

原子力安全に関する I A E A 閣僚会議に対する
日本国政府の報告書
—東京電力福島原子力発電所の事故について—

平成 2 3 年 6 月

原子力災害対策本部

目次

概要

I. はじめに

II. 事故前の我が国の原子力安全規制等の仕組み

- 1. 原子力安全の法規制の仕組み II-1
- 2. 原子力災害対応の法規制の仕組み II-5

III. 東北地方太平洋沖地震とそれによる津波の被害

- 1. 地震と津波による我が国の被害 III- 1
- 2. 福島原子力発電所を襲った地震と津波による被害 III-27
- 3. その他の原子力発電所を襲った地震と津波による被害 III-45
- 4. 地震及び津波による被害に関する評価 III-59

IV. 福島原子力発電所等の事故の発生と進展

- 1. 福島原子力発電所の概要 IV- 1
- 2. 福島原子力発電所の安全確保等の状況 IV- 3
- 3. 福島原子力発電所の地震発生前の運転状況 IV-28
- 4. 福島原子力発電所の事故の発生・進展 IV-31
- 5. 福島原子力発電所の各号機等の状況 IV-35
- 6. その他の原子力発電所の状況 IV-97
- 7. 事故の発生と進展の評価 IV-100

V. 原子力災害への対応

- 1. 事故発生後の緊急時対応 V- 1
- 2. 環境モニタリングの実施 V-13
- 3. 農産物、飲料水等に関する対応 V-24
- 4. 追加的な防護区域の対応 V-25
- 5. 原子力災害への対応の評価 V-28

VI. 放射性物質の環境への放出

- 1. 放射性物質の大気中への放出量の評価 VI-1
- 2. 放射性物質の海水中への放出量の評価 VI-3

VII. 放射線被ばくの状況	
1. 放射線作業従事者を含む関係職業人の放射線被ばくの状況	VII-1
2. 周辺住民の放射線被ばくの状況	VII-6
3. 放射線被ばくの状況の評価	VII-8
VIII. 国際社会との協力	
1. 各国からの支援	VIII-1
2. 国際機関との協力	VIII-2
3. 国際社会との協力の評価	VIII-2
IX. 事故に関するコミュニケーション	
1. 国内の周辺住民や一般国民とのコミュニケーション	IX- 1
2. 国際社会とのコミュニケーション	IX- 6
3. 国際原子力・放射線事象評価尺度（INES）に基づく暫定評価	IX- 8
4. 事故に関するコミュニケーションの評価	IX-10
X. 今後の事故収束への取組み	
1. 福島原子力発電所の原子炉等の現状	X- 1
2. 事業者による事故の収束に向けた道筋への対応	X -2
3. 国による対応	X -8
X I. その他の原子力発電所における対応	
1. 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を踏まえた他の発電所の緊急安全対策	XI-1
2. 浜岡原子力発電所の停止	XI-3
X II. 現在までに得られた事故の教訓	
X III. むすび	

（注：各章にある評価は、現時点での暫定的なものである。）

添付資料編

概要

[概要の構成]

1. はじめに
2. 事故前の我が国の原子力安全規制等の仕組み
3. 東北地方太平洋沖地震とそれによる津波の被害
4. 福島原子力発電所等の事故の発生と進展
5. 原子力災害への対応
6. 放射性物質の環境への放出
7. 放射線被ばくの状況
8. 国際社会との協力
9. 事故に関するコミュニケーション
10. 今後の事故収束への取組み
11. その他の原子力発電所における対応
12. 現在までに得られた事故の教訓
13. むすび

1. はじめに

2011年3月11日14時46分（日本時間、以下同じ）に発生した東北地方太平洋沖地震とそれが引き起こした津波が東京電力の福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所（以下、「福島原子力発電所」という。）を襲い、未曾有の大規模かつ長期にわたる原子力事故が発生した。

我が国にとっては、この地震と津波による大規模な災害への対応とともに、その地震と津波により引き起こされた原子力事故への対応も同時に行わなければならないという極めて厳しい事態となった。

この原子力事故は、我が国にとって大きな試練となり、世界各国の支援を受けつつ、国内の数多くの関係機関が一体となって対応に取り組んでいるところである。また、我が国は、この事故が世界の原子力発電の安全性に懸念をもたらす結果となったことを重く受け止め反省している。そして、何よりも事故の発生によって、世界の人々に放射性物質の放出について不安を与える結果になったことを心からお詫びする。

現在、我が国は事故の収束に向けて英知を結集して取り組んでいるところであるが、福島原子力発電所で何が起り、それがどのように進展し、そして我が国が事故をどのように収束させようとしているかについて、正確な情報を絶えず世界に伝えることは我が国の責任である。また、我が国がこの事故から何を教訓として汲み取っているかを世界に伝えることも我が国の責任であると認識している。

本報告書は、このような認識にたつて、本年 6 月に開催される国際原子力機関（IAEA）の「原子力安全に関する閣僚会議」における我が国からの報告としてとりまとめたものである。事故の収束は、原子力災害対策本部の下に置かれた政府・東京電力統合対策室が、海江田万里経済産業大臣の指揮の下に原子力安全・保安院、東京電力等が力を結集する形で取り組んでいる。本報告書の作成は、原子力災害対策本部の中で、政府・東京電力統合対策室による事故収束に向けての取組み等を踏まえて作業を進め、外部有識者の意見も聴取しながら行った。作成作業の全体は、原子力災害対策本部長である内閣総理大臣の命を受けた細野豪志内閣総理大臣補佐官が統括した。

本報告書は、事故報告書としては暫定的なもので、現在まで得られた事実関係を基に事故の評価や得られた教訓をとりまとめたものである。範囲としては、現時点までの原子力安全と原子力防災に関する技術的な事柄を中心としており、原子力損害賠償、社会生活への影響等についてはまだとりあげていない。

政府としては、この報告書のとりまとめとは別に、福島原子力発電所の事故への対応の全体について検証するため、「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」（以下、「検証委員会」という。）を設置した。この検証委員会においては、従来の原子力行政からの「独立性」、国民や国際社会に対する「公開性」、技術的な問題のみならず制度的な問題まで含めた検討を行う「包括性」を基本として、事故の対応に関して政府を含めたあらゆる活動を厳格に検証することにしており、本報告書の内容についてもその検証委員会での検証の対象になるものである。この検証の活動の状況についても世界に公表することになる。

我が国は、この事故について、高い透明性をもって情報を公開することを基本としている。この方針の下、本報告書を作成するに当たっては、事実関係を正確に記載すること、事故への対応をできるだけ厳しく客観的に評価すること、判明していることとまだ判明していないことの区別を明確にしておくなどに留

意した。事実関係の記載については、本年 5 月 31 日までに判明したことに基づいている。

我が国は、今後も全力でこの事故の調査分析に取り組むこととしており、その結果については、引き続き IAEA と世界各国に提供する方針である。

2. 事故前の我が国の原子力安全規制等の仕組み

我が国の原子力発電所の安全規制は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」と「電気事業法」によってなされ、経済産業省の原子力安全・保安院がその規制の責任を担っている。内閣府に設置されている原子力安全委員会は、原子力安全・保安院の行う安全規制活動を監視、監査する役割を担っており、必要な場合には経済産業大臣に対して必要な措置を講ずることを内閣総理大臣を通じて勧告できる権限を有している。また、経済産業大臣が原子力発電所の設置許可をする際は、その安全性に関して原子力安全委員会の意見を聴いた上で行うこととされている。

放射線障害の防止と放射能水準の把握のための監視・測定は、関係法令に基づき、文部科学省をはじめとする関係省庁が行っている。

我が国の原子力災害対応は、1999 年のジェー・シー・オー核燃料加工施設で発生した臨界事故後に制定された「原子力災害対策特別措置法」（以下、「原災法」という。）に基づき実施される仕組みになっている。原災法は原子力災害の場合において災害対策基本法を補完するものとなっている。原災法では、原子力災害に対して事業者、国と地方公共団体が連携して取り組むこと、原子力緊急事態が発生した場合は内閣総理大臣が原子力緊急事態宣言を発出するとともに避難等の指示をすること、内閣総理大臣を長とする原子力災害対策本部を設置して事態に対応することなどが定められている。

また、原子力災害時の対応である緊急時の環境モニタリングは、地方自治体が実施し、文部科学省がそれを支援することになっている。

3. 東北地方太平洋沖地震とそれによる津波の被害

我が国の東日本の太平洋岸地帯は、2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に発生した東北地方太平洋沖地震に襲われた。この地震は、日本海溝沿いに太平洋プレートが北アメリカプレートの下に沈み込む領域で発生した我が国観測史上最大の

マグニチュード 9.0 の地震であった。震源は北緯 38.1 度、東経 142.9 度、深さ 23.7km であった。この地震により東北地方から関東地方の広い範囲で地殻変動が発生した。その後 7 波にわたって東北地方に津波が襲来し、全浸水面積は 561km² に及び、死亡者・行方不明者は約 2 万 5 千人となっている。

福島原子力発電所で観測された地震について、福島第一原子力発電所においては、原子炉建屋基礎盤上で観測された地震動の加速度応答スペクトルが、一部の周期帯で設計の基準地震動の加速度応答スペクトルを超えた。福島第二原子力発電所においては、原子炉建屋基礎盤上で観測された地震動の加速度応答スペクトルは、設計の基準地震動の加速度応答スペクトルに対して下回っていた。地震によって外部電源に対して被害がもたらされた。原子炉施設の安全上重要な設備や機器については、現在までのところ地震による大きな損壊は確認されていないが、詳細な状況についてはまだ不明であり更なる調査が必要である。

地震による福島原子力発電所の外部電源への被害に関して、地震当日の福島第一原子力発電所においては合計 6 回線の外部電源が接続されていたが、地震による遮断器等の損傷や送電鉄塔の倒壊によって、これら 6 回線による受電が全て停止した。また地震当日の福島第二原子力発電所においては合計 4 回線の外部電源が接続されていたが、1 回線は工事中であり、1 回線は地震により停止し、もう 1 回線が停止したため、1 回線による受電となった（なお、翌 12 日 13 時 38 分には復旧工事が完了し、2 回線受電となった。）。

また、津波の襲来は、福島第一原子力発電所については、最初の大きな波は 3 月 11 日の 15 時 27 分頃（地震発生後 41 分後）に、次に大きな波は 15 時 35 分に到達し、福島第二原子力発電所については、最初の大きな波は 15 時 23 分頃（地震発生後 37 分後）に、次に大きな波は 15 時 35 分頃に到達した（東京電力発表）。福島第一原子力発電所においては、設置許可上の設計津波高さが 3.1m とされていた。また「原子力発電所の津波評価技術」（土木学会）に基づく評価（2002 年）では最高水位が 5.7m とされ、これに対して東京電力は 6 号機の海水ポンプの取付け高さのかさ上げを行っていた。しかし、今回の津波は 14~15m に達し、全号機の補機冷却用海水ポンプ施設が冠水して機能を停止したほか、6 号機を除き原子炉建屋やタービン建屋の地下階に設置されていた非常用ディーゼル発電機及び配電盤が冠水して機能を停止した。

福島第二原子力発電所においては、設計津波高さが 3.1~3.7m とされていた。また上記の評価（2002 年）では最高水位が 5.1~5.2m とされた。この津波によって、一部を残して多くの補機冷却用海水ポンプ施設が冠水して機能を停止し、

原子炉建屋地下階に設置されていた非常用ディーゼル発電機は津波後に停止した。

このように、大規模な津波の襲来に対する想定と対応が十分なされていなかった。

4. 福島原子力発電所等の事故の発生と進展

(1) 福島原子力発電所の概要

福島第一原子力発電所は、福島県双葉郡大熊町と双葉町に位置し、1号機から6号機までの6基の沸騰水型軽水炉が設置されており、総発電容量は469.6万kWである。福島第二原子力発電所は、福島県双葉郡富岡町と楡葉町に位置し、1号機から4号機までの4基の沸騰水型軽水炉が設置されており、総発電容量は440万kWである（後出の図と表を参照）。

(2) 福島原子力発電所の安全確保等の状況

原子炉施設においては、自然事象等の発生を考えても故障の発生し難いようにするとともに、それでも故障は起きると考えて、設計基準事象という異常状態が発生しても安全を確保できる防護対策を施すことにしている。その上で、念のため、この防護対策が不十分であった場合にシビアアクシデント^(注1)に至る可能性をできるだけ小さくし、又はシビアアクシデントに至った場合でもその影響を緩和するための措置がアクシデントマネジメント^(注2)対策であり、我が国は、1992年から取り組み始めた。アクシデントマネジメント対策の実施は安全規制の法律上の要求事項とはなっておらず、事業者が自主的に実施し国がその取り組みの報告を求めるという方法で行われている。

福島原子力発電所におけるアクシデントマネジメント対策は、原子炉停止機能、原子炉及び格納容器への注水機能、格納容器からの除熱機能と安全機能のサポート機能の4つについてなされている。例えば、原子炉及び格納容器の注水機能については、既設の復水補給水系や消火系から格納容器冷却系や炉心ス

注1 シビアアクシデント：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又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で、過酷事故とも呼ばれる。

注2 アクシデントマネジメント：現在の設計に含まれる安全余裕や安全設計上想定した本来の機能以外にも期待し得る機能又はそうした事態に備えて新規に設置した機器等を有効に活用することによって、それがシビアアクシデントに拡大するのを防止する、もしくはシビアアクシデントに拡大した場合にもその影響を緩和するために取られる措置をいう。

プレイ系を介して原子炉へ注水できるように配管の接続先を確保し、代替注水設備として活用できるようにすることが含まれている。

(3) 福島原子力発電所の地震発生前の運転状況

3月11日の地震発生前の福島原子力発電所の運転状況は、福島第一原子力発電所については、1号機は定格電気出力運転、2号機と3号機は定格熱出力の運転中であり、4号機、5号機及び6号機は定期検査中であった。このうち、4号機については大規模修繕工事を実施中であり、原子炉圧力容器の中にあつた核燃料は全て使用済燃料プールに移送されていた状態であった。また、共用の使用済燃料プールには6,375体の使用済燃料を貯蔵中であつた。

福島第二原子力発電所については、1号機から4号機までの全ての原子炉が定格熱出力の運転中であつた。

(4) 福島原子力発電所の事故の発生・進展

福島第一原子力発電所では、運転中の1号機から3号機は、同日の14時46分に地震の発生を受けて自動停止した。同時に地震によって計6回線の全ての外部電源が失われた。そのため非常用ディーゼル発電機が起動した。しかし、襲来した津波の影響を受けて冷却用海水ポンプ、非常用ディーゼル発電機や配電盤が冠水したため、6号機の1台を除く全ての非常用ディーゼル発電機が停止した。このため、6号機を除いて全交流電源喪失の状態となった。6号機では、非常用ディーゼル発電機1台（空冷式）と配電盤が冠水を免れ、運転を継続した。また、津波による冷却用海水ポンプの冠水のため、原子炉内部の残留熱を海水へ逃すための残留熱除去系や多数の機器の熱を海水に逃すための補機冷却系が機能を失った。

東京電力の運転員は同社の過酷事故手順書に従い、自動起動した炉心冷却設備や炉心への注水設備の継続運転中に、多数の原子炉安全系の機器を回復するために、政府とも協力しつつ緊急に電源を確保する試みを行ったが、結局、電源を確保することはできなかった。

1号機から3号機では、交流電源を用いる炉心冷却機能が失われたため、交流電源を用いない炉心冷却機能の作動がなされたか、又はその作動が試みられた。それらは、1号機の非常用復水器^(注3)（アイソレーション・コンデンサ）の作動、

^{注3} 非常用復水器（アイソレーション・コンデンサ）：外部電源喪失時などの原子炉圧力容器

2号機の原子炉隔離時冷却系^(注4)(RCIC)の作動と3号機の原子炉隔離時冷却系と高圧注水系^(注5)(HPCI)の作動である。

その後、これらの交流電源を用いない炉心冷却機能が停止し、消防ポンプを用いた消火系ラインによる淡水又は海水の代替注水に切り替えられた。

福島第一原子力発電所の1号機から3号機について、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ため、各号機の炉心の核燃料は水で覆われずに露出し、炉心溶融に至った。溶融した燃料の一部は原子炉圧力容器の下部に溜まった。

燃料棒被覆管等のジルコニウムと水蒸気との化学反応により大量の水素が発生するとともに、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た。そして、原子炉圧力容器の減圧の過程でこれらの水素や放射性物質は格納容器内に放出された。

注入された水は原子炉圧力容器内で核燃料から気化熱を奪い水蒸気になるが、こうして炉心冷却機能が失われた原子炉圧力容器では内圧が上昇し、この水蒸気が格納容器内に安全弁を通して漏出していった。このため、徐々に格納容器の内圧が上昇したので、1号機から3号機では格納容器が圧力により破損することを防ぐため、格納容器内部の気体をサプレッションチェンバーの気相部から排気筒を通じ大気中に逃す操作である格納容器ウェットウェルベントが数回行われた。

1号機と3号機では、格納容器ウェットウェルベント後に、格納容器から漏えいした水素が原因と思われる爆発が原子炉建屋上部で発生し、それぞれの原子炉建屋のオペレーションフロアが破壊された。これらによって環境に大量の放射性物質が放散された。なお、3号機の建屋の破壊に続いて、定期検査のために炉心燃料がすべて使用済燃料プールに移動されていた4号機においても原子炉

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

^{注4} 原子炉隔離時冷却系(RCIC): 外部電源喪失等で原子炉圧力容器が給復水系から隔離された場合に、炉心の冷却を行う系統。水源としては、復水貯蔵タンク、圧力抑制プール水のいずれも使用できる。ポンプの駆動装置は原子炉蒸気の一部を利用するタービンである。

^{注5} 高圧注水系(HPCI): 崩壊熱によって発生する蒸気をタービンに供給し、これによりポンプを駆動して炉心に注水する非常用炉心冷却系の一つ。

建屋で水素が原因とみられる爆発があり、原子炉建屋の上部が破壊された。この間、2号機では格納容器のサプレッションチェンバー室付近と推定される場所で水素爆発が発生し破損が生じたとみられる。

電源の回復及び原子炉容器内への注水の継続と合わせて現場で最も急がれた取組みは、1号機から4号機の使用済燃料プールへの注水であった。各号機の使用済燃料プールについては、電源の喪失によってプール水の冷却が停止したため、使用済燃料の発熱による水の蒸発により、その水位が低下し続けた。このため、使用済燃料プールに対して、自衛隊、消防や警察がヘリコプターや放水車を用いて注水を行ったが、最終的にはコンクリートポンプ車を確保し、当初の海水注水の後、近くの貯水池の水などを活用した淡水による注水を実施した。

(5) 福島原子力発電所の各号機等の状況

① 福島第一原子力発電所1号機

○ [電源喪失] 3月11日14時46分に地震により原子炉がスクラムした。地震のために外部電源が喪失し、非常用ディーゼル発電機2台が起動した。同日15時37分に非常用ディーゼル発電機2台が津波により停止し、全交流電源喪失に陥った。

○ [原子炉の冷却] 隔離凝縮系の非常用復水器は、3月11日14時52分に自動起動し、原子炉の冷却を開始した。その後、同日15時03分に非常用復水器は停止した。手順書では、冷却速度を55℃/時に調整することになっている。その後も3回にわたって原子炉圧力は上下しており、非常用復水器の手動操作があったものとみられる。東京電力によると、3月12日05時46分に消防ポンプを用いて消火系ラインにより淡水注水を開始し、同日14時53分に8万リットルの注入を完了したが、その後どの時点で注入が停止したか不明であるとしている。同日19時04分に消火系ラインを用いて海水注水を開始した。海水注水を巡っては政府と東京電力の本店の間で、連絡・指揮システムの混乱がみられたが、福島第一原子力発電所の所長の判断で海水注水は継続された。3月25日に純水タンクを水源とする淡水への注水に戻した。なお、高圧注入系(HPCI)については、少なくとも記録が残っていた地震後1時間までに自動起動する水位(L-L:セパレータ底部から-148cm)まで下がっておらず、作動した記録も残っていない。

- [炉心の状態] 3月11日15時37分の全交流電源喪失時に炉心への注水が停止してから、3月12日05時46分に淡水注水を開始するまでの14時間9分間にわたって炉心への注水が停止していたとみられる。原子力安全・保安院の評価（HPCIは作動していない前提）の結果によれば、3月11日17時頃に原子炉水位の低下により燃料が露出し、その後、炉心溶融が開始したとみられる。溶融した燃料の相当量は原子炉圧力容器の底部に移行して堆積しているとみられる。なお、現時点では、原子炉圧力容器の底部が損傷し、溶融した燃料の一部が格納容器のドライウェルフロア（下部ペDESTアル）に落下して堆積している可能性も考えられる。
- [水素爆発] 3月12日14時30分に格納容器ウェットウェルベントを実施した。その後、同日15時36分に原子炉建屋で爆発が発生した。この原子炉建屋の爆発については、原子炉圧力容器内の温度上昇に伴うジルコニウム－水反応によって水素が発生し、その水素を含む気体が格納容器からの漏えい等により原子炉建屋の上部に滞留して水素爆発を起こしたとみられる。格納容器内に水素が蓄積している可能性があることから、4月7日から格納容器内への窒素の封入を開始した。
- [注水冷却水の漏えい] 現時点では注水した冷却水は原子炉圧力容器底部において漏えいしているものと推定される。原子炉圧力容器への注水総量は約13,700トン（東京電力による情報で5月31日までの量）であり、蒸気発生総量が約5,100トンと見積もられるので、この差分の約8,600トンから原子力圧力容器（約350m³）等にある量を除いた相当量が漏えいしたとみられる。

② 福島第一原子力発電所2号機

- [電源喪失] 3月11日14時47分に地震により原子炉がスクラムした。地震のために外部電源が喪失し、非常用ディーゼル発電機2台が起動した。同日15時41分に非常用ディーゼル発電機2台が津波により停止し、全交流電源喪失に陥った。
- [原子炉の冷却] 3月11日14時50分頃に原子炉隔離時冷却系（RCIC）を手動起動した。同日14時51分頃に原子炉水位が高かったためにRCICは自動停止した。その後、同日15時02分に手動起動し、15時28分に再び停止した。なお、さらに同日15時39分に手動起動した。3月14日13時25分にRCICは停止した。同日19時54分に消防ポンプを用いて海水の注入が開始

された。

○ [炉心の状態] 3月14日13時25分にRCICが停止してから同日19時54分の海水注入が開始されるまでの6時間29分間にわたって注水が停止していたとみられる。原子力安全・保安院の評価の結果によれば、3月14日18時頃に原子炉水位の低下により燃料が露出し、その後、炉心溶融が開始したとみられる。溶融した燃料の相当量は原子炉圧力容器の底部に移行して堆積しているとみられる。なお、現時点では、原子炉圧力容器の底部が損傷し、溶融した燃料の一部が格納容器のドライウエルフロア（下部ペDESTAL）に落下して堆積している可能性も考えられる。

○ [爆発音] 3月13日11時頃から小弁も含めて格納容器ウェットウエルベント操作を実施した。3月15日06時頃に格納容器サプレッションチェンバー付近において爆発音が発生した。この爆発音については、原子炉圧力容器内の温度上昇に伴うジルコニウム-水反応によって水素が発生し、その水素を含む気体が主蒸気逃し安全弁の開放等を通じサプレッションチェンバーに入り、サプレッションチェンバーから水素が漏えいし、トラス室で爆発した可能性が考えられる。

○ [注水冷却水の漏えい] 現時点では注水した冷却水は原子炉圧力容器底部において漏えいしているものと考えられる。原子炉圧力容器への注水総量は約21,000トン（東京電力による情報で5月31日までの量）であり、蒸気発生総量が約7,900トンと見積もられるので、この差分の約13,100トンから原子炉圧力容器（約500m³）等にある量を除いた相当量が漏えいしたとみられる。

③ 福島第一原子力発電所3号機

○ [電源喪失] 3月11日14時47分に地震により原子炉がスクラムした。地震のために外部電源が喪失して、非常用ディーゼル発電機2台が起動した。同日15時42分に津波により非常用ディーゼル発電機2台が停止し、全交流電源喪失に陥った。

○ [原子炉の冷却] 3月11日15時05分に原子炉隔離時冷却系（RCIC）を手動起動した。同日15時25分に原子炉水位が高くなったため自動停止した。同日16時03分に手動起動し、3月12日11時36分にRCICは停止した。同日12時35分に高圧注水系（HPCI）が原子炉水位低（L-2）により自動起動

したが、3月13日02時42分にHPCIは停止した。この原因は原子炉圧力が低下したためと考えられる。なお、HPCI系統からの蒸気流出の可能性も考えられる。

- [炉心の状態] 3月13日09時25分頃から消防車により消火系ラインを用いてホウ酸を含んだ水を注水する操作を開始したが、原子炉圧力が高くなっていったため十分に注水できず、原子炉水位は低下した。少なくとも13日02時42分にHPCIが停止してから同日09時25分に消火系ラインを用いた注水を開始するまでの6時間43分間、注水が停止していたことになる。原子力安全・保安院の評価の結果によれば、3月13日08時頃に原子炉水位の低下により燃料が露出し、その後、炉心溶融が開始したとみられる。溶融した燃料の相当量は原子炉圧力容器の底部に移行して堆積しているとみられる。ただし、原子炉圧力容器の底部が損傷し、燃料の一部が格納容器のドライウェルフロア（下部ペDESTAL）に落下して堆積している可能性も考えられる。
- [水素爆発] 3月14日05時20分に格納容器ウェットウェルベントを実施した。その後、同日11時01分に原子炉建屋で爆発が発生した。これは、原子炉圧力容器内の温度上昇に伴うジルコニウム-水反応によって水素が発生し、その水素を含む気体が格納容器からの漏えい等により原子炉建屋の上部に滞留して水素爆発を起こしたとみられる。
- [注水冷却水の漏えい] 現時点では注水した冷却水は原子炉圧力容器底部において漏えいしているものと推定される。原子炉圧力容器への注水総量は約20,700トン（東京電力による情報で5月31日までの量）であり、蒸気発生総量が約8,300トンと見積もられるので、この差分の約12,400トンから原子力圧力容器（約500m³）等にある部分を除いて相当量が漏えいしたとみられる。

④ 福島第一原子力発電所4号機

- [使用済燃料プールの冷却] 原子炉は定期検査のため停止していた。原子炉内の核燃料は使用済燃料プールに移送されていた状態であった。3月11日の地震により外部電源が喪失し、非常用ディーゼル発電機1台が起動した（他の1台は点検中のため起動していない）。同日15時38分に津波により非常用ディーゼル発電機1台が停止し、全交流電源喪失に陥った。これによって使用済燃料プールの冷却機能と補給水機能が喪失した。3月20日から使用済

燃料プールへの放水が開始された。

- [原子炉建屋の爆発] 3月15日06時頃、原子炉建屋の爆発が発生し、オペレーションフロア1階下から上部全体と西側と階段沿の壁面が損壊した。同日09時38分に原子炉建屋4階北西付近で火災が発生した。原子炉建屋の爆発については、格納容器ベントの排気管が排気筒の手前で4号機の排気管と合流していることから3号機からの水素流入の可能性も考えられるが、現時点では原因を特定するには至っていない。

⑤ 福島第一原子力発電所5号機

- [電源の確保] 原子炉は定期検査のため停止していた。3月11日14時46分の地震により外部電源を喪失し、非常用ディーゼル発電機2台が起動したが、同日15時40分に津波により非常用ディーゼル発電機2台が停止し、全交流電源喪失に陥った。3月13日に6号機の非常用ディーゼル発電機からの電源融通を受けた。

- [原子炉と使用済燃料プールの冷却] 3月12日06時06分に原子炉圧力容器の減圧操作を実施したが、その後も崩壊熱の影響により原子炉圧力は緩やかに上昇した。3月13日に6号機の非常用ディーゼル発電機からの電源融通を受け、5号機の復水移送ポンプを使用して炉内への注水が可能となった。3月14日05時以降、逃し安全弁による減圧を実施し、併せて、復水移送ポンプにより復水貯蔵タンクからの水を原子炉へ補給する操作を繰り返し、原子炉圧力と原子炉水位を制御した。3月19日に残留熱除去系による冷却を行うために仮設の海水ポンプを設置し起動させ、残留熱除去系の系統構成を切り替えることにより、原子炉と使用済燃料プールの冷却を交互に行った。その結果、3月20日14時30分に原子炉が冷温停止状態となった。

⑥ 福島第一原子力発電所6号機

- [電源の確保] 原子炉は定期検査のため停止していた。3月11日14時46分の地震により外部電源が喪失し、非常用ディーゼル発電機3台が起動した。同日15時40分に津波により非常用ディーゼル発電機2台が停止し、残り1台の非常用ディーゼル発電機によって電源の供給は続けられた。
- [原子炉及び使用済燃料プールの冷却] 崩壊熱の影響により原子炉圧力は緩

やかに上昇した。3月13日非常用ディーゼル発電機からの電源により復水移送ポンプを使用して炉内への注水が可能となった。3月14日以降、逃し安全弁による減圧を実施し、併せて、復水移送ポンプにより復水貯蔵タンクからの水を原子炉へ補給する操作を繰り返し、原子炉圧力と原子炉水位を制御した。3月19日に残留熱除去系による冷却を行うために仮設の海水ポンプを設置し起動させ、残留熱除去系の系統構成を切り替えることにより、原子炉と使用済燃料プールの冷却を交互に行った。3月20日19時27分に原子炉が冷温停止状態となった。

⑦ 福島第二原子力発電所

- [全体] 3月11日14時48分に運転中であった福島第二原子力発電所の1号機から4号機は原子炉がスクラムした。同発電所には合計4回線の外部電源が接続されていたが、1回線は工事中であり、1回線は地震により停止し、さらに地震から約1時間後にもう1回線が停止したため、1回線による受電となった(なお、翌12日13時38分には復旧工事が完了し、2回線受電となった。)。15時34分頃に津波が襲来し、1号機、2号機及び4号機の残留熱除去系などが被害を受けた。
- [1号機] 原子炉については原子炉隔離時冷却系や復水補給水系により冷却と水位維持が行われたが、最終的な除熱ができずにサプレッションプール水の温度が100℃を超えた。3月12日07時10分にドライウェルスプレイによる冷却を開始した。機能を有していた配電盤からの仮設ケーブルを接続することによって、3月14日01時24分には残留熱除去系を運転してサプレッションプールの冷却を開始した。3月14日10時15分にサプレッションプールの温度が100℃以下となり、同日17時00分に原子炉も冷温停止状態となった。
- [2号機] 原子炉については原子炉隔離時冷却系や復水補給水系により冷却と水位維持が行われたが、最終的な除熱ができずにサプレッションプール水の温度が100℃を超えた。3月12日07時11分にドライウェルスプレイによる冷却を開始した。1号機と同様に仮設ケーブルを接続することによって、3月14日07時13分には残留熱除去系を運転してサプレッションプールの冷却を開始した。3月14日15時52分にサプレッションプールの温度が100℃以下となり、同日18時00分に原子炉も冷温停止状態となった。
- [3号機] 津波により残留熱除去系(A)と低圧炉心スプレイ系が使用できな

くなくなったが、残留熱除去系（B）には被害はなく、同系統による冷却を継続して3月12日12時15分に原子炉は冷温停止状態になった。

- [4号機] 原子炉については RCIC や復水補給水系により冷却と水位維持が行われたが、最終的な除熱ができずにサプレッションプール水の温度が100℃を超えた。1号機と同様に仮設ケーブルを接続することによって、3月14日15時42分には残留熱除去系を運転してサプレッションプールの冷却を開始した。3月15日07時15分にサプレッションプールの温度が100℃以下となり、原子炉も冷温停止状態となった。

(6) その他の原子力発電所の状況

① 東北電力東通原子力発電所

東北電力東通原子力発電所（1基の沸騰水型軽水炉）は定期検査中で、炉心の燃料は全て使用済燃料プールに取り出されていた。地震により3回線全ての外部電源が停止し、非常用ディーゼル発電機により給電が行われた。

② 東北電力女川原子力発電所

東北電力女川原子力発電所（1号機から3号機までの沸騰水型軽水炉）では、3月11日の地震発生前は、1号機と3号機が運転中で2号機が原子炉起動操作中であった。地震により3基とも原子炉がスクラムした。地震により外部電源5回線のうち4回線が停止し、1回線が残った。1号機は地震により所内電源喪失となり、非常用ディーゼル発電機による給電が行われた。原子炉への給水は原子炉隔離時冷却系などによって行い、3月12日0時57分に冷温停止状態に至った。2号機は外部電源が維持されており、津波により海水系ポンプの被害を受けたが、補機冷却系A系が健全であったため原子炉の冷却機能に影響はなかった。3号機の外部電源は維持されていたが、津波によってタービン補機冷却系海水ポンプが停止したことから、原子炉への給水を原子炉隔離時冷却系などにより行い、3月12日01時17分に原子炉は冷温停止状態に至った。

③ 日本原子力発電東海第二発電所

日本原子力発電東海第二発電所（1基の沸騰水型軽水炉）は定格熱出力運転中であり、3月11日14時48分に地震により原子炉がスクラムした。3回線の外

部電源は全て停止したが、3台ある非常用ディーゼル発電機が起動した。津波により1台の非常用ディーゼル発電機が停止したが、残りの2台によって電源は確保され、3月15日0時40分に原子炉は冷温停止状態になった。

5. 原子力災害への対応

(1) 事故発生後の緊急時対応

福島第一原子力発電所が地震と津波による被害のため全交流電源喪失の状態に陥ったことを受け、東京電力は、事故発生当日の3月11日15時42分に、原災法第10条第1項に基づいて、政府に対し、1号機から5号機までが全交流電源喪失に陥った旨を通報した。

引き続き、同日16時45分、東京電力は、福島第一原子力発電所の1号機及び2号機において非常用炉心冷却装置による注水が不能になったと判断し、原災法第15条の緊急事態に至った旨を政府に通報した。

内閣総理大臣は、同日19時03分、原子力緊急事態宣言を発し、内閣総理大臣を本部長とする原子力災害対策本部及び原子力災害現地対策本部を設置した。

原子炉施設における災害事象に係る現状把握、その応急措置等について、政府と原子力事業者が一体となり、情報を共有しながら、必要な対策を判断し迅速に対応することを目的として、3月15日に福島原子力発電所事故対策統合本部（その後、5月9日に現在の政府・東京電力統合対策室に変更）を設置した。

原子力災害対策本部長である内閣総理大臣は、放射性物質が放出される事態に至る可能性があるとの判断にたち、避難区域及び屋内退避区域を定めて、これを福島県及び関係市町村に指示した。福島第一原子力発電所の事故状況に対応し、3月11日21時23分に半径3km圏内の避難区域と半径3km～10km圏内の屋内退避区域を設定し、その後、事態の進展に応じて、3月12日18時25分に半径20km圏内を避難区域とし、3月15日11時に半径20km～30km圏内を屋内退避区域とした。また、福島第二原子力発電所の事故状況に対応し、3月12日07時45分に原子力緊急事態を宣言すると同時に、半径3km圏内の避難区域と半径3km～10km圏内の屋内退避区域を設定し、同日17時39分に半径10km圏内を避難区域とした。その後、4月21日に避難区域を半径8km圏内と変更した。これらの事故直後の避難や屋内退避は、周辺住民をはじめ、地方自治体、警察等の関係者の連携した協力により迅速に行われた。

