力で高圧注水設備の蒸気入口弁等を開操作し、強制的に駆動用の蒸気タービンを起動させることでポンプを動かし、原子炉に注水する方策を考えておくことが有効と考える。

[方針2：柔軟な対策による機能確保（電動駆動高圧注水設備の活用）]

更なる柔軟な対策としては、電源車などプラントに直接関連しない設備を、通常は安全な場所に保管・充電しておき、本設の電源設備から給電できない場合に当該プラントに緊急で移動させ給電することで、数少ない高圧注水設備を起動させる方策が必要と考える。

対象となる機器の条件としては、起動条件の少ない設備、すなわち関連する設備が少ない高圧注水設備を選択して起動させることが有効と考える。（例えば、あるポンプを起動させるために、別のポンプで冷却水を送る必要があるような設備は避ける。）

具体的には、ほう酸水注入系（または制御棒駆動水压系）の系統をできるだけ早期に起動させる手段を講じることが有効と考える。これらの機器にも、水により直接ポンプ本体が機能喪失しない状態を作り出す対策（ポンプ設置エリアの止水）を考慮する必要があるが、特にほう酸水注入系は気密性の高い原子炉建屋原子炉棟にあることから、津波対策の意味でも最も有利と考えられる。

これらを活用するために、非常用D/Gを含む電源設備の止水に加え、プラント内の電源設備から電気が供給できない場合に備え、外部からの速やかな電源車の持ち込みにあたって、単に電源車を送るだけでなく、トランス、遮断器、機器までのケーブルをセットしたものを事前に準備しておき、手順等も含めた交流電源の確保対策を確立しておくことが必要である。また、非常用D/Gの多様化として建屋外の高台に相応の電源を確保する。なお、ほう酸水注入系については、系統として保有する水の量が少ないことから、補充を含めた水源の確保方策まで事前に確立しておく必要がある。

(3) 減圧装置

プラントの除熱、冷却まで最終的に移行するためには、原子炉压力容器の減圧操作が必要不可欠である。今回、プラントによっては、原子炉压力容器の減圧装置である主蒸

気逃がし安全弁の開操作を円滑に実施することが困難な状況が生じた。これは、電源喪失により主蒸気逃がし安全弁の操作に必要な直流電源が不足したことが挙げられる。

[方針1：機器の浸水対策]

直流電源の確保対策（バッテリー室、主母線盤等設置場所の止水（または配置見直し）が必要と考える。

[方針2：柔軟な対策による機能確保（主蒸気逃がし安全弁の駆動源の確保）]

応用性・機動性を高めた柔軟な対策としては、バッテリーが不足した場合に備えて、補充用のバッテリーを通常はプラントから離れた安全な場所で充電、保管し、必要な時には緊急で搬送し電気を供給できるように配備しておく必要がある。

なお、福島第一原子力発電所の事故における減圧操作では主蒸気逃がし安全弁を作動させるために必要な窒素ガスが不足することはなかったが、空気作動弁での作動用空気圧の低下なども想定し、窒素ポンベの予備を配備しておくことが必要と考える。

（4）低圧注水設備

低圧注水設備としては、非常系の低圧注水設備の他、復水補給水系、消火系が挙げられる。今回の事例では、すべての交流電源を喪失していたため、本来期待していたモータ駆動の非常系低圧注水設備は機能しなかった。いわゆるアクシデントマネジメント設備として、原子炉への注水を可能とするべく配管連結した復水補給水系もまた、モータが被水したことで機能を喪失した。

このため、起動可能な低圧注水設備はディーゼル駆動消火ポンプのみであったが、その能力も前述したように十分に発揮することはできなかった。したがって、低圧注水設備として活用したのは本来、別の目的で配備していた消防車であり、事前に原子炉への注水として十分な手法の検討がなされていなかったこと、厳しい環境下に晒されていたこと等から、安定して確実に注水できる低圧注水設備を短期間に用意することが困難となり、スムーズな低圧注水への切替えを阻んでいた。

低圧注水設備については、高圧注水設備で対応する時間があることから、注入体制を整えるまでには多少の時間的な余裕が生じることとなる。

[方針1：機器の浸水対策]

低圧注水系の確保対策としては、本設設備であるディーゼル駆動消火ポンプを含めた消火系ポンプや復水補給水系ポンプを被水・浸水から守り、燃料切れや電源喪失から復旧することが第一優先と考える。このため、消火系ポンプに対しては設置箇所への止水、ディーゼル駆動消火ポンプには燃料確保（燃料の配送方法含む）、モータ駆動の消火ポンプには電源車等による電源の確保、制御用バッテリー設置場所への止水が必要と考える。

また、復水補給水系については、ポンプの設置エリアへの止水、非常用D/Gを含む電源設備を浸水から防護するための止水または電源車等による交流電源の確保対策が必要と考える。

ディーゼル駆動消火ポンプの場合、交流電源の喪失では優先的にその使用を考慮されるべきと考えるが、交流電源が確保できた段階では復水補給水系ポンプの方が燃料補給がない等、安定した注水が可能と思われる。低圧注水系の場合、高圧注水と比較して機能確保までの時間に若干の余裕があることから、状況を見極め、より安定した注入方法を選択することが重要と考える。

[方針2：柔軟な対策による機能確保（代替注水設備の電源確保）]

更なる備えとなる柔軟な対策としては、上記ディーゼル駆動消火ポンプの制御用バッテリーの能力低下に備えて、別の安全な場所での予備バッテリーの充電と保管を行い、いつでも搬送できるよう事前に検討・準備しておくことが必要と考える。

また、復水補給水系ポンプ等の電源を喪失した場合については、「高圧注水設備」の項でも述べたように電源車の配備や非常用D/Gの多様化として建屋外の高台に相応の電源を確保することで対応する。

[方針2 柔軟な対策による機能確保（消防車による注水手段確保）]

加えて、本設の低圧注水設備がすべて使用できない場合は、消防車による原子炉注水を基本とする。通常は、消防車を安全な場所に待機させ、本設のポンプが使用できないような事態が発生する恐れがある場合には、当該プラントに緊急で移動させ、外部連結口に注水することで原子炉への注水を可能とする設備を構成する。

なお、低圧注水設備に共通の問題として、水源確保の問題がある。福島第一の事故の場合には、原子炉注水に使用できるポンプがディーゼル駆動消火ポンプと消防車に限定され、まとまった淡水水源を確保できなかったこと、初期段階では高低差の問題から近くの海から直接海水を汲み上げることができなかったことが、原子炉注水に時間を要した一因でもあると考える。

[方針2：柔軟な対策による機能確保（水源の確保）]

