

仮訳



調査団報告書

東日本大震災
専門家調査団

東日本大震災および津波による
福島第一原子力発電所の事故に関する
IAEA 国際専門家調査団

日本国 東京、福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所
および東海第二原子力発電所

2011 年 5 月 24 日～6 月 2 日

IAEA 調査団報告書

原子力施設安全部

原子力安全・セキュリティ局

報告書

東日本大震災
専門家調査団

東日本大震災および津波による
福島第一原子力発電所の事故に関する
IAEA 国際専門家調査団

IAEA 加盟国に対する報告書

日本国 東京、福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所および
東海第二原子力発電所

2011年5月24日～6月2日



報告書

東日本大震災
専門家調査団東日本大震災および津波による
福島第一原子力発電所の事故に関する
IAEA 国際専門家調査団

調査期間 :	2011 年 5 月 24 日～6 月 2 日	
調査位置 :	日本国 東京、福島第一、福島第二および東海第二	
施設 :	福島および東海原子力発電所	
組織機関 :	国際原子力機関 (IAEA)	
IAEA 評価チーム :	WEIGHTMAN, Michael	HSE、英国、チーム・リーダー
	JAMET, Philippe	ASN、フランス、副チーム・リーダー
	LYONS, James E.	IAEA、NSNI、Director
	SAMADDAR, Sujit	IAEA、NSNI、Head、ISCC
	CHAI, Guohan	中華人民共和国
	CHANDE, S. K.	AERB、インド
	GODOY, Antonio	アルゼンチン
	GORYACHEV, A.	NIIAR、ロシア連邦
	GUERPINAR, Aybars	トルコ
	LENTIJO, Juan Carlos	CSN、スペイン
	LUX, Ivan	HAEA、ハンガリー
	SUMARGO, Dedik E.	BAPETEN、インドネシア
	SUNG, Key Yong	KINS、大韓民国
	UHLE, Jennifer	USNRC、米国

BRADLEY, Edward E.	IAEA、NEFW、RRS
WEBB, Gregory Paul	IAEA、MTPI
PAVLICEK, Petr	IAEA、MTPI
NAMMARI, Nadia	IAEA、NSNI

発行日：2011年6月16日

報告書

東日本大震災
専門家調査団東日本大震災および津波による
福島第一原子力発電所の事故に関する
IAEA 国際専門家調査団

目次

概要.....	11
1. 序論.....	17
1.1 背景.....	17
1.2 調査団の目的.....	24
1.3 調査団の調査範囲.....	24
1.4 調査活動の実施.....	24
2. 福島第一原子力発電所事故につながったシーケンス.....	26
2.1 福島第一原子力発電所.....	26
2.2 福島第二原子力発電所.....	31
2.3 東海第二原子力発電所.....	32
3. 主な所見、結論、および教訓.....	33
3.1 序文.....	33
3.2 状況.....	33
3.3 IAEA の基本安全原則：全般.....	35
3.3.1 基本安全原則 3：安全性に関するリーダーシップおよび管理.....	35
3.3.2 基本安全原則 8：事故の防止.....	36
3.3.3 基本安全原則 9：防災と対応.....	41
3.4 IAEA の安全要件と指針.....	43
3.5 IAEA の安全サービス.....	43
福島原子力発電所に関する IAEA の将来の派遣団と作業.....	44
3.4.1 復旧へのロードマップ.....	44
3.4.2 外部の災害.....	44
3.4.3 発電所外の緊急時対応.....	45
3.4.4 苛酷事故状況に対する大規模な放射線防護組織.....	45
3.4.5 IRRS のフォローアップ派遣調査.....	45
4. 謝辞.....	47
付録.....	49
A1-外的ハザード.....	51

A2-安全評価と管理.....	75
A3-モニタリングおよび緊急時対応.....	98
別添資料.....	122
別添資料Ⅰ－調査団プログラム.....	124
別添資料Ⅱ－参加者リスト.....	128

頭字語

AC	交流
BAF	有効燃料下端
BWR	沸騰水型原子炉
DC	直流
EDG	非常用ディーゼル発電機
EPR	緊急時対応準備および対応
EPREV	緊急時対応レビュー
FAO	国際連合食糧農業機関
HPCI	高圧注水系
IAEA	国際原子力機関
IC	隔離時復水器
ICRP	国際放射線防護委員会
IEC	事故および緊急事態対応センター
IRRS	総合規制評価サービス
ISSC	国際耐震安全センター
LPCI	低圧注水系
MAAP	モジュール事故解析プログラム
MUWC	復水補給水系
NISA	原子力安全・保安院
NPP	原子力発電所
NSC	原子力安全委員会
OECC	オンサイト緊急時管理センター
PSA	確率論的安全評価
RCIC	原子炉隔離時冷却系
RHR	残留熱除去系
RPV	原子炉圧力容器
SAMG	苛酷事故管理ガイドライン
SFP	使用済燃料プール
SRV	逃がし安全弁
SSC	構造物、系統および機器
TAF	有効燃料頂部
TEPCO	東京電力株式会社

概要

2011年3月11日、マグニチュード9の東北地方太平洋沖地震がきわめて大きな津波を発生し、日本の東北地域を襲った。その高さは宮古市姉吉地区では38.9 mに達した。

この地震と津波は日本の多くの地域にわたる広範な災害を引き起こした。死亡者は15,391名に達している。さらに、行方不明者は8,171名、市や村の破壊と喪失に伴い多くの避難民が発生している。破壊および喪失により日本のインフラは広範な破壊が生じた。

他の企業と同様に、東海第二、東通、女川、東京電力福島第一と第二等の複数の原子力発電所が激しい地震動と度重なる大きな津波の影響を受けた。これらの施設で運転中の発電所は、原子力発電所の設計で設けられた地震を検知する自動システムにより問題なく停止された。しかしながら、巨大な津波は、これらの施設の全てに予想を上回る影響を及ぼし、福島第一で最も苛酷な結果を引き起こした。

地震発生時に外部電源が喪失したが、福島第一では自動システムが地震を検知し、3基の運転炉は全ての制御棒が問題なく挿入された。また、全ての非常用ディーゼル発電システムは設計どおり作動した。津波の第一波は地震発生後、約46分で福島第一に達した。

この津波は津波高さ5.7 mに耐える設計の福島第一発電所の防護壁を乗り越えた。当日、この施設を襲った津波高さは14 m以上と見積もられている。津波は施設内に深く侵入し、1基の非常用ディーゼル発電機(6B)を除き、内部および外部の電源がまったく期待できない、また、外部からの支援も期待できない全交流電源喪失を引き起こした。

福島第一発電所の全電源喪失と津波の影響のために、1号機から4号機の計測制御系が喪失したが、非常用ディーゼル発電機6Bが作動し、それにより5号機と6号機には電力が供給された。

津波とそれによる瓦礫によって、福島第一では多くの建物、扉、通路、タンク、および他のサイトインフラが広範に破壊され、ヒートシンクも失われた。運転員は、電源を失い、原子炉の制御・計測設備を失い、その上にサイト内外の通信設備を失うという、前例のない壊滅的な緊急事態シナリオに見舞われた。運転員は、6基の原子炉と6つの燃料プール、共通燃料プール、および乾式キャスク貯蔵施設の安全を確保するために、暗闇の中で、計測制御設備がほとんど使えない状態で、作業しなければならなかった。

プラントのパラメータを確認する方法もなく、原子炉を冷却する手だてもない中で、地震発生の直前まで運転されていた福島第一の3基の原子炉は、崩壊熱のために急速に加熱された。原子炉の制御と冷却、および使用済燃料冷却を回復させようという運転員の勇敢な、そして時としては崇高な試みにもかかわらず、燃料には深刻な損傷が発生し、一連の爆発が起きた。これらの爆発によってサイトがさらに破壊され、運転員が直面する事態は一層厳しく危険なものになった。さらに、放射能汚染が環境にまで広がった。これらの事象は、暫定的に、国際原子力事象評価尺度で最も高いレベルに評価された。

現在までには、今回の原子力事故に起因する放射線被ばくによる人の健康に対する長期的な影響は報告されていない。

国際原子力機関は、日本政府との合意に基づき、現状を確認し、福島第一の事故からの当面の教訓を明らかにし、その情報を世界の原子力界と共有するための予備調査を行った。この調査のために、5月24日から6月2日にかけて、専門家のチームが現状調査団による調査を行った。この調査団の調査結果は2011年6月20日から24日にウィーンのIAEA本部で開催されるIAEAの原子力安全に関する閣僚会議で報告されることになっている。

IAEAによる調査の間、原子力の専門家チームは、すべての関係者の積極的な協力を得て、日本の関係省庁、規制機関、および運転者の多くから情報を入手した。調査団はまた、被害を受けた3カ所の原子力発電所（NPP）、東海第一、福島第二、および福島第一、を訪れ、プラントの状況と被害の規模に関して、その様子を把握した。施設を訪問することで、専門家は実施中の復旧作業を視察することができ、運転要員と話すこともできた。

調査団は、関連情報を集め、暫定的な評価を行って、暫定的な結論と教訓をまとめた。この暫定的な結論と教訓は、日本側の専門家および政府関係者と共有され議論された。それらの結論と教訓は、大きく分けて、外部ハザード、苛酷事故管理、および防災という3つの専門分野にわたっている。それらは、日本の原子力界、IAEA、および世界の原子力界にとって、原子力の安全向上についての教訓を学ぶための貴重なものである。

IAEAの調査団は、世界の原子力界に対して、世界の原子力安全について学び、安全を向上するために福島事故という類のない機会を活用すべく、以下の15項目の結論と16項目の教訓を提示した。

結論 1：IAEAの基本安全原則は、福島事故の状況に関連して確固たる基盤を与えるものであり、事故の教訓のすべての分野をカバーするものである。

結論 2：今回の事故の極限的な状況を考慮すれば、事故における現場の対応は、基本原則 3 に従い、取り得る最良の方法で行われた。

結論 3：津波災害に対する深層防護の備えは、不十分であった。とりわけ、

- 津波災害は、会議において評されたとおり立地選定また福島第一原子力発電所の設計において考慮され、かつ2002年以降想定津波高さは（許可文書を改訂することなく）5.7 mに引き上げられていたが、津波災害は過小評価されていた。
- こうして、これらの発電所が実際の所「ドライサイト」でなかったことを考えると、2002年以降実施された評価結果に基づき取られた追加的防護措置は、津波の押し波の遡

上高および災害をもたらしたすべての付随事象（水力学的な力や高エネルギーの大きな破損片による動的衝撃）に対処するには十分なものでなかった。

- さらに、上記追加的防護措置は、規制当局のレビューも受けておらず承認されていなかった。
- 洪水による構造物・設備・機器（SSC）の損傷は、一般的に徐々に起こるものでないため、プラントは想定を超えクリフエッジ効果をもたらした高さの津波の影響に耐えることができなかった。
- 複数のプラント事故に対処するための苛酷事故管理の準備が十分ではなかった。

結論 4：東海第二および福島第二原子力発電所について、短期的には、プラントの安全を評価し、プラントとサイトの（地震と津波により生じた）現状と変更された災害環境に対し、プラントの安全を確保するようにすべきである。とりわけ、外部事象確率論的安全評価（PSA）モデルがすでに利用可能であれば、これは評価において有効なモデルになるであろう。

福島第一原子力発電所に対しては、全号機が安定した安全な状態に到達する前に、プラントの現状に対し、短期的緊急措置を計画すべきである。その時まで、タイミングを逸することのないよう簡潔な方法を持って、外部ハザードに対し優先度の高い措置を定めるべきである。予防的措置は重要であるが限定されるため、その計画の中にはサイト内およびサイト外の両方に対する対策を盛り込む必要がある。安定した安全な状態に達したら、サイト内およびサイト外の両面での緊急時対策に加え、SSC に対する物理的な改善策を盛り込んだ長期的計画が用意される必要がある。

結論 5：規制要件および指針は、東日本大震災とそれがもたらした津波の影響とデータを反映し更新されるべきであり、地震・津波・外部洪水および関連する外部事象に総合的に対処するよう関連した IAEA 安全基準の要件を満足させ、推奨するクライテリア（基準）や方法を使うべきである。国の規制文書は、IAEA 安全基準の要求に適合するデータベース用件を含む必要がある。ハザードの評価方法とプラントの防護策は、関連分野の研究開発の進歩と適合する必要がある。

結論 6：日本は、良く組織された緊急時準備対応計画を有しており、それは福島事故対応で示された。しかしながら、複雑な構造と組織は緊急時の意思決定において遅れをもたらす可能性がある。

結論 7：献身的な職員および作業員とよく組織されかつ柔軟性に富んだ組織が、予期せぬ状況で効果的な対応を可能にし、公衆および施設で働く者の健康に対し、より大きな事故の影響を防ぐことを可能にした。

結論 8：公衆被ばくと健康についてのモニタリングの適切なフォローアップ・プログラムは有益であろう。

結論 9：事象による深刻な混乱にもかかわらず、影響を受けたサイトでは、効果的な放射線被ばく管理が実施されたようである。

結論 10：複数プラントのサイトの設計および苛酷事故管理についての特別な要件が適切に手当てされていることを、IAEA 安全要件および指針は見直されるべきである。

結論 11：特に外的なハザード影響についての各国の経験による新たな教訓を含めるため、国の法令および指針を国際的に確立された基準と指針に合致させるよう、定期的な調整を行うことを検討する必要がある。

結論 12：IAEA の国際耐震安全センター（ISSC）による安全レビューサービスは、以下の分野での日本の取組を支援するのに有益であろう：

- 外的事象のハザード評価、
- 原子炉停止後に引き続き開始される発電所内、巡視、
- 地震に対する事前準備

結論 13：緊急時対応レビュー（EPREV）を含むフォローアップ・ミッションは、発電所内外における緊急時対応から得られる教訓を、詳細に調査すべきである。

結論 14：フォローアップ・ミッションは、福島事故に対応する際に大規模な放射線防護のために用いられた効果的なアプローチから得られる教訓を見出すべきである。

結論 15：2007 年の総合的規制レビューサービス（IRRS）に対するフォローアップ・ミッションは、日本の規制システムのさらなる発展を支援するため、福島事故から得られるであろう教訓および上記の結論を踏まえて実施されるべきである。

教訓 1：外的な自然ハザードを考慮するにあたっては、下記の事項を確認する必要がある。

- 原子力プラントの立地および設計では、稀かつ複合的に組み合わさった外的事象に対して十分な防護を備えるものとし、特に所内に洪水をもたらしかつ長期的な影響を与える事象について、プラント安全解析において考慮されること。
- プラント配置は、重要な安全系の物理的な分離と多重性に加えて、サイトの洪水に対する深層防護として、できるだけ「ドライサイト」を維持することに基づくこと。
- 共通要因故障については、複数の原子炉サイトおよび複数サイトについて特に検討しなければならない事項であり、それぞれの原子炉が独立してサイト内にある資源を利用して復旧する選択肢をもつこと。

- 外的ハザードのいかなる変化についても、それらが既存のプラント構造に与える影響について、定期的に検討されること。
- 実働的な津波警報システムは、事業者が、直近に取るべき対応として、確立されること。

教訓 2：所外電源の全喪失、ヒートシンクや工学的安全系の全喪失のような苛酷な状況においては、苛酷事故管理のために必要な機材（移動式電源、圧縮空気・水源など）を含めこれらの機能の単純な代替資源が提供されるべきである。

教訓 3：教訓 2 で見出された備えは、安全な場所に置かれるべきであり、発電所所員は、これらを使えるように訓練されるべきである。これらを集中的に保管することおよび影響を受けたサイトへ迅速に移動させるための手段を含む。

教訓 4：原子力サイトは、サイト内に洪水のような外的ハザードに安全であり、地震に対しても頑強で、適切に遮蔽・換気され、設備が整った建物に、福島第一発電所および福島第二発電所に備えられているような機能を持った緊急時対応センターを保有すべきである。これらは、十分な備えを必要とし、事故を管理するために必要とされる作業者の健康と放射線防護を確保するための規模でなければならない。

教訓 5：緊急時対応センターは冷却水水位、格納容器の状態、圧力、等の強化された計装や連絡網に基づいた可能な限り利用できる重要な安全関連パラメータを所有し、制御室や他のサイト内外と十分に連絡を取ることができなければならない。

教訓 6：苛酷事故ガイドラインと関連手順では計装、照明、電力が利用できなくなる可能性およびプラント状態や高放射線領域を含む異常状況を考慮しなければならない。

教訓 7：外的事象は同時にいくつかのプラントおよびプラント内のいくつかのユニットに影響を及ぼす可能性を有する。これは訓練経験豊富な人材、機材、供給物および外部からのサポートを必要とする。各タイプのユニットを扱うことができ、影響を受けているサイトの支援を要求することができる経験豊富な人材を適切にプールすることは、有益であろう。

教訓 8：水素爆発のリスクと影響は再考されるべきであり、必要な緩和系は実施されるべきである。

教訓 9：特に、安全機能の喪失を防ぐ上では、共通要因故障に対する深層防護の頑健性は重要な安全機能に対し適切な多様性（冗長性や物理的分離を含む）をもたせるべきである。

教訓 10：サイト内外での対応のための重要な情報を提供する上で、特にシビアアクシデントに対しては、システム、通信および機器の監視を強化するために、より多くの配慮が払われるべきである。

教訓 11：脅威の分類、事象の区分および対策に関する IAEA の安全基準（例えば、GS-R-2）と関連ガイドや運転介入レベルを使えば、個別の状況に応じてサイト外における緊急時の防災および対応を一層効果的なものにし得るであろう。

教訓 12：長期間の屋内退避は効果的なアプローチでなく断念され、「計画的避難」や「避難準備区域」といった概念が、ICRP や IAEA のガイドラインを利用して効果的な長期的措置として導入された。

教訓 13：原子力にかかわる国際社会は、原子力事故に係るソースタームを決定するための既存の手法やモデルを改善し精緻化するために、福島第一原子力発電所事故で得られたデータや情報を有効に利用すべきである。

教訓 14：作業員が適切に組織化され、よく指導され、適切に訓練されていれば、シビアアクシデントの状況下でのサイトにおける作業員のための大規模な放射線防護も効果的に行うことができる。

教訓 15：シビアアクシデントの状況下での現場における効果的な放射線防護を確立するための現場作業員および外部要員の訓練と演習には、福島の実験を考慮することが有益である。

教訓 16：IAEA の安全基準に沿って、原子力規制システムは規制の独立性を確保するとともに、役割の透明性があらゆる情勢の下で維持されるべきである。

1. 序論

1.1 背景

「2011年東北地方太平洋沖地震」は2011年3月11日、協定世界時05:46（日本標準時14:46）に発生した。地震のマグニチュード（ M_w ）は9.0であった。この大地震によりきわめて激しい地盤震動および津波が引き起こされた。これらにより巨大な災害が発生し、死亡者は15,391名、さらに8,171名がなおも行方不明である。

この巨大な地震により引き起こされた広範な災害のために、この地震は東日本大震災と呼ばれている。激しい地盤震動および津波のハザードは、日本の東北地方に位置する5カ所の原子力発電所（NPP）、すなわち、東通、女川、福島第一（1F）、福島第二（2F）および東海第二に打撃を与えた。地震により引き起こされた一連の事象は、福島第一原子力発電所における苛酷事故につながった。

地震の震央は38.1Nおよび142.9E（牡鹿半島の東南東130 km）に位置し、震源は北米プレートと太平洋プレートの引き込みゾーン上にあり、その深さは24 kmであった。地震は、長さ400 km以上、幅が約200 kmの引き込みゾーンの破壊により発生したと推定されている。強い震動を伴う前震に引き続いて本震があり、その後長期間にわたり数多くの余震が続いた。表1.1は前震、および本震の直後に発生したいくつかの余震（マグニチュード7.0以上）に関する情報を掲載している。地震により巨大津波が起こった。観測された津波の高さは、宮古では8.5 mを超え、大船渡では8.0 m、また相馬では9.3 mであった。最大の津波高さは、宮古の姉吉地区における38.9 mであった。

地震の震央位置に対する5原子力発電所の位置を図1.1に示す。どのサイトの原子力発電所も沸騰水型（BWR）である。東通には110 MW(e)級BWR-5が1基ある。女川サイトは524 MW(e)級BWR-4 1基および825 MW(e)級BWR-5 2基を有する。福島第一は5サイトのうちで最大数の原子炉を有する。このサイトには6基の原子炉がある：1号機（BWR-3）460 MW(e)、2、3、4および5号機（BWR-4）784 MW(e)、および6号機（BWR-5）1100 MW(e)である。福島第二サイトにはBWR-5が4基あるが、それぞれの容量は1100 MW(e)である。東海第二は運転中の1100 MW(e)級BWR-5 1基を有する。福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所および東海第二原子力発電所の景観図をそれぞれ図1.2、1.3および1.4に示す。

地震発生時において、東通1号機ならびに福島第一4、5および6号機を除き、すべての原子炉は運転中であった。地震により運転中の原子炉はすべて自動停止した。地震により引き起こされた巨大な津波が本震後1時間以内にこれら5つのサイトのすべてを襲い、数サイトに被害をもたらした。原子炉の状態を表1.2に取りまとめて示す。

もっとも被害を受けたサイトは福島第一および福島第二であった。福島第二はいくつかの安全関連機器を喪失したが、外部電源および内部電源は、多少の機能低下はあったが使用可能であっ

た。他方、福島第一はその安全関連機器の多くを、また 6 号機用のディーゼル 1 基を除き、すべての外部電源および内部電源を津波により喪失した。このため 1、2 および 3 号機の原子炉、ならびに 4 号機の使用済燃料プール（SFP）の冷却機能が喪失した。さらに、その他の安全関連機器の冷却機能は使用不可能であるか、またはアクセス不能であった。これらすべての結果として、福島第一原子力発電所の 4 基は事故状態となった。

国際原子力機関（IAEA）の国際耐震安全センター（ISSC）は、2011 年 3 月 11 日の地震に関する情報をその「外部情報通報システム」を通じて約 30 分以内に入手した。ISSC は、速やかにその情報を事故および緊急事態対応センター（IEC）に転送した。

その後日本の当局は、今回の事象について IAEA に通報した。IAEA は常時日本政府と連絡を取り、それ以降情報を定期的に加盟国に提供した。IAEA の天野之弥事務局長は強固なフォローアップ活動を要求した。IAEA は原子力発電所の被害状況およびそれが周辺地域に及ぼす影響に関して情報を共有するため日本政府と協力を続けている。当面の支援として、IAEA は、放射線および環境モニタリング、沸騰水炉、ならびに海洋環境モニタリングについての情報共有を調整するため、食品モニタリングに関する IAEA/FAO 合同チームを含む 7 名の専門家を日本に派遣した。