内閣総理大臣は、4月21日に関係自治体の長に対し、福島第一原子力発電所から半径20km圏内の避難区域を災害対策基本法に基づく警戒区域に設定し、当該区域への立入を制限する指示を行った。

原子力災害現地対策本部は、防災基本計画で定められていた「緊急事態応急対策拠点施設（オフサイトセンター）」で活動を開始したが、その後、原子力災害の進展に伴う高放射線の影響、通信途絶、周辺地域の物流が滞り中での燃料や食料等の不足等が生じたため、活動場所を福島市の福島県庁内に移動した。

事故の長期化に伴い、周辺住民等の負担も増したが、特に屋内退避については、多数の住民が自主的に避難した実態や、区域内で商業、物流が滞り社会生活の維持が困難になったことなどを踏まえて、3月25日に政府は生活支援の対策を開始した。

原子力災害発生時の原子炉の状態や事故進展予測などを行う緊急時対策支援システム（ERSS）は、必要なプラントの情報が得られず本来の機能を発揮できなかった。また、緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム（SPEEDI）については、放出源情報を得ることができずに大気中の放射性物質の濃度等の変化を定量的に予測するという本来の機能を発揮できなかった。様々な形で補完的に活用されたが、その活用の体制や公表のあり方にも課題を残した。

（2）環境モニタリングの実施

防災基本計画では、原子力災害が発生した場合の環境モニタリングは地方自治体が担うことになっている。事故発生当初はモニタリングポストのほとんどが使用不能の状態となった。3月16日以降、環境モニタリングについては、文部科学省が実施するもの、地方自治体が実施するもの、米国の機関と協力して実施するものなどの状況を文部科学省がとりまとめて実施することになった。

発電所敷地外の陸域については、文部科学省が日本原子力研究開発機構、福島県、防衛省、電力会社と連携して、空間線量率、土壌の放射能濃度、大気中や環境試料中の放射性物質の濃度等を測定している。また、文部科学省が防衛省、東京電力、米国エネルギー省等と連携して航空機モニタリングを実施している。東京電力は発電所敷地内やその周辺等において環境モニタリングを実施している。

発電所周辺の海域については、文部科学省、水産庁、海洋研究開発機構、日本原子力研究開発機構、東京電力等が連携して、海水中及び海底土中の放射能濃度等のモニタリングを実施している。また、海洋研究開発機構は放射能濃度の分布拡散のシミュレーションを行っている。

これらの環境モニタリングの結果については原子力安全委員会が評価を行い、その都度、公表している。

なお、福島原子力発電所の敷地内及びその周辺については、東京電力が大気中、海域、土壌等の環境モニタリングを実施している。

(3) 農産物、飲料水等に関する対応

厚生労働省は、3月17日、「飲用食物摂取制限に関する指標」（原子力安全委員会）を食品中の放射性物質に関する暫定規制値とし、これを上回る食品については食品衛生法に基づいて食用に供されることのないようにした。暫定規制値を超えた品目については、原子力災害対策本部長である内閣総理大臣が出荷制限を関係自治体に指示している。

水道水については、厚生労働省が、3月19日以降、放射性物質の濃度が原子力安全委員会が示した指標等を超えた場合は、飲用を控えるべきことを都道府県関係部局に通知するとともに、関係地方自治体等によるモニタリング結果を公表している。

(4) 追加的な防護区域の対応

放射性物質の環境への放出が続いたため、環境モニタリングのデータから20km圏外の場所でも放射性物質が高いレベルで蓄積されてきている場所があることが明らかになった。これを受け、原子力災害対策本部長である内閣総理大臣は、4月22日に関係自治体の長に対して、20km圏外の一定の区域を計画的避難区域として新たに設定するとともに、従来、屋内退避区域とされてきた20kmから30km圏内の地域のうち、「計画的避難区域」に該当する区域以外の区域については、今後なお、緊急時に屋内退避や避難の対応が求められる可能性が否定できないことから、緊急時避難準備区域として設定することを指示した。これによって、計画的避難区域内の居住者等は避難のための計画的な立退きを行い、また緊急時避難準備区域内の居住者等は常に緊急時に避難のための立退き又は屋内への退避が可能な準備を行うように指示された。

6. 放射性物質の環境への放出

(1) 放射性物質の大気中への放出量の評価

4月12日に原子力安全・保安院と原子力安全委員会はそれぞれ放射性物質のそれまでの大気中への総放出量について公表した。

原子力安全・保安院は、原子力安全基盤機構（JNES）の原子炉の状態等の解析結果から試算を行い、福島第一原子力発電所の原子炉からの総放出量はヨウ素131について約 1.3×10^{17} ベクレル、セシウム137について約 6.1×10^{15} ベクレルと推定されるとした。その後、5月16日に原子力安全・保安院が東京電力に対して報告を徴収した地震直後のプラントデータ等を用いて、JNESが原子炉の状態等を改めて解析した。この解析結果から原子力安全・保安院において算出したところ、福島原子力発電所の原子炉からの総放出量はヨウ素131について約 1.6×10^{17} ベクレル、セシウム137について約 1.5×10^{16} ベクレルと推定した。

原子力安全委員会は、日本原子力研究開発機構（JAEA）の協力を得て、環境モニタリング等のデータと大気拡散計算から特定の核種について大気中への放出量を逆推定して総放出量（3月11日から4月5日までの分）はヨウ素131について約 1.5×10^{17} ベクレル、セシウム137について約 1.2×10^{16} ベクレルと推定されるとした。なお、4月初旬以降は、ヨウ素131でみた放出量は毎時 10^{11} ベクレルから 10^{12} ベクレルで減少してきているとみられる。

(2) 放射性物質の海水中への放出量の評価

福島第一原子力発電所では原子炉圧力容器内から放散された放射性物質が溶け込んだ水が格納容器内に漏出してきた。また、原子炉及び使用済燃料プールの冷却のために外部から注水した結果として、その注水した水の一部が格納容器から漏出し、原子炉建屋やタービン建屋内部の溜まり水となった。原子炉建屋やタービン建屋内部にある汚染水については建屋内部での作業性の観点からその管理が重要な課題となり、建屋の外部にある汚染水については環境への放射性物質の放散を防ぐ観点からその管理が重要な課題となった。

4月2日、福島第一原子力発電所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1,000ミリシーベルト／時を超える高レベルの汚染水が溜まり、そこからこの高いレベルの汚染水が海水中に流出していることが判明した。止水処理により流出は4月6日に停止したが、放射性物質の総放出量は約 4.7×10^{15} ベクレルと推定された。緊急対策としてこの高レベルの汚染水をタン

クに貯蔵することとしたが、貯蔵できるタンクがなかったため、この汚染水の貯蔵容量を確保するために、4月4日から4月10日にかけて低レベルの汚染水を海水中に放出することが実施された。その放射性物質の総放出量は約 1.5×10^{11} ベクレルと推定された。

7. 放射線被ばくの状況

政府は、今回の事故での災害の状況に鑑み、原子力災害の拡大を防止するため、緊急時における放射線業務従事者の従事者の線量限度を100ミリシーベルトから250ミリシーベルトに変更した。これは、国際放射線防護委員会(ICRP)1990年勧告において、緊急救助活動に従事する者の線量として確定的影響が発生することを回避するための線量が500ミリシーベルトとされていることなどを踏まえて定めたものである。

東京電力による放射線業務従事者の作業においては、個人線量計等の多くが海水に浸かって使用できなくなったため、作業代表者が個人線量計を携帯し作業グループ単位で放射線管理を行わざるを得ない状況となった。その後、4月1日から作業員全員が個人線量計を携帯することができるようになった。

放射線業務従事者の被ばく線量の状況は、5月23日現在で、入域した者の総数は約7,800名で、平均は7.7ミリシーベルトである。100ミリシーベルトを超えた者は30名である。また、放射線業務従事者の内部被ばくの測定が遅れており、今後、内部被ばくも含めた被ばく線量が250ミリシーベルトを超える者が一定数出る可能性がある。なお、3月24日には、2名の作業者が滞留水に足をを入れて作業した結果、足の皮膚に被ばくを受け、その等価線量の評価では2~3シーベルトを下回ると推定されている。

周辺住民等の放射線被ばくについては、福島県内でスクリーニングを受けた者195,345人(5月31日までの人数)については、問題のない結果であった。また、福島県内で小児の甲状腺被ばくの調査を受けた1,080人についてはスクリーニングレベルを下回っていた。

周辺住民等の被ばく線量の推定と評価については、福島県を主体として、関係省庁及び放射線医学総合研究所等の関係機関が避難経路や行動に関する調査を行い、環境モニタリング結果の活用により、適切に実施していく計画である。

8. 国際社会との協力

我が国でこの原子力事故が発生して以来、米国、フランス、ロシア、韓国、中国、英国の専門家が来日し、日本側関係機関等と意見交換を行うとともに、原子炉や使用済燃料プールの安定化、放射性物質の拡散の防止、放射能汚染水への対応等において多くの助言を得た。また、各国からは、原子力災害に対応するための必要な物資の提供についても支援を受けた。

また、IAEA、経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）等の原子力の関係機関からは専門家の訪日や助言等を得た。また、IAEA、世界保健機構（WHO）、国際民間航空機関（ICAO）、国際海事機構（IMO）等の国際機関やICRPは、それぞれの専門的立場として、国際社会に対して必要な情報提供等を行った。

9. 事故に関するコミュニケーション

事故発生当初の段階では、自治体への通報の遅れを含めて適時かつ的確な情報の提供が進まず、事故に関するコミュニケーションに課題を残した。事故に関する国内的、国際的なコミュニケーションでは、透明性、正確性、迅速性が重要である。このため、事故の情報提供については、官邸における記者会見や関係者による合同記者会見など様々な場やレベルを活用している。随時その改善を図ってきているが、適切な情報提供とは何かという点を常に念頭に置きながら、引き続き改善の努力を継続する必要がある。

事故に関する重要事項については、内閣官房長官が政府の見解を含めて記者会見し、国民への事故の状況を説明している。また、事業者である東京電力、規制当局である原子力安全・保安院は、事態の状況の詳細及びその変化について記者会見を行ってきている。さらに、原子力安全委員会は、重要な助言や環境モニタリングの結果の評価等について記者会見において説明をしている。

国民に対して情報をできる限り一元的に提供するため、4月25日から、関係者が一堂に会して共同で記者会見を行うこととした。この共同記者会見には、内閣総理大臣補佐官を始めとして、原子力安全・保安院、文部科学省、原子力安全委員会事務局、東京電力などが参加している。

一般国民からの問合せに対しては、原子力安全・保安院が本件事故等に関して、また、文部科学省が放射線の健康影響等に関して、電話相談の窓口を作って対応している。さらに原子力学会などの学会関係者も一般国民への説明や情報提供を積極的に行っている。

国際社会への情報提供については、IAEA に対しては、原子力事故早期通報条約に基づき、事故直後の 3 月 11 日 16 時 45 分に発生した事象を報告したことを始めとして事故の状況を適宜、報告してきている。また、国際原子力・放射線事象評価尺度 (INES) の暫定評価についてもそれぞれの公表内容を報告してきている。

近隣国を含めた世界各国に対しては、在京外交団に対する説明会、外国メディアに対する記者会見等を実施してきている。

なお、4 月 4 日から行った福島第一原子力発電所からの低レベル汚染水の計画的な海洋放出について、その通報が近隣諸国を含めて十分でなかったことなどを反省し、通報体制の強化などの国際的な情報提供の徹底を図っている。

INES に基づく暫定評価の経緯は、次の通りである。

①第 1 報

福島第一原子力発電所の 1 号機及び 2 号機について、全交流電源喪失により電源駆動ポンプが使用不能となり、原子力安全・保安院は、3 月 11 日 16 時 36 分に非常用炉心冷却装置注水不能と判断し、レベル 3 の暫定評価を公表した。

②第 2 報

3 月 12 日、福島第一原子力発電所 1 号機において格納容器ベントや原子炉建屋での爆発があり、環境モニタリングの結果から放射性のヨウ素やセシウム等が確認され、炉心インベントリーの約 0.1%を超える放射性物質の放出をもたらす事象が発生しているものと判断して、原子力安全・保安院はレベル 4 の暫定評価を公表した。

③第 3 報

3 月 18 日、福島第一原子力発電所 2 号機及び 3 号機において、燃料の損傷に至る事象進展があり、同発電所 1 号機を含めてその時点で得られた情報を基に炉心のインベントリーの数%の放出に至っているものと判断して、原子力安全・保安院はレベル 5 の暫定評価を公表した。

④第 4 報

4 月 12 日、福島第一原子力発電所からの大気中への総放出量については、

原子力安全・保安院は原子炉の状態等の解析から推定した結果を、また、原子力安全委員会はダストモニタリングのデータを用いて推定した結果をそれぞれ公表した（「VI. 1」参照）。ヨウ素換算でみると原子力安全・保安院の推定では37万テラベクレルとなり、原子力安全委員会の推定から求めた算出値では63万テラベクレルとなった。この結果を受け、原子力安全・保安院は同日にレベル7の暫定値を公表した。なお、第3報から第4報まで1か月を経過したが、INESの暫定評価については、迅速かつ的確に対応することが必要であった。

10. 今後の事故収束への取組み

現在の福島第一原子力発電所の状況については、1号機から3号機は、いずれのプラントも給水系ラインを通じ原子炉圧力容器への淡水注水が実施されており、継続的に原子炉圧力容器内の燃料を冷却している。これにより、原子炉圧力容器まわりの温度は、原子炉圧力容器下部温度等で100℃から120℃付近で推移している。滞留水の処理を含めた循環型の注水冷却に向けて検討・準備作業が進められている。1号機の原子炉圧力容器と格納容器はある程度加圧状態ではあるが、2号機と3号機を含めて、発生した蒸気は原子炉圧力容器と格納容器それぞれからの漏えいが考えられ、原子炉建屋内も含めた各所で凝縮し滞留水となるほか、一部は大気に放出しているものと考えられる。そのため、原子炉建屋上部でのダストサンプリング等により状況を確認する作業を試みているほか、原子炉建屋を覆う設備の設置に向けて検討・準備作業が進められている。5号機と6号機は、仮設の海水ポンプで残留熱除去系による冷温停止が維持され、原子炉圧力についても0.01～0.02メガパスカル（ゲージ圧）^{注6}付近で安定的に推移している。

各号機の詳細な現状の情報は、後出の表にまとめている。

東京電力は、4月17日に「福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋」を公表した。その中で、「放射線量が着実に減少傾向となっている」ことを「ステップ1」として、「放射性物質の放出が管理され、放射線量が大幅に抑制されている」ことを「ステップ2」とする目標を立てて進めることとしている。「ステップ1」の期間として3ヶ月程度、「ステップ2」の期間としてステップ1終了後の3～6ヶ月程度を目安としている。

^{注6} メガパスカル：圧力の単位で1メガパスカル(MPa)=9.9気圧である。ゲージ圧とは当該圧力の値から大気圧を引いたもの。

その後、1号機と2号機で格納容器からの冷却水の漏洩が判明し、3号機でも同様のリスクがあることなどを受け、5月17日に道筋の見直しを公表した。新しい道筋では、基本的なスケジュールの変更はないが、原子炉の冷却に向けた取組みの見直しや改善、津波・余震対策、作業員の環境改善に関する取組みの追加などを盛り込んでいる。

特に、「原子炉」の課題の見直しにおいては、「ステップ2」での「冷温停止状態」に向けた主対策として、燃料域上部まで格納容器を水で満たす冠水作業を延期し、建屋等に滞留する汚染水（滞留水）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」の確立を優先して実施することにした。

国の原子力災害対策本部も、5月17日に、「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、事態収束に向けた取組、避難区域に係る取組などを示した。

1.1. その他の原子力発電所における対応

3月30日、原子力安全・保安院は、福島原子力発電所の事故からその時点までで判明している知見に基づき、津波による全交流電源喪失等から発生する炉心損傷等を防止し、原子力災害の発生を防止するために、各電気事業者等に対し、全ての原子力発電所についての緊急安全対策の実施を指示した。原子力安全・保安院は、5月6日、緊急安全対策の実施状況（女川原子力発電所、福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所を除く。）について立入検査等により適切に実施されていることを確認した。また、5月18日には今回の津波の被災を受け津波対策の工事が遅れていた女川原子力発電所の実施状況報告を受け取った。福島第二原子力発電所については4月21日に冷温停止となり安定した状態になったことを踏まえ、同発電所に対しても緊急安全対策の実施を指示し、5月20日にその実施状況の報告を受け取った。原子力安全・保安院は、今後、報告書の内容に係る妥当性や有効性等について審査するとともに、資機材の配備や実施手順の整備状況について、立入検査・審査等により厳格に確認を行っていく予定としている。

さらに本報告書にあるように、事故の原因推定がなされ、追加的な知見が得られたことを受け、1.2. に示す現在までに得られた事故の教訓も踏まえつつ、原子力安全・保安院を始めとする関係府省は、既に実施している緊急安全対策を充実・強化することとした。今後は、充実・強化した対策について事業者の

実施状況などを厳格に確認するとともに、中長期対策についても迅速に取り組むこととしている。

中部電力浜岡原子力発電所については、文部科学省の地震調査研究推進本部の評価によれば、30年以内にマグニチュード8程度の想定東海地震が発生する可能性が87%と極めて切迫しており、この地震による大規模な津波の襲来の可能性が高いことが懸念されることから、政府は、5月6日、国民の安全を最優先に考慮して安全側の判断にたち、想定東海地震による津波に十分耐えられる防潮堤設置等の中長期対策を終えるまでの間、全ての号機の運転を停止すべきと判断して、これを中部電力に要請した。同社はこれを受け入れ、5月14日までに全ての号機の運転を停止した。

12. 現在までに得られた事故の教訓

福島原子力発電所の事故の様相としては、自然災害を契機にしていること、核燃料、原子炉圧力容器や格納容器の損傷という過酷事故（シビアアクシデント）に至ったこと、複数の原子炉の事故が同時に引き起こされたことがあげられる。さらに事故発生から3か月近く経過し、その収束に向けた中長期的な取り組みが必要になっていること、その結果、多くの周辺住民に長期にわたり避難を求めるなど社会的に大きな負担を課し、また、関係地域内の農畜産業等の産業活動にも多大の影響を与えてきていることなどがあげられる。このように、過去のスリーマイルアイランド発電所事故やチェルノブイリ発電所事故とは様相の異なる点が多くある。

また、地震や津波により電気、通信、交通等の社会インフラが周辺の広域にわたって壊滅した状況の下で、原子力発電所内での緊急対応作業や発電所周辺での原子力防災活動を行わざるを得なかったこと、余震の発生が各種の事故対応活動をしばしば制限したことなども特徴的なことである。

今回の事故はシビアアクシデントに至り、原子力安全に対する国民の信頼を揺るがし、原子力に携わる者の原子力安全に対する過信を戒めるものとなった。このため、今回の事故から徹底的に教訓を汲み取ることが重要である。原子力安全確保の最も重要な基本原則は深層防護であることを念頭に、現時点で、次の5つのグループに分けた教訓を示す。

これらの教訓を踏まえ我が国における原子力安全対策は、今後、根本的な見直しが不可避であると認識している。これらの教訓の中には、我が国固有の事

情によるものも含まれているが、教訓の全体像の提示という観点から、それらも含めて示すことにする。

教訓第 1 のグループは、今回の事故がシビアアクシデントであることを踏まえて、シビアアクシデントの防止策が十分であったかをみて、そこから得られる教訓群である。

教訓第 2 のグループは、今回のシビアアクシデントの事故への対応が適切であったかをみて、そこから得られる教訓群である。

教訓第 3 のグループは、今回の事故における原子力災害への対応が適切であったかをみて、そこから得られる教訓群である。

教訓第 4 のグループは、原子力発電所の安全確保の基盤が堅固に構築されていたかをみて、そこから得られる教訓群である。

教訓第 5 のグループは、全ての教訓を総括して安全文化の徹底がなされてきたかをみて、そこから得られる教訓である。

(第 1 の教訓のグループ) シビアアクシデント防止策の強化

(1)地震・津波への対策の強化

今回の地震は複数震源の連動による極めて大規模なものであった。その結果、福島第一原子力発電所においては、原子炉建屋基礎盤上で観測された地震動の加速度応答スペクトルが、設計の基準地震動の加速度応答スペクトルに対して、一部の周期帯で超えた。地震によって外部電源に対して被害がもたらされた。原子炉施設の安全上重要な設備や機器については、現在までのところ地震による大きな損壊は確認されていないが、詳細な状況についてはまだ不明であり更なる調査が必要である。

福島原子力発電所を襲った津波については、設置許可上の設計及びその後の評価による想定高さを大幅に超える 14~15m の規模であった。この津波によって海水ポンプ等の大きな損傷がもたらされ、非常用ディーゼル電源の確保や原子炉冷却機能の確保ができなくなる要因となった。手順書においては、津波の侵入は想定されておらず、引き波に対する措置だけが定められていた。このように津波の発生頻度や高さの想定が不十分であり、大規模な津波の襲来に対する対応が十分なされていなかった。

設計の考え方の観点からみると、原子力発電所における耐震設計においては、考慮すべき活断層の活動時期の範囲を 12～13 万年以内（旧指針では 5 万年以内）とし、大きな地震の再来周期を適切に考慮するようにしており、さらにその上に、残余のリスクも考慮することを求めている。これに対して、津波に対する設計は、過去の津波の伝承や確かな痕跡に基づいて行っており、達成すべき安全目標との関係で、適切な再来周期を考慮するような取組みとはなっていないかった。

このため、地震の想定については、複数震源の連動の取扱いを考慮するとともに、外部電源の耐震性を強化する。津波については、シビアアクシデントを防止する観点から、安全目標を達成するための十分な再来周期を考慮した津波の適切な発生頻度と十分な高さを想定する。その上で、この十分な高さを想定した津波による敷地への浸水影響を防止する構築物等の安全設計を、津波のもつ破壊力を考慮に入れて行う。さらに深層防護の観点から、策定された設計用津波を上回る津波が施設に及ぶことによるリスクの存在を十分認識して、敷地の冠水や遡上波の破壊力の大きさを考慮しても重要な安全機能を維持できる対策を講じる。

(2)電源の確保

今回の事故の大きな要因は必要な電源が確保されなかったことである。その原因は、外部事象による共通原因故障に係る脆弱性を克服する観点から電源の多様性が図られていなかったこと、配電盤等の設備が冠水等の厳しい環境に耐えられるものになっていなかったことなどがあげられる。さらに電池の寿命が交流電源の復帰に要する時間に比べて短かったこと、外部電源の回復に要する時間の目標が明確でなかったことなどもあげられる。

このため、空冷式ディーゼル発電機、ガスタービン発電機など多様な非常用電源の整備、電源車の配備等によって電源の多様化を図ること、環境耐性の高い配電盤等や電池の充電用発電機を整備することなどにより、緊急時の厳しい状況においても、目標として定めた長時間にわたって現場で電源を確保できるようにする。

(3)原子炉及び格納容器の確実な冷却機能の確保

今回の事故において、海水ポンプの機能喪失によって、最終の熱の逃し場（最終ヒートシンク）を失うことになった。注水による原子炉冷却機能が作動したが、注水用水源の枯渇や電源喪失により炉心損傷を防止できず、また格納容器冷却機能も十分に働かなかった。その後も原子炉の減圧に手間取り、さらに減圧後の注水においても、消防車等の重機による原子炉への注水がア

クシデントマネジメント対策として整備されていなかったこともあって困難が伴った。このように原子炉及び格納容器の冷却機能が失われたことが事故の重大化につながった。

このため、代替注水機能の多様化、注水用水源の多様化や容量の増大、空気冷却方式の導入など、長期にわたる代替の最終ヒートシンクの確保により、原子炉及び格納容器の確実な代替冷却機能を確保する。

(4)使用済燃料プールの確実な冷却機能の確保

今回は電源の喪失により使用済燃料プールの冷却ができなくなったため、原子炉の事故対応と並行して、使用済燃料プールの冷却機能喪失による過酷事故を防止する対応も必要となった。これまで使用済燃料プールの大きな事故のリスクは、炉心事故のリスクに比べて小さいとして、代替注水等の措置は考慮されてこなかった。

このため、電源喪失時においても、使用済燃料プールの冷却を維持できるよう、自然循環冷却方式又は空気冷却方式の代替冷却機能や、代替注水機能を導入することにより、確実な冷却を確保する。

(5)アクシデントマネジメント（AM）対策の徹底

今回の事故はシビアアクシデントに至ったものである。シビアアクシデントに至る可能性をできるだけ小さくし、又はシビアアクシデントに至った場合でもその影響を緩和するための措置として、アクシデントマネジメント対策は福島原子力発電所においても導入されていた。今回の事故の状況をみると、消火水系からの原子炉への代替注水など一部は機能したが、電源や原子炉冷却機能の確保などの様々な対応においてその役割を果たすことができず、アクシデントマネジメント対策は不十分であった。また、アクシデントマネジメント対策は基本的に事業者の自主的取組みとされ、法規制上の要求とはされておらず、整備の内容に厳格性を欠いた。さらに、アクシデントマネジメントに係る指針については1992年に策定されて以来、見直しがなされることなく、充実強化が図られてこなかった。

このため、アクシデントマネジメント対策については、事業者による自主保安という取組みを改め、これを法規制上の要求にするとともに、確率論的評価手法も活用しつつ、設計要求事項の見直しも含めて、シビアアクシデントを効果的に防止できるアクシデントマネジメント対策を整備する。

(6)複数炉立地における課題への対応

今回の事故では、複数炉に同時に事故が発生し、事故対応に必要な資源が

分散した。また、二つの原子炉で設備を共用していたことやそれらの間の物理的間隔が小さかったことなどのため、一つの原子炉の事故の進展が隣接する原子炉の緊急時対応に影響を及ぼした。

このため、一つの発電所に複数の原子炉がある場合は、事故が起きている原子炉の事故時操作が、他の原子炉の操作と独立して行えるようにするとともに、それぞれの原子炉の工学的な独立性を確実にし、ある原子炉の事故の影響が隣接炉に及ばないようにする。併せて、号機毎に原子力安全確保の責任者を選任し、独立した事故対応が行える体制の整備などを進める。

(7)原子力発電施設の配置等の基本設計上の考慮

今回は、使用済燃料プールが原子炉建屋の高い位置にあったことから事故対応に困難が生じた。また、原子炉建屋の汚染水がタービン建屋に及び、建屋間の汚染水の拡大を防ぐことができなかった。

このため、今後は原子力発電施設の配置等の基本設計において、重大な事故の発生を考慮しても冷却等を確実に実施でき、かつ事故の影響の拡大を防止できる施設や建屋の適切な配置を進めることとする。その際、既存の施設については、同等の機能を有するための追加的な対策を講じる。

(8)重要機器施設の水密性の確保

今回の事故の原因の一つは、補機冷却用海水ポンプ施設、非常用ディーゼル発電機、配電盤等の多くの重要機器施設が津波で冠水し、このために電源の供給や冷却系の確保に支障をきたしたことである。

このため、目標とする安全水準を達成する観点から、設計上の想定を超える津波や、河川に隣接立地して設計上の想定を超える洪水に襲われたような場合でも重要な安全機能を確保できるようにする。具体的には、津波や洪水の破壊力を踏まえた水密扉の設置、配管等浸水経路の遮断、排水ポンプの設置などにより、重要機器施設の水密性を確保できるようにする。

(第2の教訓のグループ) シビアアクシデントへの対応策の強化

(9)水素爆発防止対策の強化

今回の事故では、1号機の原子炉建屋で3月12日15時36分に、3号機の原子炉建屋で3月14日11時01分に、それぞれ水素による爆発が起こったとみられる。さらに4号機でも3月15日06時頃に原子炉建屋で水素が原因とみられる爆発が起こった。すなわち、1号機における最初の爆発から有効な手だてをとることができないまま、連続した爆発が発生する事態となり、こ

れが今回の事故をより重大なものにした。沸騰水型軽水炉では、設計基準事故に対して格納容器の健全性を維持するため、格納容器内を不活性化し、可燃性ガス濃度制御系を設置している。しかしながら、原子炉建屋に水素が漏えいして爆発するような事態を想定しておらず、原子炉建屋における水素対策はとられていなかった。

このため、発生した水素を的確に逃すか減じるため、格納容器における水素対策に加えて、シビアアクシデント時に機能する原子炉建屋での可燃性ガス濃度制御系の設置、水素を外に逃すための設備の整備等の水素爆発防止対策を強化する。

(10)格納容器ベントシステムの強化

今回の事故では、シビアアクシデント発生時の格納容器ベントシステムの操作性に問題があった。また、格納容器ベントシステムの放射性物質除去機能が十分でなかったため、アクシデントマネジメント対策として効果的に活用できなかった。さらに、ベントラインの独立性が十分でないため、接続する配管等を通じて他の部分に悪影響をもたらした可能性もある。

このため、今後は、格納容器ベントシステムの操作性の向上や独立性の確保、放射性物質除去機能の強化などにより、格納容器ベントシステムを強化する。

(11)事故対応環境の強化

今回の事故時に、中央制御室は放射線量が高くなり一時は運転員が立ち入れなくなるとともに、現在も長時間の作業が困難であるなど、中央制御室の居住性が低下した。また、緊急時対策実施の中心になる原子力発電所緊急時対策所においても、放射線量の上昇、通信環境や照明の悪化など、様々な面で事故対応活動に支障をきたした。

このため、中央制御室や緊急時対策所の放射線遮への強化、現場での専用換気空調系の強化、交流電源によらない通信、照明等の関係設備の強化など、シビアアクシデントが発生した場合にあっても事故対応活動を継続的に実施できる事故対応環境を強化する。

(12)事故時の放射線被ばくの管理体制の強化

今回の事故では、津波により多くの個人線量計や線量読み取り装置が海水に浸かって使用できず、適切な放射線管理が困難になる中で、放射線業務従事者が現場作業に携わらざるを得ない状況となった。また、空気中の放射性物質の濃度測定も遅れ、内部被ばくのリスクを増大させることになった。

このため、事故時用に個人線量計や被ばく防護用資材を十分に備えておくこと、事故時に放射線管理の要員を拡充できる体制とすること、放射線業務従事者の被ばく測定を迅速に行うことのできる体制や設備を整備することなどにより、事故時の放射線被ばくの管理体制を強化する。

(13)シビアアクシデント対応の訓練の強化

シビアアクシデントが発生した場合に、原子力発電所における事故収束の対応や関係機関の的確な連携を実現するための実効的な訓練がこれまで十分には行われてこなかった。例えば、今回の事故において、発電所内の緊急時対策所と原子力災害対策本部・原子力災害現地対策本部との連携や、事故対応において重要な役割を担う自衛隊、警察、消防等との連携体制の確立に時間を要したが、こうした点も的確な訓練の実施によって未然に防止できた可能性がある。

このため、シビアアクシデント発生時に、事故収束のための対応、発電所の内外における状況把握、住民の安全確保に必要な人材の緊急参集などを円滑に行い、関係機関が連携して機能するため、シビアアクシデント対応の訓練を強化する。

(14)原子炉及び格納容器などの計装系の強化

原子炉と格納容器の計装系がシビアアクシデントの下で十分に働かず、原子炉の水位や圧力、放射性物質の放出源や放出量などの重要な情報を迅速かつ的確に確保することが困難であった。

このため、シビアアクシデント発生時に十分機能する原子炉と格納容器などの計装系を強化する。

(15)緊急対应用資機材の集中管理とレスキュー部隊の整備

今回の事故では、Jヴィレッジを中心として、事故や被災対応の関係者、資機材を結集し懸命な後方支援を行っているが、事故当初は、周辺においても地震・津波の被害が発生していたため、緊急対应用資機材や事故管理活動を支援するレスキュー部隊の動員を迅速かつ十分に行うことができず、現場での事故対応が十分に機能しなかった。

このため、過酷な環境下でも緊急時対応の支援が円滑に行えるよう、緊急対应用資機材の集中管理やこれを運用するレスキュー部隊の整備を進める。

(第3の教訓のグループ) 原子力災害への対応の強化

(16)大規模な自然災害と原子力事故との複合事態への対応

今回は、大規模な自然災害とともに原子力事故が発生したため、連絡・通信、人の参集、物資の調達等の面で極めて困難が生じた。また、原子力事故の長期化に伴って、本来は短期的措置として想定していた住民の避難等の措置も長期化せざるを得なくなっている。

このため、大規模な自然災害と原子力事故が同時に発生したような場合の対応として、適切な通信連絡手段や円滑な物資調達方法を確保できる体制・環境を整備する。また、原子力事故が長期化する事態を想定して、事故や被災対応に関する各種分野の人員の実効的な動員計画の策定などの対応を強化する。

(17)環境モニタリングの強化

現在は、緊急時の環境モニタリングは地方自治体の役割としているが、地方自治体の環境モニタリング機器・設備等が地震・津波によって損害を受けたこと、緊急事態応急対策拠点施設から避難せざるを得なかったことなどから、事故当初、適切な環境モニタリングができない状況となった。これを補うため、文部科学省等が関係機関の協力を得てモニタリング活動を実施してきた。

このため、緊急時においては、国が責任をもって環境モニタリングを確実かつ計画的に実施する体制を構築する。

(18)中央と現地の関係機関等の役割の明確化等

事故当初、情報通信手段の確保が困難であったことなどから、中央と現地を始め、関係機関等との連絡・連携が十分でなく、また、それぞれの役割分担や責任関係が必ずしも明確ではなかった。具体的には、原子力災害対策本部と原子力災害現地対策本部との関係、政府と東京電力との関係、東京電力本店と現場の原子力発電所との関係、政府内部の役割分担などにおいて、責任と権限の体制が不明確な面があった。特に、事故当初においては、政府と東京電力との間の意志疎通が十分ではなかった。

このため、原子力災害対策本部を始めとする関係機関等の責任関係や役割分担の見直しと明確化、情報連絡に関する責任と役割、手段等の明確化と体制整備などを進める。

(19)事故に関するコミュニケーションの強化

周辺住民等への情報提供については、事故発生の当初、大規模震災による通信手段の被害等により困難が伴った。その後の情報連絡についても、周辺住民等や自治体に対して適切なタイミングで実施できないことがあった。さらに、周辺住民等にとって重要な放射線、放射性物質の健康への影響や、国際放射線防護委員会（ICRP）の放射線防護の考え方の分かりやすい説明も十分でなかった。また、国民への情報公表という点については、現在までは、正確な事実を中心に公表しており、リスクの見通しまでは十分には示してこなかったため、かえって今後の見通しに不安をもたれる面もあった。

