

長期化する福島第一原子力発電所事故

～我が国原子力史上未曾有の大事故に～

経済産業委員会調査室 なわた やすみつ
縄田 康光

はじめに

平成 23 (2011) 年 3 月 11 日の巨大地震とそれに伴う大津波により起きた東京電力福島第一原子力発電所事故は、電源及び冷却機能の喪失、冷却水の減少に伴う炉心（燃料棒）の損傷・溶融、水素爆発による建屋の損壊、多量の放射性物質の放出等が相次いで起こる、我が国原子力史上未曾有の大事故となった。4 月 12 日、原子力安全・保安院は、国際原子力・放射線事象評価尺度（INES）の暫定評価を「深刻な事故」とされる「レベル 7」に引き上げている（INES については表 2 参照）。

4 月 17 日、事業者である東京電力は、「福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋」（いわゆる工程表）を公表し、放射線量が着実に減少傾向となっている「ステップ 1」（3 ヶ月程度）、放射性物質の放出が管理され、放射線量が大幅に抑えられている「ステップ 2」（ステップ 1 終了後の 3～6 ヶ月程度）の目標を設定しているが、事態収束に向けた動きはまだ始まったばかりであり、当面の目標である冷温停止までには様々な困難が予想される。

同事故の状況とそれへの対応については、前号（316 号）においても触れたが、本稿では、現時点（5 月 17 日）までの同事故の経過、事故収束に向けた動きを見ることとしたい。

損壊した福島第一原子力発電所 3 号機・4 号機建屋



(出所) 原子力安全・保安院資料

1. 事故の発生

3月11日 14時46分、東北・三陸沖を震源地とするマグニチュード9.0の地震が発生した。東京電力福島第一原子力発電所（以下「福島第一原発」という。）で運転中であった1号機、2号機及び3号機は緊急停止し（4、5、6号機は定期検査中により停止中）、福島第二原子力発電所1、2、3、4号機¹も緊急停止した。

福島第一原発では、1、2、3号機の外部電源が故障停止により確保できない状態となり、非常用ディーゼル発電機が自動起動した。しかし、15時41分、津波による冠水により、非常用ディーゼル発電機が故障停止、全ての交流電源が喪失したことから²、東京電力は15時42分、原子力災害対策特別措置法（以下「原災法」という。）第10条第1項の規定に基づく通報を経済産業大臣、福島県知事、大熊町長、双葉町長等に対し行った（**10条通報**：全交流電源喪失）。さらに、16時36分、1号機、2号機に関し、原災法**15条事象**（非常用炉心冷却装置注水不能）が発生した（通報は16時45分）。これを受け、19時03分、**原子力緊急事態宣言**が発令された。

表1 福島第一原発1号機～6号機の概要

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
電気出力（万kW）	46.0	78.4	78.4	78.4	78.4	110.0
営業運転開始	1971.3	1974.7	1976.3	1978.10	1978.4	1979.10
原子炉形式	沸騰水型軽水炉（BWR）					
格納容器形式	マークⅠ					マークⅡ
主契約者	GE	GE・東芝	東芝	日立	東芝	GE・東芝

（出所）東京電力HPより作成

福島第一原発1～6号機（事故前）



（出所）原子力安全・保安院資料

¹ 1、2、3、4号機とも出力110万kw。

² 交流電源喪失後も原子炉隔離時冷却系（原子炉の余熱で発生する蒸気を利用したタービン動のポンプにより水を原子炉に供給する）が作動していたが、それもやがて停止したと思われる。

INES等について

国際原子力・放射線事象評価尺度（INES）は、国際原子力機関（IAEA）と経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）が策定、運用している事象報告システムであり、原子力施設等の事故・トラブルについて、それが安全上どのような意味を持つものかを示す指標として1992年に策定された。表2にその概略を示す。

原子力安全・保安院は、3月18日、INESの暫定評価として、1号機、2号機、3号機について「レベル5」、4号機について「レベル3」としたが、福島第一原発全体の放射性物質の放出量の推定を行った結果、評価の見直しにつながったものである。

また、原子力安全・保安院は、4月12日に暫定評価を「レベル7」に引き上げた際、保安院と原子力安全委員会が推定した放射性物質の放出量を公表している（表3参照）。これによると、福島第一原発事故における放射性物質の放出量はヨウ素131等価で37万テラベクレルないし63万テラベクレルであり、「レベル7」に分類されるチェルノブイリ事故（1986）における放射性物質の放出量（ヨウ素131等価で520万テラベクレル）の1割程度とされている。