低圧注水設備は多様であり、使用するポンプに応じて水源も異なる。このため、水源確保において重要なことは、消防車を利用して、事前に海から海水を汲み上げることが可能であることを確認し、その手順を確立しておくこと、発生する状況によって、対応できるポンプが限定される可能性があることから、水源となり得るタンク間の水の融通についても事前に手順を確認しておく必要がある。

また、今回の事故において、消火系の配管が津波や漂流物の衝突の影響で損傷している事例が散見されていることを考慮し、消火系配管のルート図を配備し、損傷箇所を把握することを容易にしておくことも重要と考える。

(5) 除熱・冷却設備

①格納容器ベント（圧力抑制室ベント）

低圧注水段階では、原子炉の圧力を主蒸気逃がし安全弁で圧力抑制室へ逃がし、原子炉の水位低下については低圧注入設備で水を補給するが、やがて圧力抑制室は圧力、温度ともに上昇してくる。このような状況において、海水を冷却源とすることができない

場合は、大気を冷却源とするため圧力抑制室のベント操作を実施し、圧力抑制室内の圧力と熱を大気に逃がすことが必要である。

今回の事故では、福島第一2号機で圧力抑制室の圧力が設計圧力付近まで上昇し、圧力抑制室の温度が100℃以上となった。これは原子炉の熱を圧力抑制室に逃がしたものの、除熱ができないことにより、熱がこもってしまったものである。この段階のベントに限らず、今回の事故では格納容器ベント操作で開操作が思うようにできず、対応が長引くなど困難が生じていた。

炉心損傷が起きていない段階での圧力抑制室からのベントは、基本的に放射性物質の放出のない、積極的なベント操作を意味しており、原子炉の冷却のみならず、格納容器の健全性を維持する意味でも重要な役割を持つ。圧力抑制室のベントラインを完成するには、電動弁を開することと、空気作動式の弁を開することが必要となる。

[方針1：機器の浸水対策]

除熱の観点で圧力抑制室ベントを確実にを行うことができるよう、作動用の交流電源確保と作動用の空気の確保を第一の対策とする。具体的には、非常用D/Gを含む電源設備の止水と作動用の空気としての可搬式空気圧縮機（またはボンベ）の確保が必要となる。

[方針2：柔軟な対策による機能確保（空気作動弁の開操作の多様化）]

柔軟な対策としては、電源に関しては前述のように電源車を配備するとともに、空気作動弁用の電磁弁に対する可搬式発電機を安全な場所に備え、緊急時には即座に搬入して利用できるような方法を確立しておく必要がある。また、最終的に人力により対応するため、電動弁に加えて空気作動弁も手動で操作することができる構造に設計変更を実施する。

②停止時冷却モード（残留熱除去系）による除熱

今回、冷温停止に到達した福島第一5, 6号機、福島第二1, 2, 4号機においても、その途中段階までは、最終的な除熱系統である残留熱除去系の海水系等が機能喪失している。

これについては、電源を確保するとともに、代替ポンプの設置やモータ修理・交換などを行って最終冷却源である非常用海水系を復旧している。

[方針1：機器の浸水対策]

残留熱除去系ポンプは気密性の高い原子炉建屋原子炉棟内に設置され、立型ポンプである点を考慮すれば津波に対して強いことから、津波対策（止水等）により非常用D/Gを含む電源系を確保するとともに、非常用海水系や中間冷却系のポンプを作動させることができるように、交換用の予備モータを設置することが対策になると考える。

[方針2：柔軟な対策による機能確保（残留熱除去系の電源確保）]

柔軟な対策としては、電源の喪失に備えて、非常用D/Gの多様化として相応の電源を建屋外の高台に確保する。

[方針2：柔軟な対策による機能確保（熱交換設備の多様化）]

応用性・機動性を高めた対策としては、これらの復旧をより速やかに行うため、電源や冷却設備を一体で移動式とした可動式熱交換設備（ポンプ、熱交換器一式）の配備を検討する。

③使用済燃料プールの除熱

[方針1：機器の浸水対策]

燃料プール冷却浄化系（FPC）は原子炉建屋の中に設置されており津波に対して基本的には強いが、横型ポンプであることから、ポンプ室と電源系の津波対策（止水）を基本とする。なお、電源については、電源車等の配備を後備えの対策として考える。

なお、現在は水位が低下すると水位及び温度の測定が困難となることから、冷却をより確実に実施できるようにするため、プール内に深部の水位及び温度が計測可能な装置を設置する。

[方針2：柔軟な対策による機能確保（注水方法の多様化）]

今回の事例から使用済燃料プール内の燃料損傷防止対応には時間的に余裕があると考えられることから、応用性・機動性を高めた柔軟な対策としては、注水機能の後備えとして消防車の配備並びに消火系配管の活用を検討する。

（6）監視計器の電源確保

今回の事故では、交流電源とともに直流電源も喪失し、炉心損傷に至った1，2号機は監視計器が機能喪失した。また、直流電源が使用できた3号機においても、不要な計器電源を切るなど、できる限り長時間使用するための工夫を要した。各機器の運転状態の監視機能を喪失したことは、判断や対応に誤りや遅れを生じさせる恐れがあるため、これに対し、仮設バッテリーを持ち込み計器の復旧を行ったが、いずれもかなりの時間を要している。

[方針1：機器の浸水対策]

冷温停止に向けて必要な計器については、計器に必要な電源を津波から保護するための対策（バッテリー室、主母線盤等設置場所の止水または配置見直し）が必要である。

[方針2：柔軟な対策による機能確保（計器用電源の多様化）]

応用性・機動性を高めた柔軟な対策として、直流電源については可搬式バッテリーの配備を、さらには、長時間使用するために電源車並びに可搬式の充電器を設備することが必要と考える。

(7) 炉心損傷後の影響緩和策

今般の事故では、炉心損傷の結果、水素や放射性物質が格納容器内に放出され、これらが建屋に漏えいし、環境への放射性物質の放出につながった。

また、格納容器から建屋に漏えいしたと考えられる水素の爆発によって放射性物質の閉じこめ機能の喪失のみならず、復旧活動自体が著しく困難となった。

炉心損傷を契機に生じた悪影響の防止は、炉心の損傷自体を防止することが第一であるが、深層防護の観点から、炉心損傷が生じた場合における更なる対策を講じておくことが肝要である。

なお、炉心損傷後の影響緩和策については、今後の事故調査を踏まえ、改善していくこととする。

①水素滞留の防止

炉心損傷が生じて水素が発生した場合においても、建屋への水素滞留を防止して水素爆発を防ぐ対策を講じることが重要である。

福島第一2号機の場合は建屋の爆発は発生していないが、これは建屋最上階のブローアウトパネルが開放されていたことで換気が促進されたためと考えられる。

[方針3：炉心損傷後の影響緩和策]