2011 年 3 月下旬以来、日本政府と IAEA は、地震と津波が福島第一を含む日本の原子力発電所に及ぼした影響を調査する専門家チーム現状調査団を派遣することについて協議を重ねてきた。日本政府と IAEA は、福島第一における事故について予備的な評価を行うこと、およびさらなる調査が必要とされる分野について勧告を行うために、IAEA のスタッフを含む国際的専門家により構成される調査団を日本に派遣することに合意した。この調査団は IAEA による初期活動の 1 つであるが、引き続き、他の調査団派遣、ならびにさらなる情報交換を含む関連する国際協力活動が実施されるであろう。この将来の活動では、今回の調査団の調査範囲に含まれていない施設が対象になることもあり、また技術的検討、加盟国の研究機関からの参加者との討議、ならびに国際、地域および国内でワークショップや訓練コースなども開催されるかもしれない。外的ハザードおよび構造的な応答、安全評価および苛酷事故管理、ならびにモニタリング、緊急時計画および対応の分野については、IAEA は今回のおよびそれに続く関連調査団により確認される様々な問題から教訓を導き、それを反映させるむことも支援できよう。

調査団の指摘事項は国際社会と共有されており、教訓を特定し、それらをグローバルな原子力安全組織構造に取り込む際に役立てられる。これに関連して、IAEA 事務局長は加盟国に対して、原子力安全に関する IAEA 閣僚級会合が 2011 年 6 月 20 日から 24 日までウィーンで開催されることを通知した。この会合の具体的な目的は以下のとおりである。

- 福島第一原子力発電所の事故の予備的な評価を行う。
- 福島第一原子力発電所の事故に照らして、国内および国際的な緊急時計画および対応のレベルを、それらを強化するという目的の下に評価する。

- 安全上の影響について討議し、調査が必要と思われる安全分野を確認して、安全性を強化する措置を講じる。
- 教訓を明確にし、将来実施できる活動を特定する。

調査団の指摘事項は閣僚級会合で報告されるであろう。

表 1.1 2011 年東北地方太平洋沖地震の前震、本震、余震および関連事象

震動	日付	位置		マグニチュード
		震央	深さ	
前震	3月9日 11:45 (日本標準時)	N38d20m, E143d17m	8 km	M7.3
本震	3月11日 14:46 (日本標準時)	N38d06m, E142d52m	24 km	M9.0
余震	3月11日 15:08 (日本標準時)	N39d50m, E142d47m	32 km	M7.4
	3月11日 15:15 (日本標準時)	N36d06m, E141d16m	43 km	M7.7
関連事象	3月11日 15:25 (日本標準時)	N37d50m, E144d54m	34 km	M7.5
	4月7日 23:32 (日本標準時)	N38d12m, E141d55m	66 km	M7.1
	4月11日 17:16 (日本標準時)	N36d57m, E140d40m	6 km	M7.0

表 1.2 2011 年東北地方太平洋沖地震により影響を受けた原子力発電所の状況

原子力発電所	号機	型式		容量 (MWe)	状況		
		CV**型式	安全系		地震前	地震後	津波後
東通	1	Mark I R	BWR-5	1,100	停止中	冷温停止	冷温停止
女川	1	Mark I	BWR-4	524	運転中	自動スクラム	冷温停止
	2	Mark I	BWR-5	825	原子炉起動中	自動スクラム	冷温停止
	3	Mark I	BWR-5	825	運転中	自動スクラム	冷温停止
福島第一	1	Mark I	BWR-3	460	運転中	自動スクラム	冷却機能喪失
	2	Mark I	BWR-4	784	運転中	自動スクラム	冷却機能喪失
	3	Mark I	BWR-4	784	運転中	自動スクラム	冷却機能喪失
	4	Mark I	BWR-4	784	停止中	冷温停止	STP*冷却機能喪失
	5	Mark I	BWR-4	784	停止中	冷温停止	冷温停止
	6	Mark II	BWR-5	1,100	停止中	冷温停止	冷温停止
福島第二	1	Mark II	BWR-5	1,100	運転中	自動スクラム	冷温停止
	2	Mark II R	BWR-5	1,100	運転中	自動スクラム	冷温停止
	3	Mark II R	BWR-5	1,100	運転中	自動スクラム	冷温停止
	4	Mark II R	BWR-5	1,100	運転中	自動スクラム	冷温停止
東海第二	-	Mark II	BWR-5	1,100	運転中	自動スクラム	冷温停止

*: 使用済燃料プール

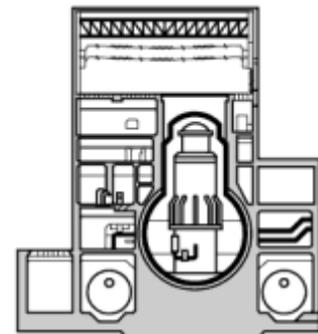
** : 格納容器



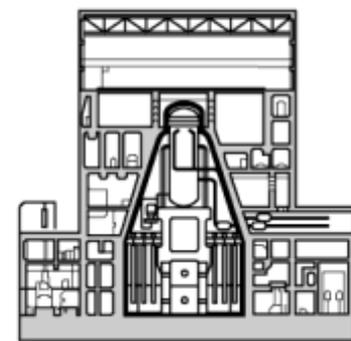
図1.1 「2011年東北地方太平洋沖地震」により影響を受けた原子力発電所サイト



a) 景観図



BWR マーク I 型 (1~5 号機)



BWR マーク II 型 (6 号機)

b) レイアウト

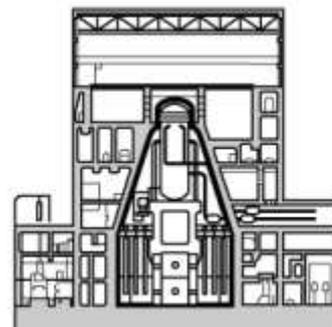
図1.2 福島第一原子力発電所



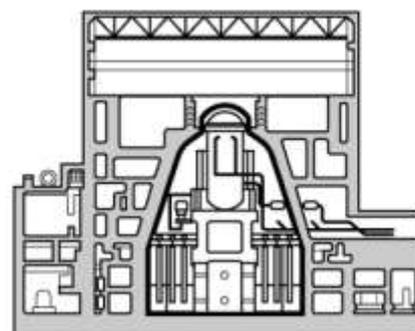
a) 景観図



b) レイアウト



BWR マーク II 型 (1号機)

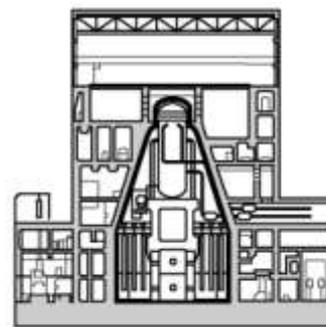
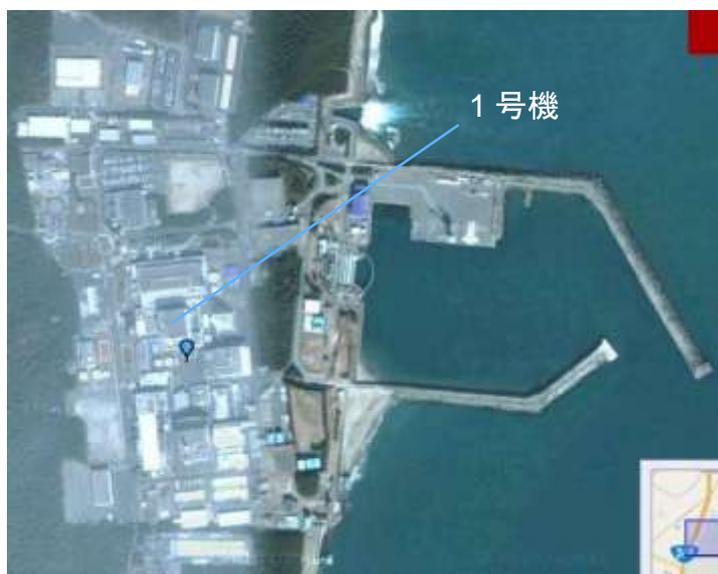


BWR マーク II R 型 (2~4号)

図1.3 福島第二原子力発電所



a) 景観図



BWR マーク II 型 (1号機)

b) レイアウト

図1.4 東海第二原子力発電所

1.2 調査団の目的

調査団は事故の予備的評価として、現状調査を行った（特に福島第一原子力発電所（1F）において）。調査団はまた、自然事象に関連する一般安全問題の予備的評価を行うために、それぞれ福島県および茨城県にある福島第二（2F）および東海第二（T2）原子力発電所サイトに関する情報を収集し、IAEAの安全基準に従ってさらなる調査もしくは評価が必要な問題を特定した。

調査団は日本における事故評価について今日までに達成した進捗に関する情報を入手し、国際的な原子力界と共有する目的で、情報に基づいた事故評価を実施するために特定の技術的問題を討議した。

1.3 調査団の調査範囲

調査団は、全般的な原子力安全問題に焦点を絞りつつ、以下の具体的な分野を調査した。

- a. 自然起源による外的事象
- b. プラント安全評価および深層防護
- c. 地震と津波の後のプラントの応答
- d. シビアアクシデント
- e. 施設の苛酷な機能低下の下での使用済燃料管理
- f. 緊急時計画および対応
- g. 放射線影響

日本政府は調査団に対して、その調査時点において即座に入手可能となっている関連情報をすべて提供した。

1.4 調査活動の実施

調査団はカウンターパートと徹底した討議を行い、サイト訪問に際しては観察を行った。

調査団の公用語は英語であり、調査文書は英語で作成され、取りまとめられた。文書は実施された検討および調査、その結果の概要を述べており、また将来の活動について勧告を行っている。

調査活動として東京のオフィスで会議を開き、福島第一、福島第二および東海第二サイトを2日間訪問した。

何人かの大臣にも表敬訪問を実施した。

東京における最初の 2 日間にわたる会議では、セクション 1.3 に挙げる一般安全問題が取り上げられた。これらの会議における日本のカウンターパートによるプレゼンテーションには、本報告書で扱っている問題に関連する要件、規制および手順が含まれていた。

サイト訪問では質疑応答が実施されたが、そこで日本のカウンターパートは調査団の質問に対して詳細な回答を提供した。

調査団は以下の 3 つのグループに分かれていた。

1. 外的ハザード・グループ：自然起源による外的ハザードおよびプラント応答の評価に関する専門家により構成されている。彼らは自然起源によるハザードの評価およびそれらの設計への取り込み、またハザードに対する、構造物、系統および機器を含むプラントの応答に関する日本の専門家と話し合った。

2. 安全評価および管理グループ：安全評価、シビアアクシデントと管理、深層防護の分析分野における専門家により構成されている。彼らは地震後のプラント設備の応答、シビアアクシデント事故管理、深層防護およびプラントの苛酷な機能低下後の燃料プールの冷却について日本の専門家と討議した。

3. モニタリング、緊急時計画および対応グループ：緊急時計画および対応（EPR）、ならびに放射線影響に関する専門家により構成されている。彼らは、プラント固有の防護措置について調査し、また事故の放射線影響とともに政府の組織構造および情報連絡の詳細をレビューした。

専門家は多数のプレゼンテーションに参加して、分野横断的な問題について意見交換をした。グループ会議はサイト視察後に並行して行われたが、これは日本の専門家からできるだけ情報を得てから、結論を下し、教訓として取り上げて調査団報告書を完成させるためであった。必要に応じて、調査団リーダーの記者会見が手配された。この調査は、国際的な専門家と IAEA 職員で構成されたチームによって行われた。そのリストは本報告書の iii および iv ページに掲示されている。

2. 福島第一原子力発電所事故につながったシーケンス

2.1 福島第一原子力発電所

福島第一原子力発電所には BWR が 6 基ある。1 号機はマーク I 型格納容器の BWR-3、2～5 号機はマーク I 型格納容器の BWR-4、6 号機はマーク II 型格納容器の BWR-5 である。地震発生時、1～3 号機は運転中であり、4～6 号機は燃料取替・保守のため停止中であつた。地震に反応して、1～3 号機は自動的にスクラム（停止）した。地震のために 6 系統のすべての外部電源が喪失し、プラントにある 12 台の非常用ディーゼル発電機（EDG）がすべて起動した。サイトには 13 台の EDG があるが、1 台は保守のため供用から外されていた。地震から約 46 分後に、最初の津波がサイトに押し寄せた。続いて津波は数回到来し、サイトを水浸しにした。1 号機、4 号機および 6 号機の地震による地動加速度は基準地震動を上回るものではなかったが、2 号機、3 号機および 5 号機では、地動加速度が基準地震動を超えた。津波は全基で設計基準を超えた。基準地震動は耐震バックチェックのために、各号機を対象として耐震設計審査指針の 2006 年改訂版に基づいて定められた。

冠水の規模は甚だしく、福島第一サイトのすべての原子炉建屋の周囲を完全に取り囲んでしまった。この津波により、利用可能な海水冷却式 EDG 9 台がすべて喪失し、空冷式 EDG 3 台が 1 台を残して喪失した。6 号機の空冷式 EDG だけが、この 6 基のサイトに残った交流電源であつた。何回かの余震およびそれに伴う津波警報のために、作業員はサイトから一時的に退避した。サイト全域で、オンサイト緊急時管理センター（OEEC）とサイト内の復旧作業員との間の連絡がまったく取れなくなった。1 台の有線電話だけが OEEC と各制御室との間で利用することができた。取水口に設置されていた海水ポンプとモーターは完全に破壊されたため、最終ヒートシンクが喪失した。

1～3 号機の炉心損傷の進行

すべての交流電力が喪失したため、交流電力で動くすべての安全系統および非安全系統が利用不可能になった。1 号機および 2 号機では、125 V の直流バッテリーが冠水したため、計装および制御が利用不可能になり、運転員がプラントの状態を管理することができなくなった。中央制御室の照明がどの号機でも使用不能になった。3 号機では、直流電力、中央制御室の照明と計装および制御システムは 30 時間使用できたが、バッテリー充電器が冠水し、交流電力が利用不能になったため、バッテリーの消耗とともにそうした機能も喪失した。初期対応の間、作業は蓋のないマンホールおよび地割れや地盤沈下など、極度に劣悪な環境で行われた。夜間の作業は暗闇の中で行われた。津波による瓦礫や 1 号機、3 号機および 4 号機で発生した爆発による破片など、多くの障害物により道路へ接近できなかった。作業はすべてマスクや防護服をつけた状態で、ほとんど高放射線下で行われた。3 基はすべて苛酷な炉心損傷を受けていたが、調査の間、それ以上詳細な情報は入手できなかった。後述のシステム応答は暫定的なもので、多くの分野で詳細な情報が

欠けている。TEPCO がさらに詳細な情報を収集して分析した段階で、本報告書の内容が変わる可能性がある。

地震後、1～3号機では一部の系統で炉心を冷却することができた。1号機では、隔離時復水器（IC）は、原子炉压力容器（RPV）から炉心より高所にある原子炉建屋の大型タンクに沈められている熱交換器を経由して送られてくる冷却材の重力駆動自然循環により、稼働するように設計されている。1号機のICは約8時間崩壊熱を除去できるように設計されていた。ICを稼働させるには、弁を操作しなければならない。ICは地震後、3月11日14:52に始動した。未確認ではあるが、ICは約11分間稼働したと思われるが、RPV温度が急激に低下したため、15:03に手動停止された。この措置は、運転員に対してRPV温度低下率が1時間当たり55℃を超えないようにICを制御すると指示しているプラントの運転手順に適合している。津波の後の18:18頃、格納容器の外側に設置されている直流電力駆動弁を手作業で開いてICを始動させた。18:25頃、この弁は閉じられた。同弁は21:30に再度開かれた。この弁が18:18および21:30に開かれたとき、ICプールで蒸気の発生が確認されたため、この間、熱は炉心からICプールに移行していたように思われる。この間、ICだけが炉心を冷却できる唯一のシステムであったが、最終的に故障した。TEPCOは、ICの故障およびこの間のIC操作に関する運転員の措置についてさらに詳細な調査を進めている。

設計上、2号機と3号機の原子炉隔離時冷却（RCIC）系では、RPVから蒸気を取り出すタービンで駆動されるポンプを利用している。タービン排出蒸気はサブプレッション・プールに放出される。RCIC系は、RPVの蒸気圧が一定の圧力定格を超えたときだけ稼働するように制限されている。RCIC系を始動するには、弁を再調整しなければならない。一部の弁は交流電力で作動し、一部は直流電力で作動する。地震後、福島第一では2号機と3号機のRCIC系は手動で始動されたが、津波前にRPVの水位の上昇により自動的にトリップした。津波の後、2号機と3号機のRCIC系は15:39と16:03にそれぞれ始動した。状況から判断して、2号機のRCIC系は3月14日13:25まで、設計どおり約3日間稼働したと思われるが、実際の状況は制御室では確認できなかった。3号機のRCIC系は約19.5時間作動して3月12日11:36に停止し、RPV水位信号低により約1時間遅れてタービン駆動高圧注水（HPCI）系が自動的に始動し、約14時間稼働し続けた。これらの系統の故障については、プラントの状況が安定し次第、TEPCOが調査することになっている。

1号機のIC、2号機のRCIC系および3号機のRCICとHPCI系がひとたび利用不能になったときには、代替冷却プロセスを確立しなければならなかった。1号機の代替プロセスでは、炉心スプレイ管に接続された防火配管と復水補給水系（MUWC）配管を通じて、消防車の低吐出圧力ポンプから注入する方法が用いられた。3月11日20:00頃、原子炉圧力は6.9 MPaであった。3月12日2:45に圧力計が復旧したとき（計装用の直流電力が喪失したため、自動車のバッテリーを使用しなければならず、そのために断続的な測定しかできなかった）、圧力は0.8 MPaであった。圧力低下原因は状況が安定し次第、調査する予定である。その結果、消防車のポンプで炉心に真水を注入することができた。それが開始されたのは3月12日5:46であった。その後9時間

にわたって、水の供給が底をつくまで、約 80 トンの水が炉心に供給された。蒸気が未確認経路を通じて RPV から格納容器に流れ出ていたため、格納容器の圧力が上昇し、格納容器をベントして減圧するために、弁の調節が必要になった。ベントには計器用空気と交流電力が必要である。原子炉建屋の高放射線レベルがこの作業の妨げとなっていた。3 月 12 日早朝、運転員は手動で弁を開こうとした。午後には、交流電力を電磁弁に供給するために、エンジン駆動空気圧縮機（建築工事で通常使用されるもの）とエンジン発電機が使用された。3 月 12 日 14:30 頃、運転員はドライウェル圧力の降下を確認し、それがベント成功の目安となった。約 1 時間後、3 月 12 日 15:36 に 1 号機原子炉建屋で最初の水素爆発が起きた。この爆発から約 3.5 時間後に、(炉心の未臨界を確保するために、断続的にホウ酸処理された) 海水の注入という手段が確立された。海水注入は、真水の供給源が確保された 3 月 25 日に中止された。真水を用いた注入は現在、濾過した水槽から水を吸い上げ、給水ラインに注入するポンプを通じて行われている。真水はサイトから約 10 km 離れたところにあるダムをつなぐ配管系を通じて得ている。格納容器を窒素で不活性化するために、複数の措置がすでに講じられている。

2 号機および 3 号機で用いられた代替冷却プロセスは、消防車のポンプを用いて断続的にホウ酸処理された海水を RPV に注入し、逃がし安全弁 (SRV) を通じて蒸気をサプレッション・プールに排出するというものであった。この「給水」と「排水」プロセスでは、基本的に熱が炉心から格納容器に移されるため、サプレッション・プールの温度はウェットウェルの圧力とともに上昇する。最終ヒートシンクを喪失したため、下記のように格納容器からのベントが減圧に用いられた。

2 号機の RCIC が故障した後、消防車のポンプを使用して海水を注入する代替注水源が確保されたのは約 6 時間経過してからであった。消防車のポンプの低吐出圧力のため、SRV を使用して RPV 圧力を下げて注水できるようにした。何回か SRV を開こうとしたが、そのためには弁の操作を助ける直流電力と十分な窒素圧の両方が弁の蓄圧器に必要なだった。運転員は、自動車のバッテリーを直流電源に使用していくつかの弁を開けようとしたが、弁を開放するか開放したままにしておくには、弁の蓄圧器の窒素圧が不十分であった。ついに弁が 1 基開放されて、RPV 圧力が低下した。SRV を通じてベント経路を維持するために窒素ポンプが使用された。3 月 14 日から 3 月 26 日までに、低圧注水 (LPCI) 配管に接続された防火配管と MUWC 配管を通じて、約 9,197 トンの海水が注入された。LPCI は、残留熱除去 (RHR) 系のモードの 1 つである。トラックが燃料切れを起こしたとき、この注水は一時的に中断された。3 月 26 日以降、1 号機の場合と同様に真水源が確保された。

2 号機の格納容器をベントする弁の調整が 3 月 13 日に行われた。これは、エアシリンダを用いて空気作動弁を、エンジン発電機からの交流電力を用いてもう 1 つの弁を開放して実施された。3 号機の爆発後、後述のように、弁は動作不能になった。そこで運転員は別の空気作動弁を開いてベント経路を確保しようとした。エンジン駆動空気圧縮機とエンジン発電機による交流電力を用いたところ、弁はわずかに開いたように見えた。しかし、2 号機のベントが成功したかどうかは検証できなかった。

3月13日に3号機でHPCIが故障した後、代替注水源が確保できたのは約7時間経過してからであった。RPV圧力は、SRVの1つからサプレッション・プールへ蒸気を排出して低下できた。SRVの蓄圧器には十分な窒素圧が残っており、そのおかげでSRVは自動車バッテリーで開くことができた。減圧できたので、LPCI（RHR系の1モード）配管に接続された防火配管とMUWC配管を通じ、消防車のポンプを使用して注水が確保された。ホウ素が断続的に加えられた。ポンプの吸い込みは一時暫定的に、海水で満杯になっていたピットに変更されたため、少しの間、約数分間注水が中断された。2時間にわたってさらに中断された。注水が再開され、合計4,495トンの海水が3月15日から3月25日までに注入され、25日には1号機同様、真水源が確保された。