表2 国際原子力・放射線事象評価尺度（INES）の概要

	人と環境	放射線バリアと管理	深層防護	参考事例
7（深刻な事故）	・広範囲の健康及び環境への影響を伴う放射性物質の大規模な放出（ヨウ素131等価で数万テラベクレル以上）。			チェルノブイリ事故（1986） （福島第一原子力発電所事故）
6（大事故）	・放射性物質の相当量の放出（ヨウ素131等価で数千から数万テラベクレル相当）。			キシュテム事故（1957、旧ソ連）
5（事業所外へリスクを伴う事故）	・放射性物質の限定的な放出（ヨウ素131等価で数百から数千テラベクレル相当）。 ・放射線による数名の死亡。	・炉心の重大な損傷等。		スリーマイル島事故（1979） ウィンズケール事故（1957、英国）
4（事業所外への大きなリスクを伴わない事故）	・軽微な放射性物質の放出。 ・放射線による少なくとも1人の死亡。	・燃料の溶融または損傷等。		JCO臨界事故（1999）
3（重大な異常事象）	・法令による年間限度の10倍を超える作業員の被ばく等。	・運転区域内の1Sv/時を超える被ばく線量率等。	・安全設備が残されていない原子力発電所における事故寸前の状態等。	旧動燃東海事業所アスファルト固化処理施設火災爆発事故（1997）
2（異常事象）	・10mSvを超える公衆の被ばく。 ・法令による年間限度を超える作業員の被ばく。	・50mSv/時を超える運転区域内の放射線レベル等。	・実際の影響を伴わない安全設備の重大な欠陥等。	美浜発電所2号機蒸気発生器伝熱管損傷（1991）
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	もんじゅナトリウム漏えい（1995）
0（尺度未満）	安全上重要でない事象			
尺度対象外	安全性に関係しない事象			

（出所）原子力安全・保安院資料、文部科学省資料、IAEA資料より作成

表3 保安院、原子力安全委員会による放射性物質放出量の推計、チェルノブイリ事故との比較

	福島第一での想定放出量		（参考）チェルノブイリでの放出量
	保安院概算	安全委員会発表値	
ヨウ素131--(a)	13万テラベクレル	15万テラベクレル	180万テラベクレル
セシウム137	6千テラベクレル	1万2千テラベクレル	8万5千テラベクレル
（ヨウ素換算値）--(b)	24万テラベクレル	48万テラベクレル	340万テラベクレル
(a) + (b)	37万テラベクレル	63万テラベクレル	520万テラベクレル

（出所）原子力安全・保安院資料

(原子力災害対策特別措置法)

第10条 原子力防災管理者は、原子力事業所の区域の境界付近において政令で定める基準以上の放射線量が政令で定めるところにより検出されたことその他の政令で定める事象の発生について通報を受け、又は自ら発見したときは、直ちに、主務省令及び原子力事業者防災業務計画の定めるところにより、その旨を主務大臣、所在都道府県知事、所在市町村長及び関係隣接都道府県知事（事業所外運搬に係る事象の発生の場合にあつては、主務大臣並びに当該事象が発生した場所を管轄する都道府県知事及び市町村長）に通報しなければならない。（後略）

第15条 主務大臣は、次のいずれかに該当する場合において、原子力緊急事態が発生したと認めるときは、直ちに、内閣総理大臣に対し、その状況に関する必要な情報の報告を行うとともに、次項の規定による公示及び第3項の規定による指示の案を提出しなければならない。

- 一 第10条第1項前段の規定により主務大臣が受けた通報に係る検出された放射線量又は政令で定める放射線測定設備及び測定方法により検出された放射線量が、異常な水準の放射線量の基準として政令で定めるもの以上である場合
 - 二 前号に掲げるもののほか、原子力緊急事態の発生を示す事象として政令で定めるものが生じた場合
- 2 内閣総理大臣は、前項の規定による報告及び提出があつたときは、直ちに、原子力緊急事態が発生した旨及び次に掲げる事項の公示（以下「原子力緊急事態宣言」という。）をするものとする。
- 一 緊急事態応急対策を実施すべき区域
 - 二 原子力緊急事態の概要
 - 三 前二号に掲げるもののほか、第一号に掲げる区域内の居住者、滞在者その他の者及び公私の団体（以下「居住者等」という。）に対し周知させるべき事項
- 3 内閣総理大臣は、第1項の規定による報告及び提出があつたときは、直ちに、前項第一号に掲げる区域を管轄する市町村長及び都道府県知事に対し、第28条第2項の規定により読み替えて適用される災害対策基本法第60条第1項及び第5項の規定による避難のための立退き又は屋内への退避の勧告又は指示を行うべきことその他の緊急事態応急対策に関する事項を指示するものとする。
- （後略）

一方、福島第二原子力発電所では、1号機について、17時35分、10条事象（原子炉冷却材漏えい）が発生、さらに1、2、4号機について、海水系統設備が運転できなくなり、18時33分、原災法10条事象（原子炉除熱機能喪失）が発生した³。

2. 事態の深刻化

3月12日0時57分、福島第一原発1号機に関し、原災法15条事象通報（格納容器圧力異常上昇）があつた。これに対処するため、10時17分、1号機のベント⁴を開始したが、15時36分、1号機で水素爆発が発生した⁵。16時17分にも15条事象（敷地境界放射線量上昇⁶）が発生した。20時05分、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。）第64条第3項の規定に基づき、原子炉を冷却するための非常措置として、1号機原子炉に対し海水及びホウ酸の注水が命ぜられ⁷、20時20分、注水が開始された。

3月13日5時10分、3号機に15条事象（非常用炉心冷却装置注水不能）が発生。

³ その後、3月12日に、福島第二原子力発電所1号機、2号機、4号機に関し、15条事象（原子炉圧力抑制機能喪失）が発生したが、3月14日から15日にかけて15条事象から復帰し、全号機が冷温停止中である。