水素滞留を防止して原子炉建屋の水素爆発を防止するために、原子炉建屋の換気促進の対策が必要である。

必要な場合には原子炉建屋屋上へ穴を開ける措置（トップベント）や原子炉建屋最上階のブローアウトパネルを開放する措置で原子炉建屋内の水素滞留を防止する。

②放射性物質の放出抑制

[方針3：炉心損傷後の影響緩和策]

炉心損傷前の格納容器ベントでは、放射性物質が大量に放出することはないが、福島第一1, 3号機では、炉心損傷が発生した中でウェットウェル（圧力抑制室）ベントにより放射性物質を水フィルタを介して放出することで、放射性物質放出の低減を図った。

対応方針2において、ベント実施の確実性を向上する対策を講じていることは炉心損傷後においても効果を持つものと言える。

また、格納容器を冷却するため、消防車等による原子炉への注水手段に加え、格納容器への注水が可能となる手順を準備する。

(8) 共通的事項

以上、今回の事故を踏まえた津波に対する具体策を記載したが、これらを有効なものとするためには、これまで述べた設備的な対応のほか、対応する人が安全に安心して効率的に動けるように、作業を支援する装備や補助設備を充実する必要がある。

具体的には以下に述べる。

①外部電源

福島第一原子力発電所は、地震による設備被害によって全ての外部電源が受電不可となった。回避できれば原子力発電所の更なる安全向上に繋がることから、外部電源設備に対し損傷原因の分析や迅速な復旧への対応を踏まえて、福島第二原子力発電所及び柏崎刈羽原子力発電所の外部電源設備に対し主に以下の4点について検討を行っている。

- ・ 外部電源システムの信頼性向上
地震時における原子力発電所の外部電源の信頼度確保の観点から、1つの変電所の全停電という過酷なケースにおいても外部電源が喪失しないレベルの供給信頼度を確保するための設備形成の検討する（異なる2つの変電所からの受電や、送電システムの切替えによる早期復旧など）。
- ・ 送電鉄塔の基礎の安定性の評価
原子力発電所の外部電源の送電鉄塔については、夜の森線のNo. 27鉄塔が隣接地の盛土の大規模な崩壊により倒壊したことを踏まえ、このような二次的被害を引き起こす3項目（盛土の崩壊、地滑り、急傾斜地の土砂崩壊）を評価する。
- ・ 変電所設備／開閉所設備の耐震性向上
今回の地震により、福島第一1, 2号機超高压開閉所の空気遮断器、断路器に被害が発生して外部電源が喪失していることや、他の変電所でもがいし型の変電機器に被害が発生していることから、これらの損傷原因を分析評価する。なお、この評価結果を踏まえ、必要により対策を検討する。
- ・ 外部電源設備の迅速な復旧
万一、外部電源設備に被害が発生しても、早期に復旧できるような対策を検討する。

福島第二原子力発電所及び柏崎刈羽原子力発電所の外部電源設備に対する検討状況は次のとおりである。

<外部電源システムの信頼性向上>

福島第二原子力発電所の外部電源については、現状、1つの当社変電所からの500kV送電線2回線及び66kV送電線2回線で構成されており、1つの変電所の全停電という過酷なケースにおいても外部電源が喪失しないレベルの十分な供給信頼度を確保するため、異なる変電所（東北電力の変電所）からの送電ルートの検討を行っている。

また、柏崎刈羽原子力発電所の外部電源については、現状、当社の500kV送電線

4回線及び東北電力からの154kV送電線1回線で構成されており、1つの変電所の全停電においても、残りの変電所から受電することで外部電源は確保される。

<送電鉄塔の基礎の安定性の評価>

福島第二原子力発電所及び柏崎刈羽原子力発電所の外部電源である当社送電線の鉄塔、それぞれ24基、415基を対象に盛土の崩壊、地滑り、急傾斜地の土砂崩壊の安定性評価を行い、全ての鉄塔基礎について問題ないことを確認した。

なお、地滑り地形内にある鉄塔2基及び地滑り地形近傍にある鉄塔11基については、周辺地盤の変状を重点的に監視していく。また、急峻な山岳地で豪雪地帯に位置する鉄塔2基については、将来的な岩の風化の影響による崩壊を考慮して長期的な予防保全策を検討する。

また、東北電力から柏崎刈羽原子力発電所への送電線については、26基の鉄塔を対象に東北電力が同様な評価を実施し問題のないことを確認した。

<変電所機器／開閉所設備の耐震性向上>

- ・ 被害のあった同型変電機器の耐震性の評価

福島第二原子力発電所開閉所及び新福島変電所（福島第二原子力発電所の直近変電所）の送出口における変電機器について、耐震性評価結果に応じた対策を検討している。

柏崎刈羽原子力発電所開閉所及び西群馬開閉所（柏崎刈羽原子力発電所の直近開閉所）は、耐震性の比較的高いガス絶縁機器で既に構成されている。また、柏崎刈羽原子力発電所へ直接つながる東北電力の刈羽変電所の機器についての補強も検討する。

- ・ 基準地震動S_sに対する耐震性の評価

これまでの発電所開閉所の機器は耐震Cランクの設備として取り扱われてきたが、福島第二原子力発電所及び柏崎刈羽原子力発電所開閉所の電気設備について、日本電気協会電気技術規程JEA C4601「原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠し基準地震動S_sに対する耐震性の評価を、入力地震動の算出、開閉所の電気設備、変圧器の耐震性の評価、の手順に従っている。

なお、これらは中期的に外部電源設備の電気系統としての信頼性を高めることを目的としており、評価を平成24年12月までに完了するとともに、対策が必要と判断された場合には対策を講ずることとする。

<外部電源設備の迅速な復旧>

今回の復旧においては、移動用機器や隣接回線等の部品活用により対応したが、早期の本格復旧を果たすことに考慮して、原子力発電所に直接つながる変電所が万一被災した場合の被害想定に基づいた復旧用の資機材の確保や復旧手順等の整理について検討している。

②瓦礫撤去設備

今回の事故対応の中では、津波や爆発による瓦礫が散乱し、消防車等の移動や対応活動の阻害要因になったことから、事前に瓦礫撤去用の重機を配備する必要がある



ものとする。なお、駐車車両の漂流が重要施設に影響を与えないように施設内の駐車場の位置については留意が必要である。

例：ホイールローダやショベルカーの配備

③通信手段の確保

今回の事故対応の中では、ホットライン（固定電話）は使えたものの、有線ページング、PHSなどの通信手段が使えなくなり、スムーズなプラント情報の交換や対応動作に支障を与えた。このため、電源の問題など整理し、状況に応じた通信手段の確立を検討する（例：移動無線、衛星電話の配備や、電源としての蓄電池等の配備）。また、通信事情が改善されたとしても、全面マスクでの緊急作業が続くことを考慮すれば、全面マスクを装着した状態での通信設備の開発も望まれる。