このため、周辺住民等に対して、事故の状況や対応等に関する的確な情報提供、放射線影響等についての適切な説明などの取組みを強化する。また、事故が進行している中での情報公表について、今後のリスクも含めて示すことを情報公表の留意点として取り入れる。

(20)各国からの支援等への対応や国際社会への情報提供の強化

今回の事故の発生後、海外各国からの資機材等の支援の申出に対しては、支援を国内のニーズに結びつけていく政府部内の体制が整っておらず十分な対応ができなかった。また、低レベル汚染水の海水への放出について近隣国・地域への事前の連絡がなされなかったことなど、国際社会への情報提供が十分でなかった。

このため、事故時の国際的な対応に関して、事故対応に効果的な資機材の在庫リストを国際協力により作成しておくこと、事故時の各国のコンタクトポイントを予め明確にしておくこと、国際的な通報制度の改善を通じて情報共有の体制を強化すること、科学的根拠に基づく対応を可能にする一層迅速で正確な情報提供を行うことなど、国際的に効果的な対応の仕組みを国際協力を通じて構築すべく貢献する。

(21)放射性物質放出の影響の的確な把握・予測

緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム（SPEEDI）は、事故時の放出源情報が得られなかったため、本来の活用方法である放出源情報に基づく放射能影響予測を行うことができなかった。こうした制約下でも、一定の仮定を設けて、SPEEDIにより放射性物質の拡散傾向等を推測し、避難行動の参考等として本来活用すべきであった。また、SPEEDIの計算結果については、現在は公開されているものの、当初段階から公開すべきであった。

このため、事故時の放出源情報が確実に得られる計測設備等を強化する。また、様々な事態に対応してSPEEDIなどを効果的に活用する計画を立てる

とともに、こうした SPEEDI などの活用結果は当初から公開する。

(22)原子力災害時の広域避難や放射線防護基準の明確化

今回の事故において、事故発生当初、避難区域と屋内退避区域を設定し、周辺住民をはじめ、地方自治体、警察等の関係者の連携した協力により、避難や屋内退避は迅速に行われた。他方、事故の長期化に伴い、避難や屋内退避の期間が長期に及ぶこととなった。その後、計画的避難区域や緊急時避難準備区域を設定するに当たっては、ICRP や IAEA の指針を急ぎよ活用することとした。なお、今回の事故で設定したこれらの防護区域の範囲は、防護対策を重点的に充実すべき地域の範囲とされていた 8~10km を大きく上回るようになった。

このため、今回の事故の経験も踏まえ、原子力災害時の広域避難の範囲や放射線防護基準の指針を明確化する取組みを強化する。

(第 4 の教訓のグループ) 安全確保の基盤の強化

(23)安全規制行政体制の強化

経済産業省原子力安全・保安院による一次規制機関としての安全規制、内閣府原子力安全委員会による一次行政機関の規制の監視、緊急時における関係の自治体や各省による環境モニタリングの実施など、原子力安全確保に関係する行政組織が分かれていることにより、国民に対して災害防止上十分な安全確保活動が行われることに第一義的責任を有する者の所在が不明確であった。また、現行の体制は、今回のような大規模な原子力事故に際して、力を結集して俊敏に対応する上では問題があったとせざるを得ない。

このため、原子力安全・保安院を経済産業省から独立させ、原子力安全委員会や各省も含めて原子力安全規制行政や環境モニタリングの実施体制の見直しの検討に着手する。

(24)法体系や基準・指針類の整備・強化

今回の事故を踏まえて、原子力安全や原子力防災の法体系やそれらに関する基準・指針類の整備について様々な課題が出てきている。また、今回の事故の経験を踏まえ、IAEA の基準・指針に反映すべきことも多く出てくると見込まれる。

このため、原子力安全や原子力防災に係る法体系と関係する基準・指針類の見直し・整備を進める。その際、構造信頼性の観点のみならず、システム概念の進歩を含む新しい知見に対応する観点から、既存施設の高経年化対策

のあり方について再評価する。さらに、既に許認可済みの施設に対する新法令や新知見に基づく技術的な要求、すなわち、バックフィットの法規制上の位置づけを明確にする。併せて、関係するデータを提供することなどにより、IAEAの基準・指針の強化のため最大限貢献をする。

(25)原子力安全や原子力防災に係る人材の確保

今回のような事故においては、シビアアクシデントへの対応を始め、原子力安全、原子力防災や危機管理、放射線医療などの専門家が結集し、最新、最善の知見を活かして取り組むことが必要である。また、今回の事故の収束に留まらず、中長期的な原子力安全の取組みを確実に進めるため、原子力安全や原子力防災に係る人材の育成が極めて重要である。

このため、教育機関における原子力安全、原子力防災・危機管理、放射線医療などの分野の人材育成の強化に加えて、原子力事業者や規制機関などにおける人材育成活動を強化する。

(26)安全系の独立性と多様性の確保

安全系の信頼性の確保については、これまで多重性は追求されてきたが、共通原因故障を避けることへの対応が不足しており、独立性や多様性の確保が十分でなかった。

このため、共通原因故障への的確な対応と安全機能の一層の信頼性向上のため、安全系の独立性や多様性の確保を強化する。

(27)リスク管理における確率論的安全評価手法（PSA）の効果的利用

原子力発電施設のリスク低減の取組みを体系的に検討する上で、これまでPSAが必ずしも効果的に活用されてこなかった。また、PSAにおいても大規模な津波のような稀有な事象のリスクを定量的に評価するのは困難であり、より不確実性を伴うが、そのようなリスクの不確かさを明示することで信頼性を高める努力を十分に行ってこなかった。

このため、今後は、不確かさに関する知見を踏まえつつ、PSAをさらに積極的かつ迅速に活用し、それに基づく効果的なアクシデントマネジメント対策を含む安全向上策を構築する。

(第5の教訓のグループ) 安全文化の徹底

(28)安全文化の徹底

原子力に携わる全ての者は安全文化を備えていなければならない。「原子力安全文化」とは、「原子力の安全問題に、その重要性にふさわしい注意が必ず最優先で払われるようにするために、組織と個人が備えるべき統合された認識や気質であり、態度である。」(IAEA)とされている。これをしっかりと我が身のものにすることは、原子力に携わる者の出発点であり、義務であり、責任である。安全文化がないところに原子力安全の不断の向上はない。

しかし、今回の事故に照らし、我が国の原子力事業者は、組織も個人もともにその安全確保に対して第一義的な責任を負う者として、あらゆる新知見に対して目を凝らし、それが自らのプラントの脆弱性を意味するか否かを確認し、プラントの公衆安全に係るリスクが十分低く維持されているとの確信に影響があると認めるときには、安全性向上のための適切な措置を講じることに真摯に取り組んできたかを省みなければならない。

また同様に我が国の原子力規制に携わる者は、組織も個人もともに国民のために原子力安全の確保に責任を有する者として、安全確保の上でわずかな疑念もないがしろにせず、新しい知見に対して敏感にかつ俊敏に対応することに真摯に取り組んできたかを省みなければならない。

このため、今後は、原子力安全の確保には深層防護の追求が不可欠であるとの原点に常に立ち戻り、原子力安全に携わる者が絶えず安全に係る専門的知識の学習を怠らず、原子力安全確保上の弱点はないか、安全性向上の余地はないかの吟味を重ねる姿勢をもつことにより、安全文化の徹底に取り組む。

13. むすび

本年3月11日に発生した福島原子力発電所の事故は、極めて大規模な地震と津波によって引き起こされ、かつ、同時に複数の原子炉にまたがる未曾有の大事故となった。我が国はこの困難な事故を克服するために全力で立ち向かっている。

特に事故の現場では、作業に従事する人が厳しい環境の中で事故の収束に向けて懸命に取り組んでおり、この貢献なくしては事態の解決はあり得ない。政府は、作業に従事する人に対する支援に全力で取り組んでいくこととしている。

今回の事故は地震・津波の襲来という自然災害を契機にして引き起こされた

ものであるが、外部電源の喪失や冷却機能の喪失などによってシビアアクシデントに至ったこと、シビアアクシデントへの不断の備えが十分でなかったことを重く受けとめている。今回の事故から得られる教訓を踏まえ、今後、我が国は、原子力安全対策の根本的な見直しが不可避であると認識している。

このため、我が国は、事故の収束の状況をみつつ、「原子力安全基盤の研究強化計画」を推進していくこととしている。この計画では、シビアアクシデント対策強化のための研究などを国際協力によって推進し、その成果が世界の原子力安全の向上につながるように取り組むものである。

これと同時に、我が国は、原子力発電の安全確保を含めた現実のコストを明らかにする中で、原子力発電のあり方についても国民的な議論を行っていく必要がある。

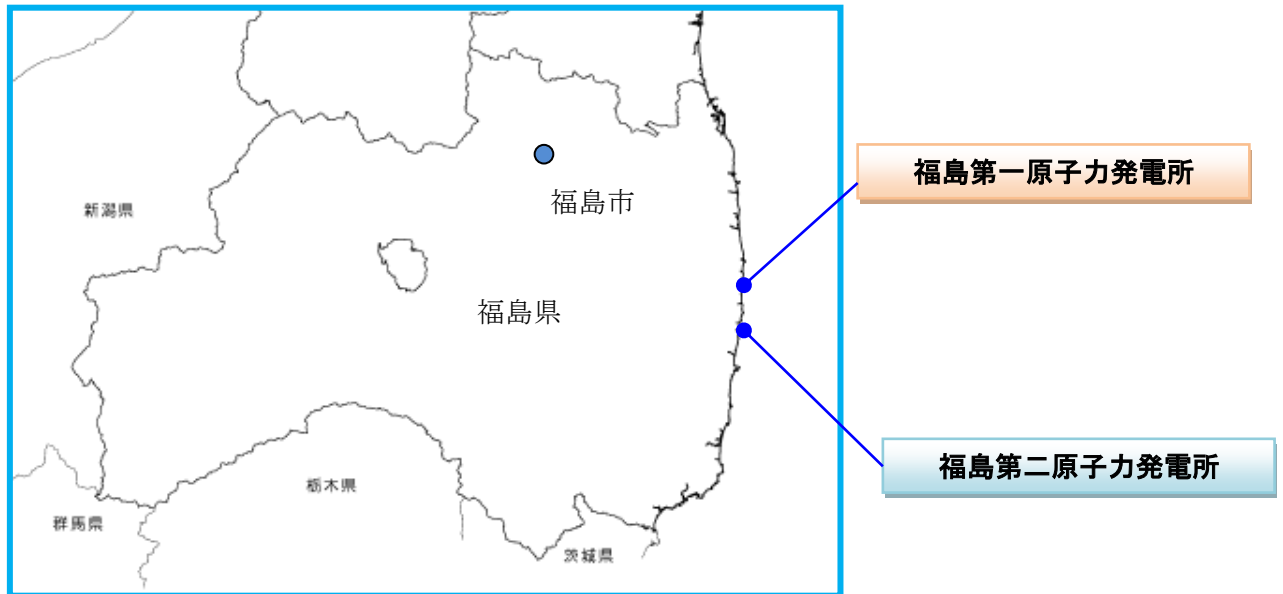
我が国は、この事故に関する情報と得られる教訓については、今後の事故の収束とさらなる調査解明によって更新していくし、それらを引き続き国際原子力機関と世界各国に提供し続ける考えである。

また、今回の事故の収束に向けて、様々な面で世界各国の支援を受けていることを心強く受けとめており、厚く感謝するとともに、引き続き IAEA や世界各国からのご支援をお願いしたい。

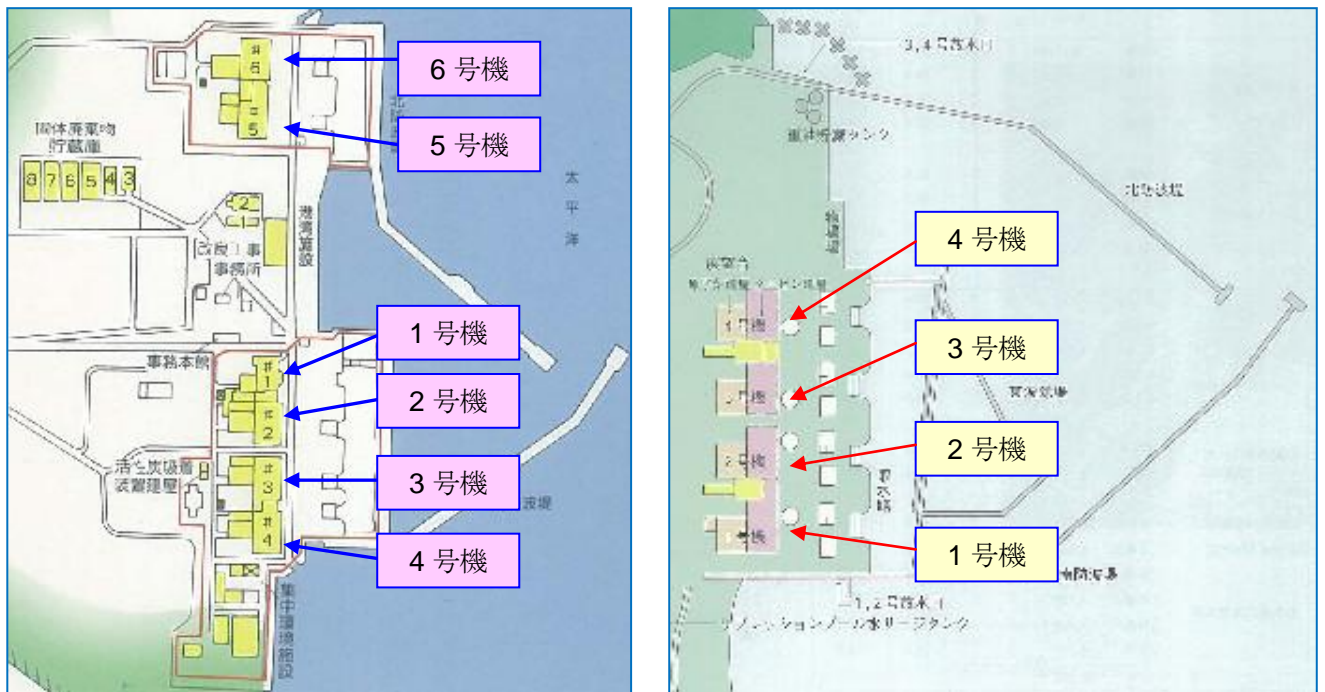
我々は、事故の収束に向けて多大な困難を伴うことを覚悟しているが、我が国のみならず、世界の英知と努力を結集して、必ずこの事故を乗り越えることができるかと確信している。



東北地方太平洋沖地震の影響を受けた原子力発電所の立地地図



福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所の位置



福島第一原子力発電所 と福島第二原子力発電所の配置図

福島第一原子力発電所の発電設備

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
電気出力（万 kW）	46.0	78.4	78.4	78.4	78.4	110.0
営業運転開始	1971/3	1974/7	1976/3	1978/10	1978/4	1979/10
原子炉形式	BWR3	BWR4		BWR5		
格納容器形式	マーク I					マーク II
炉心燃料集合体数（本）	400	548	548	548	548	764

福島第二原子力発電所の発電設備

	1号機	2号機	3号機	4号機
電気出力（万 kW）	110.0	110.0	110.0	110.0
営業運転開始	1982/4	1984/2	1985/6	1987/8
原子炉形式	BWR5			
格納容器形式	マーク II	マーク II 改良		
炉心燃料集合体数（体）	764	764	764	764

福島第一原子力発電所の各号機の現況(5月31日現在)

号機	1号機	2号機	3号機	5号機	6号機
原子炉注水状況	給水系ラインを用いた淡水注入中。 流量 6.0m ³ /h	消火系及び給水系ラインを用いた淡水注入中。 流量 消火系：7.0m ³ /h 給水系：5.0m ³ /h	給水系ラインを用いた淡水注入中。 流量 13.5m ³ /h	原子炉除熱機能が維持されており注水不要。除熱機能の信頼性を確保するため、予備の海水ポンプを用意している。	
原子炉水位	燃料域 A: ガウスケル 燃料域 B: 1600 mm	燃料域 A: 1500 mm 燃料域 B: 2150 mm	燃料域 A: 1850 mm 燃料域 B: 1950 mm	停止域 2164mm	停止域 1904mm
原子炉圧力	A系: 0.555 MPa g B系: 1.508 MPa g	A系: -0.011 MPa g B系: -0.016 MPa g	A系: -0.132 MPa g B系: -0.108 MPa g	0.023 MPa g	0.010 MPa g
原子炉水温度	(系統流量がないため採取不可)			83.0 °C	24.6 °C
原子炉压力容器まわりの温度	給水ノズル温度: 114.1 °C 压力容器下部温度: 96.8 °C	給水ノズル温度: 111.5 °C 压力容器下部温度: 110.6 °C	給水ノズル温度: 120.9 °C 压力容器下部温度: 123.2 °C	(原子炉水温度にて監視中)	
D/W・S/C圧力	D/W: 0.1317 MPa abs S/C: 0.100 MPa abs	D/W: 0.030 MPa abs S/C: ガウスケル	"D/W: 0.0999 MPa abs S/C: 0.1855 MPa abs	-	
状態	各プラントにおいて外部電源から受電しているとともに、仮設の非常用ディーゼル発電機及び海水ポンプを設置するなど、冷却機能の信頼性を確保しつつ作業を進めている。				

I. はじめに

2011年3月11日14時46分（日本時間、以下同じ）に発生した東北地方太平洋沖地震とそれが引き起こした津波が東京電力の福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所（以下、「福島原子力発電所」という。）を襲い、未曾有の大規模かつ長期にわたる原子力事故が発生した。

我が国にとっては、この地震と津波による大規模な災害への対応とともに、その地震と津波により引き起こされた原子力事故への対応も同時に行わなければならないという極めて厳しい事態となった。

この原子力事故は、我が国にとって大きな試練となり、世界各国の支援を受けつつ、国内の数多くの関係機関が一体となって対応に取り組んでいるところである。また、我が国は、この事故が世界の原子力発電の安全性に懸念をもたらす結果となったことを重く受け止め反省している。そして、何よりも事故の発生によって、世界の人々に放射性物質の放出について不安を与える結果になったことを心からお詫びする。

現在、我が国は事故の収束に向けて英知を結集して取り組んでいるところであるが、福島原子力発電所で何が起り、それがどのように進展し、そして我が国が事故をどのように収束させようとしているかについて、正確な情報を絶えず世界に伝えることは我が国の責任である。また、我が国がこの事故から何を教訓として汲み取っているかを世界に伝えることも我が国の責任であると認識している。

本報告書は、このような認識にたつて、本年6月に開催される国際原子力機関（IAEA）の「原子力安全のための閣僚会議」における我が国からの報告としてとりまとめたものである。事故の収束は、原子力災害対策本部の下に置かれた政府・東京電力統合対策室が、海江田万里経済産業大臣の指揮の下に原子力安全・保安院、東京電力等が力を結集する形で取り組んでいる。本報告書の作成は、原子力災害対策本部の中で、政府・東京電力統合対策室による事故収束に向けての取組み等を踏まえて作業を進め、外部有識者の意見も聴取しながら行った。作成作業の全体は、原子力災害対策本部長である内閣総理大臣の命を受けた細野豪志内閣総理大臣補佐官が統括した。

本報告書は、事故報告書としては暫定的なもので、現在まで得られた事実関係を基に事故の評価や得られた教訓をとりまとめたものである。範囲としては、現時点までの原子力安全と原子力防災に関する技術的な事柄を中心としており、原子力損害賠償、社会生活への影響等についてはまではとりあげていない。

政府としては、この報告書のとりまとめとは別に、福島原子力発電所の事故への対応の全体について検証するため、「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」（以下、「検証委員会」という。）を設置した。この検証委員会においては、従来の原子力行政からの「独立性」、国民や国際社会に対する「公開性」、技術的な問題のみならず制度的な問題まで含めた検討を行う「包括性」を基本として、事故の対応に関して政府を含めたあらゆる活動を厳格に検証することにしており、本報告書の内容についてもその検証委員会での検証の対象になるものである。この検証の活動の状況についても世界に公表することになる。

我が国は、この事故について、高い透明性をもって情報を公開することを基本としている。この方針の下、本報告書を作成するに当たっては、事実関係を正確に記載すること、事故への対応をできるだけ厳しく客観的に評価すること、判明していることとまだ判明していないことの区別を明確にしておくなどに留意した。事実関係の記載については、本年5月31日までに判明したことに基づいている。

我が国は、今後も全力でこの事故の調査分析に取り組むこととしており、その結果については、引き続き IAEA と世界各国に提供する方針である。

Ⅱ. 事故前の我が国の原子力安全規制等の状況

本章では、原子力安全の法規制の仕組み、原子力災害対応の法規制の仕組みを概観する。

1. 原子力安全の法規制の仕組み

(1) 主な法令

日本の原子力安全に関する法律体系は、IAEA の基準を尊重しながら、最も上位にあって我が国の原子力利用に関する基本的理念を定義する原子力基本法（昭和 30 年法律第 186 号）の下、政府が行う安全規制や事業者の義務等を規定した核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和 32 年法律第 166 号。以下、「原子炉等規制法」という。）、放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（昭和 32 年法律第 167 号）、電気事業法（昭和 39 年法律 170 号。）、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。）など、原子力安全を確保するために必要な法律が整備されている（図Ⅱ-1-1）。これら以外にも、原子力安全委員会は、規制当局が実施した安全審査のレビューを行う際に用いる指針類を策定しており、国の安全審査の効率化と円滑化の観点から、この指針類は規制当局が安全審査を行う際にも採用されている（表Ⅱ-1-1）。

職業被ばく等に対する線量限度等については、放射線障害防止の技術的基準に関する法律（昭和 33 年法律第 162 号）に基づき、文部科学省に設置されている放射線審議会が、国際放射線防護委員会（ICRP）の勧告の我が国への取り入れを審議し、関係省庁に取り入れ方針について意見を述べることになっている。また、緊急時における放射線業務従事者の線量限度等、法令に定める放射線障害の防止に関する技術的基準を定めようとする場合には、法令を所管する行政庁は、文部科学省に置かれている放射線審議会に諮問しなければならない。

① 原子力基本法

原子力基本法は、日本の原子力利用の基本方針について、原子力の研究、開発及び利用は、平和の目的に限り、安全の確保を旨として、民主的な運営の下に、自主的にこれを行うものとし、その成果を公開し、進んで国際協力に資することを規定している。

② 原子炉等規制法

原子炉等規制法は、原子炉の設置及び運転に関する必要な規制として、

実用発電用原子炉では、設置の許可、保安規定の認可、保安検査、原子炉の廃止などの安全規制の手続きや許認可の基準などが定められている。また、この法律の定めに従わなかった場合に課することができる運転停止や許認可の取り消しなどの行政処分や懲役、罰金などの刑事処分についても規定されている。

原子炉等規制法を受けた省令等は、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」(参考 2-1-2)、「線量限度を定める告示」(参考 2-1-2)がある。

③ 電気事業法

電気事業法において、原子力発電のほか、火力発電、水力発電などにも適用される、日本の電気事業を包括的に規制する法律であり、実用発電用原子炉では、設計及び工事の方法の認可、使用前検査、施設定期検査などの安全規制の手続きなどが定められている。

電気事業法を受けた省令等で、原子炉施設の安全規制に係るものは、「電気事業法施行規則」(参考 2-1-3)、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」(参考 2-1-4)、「発電用核燃料物質に関する技術基準を定める省令」(参考 2-1-5)、「発電用原子力設備に関する放射線による線量等の技術基準」(参考 2-1-6)である。

(2) 許認可制度

① 許認可制度

- a 実用発電用原子炉を設置する場合には、原子炉等規制法の規定に基づき、経済産業大臣の許可を受けなければならない。経済産業大臣が許可を出す際には、原子炉を設置し、運転を的確に遂行するための技術的能力、原子炉による災害防止上支障がないという観点について、原子力安全委員会の意見を聞く必要がある。
- b 原子炉設置許可を受けた者（以下、「原子炉設置者」という。）は、電気事業法に基づき、工事の前に経済産業大臣から工事計画の認可を受けなければならない。
- c 原子炉に装荷される燃料体については、電気事業法の規定に基づき、その設計について経済産業大臣の認可を受けなければならない。

② 検査制度

- a 原子炉設置者は、原子炉施設の工事において、電気事業法の規定に基づ

き経済産業大臣が工事の工程毎に行う使用前検査を受け、合格しなければならない。

- b 原子炉に装荷される燃料体は、電気事業法の規定に基づき経済産業大臣が行う燃料体検査を受け、合格しなければならない。
- c 運転開始後、原子炉設置者は、所定の安全上重要な構成部分について、経済産業大臣が行う定期検査を受けなければならない。
- d 運転中の施設の保安に関し、原子炉設置者は、経済産業大臣の付託を受けて、原子力安全・保安院（以下、「保安院」という。）の原子力保安検査官が行う保安検査を受けなければならない。
- e 核物質防護に関する検査として、原子炉等規制法の規定に基づき、核物質防護規定の遵守状況の検査が行われる。

（３）体制

我が国の発電用原子炉施設は経済産業大臣が所管し、保安院は、経済産業省設置法において明確に、「原子力エネルギーに係る安全の確保を図る機関」と規定されており、その組織的な位置づけは、経済産業省資源エネルギー庁の特別の機関である保安院とされている。保安院は、原子炉等規制法及び電気事業法の規定に基づく安全規制についての明確な権限と機能を有している。具体的には、原子炉等規制法に基づく設置許可や電気事業法に基づく工事計画の認可や使用前検査など、原子炉施設に対する規制活動は経済産業大臣が行うが、経済産業大臣の付託を受けてこれらの規制事務を実施する保安院は、資源エネルギー庁からの関与を受けることなく、独立して意志決定をし、又は経済産業大臣に対してその意志決定の案を諮ることができることになっている。また、原子力安全委員会は、原子力の利用に関わる省庁とは独立して、内閣府に設置された機関であり、規制当局が実施する安全規制を第三者としての立場から監視、監査し、必要な場合には、内閣総理大臣を通じて、規制当局への勧告を行うことができる権限を有している。さらに、保安院は、技術支援機関として、2003年10月に独立行政法人原子力安全基盤機構（以下、「JNES」という。）を設立した。JNESは、法律に基づく原子力施設の検査の一部を実施するとともに、保安院が行う原子力施設の安全審査や安全規制基準の整備に関する技術的支援を実施している（図Ⅱ-1-2）。

文部科学省は、放射線障害の防止と放射能水準の把握のための監視・測定に責任を有している。

緊急時モニタリングは、現在の原子力防災体制において、地方自治体が行うこととなっており、文部科学省は、指定公共機関（独立行政法人放射線医学総合研究所及び独立行政法人日本原子力研究開発機構）等とともに、現地へ緊急時モニタリング要員及び機材を動員し、地方自治体の行う緊急時モニタリング活動を支援することとなっている。

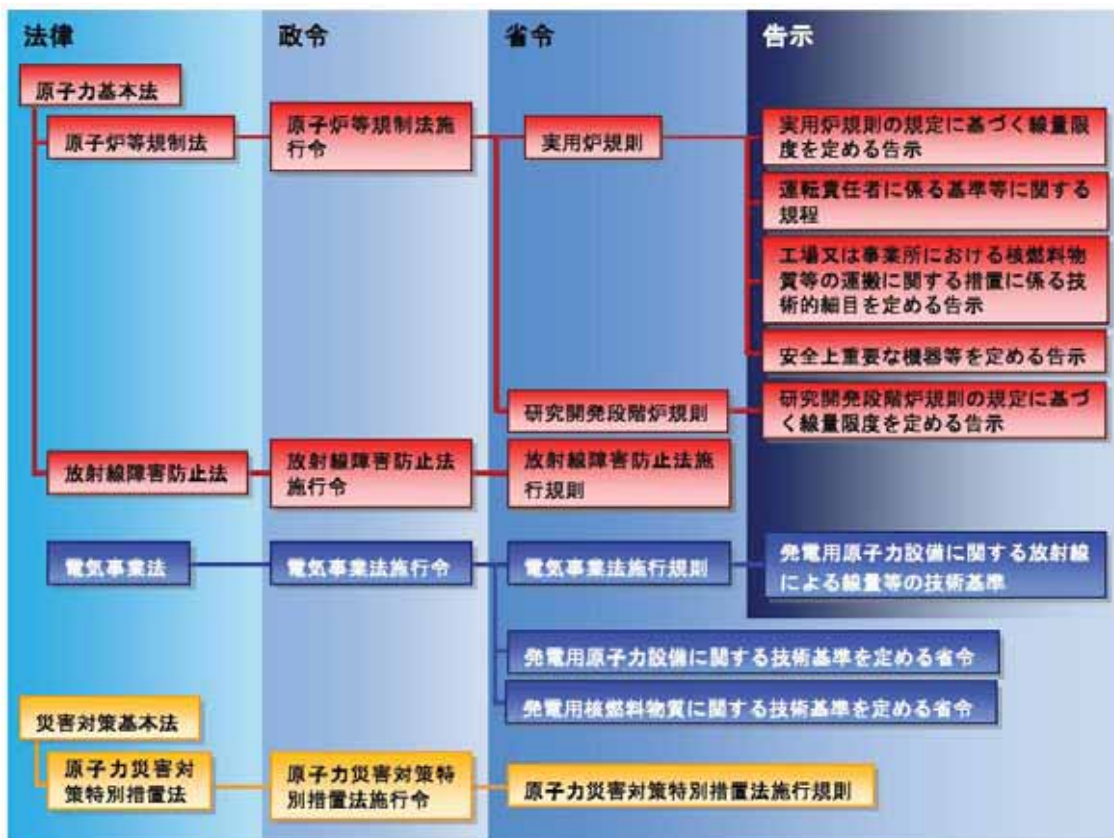


図 II-1-1 我が国の原子炉施設の安全に関する主な法令の体系

災害防止	立地	原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやす
	設計	発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針
		発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針
		発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針
		発電用軽水型原子炉施設の火災防護に関する審査指針
		発電用軽水型原子炉施設における事故時の放射線計測に関する審査指針
	放射性液体廃棄物処理施設の安全審査にあたり考慮すべき事項ないしは基本的な考え方	
	安全評価	発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針
		発電用加圧水型原子炉の炉心熱設計評価指針

	軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価指針
	発電用軽水型原子炉施設の反応度投入事象に関する評価指針
	BWR MARK I 型格納容器圧力抑制系に加わる動加重の評価指針
	BWR MARK II 型格納容器圧力抑制系に加わる動加重の評価指針
	発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針
線量目標値	発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針
	発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針
	発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針
技術的能力	原子力事業者の技術的能力に関する審査指針

表 II-1-1 原子力安全委員会が定める指針類

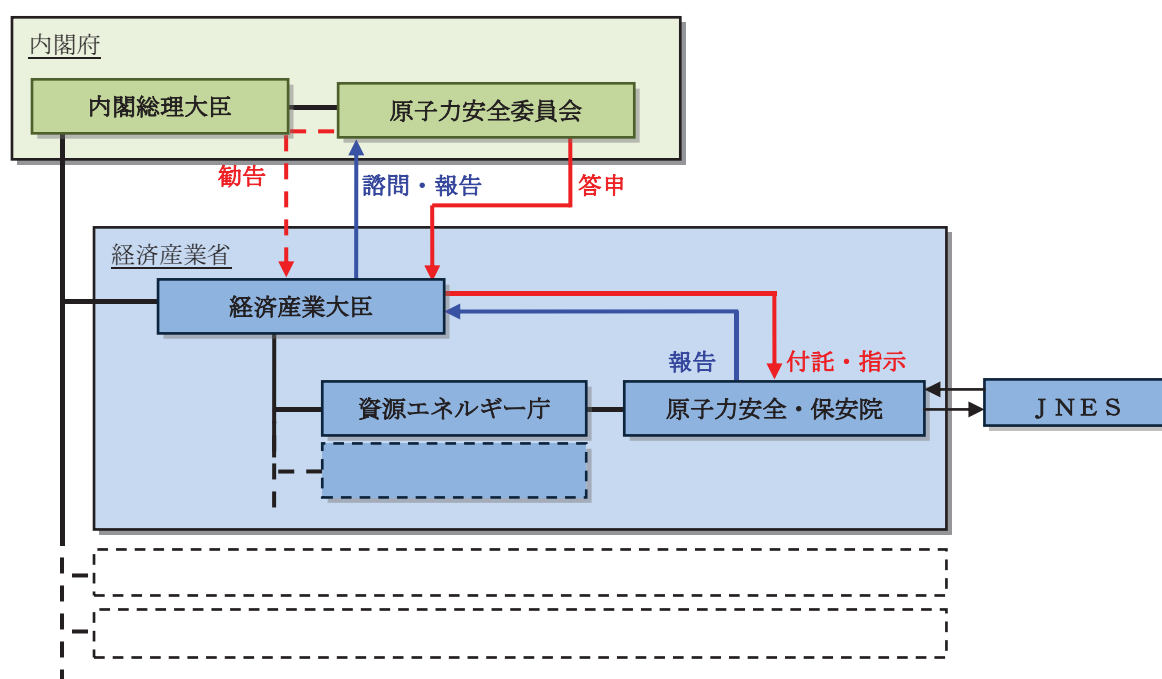


図 II-1-2 我が国原子力安全規制機関の体制

2. 原子力災害対応の法規制の仕組み

(1) 原子力災害対策特別措置法

原災法は、1999年のジェー・シー・オー核燃料加工施設で発生した臨界事故後に制定されており、原子力災害の予防に関する原子力事業者の義務、原子力緊急事態宣言の発出及び原子力災害対策本部の設置、緊急事態応急対策の実施、原子力災害事後対策などを規定している。

防災基本計画は、原子力災害対策編を含み、原子力災害対策の基本となるものとされ、原子力災害の発生及び拡大を防止し、原子力災害の復旧を図るために必要な対策について記述している。また、防災基本計画において、原子力災害対策に関する専門的・技術的事項については、原子力安全委員会が

定めた防災指針「原子力施設等の防災対策について」等を十分に尊重すると記載されている（添付Ⅱ）。

（２）原子力緊急事態

原子力緊急事態の際は、原災法に基づき、関係機関が有機的に連携しながら対応することとされ、発電用原子炉施設における緊急事態の場合は以下のとおり対応することとされている。