⁴ 格納容器内の水蒸気を配管を通して、原子炉建屋の外に排出する作業。

⁵ 爆発が起きたのは、燃料棒の被覆管の材料であるジルコニウム合金が、高温のもと水蒸気と反応し、一定濃度以上の水素が発生したためと考えられている。

⁶ 敷地境界付近で500 μ Sv/h（1時間当たり500マイクロシーベルト）を上回る放射線量を測定。

⁷ ホウ酸には中性子を吸収する性質がある。

(核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律)

第64条

(1、2省略)

3 文部科学大臣、経済産業大臣又は国土交通大臣は、第1項の場合において、核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は原子炉による災害を防止するため緊急の必要があると認めるときは、同項に規定する者に対し、次の各号に掲げる原子力事業者等の区分に応じ、製錬施設、加工施設、原子炉施設、使用済燃料貯蔵施設、再処理施設、廃棄物埋設施設若しくは廃棄物管理施設又は使用施設の使用の停止、核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の所在場所の変更その他核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は原子炉による災害を防止するために必要な措置を講ずることを命ずることができる。

8時41分、3号機でベントを開始、11時00分には2号機でもベントが開始された。さらに13時12分、3号機原子炉に対し、海水及びホウ酸の注入が開始された⁸。

3月14日7時44分、3号機に15条事象が発生（格納容器圧力異常上昇）、11時01分3号機建屋付近で水素爆発が発生した。13時25分、2号機に15条事象（原子炉冷却機能喪失）が発生、16時34分原子炉への海水注入を開始するが、水位の低下により燃料棒全体が一時露出する事態となった⁹。22時50分、2号機に15条事象（格納容器圧力異常上昇）が発生、圧力を下げ、注水を可能とするため、**3月15日**0時02分ベントを開始した。

3月15日6時10分、2号機の格納容器とつながっている圧力抑制室（サブプレッションプール）¹⁰付近で異音が発生し、圧力が低下した。圧力抑制室が損傷した疑いがある。また同日、4号機の原子炉建屋の損傷が確認され、2号機の建屋から白煙が上がった。また、**3月15日**及び**16日**には4号機で火災が発生し、**16日**には3号機から白煙が噴出した¹¹。さらに、**3月15日**10時30分、経済産業大臣より、原子炉等規制法第64条第3項の規定に基づき、4号機の使用済燃料プールの消火と再臨界の防止、2号機への早期注水等の命令が東京電力に対し発出され、22時00分には4号機の使用済燃料プールへの注水等が命ぜられた。

このように事故は、注水不能、格納容器圧力異常上昇、水素爆発、燃料棒の一時露出、炉心（燃料棒）の損傷（表4参照）、圧力抑制室損傷（疑い）等の状況が相次いで発生

表4 福島第一原発1号機～3号機の炉心損傷割合

1号機（3月15日15時25分現在）	2号機（3月15日15時25分現在）	3号機（3月14日04時20分現在）
55%	35%	30%

(出所) 東京電力資料(2011.4.27)

(注) 1. 炉心損傷割合とは、炉心内の全燃料棒（燃料被覆管）のうち、温度上昇などによって損傷した燃料棒（被覆管）の割合を示す。

2. 3月14日及び15日時点での状態についての推定値であり、その後、1号機において炉心溶融（メルトダウン）が生じていたことが明らかになり、2・3号機でもその可能性が高いなど、事態は変化している。

⁸ ホウ酸を含んだ真水の注入は、同日9時25分から行われていた。

⁹ 18時22分時点での原子炉水位は燃料頂部から-3700mmまで低下した。

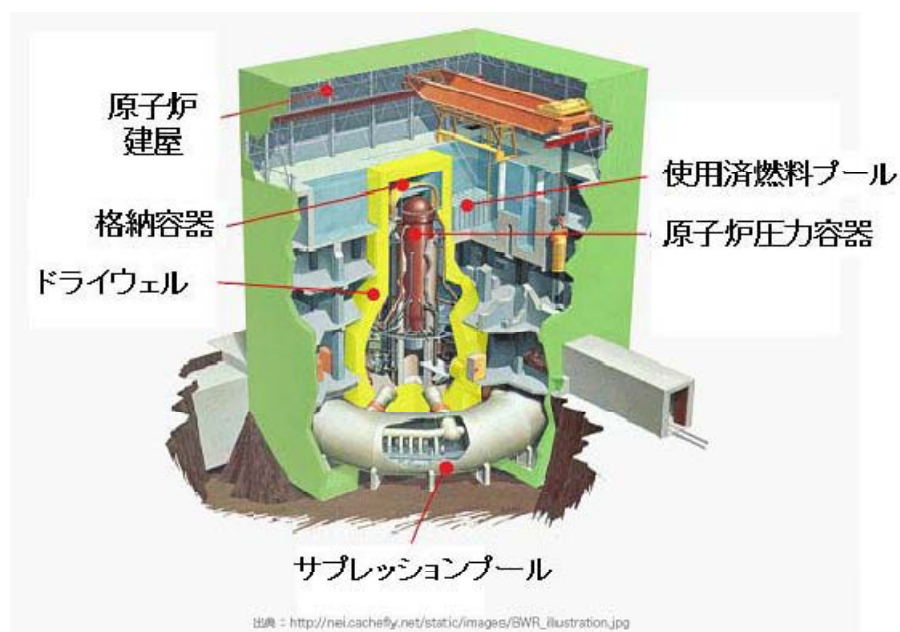
¹⁰ 原子炉格納容器内の蒸気を逃がし、水にすることにより、格納容器内の圧力を下げる機能を持つ。次頁図1参照。