④照明用設備の確保

今回の事故対応では、電源の喪失により、対応動作に必要な不可欠な照明を失った。安全、迅速、確実な対応を行うためには、両手を使えるようなヘッドライトタイプの照明の他、より広範囲を照らせるような照明設備の配備を実施する。

例：ヘッドライト、LEDライト、バルーン投光器の配備



⑤防護設備（防護服、マスク、APD、可搬式空気清浄機、非常用中央制御室換気設備）

現場での対応を余儀なくされる人々、運転員や重要免震重要棟の対応者は、プラントの異常の影響をいち早く受ける立場にあり、防護服（通常装備の他、放射線遮へいスーツ）、マスク、APD、中央制御室の環境を改善する可搬式空気清浄機等、常日頃から様々な装備品等を適切な場所に余裕をもって配備しておく必要がある。

また、中央制御室の非常用換気設備については、最前線の拠点である中央制御室の環境を守る上で重要な設備であり、電源車等により優先的に機能回復を図るべき設備に位置づける。

さらに、放射性物質の放出があった場合においても、事故対応の拠点となる免震重要棟の環境を維持するために、遮へいの強化や局所排風機など必要な設備を事前に準備する。

⑥放射線管理ツールの整備

今回の事故対応では、現場に向かう人たちへAPDを貸し出す際に、免震重要棟において手書きで線量データ等を記録する等の方法で対応したため、結果としてその後の線量集計が困難を極めた。作業の効率化を図り、適切な管理ができるように、免震重要棟を含め、拠点となる場所においては線量集計を簡略化できるように、管理ツールを整備する。

⑦環境放射線の監視体制の強化

電源喪失によりモニタリングポスト等環境放射線監視システムの機能が停止し、連続的な放射線監視ができず、モニタリングポストの復旧まではモニタリングカー2台を用いた人の手による測定結果のみとなった。このような状況を想定し、発電所からの放射性物質放出事象に対して適切な放射線監視が行えるよう、電源停止の場合の代替監視方法及び要員体制を予め定めておく等、モニタリングのための放射線測定設備の強化が必要である。

⑧津波監視体制の強化

今回の事故対応においては、津波に被災した後においても、余震や津波警報が継続し、当社社員も含めた事故収束に対応する者は、再度津波に被災する可能性のある状態の中での対応を余儀なくされた。このため、可能な範囲において監視等をしながら対応し、適宜避難を実施したが、津波の来襲速度や避難場所への距離の問題を考慮すれば、通常の監視レベルでは避難時間の確保が難しくなる可能性がある。特に今回の津波襲来時刻は15時30分前後であり、3月11日当日の対応はそのほとんどが夕刻以降であり、監視そのものを難しくした。

このような問題に対処するため、短期的には赤外線スコープなどの配備を、長期的には避難時間なども考慮した海面高さ観測装置による情報収集と作業員への通知方法、避難ルートの確保が必要と考える。

また、建屋内については、より現場への対応能力を向上させるために、各建屋に存在する扉等の情報を整理し、緊急時に状況に応じて現場に向かうルート案を事前検討し、必要に応じて改造する。

⑨免震重要棟の機能強化

免震重要棟は、今回の事故対応における唯一の前線拠点として大きな役割を担ったが、水素爆発の影響などを受け、強化すべき問題も確認されている。今後の活用を考えて、前述⑤に加え、改善すべき主要なポイントを以下に記載する。仮設での対応も含め、事前に検討を進めておく必要がある。

- ・人と物の出入口の分離（食料などの搬入作業時に、作業員の出入りが遅延する。）
- ・放射性物質の侵入防止を考慮した出入口設計
- ・除染しやすい内装
- ・トイレ設備の機能維持
- ・休息のための設備準備

（9）中長期的技術検討課題

今回の事故を踏まえ、津波を念頭に、炉心損傷防止のための安全機能の厚みを増す観点で、他の外部事象の発生時にも有用なものとなる対策を以上の通りとりまとめたが、対応の信頼性をより向上させるためには、以下について検討を進める必要があると考える。

まず、事故直後に必須となる高圧注水設備に関して、今回の事故では福島第一1号機の非常用復水器が津波の影響で直流電源を喪失し隔離され、結果として冷却機能を失うこととなった。インターロックの在り方について、検討する必要がある。

[高圧注水設備の信頼性向上に資する検討]

この結果を踏まえ、非常用復水器の隔離信号のインターロックも含め、高圧注水設備の信頼性向上に資する考え方を整理・検討し、より柔軟な運用が可能か慎重に検討することが必要である。

次に、格納容器ベントに関して、ベントを確実に実施するための対策は既に述べたが、その除熱機能として放射性物質を大幅に除去する形での格納容器ベントをより有効なものとするための検討を進めていく必要がある。

[ベントラインの信頼性向上に向けた検討]

このため、ラプチャーディスクを積極的に作動させる方策やベントラインの信頼性向上についても検討する必要があるものとする。ただし、不用意な放出につながる可能性もあることから、慎重に検討を進める必要がある。

[フィルタベントの検討]

なお、炉心損傷後においても、格納容器ベント時の放射性物質の放出を低減するため、放射性物質をフィルタを介して放出するフィルタベントの設計検討を行う。

また、今回の事故において、監視計器が直流電源喪失により監視不能となったことから、対策として電源を確実に確保するための対策を立案した。

一方、原子炉水位計に関して、炉心損傷後、実際と大きく指示が異なっていたという事例が発生していることを踏まえ、これを考慮した事故時の計測に関する検討が必要である。また、格納容器雰囲気モニタ（CAMS）については、格納容器の状態把握、ひいては原子炉圧力容器の状態把握のため、水素ガス等の状態を早期に把握し、状況によっては水素爆発を未然に防止するための迅速な対応を行えるようにしておくことが重要であり、設備の信頼性の向上検討が必要である。

[事故時の計測装置の研究開発]

- ①原子炉水位計については、単に水位計の精度の向上だけを目指すのではなく、事故時に必要な目的に応じた計測装置を研究、開発することで多様性を持たせていくことが必要であると考えられる。
- ②格納容器雰囲気モニタについては、事故時における使用を考慮して信頼性向上を検討する他、水素分析等において事故環境下での精度向上についても検討が必要と考えられる。