- ① 原災法第 10 条事象(特定事象)が発生した場合は、原子炉設置者は直ちに経済産業大臣及び地方公共団体の長に通報する（図Ⅱ-2-1）。
- ② 通報を受けた経済産業大臣は、法に定めた手順に従い活動を開始する。このとき、地方公共団体から要請があれば、専門的知識を有する職員を派遣する。現地に駐在している原子力防災専門官は、情報を収集し、原子力災害の拡大の防止の円滑な実施に必要な業務を行う。
- ③ 経済産業大臣は、通報された特定事象が緊急事態の基準を超え、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報告する。
- ④ 内閣総理大臣は、これを受けて原子力緊急事態宣言を発出し、地方公共団体が行う避難又は屋内退避、安定ヨウ素剤の予防服用等の緊急事態応急対策を指示する。
- ⑤ 内閣総理大臣は、自身を長とする原子力災害対策本部を東京に設置するとともに、現地に原子力災害現地対策本部を設置する。
- ⑥ 原子力安全委員会は、原子力緊急事態が発生した場合には、原子力安全委員及び緊急事態応急対策調査委員からなる緊急技術助言組織を招集し、内閣総理大臣に対し技術的助言を行う。
- ⑦ 地方公共団体は、災害対策本部を設置する。
- ⑧ 政府と地方公共団体、原子力事業者等の関係機関が情報の共有を行い、各機関が行う応急対策について、必要な調整を図るため、原子力災害合同対策協議会をオフサイトセンターに設置する（図Ⅱ-2-2）。

（３）原子力防災訓練

政府、地方公共団体、原子力事業者等の防災業務関係者及び一般住民が原子力防災対策を理解し、適切に行動すること、関係機関の防災体制が計画通り機能するか、関係機関の情報の共有、協力して行った対策に問題は無いかなど、防災体制をチェックすることを目的に、原子力防災訓練について、政府機関、地方公共団体、公共機関、原子力事業者等が協力して、通信連絡、モニタリング、防護対策の決定、避難・屋内待避等の実施等を行っている。原子力防災訓練には、様々な形態があり、政府が主導する大規模な訓練は年に一度開催している。

事象	特定事象の基準	緊急事態の基準
a) 敷地境界付近の放射線量	1 地点で 10 分以上継続して 5・Sv/h 以上	1 地点で 10 分以上継続して 500・Sv/h 以上
	2 地点以上で同時に 5・Sv/h 以上	2 地点以上で同時に 500・Sv/h 以上
b) 排気筒等の通常放出部分での放射性物質の検出	5・Sv/h 相当以上の放射性物質濃度が 10 分以上継続、または、50・Sv 相当以上の放射性物質の放出があった場合	500・Sv/h 相当以上の放射性物質濃度が 10 分以上継続、または、5mSv 相当以上の放射性物質の放出があった場合
c) 火災、爆発等による放射線又は放射性物質の検出（管理区域外）	50・Sv/h 以上の放射線量	5mSv/h 以上の放射線量
	5・Sv/h 相当以上の放射性物質の放出	500・Sv/h 相当以上の放射性物質の放出
d) 施設の特性を踏まえた個別事象		
原子炉のスクラム失敗	通常の中性子吸収体により原子炉停止ができないこと	原子炉の非常停止が必要な場合において、原子炉を停止するためのすべての機能が喪失すること
原子炉冷却材喪失	非常用炉心冷却装置（ECCS）の作動を必要とする原子炉冷却材の漏えいが発生したこと	すべてのECCSによる原子炉への注水ができないこと
原子炉の全交流電源喪失	すべての交流電源からの電気の供給が停止し、かつ、その状態が5分以上継続すること	すべての交流電源からの電気の供給が停止し、原子炉を冷却するすべての機能が喪失すること
再処理施設の使用済燃料プールの水位低下	燃料集合体が露出する水位まで低下した場合	



<ul style="list-style-type: none"> ・主務大臣は、地方公共団体の要請に応じて専門的知識を有する職員を派遣する。 ・原子力防災専門官は、所要の対応作業を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・主務大臣は、原子力緊急事態の発生を確認し、内閣総理大臣に報告する。 ・内閣総理大臣は、原子力緊急事態宣言を行い、以下の対応をとる。 ・地方公共団体に退避等の指導、助言又は指示を行う。 ・原子力災害対策本部及び原子力災害現地対策本部を設置 ・政府及び地方公共団体の情報交換のため、原子力災害合同対策協議会を設置
<ul style="list-style-type: none"> ・関係省庁が参集して関係省庁事故対策連絡会議を開催（東京） ・オフサイトセンターに関係者が参集し、現地事故対策連絡会議を開催 	

図 II-2-1 原災法の特定事象と緊急事態及びその対応

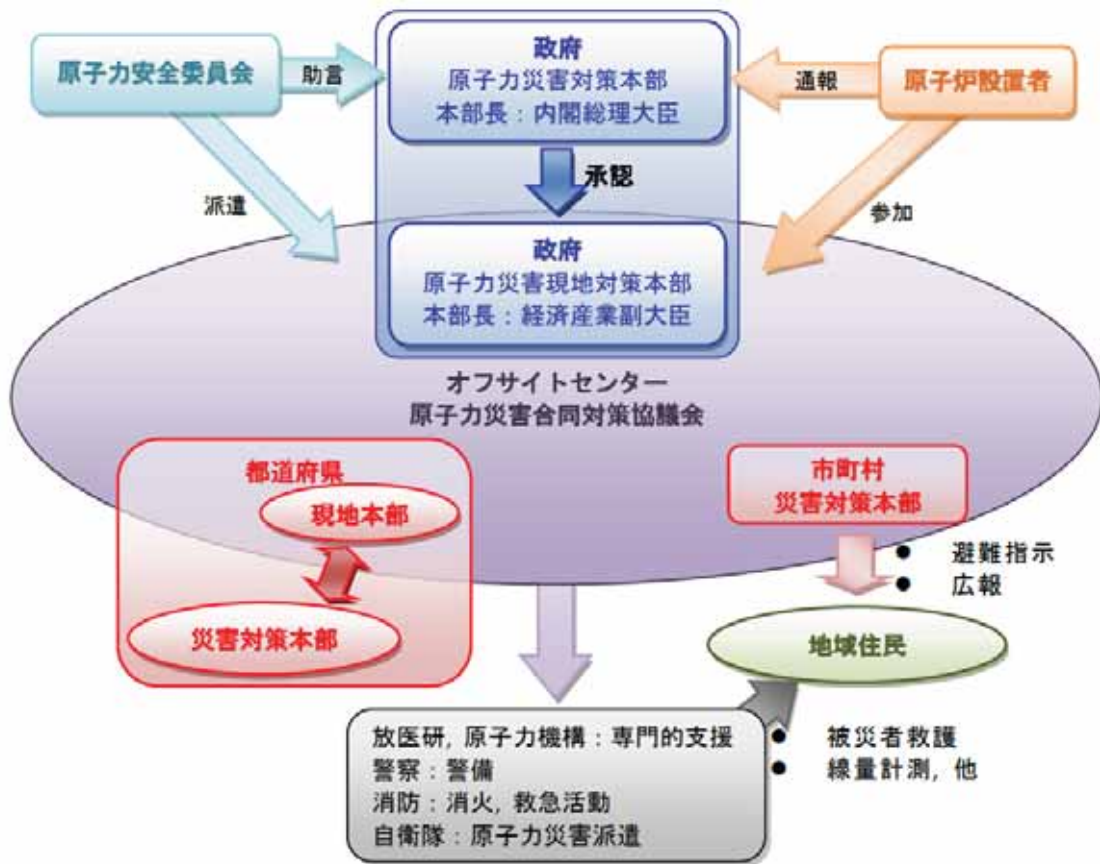


図 II-2-2 原子力災害対応組織の概略

参考文献

参考 2-1-1 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則

<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S53/S53F03801000077.html>

参考 2-1-2 線量限度を定める告示

<http://www.taisei-shuppan.co.jp/support/code1487/1487/dat/data.files/00100.htm>

参考 2-1-3 電気事業法施行規則

<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H07/H07F03801000077.html>

参考 2-1-4 発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令

<http://law.e-gov.go.jp/cgi-bin/idxsearch.cgi>

参考 2-1-5 発電用核燃料物質に関する技術基準を定める省令

<http://law.e-gov.go.jp/cgi-bin/idxsearch.cgi>

参考 2-1-6 発電用原子力設備に関する放射線による線量等の技術基準

<http://www.nisa.meti.go.jp/oshirase/2005/files/171031-2.pdf>

|

Ⅲ. 東北地方太平洋沖地震とそれによる津波の被害

1. 地震と津波による我が国の被害

(1) 東北地方太平洋沖地震の概要

①地震の諸元及び発生メカニズム

日本列島は、図 III-1-1 に示す北米、ユーラシア、太平洋、フィリピン海の 4 つのプレートからなる。同列島は、太平洋プレート及びフィリピン海プレートの沈み込みにより 2 方向から強い圧縮力を受けている。

東北地方太平洋沖地震(以下、今回の地震という。)は、2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に、図 III-1-1 中に示す日本海溝沿いの北米プレートと太平洋プレートとの境界部で発生した。気象庁は、地震の震源は三陸沖約 130km で、震源深さは 24km、地震規模はモーメントマグニチュード¹(Mw)9.0 と推定している(気象庁第 16 報)。また、地震調査研究推進本部(以下、「地震本部」という。)は、今回の地震の震源域が岩手県沖から茨城県沖までに及び、震源の長さは、図 III-1-2 のように約 400km 以上、幅約 200km と推定している。地震の発生メカニズムは、西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。(地震本部地震調査委員会:東北地方太平洋沖地震の評価(4 月 11 日発表))

今回の地震の震源は、図 III-1-2 に示す宮城県沖領域内にあり、地震本部の発表資料等によると、プレートの破壊は宮城県沖領域の震源から開始され、北方の岩手県沖、南方の福島県沖及び茨城県沖へと連動しながら伝播したと推定されている。震源となった宮城県沖領域は、図 III-1-2 に示すように A 及び B の 2 つの震源領域から構成される。今回の震源は領域 B 内にあり、破壊は領域 B で発生した後、西側の領域 A へ連動し、更に領域 B の東側の領域まで拡大連動したと推定されている。これらの震源域の破壊を断面で示すと、破壊は、図 III-1-2 中の a-a'断面に示す領域 B 内(深さ 24km 付近)で始まり、プレート境界深部の領域 A へ伝播するとともに、領域 B の東側領域の浅部へと伝播したと推定されている。滑り量が大きい領域は、三陸沖南部海溝寄り及び三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの一部であり、最大すべり量は約 20m 以上と推定されている。

¹ モーメントマグニチュード: 地震を起こす断層運動のエネルギーから地震の規模を表す指標値。大きな地震の規模を正確に評価できる。

②地殻変動と震源過程及び津波の波源過程の分析例

国土地理院は、図 III-1-3 に示すように GPS 観測に基づき解析した地殻変動の発生状況を公開している。同図から、顕著な地殻変動は宮城県から福島県沿岸域で発生し、沈降量は 0.5m～1.2m(平均沈降約 0.8m)である。宮城県牡鹿観測点では、東南東方向の水平変位量が約 5.3m、上下方向の変位量は約 1.2m である。

気象庁は、防災科学技術研究所の K-NET と KiK-net の観測記録及び気象庁加速度計の波形を用いて、今回の地震の震源過程²を分析し、図 III-1-4 に示すようなすべり分布を公開した[III1-1]。気象庁は、解析条件として断層の長さ約 450km、幅約 150km としている。解析の結果、モーメントマグニチュード(M_w)9.0、破壊の継続時間は約 170 秒となっている。また、プレートの滑り(破壊)は、破壊開始点(震源：北緯 38.10 度、東経 142.86 度、深さ 23.7km)付近で徐々に拡大した後(0～60 秒)、南北方向に分かれて進行している。大きな滑り領域は、破壊開始点の東から北東側(震源よりも浅い部分)の領域で発生し、最大滑り量は約 30m である。大きな滑りが発生する領域は、国内外の研究機関の報告結果でほぼ一致している。

例えば、藤井・佐竹(2011)は、気象庁や他機関の津波観測記録を用いて、津波波形インバージョン解析³を行い、津波波源を解析した(図 III-1-5 参照)[III1-2]。これによっても、大きな滑り領域は、破壊開始点から北東側(図中の黒色の部分)に分布しており、上記の気象庁の結果とほぼ一致している。

これらのすべり分布の状況と、藤井・佐竹(2011)の津波解析結果から、破壊開始点(震源)東側の浅いプレート境界における大きな滑りが、大津波を引き起こした要因である。

③地震本部における地震発生の長期評価との関係

地震本部では、海溝型地震を対象に、図 III-1-6 に示すような地震の規模や一定期間内に地震が発生する確率を予測したものを公表し、今後 10、30、50 年以内の地震発生確率を示している。その中で、図 III-1-6 中に示すように宮城県沖地震の 30 年以内の発

² 震源過程：震源における理論的な破壊モデルを仮定した上で、観測地震動の時刻歴波形データを用いて、同データに整合するように、断層破壊面における変位の食い違いの量を解析するプロセス。

³ 津波波形インバージョン解析：観測された津波の時系列データ等を用い、震源過程を解析するプロセス。

生確率を 99%、地震規模をマグニチュード(M) 7.5 と評価し、注意を促していた。今回の地震の破壊開始点(宮城県沖領域)、同領域内の 2 つの震源領域 A 及び B の連動破壊の想定、及び発生時期はほぼ地震本部の評価通りであった。しかしながら、震源域の範囲が、三陸沖中部、宮城県沖、福島県沖、茨城県沖の広範囲に連動したこと、及び地震規模が M9 に達したことは、想定外であったとしている(地震本部地震調査委員会:東北地方太平洋沖地震の評価(3月11日発表))。さらに、破壊が震源からプレート境界の浅い部分に広がり、滑り量が 20m 以上であったことについては、これまで、宮城県沖における日本海溝沿い浅部のプレート境界が、ずるずると滑っている領域で、大きなひずみが蓄積されていないと推定されていた。しかし、実際には、その領域が固着されていたようで、その結果、長期間にわたりひずみが蓄積され、宮城県沖領域での破壊が引き金となって今回の地震が発生したとする専門家もいる。

(2) 東北地方太平洋沖地震による地震動及び津波高さ

①地震動の発生状況

女川原子力発電所、福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所及び東海第二発電所の周辺地域で観測された防災科学技術研究所の K-NET と KIK-net 観測点での加速度波形(水平 2 成分、上下成分)を図 III-1-7 に示す。

震源に近い女川原子力発電所付近の観測点(MYG011:震央距離 127km)での加速度波形には、地震発生から 30 秒と 80 秒付近に大きなピークが発生している。福島第一原子力発電所付近の観測点(FKS011:震央距離 176km)での加速度波形にも同様のピークが見られるが、第 2 のピークは第 1 のピークよりも大きい。これら 2 つのピークは、震源領域 A 及び B 付近の破壊によるものと考えられる。

一方、東海第二発電所付近の観測点(IBR007:震央距離 274km)での加速度波形には 120 秒後に 1 つのピークだけが発生している。その理由として、東海第二発電所付近では、上記宮城県沖領域内の震源領域 B 及び A の破壊による地震動が減衰し、福島県沖から茨城県沖の震源域の破壊による地震動の影響が大きくなったことによると考えられる。敷地の地震動に大きな影響を及ぼす要因は、広範な震源域の中で、敷地近傍の震源域であり、そこでの破壊特

性及び連動の仕方等の可能性がある。これに対し、津波の水位に大きな影響を及ぼす要因としては、地震規模、震源域の広さ、すべり量、破壊の連動の仕方等の可能性がある。これらの要因の違いについては、今後、国内外の研究機関での解明が期待される。

東日本の震度分布を図 III-1-8 に示す。宮城県栗原市では最大震度 7 であった。震度 5 以上の地域は、東北地方から関東地方までの広い範囲に及んでいる。女川原子力発電所、福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所及び東海第二発電所の周辺地域の震度は、5 強～6 強であった。

②津波の発生状況

独立行政法人港湾空港技術研究所による岩手県釜石市沖合における GPS 波浪計の観測津波波形を図 III-1-9 に示す。津波の観測最大水位は、地震発生 14 時 46 分の約 26 分後の第 1 波の 6.7m であった。津波の襲来周期は、第 1～3 波において不規則で明瞭でないが、第 4～7 波では約 50 分である。第 1 波の特徴は、6 分後に 2m、続く 4 分後に 6.7m へと 2 段階で上昇していることである。

東日本沿岸地域における気象庁による観測津波水位を図 III-1-10 に示す。観測津波水位は、宮古地点で 8.5m 以上、石巻市鮎川地点 8.6m 以上、相馬地点 9.3m 以上等であった。津波はカナダ、米国、中南米等太平洋沿岸でも観測され、チリでは最大 2m であった。

佐竹によると、津波水位は、貞観地震(869 年)のようなやや深部での滑りによる長周期の波と、明治三陸沖地震(1896 年)のような浅部でのものによる短周期の高い津波が重畳したと推定している(図 III-1-11 参照) [III1-3]。そのため、短周期での高い津波が沿岸域に到達・遡上した後、長い周期の津波が長時間にわたり繰り返し押し寄せ、遡上域を増大させたと推定されている。最大遡上高さは、土木学会の調査によると、岩手県宮古市姉吉地区で 38.9m である [III1-4]。三陸地方での遡上高さは、明治三陸沖地震(1896 年)及び昭和三陸沖地震(1933 年)を上回った(図 III-1-12 参照)。

③余震及び誘発地震の発生状況

余震の積算回数は、5 月 6 日現在、M5 以上が 444 回、M6 以上 76 回、M7 以上 5 回である。最大余震は、3 月 11 日 15 時 15 分

に発生し、地震規模は M7.7 であった。その他の主な余震として、同日 15 時 25 分の宮城県はるか沖の地震（深さ約 34km、M7.5）、4 月 7 日 23 時 32 分に宮城県沖（深さ約 40km、M7.0）の地震が発生した。4 月 7 日の余震は、牡鹿半島の東約 40km で発生し、女川原子力発電所で大きな地震動が観測された。

誘発地震の発生状況を図 III-1-13 に示す。誘発地震は、長野県、秋田県、静岡県富士宮、福島県と全国各地で発生している [III1-5]。原子力発電所周辺では、3 月 12 日に柏崎原子力発電所から南東約 50km の長野県北部の十日町断層帯付近において M6.7 の地震が発生した。また、福島第一原子力発電所から南西約 50km の井戸沢断層付近において、4 月 11 日に地震 (M7.1) が発生した。この地震は、プレート内の浅い場所で発生した西南西—東北東方向に張力軸を持つ正断層型であった。東北地方は逆断層の活断層が卓越し分布する地域であり、正断層型の地震断層が確認されたのは初めてである [III1-6]。

これに伴い、原子力安全委員会は、4 月 28 日に、原子力安全・保安院に対して、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成 18 年 9 月 19 日原子力安全委員会決定。以下「新耐震指針」という。）に照らした既設発電用原子炉施設等の耐震安全性確認（以下、「耐震バックチェック」という。）を進めるにあたり、以下のような意見を示し、保安院に検討を求めている。4 月 28 日に、原子力安全・保安院は各事業者に対して同様の指示を出している。

- ・今回地震によって地震活動が活発でなかった場所において地震が確認されている場合や耐震設計上考慮する活断層でない断層近傍で地震が発生している場合には、その地震の評価を行うこと。
- ・上記検討を踏まえて、敷地に影響を与える可能性がある断層がある場合には、地震動評価を行うこと。

(3) 東北地方太平洋沖地震による主な被害状況

① 気象庁の緊急地震情報（警報）とそれに係わる自治体の対応

a 緊急地震情報（警報）の発表手順及び津波情報の内容

気象庁は、津波による災害が予想される場合、地震が発生してから約 3 分を目標に、「津波警報」または「津波注意報」を発表する。地震及び津波に関する情報の発表手順を図 III-1-14 に、津波警報及び津波注意報の内容を表 III-1-1 に示す。

b 気象庁の津波警報の発表時刻と実際確認された内容

東日本太平洋沿岸地区の気象庁による津波警報の発表時刻毎の予想到達時刻及び高さの確認結果との比較表を表 III-1-2 に示す。気象庁では、14時46分の地震発生後、津波警報あるいは津波注意報を14時49分(地震発生3分後)、15時14分(地震発生28分後)、15時30分(地震発生44分後)の3回発表した。以下に、主な内容を示す。

- ・第一回の発表時(地震発生3分後の14時49分)では、宮城県に6m、福島県に3mの津波が到達すると発表した。
- ・第二回の発表(地震発生28分後の15時14分)では、青森県、岩手県、宮城県、福島県において既に到達を確認した。また、予想津波高さを岩手県で6m、宮城県10m以上、福島県で6mと修正した。しかし、岩手県宮古市、釜石市、大船渡市では、発表の4分あるいは7分後に、最大津波8m以上が既に到達した。宮城県鮎川でも、12分後に最大波8.6m以上が既に到達した。
- ・第三回の発表(地震発生44分後の15時30分)では、青森県、岩手県、宮城県、福島県、千葉県において到達を確認し、茨城県では到達と推定した。また、予想津波高さを、青森を除く全県で10m以上と修正した。岩手県宮古市、大船渡市、宮城県鮎川で既に最大波が到達していた。

気象庁は、第三回の発表(地震発生44分後の15時30分)において、予想津波高さを8mや10m以上としたが、岩手県及び宮城県では最大波が発表の約10~12分前に既に到達していた。

c 気象庁の津波警報を受けた各自治体の避難状況

気象庁の【津波警報(大津波)】は、岩手県及び福島県(宮城県は最初から6mの予想)では当初3m程度と発表した。30分後には6m、更に15分後には10m以上と訂正された。このような津波警報に基づく各自治体の避難状況について、朝日新聞社ホームページ(2011年4月20日)に基づき、岩手県山田町、釜石市、大船渡市、陸前高田市、宮城県南三陸町、気仙沼市の例を表 III-1-3 に整理した。

市町村の防災行政無線による津波警報の放送内容は、表に示すように、被災した沿岸自治体ごとに違っている。一部の市町

村では、停電のため続報を受信できず、最初の「3m 程度」と放送し続けた。このため、高い山ではなく、2 階に避難すればよいと判断し被災した人が多い自治体もある。「3m」という数字が一人歩きして、的確な避難を遅らせた可能性がある。予想された津波高さを知らせず、「とにかく逃げて」と訴えて功を奏した自治体もある。

d 気象庁の津波警報の改善策

気象庁は、今回の地震・津波に対して、現有の技術の中で、最大限の努力をして情報を発表した。しかしながら、M9.0 の巨大地震に対応した津波情報のあり方については、しっかりと点検し、今後に備える必要性を認識した。そこで、気象庁は、平成 23 年 5 月 19 日に、今回の地震および津波の経験や教訓を踏まえて、津波情報の改善を着実に進めていくことを公表した。

具体的内容は次の通りである。(1)今回発表した津波警報の内容・タイミングについての検証、(2)技術的な点についての検証(当初マグニチュード M7.9 で、順次時間が経つにつれて再評価を行って、M を上げたが、できるだけ早く適正な M を迅速に分析できる技術の検討)、(3)今後どのような課題があるかの整理。

気象庁は、津波警報の改善に向けて、大学、研究機関等の有識者、関係防災機関等からなる勉強会を設置し、第 1 回会合を 6 月 8 日に開催すると公表した。そして、有識者からの意見を整理したうえで、今年秋頃を目途に、今後の津波警報の改善の方向性について取りまとめることも公表した。

更に、気象庁は、発表情報について、国民が実際に利用できる形に具体的化していくと述べた。この場合、気象庁単独でなく、政府関係機関や自治体等様々な機関とも連携して進める。津波については、教育という観点も重要であるので、周知啓発にも努めるとも述べた。

② 一般被害状況

津波による浸水面積は、国土地理院の調査によると、宮城県が最も大きく 327km² で、次いで、福島県 112km²、岩手県 58km² 等となっており、全浸水面積は 561km² に及ぶ(国土地理院：津波による浸水範囲の面積(概略値)について(第 5 報))。家屋の被害は、

全壊、半壊、一部破壊及び浸水を合わせて約 475,000 棟である。公共建物や文教施設等の被害は約 18,000 件に上る。

ライフライン関係では、道路被害約 4,000 箇所、鉄道被害約 7,280 箇所(その内津波による被害約 1,680 箇所)、ガスの停止約 460,000 戸、電気の停電約 4,000,000 戸、電話不通 800,000 回線等である(緊急災害対策本部発表：5月30日16時、JR東日本：4月17日現在、日本ガス協会公表：3月12日現在、経済産業省発表：4月12日、緊急災害対策本部発表：3月12日12時等からピーク時被害状況を集計)。

土砂崩れ、斜面崩壊、地盤変状等の土砂災害は、岩手県、宮城県、福島県、栃木県、茨城県の広い地域で120箇所以上発生している(防災科学研究所5月19日現在)。福島県では、ダムが決壊し、数名の行方不明者が出ている。千葉県では、浦安市や幕張市等湾岸地域や九十九里平野等で、大規模な地盤の液状化が発生した(千葉県環境研究センター(第2報)、4月15日掲載)。

今回の地震による全死亡者・行方不明者は、24,769名となっている(緊急災害対策本部5月30日17時現在)。

③ 港湾施設周辺の防波堤及び防波堤等の被害

津波による一般港湾施設の防波堤及び防波堤や付帯設備の被害調査結果に基づき、津波による施設の洗掘⁴や波力の影響について示す。

防潮堤及び防波堤は、図 III-1-15 に示すように、基礎周辺地盤が津波の押し・引き波によって洗掘され、基礎が転倒しているものが多くみられた。また、防潮堤・防波堤のコンクリート覆工部分(防潮堤内部の岩や地盤を覆うコンクリート部分)は基礎下端からえぐり取られ、覆工の役割を果たしていなかった。これらの状況から、津波対策として、砂丘の堤防やコンクリート防波壁を設置する場合、津波が砂丘をいったん超えると、押し波・引き波の洗掘によって砂丘が崩壊したり、防波壁も洗掘され倒壊する可能性がある。そこで、各種の対策工に対し、技術指針が整備されるべきである。

防潮堤の付帯施設は、図 III-1-15 に示すように、津波の強い波

⁴ 洗掘：津波により、海岸や海底の土砂が機械的に削り取られる現象のこと。今回の津波では、押し波と引き波により、堤防の基礎周辺の地盤が洗い削られ、基礎が支持力を失って、堤防が倒壊した。

圧によって薙ぎ倒されている。波圧の取り扱いについて、土木学会津波評価部会・津波評価技術(2002年)では、波圧算定式におけるソリトン分裂波の波圧分布特性等に関する高度化の必要性を指摘している。そこで、同部会の津波評価技術(2007年)の算定式は、水槽試験を実施し、得られたデータを用いて改良されている。同式を今回の津波による被害に適用し検証すると共に、一層の評価技術の高度化が重要である。

岩手県宮古市田老地区の防潮堤は、地元では“万里の長城”と呼ばれ、高さ10mの威容を誇っていたが、15m以上の津波により倒壊し、図III-1-16(写真左)に示すように、防潮堤内で多大の被害が発生した(朝日新聞社、3月20日記事)。これに対し、岩手県普代村太田部地区では、古の教訓に基づく村長の強い意志によって、図III-1-16(写真右)中に示す15.5mの防潮堤が設置された。この防潮堤は、今回の15mの津波を跳ね返し、防潮堤内の被害を阻止した(読売新聞社、4月3日記事)。これらの地域は、リアス式海岸地域であり、明治三陸津波(1896年)や昭和三陸津波(1933年)等15m級の津波によって古くから甚大な被害を被り、“15m程度の津波に備えよ”との教訓が伝聞されていた(読売新聞社、3月30日記事)。今回の津波では、伝聞を守った太田部地区と田老地区とで明暗が分かれた。

岩手県宮古市姉吉地区には、上記の両津波による遡上の教訓から、図III-1-17(写真左)に示すように、集落の入り口(標高60m)に「石碑：此処より下に家を建てるな」が設置されている。この教訓を遵守していたために、津波は図中(写真右)に示すように集落近くまで遡上(遡上高さ38.9m)したものの、今回の津波において一人の犠牲者も出なかった。

参考文献

- [III1-1] 気象庁気象研究所,「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の断層すべり分布の推定—近地強震波形を用いた解析—。
[Online]. <http://www.mri-jma.go.jp/>
- [III1-2] 佐竹健治,藤井雄士郎(2011),"2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の津波波源(暫定結果,Ver.4.0)." [Online].
http://iisee.kenken.go.jp/staff/fujii/http://iisee.kenken.go.jp/staff/fujii/OffTohokuPacific2011/tsunami_ja.html
- [III1-3] 佐竹健治,"東北地方太平洋沖地震の津波について:過去の津波

との比較も含めて," 防災科学技術研究所「緊急報告会 —東日本大震災への対応—」配布資料. [Online].

<http://www.bosai.go.jp/>

- [III1-4] 土木学会,"東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる速報値," 2011年5月10日.

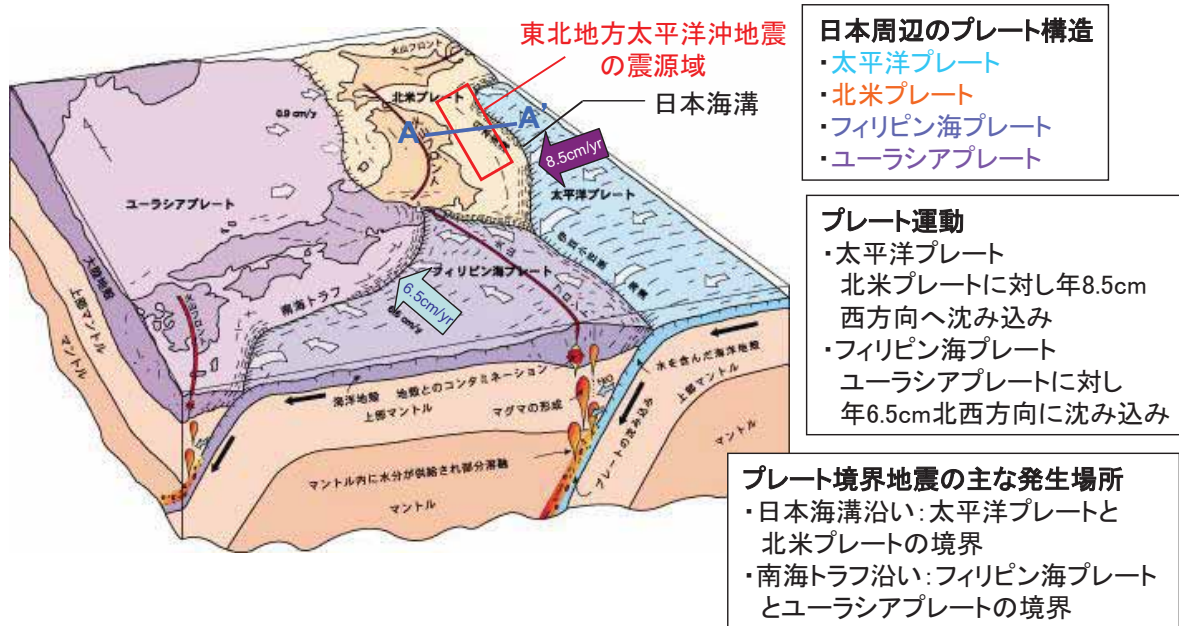
[Online]. <http://www.coastal.jp/ttjt/>

- [III1-5] 防災科学技術研究所,"東北地方太平洋沖地震について(速報)," 平成23年3月25日. [Online].

http://www.bosai.go.jp/news/oshirase/20110323_01.pdf

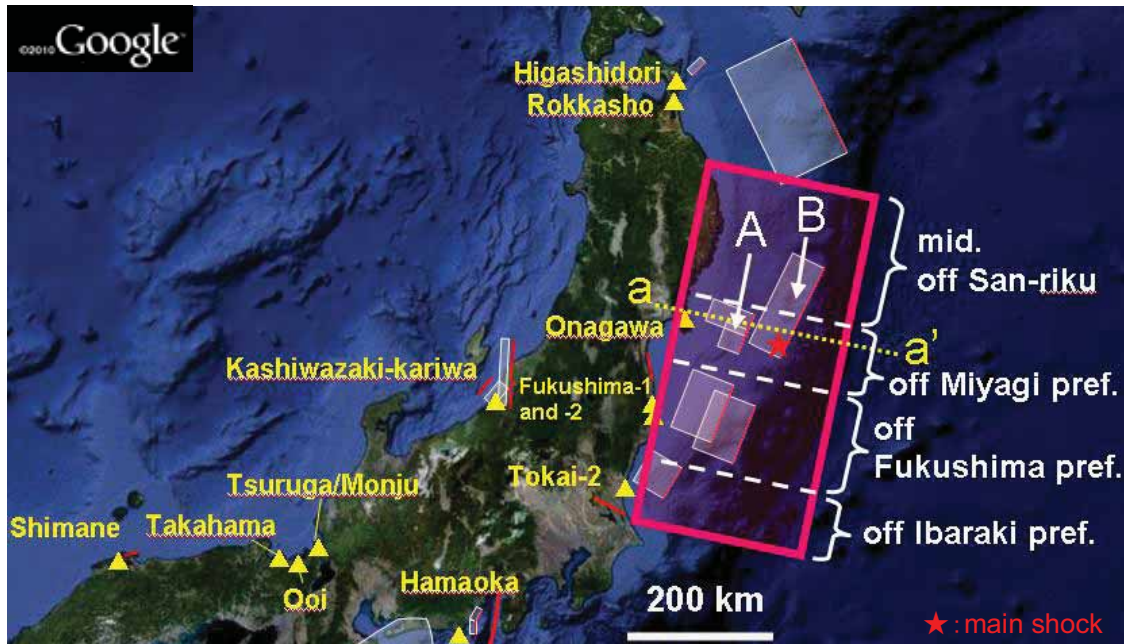
- [III1-6] 東京大学地震研究所,"2011年4月11日の福島県浜通りの地震に伴う地表地震断層について(第1報)." [Online].

http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/fukushimahamadoori/

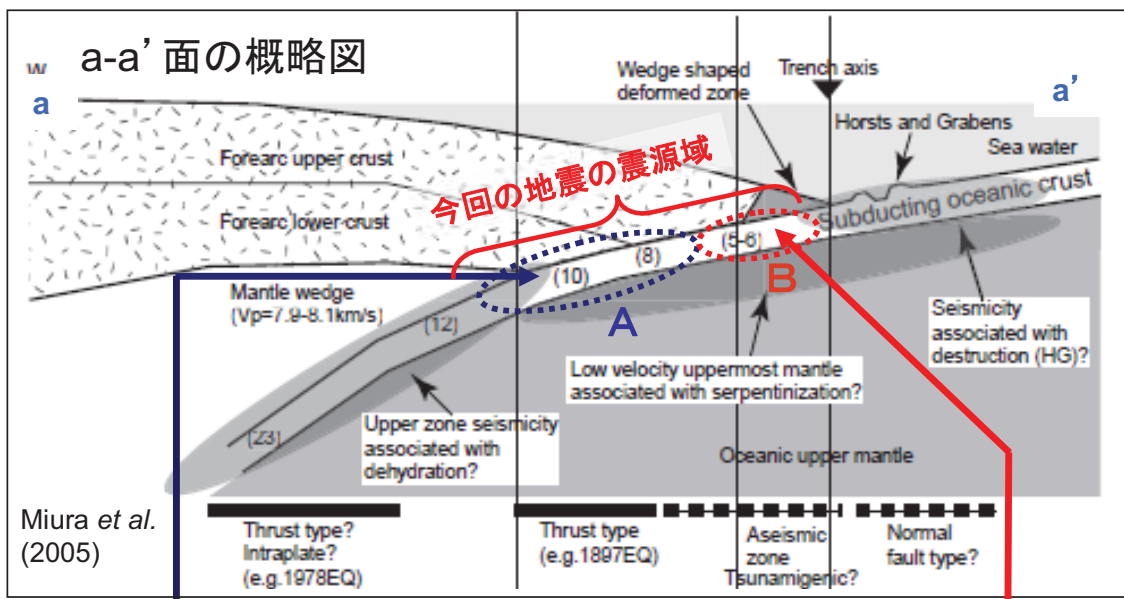


© 引用文献: (社)全国地質調査業協会連合会 HP「プレートテクトニクスからみた日本列島」に JNES が一部加筆 [Online]. <http://www.zenchiren.or.jp/tikei/index.htm>