¹¹ 使用済み燃料プールからの蒸発等によるものと推測される。

する深刻な状況に至った。この時期までに大量の放射性物質が外部環境に放出されたと考えられている¹²。

図1 マークI型格納容器

福島第一原発の格納容器は、いずれもGE（ゼネラル・エレクトリック）社の開発に係るものであり、1号機から5号機が「マークI型」、6号機が「マークII型」である。マークI型は、圧力抑制室（サプレッションプール）が格納容器の下部にあり、マークII型は格納容器内に圧力抑制プールがある。マークI型格納容器については、格納容器が小さく、爆発等に脆弱であるとの指摘がなされていたとの報道もある¹³。



(出所) 原子力安全・保安院資料

3. 放水等の対応

(1) 放水、注水

3月17日、使用済燃料の温度上昇と破損が懸念されていた、3号機原子炉建屋上部にある使用済燃料プールを冷却するため、自衛隊ヘリによる放水が行われた¹⁴（9時48分から約80t）。続いて、同日、警察の放水車、自衛隊の消防車による放水が行われた（それぞれ約44t、約30t）¹⁵。

3月19日、5号機及び6号機について、電源（ディーゼル発動機）が確保され、残留熱除去系ポンプが運転を再開し、使用済燃料プールの冷却を開始、また建屋屋根に水素ガス滞留防止の穴開けが行われた。

¹² 原子力安全委員会は、4月12日、福島第一原発から大気中への放射性核種（ヨウ素131、セシウム137）の放出総量の推定的試算を公表しているが、3月15日から16日にかけて放出総量が急増している。

¹³ ニューヨーク・タイムズ電子版（2011. 3. 15）

¹⁴ 3号機建屋は水素爆発により損壊し、上部が開放された状態となっていた。

¹⁵ その後も、東京消防庁等による放水、注水が3号機に対し行われた。

3月20日、4号機の使用済燃料プールへの自衛隊による放水¹⁶、2号機の使用済燃料プールへの海水注入¹⁷が実施された。さらに同日、5号機及び6号機が冷温停止（炉水100℃未満）した。

3月22日、4号機の使用済核燃料プールにコンクリートポンプ車による放水が実施された¹⁸。3月23日、3号機から黒煙が噴出した（その後止んでいることを確認）。

コンクリートポンプ車による4号機使用済核燃料プールへの注水



（出所）原子力安全・保安院資料

表5 使用済燃料プールへの注水（5月17日時点）

	累積水量	実施機関
1号機	約90t	東京電力（実施：3月31日、水量：計90t）
2号機	約867t～882t	東京電力（実施：3月20、22、25、29、30日、4月1、4、7、10、13、16、19、22、25、28日、5月2、6、10、14日 水量：計約867t～882t）
3号機	約5,530.5t	自衛隊（実施：3月17、18日、水量：計約100t）
		機動隊（実施：3月17日、水量：計約44t）
		緊急消防援助隊（実施：3月19、20、22、25日、水量：計約4,227t）
東京電力（実施：3月18、23、24、27、29、31日、4月2、4、7、8、10、12、14、18、22、26日、5月8、9日 水量：計約1,159.5t）		
4号機	約4,546.2t	自衛隊（実施：3月20、21日、水量：計約250t）
		東京電力（実施：3月21、22、23、24、25、27、30日、4月1、3、5、7、9、13、15、17、19、20、21、22、23、24、25、26、27日、5月5、6、7、9、11、13日 水量：計約4,296.2t）
共用プール	約130t	東京電力（実施：3月21日、水量：約130t）

（出所）原子力災害対策本部資料

¹⁶ その後も、自衛隊等による放水が行われた。

¹⁷ その後も、東京電力等による注水が行われた。

¹⁸ その後もコンクリートポンプ車による放水等が行われた。

(2) 電源の復旧

3月21日に5号機、22日に6号機について、残留熱除去系ポンプの電源を非常用ディーゼル発電機から外部電源に切替えを行った。さらに3月22日に3号機中央制御室の照明が、24日に1号機中央制御室の照明が、26日に2号機中央制御室の照明が、29日に4号機中央制御室の照明が点灯した。また、3月27日から29日にかけて、1、2、3号機原子炉への注水を消防ポンプ車から仮設電動ポンプに切り替え¹⁹、4月3日には1、2、3号機の仮設電動ポンプの電源を電源車から本設電源に切り替えるなど電源の復旧が進んだ。

ベクレル、グレイ、シーベルト

放射線や放射能についての単位として、ベクレル (Bq)、グレイ (Gy)、シーベルト (Sv) が挙げられる。

ベクレル (Bq)