16.3 運用（ソフト）面での対策【添付16-3】

16章冒頭で述べたとおり、今般の事故原因を踏まえれば、**『今回の事故原因となった津波事象を含む外的事象に対して、事象の規模を想定し、徹底した対応をすることで事故の発生を未然に防止することを基本とするが、さらに、事故収束に用いる発電所の設備がほぼ全て機能を喪失するという事態までを前提とした事故収束の対応力を検討すること』**が安全思想面からの対策として必要不可欠と考える。

この考え方にに基づき、16.2に設備面からの対策を示したが、そこで述べた「炉心損傷を未然に防止する応用性・機動性を高めた柔軟な機能確保の対策」や、「炉心が損傷した場合に生じる影響を緩和する措置」に関する設備面からの対策を実戦的に機能させていくためには、ハードの整備はもとより、その「具体的な実施手順の策定」、「要員・体制的な裏づけ」、「技能や知識の付与・訓練」といったソフト的な対策を整備する必要がある。それぞれの項目について、具体的な要件を以下に示す。

<具体的な実施手順の策定>

16.2に示した炉心損傷を未然に防止する柔軟な対策、あるいは炉心が損傷した場合に生じる影響を緩和する措置として整備する設備の機能を発揮させる手順は、多重の機器故障や機能喪失を前提として使用することを念頭に策定する必要がある。

そのような前提においては、想定と異なるプラント状態になる可能性があることから、整備した設備をプラント状態に応じて柔軟に選択できるよう汎用性のある手順とする。

さらには、通常であれば中央制御室から遠隔操作が可能な機器であっても、遠隔操作ができなくなる可能性に配慮し、人が現場で操作できるよう、人のアクセスルートや可搬機器の設置場所を明確にした手順とする。また、操作に必要な資機材の種類とその保管場所、さらに、炉心が損傷した場合において必要となる操作については、被ばく低減のための装備品とその保管場所を明確にした手順とする。

<要員・体制的な裏づけ>

策定した手順を用いて整備した設備を機能させるには、手順を遂行するために必要な要員を確保する必要がある。

16.1に示すように、炉心損傷を未然に防止するために要求される注水・冷却機能は、時間と共に変遷するため、その機能を達成する設備の操作に必要な要員が、時間の変遷と共に確実に確保できる体制とする。

また、複数プラントの同時被災においても、対応できるための指揮命令系統、緊急時対応を支える活動拠点、長期の事故対応等ができるためのインフラ（衣食住）を考慮する。

<技能や知識の付与・訓練>

策定した手順を確実に遂行するため、要員・組織に必要な技能や知識を付与する教育（重機や電源車、消防車等の運転に必要な免許取得を含む）、及び実際の事故の状況に応じて対応ができるようにするための訓練をそれぞれ実施する。

これに加えて、今般の事故対応において課題が顕在化した事項に対して、以下の運用面での対策を行う。

(1) 緊急時対応態勢

①緊急時対応態勢

15章の事故対応態勢の課題で述べたように、どのような事に対して、誰（政府・国、自治体、事業者）が責任を持ち、どのような実効ある対応を実施するのかを明確にすることを課題として挙げた。即ち、政府・国、自治体、事業者それぞれが支えるべき対象を明確にして実効ある事故対応を行う必要があるが、当社は当事者として発電所の事故収束の責任を有することは言うまでもなく、国民の皆さまに原子力発電所の情報を提供する必要がある。また、今回の事故では事故対応に専念できる態勢を2番目の課題として挙げている。

このような課題に対応するため、当社事故対応態勢を内側（発電所事故収束）に向いて直接的に事故対応する態勢と、外側（広報、通報連絡、資機材調達等）に向いて対応する態勢に分け、発電所事故収束の対応に直接的に係わる要員は、事故収束対応に専念する態勢を確立する必要がある。

一方、外側に向いて対応する態勢には、国民の皆さまへの正確・迅速な情報発信や自衛隊、警察等の機関との緊密な連携が必要であることから、発電所の事故対応に従事する要員の活動を阻害せずにプラント情報などを取得する仕組み作りを検討、整備する。また、海外からの支援等、数多くの情報の中から有益な情報を抽出し、有効活用するためには、寄せられた情報を仕分け、真に必要なとす支援を選択する仕組みを考慮する必要がある。このためには、外側に向いて対応する態勢においても、技術系社員の適正な配置が必要と考える。

②指揮命令系統

事故収束の指揮は、当然のことながら現地の状況・実態に即して行われなければならない。遠隔地から事故収束活動の具体的指揮を行うことは実戦的見地から適切ではない。遠隔地からの実態に即さない具体的命令を行うことは、大きな危険を伴う場合があることから、事故収束活動を行う発電所対策本部、及びその支援を行う本店対策本部の位置づけに即して、所長の指揮権は尊重されなければならない。現地の具体的な事故対応については、発電所長に指揮命令の権限があることを今一度明確に認識する必要がある。すなわち、格納容器ベント操作のような事例にあっては、実施の判断は発電所長が行うが、住民避難の問題があることから、実施時期については本店や国等へ報告し、調整する。

このような基本的な認識の上で、本店対策本部は発電所に対して、人的、物的支援の他、事象分析等の技術的支援を行い、また、外部関係機関との調整においても発電所長が行う現場事故対応の具体的指揮に関して、直接的な介入などによる指揮の混乱等、発電所長が行う事故収束活動を阻害しないように支援しなければならない。

③長期対応態勢の確立

対応態勢の課題の一つとして、長期間の事故対応にも耐えうる態勢の確立が挙げられる。途切れなく対応するためには、判断者も含め長期間、24時間対応できるような態勢作りを事前に検討しておく必要がある。態勢作りにあたっては、重なる時間を設け、

スムーズな引継ぎができるように配慮する。

また、対応態勢で担当する業務は、できる限り通常行っている業務と同種のものとし、少人数でも効率的に対応業務ができるように配慮する必要がある。ただし、広報関係、調達関係等には、技術系社員からも適切に人員を配置し、前項で述べたように発電所を直接的に支援する組織の対応活動を阻害しない配慮をする必要がある。

なお、発電所が複数号機、長期間の対応を余儀なくされた場合、対応要員の増強を図るため、当該発電所経験者などを中心に、本店が主導して本店や他発電所からの人的支援を実施する。

④初動の対応態勢の確保

今回の災害対応初期段階において、経営トップが不在だったことを真摯に反省し、今後は常に緊急時対応を念頭においた行動をとられるよう調整を実施する。【本店適用】

また、今回は地震発生時刻が平日午後であったために対応要員の参集も比較的スムーズにできたが、いかなる時間に緊急事態が発生したとしても、必要な対応要員が参集できるように環境や仕組みを整備し、手配する。