3号機の格納容器をベントする弁の調整は、3月13日8:41頃に、エアシリンダとエンジン発電機を使用して開始された。何回か弁を開放しようと試み、9:20にドライウェル圧力の降下によりベントの成功が確認された。しかし空気漏れのため、最後にはエンジン駆動空気圧縮機を用いて必要な空気圧を供給した。3月14日11:01に、3号機の原子炉建屋で水素爆発が発生し、甚大な損傷が生じた。3月15日6:00頃、4号機の原子炉建屋で水素爆発が起きた。4号機の使用済燃料プール内の使用済燃料は、水素の発生を防ぐため冠水していたと思われるので、可燃性ガスの発生源は不明である。発生源としては、3号機の非常用ガス系統配管から4号機のベント配管を通じて4号機の原子炉建屋に逆流した水素が考えられる。3号機と4号機は排気筒にベントする共通ヘッダーを共用している。この点は確認されていない。プラントでは将来、窒素で3号機の格納容器を不活性化する措置をすでに講じている。

1～3号機の炉心劣化シーケンスのMAAP計算

TEPCOはモジュール事故解析プログラム（MAAP）コードを使用して、この事故のシミュレーションを行った。下記の情報は炉心挙動の単なる推定である。

注入速度を推定して計算を行ったところ、1号機ではプラント・トリップ後約3時間で有効燃料頂部（TAF）に到達していた。炉心は2時間後に完全に露出した。計算によれば、炉心損傷はトリップ後4時間で始まり、炉心中央部の燃料の大半はトリップ後5.3時間で溶融した。トリップ後14.3時間で、炉心は完全に損傷して中央部に溶融プールが現れ、トリップ後15時間で燃料はすべて原子炉容器底部に崩落した。計算では、RPVは深刻な損傷を受けていることになるが、計測データでは、はるかに低い温度となっている。福島第一発電所の計装が不確かなため、原子炉容器の状態は分からない。

2号機の事故進行計算は推定海水注入速度に基づいているため、原子炉水位は事象の最中に利用可能な計装で計測されたとおり、有効燃料のほぼ中間点で維持されていた。計算によれば、RCIC系が利用可能であったとき、水位はTAFを優に上回るレベルで維持されていた。RCICが喪失し、系統圧力が低下すると、水位はトリップ後約76時間で有効燃料下端（BAF）まで低下した。海水注入が開始されたとき、計装によれば、水位は有効燃料域の中間点にとどまっていたが、炉心温度は急速に上昇して溶融点に至った。溶融プールは炉心中央部にあり、トリップ後

87 時間でそのプールは溶融燃料で取り囲まれていた。96 時間まで溶融プールはその大きさを増し続け、120 時間で冷却し始める。トリップから 1 週間後、溶融燃料で取り囲まれた小さな溶融プールがあった。海水注入速度の選択に関するデータを示す計装が不確かなため、注入速度を遅くして別に計算を行った。このモデルによれば、燃料は崩落し、トリップ後 109 時間で今度は RPV が深刻な損傷を受けている。計算上は RPV が深刻な損傷を受けることになるが、計測データははるかに低い温度を示している。福島第一発電所の計装が不確かなために、原子炉容器の状態は分からない。

3 号機の事故進行の計算は、海水注入想定速度に基づいて行われたため、原子炉水位は TAF の約 3m 下で維持されていたが、これは事象の最中に利用可能な計装で計測したとおりであった。計算によれば、RCIC 系および HPCI 系が故障するまで、炉心は冠水していた。海水注入が開始され、水位が TAF の約 3 m 下にあったとき、炉心温度は急激に上昇し、溶融点に到達した。燃料の溶融規模は 1 号機ほどではない。これは、RCIC の故障から HPCI 系の起動までの時間が、1 号機で注入がなかった時間より短かったためと思われる。トリップ後 64 時間で、1 号機のものより小さい溶融プールが溶融燃料で取り囲まれ、スクラム後 1 週間で、この溶融プールはある程度冷却した。RPV の底部への燃料の崩落は予測されなかった。この計算で使用した海水注入速度の選択に関するデータを示す計装が不確かなために、注入速度を遅くして別に計算した。この場合は、スクラム後 62 時間で燃料の崩落が発生したと想定される。このシナリオによる計算では、RPV は深刻な損傷を受けているが、計測データははるかに低い温度を示している。福島第一発電所の計装が不確かなために、原子炉容器の状態は分からない。

5 号機、6 号機ならびにサイト使用済燃料貯蔵施設の対応

5 号機および 6 号機は、1~4 号機から離れて位置しており、1~4 号機より高い位置にある。損傷は 1~4 号機ほどではなかったが、それでも深刻なものであった。地震の結果、すべての外部電源が喪失した。1~4 号機同様、海水の最終ヒートシンクは津波により喪失し、5 号機では、EDG 全機が洪水により喪失した。吸気ルーバーは津波浸水高より上にあつたため、空冷式 EDG1 台が 6 号機で利用可能であった。5 号機および 6 号機は、それぞれ 2011 年 1 月と 2010 年 8 月以来運転停止状態であり、燃料は最近、起動に備えて炉心に再度装荷されていた。崩壊熱は運転中のプラントよりはるかに低かったが、炉心内の燃料を冷やす必要があり、海水冷却系を復旧する措置が取られた。

3 月 12 日、6 号機の EDG を用いて 5 号機の重要機器に交流電源を供給する措置は成功した。3 月 13 日、MUWC 系を使用して炉心に冷却材を注入し、SRV を通じて蒸気をサブプレッション・プールに放出した。燃料崩壊熱が低いと、格納容器のベントは必要なかった。3 月 19 日、RHR 系を冷却する代替冷却経路が確立された。RHR ポンプは、6 号機 EDG から電源を供給された。仮設ポンプは、交流電源を供給するエンジン発電機を用いて、RHR 熱交換器に海水を供給した。3 月 20 日、炉心は冷温停止レベルまで冷却された。熱除去能力を増大する計画が進行中である。

福島第一サイトには、7つの使用済燃料プール（SFP）がある。各号機に SFP が1つ、4号機の後ろに共用 SFP が1つあるが、これには各号機の SFP から取り出した使用済燃料を収容する。SFP は TAF の約 7～8 m 上方に大量の水インベントリを有しているが、福島では地震によるスロッシング（液面動揺）の結果、水がいくらか喪失した可能性がある。プール内に貯蔵されている燃料の熱負荷に左右されるが、大量の水インベントリにより一般的にはプールが沸騰して水位が TAF の下まで下がるには多くの日数がかかる。したがって、SFP をすぐに冷やす措置は必要ではなかった。計装がなかったことと高い放射線レベルのため、事故の最初の数日間 1～4号機の SFP の水位を測定できなかった。しかしながらサイトの爆発により、1、3 および 4号機の原子炉建屋の屋根が破壊されたため、SFP へのアクセスが得られた。冷却材を SFP に定期的に供給するいくつかのオプションが検討された。真水と海水両方の水が使用された。放水砲とヘリコプターからの水の落下を利用した2つの手法が取られた。これらの手法は3月17日から3号機 SFP に対して、そして、次に、3月20日から4号機 SFP に対して取られた。これらの手法が功を奏したかは検証できなかった。既存の燃料プール冷却系配管と仮設ポンプを利用する別の手法が、3月20日から2号機 SFP に対して、そして5月23日から3号機 SFP に対して取られた。4号機、3号機、および1号機 SFP に対して、それぞれ3月22日、27日、および31日から、コンクリートポンプ車のブームに固定し、適切な高さに持ち上げられたホースから冷却材が供給された。SFP の状態を確定するために、3号機および4号機を遠隔撮影した。画像により、水位の存在が確認され、燃料は健全なように見えた。3号機の爆発によって生じた大量の瓦礫が3号機 SFP に落下し、ラックの構造健全性が確認できなかった。おそらく4号機の爆発によって、4号機 SFP にはいくらかの瓦礫が存在したが、ラックと燃料の状態は現在の情報に基づきほぼ正常であると報告されている。現在のところ、コンクリートポンプ車とブームを用いた手法は、1号機および4号機 SFP に適用されている。燃料プール冷却系配管を通して2号機および3号機 SFP にインベントリが供給されている。両方の手法とも、大型水槽から吸水するポンプによって供給されるヘッダーに接続される。真水は、近くのダムからタンクへポンプ送水される。

6号機 EDG からの交流電源を用いて、5号機および6号機 SFP を冷却するために強制冷却が採用された。3月下旬に交流電源が供給された時点で、共用 SFP で強制冷却が確立した。熱負荷が低いため、今回の事象の初期段階で措置を講じる必要はなかった。

乾式キャスク貯蔵建屋は、5号機タービン建屋に隣接している。当該建屋は津波によって損傷したが、キャスクには損傷がないようである。燃料の状態を測定するために放射能モニタリングが用いられた。これまで放射能放出がまったく検出されていないので、乾式キャスクは影響を受けていないようである。

2.2 福島第二原子力発電所

福島第二サイトには、マーク II 型格納容器の BWR-5 炉 4 基がある。地震発生時、福島第二では 4 基全基が運転中であつた。地震に対応して、4 基すべてが自動的にスクラム（停止）した。外部電源の 1 つは正常に機能し続けたが、他の 3 つの外部電源が喪失したか、あるいは定期保守状

態かのどちらかであった。地震の約 37 分後に、最初の津波がサイトを襲い、さらにそれに続いた数回の津波によりサイトが浸水した。数回の余震とそれに伴う津波警報を受け、作業員はサイトから一時避難したが、これにより復旧措置が遅れた。地震の最大加速度は、各基の基準地震動より小さかった。しかしながら、津波は 5.2m という基準津波レベルよりはるかに大きかった（浸水高約 6.5～7m）。原子炉建屋とタービン建屋が標高 12m にあり、この標高に達した津波の打上げ波はこれらの建屋を部分的に浸水したが、浸水の程度は福島第一より小さかった。

津波は熱交換器建屋、海水ポンプ、および発電センターを浸水させたため、4 基のうち 3 基で炉心冷却機能と圧力抑制機能が喪失した。1 号機の原子炉建屋に達した打上げ波により EDG が浸水した。3 号機は最も影響が少なく、地震翌日に冷温停止に達することができた。

津波による損傷の程度が、福島第一ほどではなかったことから、発電所長は津波の影響に対処する選択肢が多くあった。運転員は RCIC および MUWC 系を用いて継続的に水を原子炉炉心へ供給でき、手動で炉心を減圧できた。発電所長は移動電源車を要請し、作業員をサイトに動員して 16 時間で 9km を超える長さの仮設電力ケーブルを敷設した。さらに、浸水したポンプ数台に対して代替モーターを調達した。これにより、津波の 3 日後に通常の RHR 系が供用を再開し、各基とも RHR 復旧の当日または翌日には冷温停止に置かれた。

2.3 東海第二原子力発電所

東海第二サイトには、マーク II 型格納容器の BWR-5 炉が 1 基ある。地震発生時、東海第二は運転中であった。地震に対応して原子炉は自動的にスクラム（停止）した。3 つの外部電源がすべて喪失し、そして 3 台の非常用ディーゼル発電機全機が自動的に起動した。地震の約 30 分後に、津波によりサイト内で高度の低い箇所が水没した。地震の最大加速度はサイトの設計基準未満であった。しかしながら、津波は 5.4m（日立ポイントを超過）であり、（建設時の）設計値は 6.61m（日立ポイントを超過）である。

津波によって海水ポンプ数台を収容していた海水ポンプエリア 1 カ所が水没し、非常用ディーゼル発電機 1 基と海水冷却機能が喪失した時点で炉心冷却源が 1 つ喪失した。他の海水ポンプエリアはこれまでに防水仕様に改良されており、水没したエリアは改良中であった。

3. 主な所見、結論、および教訓

3.1 序文

今回の主要な調査結果は、IAEA 安全基準（基本的な安全原則、要件、および指針）と世界の原子炉安全、すなわち外的ハザード、安全性評価およびマネジメント、およびモニタリング、緊急時準備・対応の3つのグループに照らして提示される。専門家チームによる調査団は、影響を受けた3つのサイト（東海第二、福島第一および第二）を訪問した。原子炉安全の改善に関する結論と潜在的教訓は、さらなる調査あるいは評価を必要とする問題を含み、今後のIAEA作業領域として導き出される。これらの主要な所見は、詳細な調査結果として付録に含まれる調査所見シートの形式で提供されている。これらの調査結果は、質疑応答、サイト訪問、および資料調査、調査団が様々な日本の政府機関と行ったミーティングの結果である。

3.2 状況

2011年3月11日、日本はこれまで記録された中で最も大きい地震を経験し、そして、それから1時間以内に、これに伴う一連の津波が日本の東海岸を襲った。これらにより大規模な破壊が引き起こされた。インフラ（道路、電源供給、通信など）は深刻な障害を被った。町全体が、破壊されたり、波にさらわれたりした。

このような状況下、この区域内の原子力施設の事業者および政府当局は原子力施設と人々の安全を確保するという事態に直面した。日本の東海岸に沿ったいくつかの原子力発電所が影響を受けた。

最も影響を受けたサイトはTEPCO福島第一と福島第二である。福島第二はいくつかの安全関連設備を喪失したが、外部および内部電源は、いくらか低下したものの利用可能な状態であった。一方、福島第一は、津波により安全関連装置の大部分、そして6号機に電源供給するディーゼル発電機1台を除きすべての外部および内部電源を喪失した。これにより1、2、および3号機の原子炉、そして4号機の使用済燃料プールに対する冷却が失われた。さらに、他の安全関連設備の冷却が、利用不可能、または接近不可能となった。これらの結果として福島第一原子力発電所の4基での事故状態をもたらした。

地震と津波の影響に対するサイトにおける対応は、（特に福島第一にあっては）前例のない状況にあり、時にはサイト内外の作業員による並外れたレベルのリーダーシップと献身を必要とした。福島第一では、程度の差はあれ、圧縮空気他のサービスの完全かつ長期の喪失を経験したが、外部からの支援が期待できない、計測制御系もほとんどない状態の暗闇の中、6基の原子炉、6つの燃料プール、1つの共用燃料プール、そして乾式キャスク施設の安全を確保するための作業をしなければならなかった。

これまでのところ、関連する原子力事故からの放射線被ばくの結果として確認された健康影響はどの個人からも検出されていない。個人線量の現実的評価として、特に最も被ばくの高い集団グループに対して適切な健康モニタリング・プログラムの確立と実施が必要であろう。日本は線量評価と健康調査に対処する常駐の専門家グループを創設した。このグループには福島県、広島大学および長崎大学を含む医科大学からのスタッフが含まれる。

福島第一原子力発電所の約 30 人の作業員が 100~250 mSv の放射線被ばくを受けていると理解される。ごく最近の情報によると、事故初期において、何名かの作業員はこれよりいくらか高い内部線量を受けた可能性がある。最終的に何らかの健康影響を被るリスクに、わずかなパーセンテージの増加の可能性はあるものの、100~250 mSv の線量は重大な値ではあるが、直ちに身体的危害を起こすとは予想されていない。(特により高い線量グループと内部被ばくに関して) 作業員のモニタリング・プログラムが、すべての不確実性を排除するのを支援し、作業員を安心させるためにも、早急に必要である。

3 人の作業員がタービン地下において高度に汚染した水に不注意により被ばくしたことから足／脚に放射線やけど(非確率的影響)を受けた疑いがあるとの報告がある。病院での治療の後、彼らは 4 日後に退院し、長期に及ぶ重大な傷害の可能性は報告されていない。事故の早い段階で、サイトの 2 名の作業員の(放射線被ばく以外の理由による)死亡が、そして、数名の負傷者が確認された。2011 年 5 月 11 日にもう 1 人の作業員の死亡が報告された。

公衆の放射線被ばくの可能性を回避するために、日本政府の関係当局は原子力発電所から最初は 3 km 圏内、次に 10 km 圏内、最終的には 20 km 圏内の住民に対して避難するように指示し、20 km から 30 km 圏内の住民に対して屋内退避し、避難の準備を行うように指示するという予防措置を講じた。この指示は、数週間が経過した後も有効なものとして適用されている。公衆が被ばくした可能性に関する情報はまだ入手していないが、避難と屋内退避によって、被ばくが制限された可能性がある。避難または屋内退避が実施される前に公衆が被ばくしたか否かについても、現在の時点では明確ではない。

現在までのところ、放射線による健康面の影響はほとんどないと考えられるが、事故の社会的および環境的影響は広範囲におよび、数万名の住民が原子力発電所の周辺から避難し、一部の食料と飲料水が制限され、海水汚染が深刻である。さらに、放出された放射能が健康やその他の面に影響を及ぼす可能性について、日本国内と海外の両方で大きな社会的不安が生じている。最後に、原子力発電所の損壊による経済的影響が非常に甚大である。

事故が発生して 10 週間が経過した時点でも、事故に関する大部分はまだ把握されていないが、そのうち事象結果が詳細に調査される予定である。とりわけ、日本政府は詳細を調査し、責任を明確化するために、科学者、法律家、および日本の原子力業界と強い結びつきを持たないその他専門家で構成される独立調査委員会を設立した。

今回の IAEA 国際専門家チーム調査団は、事実を収集し、これらをレビューすることによって、世界の原子力安全性を強化するための教訓を明示することを目指した。その過程の中で、必ずしも福島事故と直接関連する原因からとは限らず、様々な原因でシビアアクシデントが発生する可能性があり、そのために教訓は幅広く適用されるべきと認識されている。

IAEA は、国際的な安全要件および指針、ならびにそのサービスを含む基本安全原則を所有している。基本安全原則は、原子力エネルギーと放射能の平和的利用のすべての領域に適用されるが、安全要件および指針は適用範囲がもっと絞り込まれており、過去 50 年にわたり原子力安全性に関して世界中で蓄積された知識と経験に基づいて策定され、加盟国の最適実務が反映されている。IAEA の安全サービスは工学的安全、運転の安全、ならびに放射線、輸送および廃棄物の安全から規制物および安全性に関する組織内の文化までの範囲に及ぶ。このような安全サービスは、加盟国が標準を適用し、その実効性を評価する際に役立つ。

調査団が原子力安全性を強化するための以下のような結論および教訓を導き出したのは、このような関係に基づくものである。

3.3 IAEA の基本安全原則：全般

福島第一事故の主要な結論と教訓は、さらなる最高水準の原子力安全性の確保のために IAEA の基本安全原則を適用することを念頭に検討された。概論として、以下の結論が得られている。

結論 1：IAEA の基本安全原則は、福島事故に鑑みた確固たる基盤を与えるものであり、事故の教訓のすべての分野をカバーするものである。

すべての原則が関係するが、この事故状況に最も関係する原則に基づいて調査団の結論と教訓が要約されている。これらの原則について以下に論じる。

3.3.1 基本安全原則 3：安全性に関するリーダーシップおよび管理

この原則では、放射線リスクに関連する組織、ならびに放射線リスクを生じる施設および活動において、安全性に関する効果的なリーダーシップと管理を確立および持続しなければならないことが明記されている。

調査団は、事故とその技術的管理のシナリオに関する詳細なプレゼンテーションを受ける機会を得た。これらのプレゼンテーションの大部分は TEPCO がその本部およびサイトで実施したものである。原子力安全・保安院（NISA）、原子力規制機関、およびその他の政府省庁による補足的なプレゼンテーションも実施された。これらのプレゼンテーションは、現地訪問によってその効果が一層高まった。現地訪問で調査団は事故に関連する極度に困難な作業を直接的に見聞きし、運転員が事故を管理し、その介入を実行しなければならなかった実際の状況を具体的に理解することができた。

福島第一の現場運転員が直面しなければならなかった極度に困難な状況を再度強調する必要がある。つまり、すべての安全系統の喪失、事実上すべての計装の喪失、4つのプラントで同時に発生したシビアアクシデントに対処する必要性、人的資源の不足、装置の不足、設備の照明の不足、ならびに津波の発生後および燃料の損傷後における設備の一般的状況が原因となって、水素爆発と高レベルの放射線が発生した。外部資源へのアクセス、およびローカル通信ネットワークに依存するサイト外通信にも甚大な障害が発生したが、現地と本部との間を接続する TEPCO 社内通信ネットワークは大半が損なわれていなかった。

プラントの事故結果の詳細に関する理解は、今後取り組まなければならない非常に複雑かつ困難な作業である。多くの不確実性が現在まだ残されたままになっており、今後解決されることが希望される。しかし、調査団に提示された情報を見ると、ある状況下で現地チームは可能な限り最善の方法で事故管理していることが考察される。現地で利用可能な資源と状況の困難性を考慮すると、実際に選択された解決策よりも優れた解決策を実際に行ってきたかどうかは、この段階では疑わしい。したがって、以下のような結論が導き出されている。

結論 2：今回の事故の極限的な状況を考慮すれば、事故における現場の対応は、基本安全原則 3 に従い、取り得る最良の方法で行われた。

3.3.2 基本安全原則 8：事故の防止

この原則では、原子力事故または放射線事故を防止および軽減するために、可能な限りあらゆる努力を行わなければならないことが明記されている。この原則の根本的な考え方は、「深層防護」というコンセプトである。可能な限り相互に独立し、それぞれが十分に危害の発生を防止する連続的な防護層が用意されている。深層防護は、管理システムと文化、サイト選定、品質および信頼性要件を適切に考慮した安全マージン、多様性、および冗長性が組み込まれた設計、オペレーティング・システム、事故および緊急対応措置などのすべての防護層を網羅する。詳細な安全性解析は、これらのバリアの妥当性を確認および保証するための基本である。

3.3.2.1 外的ハザード

外的ハザード、その中でも特に自然起源による外的ハザードは、原子力発電施設サイトの内部と外部の両方に広範囲な長期的障害を引き起こし、この損害は国内および国際スケールに達している。福島事故の特徴であるが、これまで日本で記録された最も大規模な地震の1つに数えられる大地震による地震動に引き続いて巨大津波が発生したという状況下であった。これはサイト外の長時間にわたる停電、および道路と通信基盤の障害を引き起こした（ただし、ローカル通信ネットワークに依存しない TEPCO の社内通信ネットワークは地震と津波の後も大半が損なわれることなく、現地と本部等の間を接続する通信チャンネルの確保に有用な役割を果たしたことに注目する必要がある）。プラントは地震に耐えたが、津波は炉心の冷却、非常用電源の供給、および格納容器圧力などの制御用に備えられた大半の安全機能の喪失を引き起こした。したがって、以下のような結論が導き出されている。