図 III-1-1 日本列島周辺のプレート構造



© Goole マップに JNES が一部加筆

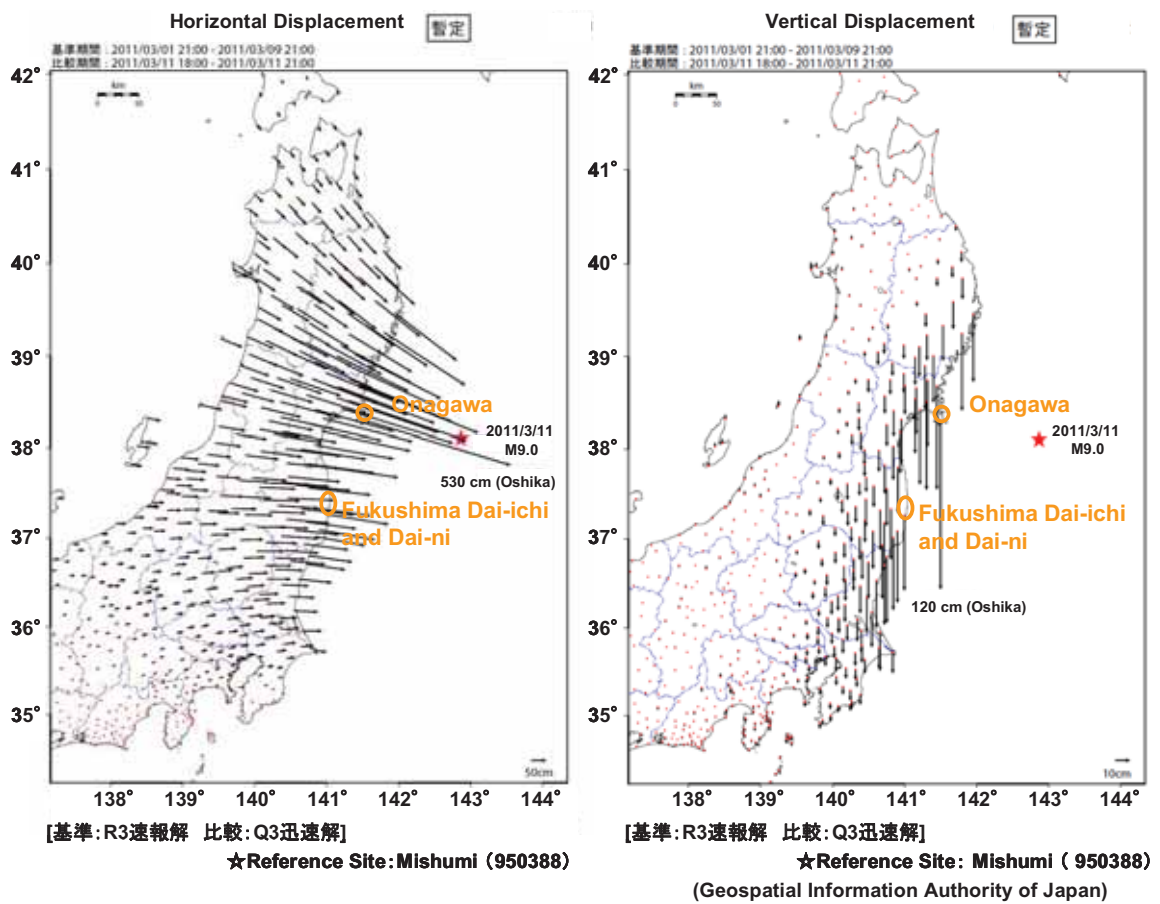


プレート境界の深部:浅部に比べ相対的にすべりが小さく、陸域に近いため強い地震動を発生させた

プレート境界の浅部:20m以上のゆっくりにした大きなすべりで、巨大津波を発生させた

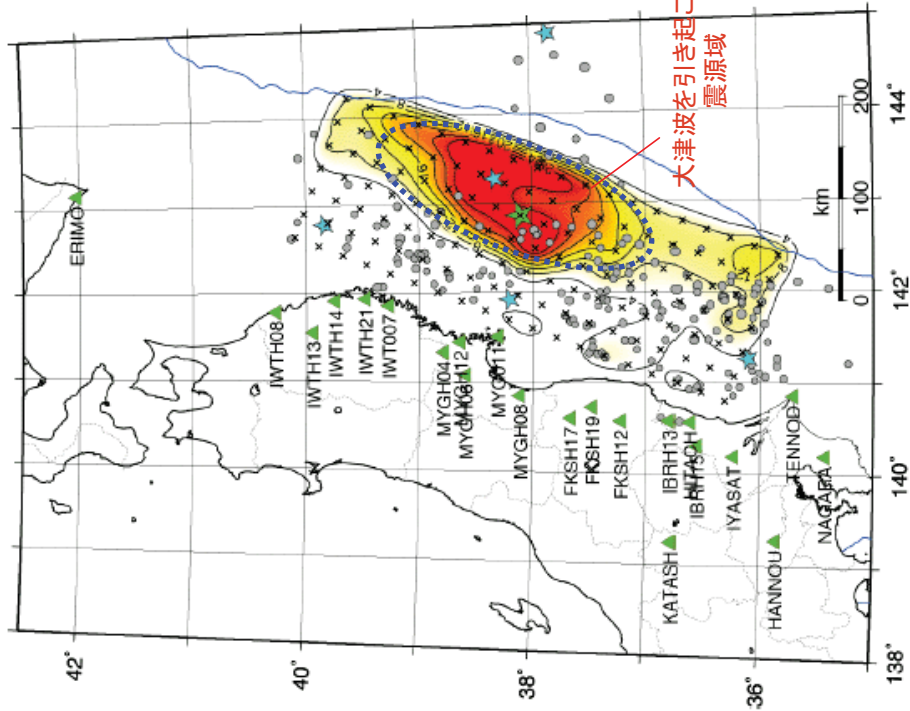
© 引用文献 : Miura et al.(2005; Tectonophysics, Vol.407)に JNES が一部加筆

図 III-1-2 東北地方太平洋沖地震の震源域と破壊の連動

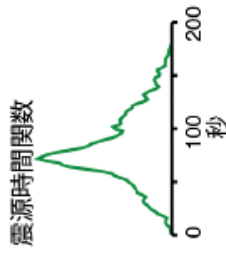


◎引用文献: 国土地理院「GPS 連続観測から得られた電子基準点の地殻変動・3月11日の本震(M9.0)に伴う地殻変動」に JNES が一部加筆 [Online]. <http://www.gsi.go.jp/>

図 III-1-3 東北地方太平洋沖地震による地殻の変動
(国土地理院 3 月 11 日速報値)



◎引用文献：気象庁気象研究所「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の断層すべり分布の推定—近地強震波形を用いた解析—にJNESが一部加筆

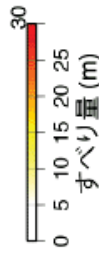


- ★ 本震の破壊開始点
- ☆ 3月9日以降のM7以上の地震の震央
- 本震発生から1日間のM5以上の地震の震央
- x 各小断層の中心点
- ▲ 解析に用いた観測点

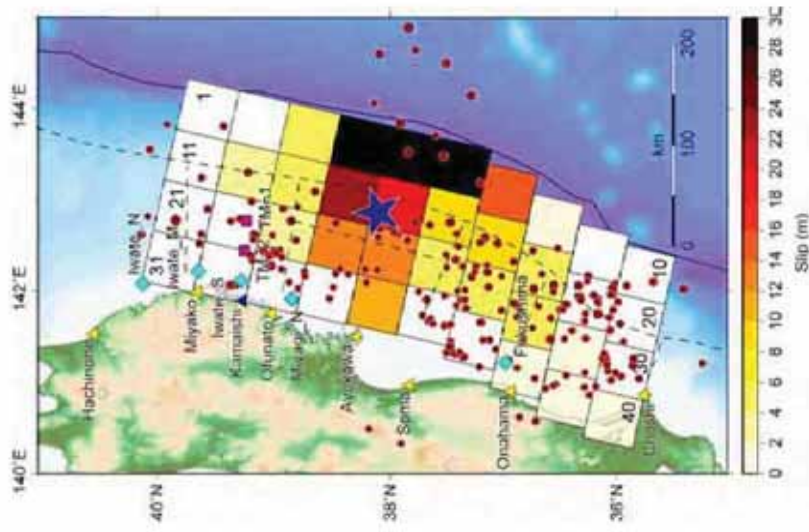


Mo = 3.4×10^{22} Nm (Mw9.0)

大津波を引き起こした震源域



コンタナーの間隔は4m

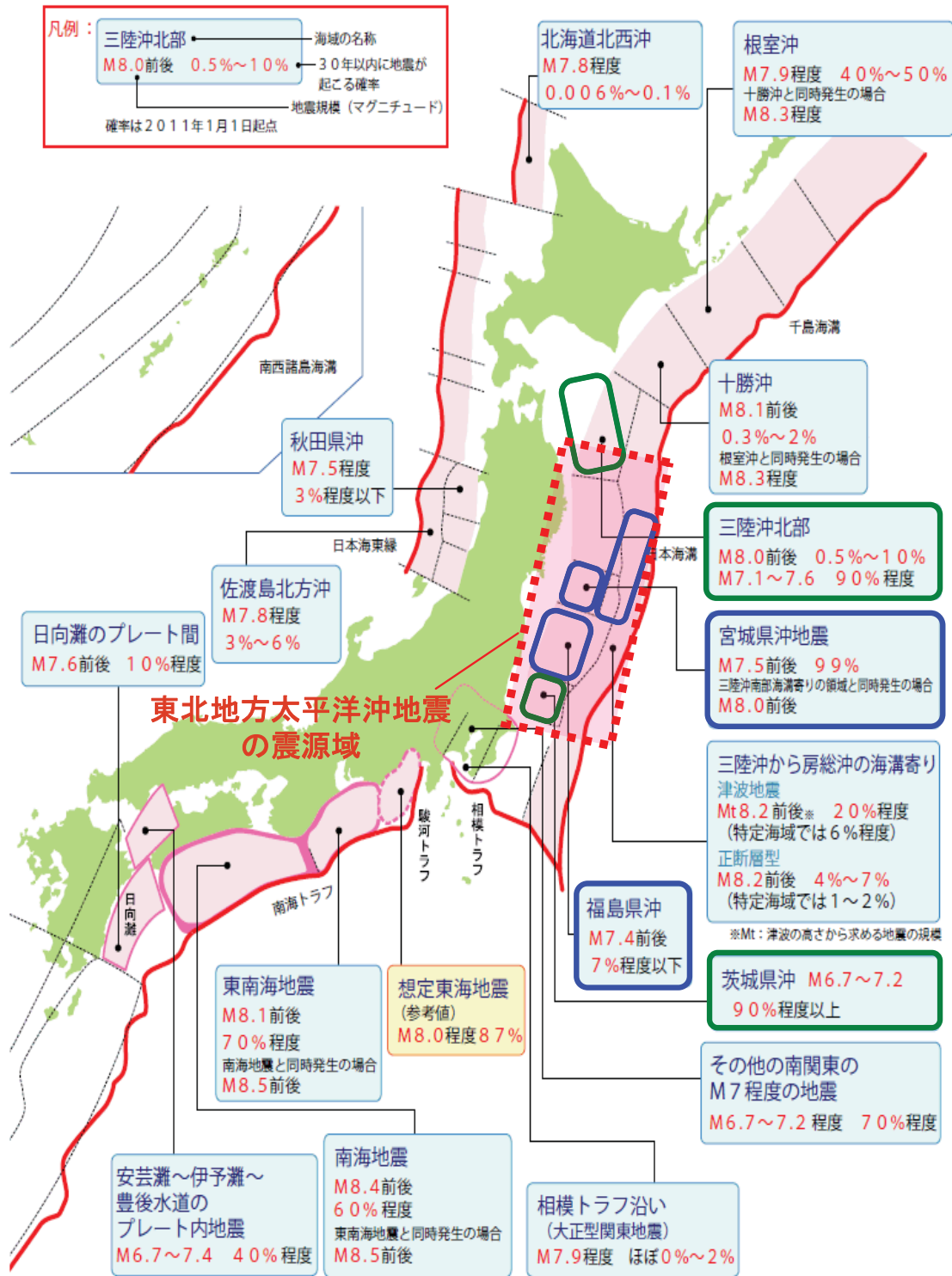


◎引用文献：藤井・佐竹「津波波源モデル (Ver. 4.0)」にJNESが一部加筆[Online].
http://iisee.kenken.go.jp/staff/fujii/OffTohokuPacific2011/tsunami_ja.html

図 III-1-4 東北地方太平洋沖地震の震源断層の推定

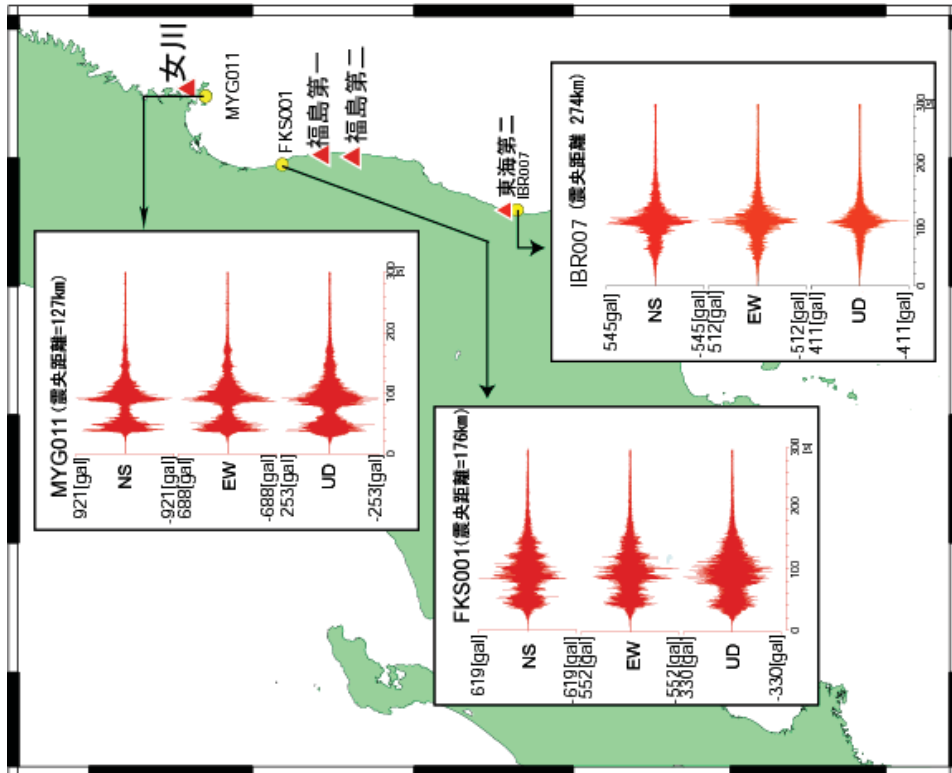
図 III-1-5 東北地方太平洋沖地震の津波インバージョン解析結果

2011年1月11日現在

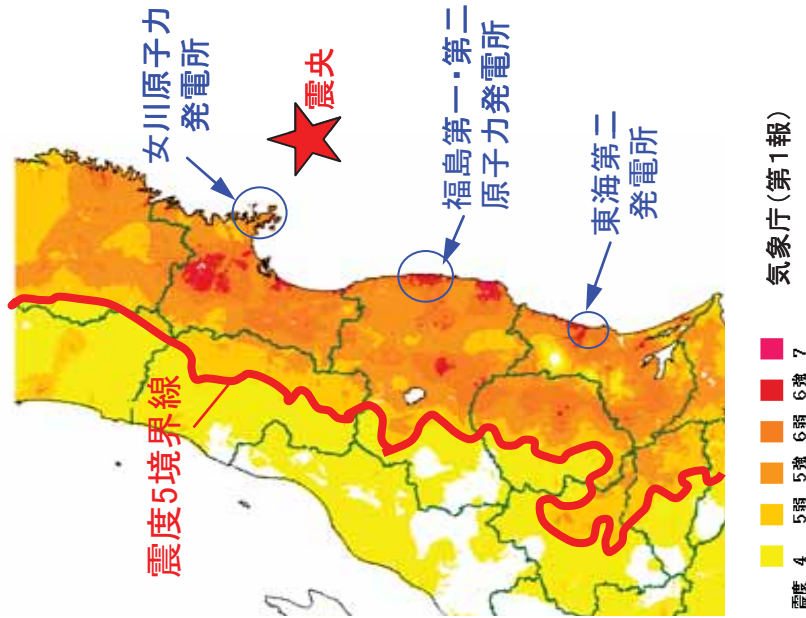


◎引用文献：地震調査研究推進本部・地震調査委員会「主な海溝型地震の評価結果」にJNESが一部加筆 [Online]. <http://www.jishin.go.jp/main/>

図 III-1-6 地震調査研究推進本部で想定していた地震と東北地方太平洋沖地震の比較

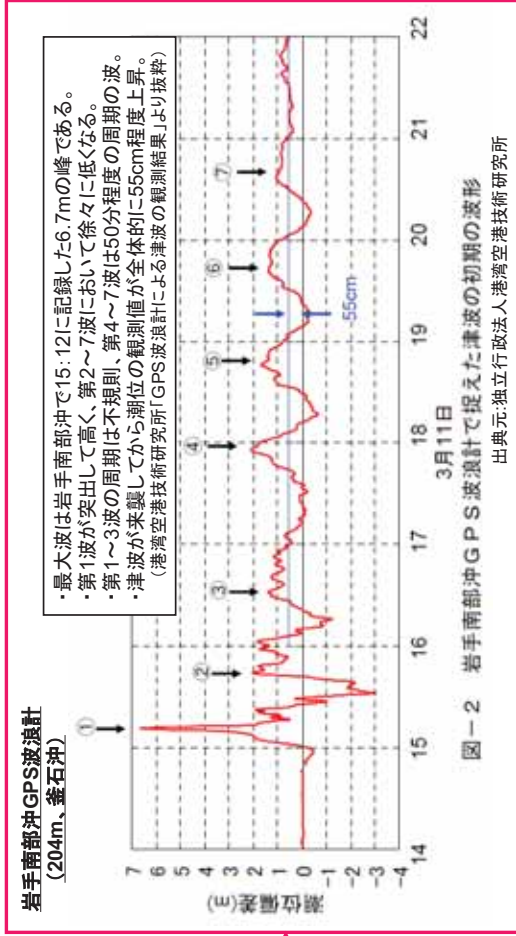
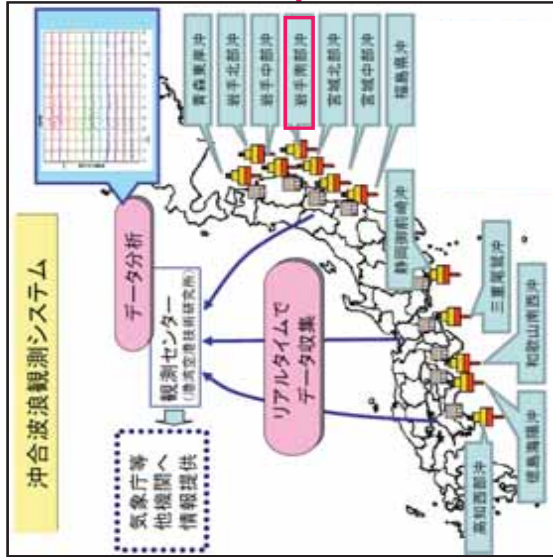


図III-1-7 原子力発電所の付近で観測された加速度波形



図III-1-8 東北地方太平洋沖地震による地震動の震度分布

©引用文献：気象庁『平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震』について(第1報)』にJNESが一部加筆 [Online]. <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>



図一2 岩手南部沖GPS波浪計で捉えた津波の初期の波形
出典元:独立行政法人港湾空港技術研究所

図 III-1-9 岩手県南部沖で観測された津波波形

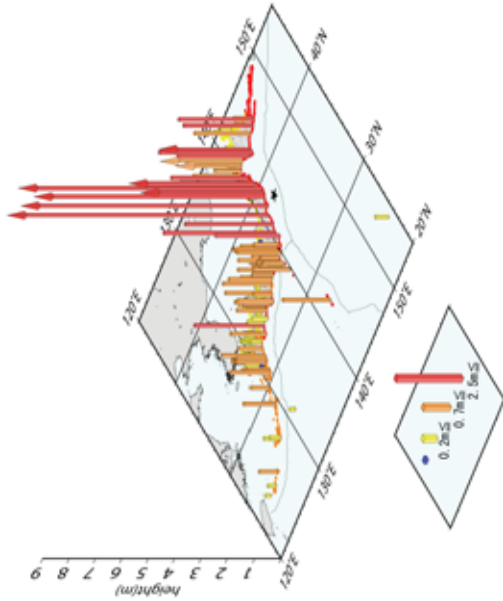
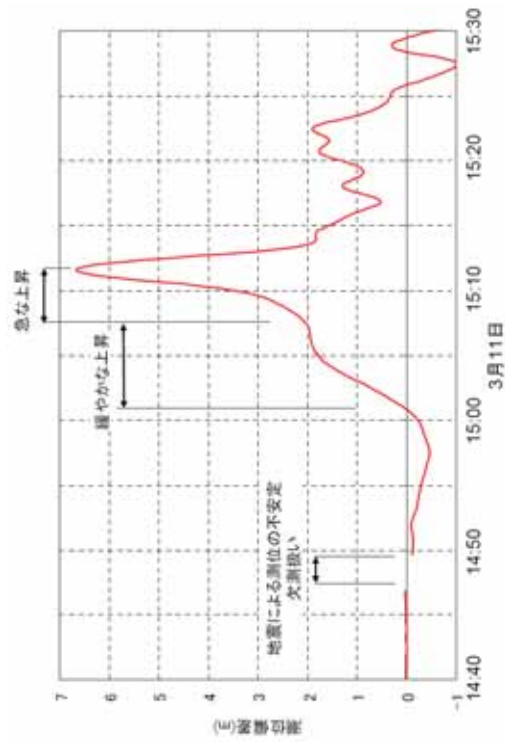


図 III-1-10 津波の観測状況 (中央防災会議東北地方太平洋沖地震を教訓とする専門調査会議第 1 回資料より)

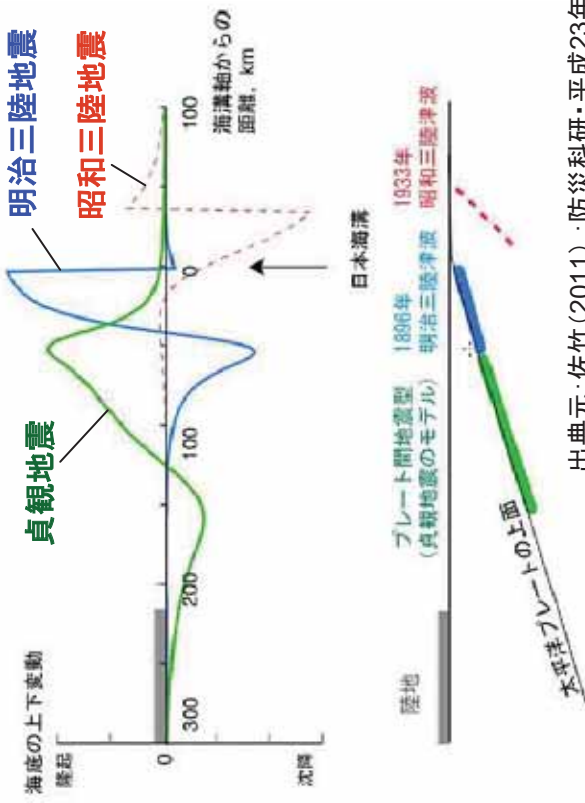
観測地点	第一波	最大波
相馬	11日14時55分	押し0.3m
宮古	11日14時48分	押し0.2m
大船渡	11日14時46分	引き0.2m
石巻市鮎川	11日14時46分	押し0.1m
大洗	11日15時15分	押し1.8m
釜石	11日14時45分	引き0.1m
むつ市関根浜	11日15時20分	引き0.1m
根室市花咲	11日15時34分	引き微弱
十勝港	11日15時26分	引き0.2m
浦河	11日15時19分	引き0.2m
		9.3m以上
		8.5m以上
		8.0m以上
		8.6m以上
		4.2m
		4.1m以上
		2.9m
		2.8m
		2.8m以上
		2.7m

〔岩手南部沖で観測された津波波形の詳細〕



出典元:独立行政法人港湾空港技術研究所

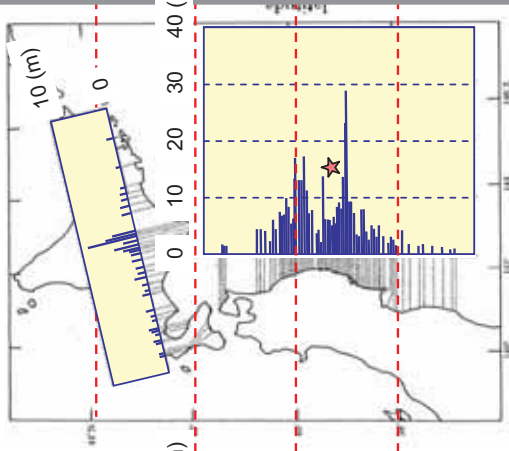
〔各地震の解析結果による津波波形の比較〕



出典元:佐竹(2011):防災科研・平成23年
4月17日講演資料より

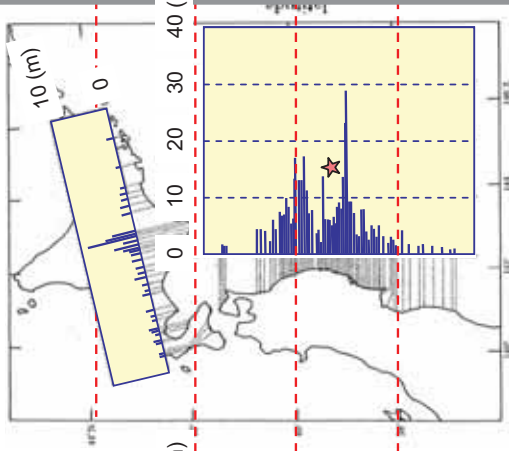
図 III-1-11 東北地方太平洋沖地震で観測された津波波形の特徴

1896 San-riku Earthquake



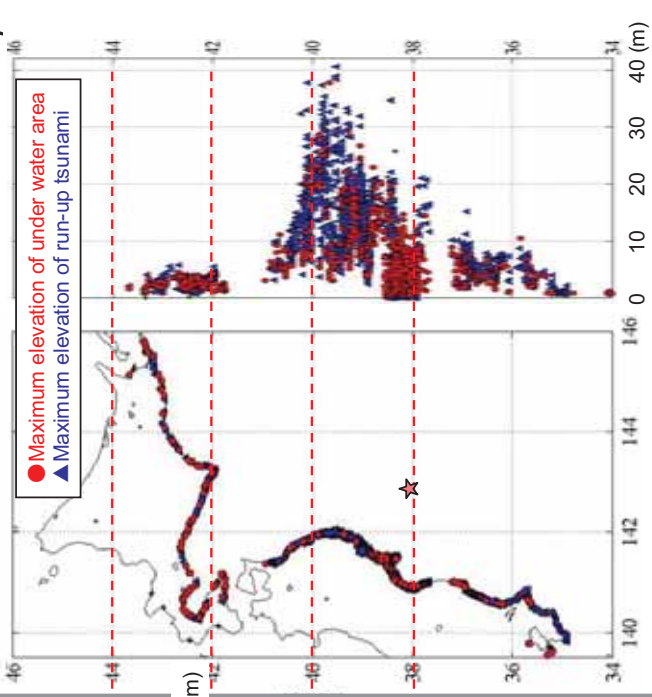
(Watanabe, 1998)

1933 San-riku Earthquake



(Watanabe, 1998)

2011 Tohoku district - off the Pacific Ocean Earthquake

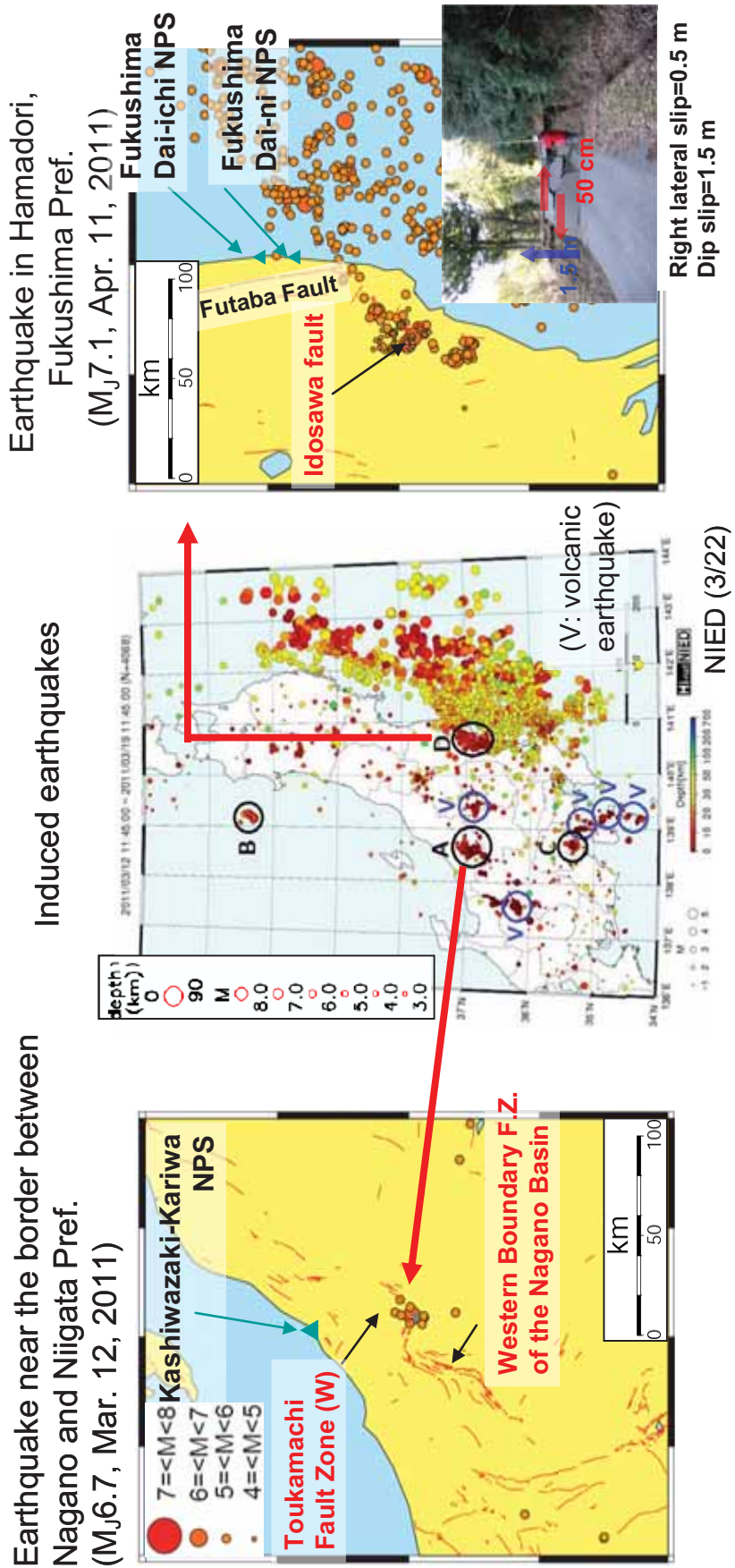


* Preliminary results by joint survey group for 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (<http://www.coastal.jp/tjtj/2011/5/10 ref.>)

©引用文献：東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ
(<http://www.coastal.jp/tjtj/>)による速報値(2011年5月10日参照)及び渡辺(1985)「日本被害津波総覧」、渡辺(1998)「日本被害津波総覧【第2版】」にJNESが一部加筆

Observed tsunami height & epicenter

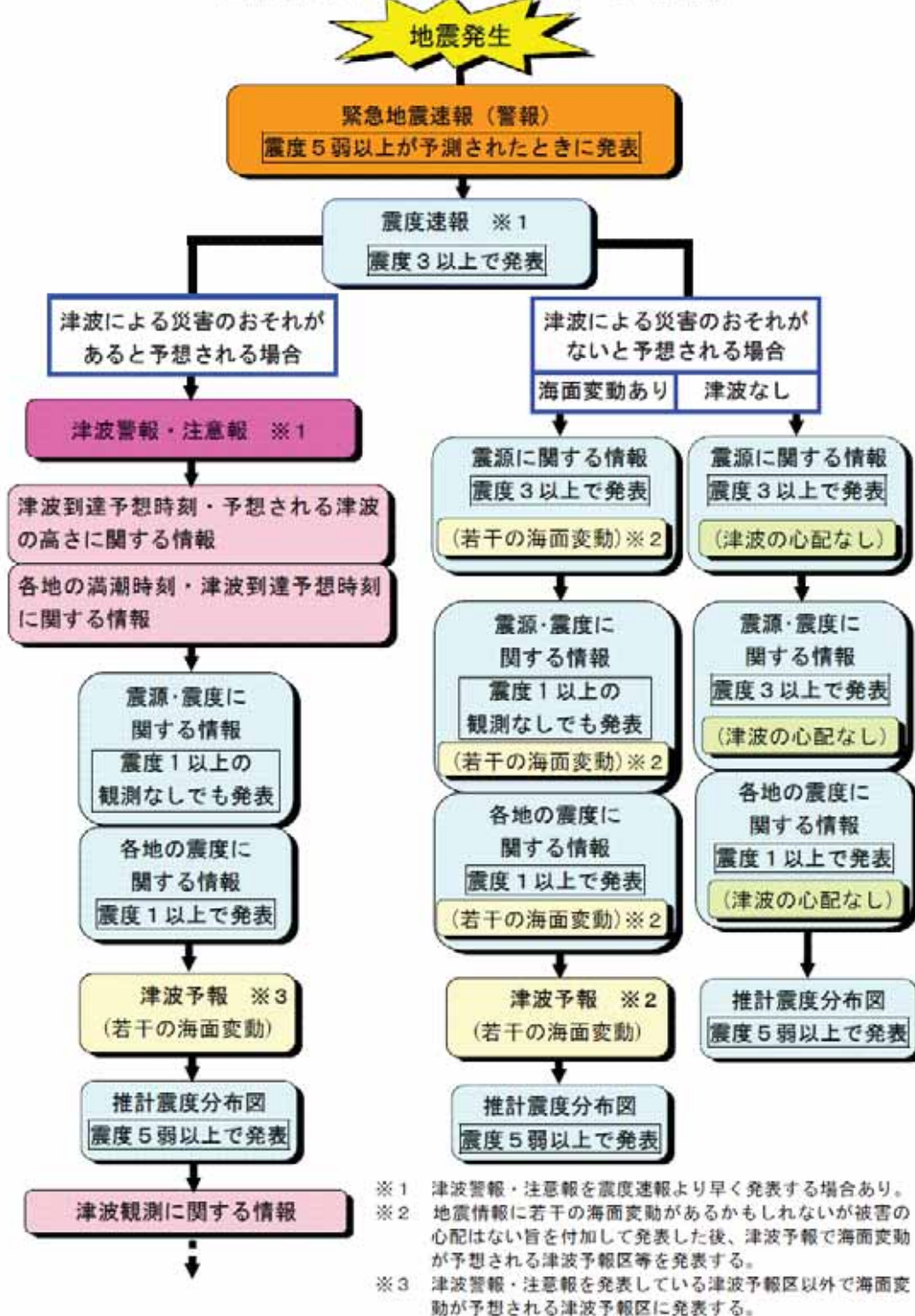
図III-1-12 東北地方太平洋沖地震による津波と過去の地震の各地の遡上高さの比較