⑤指揮命令系統・原子力・立地本部長、原子力・立地本部副本部長【本店適用】

本店の対応態勢においては、原子力・立地本部長または原子力・立地本部副本部長が適切に発電所支援のための判断ができるよう、発電所事故収束対応に専念できる態勢とすることが望ましいと考える。

従来、原子力災害時には、オフサイトセンターに原子力・立地本部長を送ることとしていたが、これは今後のオフサイトセンターのあり方に関連する。

今後のオフサイトセンターのあり方については、原子力安全委員会の中で議論され、従来のあり方は否定され、物理的な場所としては、中枢機能の拠点（緊急時対応拠点）は原子力施設から十分に離れた場所にあつて、交通・通信の確保等が容易な場所が挙げられており、県庁所在地が有力とされている。

また、対策実行拠点は発電所から一定の距離を保った適切な場所となつており、地方自治体の長が避難等の防護対策を意思決定し、市町村長等の被災現場の意思決定者が避難等防護策を実施する可能性が高い。

このため、緊急時対応拠点までの移動の困難さを考慮すれば、発電所は主に対策実行拠点で市町村などの支援を行い、発電所から距離の離れた緊急時対応拠点には原子力・立地本部長が指名する者を派遣し、TV会議システムで情報の共有を図ることが現実的で実効的であると考えられる。

(2) 情報伝達・情報共有

今回の炉心損傷事故のような極限状態において、情報を伝送する機器や通信設備にも期待できない中で、プラント状態や安全上重要な設備の系統状態を正確に伝達することは非常に困難であることが確認された。

機器の状態把握が難しい状態の中では、不確かさも含め機器の状態やそれらをもとにした原子炉の挙動や安全確保の状況を的確かつ迅速に判断して、事故に対応することが重要と考える。そのためには中央制御室等で得られた情報を関係者で確実に共有するこ

とが必要不可欠であり、プラント状態や系統の状態を容易に正しく認識する備えが必要と考える。このため伝達は、口頭や数値の羅列ではなく、簡単な系統図などを利用した情報伝達様式等を整備し、視覚的に容易に状態を把握できるようにし、情報変更の度に連絡するようにしておくことが必要である。例えば、ポンプや弁等の機器状態を状態未確認も含めて記号で表示するだけで、系統状態が把握でき、系統が使用できているのか否か、系統が使用できているか判断するために状態を確認すべき機器は何かなど、判断や確認すべき項目の把握が容易になるものとする。

また、通信設備が十分な機能を発揮しない場合においても、事故時には機器の状態を的確に把握し、迅速に判断するとともに関係者間で共有するために、予め主要な機器の状況や原子炉の重要なパラメータについて、緊急時対策室と中央制御室のホワイトボード等の上に同一のテンプレートを準備して適時確認する。これらの情報伝達方式については、防災訓練などを通じて習熟訓練を実施する。

このような事故情報の伝達手段の改善は、国等の防災組織への情報伝達の改善にも効果があるものとする。事故状況に関する情報は、国の防災組織による国民保護や住民避難の判断等に必要な情報であることを踏まえ、状況が不明であることやプラント情報が得られない状態であるならばそのことも含めて伝達されることが必要である。

(3) 所掌未確定事項への対応

前述したように、柏崎刈羽原子力発電所の新潟県中越沖地震対応で得た教訓から、消火作業のために福島第一原子力発電所に配備していた消防車を使って、原子炉への注水作業を行ったが、消防車のこのような利用は想定していなかった。このため、消防車の送水を原子炉に注入するための作業については、役割分担も明確にはなっていなかった。

今回、自らの役割・責任を超え、関係者が協力して動くことで対応できたものの、想定外事象への対応が起こるという発想に立てば、今後も事故対応の中で役割・責任が不明確な対応も当然必要となる。しかしながら、想定外事象への対応をすべて洗い出し役割分担を明確にすることは現実的には難しいことから、対策としては指示する側で対応を検討した。

検討の結果として対策は、基本的なことではあるが、指示を出す者またはそれを補助する者が、誰に何をするのかを明確に指示することとし、訓練の中で適切に行われているか否かを確認する。

(4) 情報公開

原子力災害が発生した場合においては、その状況を迅速・正確に、分かりやすく公開し、広く社会の皆さまにご説明することは、原子力発電所を運営する事業者として当然の責務である。今後、トップ自らが率先し、積極的な情報発信に努めていく。

万が一原子力災害が発生した場合においても、今回起きた事故を踏まえ、発電所周辺の住民の安全に役立ち、かつ、広く国民の皆さまにお伝えすべき情報について、検討しておくことも必要である。何より、原子力災害において、核物質防護に関するものを除き、あらゆる情報を公開することは会社としての基本姿勢であり、今後もしもいささかも変わるところではない。一方で、事象が起きてから、その時点の状況を漫然とお伝えするのではなく、様々な原子力災害の形態と事象の進展を想定した上で、万一原子力災害が

発生した場合には、進展する事象を迅速・確実に公表すると共に、住民の安全にとって重要な情報を最優先に公表する。

また、プラントパラメータやモニタリングデータは、プラントの状況や発電所周辺が安全なのかどうか客観的に評価しうる基礎的なデータとなることから、ホームページ等も活用して、広く公開していく（なお、今回の事故においても、モニタリングデータについては、3月11日の夜からホームページ上で順次公開した）。

さらに、先に述べた外側に向いて対応する態勢の確立の中で、報道対応に携わる者が情報の意味や評価を正確に理解できるよう、技術系社員の配置も含めて態勢を構築する。

インターネットは広くアクセスが可能で、文字・動画・画像・データなど、多様な形式で情報を展開お知らせできることから、今回の事故を踏まえ、ライブ会見や現地の画像・動画など多様な情報を直接かつ迅速にお伝えできるインターネットを積極的に活用していく。

避難に係わる情報については、人の安全に直接関わる問題であることから、情報の混乱がないように国、自治体、事業者間で事前の準備や調整が必要と考える。

しかしながら、それ以外の情報については、かかる緊急事態にもかかわらず行われたような、過度な発表内容の事前調整については取りやめ、迅速な情報公開のために情報共有程度に留めるべきと考える。

（５）資機材輸送

今回の事故で得られた様々な教訓から、事前に検討すべき資機材の輸送に関する段取りについては、以下に示す事項を考慮する必要があるものとする。

①輸送中継拠点の選定

今回は、当社施設である小名浜コールセンターやJヴィレッジを活用したが、屋外に汚染が拡大した場合、その状況によっては利用することができない。実際の対応では、汚染の状況、道路状況等に柔軟に対応することが必要不可欠であり、発電所周辺で輸送中継拠点になりうる候補地を複数箇所事前に選定しておく必要がある。