結論 3：津波災害に対する深層防護の備えは、不十分であった。とりわけ、

- 津波災害は、会議において評されたとおり立地選定また福島第一原子力発電所の設計において考慮され、かつ 2002 年以降想定津波高さは（許可文書を改訂することなく）5.7 m に引き上げられていたが、津波災害は過小評価されていた。
- こうして、これらの発電所が結果的に（浸水に至らない）「ドライサイト」でなかったことを考えると、2002 年以降実施された評価結果に基づき取られた追加的防護措置は、津波の押し波の遡上高および災害をもたらしたすべての付随事象（水力学的な力や高エネルギーの大きな破損片による動的衝撃）に対処するには十分なものでなかった。
- さらに、上記追加的防護措置は、規制当局のレビューも受けておらず承認されていなかった。
- 洪水による構造物、系統および機器（SSC）の損傷は、一般的に徐々に起こるものではないため、プラントは想定を超えクリフエッジ効果¹をもたらした高さの津波の影響に耐えることができなかった。
- 複数のプラント事故に対処するための苛酷事故管理の準備が十分ではなかった。

原子炉が停止状態に維持されている場合であっても、津波の影響を受けた複数のプラントの状態は、さらに甚大な自然災害が発生した場合にその影響を受けやすくなる。したがって、以下のよう結論が導き出されている。

結論 4：東海第二および福島第二原子力発電所について、短期的には、プラントの安全を評価し、プラントとサイトの（地震と津波により生じた）現状と変更された災害環境に対し、プラントの安全を確保するようにすべきである。とりわけ、外部事象確率論的安全評価（PSA）モデルがすでに利用可能であれば、これは評価において有効なモデルになるであろう。

福島第一原子力発電所に対しては、全号機が安定した安全な状態に到達する前に、プラントの現状に対し、短期的緊急措置を計画すべきである。その時まで、タイミングを逸することのないよう簡潔な方法をもって、外的ハザードに対し優先度の高い措置を定めるべきである。予防的措置は重要であるが限定されるため、その計画の中にはサイト内およびサイト外の両方に対する対策を盛り込む必要がある。安定した安全な状態に達したら、サイ

¹ 一つの発電所パラメータの小さな逸脱の結果、ある状態から別の状態への急激な移行によって生じる、通常から大きく外れる挙動の事例であり、このように入力の小さな変動に反応して発電所の状態が突然大きく変動することをいう。（IAEA Safety Glossary 2007 Edition の 35 頁から引用）

ト内およびサイト外の両面での緊急時対策に加え、SSC に対する物理的な改善策を盛り込んだ長期的計画を準備する必要がある。

すべてのプラントがより長期的にこのような外部事象に対する耐性を備え、強化された規制管理下に置かれることを確実にするために、以下のような結論も導き出されている。

結論 5：規制要件および指針は、東日本大震災とそれがもたらした津波の影響とデータを反映して更新されるべきであり、地震、津波、外部洪水および関連する外部事象に総合的に対処するよう関連した IAEA 安全基準の要件を満足させ、推奨するクライテリア（基準）や方法を使うべきである。国の規制文書は、IAEA 安全基準の要求に適合するデータベース要件を含む必要がある。ハザードの評価方法とプラントの防護策は、関連分野の研究開発の進展と適合する必要がある。

より幅広い観点から見ると、とりわけ外的ハザードに対する防護の強化に関連して世界中の原子力安全性を強化することが可能であると考察される。

教訓 1：外的な自然ハザードを考慮するにあたっては、下記の事項を確認する必要がある。

- 原子力プラントの立地および設計では、稀でかつ複合的に組み合わさった外的事象に対して十分な防護を備えるものとし、特に所内に洪水をもたらしかつ長期的な影響を与える事象について、プラント安全解析において考慮されること。
- プラント配置は、重要な安全系の物理的な分離と多重性に加えて、サイトの洪水に対する深層防護として、できるだけ「ドライサイト」を維持することに基づくこと。
- 共通要因故障については、複数の原子炉サイトおよび複数サイトについて特に検討しなければならない事項であり、それぞれの原子炉が独立してサイト内にある資源を利用して復旧する選択肢を持つこと。
- 外的ハザードのいかなる変化についても、それらの理解と併せて、それらが既存のプラント構造に与える影響について、定期的に検討されること。
- 実働的な津波警報システムは、事業者が直近に取るべき対応として、確立されること。

3.3.2.2 過酷事故

従来より原子力安全設計は、プラントがすべての平常条件および正当に予測可能な異常／障害条件に余裕度をもって耐えるように設計されるというコンセプトに基づいている。設計の基本には通常、非常に遠隔の事象または事象の組み合わせは除外される。一般的にこれらの事象の発生確

率は、1年当たり 1/10000～1/100000 よりも低い。しかし、特に甚大な結果が後で生じる場合に、損害が発生する可能性を低減するために、より多くのことを正当に実施できるかどうかを把握する目的で、設計の基本の範囲を超えた検討を行うことも設計者に期待される。甚大な結果を引き起こすシビアアクシデントには、設計、管理、および緊急対応措置に細心の注意を払う必要がある。一般的には、「苛酷事故管理ガイドライン」と呼ばれる特別な操作手順がこの目的のために作成される。福島事故に対する今回のレビューでは、以下に示す事項が明示されている。

教訓 2：所外電源の全喪失、ヒートシンクや工学的安全系の全喪失のような苛酷な状況においては、苛酷事故管理のために必要な機材（移動式電源、圧縮空気・水源など）を含めこれらの機能の単純な代替資源が提供されるべきである。

教訓 3：教訓 2 で見出された備えは、安全な場所に置かれるべきであり、発電所所員は、これらを使えるように訓練されるべきである。これらを集中的に保管することおよび影響を受けたサイトへ迅速に移動させるための手段を含む。

これは、より長期的に冷却材を供給するための完全に独立した電力供給経路を敷設すること（9 km の重い電源ケーブルを 16 時間で敷設する作業を含む）が、苛酷事故の拡大を抑制する上で有効であることが福島第二原子力発電所において明確に実証された。同様に、福島第一原子力発電所では、海水を中間ピットに汲み上げ、それをさらに原子炉の冷却用に移送するために消防隊が活用された。加えて、東海第二原子力発電所と福島第二原子力発電所の通常のディーゼル発電機は、消費者向け供給用として、電力の喪失に備えて用意されていた JAPC と TEPCO の移動式ディーゼル発電機群によって増強されており、これらは他の国々では利用できないものである。こうした経験から、NISA は既存プラント向けに、教訓 2 と 3 で特定された問題を含む問題に対処する種の一連の迅速な措置を策定した。2011 年 3 月 30 日、NISA はすべての電力会社に対して早急にその措置を実施するよう要請した。

苛酷事故への対応は通常的设计および運転規定とは異なり、特別な資源、管理および計装ならびに抑制対策を提供するものである。これは特に、福島第一原子力発電所のように複数のプラントが関係する場合に当てはまる。発電所内で利用できる数多くの資源が必要であることは明らかであった。加えて、事象を管理、制御するために専用の強化された有効な施設も必要である。福島第一および第二原子力発電所ではこれらが利用でき、また非常に有効であった。このことは、世界的な原子力安全の改善に向けた以下の教訓を提供するものである。

教訓 4：原子力サイトは、サイト内に洪水のような外的ハザードに安全であり、地震に対しても頑強で、適切に遮蔽・換気され、設備が整った建物に、福島第一発電所および福島第二発電所に備えられているような機能を持った緊急時対応センターを保有すべきである。これらは、十分な備えを必要とし、事故を管理するために必要とされる作業員の健康と放射線防護を確保するための規模でなければならない。

しかしながら、少なくとも福島第一原子力発電所における対応は、信頼できる安全関連パラメータおよび連絡通信の欠如によって阻害され、他の国々においてもこれが一般的な状態となっているかもしれない。

教訓 5：緊急時対応センターは冷却水水位、格納容器の状態、圧力、等の強化された計装や連絡網に基づいた可能な限り利用できる重要な安全関連パラメータを所有し、制御室や他のサイト内外と十分に連絡を取ることができなければならない。

特に、TEPCO の福島第一原子力発電所には高放射線領域を理由とする問題があり、また津波と爆発によるおびただしい瓦礫のために通常の経路に支障が生じていた。加えて、制御室へのアクセスが制限され、安全関連計装が全体的に利用できないか、または信頼できない状態にあった。苛酷事故ガイドライン（SAMG）およびこれに関連する手順は一般に、計装、照明および電源が利用可能であることを前提としているが、これらが利用できない可能性もある。加えて、これらの文書は、手動措置を講じる場合の障害となりうる放射線領域などの可能性のあるプラント状態と現地の環境条件を考慮していない。その結果、以下が考えられる。

教訓 6：苛酷事故ガイドラインと関連手順では計装、照明、電力が利用できなくなる可能性およびプラント状態や高放射線領域を含む異常状況を考慮しなければならない。

調査団によって実施された評価においては、以下のように原子力の安全性を改善するための苛酷事故管理対策に関連するいくつかの教訓も強調された。

教訓 7：外的事象は同時にいくつかのプラントおよびプラント内のいくつかのユニットに影響を及ぼす可能性を有する。これは訓練経験豊富な人材、機材、供給物および外部からのサポートを必要とする。各タイプのユニットを扱うことができ、影響を受けているサイトの支援を要求することができる経験豊富な人材を適切にプールすることは、有益であろう。

TEPCO の福島第一原子力発電所における事故対応にあつては、水素爆発のために特に困難に直面することになった。これは、プラント安全根拠、設計および防護措置において適切に考慮されていない可能性もある。したがって、以下が考慮される。

教訓 8：水素爆発のリスクと影響は再考されるべきであり、必要な緩和系は実施されるべきである。

福島第一原子力発電所 6 号機の空冷非常用ディーゼル発電機 1 台の機能は部分的に生き延びたが、その理由は、この発電機が空冷式であった点と、溢水から有効に保護されていた点にある。この発電機は 5 号機と 6 号機の防護を確実化するものであった（他の原子炉は海水で冷却されるか、または空冷されていたが、付随する電気盤とケーブルには浸水していた）。これは、必須安全関連サービスの多様な装備の利点を実証するものである。

教訓 9：特に、安全機能の喪失を防ぐ上では、共通要因故障に対する深層防護の頑健性は重要な安全機能に対し適切な多様性（冗長性や物理的分離を含む）をもたせるべきである。

3.3.3 基本安全原則 9：防災と対応

ここでは、原子力および放射線事象に関する防災と対応のために対策を講じなければならないという点について述べる。

3.3.3.1 公衆と環境を保護するための発電所外の緊急時対策

日本の緊急時対策にはいくつかの階層と異なる組織が含まれ、意思決定は高いレベルで行われる。通常の場合、比較的複雑ではない対策が使用され、対策措置が適時に秩序正しく実施されるようにするため、避難勧告などの決定はより地域的なレベルで行われる。地震と津波によって、事故の早期段階で有効な発電所外のモニタリングを行う能力が低下した。したがって、事故、その可能性のある進展、および発電所外への影響に関する理解により一層の信頼を寄せなければならなかったであろう。調査団の調査と観察から以下が結論付けられる。

結論 6：日本は、良く組織された緊急時準備対応計画を有しており、それは福島事故対応で示された。しかしながら、複雑な構造と組織は緊急時の意思決定において遅れをもたらす可能性がある。

結論 7：献身的な職員および作業員とよく組織されかつ柔軟性に富んだ組織が、予期せぬ状況で効果的な対応を可能にし、公衆および施設で働く者の健康に対し、より大きな事故の影響を防ぐことを可能にした。

急速に変化するプラント環境とプラント状態に関するリアルタイム情報の欠如のために、線量測定値を信頼することの期待ではなく、公衆を保護するためにいくつかの連続的な対策措置を講じる必要性が生じた。事故後数日間、地震と津波で機器が損傷したために環境モニタリング・プログラムは機能しなかった。このことは、発電所内外の対応管理と早期の発電所外モニタリング能力のために必要な情報提供のための強化された計装や連絡通信等の必要性を示唆している。

教訓 10：サイト内外での対応のための重要な情報を提供する上で、特にシビアアクシデントに対しては、システム、通信および機器の監視を強化するために、より多くの配慮が払われるべきである。

日本の対応の有効性は、法律の下での詳細な非常時計画ではなく高レベルの法律をより信頼していたことによって支障が生じたわけではないように思われた。しかし、通常の場合は適切に確立された関与レベルと関係する計画を用意することを通じて一連のシナリオに対する有効な対応が維持される。この他のシステムは、異なるシナリオへの対応において有効とならない可能性がある。

り、苛酷事故へのしっかりとした対応を保証するための IAEA 安全基準に照らして評価すべきである。

教訓 11：脅威の分類、事象の区分および対策に関する IAEA の安全基準（例えば、GS-R-2）と関連ガイドや運転介入レベルを使えば、個別の状況に応じてサイト外における緊急時の防災および対応を一層効果的なものにし得るであろう。

長期的な屋内退避の概念が一部区域において長期的な対策措置を促進するために導入されているが、これは現実的ではないことが判明し、国際放射線防護委員会（ICRP）と IAEA のガイドラインを使った他のより確実な措置に置き換えられた。

教訓 12：長期間の屋内退避は効果的なアプローチでなく断念され、「計画的避難」や「避難準備区域」といった概念が、ICRP や IAEA のガイドラインを利用して効果的な長期的措置として導入された。

事故に関係するソースタームに関する知識は、事象について明確に理解し、公衆と環境に放射線が影響しうる範囲を決定するために最も重要であると考えられた。福島事故は、この分野の理解を深める上で類のない機会を提供するものである。

教訓 13：原子力にかかわる国際社会は、原子力事故に係るソースターム²を決定するための既存の手法やモデルを改善し精緻化するために、福島第一原子力発電所事故で得られたデータや情報を有効に利用すべきである。

線量に関する適切な評価は、個人の健康モニタリング戦略を確定し、最適化することに貢献する可能性がある。被ばくの直接的なモニタリング、適切な機器（個人汚染測定機器など）の使用、および環境モニタリング結果の使用は、線量を現実的に評価し、人々の信頼性を高め、健康追跡プログラムを決定する上で有効となりうる。

結論 8：公衆被ばくと健康についてのモニタリングの適切なフォローアップ・プログラムは有益であろう。

3.3.3.2 作業者を保護するための発電所内の非常時対応

福島事故の際には、発電所内外で地震と津波による広範な被害によって原子力非常対策の実施に極度の支障が生じ、時には適切に定められた発電所内の手順と慣行に完全に従うことが不可能となった。しかし、例外的な環境において発電所管理者が線量を効果的に制御する能力は賞賛に値するものであった。このことはさらに J ヴィレッジ調整センターのチームの経験によって強化

²炉心損傷事故時、燃料は溶解し核分裂生成物が炉心から放出され、一定の漏れ率で環境へ放される。環境への影響を評価するには、核分裂生成物の種類、化学組成、放出量を明らかにする必要があり、これらを総称してソースタームと呼ぶ。

されたが、同センターでは1日当たり約2,000人の作業員に対して全面マスクおよびその他の放射線防護装置を適切に組織化され有効な方法で提供されたようである。同様に、深刻な問題を抱える福島第1原子力発電所を含め、派遣団が視察したすべての発電所において、有効な保健物理学の防護が実証された。この最も複雑な原子力複合事故への対応における組織、規律および献身は、すべてにとって1つの模範となる。

事故後に事業者は段階的に発電所内の放射線モニタリングを改善し、現在では発電所の包括的な放射線マップが現在利用できるようになっており、定期的に更新されている。この情報は、曝露リスクの観点から放射線区域を分類し、作業員がタスクにおいて使用する防護機器と手順を決定するために用いられる。放射線区域間における明確な物理障壁の確立を含め、可能性のある予期しない、または許可のない立入を防止するために最もリスクが高いカテゴリーに分類される作業員を隔離するために、作業員の防護を最適化するための放射線マップが広く使用された。

結論 9：事象による深刻な混乱にもかかわらず、影響を受けたサイトでは、効果的な放射線被ばく管理が実施されたようである。

教訓 14：作業員が適切に組織化され、よく指導され、適切に訓練されていれば、シビアアクシデントの状況下でのサイトにおける作業員のための大規模な放射線防護も効果的に行うことができる。

教訓 15：シビアアクシデントの状況下での現場における効果的な放射線防護を確立するための現場作業員および外部要員の訓練と演習には、福島の実験を考慮することが有益である。

3.4 IAEA の安全要件と指針

福島原子力発電所の事故の特徴は、発電所内の複数の原子炉における苛酷事故に対応する必要性が生じた点にある。この側面は、複数プラントを有する発電所の用地決定、設計、運転および緊急事態応急措置にとって影響力を持つ。福島第一原子力発電所の各原子炉における事故の進展に関する詳細な安全解析を通じて、IAEA の安全要件と指針を改善するための追加的な教訓を得る基盤が適宜提供されるであろう。この経験から教訓を得るべきであり、以下のように結論付けることができる。

結論 10：複数プラントのサイトの設計および苛酷事故管理についての特別な要件が適切に手当てされていることを、IAEA 安全要件および指針は見直されるべきである。

3.5 IAEA の安全サービス

IAEA は、加盟国向けにその安全対策をチェックし、強化するための一連のサービスを定めている。こうしたサービスは多年にわたって拡大しており、より包括的なものとなっている。こうしたサービスの発展は、IAEA 安全要件と指針の定期的な検討と更新作業を反映するものとなって

いる。特に注意すべきことは、極端な外部ハザードに対する対策の検討能力が拡大された点にある。福島原子力発電所事故の教訓は、こうしたサービスを定期的にご利用することが、加盟国内で最善の国際慣行を確実に維持する上で有効であることを示唆するものである。

結論 11：特に外的なハザード影響についての各国の経験による新たな教訓を含めるため、国の法令および指針を国際的に確立された基準と指針に合致させるよう、定期的な調整を行うことを検討する必要がある。

福島原子力発電所に関する IAEA の将来の派遣団と作業

3.4.1 復旧へのロードマップ

TEPCO と NISA は事故の復旧に向けたロードマップを調査団に提出した。このロードマップは野心的なものであるが達成可能であり、持続可能な安全性を確保するとともに環境を保護するために対処すべき問題を含むように思える。原子炉の炉心と使用済燃料プール用の持続可能な冷却系統の設置、建屋の地下に含まれる高汚染水の処理、および建屋の地下をさらなる放出から保護するための損傷した原子炉建屋の遮蔽など、いくつかの主題は特に重要であるように思われる。派遣団は、このロードマップの重要性と適切さを認め、日本政府が望む場合にはこれが IAEA の主導する長期的な国際協力の主題となりうるものだと考えた。調査団は、同発電所の環境に照らして、新規または予期しない環境が明らかになった場合には修正を要するかもしれないと述べた。

このロードマップは、結果として放射線放出の影響を受ける発電所外区域の復旧につながり、避難した人々が通常の生活を取り戻せるような、より広範な計画の必須要素と考えることが可能であろう。これは、今回のような極端な原子力事象対応における達成可能なものとして、世界に向けた有効な実証となろう。

3.4.2 外部の災害

地震防災と災害評価に関しては、日本の原子力発電所にとって学ぶべきことが多くある。以下が結論付けられる。

結論 12：IAEA の国際耐震安全センター（ISSC）による安全レビューサービスは、以下の分野での日本の取組を支援するのに有益であろう：

- 外的事象のハザード評価、
- 原子炉停止後に引き続き開始される発電所内、巡視、
- 地震に対する事前準備

3.4.3 発電所外の緊急時対応

原子力発電所内外の極端な環境下における有効な緊急事態応急の運用に関する日本の経験からは、学ぶことが多くある。これは、今回の短期間の派遣調査において可能な事柄より詳細な調査に値するものである。したがって、以下が結論付けられる。

結論 13：緊急時対応レビュー（EPREV）を含むフォローアップ・ミッションは、発電所内外における緊急時対応から得られる教訓を、詳細に調査すべきである。

3.4.4 苛酷事故状況に対する大規模な放射線防護組織

上述したように、事故の苛酷さにもかかわらず、現在まで大規模な放射線防護のための発電所内外の組織は非常に有効であったように思われる。他の国々にとっては、この分野の対策を立てる際にいくつか教訓が得られよう。したがって、以下が結論付けられる。

結論 14：フォローアップ・ミッションは、福島事故に対応する際に大規模な放射線防護のために用いられた効果的なアプローチから得られる教訓を見出すべきである。

3.4.5 IRRS のフォローアップ派遣調査

派遣団の主な目的は、世界的な知見を得るために福島原子力発電所事故の事実を収集し、その予備的な評価を行うことにあった。したがって、調査の大半は、人々と環境のための原子力安全および放射線防護に関係する技術的な問題に向けられたものであった。しかし、同調査団によって実施された調査を通じ、日本での安全の枠組み、責任割当の明確さ、および規制機関の独立性に関するより一般的な問題を理解できるようになった。事故管理の主要関係者と調査団との様々な接触を通じ、システムと参加者についての相互認識に関する考慮が一部欠けていたという印象が得られた。例えば、一部の発表では政府が安全に直接的な責任を負うとされたが、IAEA の基本安全原則 1 には、電力事業者がこの責任があると定められている。にもかかわらず、インタビュー調査からは、福島第一および第二原子力発電所の責任者が自身の第一義的な責任を認識し、それに従って行動したことが明らかである。

その一方で、現地のプラント管理者は、より広範な利害関係者のニーズに対応するよりも、有効な発電所内の対応に集中する必要があった。全般的に見れば、NISA と TEPCO 相互間の連絡関係は、正式の規制関係よりむしろ技術的な関係性を深めることで利益が得られと思われる。そのためには NISA の技術的能力を高める必要があるかもしれない。

原子力安全委員会（NSC）と NISA のそれぞれの役割は正式に定められているが、それぞれの実際の介入分野と寄与についてはある程度の明確化が必要であるように思われる。最後に、NISA の独立性は、福島原子力発電所事故の管理責任を有する組織において明確ではないように思われる。最後の 2 点については、すでに 2007 年に日本で行われた IRRS 調査団調査の結果として強

調されている。加えて、原子力事故への対応においては、発電所内の原子力安全に関する運転事業者の主な責任が規制機関または政府に転嫁されないように注意を払わなければならない。