©引用文献:防災科学技術研究所「東北地方太平洋沖地震
について(速報)」にJNESが一部加筆

図 III-1-13 東北地方太平洋沖地震後に発生した主な誘発地震

地震及び津波に関する情報



◎引用文献: 気象庁「津波警報・注意報、津波情報、津波予報について」
(http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/index_tsunamiinfo.html)

図 III-1-14 気象庁の地震及び津波の情報発信の手順

表 III-1-1 気象庁の津波警報・注意報及び津波の情報発信の内容

津波警報・注意報の種類

種 類	解 説	発表される津波の高さ
津波警報	大津波 高いところで3m程度以上の津波が予想されますので、 厳重に警戒してください。	3m、4m、6m、8m、 10m以上
	津波 高いところで2m程度の津波が予想されますので、警戒 してください。	1m、2m
津波注意報	高いところで0.5m程度の津波が予想されますので、注 意してください。	0.5m

※日本近海で発生し、緊急地震速報の技術によって精度の良い震源位置やマグニチュードが迅速に求められる地震

津波情報の種類

種 類	内 容
津波到達予想時刻・予想される津波の高 さに関する情報	各津波予報区の津波の到達予想時刻や予想される津 波の高さを発表します。
各地の満潮時刻・津波の到達予想時刻 に関する情報	主な地点の満潮時刻・津波の到達予想時刻を発表しま す。
津波観測に関する情報	実際に津波を観測した場合に、その時刻や高さを発表し ます。

◎引用文献:気象庁「津波警報・注意報、津波情報、津波予報について」
(http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/index_tsunamiinfo.html)

表 III-1-2 津波の到達時刻と高さ（気象庁の予測及び観測結果の比較）

都道府県	津波警報の発表時刻と津波の予想到達時刻及び高さ				津波第一波及び最大波の確認到達時刻及び高さ				
	14：49 発表 (地震発生 3 分後)		15：14 発表 (地震発生 28 分後)		15：30 発表 (地震発生 44 分後)		最大波		
	予想時刻	予想高さ	予想時刻	予想高さ	予想時刻	予想高さ	確認時刻	確認高さ	
青森県 (太平洋沿岸)	15：30	1m	津波到達を 確認	3m	津波到達を 確認	8m	八戸 15：22	八戸 16：57	4.2m 以上
岩手県	既に到達と 推測	3m	津波到達を 確認	6m	津波到達を 確認	10m 以上	釜石 14：45 宮古 14：48 大船渡 14：46	釜石 15：21 宮古 15：26 大船渡 15：18	4.1m 以上 8.5m 以上 8.0m 以上
宮城県	15：00	6m	津波到達を 確認	10m 以上	津波到達を 確認	10m 以上	鮎川 14：46	鮎川 15：26	8.6m 以上
福島県	15：10	3m	津波到達を 確認	6m	津波到達を 確認	10m 以上	相馬 14：55	相馬 15：51	9.3m 以上
茨城県	15：30	2m	15：30	4m	既に津波到達 と推測	10m 以上	大洗 15：15	大洗 16：52	4.2m
千葉県 (九十九里・外房)	15：20	2m	15：20	3m	津波到達を 確認	10m 以上	銚子 15：13	銚子 17：22	2.4m

◎引用文献：気象庁「津波情報：津波到達予想時刻と予想される津波の高さに関する情報（平成 23 年 3 月 11 日 14 時 50 分発表）」
[\[Online\]. http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/13a/kaisetsu201103130900.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/13a/kaisetsu201103130900.pdf)
 気象庁「津波情報：津波到達予想時刻と予想される津波の高さに関する情報（平成 23 年 3 月 11 日 15 時 14 分発表）」
[\[Online\]. http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/13a/kaisetsu201103130900.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/13a/kaisetsu201103130900.pdf)
 気象庁「津波情報：津波到達予想時刻と予想される津波の高さに関する情報（平成 23 年 3 月 11 日 15 時 31 分発表）」
[\[Online\]. http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/13a/kaisetsu201103130900.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/13a/kaisetsu201103130900.pdf)
 気象庁「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」について（第 14 報）」
[\[Online\]. http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/23b/stn03231400.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/23b/stn03231400.pdf)
 気象庁「石巻市鮎川」の津波観測点の観測値について」
[\[Online\]. http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/29c/201103291900.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/29c/201103291900.pdf)
 気象庁「相馬」の津波観測点の観測値について」
[\[Online\]. http://www.jma.go.jp/jma/press/1104/13a/201104131600.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/press/1104/13a/201104131600.pdf)
 気象庁「八戸」の津波観測点の観測値について」
[\[Online\]. http://www.jma.go.jp/jma/press/1105/27b/kaisetsu201105271730.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/press/1105/27b/kaisetsu201105271730.pdf)
 気象庁「石巻市鮎川」の津波観測点の観測値について（続報）」
[\[Online\]. http://www.jma.go.jp/jma/press/1106/03b/tsunami_ayukawa2.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/press/1106/03b/tsunami_ayukawa2.pdf)

*注)表中の気象庁による津波警報の発表時刻と引用文献の発表時刻に若干のずれがある。

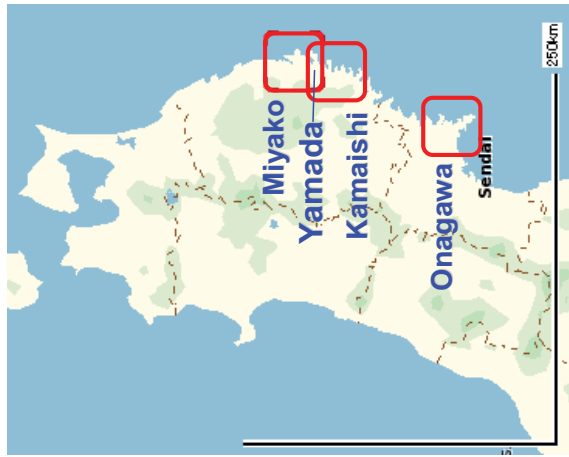
表 III-1-1-3 各自治体の防災無線による津波に係わる情報の放送状況

■岩手県における防災行政無線の放送状況 (朝日新聞4月20日オンライン記事より引用)

	防災行政無線の放送状況	実際の津波	避難状況
山田町	「3メートル以上」と放送した。その後、予想される津波の高さが6メートルに切り替わったことをテレビで確認し、放送の準備をした。しかし、消防署庁舎から津波が見えて、全員が屋上に避難し、放送できなかった。	記事に記載なし	「3メートル程度の津波と思ひ込み、自宅の2階に避難した人が大勢いる。堤防を越える津波を見て慌てて逃げた」と話す。
釜石市	14時50分に気象庁が発表した予想に基づき、「高いところで3メートル程度の津波が予想されます。海岸付近の方は直ちに近くの高台が避難場所に避難するよう指示します。」と市内96カ所のスピーカーで放送した。気象庁は津波予想を、15時14分に6メートルと切り替え、同31分に10メートル以上とした。しかし、市は停電で気象庁情報を伝えるメールを県から受け取ることができなくなっていた。この間、避難を指示する放送を6回繰り返した。	釜石港には約9メートルの津波が押し寄せたとされる。	<ul style="list-style-type: none"> 市民の中には「津波は3メートル」と思ひ込み、2階へ避難すれば大丈夫と判断した人が多かった。 2階建ての同市鶴住居(うのすまい)地区の防災センターには周辺住民150~200人が駆け込んだが、2階まで被災し、生存者は約30人だった。 避難した市民は「もっと高い津波と知っていたら山に逃げた」と話す。漁師は、立派な防潮堤があるのに、3メートルの津波なら避難しなくていいだろうと思つたという。 同市の死亡・行方不明者は1300人を超えた。
大船渡市	当初から津波の高さを言わず、大津波警報の発令と高台への避難のみを呼びかけた。	大船渡港を襲った津波は約9.5メートルとされる。	<ul style="list-style-type: none"> 同市の死亡・行方不明者は約500人。
陸前高田市	資料がすべて流されてしまったため、どんな放送をしたか分かっていない。	記事に記載なし	記事に記載なし

■宮城県における防災行政無線の放送状況

	防災行政無線の放送状況	実際の津波	避難状況
南三陸町	気象庁は当初から6メートルの大津波警報が出しており、南三陸町では、地震直後から「6メートルの津波が来ます」と防災無線で呼びかけた。	津波は15メートルを超えた。	<ul style="list-style-type: none"> 無縁を聞いて高台に避難した町民も多かった。 3階建ての防災対策庁舎が氷にのまれて、多くの町職員が犠牲になった。
気仙沼市	気仙沼市の対策本部によると、当日は、気象庁の大津波警報が出た時点で防災無線を使って避難を呼びかけた。具体的な津波の高さを明示して注意を促したかどうかは記録が残っていないが、「とにかく高台に避難を」と徹底的に呼びかけた」という。	記事に記載なし	記事に記載なし



〔津波の洗掘による防潮堤の倒壊〕



〔押し波の波圧による施設の薙ぎ倒し〕



図III-1-15 津波による防潮堤及び施設の被害状況

〔田老地区の10m防潮堤の倒壊〕



〔太田部地区の15.5m防潮堤の健全性〕

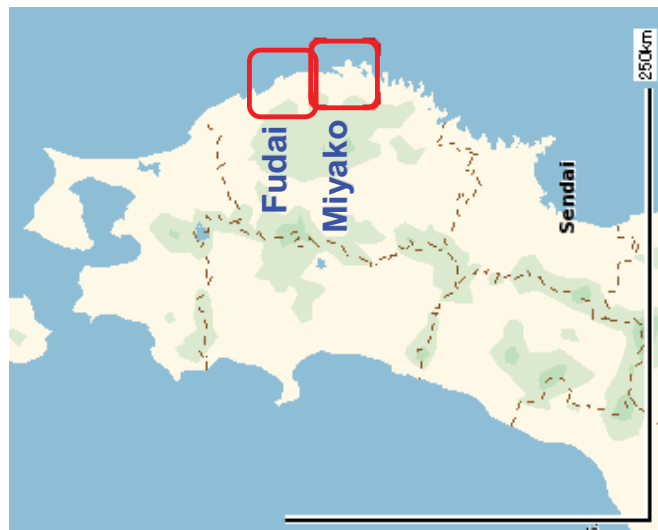


図III-1-16 岩手県宮古市田老地区及び普代村太田部地区における津波に対する防潮堤の堅牢の違いによる被害の明暗

〔 姉吉地区入り口の石碑(標高60m)
(集落から海岸方向へ写す) 〕



〔 姉吉集落近くまで到達した津波遡上
(海岸から集落方向へ写す) 〕



図III-1-17 岩手県宮古市姉吉地区の石碑と津波遡上の状況

2. 福島原子力発電所を襲った地震と津波による被害

(1) 福島第一原子力発電所で観測された地震動及び津波高さ

① 地震動関連

a 地震動観測システム及び観測記録

福島第一原子力発電所の地震動観測システムは、図 III-2-1 に示すように、原子炉建屋の地下 1 階及び地上 2 階に設置した地震計及び敷地内の南と北の 2 箇所⁵の地下鉛直アレー観測用地震計(それぞれ 5 か所)と観測記録装置から構成される。地震計は、水平 2 成分、上下成分の加速度時刻歴波形を観測する。

福島第一原子力発電所では、地震計が 53 箇所設置されている。地震動はこれらのうち 29 箇所⁵で記録された。しかし、東京電力の調査によれば、7 箇所の地震計の加速度時刻歴波形の記録が、130～150 秒程度で中断していた。東京電力の調査で、原因は、記録装置のソフトウェアの不具合であることがわかった。

原子炉建屋基礎版上の水平方向(東西・南北)及び上下方向の計 3 成分の観測地震動の最大加速度の一覧を表 III-2-1 に示す。水平方向での最大加速度は、2 号機の 550Gal(東西方向)、上下方向は 2 号機の 302Gal であった。

b 基準地震動 S_s と観測地震動との関係

基準地震動 S_s (S_{s1} ～ S_{s3}) は、耐震バックチェックにおいて、福島県沖のプレート境界地震、敷地下方のスラブ内地震⁵、敷地周辺の活断層及び震源を特定せず策定する地震を対象として、これらによる地震動を包絡するように策定されている。

建屋内地下 1 階基礎版の地震計設置位置での基準地震動 S_s に対する最大応答加速度を表 III-2-1 に示す。表から、観測最大加速度の多くは基準地震動 S_s に対する最大応答加速度より小さい。しかし、2 号機、3 号機及び 5 号機の東西方向の観測最大加速度は、基準地震動 S_s に対する最大応答加速度より大きい。図 III-2-2(a)に、2 号機の東西方向の加速度時刻歴波形を示す。

2 号機、3 号機及び 5 号機の原子炉建屋基礎版上の観測記録の応答スペクトルと基準地震動 S_s を原子炉建屋基礎版に入力

⁵ スラブ内地震：深く沈み込んだ海洋性プレートの内部が破断を生じるようなタイプの地震のこと。

した場合の建屋基礎版の応答スペクトルとの比較図を図 III-2-2(b)に示す。同図から、2号機、3号機及び5号機の観測記録の応答スペクトルは、0.2秒から0.3秒程度までの周期において、 S_s に対する建屋基礎版上の応答スペクトルを超過している。

c 確率論的地震ハザード評価と基準地震動 S_s の超過確率

耐震設計審査指針は2006年に改定された。新耐震指針では、基準地震動 S_s を超える地震動の可能性が否定できないとの観点から「残余のリスク」の存在を認知し、基準地震動 S_s の超過確率を参照することとした。保安院は、新耐震指針を踏まえて、事業者に耐震バックチェック(基準地震動 S_s の妥当性及び施設の安全性評価)の実施を指示した。事業者は、耐震バックチェックの一環として、基準地震動 S_s の超過確率を日本原子力学会地震 PSA 実施基準[III2-1]の地震ハザード評価手順に基づき評価し、保安院へ報告している。

福島第一原子力発電所の超過確率別応答スペクトル地震ハザードを図 III-2-3に示す。図中には、 S_s -1H 及び S_s -2H の応答スペクトルも示している。図から、基準地震動 S_s の超過確率は、 10^{-4} ~ 10^{-6} /年の範囲にある。

② 津波関連

a 潮位観測システム及び観測記録

潮位観測システムは、潮位計及び観測記録装置からなる。潮位計は、港内静穏域、潮位観測記録装置はデータ中継装置建屋に設置されている。東京電力の記者会見(4月9日)によると、津波の最初の大きな波は、15時27分頃(地震発生41分後)に到達し、水位は約4mであった。次に大きな波は、15時35分に到達した波であり、潮位計が損傷したため水位は不明である。潮位計の測定範囲は7.5mである。

福島第一原子力発電所の敷地高さは1~4号機が10m、5号機及び6号機は13mである。これらの敷地には、津波が敷地前面海域から襲来し、主要建屋設置敷地のほぼ全域が冠水した。東京電力は、浸水時の痕跡調査結果に基づき浸水高さを報告している。報告結果を図 III-2-4中に示す。1~4号機の原子炉建屋、タービン建屋等の海側の敷地の浸水高さは、図中 H~K 地

点において、O.P.約+14～15 m(O.P.:小名浜港工事基準面)である。今回の地震による津波水位について、専門家は、東京電力より公開された津波の防波堤(10m)の越流状況の写真(図 III-2-5 参照)に基づき、10m 以上と推定している。

今回の地震では、宮城県から福島県の沿岸域の平均的な沈降は約 0.8m となっているが、津波の襲来時には地盤の沈降により、敷地高さが変化することもあることを考慮する必要がある。

b 設計津波水位と観測津波水位との関係

設置許可申請書では、図 III-2-6 に示すようにチリ地震(M9.5、1960 年)を対象波源とし、設計津波水位を 3.1m としている。2002 年に、東京電力は、土木学会原子力土木委員会津波評価部会の「原子力発電所の津波評価技術(2002 年)」(以下、津波評価技術という。)[III2-2]に基づき、図 III-2-6 中に示す福島県沖地震(M7.9、1938 年)を自主的に M8.0 として設計津波水位を評価し、各号機の水位を 5.4m から 5.7m とした。この評価結果に基づき、6 号機非常用ディーゼル発電機の海水系ポンプの電動機部分の据付け高さを 20cm、同じく高圧炉心スプレー用の海水ポンプの電動機部分の据付け高さを 22cm かさ上げした。

上記の土木学会の津波評価技術は、IAEA の津波技術基準 DS417[III2-3]にも反映されている。しかしながら、この評価法は、津波の再来周期を特定していない。

地震関連の審査のために開催された第 32 回耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ(2009 年 6 月 24 日)において、869 年貞観地震による津波について、産業技術総合研究所や東北大学の調査報告が出ているが、この津波の原因となった地震について触れられていないとの指摘があった。これに対して原子力安全・保安院は、第 33 回合同ワーキンググループ(2009 年 7 月 13 日)において、貞観地震による津波について新たな知見が得られた場合、設計用津波水位の評価に貞観地震を考慮するよう事業者に求めた。

c 確率論的津波ハザード評価と設計津波水位の超過確率

土木学会津波評価部会は、確率論的津波ハザード解析手法について検討を進めている。検討の一環として、津波ハザード評価手法や津波の超過確率の試評価結果(図 III-2-7)が既に発表

されているが[III2-4～III2-6]、完成には至っていない。その他の津波ハザードの試評価も発表されている[III2-7]。

③ 被害関係

a 外部電源関係

福島第一原子力発電所の外部電源の送電網とその被害状況を、図 III-2-8(a)及び図 III-2-8(b)に示す。同図に示すように、新福島変電所からの大熊線 1L 及び 2L(275kV)が 1、2 号機用の開閉所を經由して、1 号及び 2 号機の常用高压配電盤に、さらに、東北電力からの東電原子力線(66kV)が 1、2 号機用の開閉所を經由して 1 号機常用高压配電盤に接続されていた。3、4 号機は同様に大熊線 3L 及び 4L(275kV)が 3、4 号機用の開閉所を經由して、3、4 号機の常用高压配電盤に接続されていた。5、6 号機も同様に夜の森線 1L 及び 2L(66kV)が 5、6 号機常用高压配電盤に接続されていた。

また、1 号常用高压配電盤、2 号常用高压配電盤及び 3、4 号機常用高压配電盤は相互に接続されており、電力融通が可能な状態であった。地震当日の送電状況は、3、4 号開閉所内の大熊線 3L 用開閉施設が工事中だったため、結果として福島第一原子力発電所には合計 6 回線の外部電源が接続されていた。新福島変電所は、敷地から約 8km の位置にあり、今回の地震による震度は 6 強と予想されている。

地震により、1、2 号機の開閉所の遮断器が損傷し、東北電力からの東電原子力線についても、原因は推定できないが、ケーブルが損傷した。3、4 号機は、工事中的大熊線 3L に加え、新福島変電所側の 3L 及び 4L の遮断器等が損傷した。また、5、6 号機は、開閉所に接続する送電鉄塔 1 本(#27 鉄塔)が倒壊した。結果として 1 号機から 6 号機までの全ての外部電源が失われた。

b 海水系ポンプ及び非常用電源系

福島第一原子力発電所の補機冷却用海水ポンプ施設(高さ 5.6～6m)は、図 III-2-4 に示すように、津波によって全号機が冠水した。津波の波力によって損傷したかは確認中である。また、原子炉建屋やタービン建屋の地下階(高さ 0m～5.8m)に設置されている非常用ディーゼル発電機及び配電盤が、6 号機を除き冠水し、非常用電源の供給が失われた。6 号機については、3

台ある非常用ディーゼル発電機のうち 2 台は、原子炉建屋の地下 1 階に設置されていて冠水したが、1 台は、ディーゼル発電機建屋 1 階に設置されていたので冠水せず、非常用電源の供給が可能であった。

(2) 福島第二原子力発電所で観測された地震動及び津波

① 地震動関連

a 地震動観測システム及び観測記録と観測地震動

福島第二原子力発電所の地震動観測システムは、基本的に前述の 2.(1) 福島第一原子力発電所と同様である。福島第二原子力発電所には、地震計は 43 箇所設置されている。これら全地震計で本震による地震動の加速度時刻歴データが収録された。しかし、福島第一原子力発電所と同様に、記録装置のソフトウェアの不具合が原因で、11 箇所の地震計の記録が 130～150 秒程度で中断している。

原子炉建屋基礎版上の水平方向 2 成分(東西・南北)及び上下方向の計 3 成分の観測記録の最大加速度の一覧を表 III-2-2 に示す。水平方向の最大加速度は 3 号機の 277Gal(南北方向)、上下方向は 1 号機の 305Gal であった。

b 基準地震動 S_s と観測地震動との関係

基準地震動 S_s (S_{s1} ～ S_{s3}) は、耐震バックチェックにおいて、福島沖のプレート境界地震、敷地下方のスラブ内地震、敷地周辺の活断層及び震源を特定せず策定する地震を対象としており、これらによる地震動を包絡するように策定されている。原子炉建屋内地下 1 階基礎版での基準地震動 S_s に対する最大応答加速度を表 III-2-2 中に示す。表から、全号機の観測記録の最大加速度は S_s に対する最大応答加速度より小さい。

水平方向の加速度が最も大きかった 3 号機の建屋基礎版上の観測地震動の応答スペクトル及び時刻歴波形を図 III-2-9 に示す。同図には、基準地震動 S_s を原子炉建屋に入力した場合の建屋基礎版の応答スペクトルを併せて示す。この図から、観測記録による応答スペクトルは、基準地震動 S_s に対する建屋基礎版上の応答スペクトルを下回っていることがわかる。

c 確率論的地震ハザード評価と基準地震動 S_s の超過確率

福島第二原子力発電所の超過確率別速度応答スペクトル地震ハザードを図 III-2-10 に示す。図中には、Ss-1H 及び Ss-2H の応答スペクトルも示している。同図から、基準地震動 Ss の超過確率は、 10^{-4} ～ 10^{-6} /年の範囲にあるとわかる。

② 津波関連

a 潮位観測システム及び観測記録

福島第二原子力発電所の潮位観測システムは、基本的に前述の 2.(1) 福島第一原子力発電所と同様である。東京電力の記者会見(4月9日)によると、最初の大きな波は、15時23分頃(地震発生37分後)に到達し、その後、15時35分に次の大きな波が到達した。その後の状況は不明である。

潮位計が損傷したため、観測記録は保存されなかった。そのため、津波水位の時刻歴波形や最大水位は不明である。

東京電力は、前述の 2.(1) 福島第一原子力発電所と同様に、浸水時の痕跡調査結果に基づき浸水高さを報告している。報告結果を図 III-2-11(a)に示す。福島第二原子力発電所は、海水ポンプ等が設置されている海側エリアと、原子炉建屋、タービン建屋等が設置されている一段高い山側エリアからなる。津波は、敷地前面の海側エリアから浸水し、その後、図に示すように、山側エリアのうちの 1 号機南側と斜面間の狭隘部から浸水し、山側エリアの背後まで達した。この狭隘部以外からの浸水はなかった。海側エリアの浸水高さは O.P.約+6.5～7m(O.P.:小名浜港工事基準面)、山側エリアでは O.P.約+14～15m であった。

b 設計津波水位と観測津波水位との関係

設置許可申請書では福島第一原子力発電所と同様チリ地震(M9.5、1960年)を対象波源として、各号機の設計津波水位を 3.1m～3.7m としている。前述の土木学会の津波評価技術(2002年)に基づく評価では、福島第一原子力発電所と同様に福島県沖地震(M7.9、1938年)を M8.0 として評価し、各号機の設計津波水位を 5.1m～5.2m としている。

③ 被害関係

a 外部電源関係

福島第二原子力発電所の外部電源の送電網は、1～4号機が供

用で敷地内超高圧開閉所と敷地外の富岡線 1、2 号 (500kV) の 2 回線、岩井戸線 1、2 号 (66kV) の 2 回線の計 4 回線があり、これらは 8km 上流の新福島変電所に繋がり、更に約 40km 上流の新しいわき開閉所へ繋がっている。そのうち、岩井戸線 1 号は点検中で、送電を停止していた。

新福島変電所周辺地域における地震動の強さは、震度 6 強と推定されている。福島第二原子力発電所 1~4 号機への 500kV 富岡線 2 号線と 66kV 岩井戸線 2 号線が変電所側機器の地震による故障のため送電を停止した。しかし、富岡線 1 号が送電可能であったことにより、1~4 号機の電源供給は継続された(図 III-2-8(a) 参照)。

b 海水系ポンプ及び非常用電源系

補機冷却用海水ポンプ施設(高さ 6m)のうち、3 号機のもは、津波による冠水を免れ、機能を確保したが、他の号機は、冠水し機能を喪失した。

原子炉建屋地下階(高さ 0m)に設置の非常用ディーゼル発電機のうち、3 号機及び 4 号機のもは機能を確保したが、その他の号機は冠水により機能を喪失した(図 III-2-11(b) 参照)。

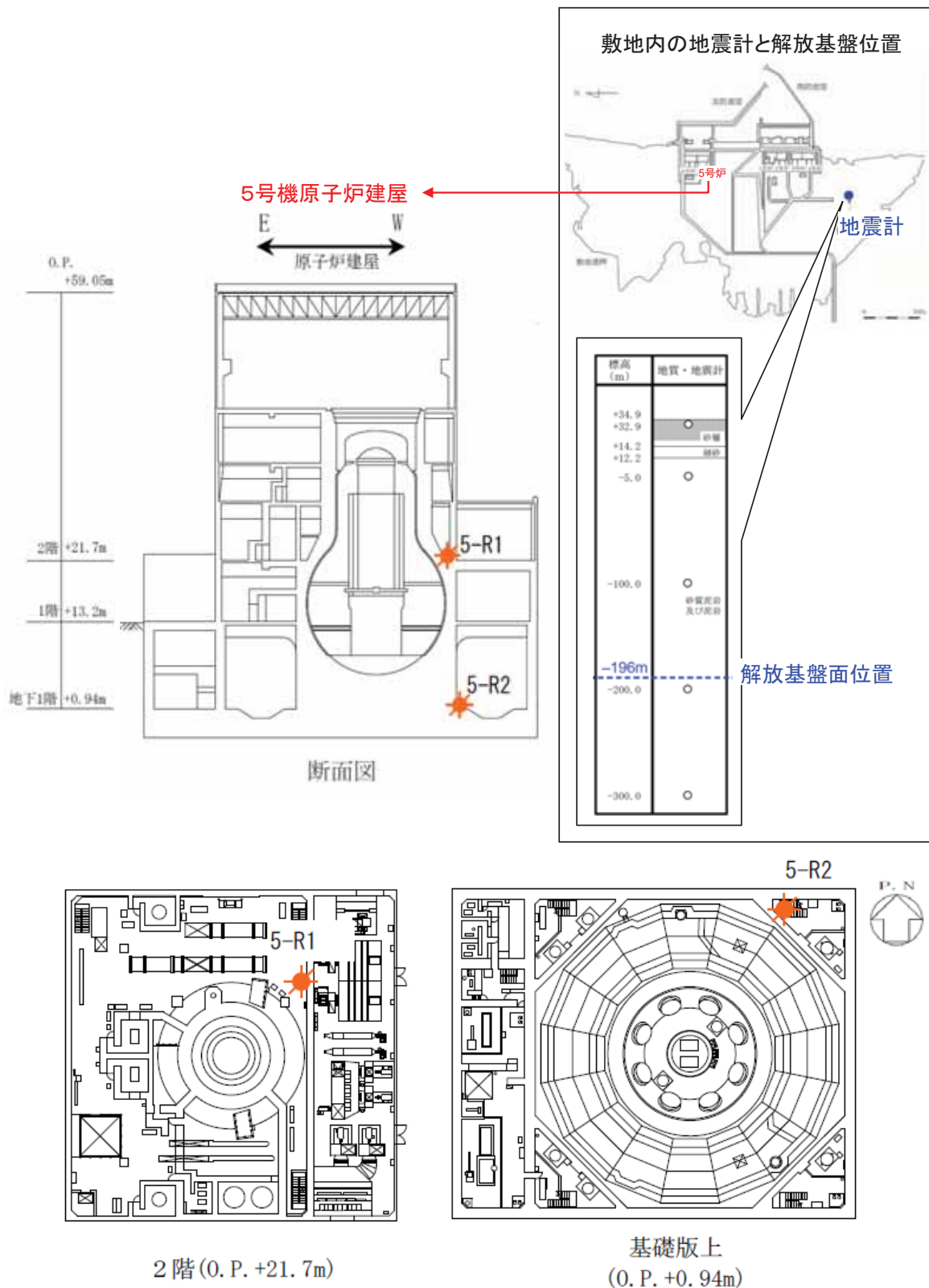
このように 3 号機だけが、補機冷却及び非常電源の機能が確保された。

参考文献

- [III2-1] 日本原子力学会, "原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準, 日本原子力学会標準, 2007, " AESJ-SC-P006 : 2007, 2007 年 9 月.
- [III2-2] 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 年 2 月.
- [III2-3] IAEA, *IAEA Safety Standards: Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations*, DRAFT SAFETY GUIDE, DS417.
- [III2-4] 安中正, 佐竹健治, 榊山勉, 柳沢賢, 首藤伸夫, "確率論的津波ハザード解析の方法," 第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集, No.0013, pp.158-161, 2006.
- [III2-5] T. Sakai, T. Takeda, H. Soraoka, K. Yanagisawa and T. Annaka, "Development of a Probabilistic Tsunami Hazard

Analysis in Japan," 14th International Conference on Nuclear Engineering, ICON14-89183, pp.69-75,2007.

- [III2-6] 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.
- [III2-7] 杉野英治,岩淵洋子,国司清生,坂上正治,蛭沢勝三,"南海トラフの地震発生の変動性が地域別津波ハザードに及ぼす影響,"第13回日本地震工学シンポジウム, 2010.