②輸送中継チーム

外部から資機材が輸送されてきても、通信手段の問題等から、現実的には事故対応をしている発電所と直接資機材の受け渡しは難しい。このため、発電所に代わって資機材を受け取り、保管や発電所への確実な受け渡しを行うことを目的としたチームを結成、派遣する必要がある。資機材の受け渡しをこのチームが行うことで、発電所への連絡や受け渡しにおいて確実性の向上が期待できる。

輸送中継チームは、受け渡し場所までの確実な輸送を担保するため、輸送部隊を結成する。当然ながら、資機材の受け渡しに必要な発電所の情報を確実に輸送する側に伝え、中継基地から発電所への受け渡し場所までの輸送部隊の運営管理も輸送中継チームが行う。輸送では資機材の荷下ろし作業も伴うことから、現在発電所所員も荷下ろしに必要

な装置の取り扱い資格取得に努めているが、周辺状況に応じて臨機に対応するため、輸送部隊側にも資格取得者を配置する。なお、輸送部隊は、汚染エリアでの輸送に従事するため、定期的に放射線に関する教育を行う。

③輸送物情報

資機材を確実に届けるために、資機材に関する輸送に必要な情報を明確化する。

情報項目としては、届け先（グループ名、氏名）、発注元（発注手続者ではなく発注依頼元のグループ名、氏名）など基本的な情報の他、機能を発揮するために必要な資機材セットの輸送情報（例えば、機器本体の情報として、本体機能発揮に必要な充電設備等の付帯設備の梱包箱番号等）等を記載する様式を決め、当社が提供すべき情報の他、資機材発送側から提供される情報を資機材とともに動かすことで円滑な輸送を行う。

特に、社内組織からの輸送物であって重要度の高い資機材については、今回の輸送に関する成功事例に鑑み、その操作や輸送物情報を知る者も可能な限り資機材とともに移動するよう配慮する。

（６）出入管理拠点の整備

今回の事故対応においては、事故対応への出入拠点（除染場所、汚染エリアへの立入拠点）として小名浜コールセンターやＪヴィレッジを福島第一原子力発電所から離れた場所に設置した。Ｊヴィレッジの設営当初は、電気・水道・通信などのインフラも喪失し整備されていなかったが、小名浜コールセンターとともに徐々に設備を充実させることで対応し、福島第一原子力発電所へ復旧に向かう作業員はもちろん、警戒区域内へ立ち入る人々にとっても重要な拠点として機能した。これらを踏まえ、輸送中継拠点と合わせて、出入管理拠点構築の方法（事前の拠点選定、支援要員への放射線教育、除染設備の確保等）を予め検討する。

（７）原子力災害時における安全の確保（放射線安全他）

①放射線管理教育の強化

今回の事故は、屋外さえも管理区域と同様な環境となったため、常日頃管理区域に入る必要のない業務を担当してきた人も否応なく放射線や汚染に対処する必要が生じた。

また、放射線や汚染に配慮すべき範囲や業務が拡大したため、放射線管理員が不足した。このような事態に対処するため、発電所に勤務する者については、担当する業務が放射線に係わらない業務であっても、万一の対応を考慮して最低限必要な放射線管理に関する知識を教育するとともに、関連する装置（サーベイメータ、APD等）の基本的な取り扱いについて訓練をしておくことで、放射線管理における補助的な業務が行えるようにする。

②女性の作業従事に関する考え方の整備

今回の事故対応においては、地震発生後に当社女性社員が消防車の給油、免震重要棟での業務等にあたっており、結果として線量限度を超える事象が発生した。この事例に

鑑み、原子力災害発生時は、発電所で業務に従事する女性については、できるだけ早期に発電所から退避することを基本的な考えとして整備する。

③内部被ばく評価方法及び対応手順の整備

今回の事故対応においては、多くの作業者が内部被ばくした。その後の内部被ばくの評価においては、放射性物質の体内への取込み時期の特定や評価手法の確立に時間を要したために遅れが発生した。このような点を考慮し、原子力災害発生時の内部被ばく評価方法及び対応手順について、改めて検討、整備することが必要と考える。

(8) 機器の状態・動作の評価

福島第一1号機の非常用復水器の隔離弁について、各々の電源喪失のタイミングによって弁の開閉状態が異なること、加えて弁等の状態を表示するランプや計器なども電源を喪失していたことから、津波襲来時に当該弁の開閉状態を正確に認識できなかった。

安全上重要な設備の制御電源喪失時に、隔離弁が閉動作するような仕組みについては、慎重に検討を進める必要があり、先に述べたように「隔離信号のインターロックも含め、高圧注水設備の信頼性向上に資する考え方を整理・検討」することとしている。

併せて、交流電源、直流電源を喪失した場合の機器・系統の動きについて、安全上重要な設備を中心に検討分析し、分析の結果として機器の状態把握方法などの面で有益な情報が得られた場合には、手順書や教育・訓練へ反映する。

16.4 国等への提言事項

(1) オフサイトセンターのあり方

原子力災害時に当初中心的役割を予定していたオフサイトセンターが機能しなかったために、国、自治体、事業者が協力して予定していた広報の一元化については実施できなかった。今回機能しなかった事態を踏まえ、実効的な広報について関係機関と再度調整を行う必要がある。

現地での初動対応等の拠点としてのオフサイトセンター本来の役割を見据えた場合、地域住民にとってどのような情報が重要であるかをよく検証し、中央で発信すべき情報と現地で発信すべき情報を見極め、その方法を含めて有益な情報をいかに迅速かつ正確に公表することができるかを事前によく検討しておくことが必要である。

当社自身も、新潟県中越沖地震での教訓なども踏まえ、オフサイトセンターでの広報一元化ができない時点で、独自にラジオ放送、テレビテロップ、広報車両の巡回、当社社員の帯同などで連絡を図ったが、通信不良などの問題から、連絡が届かなかった事例も確認されている。

また、震災発生以降、一部通信手段が不調となったことに鑑み、今後、関係自治体等への通報にあたっては、衛星回線等を活用したより信頼性の高い通信設備の導入等、通報手段の確保について、関係自治体等と協議を行う。さらに、今後の原子力災害においては、より広範囲の自治体への連絡が求められるが、災害の状況によっては今回と同様に連絡が行き届かない場合も予想されること、当社からの連絡方法を決めておくだけで

は対処に限界もあること等から、当社から連絡や情報が届かない場合の問い合わせ先として、オフサイトセンター機能を活用する等、自治体への通報連絡について協力をお願いしたい。

(2) 資機材調達

資機材の輸送等については、前項で述べたように事業者としても対策を行うが、以下のように一事業者では対処しきれない問題もあることから、国や県レベルでの協力をお願いしたい。