教訓 16 : IAEA の安全基準に沿って、原子力規制システムは規制の独立性を確保するとともに、役割の透明性があらゆる情勢の下で維持されるべきである。

IAEA 基本安全原則 1 および 2 は、国内の有効な一般的な取り決めの基盤となる。これら原則の適用を通じて、電力会社、規制機関および政府に関する 3 つの異なる役割が確立される。要約すれば、電力事業者が安全に対しての第一義的な責任を有し、確実に適切な決定を行い、措置を講じるよう努めなければならない。規制機関は電力事業者の活動を監視し、評価、検査および執行（助言を含みうる）を通じてそれが確実に法的義務を満たすよう指導するが、そうする中で、事実上規制機関が安全について責任を負うような決定を行うべきではない。同様に、政府の役割は確実に適切な法律と規定が定められ、規制機関が電力事業者を効果的に監視するための手段（資源、技術的能力、権限等）を持ち、規制機関が実際に事業者およびその他の機関から独立し、関係当事者からの不当な圧力を受けないことを保証することにある。これらの役割と責任は、緊急時においても混同すべきではない。しかし、そうした状況においては、公衆の最適な防護を保証し、適切な情報が入手できるようにするために緊密な協力が求められる。このことは特に、広範な区域にわたって発電所外の対策措置が求められ、様々な機関または省庁を通じてそれを実施する必要があるような苛酷事故において重要である。

フォローアップの IRRS 派遣団調査は、現在の状況と 2007 年以降の推移を評価する良い機会である。こうした派遣団調査は、日本政府が福島原子力発電所事故の管理を評価するために設立した独立調査委員会の結論の補完材料として有用かつ独立の入力情報を日本政府に提供しうるものである。

結論 15 : 2007 年の総合的規制レビューサービス（IRRS）に対するフォローアップ・ミッションは、日本の規制システムの更なる発展を支援するため、福島事故から得られるであろう教訓及び上記の結論を踏まえて実施されるべきである。

4. 謝辞

今回の調査団調査の実施にあたり、我々は、日本の人々が地震とそれに伴う津波の影響によるこの悲惨な事態に対応する上での不屈、冷静さ、気質に非常に感銘を受けた。心から弔意を表すものである。

調査全体を通じ、IAEA チームはすべての日本の関係者および組織から非常に適切な協力を得た。IAEA チームからの質問には専門家がすべて十分な説明を行った。必要な場合には、追加の文書も提供された。調査団は、事故への対応と極度のプレッシャーの中でも時間と労を惜しまない発電所内外の職員によって円滑に進められた3カ所の発電所への視察によって大いに得るところがあった。

付録

付録 1

東日本大震災および津波による
福島第一原子力発電所の事故に関する
IAEA の国際専門家調査団

調査所見シート

外的ハザード

IAEA 2011 年

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号：	A1-01
評価領域：	A1 — 自然起源外部事象	
施設：	福島第一原子力発電所	
原子炉：	1号機～6号機	
所見タイトル：	地震ハザード	

2. 所見

2.1 所見の記述：背景

原子炉等施設のあるサイトは、安全にとって重大となりうるすべての特徴と可能性のある外部の自然および人為的危険現象について適切に調査しなければならない。

この文脈において、地震は原子炉等施設に対して重大なハザードとなるもので、適切に調査、評価すべき最も重要な自然事象の1つである。その点で、「当該地域における地震学および地質学的条件、並びに提案された立地地点の工学的地質学的側面および地盤工学的上の側面を評価しなければならない。原子炉等施設の立地評価 NS-R-3、2003、パラグラフ 3.1.には、以下の重要な要件が述べられている。

- 当該地域における有史以前、歴史上の地震および計器観測された地震に関する情報を収集し、文書化しなければならない。
- 収集された情報を最大限利用し、当該地域の地震構造論的評価により地震に関係した危険性を決定しなければならない。(参考文献 [1]、パラグラフ 3.3.)
- 当該地域の地震構造学的特性と特有の立地条件を考慮し、地震によって誘起された地震動による危険性を立地地点について評価しなければならない。地震ハザード評価の一部として徹底した不確実さ解析を行わなければならない。(参考文献 [1]、パラグラフ 3.4.)
- 当該立地地点について地表断層活動の可能性（即ち、断層の潜在性）を評価しなければならない。(参考文献 [1]、パラグラフ 3.5.)

上述の IAEA 安全要件は詳細な勧告によって補完されており、地震ハザードと特に地震動および断層の潜在性を評価するための方法論と基準が新たに改訂された安全指針 SSG-9 に示されている。

データに基づく信頼できる結果を得るために、地震ハザード評価の一般的なアプローチは、評価プロセスの様々な段階における不確実さの低減に向けられるべきである。経験から、これを達成する最も有効な方法は十分な量の信頼できる適切なデータの収集であることが示されている。一般に、詳細で信頼できる適切なデータベースを編纂するために必要な時間および努力と、プロセスの各段階において解析者が考慮すべき不確実さの程度との間には二律背反が成立する。可能な限り時間を遡って、歴史的な地震に関するすべての「計装によらない」データ（すなわち、計装による記録が可能ではなかった事象）を収集すべきである。歴史上のおよび有史以前の地震に関する古地震および考古学的情報を考慮すべきである。

したがって、IAEA の安全要件「原子力発電所の安全：設計 NS-R-1、2000 パラグラフ 5.16 および 5.17」に示されているように、詳細なハザードの特徴付けが行われた後に、ハザード評価の結果として決定される個別的な設計基準に従って地震事象に耐えるようにプラントが設計されなければならない。さらに、パラグラフ 5.22 には「プラントの耐震設計は地震事象に対して十分な安全裕度を有していなければならない。」と定められている。

こうした設計要件に適合させるため、IAEA 安全指針「原子力発電所の耐震設計と認定、NS-G-1.6、2003」は、系統、構造物および機器の設計に関する詳細な推奨事項をそれぞれの安全重要度とその時点において認められた国際的な工学的慣行および合意に従って定めている。

最後に、既存の原子力発電所の耐震安全性評価は以下の要件に従って行うべきである。

- (a) 新規または追加的なデータ（例えば新たに発見された地震構造、新設された地震観測網、または新たな古地震の証拠）、新たな地震ハザード評価手法、および／または**施設に影響を与える実際の地震の発生に由来する**、設計基準地震を上回るサイトの地震ハザードの証拠
- (b) 最新の知識と実際の施設状態を考慮した、定期安全レビュー要件などの規制要件
- (c) 一般に施設が古いことによる不適切な耐震設計
- (d) 選択された構造物、系統または機器の脆弱性などの新たな技術的所見
- (e) 実際の地震発生による新たな経験
- (f) 設計基準地震の地震動を超える場合に「クリフ・エッジ効果」が無いことの確信を得るため、すなわち仮に設計基準地震を僅かに超える地震が発生した場合に重大な故障が施設に生じないことを実証するため、に施設の挙動問題に対処する必要性

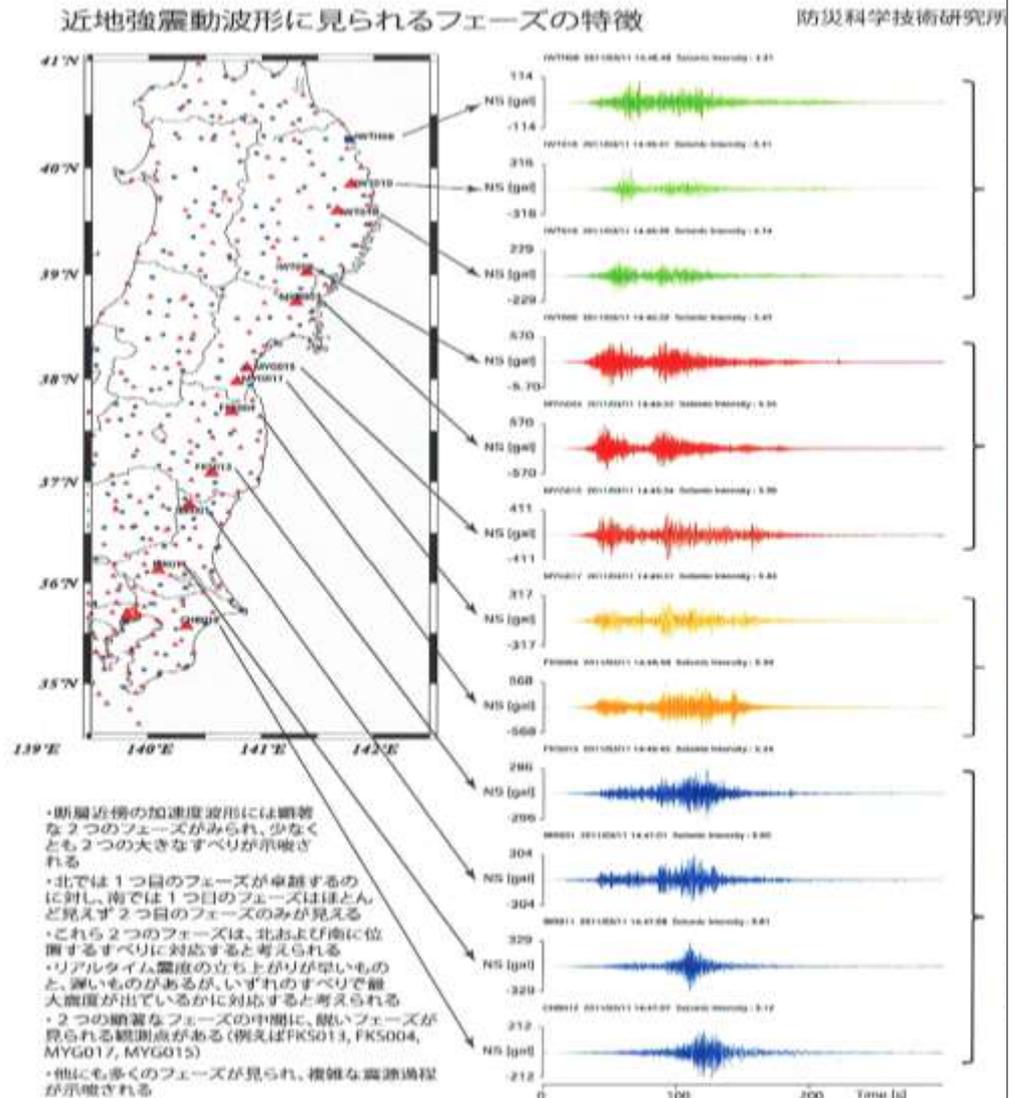
2.2 - 福島第一原子力発電所における所見

日本で適用されている規制要件および指針の一般的な枠組み

- 福島第一原子力発電所の建設許可の時点（1～6号機について1966年～1972年）で、適用される関連する規制要件は、1964年に原子力安全委員会が発行し、1990年に改訂された「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」と、原子力安全委員会が1970年に発行し、1977、1981、1990、2001年に改訂された「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」に定められている。これらは、安全関連構造物、系統、および機器（SSC）をそれぞれの安全機能の重要性に基づく耐震設計によって分類する必要性と、地震によって引き起こされる機能喪失（この自然ハザードによって影響されるべきではない）を防止するための一般要件を定めたものである。
- 日本の専門協会は、耐震設計に関する詳細指針を、日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術指針、JEAG 4601-1970, JEA, (1970) および JEAG 4601-1987, JEA, (1987) として発行した。
- 2006年、原子力安全委員会は、原子力発電所の耐震設計の妥当性に関する指針を示した「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」というタイトルの新たな規制指針を発行した。
- これに従って、原子力安全・保安院は、すべての原子力発電所が原子力安全委員会の2006年新指針に基づいてバックチェックを行うべきであることを要求した。これには原子力発電所サイトの地震ハザードを再評価して、いわゆる新しい「設計基準地震動」（DBGM Ss）を取得し、必要なアップグレードを実行する必要性が含まれる。柏崎刈羽の事例から得た経験も、このプロセスの一部をなした。ここで指摘すべきことは、原子力安全委員会指針では、DBGM Ssを超えた場合の地震動の発生の可能性を考慮に入れて、残余のリスクの評価を実行することを要求していることである。
- 津波安全に関する調査所見シートに示したとおり、原子力安全委員会との会合では、原子力安全委員会指針は法的拘束力がなく、「規制」ではないことが示されたが、実際には、規制とみなされている。また、これらの指針は最近の経験と教訓を考慮して改正されることが表明された。

2011年3月11日の東日本大震災

- 2011年3月11日14時46分、東北地方の太平洋沖のプレート沈み込み帯でマグニチュード9.0の地震が発生した。震源は深度24km、震央は福島第一原子力発電所サイトから約180km、女川原子力発電所サイトから130kmの距離にあった。持続期間は非常に長く、約140~160秒続き、観測記録では2~3回の重大パルスが記録された。以下のグラフは、東日本の沿岸地域の多数の場所における観測記録を示している。

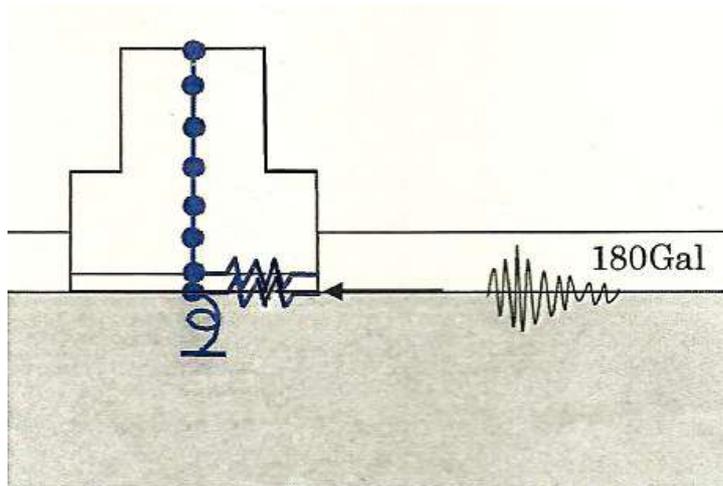


- 気象庁によると、福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所のサイト近隣の町では、地震による損害が発生し、震度は6+であった（気象庁の尺度の最大値は震度7）。
- 本報告書の付録XXには、地震事象を記述した詳細地図とグラフを記載している。
- 原子力発電所サイトの地震動の観測に関して、会合で、最初の地震設計基準（すなわち、S1およびS2レベル）および事後点検DBGM Ss値との比較を含めて、福島第一発電所の6基および福島第二発電所の4基の基礎ベースマット・レベルでの最大応答加速に関する以下の情報を受け取った。基本的に、以下の3組の値が提供された。

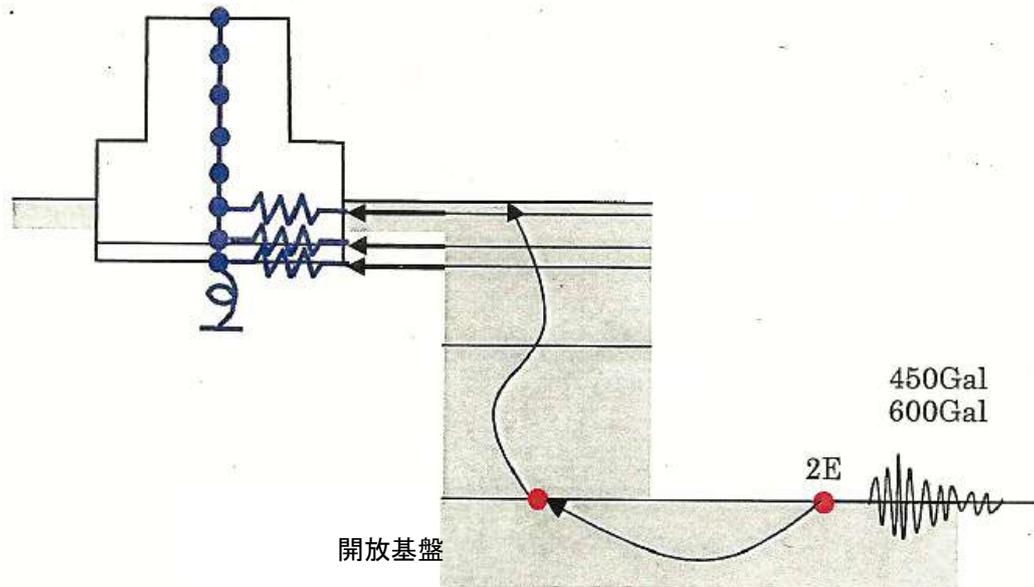
福島第一原子力発電所では、

1. 2011年3月11日の地震発生時に観測されたベースマット・レベルでの最大加速値（ガル）。最初の3つの欄はNS水平、EW水平、およびUD垂直成分（赤色）。
2. 原設計基準に対応する最大応答加速値（ガル）は以下のとおりである。

- 原子力安全委員会規制指針の策定以前に有効であった基準に従って定められた、**原設計基準**：
原子炉建屋のベースマットへの直接入力として、**180ガル**
機能維持を確認するため、**270ガル**



- 原子力安全委員会規制指針の策定以後に定められた、**標準地震動 S1 および S2**：
S1 = 180ガル
S2 = 270ガルおよび370ガル
これらの値は、O.P.-196 m の位置で開放基盤上に定められた。
 - **静的地震加速度**
日本の建築基準によると、ベースマットへの静的せん断力は次のように計算される。
建築基準：0.2G × 係数 × 重量 = 195.8Gal × 係数 × 重量
ここで「係数」は「構造特性係数」に対応する。福島第一の場合、構造特性係数は0.8になる。したがって、原子炉建屋の場合は次のようになる：
195.8ガル × 係数 × 3 × 重量 = 195.8ガル × 0.8 × 3 = 470ガル
3. 2006年9月の原子力安全委員会「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」またはバックチェック要件に従って、新たに推定された**設計基準地震動（DBGM）**に対応する、最大対応加速度値（ガル）。開放基盤での Ss として表記され、3種類の震源のエンベロープであることが望ましい。
内陸地殻プレート内地震の場合、Ss1= 450ガル
海洋深部プレート内地震の場合、Ss2= 600ガル
拡散地震活動の場合、Ss3= 450ガル

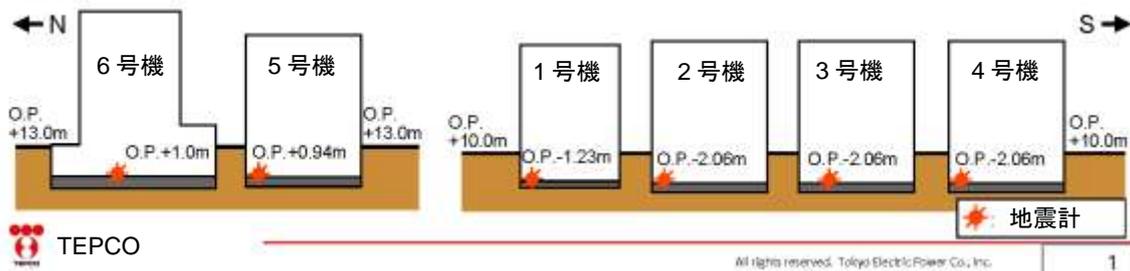


ベースマット・レベルでの推定値を、下表の4～6欄に示した。

福島第一原子力発電所の原子炉建屋のベースマット・スラブでの観測

	観測記録からの 最大加速度値 (ガル)			最大対応加速度値 (ガル)					静的水平 加速度 (ガル)
				新設計基準地震動 (Ss)			原設計基準地震動		
	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	
1号機	460	447	258	487	489	412	245		470
2号機	348	550	302	441	438	420	250		
3号機	322	507	231	449	441	429	291	275	
4号機	281	319	200	447	445	422	291	283	
5号機	311	548	256	452	452	427	294	255	
6号機	298	444	244	445	448	415	495	500	

* 観測値は Ss の応答を超えていること、他の値は Ss の応答以内にあることを示している。



TEPCO

All rights reserved. Tokyo Electric Power Co., Inc.