放射能 (放射線を出す能力) の強さを示す単位。不安定な原子核は放射線を出しつつ崩壊し他の原子核に変わるが (放射性核種の壊変)、放射性物質中にある放射性核種の壊変数が1秒に1の時に、この放射能を1ベクレルと定義する。1テラベクレルは1兆ベクレル。

グレイ (Gy)

放射線の吸収線量を示す単位。放射線により1キログラムの物質に1ジュールのエネルギーが吸収されたときの吸収線量を1グレイとする。

シーベルト

被ばくの大きさを示す単位。人体が放射線により受ける影響は、放射線の種類により異なるため、吸収線量 (グレイで表される) に放射線の種類ごとの放射線荷重係数を乗じ、線量当量 (シーベルトで表される) を算出する。1Sv (シーベルト) = 1000mSv (ミリシーベルト) = 100万 μ Sv (マイクロシーベルト)。人間が1年間に自然界から受ける放射線は、全世界平均で2.4mSv、放射線業務従事者の年間被ばく限度は通常年間50mSvとされる。

4. 汚染水等への対応

(1) タービン建屋内の溜まり水等

3月24日、3号機タービン建屋地下に溜まっていた水に浸かって作業していた作業員3人が被ばくし、水表面の放射線量で400mSv/hという高い放射線量が観測され、採取した水からは、1cm³当たり各核種合計で390万ベクレルという高濃度の放射能が観測された²⁰。3月25日には1号機南放水口付近で採取した海水から、規制値の1,250倍のヨウ素131が検出された。汚染水への対応が更なる課題となった。

3月25日、1、2、3号機原子炉への注水の海水から淡水への切替えが始まった²¹。同日、1号機タービン建屋1階の水たまりから高い放射線量 (1cm³当たり380万ベクレル) が検出された。3月27日、1、2、3号機の坑道 (トレンチ) の立坑に水が溜まっていることが判明²²。3月28日、2号機タービン建屋地下1階において、通常の原子

¹⁹ 2号機は3月27日、3号機は3月28日、1号機は同29日に仮設電動ポンプに切り替え。

²⁰ ヨウ素131、セシウム137等を含む。

²¹ 1、3号機については3月25日、2号機については同26日淡水での注水を開始。

²² 2号機については、水表面で1,000mSv/h以上の線量を測定した。また、3月30日に観測した時点で、2号機トレンチ内の水からは1cm³当たりヨウ素131が690万ベクレル、セシウム137が200万ベクレル検出されている。

炉水の約10万倍の放射能濃度の水が確認された²³。また、同日及び**4月6日**、第一原発敷地内で土壌からプルトニウムが検出された。

3月28日以降、作業の妨げとなる汚染水を排出する作業が始まった。1、2、3号機について、タービン建屋→復水器²⁴→復水貯蔵タンク→サージタンク（圧力抑制室用水タンク）への「玉突き排水」が開始された²⁵。**4月19日**には、2号機タービン建屋トレンチ内にある高レベル滞留水を集中廃棄物処理施設に移送する作業が始まった。さらに、**5月1日**には6号機タービン建屋地下の溜まり水の仮設タンクへの移送が始まった。

（2）海水の汚染

海水についても、**3月31日**に、福島第一原発の南放水口付近において基準の4,385倍のヨウ素131が検出されるなど汚染の進行が明らかになった。**4月2日**、2号機の取水口付近にある、電源ケーブルを納めているピット内に高濃度の汚染水が溜まり²⁶、亀裂から海に流出していることを確認した²⁷。試行錯誤の上、凝固剤の注入により、**4月6日**、ピットからの海への汚染水の流入停止が確認された。さらに**4月13日から14日**にかけて1号機から4号機について、シルトフェンス（汚濁防止膜）が設置された。**5月1日**には2号機トレンチ立坑の閉塞作業が開始された。**5月11日**には3号機海側

表6 福島第一原発各号機の状況

	1号機	2号機	3号機	4号機
地震発生時の状況 (3/11)	運転中→自動停止			定期検査中 (炉心に燃料なし)
10条通報	3/11 (全交流電源喪失)			
15条事象発生	3/11 (非常用炉心冷却装置注水不能)	3/11 (非常用炉心冷却装置注水不能)	3/13 (非常用炉心冷却装置注水不能)	-
	3/12 (格納容器圧力異常上昇)	3/14 (原子炉冷却機能喪失)	3/14 (格納容器圧力異常上昇)	
		3/14 (格納容器圧力異常上昇)		
爆発、火災等	3/12 (水素爆発)	3/15 (圧力抑制室損傷の疑い)	3/14 (水素爆発)	3/15、3/16 (火災)
海水注水開始	3/12	3/14	3/13	-
淡水注水開始	3/25	3/26	3/25	-
使用済核燃料プールへの注水開始	3/31	3/20	3/17	3/20

(出所) 原子力安全・保安院資料等から作成

(5号機、6号機：地震発生時定期検査中。3/19 除熱機能回復、3/20 冷温停止)

²³ 格納容器内の水が直接流出したと推定される。

²⁴ タービンを回した水蒸気を水に戻し再利用する。

²⁵ 3号機：3月28日から31日かけて復水貯蔵タンクの水をサージタンクに移送。2号機：3月29日から4月1日にかけて同様の作業を実施。1号機：3月31日から4月2日にかけて同様の作業を実施。さらに、4月9日に2号機で復水器から復水貯蔵タンクへの水の移送完了、4月10日に1号機で同様の作業完了。4月13日に2号機タービン建屋トレンチにある高レベル滞留水を復水器へ移送完了。