輸送関連においては、第一には原子力発電所周辺の道路整備であり、今回の地震では国道などで大きな陥没による支障が生じたため、迂回路を利用した輸送となった。強固な道路整備が第一の備えとなるが、道路情報の把握のための地元警察や自衛隊との協力が必要と考える。さらには、放射線下での輸送の他、輸送に関する情報交換、災害対応輸送時の優先手続きなどにおいて、自衛隊等の関係諸機関を含めた態勢構築、事前検討について協力をお願いしたい。

また、ガソリン・軽油等が全国的に不足状態に陥った問題等を踏まえ、緊急時対応に必要な資機材の調達に関する協力体制の構築についても協力をお願いしたい。

(3) 緊急時線量限度、スクリーニングレベルの見直し方法

今回の事故では、緊急時線量限度の見直し、除染のための基準（スクリーニングレベル）の見直しが対応過程で実施された。これらは法律に係わる問題である一方、実際の対応で発電所が外部と連絡できずに孤立した場合には、迅速な対応が求められる。

このような事態に備え、ある一定の条件の下では事業者判断で緊急線量限度、スクリーニングレベルの見直しができるよう、国と予め取り決めておくことが必要である。

(4) 外的事象の基準策定

外的事象については、原子力発電所の安全性を確保するため、当社としても継続的に知見の収集、検討を進めるが、その審査基準については、透明性・公平性等の観点から、知見の集約（収集・評価、総括）能力の高い専門研究機関である国の組織が、現実の設備設計を行う上で想定することが適切な脅威の程度について統一した見解を明示し、それに基づき審査が行われよう対応していただきたい。

(5) 津波データの利用

今後、同様な事象が発生し、津波に被災する可能性のある中で対応する方々の安全を確保するとともに、できるだけ迅速な事故対応をするためには、発電所沖合の津波高さの情報をできるだけ早期に入手し、作業に携わる人たちに連絡し、避難できる体制を整備する必要がある。このため、国が保有する海面高さ観測装置のデータを利用させていただきたい。

(6) 低線量被ばくの影響調査について

今回の事故原因とは直接的な関連はないが、原子力災害の発生により放射性物質が広範囲に拡大したことで、全国的に放射性物質による汚染への懸念が高まっている。

低線量被ばくの影響については現状では解明されていないため、線量増加により障害発生確率も増大し、障害の発生に「しきい値」がないと仮定しているが、国民の不安を解消するためには、これらについて国を挙げて取り組み、解明することをお願いしたい。

16.5 一層の安全確保に向けた全社的なリスク管理の充実・強化

今回の事故を契機とし、より一層の安全確保に向けた取り組みもあわせて検討・実施していく。具体的には、様々なステークホルダーの要請、新たなガバナンス体制の枠組み等を踏まえ、原子力安全の確保はもちろん、その他のリスクも含め、以下のとおり、全社的なリスク管理の充実・強化等を図る。

なお、「津波によるシビアアクシデント対策の欠如」「リスク情報提示の難しさ」など、政府事故調査委員会等からのリスク管理に関する様々な指摘事項も真摯に受け止め、取り組んでいく。

<稀頻度重大リスクに対する予防策と危機管理の強化>

- ・ これまでと同様に、過去の経験・国内外の事例や最新の専門的知見等の取り入れ、大事故や災害の予防策を徹底する。
- ・ 加えて、今回の事故の教訓を踏まえ、これまで整備してきた対策が機能しないような事態を考慮し、危機・緊急事態発生時の対応計画を再整備し、影響緩和・被害拡大防止に向けた対策の強化、訓練による実効性の向上等に取り組む。

<推進体制の見直し・強化>

- ・ 既存の「リスク管理委員会」の運用を強化
～ 「経営で管理すべき重要リスク」の認識や管理状況の評価等について、外部の視点や意見を取り入れる。
- ・ リスク管理事務局の強化
～ 全社的なリスク管理の統括箇所の機能強化を図るため、体制・要員を強化する。
- ・ 社内委員会の一層の活用による部門間連携の強化
～ 防災対策委員会、総合技術委員会等をこれまで以上に活用し、部門間連携を強化し、大規模自然災害に対する設備対策方針や発生時の復旧対応など、全社に大きな影響を及ぼすリスクについて、全社横断的な検討・対応を推進する。

<安全意識・風土の醸成>

- ・ 当社は、平成14年の原子力不祥事以降、社会からの信頼を得ることが事業の基盤と位置付け、安全最優先を徹底するとともに、再発防止に向けた地道な風土改革に取り組んできた。

- ・ 今後も法令等の基準やルールの遵守は目的ではなく、最低限の前提条件であることを改めて認識し、社員一人ひとりが安全性の向上に向けて自問自答を繰り返し、本質的な危機を見抜き、安全を追求していくよう、不断の努力を行っていく。

<リスクコミュニケーションの改善>

- ・ 当社は、当社事業に関するリスクについて、これまで以上に迅速かつ適切に情報開示を行い、説明責任を果たすとともに、様々なステークホルダーとのコミュニケーションの活性化を図り、信頼の回復に努めるため、当社におけるこれまでの取り組みを改めて振り返り、リスクコミュニケーションに関する改善策を検討・実践していく。

<リスク管理方針・リスク管理規程の見直し>

- ・ 新たなガバナンス体制の下、上記の方向性をリスク管理方針に反映し、リスク管理規程を見直す。

17. 結び

当社はこれまで、原子力災害に対するリスク低減に、様々な観点から取り組んでまいりました。しかしながら、本報告書でまとめた通り、結果として、これまで整備してきた取り組みが至らず、放射性物質を外部に放出させるという、大変な事故を引き起こしたことに對し、深くお詫び申し上げます。

本報告書では、事故の当事者として、体験したこと、集約したデータ等を基に、教訓を得るべく努め、調査事実の摘示や炉心損傷に至った原因と未然防止のための対策を中心に、取りまとめを行いました。これらについては当社の原子力プラントにおいて着実に具体化してまいります。さらに、多くの原子力関係者の方々にもご一読いただき、国内外原子力プラントの安全性向上にご活用いただければと考えております。

また、未だ福島第一原子力発電所の1号機から3号機については、格納容器内部の機器の状態等の調査は限定的であり、損傷の程度等、未確認の事項もありますが、確認できた時点で情報を取り纏め、広く情報の共有を図りたいと考えております。

改めまして、今回の事故により、発電所の周辺地域そして福島県民の皆さま、更に広く社会の皆さまに、大変なご迷惑とご心配をお掛けしておりますことを、心よりお詫び申し上げますとともに、事故の収束に向けてご支援・ご協力を頂いている政府、関係諸機関、メーカー等の皆さまに、感謝申し上げます。

以 上