1

調査期間中、観測スペクトルと設計スペクトルの比較は、レビュー・チームに入手可能ではなかったため、行われなかった。基礎ベースマット・レベルでのピーク加速度については、超過を示さなかった 6 号機を除き、記録された最大応答加速度は S2 地震の原設計値を 1.13～2.2 倍超えた。

バックチェックに関して採択された値については、有効に実施された物理的アップグレードに関する詳細情報が提供されなかったため、レビュー・チームには、

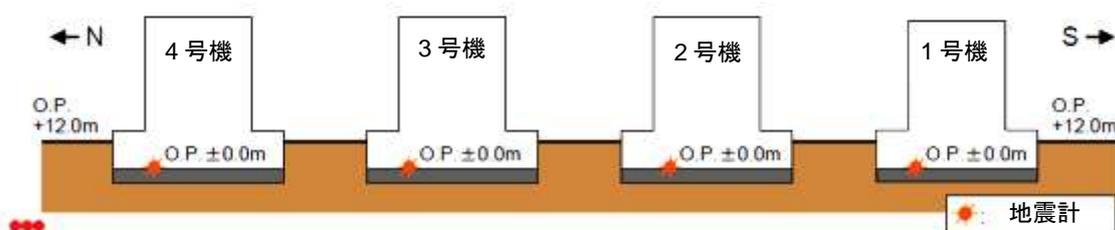
この値と観測値との比較が有効なかどうか不明であった。提供された情報は、配管支持部の一部アップグレードのみが実行されたことを示していた。

福島第二原子力発電所では：

福島第二原子力発電所の原子炉建屋のベースマット・スラブでの観測

	観測記録からの 最大加速度値 (ガル)			最大対応加速度値 (ガル)					静的水平 加速度 (ガル)
				新設計基準地震動 (Ss)			原設計基準地震動		
	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	
1号機	254	230	305	434	434	512	372	372	470
2号機	243	196	232	428	429	504	317	309	
3号機	277	216	208	428	430	504	196	192	
4号機	210	205	288	415	415	504	199	196	

* すべての観測最大加速度値は Ss の応答以内であった。



東海第二原子力発電所では：

東海第二原子力発電所での会合では、DBGM の地震ハザード評価に関するバックチェックは完了し、一部のアップグレードが実施されたが、原設計基準に対する耐震余裕はどのようなものかという質問が出された。これに対し、「プラントは十分に強い」という回答が与えられ、詳細情報は提供されなかった。また、クラック監視プログラムは実施されていないため、地震によってコンクリート構造に新たな亀裂が発生したかどうか判別できないとのことであった。

3 - 結論

2011年6月1日

1. 東京電力と原子力安全・保安院から提供された情報によると、東日本大震災は、すべての原子炉の基礎ベースマットのレベルで、福島第一プラントの許認可ベースの設計基準地震動を超えたように思われるが、地震発生中および発生直後に、運転プラントは自動的に停止し、すべてのプラントは安全に挙動した。また、場合によっては、観測値が最近確定された最大応答加速度値を超過し、明らかに新 DBGM Ss が過小評価されていたことを示したことも確認された。
2. (a) 反応度制御、(b) 炉心からの熱除去、および (c) 放射性物質の閉じ込め、の 3 つの基本安全機能は、津波がサイトに到達するまで稼働していたことも報告された。
3. 日本の専門家およびプラント要員からの報告に基づき、プラントの安全関連の構造物・設備・機器は、おそらく設計プロセスの様々な段階で導入された保守性のために、このような強い極限地震に対して良好に挙動したように思われる。

4. 当初のハザード調査およびより最近の再評価におけるハザードの過小評価の主な原因は、特にサイト東部の近隣沈み込み帯に対応する最大マグニチュードの推定において、近過去の地震データを使用したためである。

4 - 教訓

2011年6月1日

- 現在および未来の状況を考えると福島第一ケースには当てはまらないが、福島第二および東海第二発電所の場合、震源の特性評価に対して新しいデータおよび東日本大震災から得た教訓を正當に考慮し、必要なアップグレードを迅速に実行するため、サイトの地震ハザードの再評価を再度実施すべきである。これは、将来の事象発生の可能性のために安全措置を講じるべき時に、長期停止している原子炉の短期・中期的なリスクの評価にも貢献する。詳細な検査・巡視点検プログラムを実行すべきである。
- 過去に観測もしくは記録されたものより大きい潜在的最大地震事象を考慮する必要性を、全世界で認識すべきである。原子力施設での自然ハザードを評価するための国際安全要件において、先史データおよび歴史データが良好に作成されていることを検討する必要があるが、これは特に古い原子力発電所ではフォローされてこなかった。現行のIAEA安全基準は、地震発生構造に対応する最大マグニチュードの推定において、明確な時間尺度（歴史時代および先史時代に遡って）および地質構造容量という考慮事項を設定している。加盟国の規制は、新規建設だけでなく既存原子力発電所の再評価の際にも、これらの考慮事項を反映させる必要がある。
- 日本では最近、最近の調査とデータに基づいて、地震ハザードの再評価（バックチェック）を実施した。しかし、これらの評価は2011年3月の事象によって超えられたことが確認された。この経験は、潜在的ハザードの恒久的監視、および安全レベルの維持と向上のために必要な措置を講じるためのあらゆる必要活動を実施することの重要性を示している。
- IAEA安全指針SSG-9で推奨しているものなど、地震ハザード解析に対する適切に保守的なアプローチは、原子力発電所サイトの耐震設計基準の常時レビューおよび改正の必要性を大幅に低減する。
- また、福島の実験は、世界のすべての原子力発電所において、整合性ある包括的な地震発生前計画と事後対応措置プログラムを策定する必要があることを示した。

調査所見シート

1. 自然起源の外部事象	所見番号：	A1-02
施設：	福島第一原子力発電所	
原子炉：	1号機～6号機	
評価領域：	自然起源の外部事象	
所見タイトル：	津波ハザード	

2. 所見

2.1 所見の記述：背景

津波とその関連現象は、沿岸地域に立地する施設に重大な損傷を与えることがある。現行の IAEA 安全基準は、先史データと歴史データおよびあらゆるタイプの関連ハザードを考慮に入れながら、サイトの沿岸形状による増幅を計算に入れて、原子力発電所の安全性に影響を及ぼす恐れがある津波の可能性を評価、およびその特性の確定を要求している（IAEA 安全要件 – 原子力施設のサイト評価、NS-R-3、2003 年、3.24～3.28 項）。

したがって、このような可能性が存在し、詳細ハザード特性評価が行われた場合、プラントは、IAEA 安全要件 – 原子力発電所の安全性：設計、NS-R-1、2000 年、5.16 および 5.17 項に述べているとおり、この津波ハザード評価の結果として決定された具体的設計基準に従って事象に耐えるように設計されなければならない。

この要件に適合するため、「海岸サイトおよび河岸サイトにおける原子力発電所の洪水ハザード」（NS-G-3.5、2003 年）および「原子力発電所の設計における地震以外の外部事象」（NS-G-1.5、2003 年）に関する IAEA 安全指針は、その時点で認められている加盟国の慣行および合意に従って、詳細勧告を与える。NS-G-3.5 では、遡上波、引き波、および関連現象（すなわち、流体力、瓦礫、堆積物など）を特性評価する必要性が明確に推奨された（11.21 および 11.22 項）。

特に、洪水事象に関して、風浪影響と潜在的瓦礫蓄積の影響を考慮して、安全上重要なすべての機器類を、設計基準冠水レベルより上方に建設されるべきであると推奨された。これはいわゆる「ドライ・サイト」の概念であり、多くの加盟国で、安全上重要な機能として定期検査、保守、監視を必要とする堤防、護岸、隔壁などの恒久的外部障壁という代替方式よりも好まれている。どちらの場合も、防護が乗り越えられることによる固有の「クリフ・エッジ」特性のため、防水の確保、および原子炉を停止し、安全停止状態に維持する能力を与えるために必要な機器類の正しい設計を確保することなど（NS-G-3.5 の 13.5 および 13.6 項）、冗長的かつ保守的な措置を取るべきである。

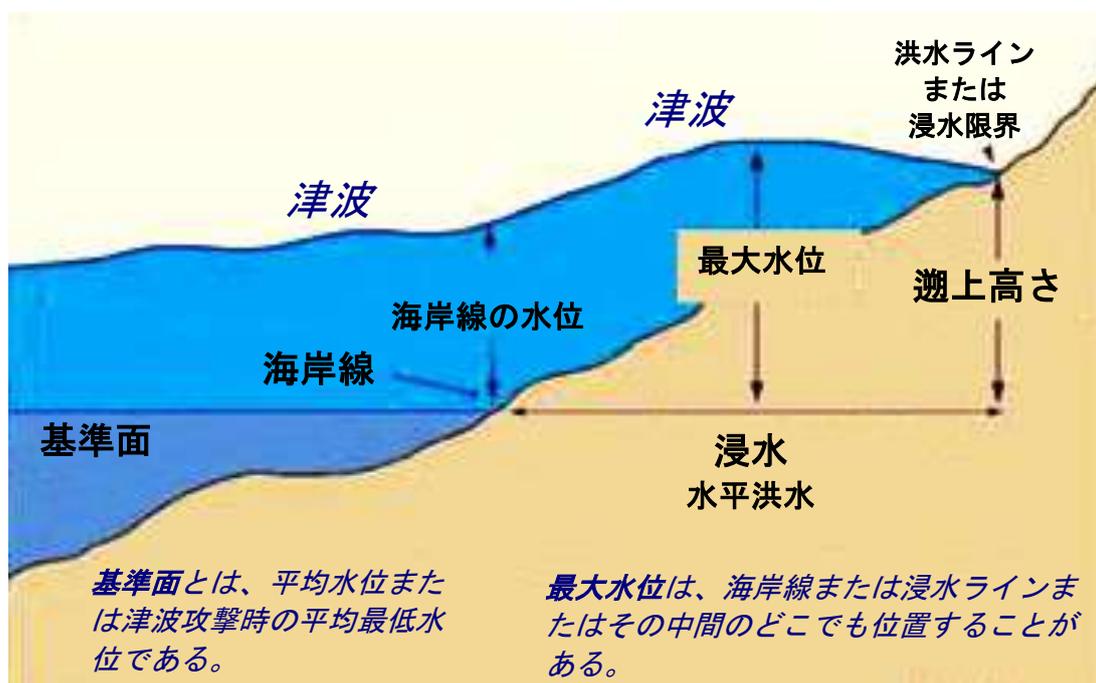
最近、主に 2004 年のインド洋の津波から得た新しいデータ、情報および教訓を考慮して、安全指針 NS-G-3.5 の改正が進められ、この指針の草稿（DS417）が IAEA 安全委員会（安全基準委員会を含む）の承認を獲得し、刊行の準備が整った。この新バージョンは、上述の概念と勧告を維持しており、津波の影響からの原子力発電所の防護に関するより詳細な勧告を与えている。この安全指針草稿の付録として（基準の一部とはみなされない）、加盟国の現行慣行への言及が組み込まれ、日本と米国がこれらの例を提供する国となっている。

津波の危険効果は、水位の変動（最大、最小）によって生じる影響に加えて、港

湾での強い潮流、河川・河口・潟での潮津波、および巨大な流体力である。沈積と浸食を含めて、海底での大きな力によって堆積現象が発生することもある。

以下のパラメータを、ダイヤグラムに示したように定義する必要がある。これらのパラメータは、本報告書で使用する用語の共通理解のためにここに含めている。

- **ランアップ**: 津波によって浸水限界または浸水ラインに達した高度
- **海岸線の水位**
- **最大水位**
- **浸水区域 (または水平浸水区域)**



2.2. — 福島第一原子力発電所における所見：

2011年3月11日以前

- 福島第一原子力発電所の津波ハザードは、1960年にマグニチュード9.4のチリ地震によって発生した津波からのデータと観察に基づいて、(1966年～1972年の1号機～6号機に対する)建設許可の時点で最初に推定された。設計最大高さは、サイトの南50kmに位置する福島県小名浜港で観測された潮位としての平均海水面 (msl) で+3.122 mと定められた。作業グループ会合(保安院による)で報告されたように、この値は、津波によって発生した洪水の公式許認可設計基準を依然として表している。取水区域でSSC(構造物・設備・機器)を配置するためのサイト・レベルは、+4.00 mに選定されたが、プラント当初の設計基準レベル(すなわち、原子炉建屋の高度)は、1号機～4号機が+10.00 m、5号機～6号機が+13.00 mに設定された。
- この時点で、適用する関連規制要件は、1964年に原子力安全委員会によって発行された「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」(1990年改正)、および1970年に原子力安全委員会によって発行された「原子炉安全設計審査指針」(1977年、1990年改正)に示された要件であった。これらの指針は、安全機能はこの自然ハザードの影響を受けるべきではないことの必要性に関するごく一般的な要件を示している。構造機構に基づく津波の数値シミュレーションが実施されたのは、1970年代半ばになって

- からであったことが、東京電力によって言及された。このシミュレーションは、「地震」が海底で発生し、海底の隆起と地盤沈下を引き起こし、それが後に津波の発生につながるというものであった。以前（1960年代）には、すなわち、福島第一原子力発電所の建設許可を申請した時点では、過去の津波記録を設計基準の津波高さに採用することが一般的慣行であった。この慣行に従って、+3.122の値が許認可目的で採択された。
- 後に、専門機関である土木学会（JSCE）によって2002年に提案された新しい手法「日本の原子力発電所の津波評価方法」を使用して、最高水位+5.7 mを記録した1938年のマグニチュード7.9の塩屋崎沖（福島県東方沖）地震からのデータと観測に基づいて、津波ハザードの水位（最大、最小）が再評価された。1960年のマグニチュード9.4のチリ地震に基づいて、-3.60 mの最小水位が計算された。取水区域のランアップは、+10.00/+13.00 mであるプラント当初の設計基準に到達する程高くないと推定された。JSCEの手法は、決定論的アプローチに基づいており、津波発生データの不確実性はパラメータ変動研究のプロセスを通じて考慮されている。この計算で、東京電力は塩屋崎の震源に8.0のマグニチュードを使用した。
 - 東京電力によって提示されたこれらの値は、会合で言及されたとおり、原子力安全・保安院によるレビューもしくは妥当性確認は行われなかった。津波推定値はほぼ2倍に増加し、主要津波発生源は遠位（チリ）から近位（塩屋崎）の震源にシフトしたという事実は、原子力安全・保安院の関心を必要とした。これらの評価と対策は、原子力安全・保安院からの指示を受けずに、東京電力によって自主的に行われたため、許認可文書の変更に関連するものではなく、したがって公式に認められた設計基準ではなかった。
 - その他の重要な検討事項は遡上高さである。推定値は、「取水地点」と呼ぶことのできる地点の津波高さに対応する。すなわち、上図では、取水構造物レベルへの入口における「海岸線」地点と想定できる。遡上、すなわち、最大浸水点に到達した水位は、東京電力の発表では示されなかった。これを問われると、東京電力は、計算は行われたが、+5.7 mを大幅に増加するものではなく、+10 mの主要地盤面レベルに達しなかったと述べた。また、遡上の計算は、プラント・レイアウトの個別および詳細配置を考慮しなかったように思われる。
 - IAEA安全指針は、現行のNS-G-3.5と新草稿ともに、流体力、瓦礫、および砂沈積物などのあらゆる関連現象を考慮する必要を指摘している。JSCE手法による計算に従って、取水構造物近辺の最大水位と最小水位のみが計算された。津波による流体力は、方法がまだ進化中のため考慮されなかった。
 - 津波の最大／最小水位と+5.7 mに至った+1.0 mの潮位との組み合わせは、信憑性あるシナリオを検討するには不十分と思われ、その他の海洋現象および気象現象（高潮、風浪など）の他に、偶発的および認識的な不確実性を考慮すると共に、同時に安全余裕を考慮することが必要である。津波計算値に+1.0 mを加えただけでは低すぎるように思われる。
 - 2006年に原子力安全委員会は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」という題名の新しい規制指針を発行した。この指針では、第8章で、地震の付随事象として津波安全を取り扱っており、「施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性がある」と想定することが適切な津波によっても、施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがないこと」と述べている。報告されたとおり、詳細もしくは具体的な要件・指針は入手できなかった。他の洪水ハザードとの組み合わせについては、実際には満潮だけが津波水位の計算に加えられたことが言及された。
 - 原子力安全・保安院は、すべての原子力発電所が、津波ハザードの再評価の必要性を盛り込んだ新しい2006年指針に基づいて、バックチェックを行うべきことを要求した。東京電力は、調査を開始したが、結果は現在まだ出ていないと報告した。
 - 原子力安全委員会との会合で、原子力安全委員会指針は法的拘束力がなく、「規制」ではないことが示されたが、実際には、規制とみなされている。また、これらの指針は最近の経験と教訓を考慮して改正されることが表明された。

- 2002年のJSCE指針については、この基準は津波高さを計算するための方法を提供するが、流体力学的負荷、あるいは移動瓦礫からのミサイルなどの関連影響は含まれていない。東京電力によって計算された値は、最近の歴史データのみに基づいている。
- 崩壊熱の除去（最終ヒートシンクに接続）及び緊急時電源の供給のためのディーゼル発電機の冷却用の安全関連機器類は、+4.00 mに位置する、すなわち、最近予想された洪水レベルより+1.70 m下に位置するという事実を考慮して、機能損壊を回避するため、安全関連ポンプ（残留熱除去系）のモーターが高度の高い場所に設置されたことが、東京電力から言及された。しかし、このような事象に対処するための残留熱除去系のすべての関連する機械、電気、および計装制御機器の保護のために、これらの措置で十分かどうかについての追加的詳細は提供されなかった。

2011年3月11日の津波以後

- 2011年3月11日14時46分にマグニチュード9.0の地震が発生し、44分後の15時30分頃に津波がサイトに到達した。遡上高さは約14~15 mで、プラントの主要地盤面よりかなり上方であった。これは、洪水、流体力、引きずり出された瓦礫の影響、砂・沈泥の沈積などの形で、安全機能の冠水、損壊、および崩壊を引き起こした。沖合の岩手南部沖の検潮器に観測された記録を、下図に見ることができる。

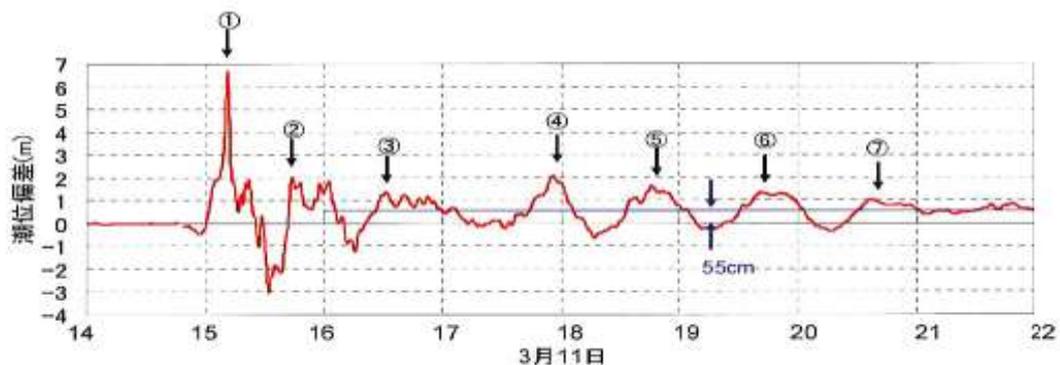
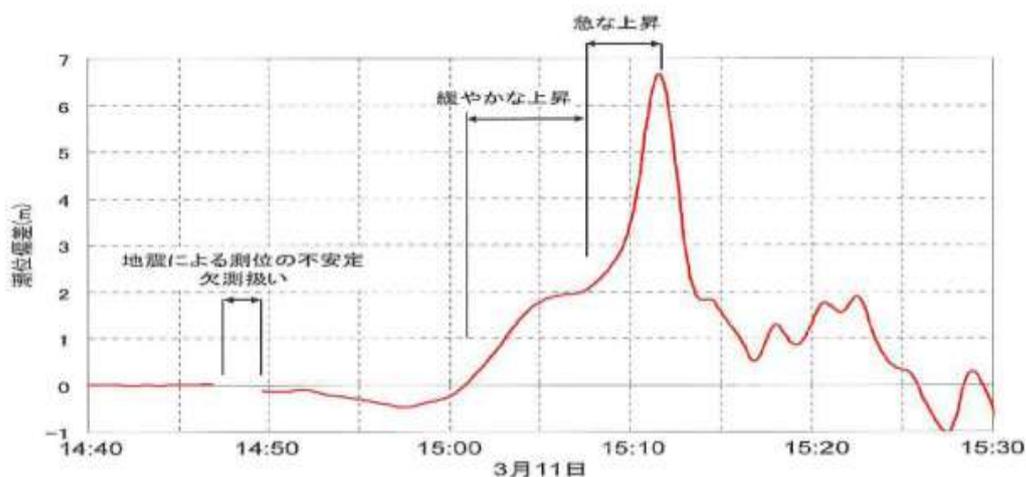


図-2 岩手南部沖GPS波浪計で捉えた津波の初期の波形



本報告書の付録XXに、地震によって破壊された地域を示す図と地図を記載する。

- 取水区域に位置するSSC（主に機械・電気品）が損傷したため、崩壊熱除去と非常用電源という安全機能が、本報告書の他のセクションに記述したとおり、重大な影響を受けた。地震によって、プラントの外部電源は、津波が来た時点で利用できなかったことを指摘すべきである。
- 東京電力が適用したJSCEの手法は、流体力と大瓦礫の影響を推定するための指針を提供し

ていない。このため、建屋、構造物および機器へ影響を与え、漏洩し、安全関連機器類に影響を及ぼした水のすべての影響の徹底的かつ包括的な評価において、システムの観点から見た津波の影響が過小評価された。また、波高に影響を及ぼしうる同時構造的な地盤沈下の影響については言及されなかったことも指摘しておく必要がある。

3 - 結論	2011年6月1日
<ol style="list-style-type: none"> 1. 約 40 年前に建設許可を交付して以降、規制当局は津波安全性について要件もしくは指針を一切示さなかった。耐震安全指針の一部として 2006 年に示した指針は、再評価に利用できる具体的な判断基準や方法論を含んでいない。唯一の再評価は 2002 年、東京電力により自主的に実施された。この作業さえ原子力安全・保安院は審査しなかった。したがって、運転寿命を通じて原子力発電所の津波安全性に備えるために利用できる有効な規制の枠組みがなかった。 2. 会議中に説明があったとおり、津波災害は福島第一原子力発電所の立地評価と設計の両方で検討されていたし、また予想される津波の高さは 2002 年より後に引き上げられた（認可書類の変更はなかった）ものの、津波災害は過小評価された。 3. さらに、これら運転中の原子力発電所の「ドライサイト」条件を確立することが不可能であったことを考えると、2002 年以降に行われた評価の結果講じられた追加的防護措置は、予想を超える高い津波のランアップ高さとそれに伴うあらゆる危険現象（流体力や瓦礫の衝撃）に立ち向かう上で不十分であった。それに加え、2002 年以降のハザード再評価も、講じられた防護措置の妥当性も規制当局のレビューを受けていなかった。洪水来襲時の SSC の故障は一般に徐々に起こるものではないため、発電所は予想を超える高さの津波の影響（クリフェッジ効果）に耐えられなかった。 4. 事象へのプラントの反応に適切かつ適時に対応するための津波警報・通知システムが用意されていなかったようである。日本、特に原子力安全基盤機構は TIPEEZ システムを開発しており、これは加盟国に提供するため津波特別拠出金プログラム（EBP Tsunami）を通じて IAEA に供与された。このシステムは福島第一原子力発電所で使用されておらず、運転員は津波の接近に気づいていなかった。 5. 世界中で認識されているとおり、日本は津波災害について高水準の専門知識を持ち、また経験を蓄積しているのであり、このテーマでは世界でリーダーシップを発揮している。このことは、このテーマについての世界の研究開発に日本の学術、科学、技術機関が大きな影響力を持っているという事実にも反映されている。その意味で、原子力発電所にとっての津波安全性について原子力安全基盤機構が供与してくれた貴重な支援を IAEA は評価しており、それは ISSC を通じて加盟国に移転された。今回調査で訪問した 3 つの原子力発電所での実際の事例にこの専門知識が適用されなかったのは、組織上の問題が妨げになったためと思われる。 	

4 - 教訓	2011年6月1日
<ul style="list-style-type: none"> - 次の理由から、発電所サイトでの津波遡上を推定するには多数の安全係数を織り込む必要がある。(i) 津波ハザードに関係するパラメータには、津波源の特性評価を筆頭に大きな偶発的および認識論的不確かさがある、(ii) プラント配置とプラント各部の高度を個別かつ詳細に検討すると、浸水レベルがサイトの様々な部分の間で大きく異なる、(iii) 津波の高さの推定値を引き上げた後にプラント運転のための効果的な津波防護対策を取り入れようとするのが困難がある、(iv) 引き上げられた洪水レベル、つまりそれに関連するクリフェッジ効果に発電所の SSC が耐えられない。 - 津波災害に対し効果的に防護するには、系統的なアプローチを使用してプラントの SSC の 	

設計と配置に取り組むことも必要である。水の潜在的通り道をすべて包括的に評価することによって水密性と耐水性を確保すべきである。しかし、この措置は冗長性として（つまりドライサイトや効果的なサイト防護措置との組み合わせで）しか利用できない。