²⁶ 1000mSv/hを超える放射線量を観測。

²⁷ 流出した高濃度汚染水の量は520 m³、放射能量は4700 テラベクレルと推定される。

取水電源ケーブルピット内に汚染水の流入が確認された²⁸。

注水等の作業に伴う汚染水の増大は、その収容スペースの問題を引き起こした。前述の高レベル滞留水の集中廃棄物処理施設への移送スペースを空けるため、**4月4日**から集中廃棄物処理施設内の低レベル滞留水の海への放出が始まり（**4月10日**までに9,070t）、国内外に波紋を引き起こした²⁹。

また、地表の放射性物質の飛散を防ぐため、**4月1日**より飛散防止剤の樹脂を散布する作業が始まった。5月15日までに約41万リットルを散布している。遠隔操作可能な重機による瓦礫の撤去作業も**4月10日**から本格化した。また、**4月7日**、1号機原子炉格納容器の水素爆発防止のために窒素ガス注入が開始された。

5. 「工程表」の公表

(1) 「ステップ1」「ステップ2」

4月17日、東京電力は、「福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋」（工程表）を発表した。これによると、**ステップ1**（3か月程度）で放射線量が着実に減少傾向となっていること、**ステップ2**（現在から6～9か月程度）で放射性物質の放出が管理され、放射線量が大幅に抑えられていることを目標としており、原子炉の冷却につい

表7 「工程表」（4月17日）の概要

		目標と対策	
分野	課題	ステップ1	ステップ2
I. 冷却	(1) 原子炉の冷却	①（1・3号機）安定的に冷却できている ・格納容器に窒素を充填 ・燃料域上部まで格納容器を水で満たす（「水棺」） ・熱交換器の設置を検討 ②（2号機）格納容器が密閉できるまでは、滞留水の増加を抑制しつつ冷却する ・損傷箇所の密閉策を継続して検討・実施 ・損傷箇所密閉後は1・3号機と同様の冷却策	③ 低温停止状態とする
	(2) 使用済燃料プールの冷却	④ 安定的に冷却できている ・2号機は通常の燃料プール冷却ラインに循環冷却機能を付加した上で注水を継続 ・1・3・4号機についても通常の冷却ライン復旧を検討・実施 ・熱交換器の設置を検討・実施	⑤ プールの水位が維持され、より安定的に冷却できている
II. 抑制	(3) 放射性物質で汚染された水（滞留水）の閉じ込め、保管・処理・再利用	⑥ 放射線レベルが高い水を敷地外に流出しないよう、十分な保管場所を確保する ・「集中廃棄物建屋」等を保管先に活用 ・水処理施設を設置、高レベルの汚染水を除染/塩分処理し、タンクに保管 ⑦ 放射線レベルが低い水を保管・処理する ・タンク、バージ船・メガフロート等で保管容量を拡充 ・除染剤等を利用し、汚染水を基準以下まで除染	⑧ 汚染水全体の量を減少させていく ・処理された水を原子炉冷却水として再利用
	(4) 大気・土壌での放射性物質の抑制	⑨ 建屋/敷地にある放射性物質の飛散を防止する ・飛散防止剤の塗布・散布の拡充 ・瓦礫の撤去を継続 ・原子炉建屋カバー（換気・フィルター付）の設置に着手	⑩ 建屋全体を覆う（応急措置として） ・原子炉建屋カバーの設置完了（1・3・4号機）

（Ⅲ. モニタリング・除染は省略）

（出所）東京電力資料より作成

²⁸ その後、コンクリート注入等により止水。

²⁹ これとは別に5・6号機のサブドレンピット（地下水排出用の立坑）からも低レベル汚染水が排出された（1,323t）。合計で約1万トンの低レベル汚染水が海洋に放出された。

では、ステップ1で安定的に冷却できていること、ステップ2で原子炉を冷温停止状態とすること等を目標としている。

(2) 「水棺」

現時点で、作業の重点は1号機に置かれており、燃料域上部まで格納容器を冠水させるとともに（いわゆる「水棺」）、「外付け」の熱交換器と空冷式放熱装置を設置し、原子炉の安定的冷却システムを作ろうというものである。**4月17日**以降、遠隔操作ロボットによる1・2・3号機原子炉建屋内の状況調査が行われ、**4月27日**には、注水量を5.9 m³/hから10 m³/hに増やし、その後一時注水量を減らしたものの、格納容器からの有意な水漏れがないことを確認し、**5月6日**には再び6 m³/hから8 m³/hへと注水量を増やし、冠水作業が進められた。**5月5日**には1号機原子炉建屋内の空気の放射性物質濃度を低下させる換気装置（局所排風機）が稼働、**5月9日**には1号機タービン建屋と原子炉建屋との間の扉が開放され、3月12日の水素爆発以来、初めて職員が原子炉建屋内に入った。