図III-2-1 福島第一原子力発電所敷地内及び原子炉建屋（5号機）の地震計配置図

表 III-2-1 福島第一原子力発電所・原子炉建屋基礎版上の最大加速度

観測点 (原子炉建屋最地下階)		観測記録 (暫定値 ^{※1})			基準地震動 Ss に対する 最大応答加速度値 (ガル)		
		最大加速度値 (ガル)			南北方向	東西方向	上下方向
		南北方向	東西方向	上下方向			
福島第一	1号機	460 ^{※2}	447 ^{※2}	258 ^{※2}	487	489	412
	2号機	348 ^{※2}	550 ^{※2}	302 ^{※2}	441	438	420
	3号機	322 ^{※2}	507 ^{※2}	231 ^{※2}	449	441	429
	4号機	281 ^{※2}	319 ^{※2}	200 ^{※2}	447	445	422
	5号機	311 ^{※2}	548 ^{※2}	256 ^{※2}	452	452	427
	6号機	298 ^{※2}	444 ^{※2}	244	445	448	415

※1：これらの記録については暫定値であるため、今後の検討により変更となる可能性がある。

※2：記録開始から約130～150秒程度で記録が終了

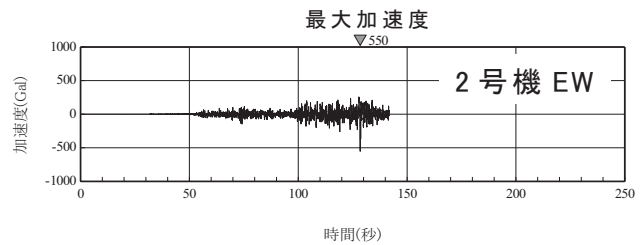
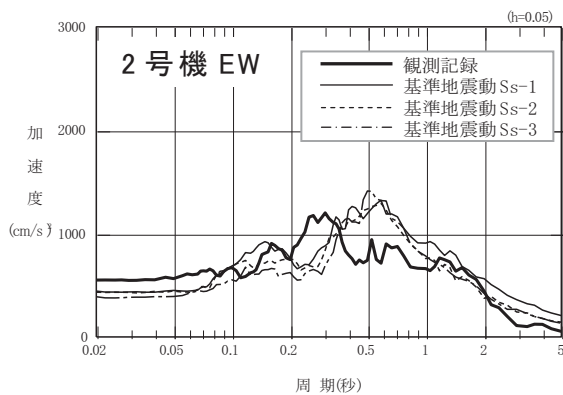


図 III-2-2 (a) 福島第一原子力発電所・原子炉建屋基礎版上の加速度記録

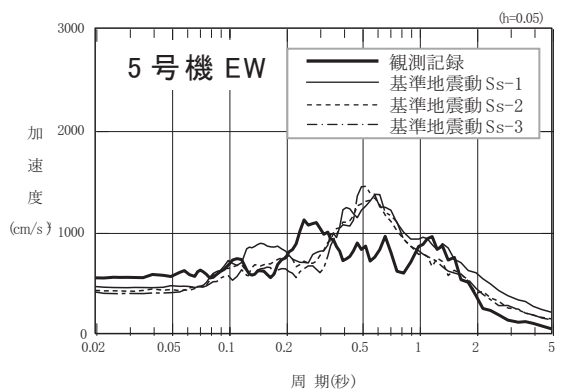
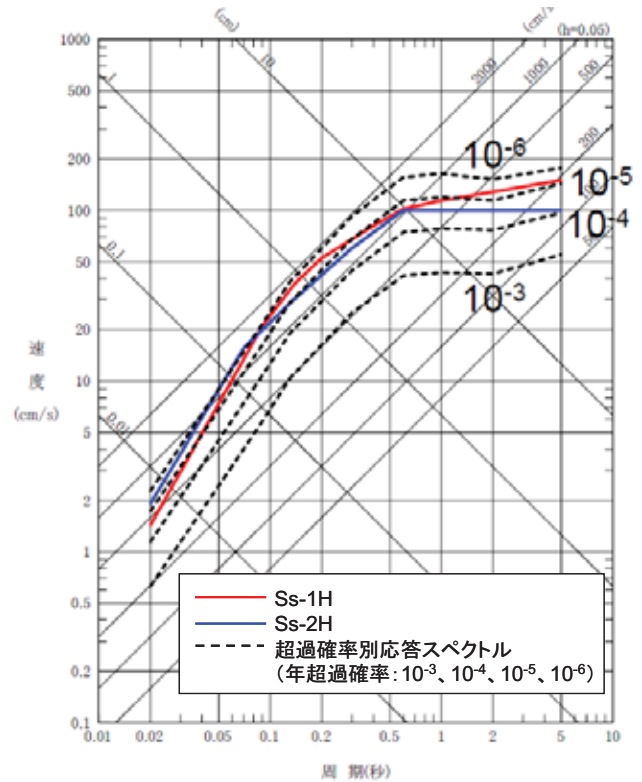
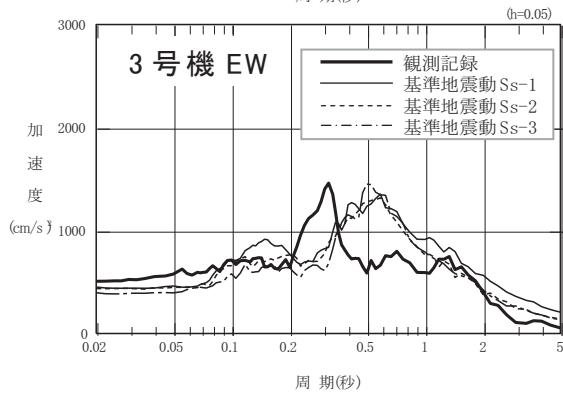


図 III-2-2 (b) 福島第一原子力発電所・原子炉建屋基礎版上の応答スペクトル

図 III-2-3 福島第一原子力発電所の基準地震動 Ss の超過確率

(各図表：東京電力提供)



【福島第1原発 津波来襲状況 2011年3月11日 固体廃棄物貯蔵庫東側のり面(5号機の近傍)から東側を撮影】=東京電力提供

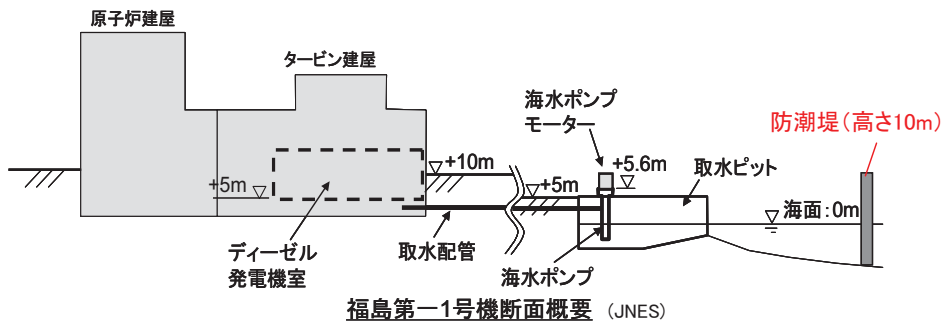


【福島第1原発 津波来襲状況 2011年3月11日 固体廃棄物貯蔵庫東側のり面(5号機の近傍)から東側を撮影】=東京電力提供



【福島第1原発への津波来襲状況 2011年3月11日 廃棄物処理棟4階から北側を撮影】午後3時43分ごろ(2)=東京電力提供

図III-2-4(b) 福島第一原子力発電所の津波による被害状況(2)



【福島第1原発 津波来襲状況 2011年3月11日 固体廃棄物貯蔵庫東側のり面(5号機の近傍)から南側から東側を撮影】=東京電力提供

図III-2-5 福島第一原子力発電所の防潮堤を越流する津波の状況

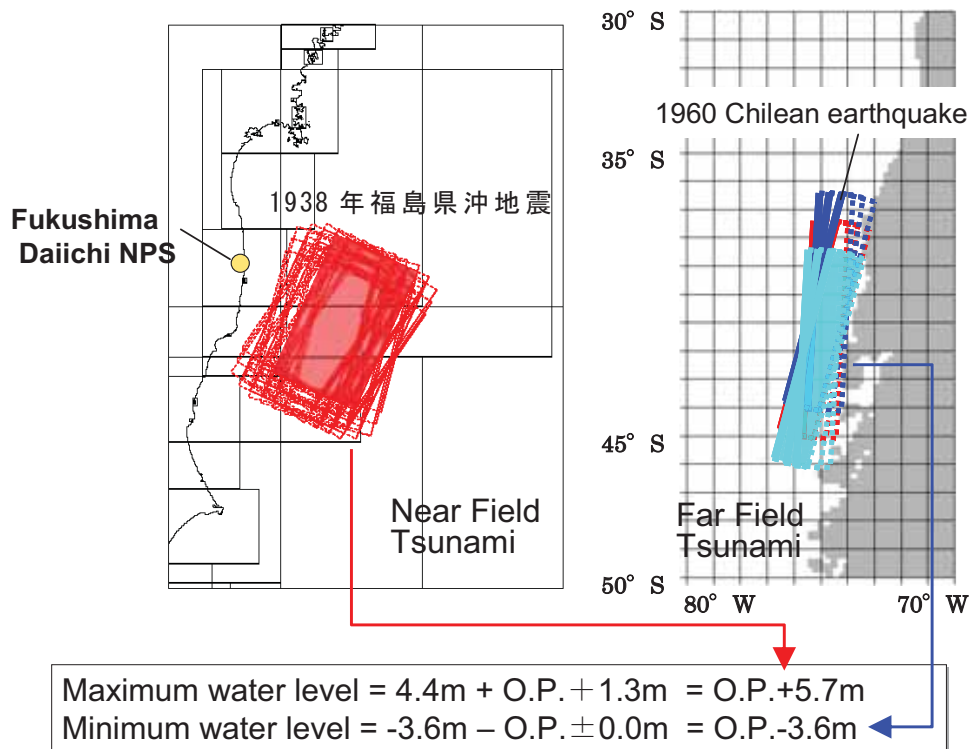
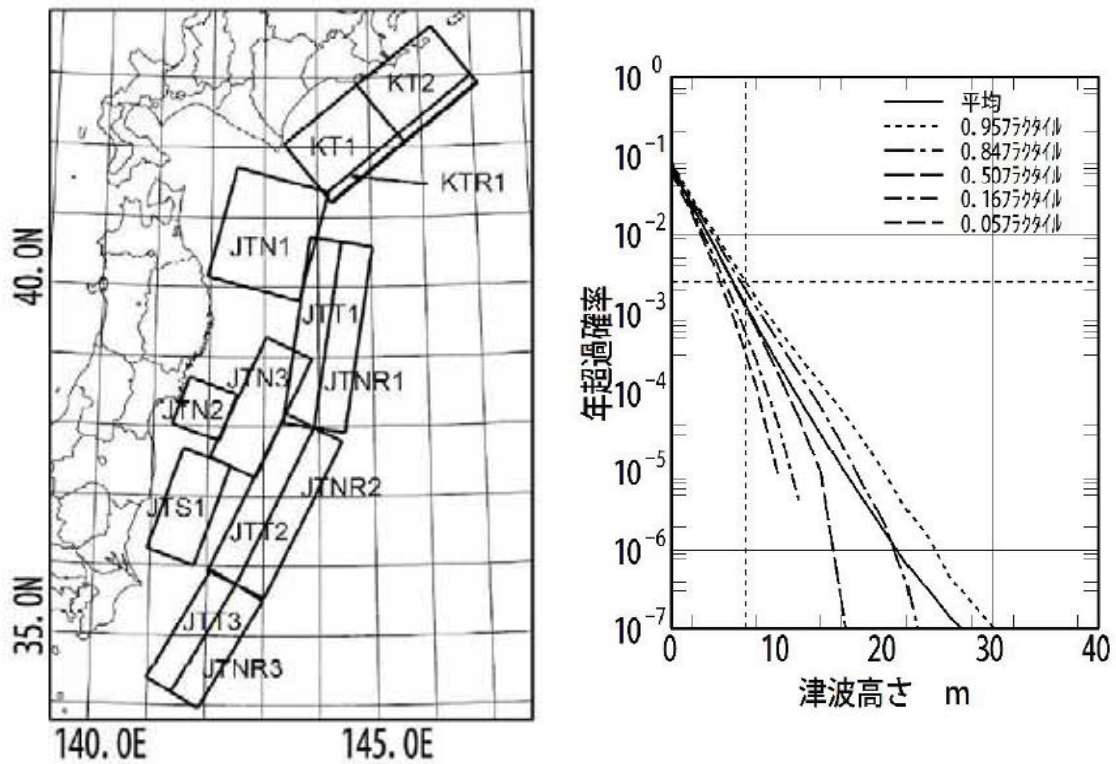


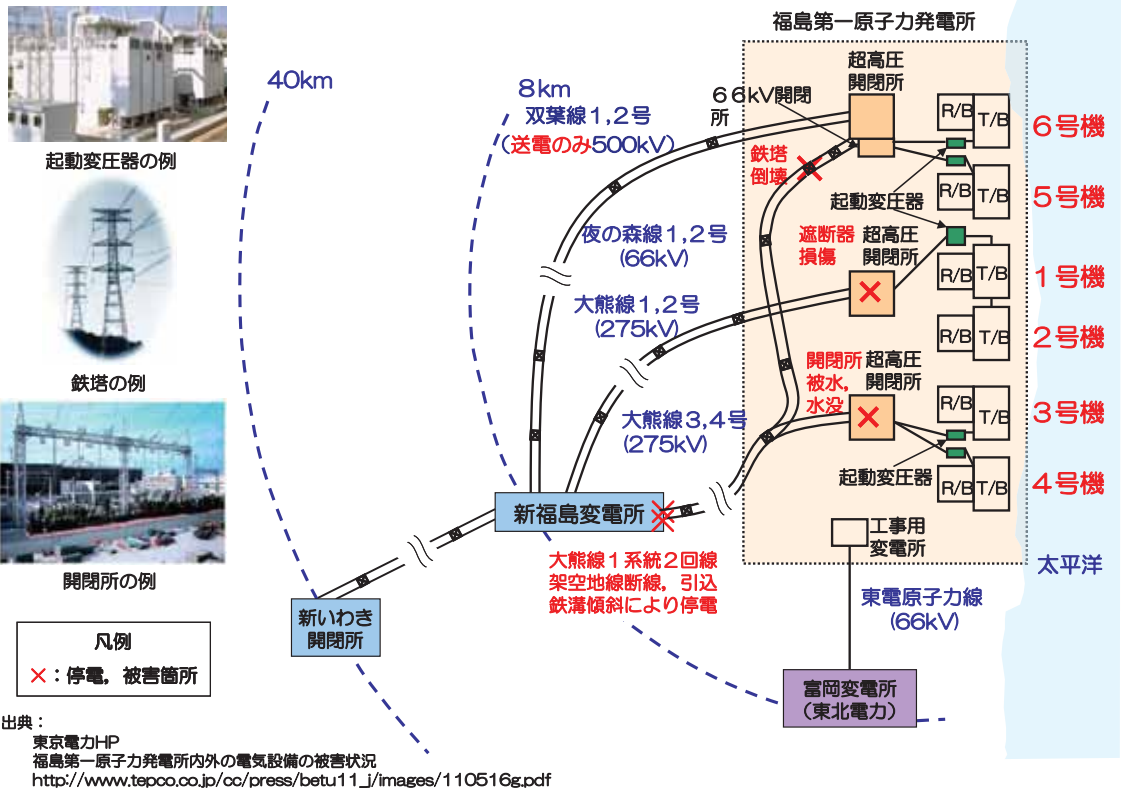
図 III-2-6 東京電力が評価した福島第一原子力発電所の設計津波水位
 (高尾/東京電力; 第1回柏崎国際原子力耐震安全シンポジウム2010、発表資料より引用)



[文献 III2-6] 原子力土木委員会津波評価部会, 土木学会論文集より引用

図III-2-7 土木学会・近地及び遠地の津波波源を考慮した津波ハザード
 試算結果(評価サイト: 岩手県山田町)

〔福島第一原子力発電所〕



〔福島第二原子力発電所〕

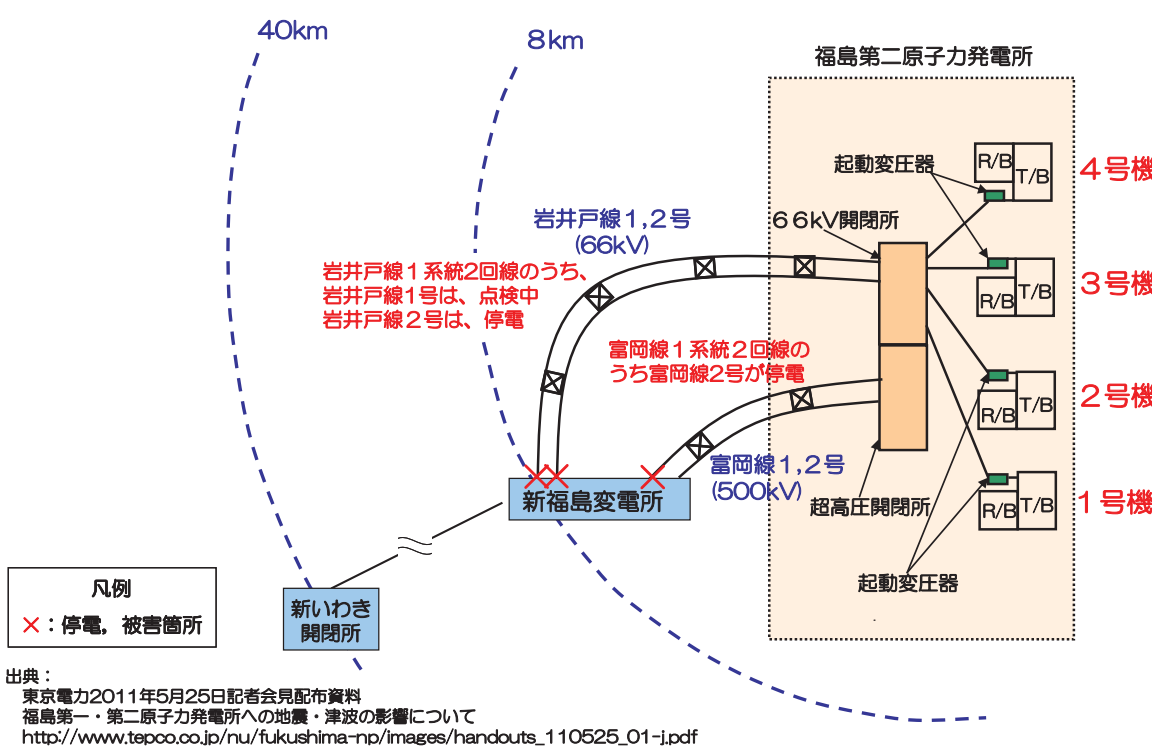


図 III-2-8(a) 福島第一・第二原子力発電所の外部電源施設の被害状況(1)



撮影：東京電力株式会社 H23.3.23

写真 大熊線 1L 遮断器損傷状況



撮影：東京電力株式会社 H23.3.23

写真 大熊線 2L 遮断器損傷状況



撮影：東京電力株式会社 H23.3.12

写真 大熊線 3L 架空地線断線状況



撮影：東京電力株式会社 H23.3.11

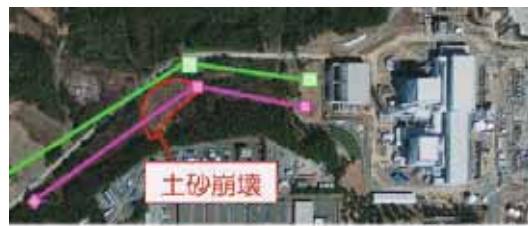
写真 大熊線 3L, 4L 引込鉄溝 傾斜状況



撮影：東京電力株式会社 H23.3.12

撮影：東京電力株式会社 H23.3.12

写真 新福島変電所 夜の森線 構内ケーブル
付近 陥没状況
(写真左 1L, 写真右 2L)



©GeoEye

写真 福島第一原子力発電所法面の土砂崩壊



撮影：東京電力株式会社 (H23.4.12撮影)

写真 土砂崩壊（法面崩壊箇所）全景



撮影：東京電力株式会社 (H23.3.18撮影)

写真 土砂崩壊による夜の森線鉄塔の倒壊

(写真：東京電力提供)

図 III-2-8(b) 福島第一・第二原子力発電所の外部電源施設の被害状況(2)

表 III-2-2 福島第二原子力発電所・原子炉建屋基礎版上の最大加速度

観測点 (原子炉建屋最地下階)		観測記録 (暫定値 ^{※1})			基準地震動 Ss に対する 最大応答加速度値 (ガル)		
		最大加速度値 (ガル)			南北方向	東西方向	上下方向
		南北方向	東西方向	上下方向			
福島第二	1号機	254	230 ^{※2}	305	434	434	512
	2号機	243	196 ^{※2}	232 ^{※2}	428	429	504
	3号機	277 ^{※2}	216 ^{※2}	208 ^{※2}	428	430	504
	4号機	210 ^{※2}	205 ^{※2}	288 ^{※2}	415	415	504

※1：これらの記録については暫定値であるため、今後の検討により変更となる可能性がある。

※2：記録開始から約130～150秒程度で記録が終了

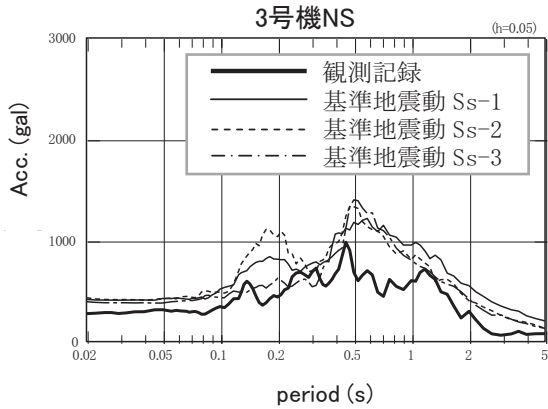
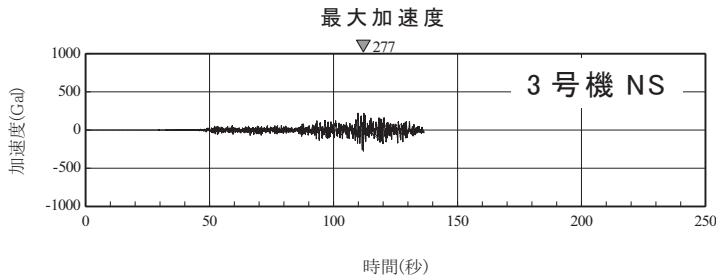
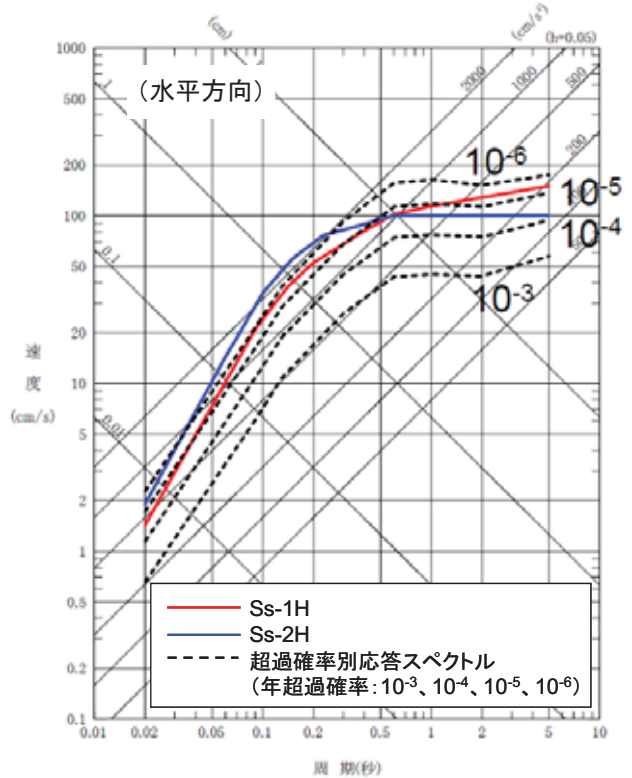


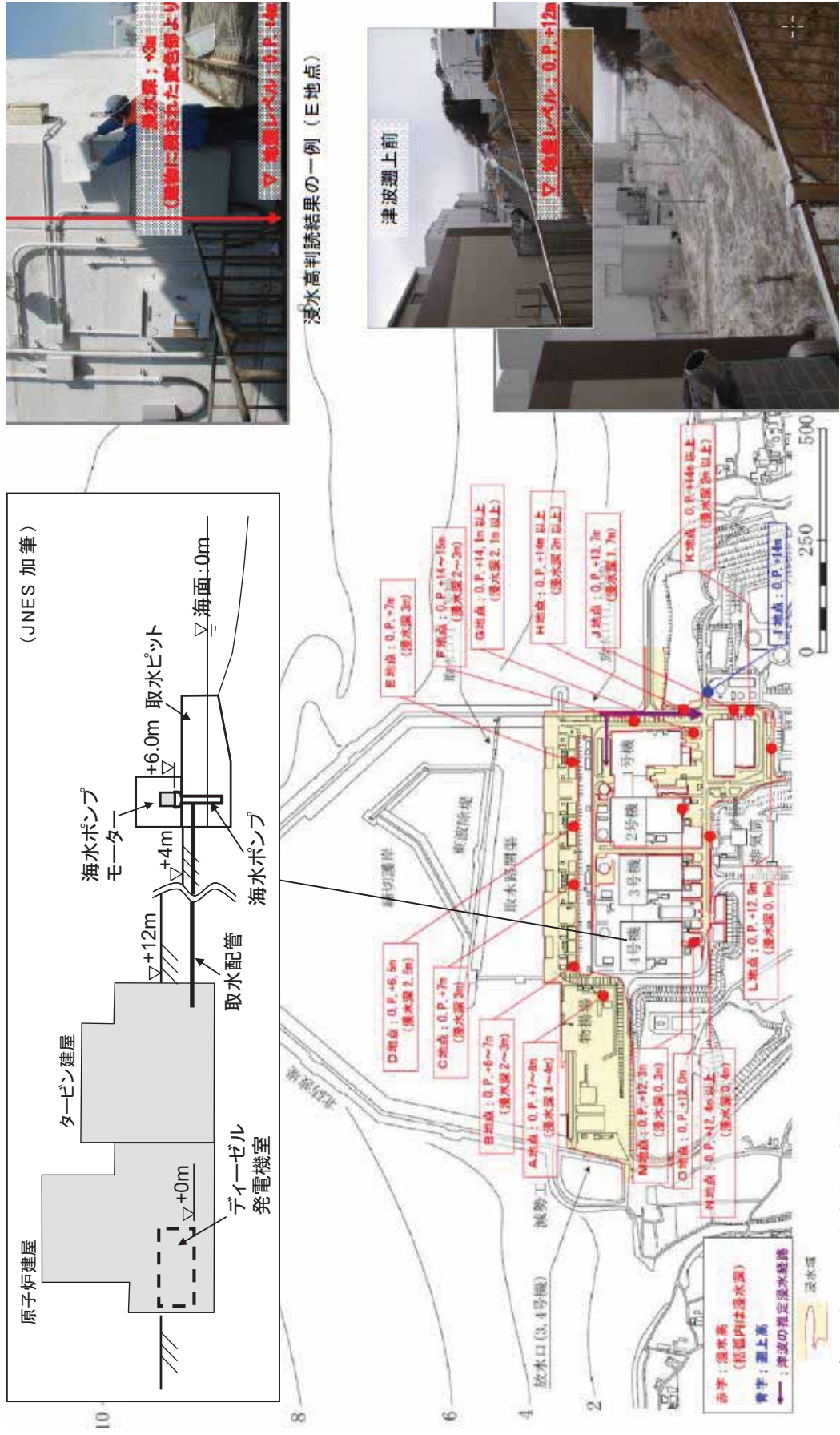
図 III-2-9 福島第二原子力発電所・原子炉建屋基礎版上の応答スペクトル (3号機)

(各図表：東京電力提供)



(水平方向)

図III-2-10 福島第二原子力発電所の基準地震動 Ss の超過確率



(写真,浸水域図:東京電力提供)

図III-2-11(a) 福島第二原子力発電所の津波による被害状況(1)

〔熱交換器建屋及び熱交換器の被害状況(1号機)〕



〔原子炉建屋及び非常用ディーゼル発電機の被害状況(1号機)〕



(写真: 東京電力提供)

図III-2-11(b) 福島第二原子力発電所の津波による被害状況(2)

3. その他の原子力発電所を襲った地震と津波による被害

(1) 女川原子力発電所で観測された地震動及び津波高さ

①地震動関連

a 地震動観測システム及び観測記録と観測地震動

地震動観測システムは、地震計及び観測記録装置からなる。地震計は、1号機では原子炉建屋の4か所(屋上、燃料取り替え床(5階)、1階、基礎版上)、2号機では原子炉建屋の4か所(燃料取り替え床(3階)以外1号機と同じ)、3号機は、2号機と同じである。地震計は敷地内の岩盤(解放基盤相当)上部にも設置されている。地震計では、水平2成分、上下成分の加速度時刻歴波形を観測する。

原子炉建屋基礎版上の水平方向2成分(東西・南北)及び上下方向の計3成分の観測記録の地震動の最大加速度の一覧を表III-3-1に示す。基礎版上での水平方向での最大加速度は、2号機の607Gal(南北方向)で、鉛直方向では、1号機の439Galであった。

b 基準地震動 S_s と観測地震動との関係

基準地震動 S_s (S_s -B、 S_s -D、 S_s -F)は、耐震バックチェックにおいて、連動型想定宮城県沖地震、敷地直下のスラブ内地震、敷地周辺の活断層及び震源を特定せず策定する地震を対象として、これらによる地震動を包絡するように策定されている。

建屋内の地震計設置位置での基準地震動 S_s に対する最大応答加速度を表III-3-1に示す。表から、観測記録の最大加速度の多くは基準地震動 S_s に対する最大応答加速度より小さい。しかし、1号機(東西・南北方向)、2号機(南北方向)、3号機(南北方向)の基礎版上での観測記録の最大加速度は、基準地震動 S_s に対する最大応答加速度より幾分大きい。また、鉛直方向の各号機の基礎版上での観測記録の最大加速度は、基準地震動 S_s に対する最大応答加速度より小さい。

敷地内の岩盤上部で観測された地震動の応答スペクトルと基準地震動 S_s の応答スペクトルとの比較図を図III-3-1に示す。観測地震動の応答スペクトルは、周期0.2秒～1.0秒の範囲で、基準地震動 S_s による応答スペクトルを上回っている。

c 確率論的地震ハザード評価と基準地震動 S_s の超過確率
女川原子力発電所の超過確率別応答スペクトル地震ハザードを図 III-3-2 に示す。図中には、 S_s-D_h の応答スペクトルも示している。 S_s の超過確率は、 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ /年程度の範囲にある。

② 津波関連

a 潮位観測システム及び観測記録

潮位観測システムは、潮位計及び観測記録装置からなる。潮位計は、港内静穏域に、津波観測記録装置は、建屋に設置されている。

潮位計で記録された津波時刻歴波形を図 III-3-3 に示す。この潮位計の記録から、津波の最初の大きな波は、15 時 29 分頃（地震発生 43 分後）に到達した。観測された最大水位は、O.P. 約 13m (O.P.:女川原子力発電所工事用基準面)であり、最大水位は、敷地高さ O.P.13.8m (敷地高さ 14.8m に地殻変動による沈降約 1m (国土地理院速報値)を考慮)を超えなかった(図 III-3-4 参照)。海側の敷地で海水が浸入した跡が認められたが、主要な建屋には到達しなかった。

b 設計津波水位と観測津波水位との関係

設計津波水位は、設置許可申請書では慶長三陸地震 (M8.6、1611 年)での 9.1m、前述の土木学会の津波評価技術 (2002 年)に基づく評価では明治三陸地震 (M8.3、1896 年)での 13.6m となっている。上記の設計津波水位は、上記観測津波水位より大きい。

③ 被害関係

a 外部電源関係

1～3 号機は、敷地から約 25km 離れた石巻変電所より 275kV1 系統 2 回線、約 65km 離れた宮城中央開閉所より 275kV1 系統 2 回線及び女川原子力変電所より 66kV1 系統 1 回線の外部電源用の送電網により電力の供給を受けるシステムとなっている。

今回の地震による石巻変電所周辺地域における地震動の強さは、震度 6 強、宮城中央開閉所では 6 弱と推定される。地震動によって 275kV2 系統 3 回線及び 66kV1 系統 1 回線の送電が停

止した。発電所敷地内の受電設備のうち、1号機起動変圧器が故障し、受電不可となった。3月12日に起動変圧器が復旧し、外部常用電源(275kV)へ切り替えられ、通常の電源系統に復帰した。

b 海水系ポンプ及び非常用電源系

補機冷却系の取水口、海水ポンプ、海水ポンプ室、熱交換器室の設置状況を図 III-3-5(a)及び図 III-3-5(b)に示す。海水ポンプ室は、図に示すように、海岸から約100m離されていると共に、敷地14.8mの高い場所に設置され、津波遡上による冠水を防ぐ構造となっている。海水ポンプ室内には、水位計が開口部を設け設置されている。同水位計は津波の引き波による海水不足の状態を想定し、海水ポンプの自動停止用のものであり、工夫がなされている。

観測された津波水位は13mであり、地盤沈降があったものの津波による海水ポンプ室(沈降約1mを考慮した場合の敷地高さ13.8m)への直接の冠水はなかった。しかし、津波水位が上昇するにつれ、図 III-3-5(b)中に示す地下取水ピットの水位もサイホン現象によって上昇し、海水が水位計の開口部から海水ポンプ室へ溢れでた。その後、海水は同ポンプ室から原子炉建屋地下階へトレンチを經由して伝わり、地下2階の補機冷却系熱交換器室が浸水した。2号機の補機冷却系ポンプも浸水したことにより、非常用ディーゼル発電機の冷却機能が失われ、同発電機3台のうち2台が停止した。

東北電力は、海水ポンプ室からトレンチへの配管貫通部及びケーブルトレイ貫通部に対し浸水防止策を行った。今後、海水ポンプ室内の水位計を取り外し、浸水防止を考慮した場所に移設し、更に、海水ポンプ室周辺に防潮壁を設置すると公表した。

④ 本震及び余震による原子炉建屋の健全性評価

a 本震の場合

解放基盤表面相当位置での観測記録の応答スペクトルは基準地震動 S_s に対する応答スペクトルを、一部周期帯において上回った。

原子力安全・保安院では、東北電力に対し、各号機ごとに機器・配管の「点検・評価に関する計画書」を作成し、点検・評

価を実施することを指示した。

東北電力は、原子炉建屋の健全性評価を中越沖地震(2007年7月)における柏崎刈羽原子力発電所の建屋構造健全性評価手順と同様の手順に基づき行った。1号機から3号機の原子炉建屋の応答解析は、建屋基礎版上の観測加速度記録を入力地震動として行われた。各号機の建屋各階別のせん断ひずみ及びせん断力を図 III-3-6 に示す。図から、各階のせん断ひずみは、JEAG4681-2008 の評価基準値 (2.0×10^{-3}) を下回り、せん断力も弾性限耐力を下回った。評価基準値と各階のせん断ひずみ結果との比は、約 2.5~5.6 である。

原子力安全基盤機構は、中越沖地震を対象とした柏崎刈羽原子力発電所 1、5、6、7 号機の原子炉建屋の健全性評価を行った。それらの評価基準値とせん断ひずみの比は、上記と同等以上であった。

b 余震の場合

女川原子力発電所周辺での4月7日の余震は、地震規模 M7.1、震源深さ約 66km で、スラブ内で発生したと推定される。原子力安全・保安院は、東北電力に対して、4月13日付けで、同余震時に取得された地震観測データの分析を行うと共に、安全上重要な設備の耐震安全性の確認を指示した。東北電力は、4月25日付けで、上記地震観測データの分析結果を報告した。同報告には、2号機原子炉建屋(3階、屋上)及び3号機原子炉建屋(3階)での鉛直方向の観測最大加速度は、基準地震動 S_s による最大応答加速度を上回っていること、観測記録の応答スペクトルが基準地震動 S_s による水平応答スペクトルの一部周期帯で上回っていること、原子炉建屋の機能が維持されていることが記述されている。

(2) 東海第二発電所で観測された地震動及津波高さ

① 地震動関連

a 地震動観測システム及び観測記録と観測地震動

地震動観測システムは、地震計及び観測記録装置からなり、原子炉建屋 8 か所(6階、4階、2階に各 1 箇所、地下 2 階基礎版上 5 箇所)に設置されている。地震計は、水平 2 成分、上下成分の加速度時刻歴波形を観測する。

原子炉建屋で観測された水平方向および鉛直方向の最大加速

度を表 III-3-2 に示す。原子炉建屋基礎版上での観測地震動の水平方向の最大加速度は、214Gal(南北方向)、鉛直方向は 189Gal であった。

b 基準地震動 S_s と観測地震動との関係

基準地震動 S_s (S_s -D、 S_s -1) は、耐震バックチェックにおいて、鹿島灘のプレート間地震、茨城県南部のスラブ内地震、敷地周辺の活断層層及び震源を特定せず策定する地震を対象として、これらによる地震動を包絡するように策定されている。

観測地震動の最大加速度は、工事認可申請書における基準地震動(以下、工認設計波という。)及び耐震バックチェックにおける基準地震動 S_s による最大応答加速度より小さかった。観測地震動の床応答スペクトルは、地下 2 階～6 階において、一部の周期帯(約 0.65 秒～約 0.9 秒)で工認設計波による床応答スペクトルを上回っていた。しかし、耐震設計上重要な機器・配管系の主要な設備の固有周期の付近では、観測地震動のスペクトルが工認設計波によるものより小さかった。

c 確率論的地震ハザード評価と基準地震動 S_s の超過確率

東海第二発電所の超過確率別応答スペクトル地震ハザードを図 III-3-7 に示す。図中には、 S_s -D_H の応答スペクトルも示している。図から、基準地震動 S_s の超過確率は、おおむね 10^{-4} ～ 10^{-5} /年程度である。