- はっきりした（断層に支配された）津波源の場合には、大規模地震が常に津波に先立って発生する。震源がサイトに近ければ振動性の地震動が警報になる。サイトで起こる可能性のある津波については、全国津波警報システムからの通知が必ず制御室に伝送され、運転員の速やかな措置を促すべきである。警報が解除されるまで、プラント管理者は明確な手順によって津波に備えるべきである。
- 津波に対し、より一般的に言えば相関連するすべての外部事象に対し総合的に対処するには、東日本大津波で得られた経験とデータを反映させつつ、また IAEA の関連する安全基準に定められた基準と方法をも利用しつつ規制の要件と指針を更新すべきである。国の規制文書は IAEA 安全基準の定めたデータベース要件に適合したデータベース要件を含んでいる必要がある。ハザード評価とプラント防護の方法は、この分野における研究開発の進歩に対応したものでなければならない。規制当局はこの進歩の重要性を認識する必要がある、また科学の進歩と最近の事象を考慮に入れて定期的に更新される IAEA 安全基準に沿ったものに自らの規制を維持する必要がある。
- 最後に、洪水危険性および複数の原子炉（さらに複数のサイト）が関わるシナリオの可能性を、世界各地の新設および既存の原子力発電所について十分かつ包括的に調査する必要がある、この可能性を排除できないのであれば、これらの危険性に対し施設を適切に防護するためサイトの防護対策、設計、事故管理、緊急時への準備・対応について規定を定めておくべきである。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A1-03
評価領域 :	A1 — 自然起源の外部事象	
施設 :	福島第一	
原子炉 :	1号機～6号機	
所見タイトル :	クロスカッティング — 緊急状態および長期停止における外部ハザードに対する原子力発電所の防護	

2. 所見

2.1 — 所見の記述 : 背景

福島第一発電所および近隣原子力発電所サイトの現状は、プラントの状態、プラントの物理的条件、災害環境の点で特異である。IAEA 安全基準 NS-R-1 は以下の要件を定めている。

1.18. 事象後の復旧期間 (数日以上) については、復旧期間の長さや予測される事象の発生確率によって、付加的な事象を考慮する必要がある。復旧期間において組合せで考慮すべき事象の厳しさは、発電所の寿命期間にわたって考慮される同種の事象に対して想定すべき厳しさほどではない、と仮定することが現実的であることがある。例えば、冷却材喪失事故の復旧期間において、地震とのランダムな組合せを考慮する必要がある場合、その地震の規模は、発電所の設計基準地震の規模ほどではないものと考えられる。

本節では復旧期間の長さは検討するが、損傷を受けていないプラントに適用する外部ハザードに比べて超過頻度の低い外部ハザードの検討が実際には必要となる劣化したプラント状態は明示的に取り上げない。例えば、ハリケーンや台風のような極限的気象条件に対して綿密に設計された原子力発電所でも、劣化した状態にあれば、当初の設計基準より低い事象に対しても特定し修復すべき弱点や脆弱性を持つようになる。

2.2. 一福島第一原子力発電所における所見 :

- 検討対象の 3 つの NPP はすべて、プラントの状態が通常運転している施設について根本的に変化してしまった。この理由は (i) プラントの状態が運転中のプラントと異なり、(ii) SSC の物理的状态が根本的に異なり、(iii) プラントのパラメータと SSC の物理的状态について大きな不確実性が存在するからである。したがって、これら 3 つのプラントは外部ハザードに関し、損傷を受けていないプラントよりもはるかに脆弱な状態にある。
- 2011 年 3 月 11 日の東日本大地震のような非常に大きな地震が発生したことで、いくつかの外部ハザードに対しては、これら 3 つのプラントがさらされる脅威が変化したであろう。第一に、どのサイトも様々な大きさの余震を今後何カ月かにわたり (最長 1 年) 受ける。これらの余震のいくつかは非常に強いかもしれず、津波を引き起こすほど大きなものが 1 つか 2 つあるかもしれない。立証されてはいないが、当該地域の火山活動が活発化するかもしれない。最後に、プラントの状態が劣化するにしたがい、復旧活動に影響する、頻繁に発生する外部ハザード一般に対してプラントはますます脆弱になっていくであろう。したがって、台風や異常気象のような外部事象が 3 つのプラントにとって心配の種になるかもしれない。
- 東海第二は 3 カ所の中で最も影響の少なかった発電所であり、おそらく再開の見通しが最も明るい。これは避難区域の外にある。プラントは冷温停止状態にある。
- 福島第二には 4 基の原子炉があり、1981～1986 年に運転を開始した。地震と津波の後のこ

れら号機の状態は、若干の違いは見られるが概ね物理的に類似している。プラント（つまり全原子炉）は冷温停止状態にある。

- 福島第一には 6 基の原子炉があり、1970～1979 年に運転を開始した。プラントの状態は複雑であり、冠水による損傷が広範囲に及んでいる他、1、3、4 号機と爆発が 3 回あった結果、損傷している。残留熱除去プロセスが 3 つの号機でなお進行中である。さらに、使用済燃料プールの冷却が外側からの注水により行われている。したがって、福島第一の短期外部ハザードに対する脆弱性は他の 2 プラントよりもはるかに重大である。

3 - 結論

2011 年 6 月 1 日

1. 東海第二と福島第二の両 NPP について短期的に重要なことは、変化したプラントの状態と変化した災害環境についてプラントの安全性を評価することである。特に、外部事象 PSA モデルがすでに冷温停止状態について利用可能であれば、それが評価実施の有効なツールであろう。
2. 福島第一については、すべての号機について安定した冷温停止が達成されるまでの期間に短期的（緊急）措置を立案しておく必要がある。それまでの間、タイムリーな行動計画を決めておくため、プラントを外部ハザードに対して防護する優先的措置を単純な方法によって特定する必要がある。予防的措置は重要であるが限定されるため、この計画にはサイトの内外両方での軽減措置を盛り込む必要がある。
3. 安定した冷温停止状態が達成されたら長期計画を作成する必要がある、これには、この状態に必要な SSC の特定（これに関しては停止時 PSA が有益であろう）、これら SSC の更新による各安全機能の確保、サイトの内外での緊急時対策を含めるべきである。
4. 廃止措置またはサイトからの全燃料除去（重大な炉心損傷があった原子炉の場合）を除く将来の計画では、極限的な外部ハザードを長期について考慮する必要がある。

4 - 教訓

2011 年 6 月 1 日

- プラントに深刻な混乱を引き起こす大規模災害の後は、変化したプラント状態と SSC の物理的状态を考慮に入れる必要がある。変化したプラント状態（劣化した系統と、劣化した SSC の物理的状态）は設計上の頑健性を喪失しているかもしれない、その深層防護が劣化しているかもしれない。
- 一貫性のある防護と更新の計画を確立するには、プラントの安全性面を様々なプラント状態（例えば停止）について十分理解する必要がある（例えば必要な SSC）。
- 大規模な自然災害が災害環境を一時的に変化させるかもしれない。途切れのない復旧プロセスを実現するには、プラントの脆弱性と新しい災害環境を理解し、それに応じたプラントの防護と復旧措置を適時に確立する必要がある。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A1-04
評価領域 :	A1 - 自然起源の外部事象	
施設 :	福島第一	
原子炉 :	1~6号機	
所見タイトル :	クロスカッティング - 柏崎刈羽 NPP の経験から学んだ教訓	

2. 所見

2.1 - 所見の記述 : 背景

- 経験からのフィードバックを利用することは原子力安全のあらゆるテーマに共通の要素である。外部ハザードに対する原子力施設の防護に関連する IAEA 安全基準はすべて、定期レビューのプロセスで最近の事象から学んだ教訓を検討している。これは過去 10 年間の 2 つの主要な事象、つまり 2004 年のインド洋大津波と、柏崎刈羽 NPP の設計基準を上回る新潟県中越沖地震についても同様であった。これらの事項に関連する 2 つの IAEA 安全指針は SSG-9 (2010 年) と DS417 (印刷中) であり、それぞれ地震災害と洪水 (津波を含む) 災害に関するものである。これら 2 つの安全指針は、これらから学んだ教訓を盛り込むために最近の事象を十分考慮しながら作成された。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

- 訪問したプラントはすべて K-K (柏崎刈羽) NPP の経験から学んだ教訓による恩恵を受けた。それは特に以下の点においてである。
- サイト内消防隊は、サイトに用意されていた消防車を利用して、様々な場所に注水機能を提供するという面で非常に役立った。
- 新しく建てられたサイト内の免震建物は技術支援サービスを通じ、また一般的にはプラントの緊急時対応を通じて重要な役割を果たした。この建物はチャコールフィルターを備えた換気装置によって遮蔽されており、また津波に対して防護された高所に配置されている。
- 柏崎刈羽のケースでは、屋外の地下に配置された消火配管が土壌破壊のために大きく損傷し、原子炉建屋の冠水を誘発した。改善措置として、すべての消火配管は適切な土台を施して地表に再配置された。この配置方法は、地表配管が津波に誘発された波と破砕片により大きく損傷し、火災が起きたとしても機能しなかったはずであるため、津波による冠水に対しては適当でないことが判明した。これは特に福島第二プラントにおいて観察された。

3 - 結論

2011 年 6 月 1 日

1. 柏崎刈羽の経験から学んだ教訓は、緊急時対応でのきわめて貴重な改善をすべてのプラントにもたらした。
2. いわゆる「免震」建物 (これはさらにチャコールフィルターを備えた換気装置が取り付けられ、遮蔽され、高所に配置されている) は今回の災害時に安全な避難場所を全プラント職員に提供し、緊急時措置と復旧措置を促進した。
3. サイトでは火災が起きなかったものの、サイト内消防隊もきわめて貴重であった。消防車が様々な構造物に注水し冷却機能を提供するために使用された。

4. 他方で、消火システム用配管の移設は特定の災害シナリオ（津波）に対しては失敗であることが判明した。福島第二プラントで火災が発生しなかったという事実は、このシステムが不要であったことを意味した。別の状況下でも、実地経験をほとんど積んでいないサイト内消防隊でも、最大限に活用して複数任務に立ち向かわせることができたはずである（つまり、火災に対処しつつ様々な構造物に注水する）。

4 - 教訓		2011年6月1日
<p>1. 柏崎刈羽の経験から学んだ教訓は、プラントのサイト内緊急事態に対処する上できわめて有益であることが判明した。サイト内の TEPCO 職員は、サイト内消防隊とサイト内緊急事態管理センターがなかったとしたら、状況ははるかに急速に悪化していたはずであるとの見解をはっきり表明した。</p> <p>2. 敷衍すると、福島第一の経験から学んだ教訓は将来の国際原子力社会にとって非常に重要であることが証明されるかもしれない。これらの教訓を生かすには、この事象のすべての面の持つ意味合いを理解する必要がある。</p> <p>3. この事故の性質の故に、教訓は今回調査の全所見に関係する非常に広い領域にわたる。</p>		

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A1-05
評価領域 :	A1 - 外部ハザード	
施設 :	福島第一	
原子炉 :	すべて	
所見タイトル :	クロスカッティング - 複数サイトの全号機に影響する 極限的外部事象の複合シナリオ	

2. 所見

2.1 - 所見の記述 : 背景

- 東日本大地震・津波の事象の複雑性は、ハザードが複数であり（今もなおそうである）、それにさらされた NPP サイトもまた複数であった（東海第二、福島第一、福島第二、女川、東北東通）という事実に由来する。これは、5 つのサイトの 15 基の原子炉が同時にきわめて大きなハザードにさらされたことを意味する。複数原子炉サイトを有する加盟国は多く、隣接し合うサイトが大きなハザードに同時にさらされるケースもいくつかあるが、複数原子炉サイトの外部ハザードについての手引が欠けている。
- これらの自然災害が地区、地域、国にそれぞれ衝撃を与えたという理由で、これらのハザードの共通要因性はサイト外での緊急時への準備・対応において重要な役割を演じた。この点について NS-R-3 の 2.29 項は以下の要件を定めている。「住民に対する放射線影響の可能性、緊急時計画の実行可能性とそれらの実行を妨げる可能性のある外部事象や現象を考慮し、提案された立地地点に対する外部領域を設定しなければならない。」
- サイトにおけるシビアアクシデント・マネジメントについて、大規模で複雑な外部ハザードは、動員可能な人的・物的資源を最大限に活用した原子炉の冷却・格納機能の確保に対しても深刻な意味を有する。災害による破壊に起因するサイト外の状況は、サイト外からプラントへの資源の移動を制限する。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

- 柏崎刈羽の経験による教訓は特にサイト内緊急事態について非常に有益であったが、速やかな復旧措置を妨げる大規模な地域崩壊があった。複数サイトの複数原子炉で起きた破壊と損傷（最終的に福島第一 NPP の苛酷事故につながった）の地域性は、復旧措置の大きな遅延と混乱を引き起こした。
- 津波に続いて福島第一の 1 号機と 5 号機が全電源喪失（SBO）に陥り、さらに原子炉補機冷却海水系が完全に破壊され最終的なヒートシンクが失われた。
- 異常時運転手順書（AOP）に従えば、SBO 後の運転は隣接プラントから融通可能であるべきである。しかし、他のプラントも電源を喪失したため、この融通可能性が実行できなかった。
- 津波の後、約 400 人（運転に約 130 人、保守に約 270 人）が復旧プロセスに動員可能であった。運転要員の数は 6 基の復旧運転にはまったく不十分であった。
- 利用可能な装置とツールは非常に限られていた。関連会社の倉庫にあって見つけにくいものもあった。

福島第二：

- 福島第二（2F）では、1、2、4号機の最終的な熱の逃がし場が同時に失われたことが、極限的自然現象により引き起こされた複数原子炉プラントでの共通モード故障のうち代表的なものである。

3 - 結論

2011年6月1日

1. 日本は自然災害に対して高度の意識を持っていることで知られた国であり、自然災害に対抗するための警報、準備、対応の優秀なシステムを備えている。東日本大地震後の NPP の状況をレビューして、IAEA 調査団は、災害の大きさは当初のハザード評価においても改訂されたそれにおいても想定されていなかったと結論した。
2. したがって、地域災害の状況における複数サイトでの複数原子炉の損傷に対する緊急時対応策が用意されていなかった。
3. 複数原子炉プラントに同時に影響する共通モード故障を効果的に軽減するには、訓練を受け経験を積んだ人材、機器、補給品、および外部からのサポートといった面で十分大量の資源が必要である。さらに、経験豊富な要員を十分な人数用意しておくことも推奨される。
4. 苛酷事故に対して速やかに対応し放射線の拡散を低減させるためのロジスティクス、人的資源、補給品、外部からのサポートのための手順を準備しておくべきである。運転員と、消防隊員のような支援要員を効果的に訓練して、それぞれの任務を理解させ、苛酷な状況を軽減する手順の実施能力を身につけさせるべきである。

4 - 教訓

2011年6月1日

国際原子力社会のために教訓を引き出すには、福島第一、第二プラントの自然災害により引き起こされた、復旧措置と軽減措置に影響した複合シナリオの干渉を十分に文書化しておく必要がある。

複数のハザードと複数の原子炉（場合によってはさらに複数のサイト）が関係する複合シナリオの可能性を世界各地の新設および既存の NPP について十分調査する必要がある。この可能性を排除できないのであれば、これらの災害に対し施設を適切に防護するためプラントの配置、サイトの防護対策、設計、事故管理、緊急時へのサイト外の準備・対応について規定を定めておく必要がある。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号：	A1-06
評価領域：	A1 — 自然起源による外的事象	
施設：	福島第一	
原子炉：	1～6号機	
所見タイトル：	分野横断 — 外的事象 PSA	

2. 所見

2.1 — 所見の記述：背景

- プラントにとって、自然現象により生ずるものを含め、事故を引き起こすすべての要因に対処することが重要である。
- 内的事象には、配管破断、弁の固着、ポンプの損傷、計器の故障および運転過誤などプラント内で発生する機器の故障および人的過誤が含まれる。外的事象には、地震、苛酷な気象と水文現象、火山ハザード、航空機の墜落および爆発などプラント外で発生する自然および人的起源によるものが含まれる。
- PSA においては一般に、外的事象より内的事象に大きな注意が払われてきた。
- 内的事象の頻度は一般に、世界中で蓄積されてきた豊富な経験のためにより良く知られている。特に、約 15,000 定格出力運転年数に及ぶプラント運転が類似の設備を使用して蓄積されてきた。これらの機器について機器の操作性に関するさらなる情報がすべての規制機関で要求する定期的な供用期間中試験によりもたらされている。
- 人間信頼性解析を含む人的要因は、運転員の過誤が重大な役割を演じた 1979 年の米国のスリーマイル島における事故以来研究の重要な焦点となってきている。これらの研究プログラムおよび関連技術は特定の状況の下での人的過誤の予測および定量化を可能としている。
- 内的に発生する事象の頻度には不確実性が残るとはいえ、原子力界全体を通じて開発されたほとんどの PSA は、外的事象のリスクに比べれば内的事象のリスクについてははるかに徹底的な分析を含んでいる。しかしながら、プラントの特定のサイトによっては、全体的なリスクに対して外的事象のリスクが支配的となる可能性がある。

2.2. — 福島第一原子力発電所における所見：

- 2002 年 5 月に、日本の事業者は安全性を定量評価するために、各原子炉について作成した事故管理対策を、代表的な原子炉型式についての内的事象についての PSA とともに報告した。すべての運転中の商業用原子炉施設の内的事象についての PSA は 2004 年 3 月に NISA に報告されている。外的事象については、いかなる PSA も NISA により必要とされなかった。

3 — 結論

2011 年 6 月 1 日

- 1F プラントについて、内的事象についての PSA が実施され、その検討の結果は NSC および NISA に報告された。NSC は PSA の結果を評価し、それらを適切であるとみなした。
- 冷温停止状態にあるプラントについては、「停止時 PSA」はプラントを安定した安全状態に維持するために必要な SSC を特定するためにきわめて有用であろう。このことはまた、短

期的に外的なハザードから防護する必要のあるすべての品目を特定するのに役立つであろう。

4 - 教訓

2011年6月1日

- 原子力界にとって、外的事象についての PSA を展開することにおける努力を増大させる必要がある。
- 外的事象についての PSA の実施が規制上の要件となっている加盟国においてさえ、多くの外的事象は概略基準を用いたスクリーニングにより排除され、厳密な PSA の扱いには含まれていない。PSA の利点を全面的に活用するためにはスクリーニング・アプローチをレビューする必要がある。

付録 2

東日本大震災および津波による
福島第一原子力発電所の事故に関する
IAEA 国際専門家調査団

調査所見シート

安全評価と管理

IAEA 2011 年

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A2-01
評価領域 :	A2 - 安全性の評価と管理	
施設 :	全般	
原子炉 :		
所見タイトル :	機器のレイアウト、物理的分離、および内部障壁についてはレビューが必要である。	

2. 所見**2.1 - 所見の記述 : 背景**

- ほとんどの従来設計の原子力発電所の安全系の運用は、外部電源に依存しており、外部電源喪失時には非常用ディーゼル発電機 (EDG) からの電源に依存している。福島第一原子力発電所には 13 台の非常用ディーゼル発電機があり、そのほとんどはタービン建屋の地下 (BIF) に設置されている。そのため、これらの非常用ディーゼル発電機とそれに関連する電気盤およびケーブルは 2011 年 3 月 11 日の津波によって浸水し、故障した。
- 安定した安全な状態に達するためには、炉心と使用済燃料プールから最終的な熱の逃がし場への熱の移送経路を確保することが非常に重要である。各原子炉について残留熱除去系は 2 つの系統があるが、それらのすべてが 3 月 11 日の津波によって浸水し、故障した。
- 直流電源 (バッテリー) を用いて、制御系、安全関連の電動弁、事故後のモニタリング・システムに電源を供給することができなければならない。しかし、福島第一原子力発電所では 3 月 11 日の津波の後に直流電源が機能をなくした。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

- EDG、直流電源系、RHR などの安全関連の系統と機器のほとんどは津波による浸水で故障した。
- 安全上重要な機器のレイアウトと物理的分離についてはレビューする必要がある。
- 内部障壁は内部の冠水と火事に対する一般的な設計が行われており、苛酷な外部洪水による共通要因故障を防ぐためには十分ではないことから、レビューを行う必要がある。

3 - 結論

2011 年__月__日

機器のレイアウト、物理的分離、および内部障壁についてはレビューと改良を行う必要がある。

4 - 教訓

2011 年__月__日

機器のレイアウト、物理的分離、および内部障壁についてはレビューと改良を行う必要がある。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号：	A2-02
評価領域：	A2 — 安全性の評価と深層防護	
原子力発電所：	福島第一原子力発電所	
原子炉：	1号機～6号機	
所見タイトル：	最終的なヒートシンクの多様性への設計には改良が必要である。	

2. 所見

2.1 — 所見の記述：背景

- － 総括的に言って、福島第一原子力発電所の非常用炉心冷却系の設計は良好である。この中には非常用復水器（IC、1号機のみ）、原子炉隔離時冷却系（RCIC、2号機～6号機）、炉心スプレイ系、（CS、1号機～5号機）、高圧注水系（HPCI、1号機～5号機）、自動減圧系（ADS）、低圧炉心スプレイ系（LPCS、6号機）、低圧注水系（LPCI、2号機～6号機）および残留熱除去系（RHR）がある。IC（1号機のみ）、RCIC（2号機と3号機）およびHPCI（1号機～3号機）について、後者の2つは自然循環で冷却するものであるが、想定を超える長時間の電源喪失が主な原因である福島の事故の初期の段階において、これらの冷却系が非常用炉心冷却系として作動した。
- － 炉心と使用済燃料プールから最終的なヒートシンクへの熱の移送経路の確保が非常に重要である。福島第一原子力発電所の1号機～6号機の最終的なヒートシンクは太平洋からの海水であり、各原子炉に2系統の熱除去系があり、それらは別の場所に設置されているが、RHR系のモーターの設置位置の高さは同じで、ともに海面から4～5.7 mであった。3月11日の高さ14 mの津波によって、それらはすべて浸水して損傷したため、炉心と使用済燃料プールから最終的なヒートシンク（太平洋）への崩壊熱の除去経路が崩れてしまった。福島第一原子力発電所1号機～4号機の復旧のために、TEPCOは炉心と使用済燃料プールから最終的なヒートシンクとして機能する空冷式の冷却機器を各原子炉に設置しているところである。