(3) 炉心溶融（メルトダウン）が明らかに

しかし、**5月12日**には、①1号機の水位が予想を大きく下回っており、圧力容器から水が漏れ出している可能性が高い、②格納容器からも漏水している可能性が高い、③溶融した燃料が圧力容器底部に落下している可能性が高い等の状況が判明した。特に③は**炉心溶融（メルトダウン）**を示すものであり、冠水作業、さらには工程表達成は早くも困難な状況に直面している。さらに、2号機、3号機についてもメルトダウンが生じた可能性が高いと指摘されている。

5月13日には、放射性物質の飛散を抑制する原子炉建屋カバーの設置に向けた準備工事が開始された。**5月15日**には圧力容器内の温度上昇等、不安定な状況にある3号機への再度のホウ酸注入が行われた。

さらに今後は、汚染水を浄化し、塩分を取り除き、炉心冷却に再利用できる水処理施設³⁰の6月の運転開始を目指している。

(4) 工程表の改訂

5月17日、東京電力は工程表の改訂版（『福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋』の進捗状況について）を公表した。「ステップ1」「ステップ2」の考え方、目標達成時期（ステップ1：7月中旬を目途、ステップ2：ステップ1終了後3～6ヵ月程度）は変わっていないものの、①冠水作業に先んじて、建屋等に滞留する汚染水を処理して原子炉注水のために再利用する「循環注水冷却」を実施、②地下水の汚染拡大防止策³¹、③仮設防潮堤の設置、各号機の補強工事の検討等、余震・津波対策の強化等

³⁰ 集中廃棄物処理施設に移送された汚染水を①油分離、②放射性物質処理、③淡水化により、再利用可能とする。ゼオライト、沈殿処理、逆浸透膜等が活用され、②のプロセスには仏アレバ社、米キュリオン社が協力している。

³¹ 地下水を汲み上げるサブドレンポンプの復旧、地下水の遮へい工法の検討等。

を講じる内容となっている。①については、1号機の格納容器からの漏水という状況を踏まえ、当面「水棺」を断念するものである。

さらに同日、原子力災害対策本部は、仮設住宅の確保、住民のスクリーニング及び除染、環境モニタリングの強化、被災者・被災事業者への賠償等を盛り込んだ「原子力被災者への対応に関する当面の取組方針」を公表している。

工程表の実施は緒に就いたばかりであり、1号機燃料の溶融に加え、高レベルの放射能による作業の困難性、依然として深刻な汚染水の問題、余震や津波への対策等³²、問題は山積している。

6. 問題点

本事故の背景、過程等については、ベントや海水注水等初動の遅れ、再三にわたる避難区域・屋内退避区域等の変更、SPEEDI³³等による放射性物質の拡散予想の公表の遅れ、農産物や水産物からの規制値を超えた放射能の検出と出荷制限、水道水からの放射性ヨウ素の検出、損害賠償の対象・責任等、様々な問題点が指摘されているが、ここでは、(1)津波に対する想定、(2)非常用電源の問題、(3)過酷事故(シビアアクシデント)対策について触れることにする。

(1) 津波に対する想定

3月11日の本震における、福島第一原発の加速度値は³⁴、一部において耐震対策上の想定を上回ったものの、概ね予測の範囲内であった³⁵。稼働中であった1～3号機は緊急停止しており、「止める」「冷やす」「閉じ込める」のうち「止める」は機能したことになる。

問題は想定を超える津波により、非常用電源がダウンし、全交流電源喪失の状態に陥ったことである。福島第一原発は、建設当時、1960年のチリ津波を想定し、O.P. +3.1mの想定津波最大水位を想定していたが³⁶、2002年に土木学会の「原子力発電所の津波評価技術」に基づき再評価を行い、想定をO.P. +5.7mに変更していた³⁷。しかし、実際にはO.P. +14～15mの津波が襲来した。敷地高(O.P. +10m)を考慮しても、4～5mの高さで浸水したことになる。

なお、福島第二(敷地高: O.P. +12m)については、O.P. +6.5～7mの津波が到達し

³² 仮設の防潮堤の設置、4号機燃料プール底部への支持構造物の設置等を行う予定。

³³ 緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム。原子炉施設から大量の放射性物質が放出された場合等に、放射性物質の核種や放出量の時間的変化、気象予測、地形等により大気中の拡散シミュレーションを行う。今回の事故においては、電源停止等により放出源である福島第一原発のデータが取れないなど、実測データが利用できない状態になった。推定値に基づくシミュレーションは、事故直後から行われていたが、公表は3月23日になるなど情報公開の遅れが目立ち、実際に放射性物質が多く拡散している地域と、政府が指示した避難区域等との間に相違が生じる等の問題が指摘されている。

³⁴ 1～6号機ごとに、南北方向、東西方向、上下方向で観測。

³⁵ 2号機の東西方向で550ガル(想定438ガル)、3号機の東西方向で507ガル(想定441ガル)、5号機東西方向で548ガル(想定452ガル)と想定を上回ったが、その他の値は想定範囲内であった。

³⁶ O.P.とは、福島県小名浜地方の平均潮位を「0」としたもの。

³⁷ 福島第二については、建設当時はO.P. +3.7m、見直し後はO.P. +5.2mを想定。

ており、結果として福島第二は第一ほどの冠水は免れ、また東北電力女川原子力発電所については、想定（O.P. +9.1m）を上回る津波（O.P. +13m）が観測されたものの、敷地高が O.P. +14.8m であったため、大規模な冠水を免れている。津波の想定、敷地高、実際に到達した津波の高さの違いが明暗を分けたと言える。