② 津波関連

a 潮位観測システム及び観測記録

潮位観測システムは、潮位計及び観測記録装置から構成されている。潮位計は、港内の静穏域に設置していたが、本津波が潮位計の測定可能範囲を超えていたこと、3 月 11 日 16 時 40 分以降は、電源喪失したことにより、潮位計の記録は保存されていない。したがって、当該発電所の海岸線における津波水位は不明である。津波の最初の大きな波は、15 時 15 分頃(地震発生 30 分後)に到達し、その水位は 5.4m であった。

日本原子力発電は、発電所敷地内における津波の痕跡高を調査している。調査結果を図 III-3-8 に示す。津波痕跡高は、H.P.+5.9m(標高 +5.0m、H.P.: 日立港工事基準面)～

H.P.+6.3m(標高+5.4m、暫定値)であった。これらの結果から、津波の遡上高は、H.P.+6.3m(標高+5.4m)程度(暫定値)であったと推定されている。津波は、主要建屋の設置レベルH.P.+8.9m(標高+8m)へは到達していない。

b 設計津波水位と観測津波水位との関係

設置許可申請書には設計津波水位は、記載されていない。土木学会による津波評価技術(2002年)に基づく評価では房総沖地震(M8.2、1677年)でのH.P.+5.8m(標高+4.9m)が求められている。

③ 被害関係

a 外部電源関係

東海第二発電所は、敷地から約15km離れた那珂変電所より275kV1系統2回線、及び約8km離れた茨城変電所より東海発電所開閉所を経て、外部予備電源154kV1系統の外部電源の供給を受けている。

那珂変電所周辺地域の地震動の強さは、震度6強、茨城変電所では6弱と推定されている。地震直後に、那珂変電所及び茨城変電所が地震動の影響によって停止し、全ての回線の送電が止まった。敷地内の受電設備のうち、主変圧器・起動用変圧器から絶縁油漏れが生じた。3月13日に外部予備電源154kV1系統1回線が復旧した。3月18日に外部常用電源(275kV1系統)への切り替えがなされ、通常状態に復帰した。

b 海水系ポンプ及び非常用電源系

津波は、図 III-3-8 に示す海水ポンプ室内の北側非常用海水ポンプエリアに浸水した。そのため、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ3台のうち1台が冠水し、非常用ディーゼル発電機3台のうち1台が停止した。他の2台の非常用ディーゼル発電機は稼働し、非常用電源を確保することができた。

北側非常用海水ポンプ室は、地震時に津波対策として側壁の嵩上げ工事中であった(H.P.+5.8m、標高+4.9m)。この工事では、側壁の外側にH.P.+7.0m(標高+6.1m)までの側壁を新たに設置したが、壁の貫通部(電気ケーブル等を通すための小さな穴)の封止(浸水を防ぐ)工事は完了していなかったため、貫通部

からポンプ室に海水が浸水した。

津波による遡上高は、H.P.+6.3m(標高+5.4m)程度であり、H.P.+7.0m(標高+6.1m)の側壁は越えていない。

④ 本震による原子炉建屋の健全性評価

観測地震動の床応答スペクトルは、工認設計波及び基準地震動 S_s を一部の周期帯において上回った。前述 3.(1)④の女川原子力発電所での原子炉建屋の健全性評価と同様の手順で、建屋健全性の評価が行われた。

(3) 東通原子力発電所の地震時の状況

東通原子力発電所は、今回の地震時に定期点検中で、原子炉は、停止中であつた。発電所において、地震動や津波による被害は報告されていない。原子炉建屋で観測された地震動は 17Gal であつた。この地震により地震直後に外部電源(むつ幹線及び東北白糖線)の電源供給が停止したが、非常用ディーゼル発電機が作動し、電源を供給した。その後、同日 23 時 59 分に東北白糖線の供給が復旧し、使用済み燃料貯蔵プール等の冷却が外部電源で可能となった。

表 III-3-1 女川原子力発電所・原子炉建屋基礎版上の最大加速度

観測位置		観測記録			基準地震動Ssに対する最大応答加速度値(ガル)		
		最大加速度値(ガル)			最大応答加速度値(ガル)		
		南北方向	東西方向	鉛直方向	南北方向	東西方向	鉛直方向
1号機	屋上	2000 ^{*6}	1636	1389	2202	2200	1388
	燃料取替床(5階)	1303	998	1183	1281	1443	1061
	1階	573	574	510	660	717	527
	基礎版上	540	587	439	532	529	451
2号機	屋上	1755	1617	1093	3023	2634	1091
	燃料取替床(3階)	1270	830	743	1220	1110	968
	1階	605	569	330	724	658	768
	基礎版上	607	461	389	594	572	490
3号機	屋上	1868	1578	1004	2258	2342	1064
	燃料取替床(3階)	956	917	888	1201	1200	938
	1階	657	692	547	792	872	777
	基礎版上	573	458	321	512	497	476

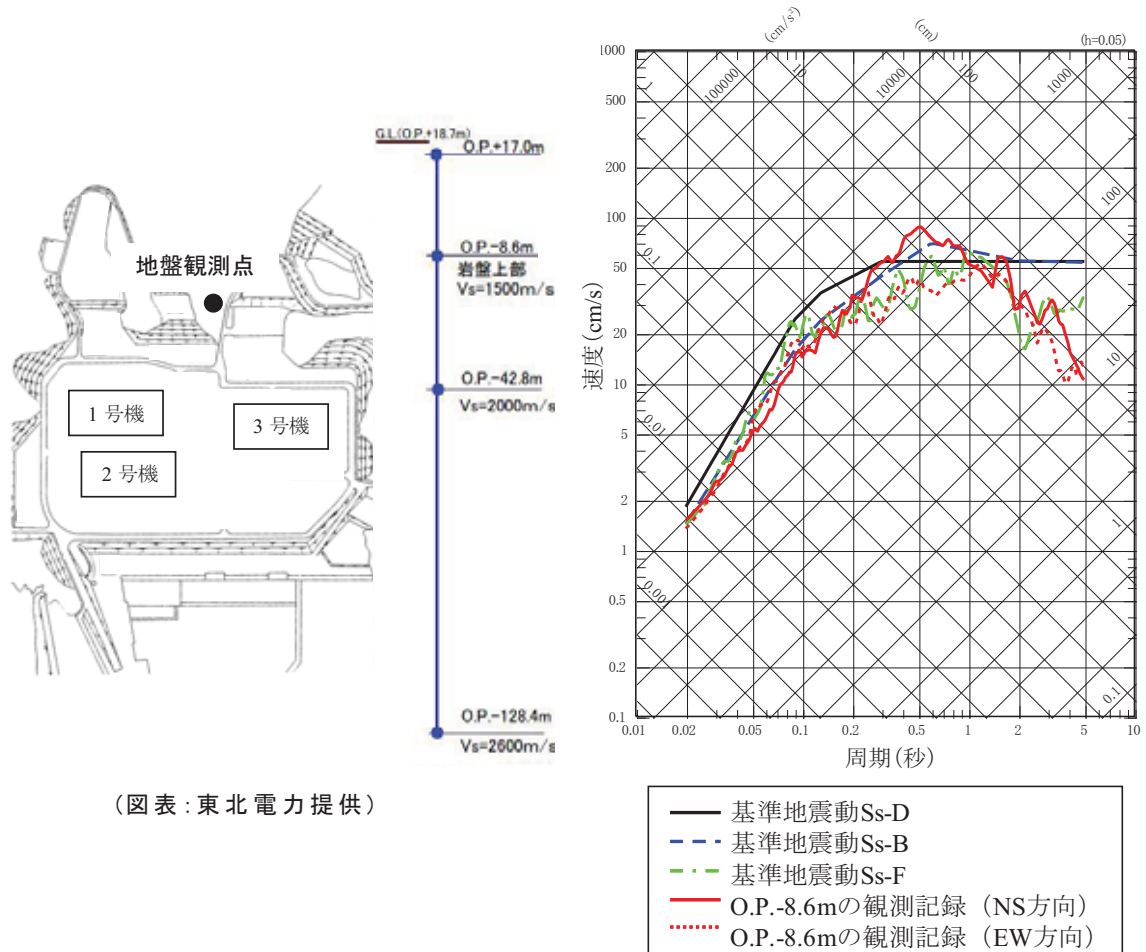
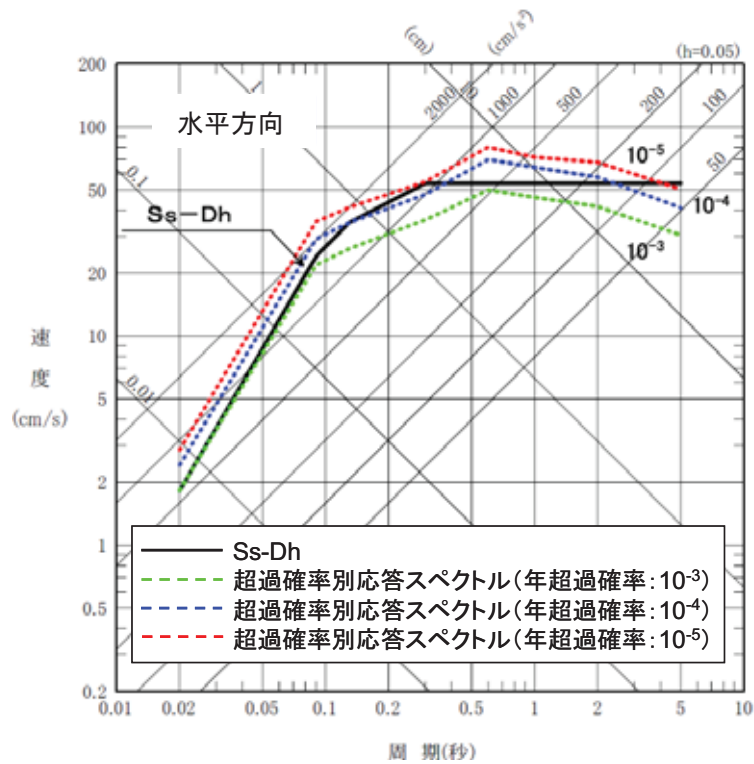


図 III-3-1 女川原子力発電所・岩盤上部の観測記録の応答スペクトル



図III-3-2 女川原子力発電所の基準地震動Ssの超過確率

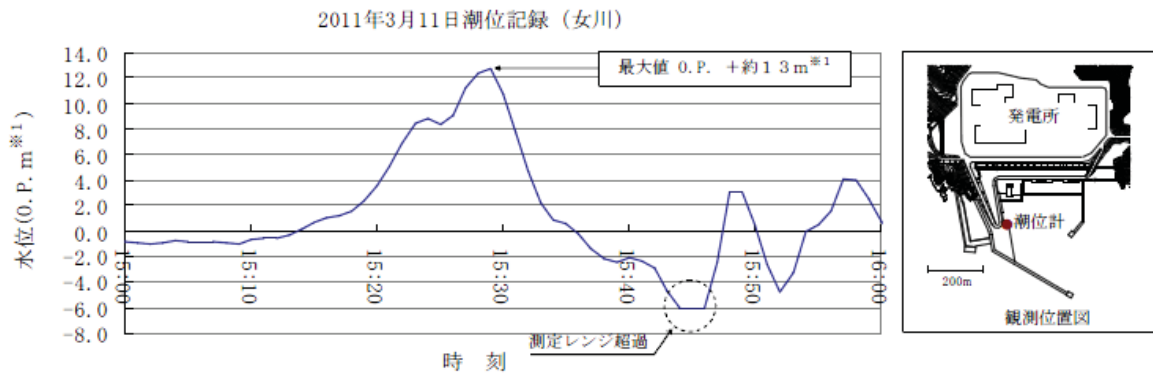


図 III-3-3 女川原子力発電所で観測された津波の時刻歴波形

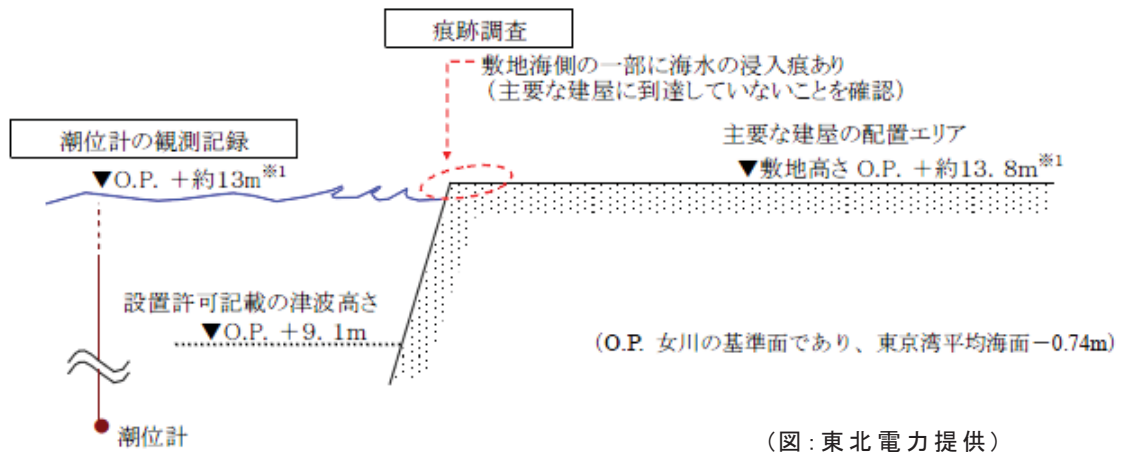


図 III-3-4 女川原子力発電所に襲来した津波の状況



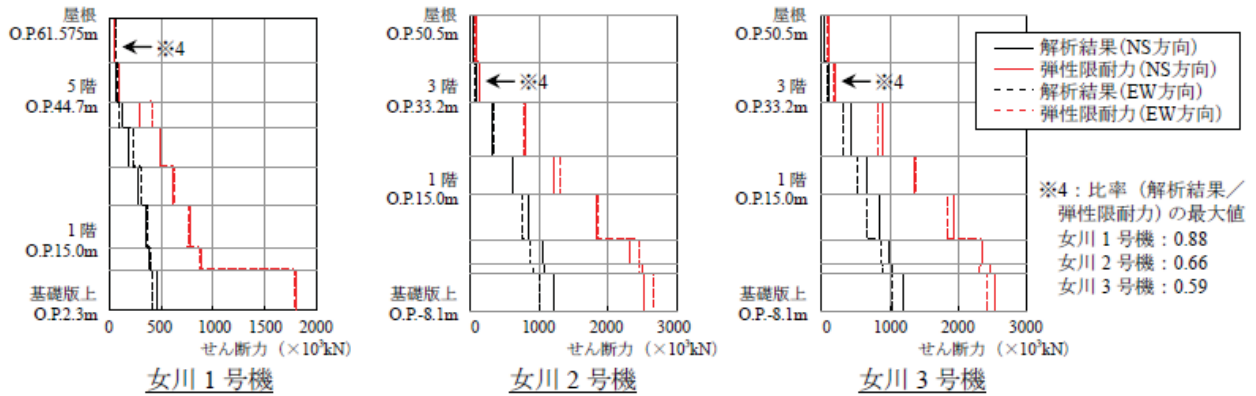
図 III-3-5(a) 女川原子力発電所の津波による補機冷却系熱交換器室の浸水状況(1)

原子炉建屋耐震壁の最大応答せん断ひずみ

		解析結果	評価基準値 ^{※3}	(参考) 基準地震動 Ss
女川1号機	NS方向	0.36×10^{-3}	2.0×10^{-3}	0.65×10^{-3}
	EW方向	0.35×10^{-3}		0.56×10^{-3}
女川2号機	NS方向	0.49×10^{-3}		1.15×10^{-3}
	EW方向	0.28×10^{-3}		0.55×10^{-3}
女川3号機	NS方向	0.81×10^{-3}		0.99×10^{-3}
	EW方向	0.18×10^{-3}		0.41×10^{-3}

※3 評価基準値は、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601-2008)」に定められており、鉄筋コンクリート造耐震壁の終局せん断ひずみに2倍の安全率を持たせたもの。

原子炉建屋の各階毎の耐震壁に作用したせん断力

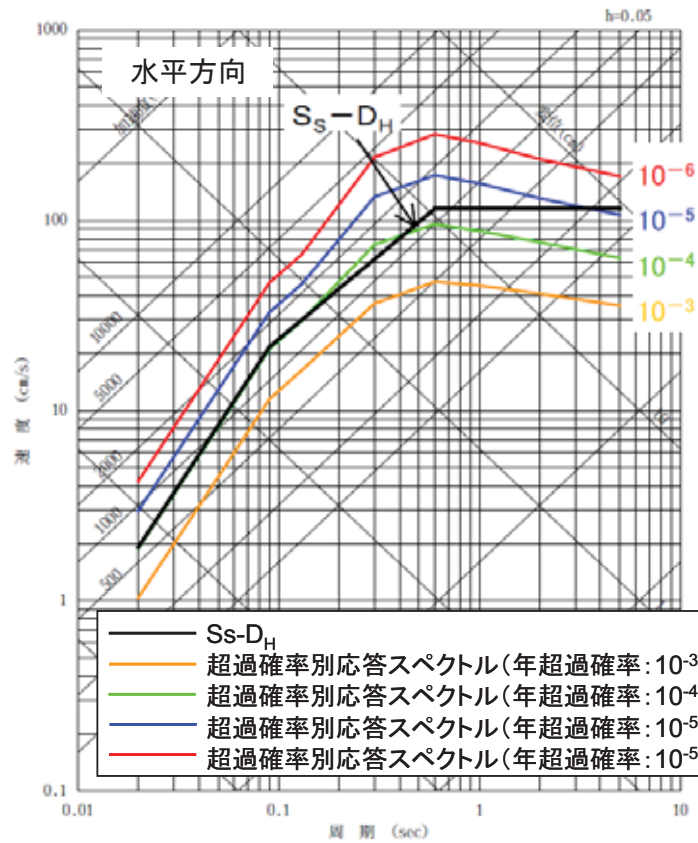


(図表: 東北電力提供)

図 III-3-6 女川原子力発電所・原子炉建屋の各階毎の耐震壁のせん断ひずみ及び耐震壁に作用したせん断力の確認

表 III-3-2 東海第二発電所・原子炉建屋基礎版上の最大加速度

観測位置		地震観測データ			建設時の最大応答 加速度値 (ガル)		基準地震動 S_s に対する 最大応答加速度値 (ガル)		
		最大加速度値 (ガル)			南北 方向	東西 方向	南北 方向	東西 方向	上下 方向
		南北 方向	東西 方向	上下 方向					
原子炉 建屋	6階	492	481	358	932	951	799	789	575
	4階	301	361	259	612	612	658	672	528
	2階	225	306	212	559	559	544	546	478
	基礎版上 (地下2階)	214	225	189	520	520	393	400	456



図III-3-7 東海第二発電所の基準地震動 S_s の超過確率

(図表: 日本原子力発電提供)

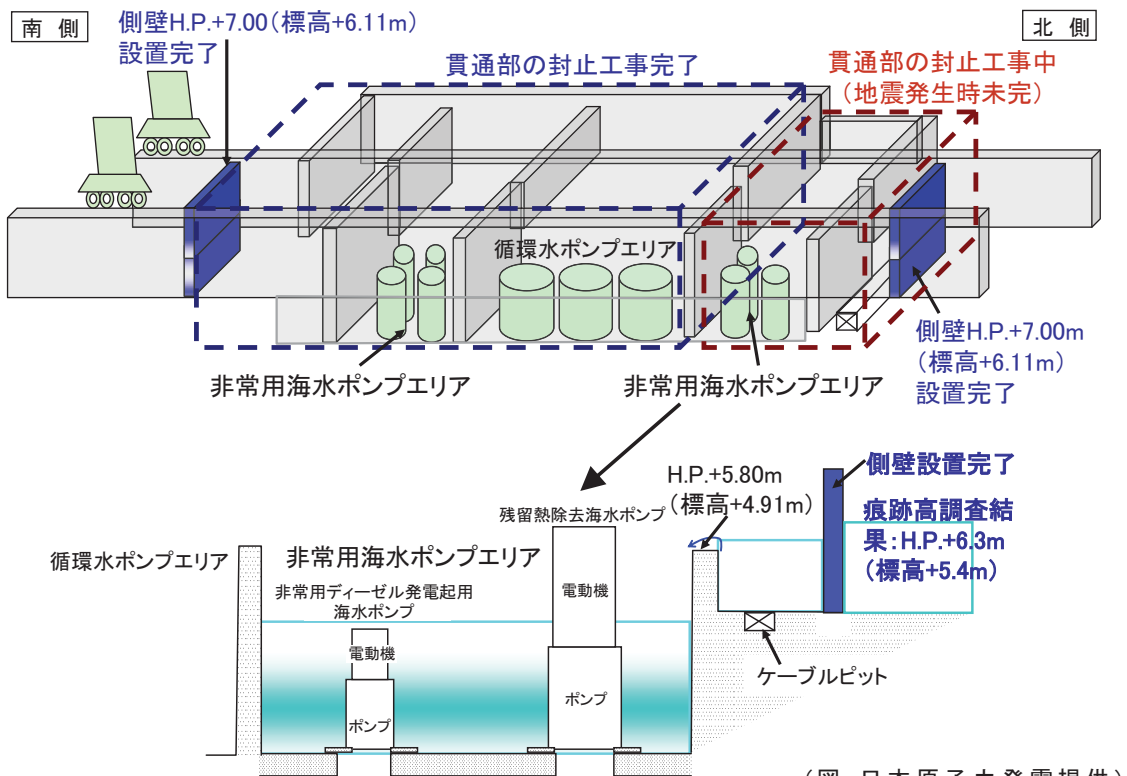
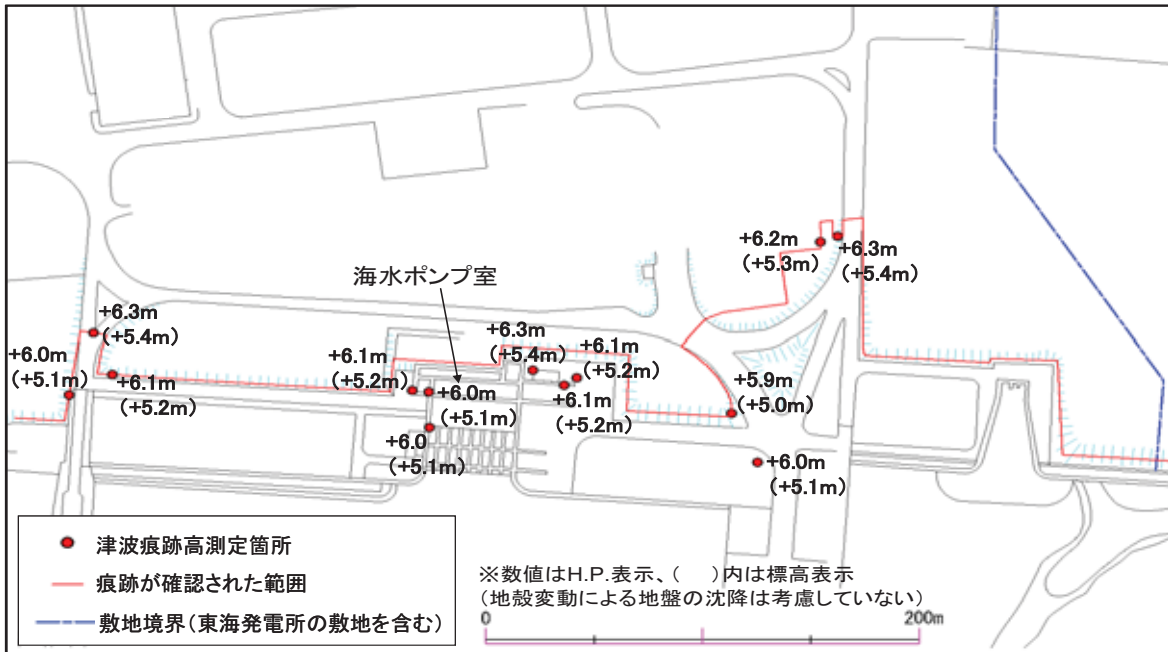


図 III-3-8 東海第二発電所における津波の痕跡高及び痕跡が認められた範囲

4. 地震及び津波による被害に関する評価

(1) 複数の震源領域の連動破壊の分析の重要性

今回の地震は、宮城県沖の震源領域における破壊が北方の岩手県沖領域へ連動すると共に、南方の福島県沖、茨城県沖領域へと連動したもので、マグニチュード $M_w9.0$ 、震源長さ約 400km 以上、幅約 200km の極めて大規模なものであった。このことから、基準地震動の策定において、複数の震源領域の連動破壊の可能性を考慮することの重要性が改めて認識された。また、これに随伴する津波の規模を推定する際にも、こうした連動現象が発生し得ることを考慮するべきであることも認識された。

(2) 設計地震動、設計津波の超過確率の設定と、深層防護設計、残余のリスクの評価の重要性

今回の地震では、一部の原子力発電所において、一部周期帯で基準地震動を超える地震動が観測された。耐震設計審査指針では基準地震動を超える地震動の発生は否定できないとしているが、この事実を踏まえて、現在の基準地震動策定プロセスで得られる基準地震動の超過確率が、達成すべき安全目標との関係で適切であったかについて検討するべきである。

女川原子力発電所は、土木学会の 2002 年の評価技術の求める不確実性を考慮しても、海水ポンプ系に対する津波対策が適切であると確認した。東海第二発電所は、不確実性に対する配慮の結果、海水ポンプ系に対する津波対策を講じた。一方、福島第一原子力発電所は、そのことに配慮して、海水ポンプ等の嵩上げ対策を講じた。結果として、今回の津波の来襲を受けて、前の二つのプラントは、冠水の程度がわずかであったことも幸いして最終ヒートシンクの全喪失を免れ、同じく福島第二原子力発電所においても 3 号機は最終ヒートシンクの全喪失を免れた。一方、福島第一原子力発電所は、津波対策を超える冠水となり、これを全て喪失した。このことから、津波対策の在り方には検討の余地が大きいことを踏まえる必要があるが、深層防護を確保することの重要性が認識された。

すなわち、耐震設計審査指針に則って、確率論的津波ハザード評価の結果を踏まえて、達成すべき安全水準から判断して十分長い再来周期を有する津波を設計基準津波として、津波防護設計を行うとともに、深層防護の観点からこれを超える津波の来襲に備える取組を行っ

た上で、残余のリスクを評価し、達成すべき安全水準の観点からこれが妥当なものになっていることを確認することの重要性も確認された。

（３）多様性の重要性

今回の津波被害を見ると、冗長構成の安全系のうち、多様性を備えた安全系が津波の襲来に耐えて使命を果たすところがあった。冗長構成によって安全系を構成する場合に多様性を追求することの重要性が改めて強く認識された。

（４）津波の洗掘及び波力に対する対策の重要性

今回の津波では、一般港湾施設の基礎地盤が押し波、引き波によって洗い削られ（洗掘）倒壊した。港湾施設本体も強い波力によって薙ぎ倒された。これから、海岸構築物によって原子力発電所を設計津波から防護する場合には、その設計において波力や洗掘の破壊力の大きさを考慮することの重要性を知らされた。また、設計津波を超える津波による浸水や冠水を防止する際にも、遡上する津波の破壊力を十分に考慮する必要があることも強く認識された。

（５）地震動及び潮位観測システムの対策強化

今回の地震では、一部の原子力発電所の加速度時刻歴波形の記録が130～150秒程度で中断し、確保できなかった。原子力発電所の地震動観測システム機能の不備は中越沖地震においても発生しており、同システムの機能維持に関する調査を徹底すべきであった。

一方、潮位観測システムについても、観測水位の計測範囲が不十分であり、同様にシステムの機能維持に関する調査を徹底すべきである。

IV. 福島原子力発電所等の事故の発生・進展

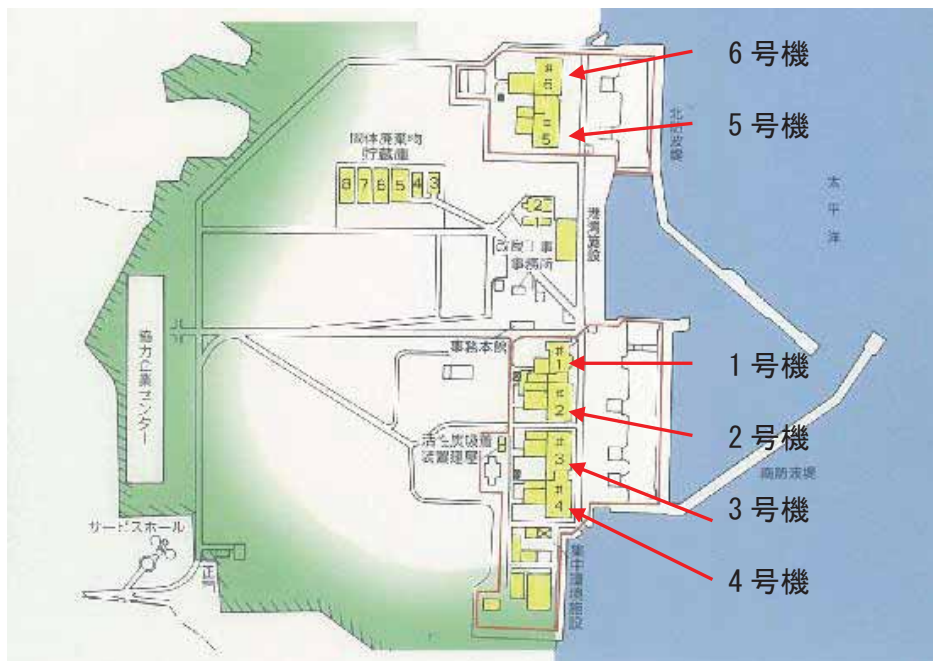
1. 福島原子力発電所の概要

(1) 福島第一原子力発電所

福島第一原子力発電所は、福島県双葉郡大熊町と双葉町に位置し、東は太平洋に面している。敷地は、海岸線に長軸をもつ半長円上の形状となっており、敷地面積は約 350 万 m² である。同発電所は、東京電力が初めて建設・運転した原子力発電所であり、1971 年 3 月に 1 号機が営業運転を開始して以来、順次増設を重ね、現在 6 基の原子炉を有しており、総発電設備容量は 469 万 6 千 kW となっている。

表IV-1-1 福島第一原子力発電所の発電設備

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



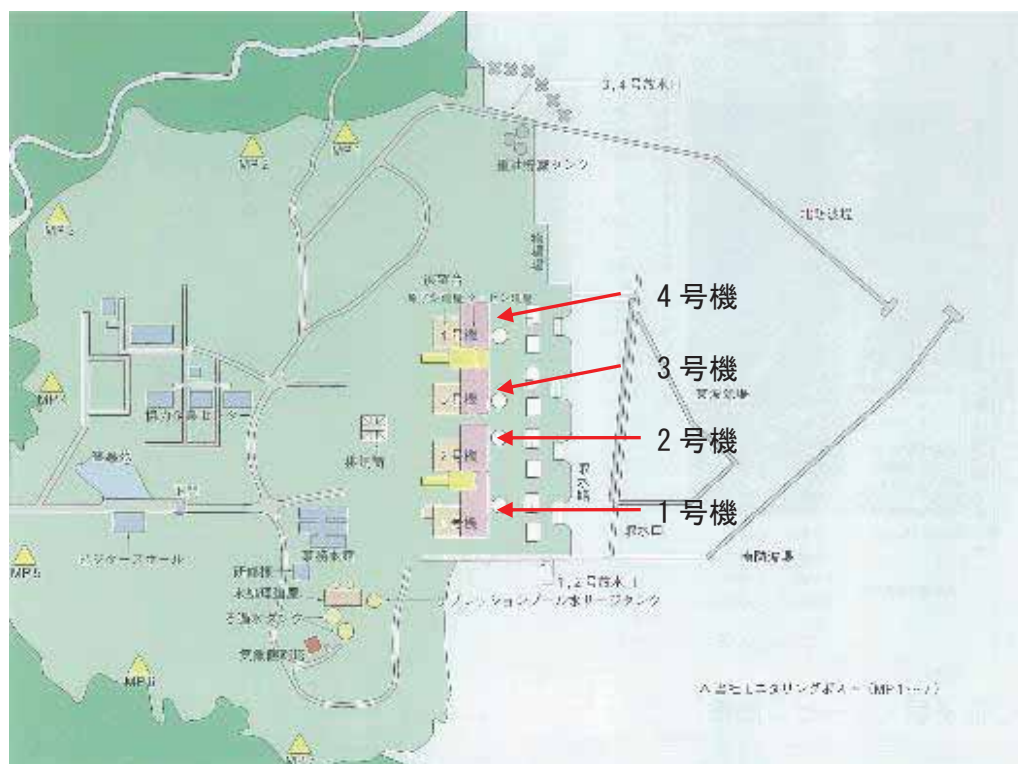
図IV-1-1 福島第一原子力発電所 一般配置図

(2) 福島第二原子力発電所

福島第二原子力発電所は、福島第一原子力発電所の約12km南の福島県双葉郡富岡町と楡葉町に位置し、東は太平洋に面している。敷地の形状は、ほぼ正方形となっており、敷地面積は約147万m²である。同発電所は、1982年4月に1号機が営業運転を開始して以来、順次増設して、現在計4基の原子炉を有しており、総発電設備容量は440万kWとなっている。

表IV-1-2 福島第二原子力発電所の発電設備

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



図IV-1-2 福島第二原子力発電所 一般配置図

2. 福島原子力発電所の安全確保等の状況

(1) 原子力発電所への設計上の要求事項

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

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

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

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

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

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

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

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

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

（２）安全審査における設計基準事象

① 安全審査における設計基準事象の設定

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

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

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

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

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

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

② 福島原子力発電所の設計基準事象に対する安全設計

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

おり。

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

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

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

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

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

（3）シビアアクシデント対策

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

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

① シビアアクシデント対策の位置付け

a シビアアクシデント対策の検討

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

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

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

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

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

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

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

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

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

b リスク情報の活用等

PSAの活用については、原子力安全委員会で定期安全レビュー⁵

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

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

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

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

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

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

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

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

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

術評価等、及びPSAについて再評価する。

c. 全交流電源喪失、冷却機能等に対する検討

今回の事故に関連するシビアアクシデントの実施状況は、次のとおり。

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

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

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

② 東京電力のアクシデントマネジメント整備状況

東京電力は、1994年3月に「アクシデントマネジメント検討報告

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

表IV-2-1 工学的安全設備及び原子炉補助設備の比較

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

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

	福島第一			福島第二
	1号機 (BWR-3)	2～5号機 (BWR-4)	6号機 (BWR-5)	
1. 原子炉停止機能にかかわるアクシデントマネジメント ① <input type="checkbox"/> 循環ポンプトリップ (RPT) 原子炉緊急停止系とは別に設置した計測制御系により、再循環ポンプを自動でトリップさせ原子炉の出力を低下させるもの。	○	○	○	○