福島第一原発における津波の想定については、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会において³⁸、プレート間地震として塩屋崎地震（1938）³⁹を想定していることを疑問視し、貞観地震（869）⁴⁰における大規模な津波の発生の例を指摘する意見があったが、具体的に津波の想定が見直されることはなかった。

（２）非常用電源の問題

今回の事故では、非常用ディーゼル発電機が冠水により停止し、交流電源を喪失したことが大きな原因となっている。福島第一では、13 台あるディーゼル発電機のうち、6号機の1台を除く12台が機能を失った。これに対し、福島第二、女川ではそのような状況は見られなかった。これは津波の冠水の状況の差に加え、ディーゼル発電機の設置場所が異なることも影響したのではないかとされている。福島第一のディーゼル発電機が主としてタービン建屋の地下にあったため、浸水により機能を喪失したのに対し、福島第二、女川では主として、より堅固な原子炉建屋にディーゼル発電機が設置されている。

原子力安全・保安院は今回の事故を受け、3月30日、全国の原子力発電所に対して、緊急安全対策の実施を求めているが、その中では「所内電源が喪失し、緊急時電源が確保できない場合に、必要な電力を機動的に供給する代替電源の確保」が含まれている。また現在、全国の各原子力発電所では、複数号機間のディーゼル発電機の電源融通や、電源車の配備が行われており、さらに、津波の影響を受けない高台に非常用発電機を設

表8 非常用ディーゼル発電機設置場所・台数

福島第一		福島第二	
1号機	タービン建屋地下1階（2台）	1号機	原子炉建屋地下2階（3台）
2号機	タービン建屋地下1階（1台）、共用施設建屋1階（1台）	2号機	原子炉建屋地下2階（3台）
3号機	タービン建屋地下1階（2台）	3号機	原子炉建屋地下2階（3台）
4号機	タービン建屋地下1階（1台）、共用施設建屋1階（1台）	4号機	原子炉建屋地下2階（3台）
5号機	タービン建屋地下1階（2台）	女川	
6号機	原子炉建屋地下1階（2台）、ディーゼル発電機建屋1階（1台）	1号機	制御建屋地下2階（2台）
		2号機	原子炉建屋1階（3台）
		3号機	原子炉建屋1階（3台）

（出所）中部電力資料

³⁸ 耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同WG（第32回）（2009. 6. 24）。2006年に改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に照らした耐震安全性評価（「耐震バックチェック」）に基づき、福島第一及び第二の耐震バックチェックの中間報告を審査していた。

³⁹ 4つの地震が発生した（最大M7. 5）。

⁴⁰ マグニチュード8. 5前後と考えられている。

置する予定である⁴¹。

（3）過酷事故（シビアアクシデント）対策

今回の事故は、過酷事故（シビアアクシデント）に該当するものである。電源回復の試み、ベント、注水等の個々の措置、タイミングについては様々な指摘が行われており、今後の事故調査において究明が求められるが、本稿ではシビアアクシデント対策についての国・事業者の体制について述べることにしたい。

昭和 62（1987）年、原子力安全委員会は、原子炉安全基準専門部会に「共通問題懇談会」を設け、シビアアクシデントの考え方、シビアアクシデントに対する格納容器の機能等について検討を行い、平成 4（1992）年 2 月報告書を提出した。同報告書においてシビアアクシデントは「設計基準事象を大幅に超える事象であって、安全設計の評価上想定された手段では適切な炉心の冷却または反応度の制御ができない状態であり、その結果、炉心の重大な損傷に至る事象」とされている。さらに、同懇談会報告書では、シビアアクシデント対策としての格納容器対策を中心としたアクシデントマネジメント（AM）について、「原子炉設置者の技術的知見に依拠する『知識ベース』の措置であり、（中略）現時点においては、これに関連した整備がなされているか否か、あるいはその具体的対策の内容を如何によって、原子炉の設置または運転を制約するような規制措置が要求されるものではない」としている。

これを受け原子力安全委員会は、平成 4（1992）年 5 月、「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」を決定している。同決定においては、「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奨励されるべきである」としている。即ち、シビアアクシデント対策は、直接国の審査に係るものとしてではなく、事業者の自主対応に委ねられたのである。

原子力安全・保安院は平成14（2002）年、「軽水型原子力発電所におけるアクシデントマネジメントの整備結果について」を公表しており、この中では消火水系による原子炉への代替注水や格納容器ベント等が記述されているが、同報告書は、各事業者の報告を「確認」というものであった。

平成22（2010）年12月の「原子力安全委員会の当面の施策の基本方針について」では「シビアアクシデント対策の一層の充実を目指した方策について検討」としている。しかし、事業者の自主努力によるシビアアクシデントへの設計上及び運転上の対処を求めるといった状況は基本的に変わらないまま、福島第一原子力発電所事故の発生を迎えたのである。

⁴¹ 「非常用ディーゼル発電機の保安規定上の追加措置について」（2011. 5. 11 原子力安全・保安院）