2.2. — 福島第一原子力発電所における所見：

- － 福島第一原子力発電所では、1号機～6号機のそれぞれについて最終的なヒートシンクへの熱移送経路が喪失した。福島第一原子力発電所1号機～4号機の復旧のために、TEPCOは炉心と使用済燃料プールから最終的なヒートシンクとして機能する空冷式のタワーを各原子炉に建設しているところである。最終的なヒートシンクについての当初の設計では、多様性についての考慮が欠けていた。

3 — 結論

2011年__月__日

- － 国内および国際的な原子力発電所の設計基準に従って、安全系は高い水準の多様性を持って設計して信頼性を改善するべきであるとされている。しかし、単一故障に対して考慮すべき事項が確立されているのと同程度には、推奨される多様性の水準は明確に定量化または定義されていない。
- － 従来の原子力発電所（PWR と BWR を含む）の設計において、最終的なヒートシンクへの

熱移送経路については、放射性物質の閉じ込めを確実にする能力に影響を及ぼす恐れのある給排水系を使用する必要があることから、最小限の多様性しか有していないことが一般的である。

- 特に苛酷な自然災害に起因する、設計基準を超えた事故を防止および緩和するための考慮すべき事項として、最終的なヒートシンクの多様性は設計の頑健性を確実にするためにも重要な手段であり、新規の原子力発電所の設計においては、この多様性にもっと留意するべきである。
- RHR に追加的に持たせる多様性としての系統を用意することで、炉心と使用済燃料プールの崩壊熱を除去する上での深層防護を提供することができる。それは地震による共通要因故障を避けるように耐震分類されるべきであるが、特に外的な自然災害に起因する設計基準を超えた事故に対処するための安全分類系統としては設計しなくてもよい。

4 - 教訓

2011 年__月__日

特に苛酷な自然災害に起因する、設計基準を超えた事故を防止または緩和するために考慮すべき事項とともに、最終的なヒートシンクに多様性を持たせるのは、設計の頑健性を確実にする上で重要なことであり、新規の原子力発電所の設計においては、この多様性にもっと留意するべきである。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A2-03
評価領域 :	A2 安全性の評価と深層防護	
原子力発電所 :	福島第一原子力発電所	
原子炉 :	1号機～6号機	
所見タイトル :	非常用交流電源の多様性への設計には改良が必要である。	

2. 所見

2.1 所見の記述 : 背景

- ほとんどの従来設計の原子力発電所の安全系の運用は、外部電源喪失時には、外部電源および非常用ディーゼル発電機からの非常用電源に依存している。
- 福島第一原子力発電所には、1号機～5号機のそれぞれに2台ずつと6号機に3台の合計13台のEDGがあり、それぞれDG1A、DG1B、DG2A、DG2B、DG3A、DG3B、DG4A、DG4B、DG5A、DG5B、DG6A、DG6B、DG6H (HPCS DG) と名付けられている。地面より高い位置に設置された空冷式のDG2B、DG4B、DG6B以外のEDGは、関連する原子炉建屋（地下室、B1F）の中に設置されており、海水冷却式である。福島の事故では、地震による外部電源喪失時には、その時点で使用可能な全てのEDGが自動的に起動したが、DG6B以外は、津波が到来後に全てが故障した。調査の結果、DG1A、DG1B、DG2A、DG3A、DG3B、DG4A、DG5A、DG5B、DG6A、DG6Hは浸水し、それらの非常用高圧分電盤（M/C）も浸水するか、水による損傷を受けたことが分かった。DG2BとDG4Bは関連する電気盤とケーブルが浸水したことにより損傷を受けた。DG6BだけはM/Cが他のものより高い位置に設置していたことから無事であった。

2.2 福島第一原子力発電所における所見 :

- 福島第一原子力発電所は、その他の従来型設計の原子力発電所と比較して、非常用ディーゼル発電機の多様性への設計においては相対的に良く作られているが、EDGの設置高さがあまりにも低く、またEDG室の物理的分離と水密性の点で改良する必要がある。
- ほとんどのEDGの非常用高圧分電盤（M/C）の設置高さがあまりにも低く、また設置室の物理的分離と水密性の点で改良する必要がある。

3 結論

2011年__月__日

非常用交流電源に多様性を持たせるのは、設計の頑健性を確実にする上で重要な手段であり、新規の原子力発電所の設計においては、この多様性にもっと留意するべきである。

非常用高圧分電盤の機器のレイアウトと物理的分離については改良を行うべきである。

4 教訓

2011年__月__日

非常用交流電源に多様性を持たせるのは、設計の頑健性を確実にする上で重要な手段であり、新規の原子力発電所の設計においては、この多様性にもっと留意するべきである。

非常用高圧分電盤の機器のレイアウトと物理的分離については改良を行うべきである。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A2-04
評価領域 :	A2 - 安全性の評価と深層防護	
原子力発電所 :	福島第二原子力発電所	
原子炉 :	1号機~4号機	
所見タイトル :	最終的なヒートシンクの多様性への設計には改良が必要である。	

2. 所見

2.1 - 所見の記述 : 背景

- 総括的に言って、福島第二原子力発電所（BWR-5）の非常用炉心冷却系の設計は良好である。この中には原子炉隔離時冷却系（RCIC）、高圧炉心スプレイ系、（HPCS）、低圧炉心スプレイ系、（LPCS）、自動減圧系（ADS）、低圧注水系（LPCI）および残留熱除去系（RHR）がある。これらの中のいくつかが、事故の間に炉心に対する緊急炉心冷却を行った。
- 炉心と使用済燃料プールから最終的なヒートシンクへの熱の移送経路の確保が非常に重要である。福島第二原子力発電所の1号機~4号機最終的なヒートシンクは太平洋の海水である。各原子炉には2系統の熱除去系があり、そのうちの海水冷却系（RHR-S）は関連する熱交換建屋（Hx/B）内に設置されており、RHR-Sのモーターは1Fのポンプ室（海面上4 m）に、パワーセンターはHx/BのB1Fの電源盤内に設置されている。3月11日の津波（最高遡上高約14 m）により、RHR-S-3Bを除いてすべての冷却系が浸水して損傷したため、炉心と使用済燃料プール中の崩壊熱を最終的なヒートシンク（太平洋）へ除去する経路が破壊されてしまった。RHR-S-3Bが無事であったのは単に幸運によるものであるが、これによって3号機を1、2、4号機より早く冷温停止状態にすることができた。事故の間に1、2、4号機のサブプレッション・プールの温度が100°Cを超えたため、発電所の所長は政府と地元自治体に原子力緊急事態を通報したが、その後仮設の電源ケーブルを敷設し、かつモーターを緊急調達することにより、1、2、4号機の各原子炉のRHRS、RHRC、EECWの1系統が復旧し再起動した。これまでに福島第二原子力発電所のすべての原子炉が冷温停止状態に達している。

2.2. - 福島第二原子力発電所における所見 :

福島第二原子力発電所の1号機~4号機最終的なヒートシンクは太平洋の海水であるが、その系統は2011年3月11日の津波によって破壊された。

3 - 結論

2011年__月__日

特に苛酷な自然災害に起因する、設計基準を超えた事故を防止および緩和するために考慮すべき事項として、最終的なヒートシンクの多様性は設計の頑健性を確実にするためにも重要な手段であり、新規の原子力発電所の設計においては、この多様性にもっと留意するべきである。

4 - 教訓		2011年__月__日
<p>特に苛酷な自然災害に起因する、設計基準を超えた事故を防止および緩和するために考慮すべき事項として、最終的なヒートシンクの多様性は設計の頑健性を確実にするためにも重要な手段であり、新規の原子力発電所の設計においては、この多様性にもっと留意するべきである。</p>		

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A2-05
評価領域 :	A2 - 安全性の評価と深層防護	
原子力発電所 :	福島第二原子力発電所	
原子炉 :	1号機~4号機	
所見タイトル :	非常用交流電源の多様性への設計には改良が必要である。	

2. 所見

2.1 - 所見の記述 : 背景

- 従来設計の原子力発電所の安全系の外部電源喪失時の運用は、外部電源からの電源供給および非常用ディーゼル発電機からの電源供給に依存している。
- 福島第二原子力発電所（4基）には、合計12台の非常用ディーゼル発電機（EDG）がある。各原子炉は3台のEDGを有していて、それぞれDG1A、DG1B、DG1H、DG2A、DG2B、DG2H、DG3A、DG3B、DG3H、DG4A、DG4B、DG4Hと名付けられている。これらはすべて、それぞれの原子炉建屋の外側（地下室B2F）の区域に設置されており、海水冷却される（Hx/B建屋内に設置）。3月11日に地震が発電所を襲った時、これらのすべてのEDGは母線電圧の低下により自動的に起動した。しかし津波到達後、海水冷却ポンプと内部冷却ポンプがすべて津波によって浸水したことにより、それらのEDGは故障したが、DG3B、DG3HとDG4Hは幸運にも難を逃れた。福島第一原子力発電所と第二原子力発電所で大きく異なる点は、第二原子力発電所では500kVの送電線の1つが使用できたことである（設置位置が高かったことと電気の鉄塔の構造が頑健であったことによる）。これによって福島第二原子力発電所では外部電源供給を行うことができ（福島第一原子力発電所はSBOでまったく見えない状態であった）、この電源を用いて当初はRCIC、その後はMUWCを動かすことで、第二原子力発電所の原子炉では長時間安定した安全な状態を保持することができ、それによって運転員が最終的なヒートシンクへの熱の移送経路を修復する時間を確保することができたのである。

2.2. - 福島第二原子力発電所における所見 :

- 3台のEDGが幸運によって無事であったが、ほとんどのEDGは海水冷却系と内部冷却系の故障により使用できなくなった。非常用交流電源の設計では多様性が欠落していたようである。

3 - 結論

2011年__月__日

従来設計の原子力発電所の安全系での外部電源喪失時の運用は、外部電源からの電源供給と非常用ディーゼル発電機による電源供給に依存している。非常用交流電源に多様性を持たせることは設計の頑健性を確実にする上で重要な手段であり、新規の原子力発電所の設計においては、この多様性にもっと留意するべきである。

4 - 教訓

2011年__月__日

非常用交流電源に多様性を持たせることは設計の頑健性を確実にする上で重要な手段であり、新規の原子力発電所の設計においては、この多様性にもっと留意するべきである。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A2-06
評価領域 :	A2 - 苛酷事故	
原子力発電所 :	福島第一原子力発電所	
原子炉 :	1号機~4号機	
所見タイトル :	異常事態に対応する訓練を受けた共通要員プールの創設	

2. 所見**2.1 - 所見の記述 : 背景**

日本にはいくつかの BWR サイトがある。各サイトには複数の BWR がある。経済的利益から資源を最適化するために、運転保守およびその他の業務に携わる訓練を受けた要員の数は可能な限り少なくされている。通常の状態ではこれで支障ないが、複数のユニットが事故に遭遇した異常な状況では、投入可能な訓練を受けた要員の数は不十分である。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見

地震とその後の津波の結果、全電源喪失でほとんどの安全系が動作不能となったため運転中の 3 基はすべて危機的状态に陥った。この状況下では全ユニットに救済措置を行う必要があった。明らかに投入可能な要員数は不十分であった。

今回の場合は BWR であるが、同じ炉型のプラントを複数持つサイトがいくつかあるので、そのようなサイト間では、事故を起こしたサイトに派遣できる訓練を受けた要員をプールしておくことを提案できる。

3 - 結論

2011 年__月__日

同じ炉型を複数持つサイトはで、必要時に、互いに直ちに派遣する訓練を受けた要員プールを設置し、維持できる。

4 - 教訓

2011 年__月__日

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A2-07
評価領域 :	A2 - 苛酷事故	
原子力発電所 :	福島第一原子力発電所	
原子炉 :	1号機~4号機	
所見タイトル :	緊急時対応センター (ERC) の機能確保へ耐震性の高い建屋の活用	

2. 所見**2.1 - 所見の記述 : 背景**

2007年の柏崎刈羽地震は同サイトの全ユニットに影響を与えた。運転中のユニットはすべて安全に停止したが、すべての建物と構造物への甚大な被害の可能性に注目が集まった。この経験から、すべての原子力発電所サイトで地震に強い建屋を設けることが推奨された。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

2011年3月11日の地震と津波の後、運転中の3基は苛酷な炉心損傷を被った。管理棟と事務室を含むいくつかの建築物も損傷した。プラント周囲の上昇した放射線レベルもこれらエリアを居住不能とした。

柏崎刈羽原子力発電所を襲った2007年の地震後の推奨に基づき、福島第一および第二発電所に地震に強い建屋が建てられた。これら建屋は地震に耐えられるだけでなく、放射能の拡散を含む事故状態での居住性を確保する遮蔽とフィルター付き換気系を備えている。建屋には東京にある東京電力本店などの外部はもちろん、プラント制御室との通信施設が備えられている。

事故とその緩和段階を通じ、この建屋は緊急時対応センターを運営する安全な場所となった。この建屋は復旧作業に従事する大勢の要員(2000人超)を収容するための当該原子力発電所付近で唯一の安全な場所を提供し続けている。

3 - 結論

2011年__月__日

福島第一および第二原子力発電所には地震に強く、遮蔽と換気がなされ、かつ設備の整ったオンサイト建屋があったことはきわめて有用であった。こうした施設は苛酷事故に対処する手段として、すべての原子力発電所が設置を考慮できる。

4 - 教訓

2011年__月__日

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A2-08
評価領域 :	A2 - 苛酷事故	
原子力発電所 :	福島第二原子力発電所	
原子炉 :	1号機~4号機	
所見タイトル :	福島第一および第二原子力発電所の各ユニットでの事象経過と運転操作の比較評価	

2. 所見**2.1 - 所見の記述 : 背景**

- 地震と津波の後、第二および第一の各号機の事象はかなり異なる経過を辿った。プラント状態と運転操作もそれに応じて異なった。第一では苛酷な炉心損傷が起こったのに、第二は無事であった事実を考えると、それぞれのユニットでの事象の経過と運転操作を比較することはきわめて有用であろう。

2.2. - 福島第一および第二原子力発電所における所見 :

- 地震と津波の発生時に第一では3基、第二では4基が運転中であった。この2つの原子力発電所では津波の高さは異なり、第二では外部電源が使えたが、両発電所の主要な安全系が被害を受けた。第二の4基はすべて安全な状態に移行できたが、危機的なほど深刻な状態に近付いていた。第二の作業者は安全系への電源復旧のために数キロメートルにも亘りケーブルを敷設した。
- 第一での事象はあまりにも急速に進展し、運転員は組織的な対応を取れなかった。通常ならIC/RCICの作動時間は、炉心が露出し、放射線レベルが上昇して原子炉建屋の一部に立入りできなくなるまでには、運転員にある程度の時間的余裕を与えたはずである。これらの系統が所期の機能を果たさなかったのかどうか、とその原因は明らかではない。
- 第二と第一間ではもちろん、同じ発電所のユニット間での詳細な事象経過と運転操作の比較をすることで、苛酷事故の防止と緩和に関する重要な情報が得られるかもしれない。

3 - 結論

2011年__月__日

福島第二および第一の各ユニットにおける事象経過と運転操作の比較評価で苛酷事故の防止と緩和に関する重要な情報が得られるかもしれない。

4 - 教訓

2011年__月__日

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A2-09
評価領域 :	A2 - 苛酷事故	
原子力発電所 :	福島第一原子力発電所	
原子炉 :	1F1号機~1F6号機	
所見タイトル :	複数号機プラントに同時に影響を及ぼす可能性のある外部事象	

2. 所見

2.1 - 所見の記述 : 背景

- 福島第一サイトには全部で6基(BWR-3:1基、BWR-4:4基、BWR-5:1基)ある。1、2、3、および4号機はO.P.+10mレベルにあるのに対し、5および6号機はO.P.+13mレベルにある。5台のEDG、すなわち共用プール建屋1階の2Bと4B DG、CS建屋地下1階の6AおよびHPCS DG、および専用建屋1階の6Bを除いたほとんどのEDGはタービン建屋の地下1階にある。
- 想定値より高い津波のため、6Bを除いたほとんどのEDGは水没するか水害を受けた。1F3を除いたほとんどの蓄電池(125V DC)も地下レベルにあったため使えなかった。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

- 津波により、1F1から1F5までは全電源喪失(SBO)状態となり、海水系統は完全に破壊された(最終ヒートシンク喪失)。
- 異常時運転手順書(AOP)によれば、SBO時には隣接プラントからの電源に切り換わって運転できるはずである。しかし、他の号機も電源を喪失していたので切り替えができなかった。
- 津波の後、約400人(運転員約130人、保守員約270人)が復旧に当たった。運転員の数は6基の復旧運転には到底不十分であった。
- きわめて限られた数の装置や工具しかなかった。その一部は協力会社の倉庫にあり、探し出すことが困難であった。

3 - 結論

2011年__月__日

複数基プラントに同時に影響を及ぼす共通モード故障の効果的な緩和には、訓練を受けた熟練者、機器、備蓄資材、および外部からの支援という相当大規模な資源が推奨される。さらに適切な数の熟練者をプールしておくことが推奨される。

苛酷事故に迅速に対応し放射能の拡散を減らすためのロジスティクス、人的資源、備蓄資材、および外部からの支援に関する手順を準備しておくべきである。運転員と消火隊等の支援要員には、その任務を理解し苛酷状態の緩和措置を実施する能力を身につけるよう有効な訓練を与えるべきである。

4 - 教訓		2011年__月__日
<p>外部事象は複数のプラントおよびその複数号機に同時に影響を与える可能性がある。これには、訓練を受けた熟練者、機器、備蓄資材、および外部からの支援という相当大規模な資源を要する。各号機に対応でき、影響を受けたサイトの支援に派遣できる適切な数の経験者をプールしておくべきである。</p>		

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A2-10
評価領域 :	A2 - 苛酷事故	
原子力発電所 :	福島第一原子力発電所	
原子炉 :	1F1 号機～1F6 号機	
所見タイトル :	計測機器と照明が使えない可能性	

2. 所見**2.1 - 所見の記述 : 背景**

- 福島第一では高い線量率のために特に困難があり、津波と爆発のために通常の通行を妨げる相当量の瓦礫があった。さらに、制御室への出入りが非常に限定され、安全系の計器が使えないか信頼性がない状態であった。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

- 1F1 の原子炉水位計は事故進展中のどこかでドリフトしていたことが、5 月の較正時に判明した。測定用レファレンス・チューブ内の水は高温環境のために蒸発し、実際の水位より高い値を指したと考えられる。1F2 と 1F3 でも同様の現象が起こったであろう。1F1 から 1F3 の苛酷事故管理には炉心、原子炉容器および格納容器に関する限られたパラメータと信頼性の低い測定値が使われた。
- 苛酷事故管理ガイドライン (SAMG) とその手順書は一般的に計器、照明および電源は使えると仮定している。これは何時でもそうとは限らない。さらに、これらは手動操作ができないほどの放射線量率のようなプラントと局所的環境のあり得る状態を考慮していない。1F1 から 1F3 の炉心、原子炉容器および格納容器内に取り付けた計器のいくつかは信頼できないと考えられている。原子炉容器水位計は 1F1 で確認されたように、高目の推定値を示しているかもしれない。

3 - 結論

2011 年__月__日

苛酷事故管理ガイドライン (SAMG) あるいはプラント固有の順書において、事故の進行に対応するための強固な計器、照明および電源が十分考慮されていなかった。

4 - 教訓

2011 年__月__日

苛酷事故管理ガイドラインとその手順書は計器、照明および電源が使えない可能性と、プラント状態と高線量場を含む異常状態を考慮に入れるべきである。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A2-11
評価領域 :	A2 - 苛酷事故	
原子力発電所 :	福島第二原子力発電所	
原子炉 :	2F1 号機~2F4 号機	
所見タイトル :	複数号機プラントに同時に影響を及ぼす可能性のある外部事象	

2. 所見**2.1 - 所見の記述 : 背景**

- 福島第二サイトへの津波の高さは、1~4号機の南で約 O.P 7 m から O.P 15 m の範囲に及んでいる。全基とも O.P 12 m 高度にあり、福島第一より 2 m 高い。予想外の津波を伴う巨大地震にもかかわらず、全電源喪失は起こらなかった。その代わりに、熱交換器建屋の浸水により 3 号機を除くほとんどの余熱除去海水系 (RHRS) が使えなくなり、最終ヒートシンクの喪失に至った。移動式電源車と仮設電源ケーブルを使い、また購入したモーターを据え付けて最終ヒートシンクの機能を回復した。

2.2. - 福島第二原子力発電所における所見 :

- 1、2 および 4 号機での最終ヒートシンク同時喪失は、複数号機プラントにおける極端な自然現象による典型的な共通モード故障である。

3 - 結論

2011 年__月__日

複数基プラントに同時に影響を及ぼす共通モード故障の効果的な緩和には、訓練を受けた熟練者、機器、備蓄資材、および外部からの支援という相当大規模な資源が推奨される。さらに適切な数の熟練者をプールしておくことが推奨される。

苛酷事故に迅速に対応し放射能の拡散を減らすためのロジスティクス、人的資源、備蓄資材、および外部からの支援に関する手順を準備しておくべきである。運転員と消火隊等の支援要員には、その任務を理解し苛酷状態の緩和措置を実施する能力を身につけるよう有効な訓練を与えるべきである。

4 - 教訓

2011 年__月__日

外部事象は複数のプラントおよびその複数号機に同時に影響を与える可能性がある。これには、訓練を受けた熟練者、機器、備蓄資材、および外部からの支援という相当大規模な資源を要する。各号機に対応でき、影響を受けたサイトの支援に派遣できる適切な数の経験者をプールしておくべきである。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A2-12
評価領域 :	A2 - 苛酷事故	
原子力発電所 :	福島第二原子力発電所	
原子炉 :	2F1 号機~2F4 号機	
所見タイトル :	計測機器と照明が使えない可能性	

2. 所見**2.1 - 所見の記述 : 背景**

- 福島第二サイトでは全基が苛酷事故状態に入ることなく 3 日以内に安全に冷温停止状態に達したので、計器の苛酷事故耐久性を確認することはできなかった。

2.2. - 福島第二原子力発電所における所見 :

- 福島第二発電所の苛酷事故管理ガイドライン (SAMG) は第一発電所と同じ内容と方策を持つものと考えられる。原子炉と格納容器周りの計器が苛酷事故中に誤った値を示すことは十分にあり得る。それは運転員と判断を行う者に誤った情報を与え、過渡現象への応答に不適切な対応を取らせることになる。
- SAMG とその手順書は一般的に計器、照明および電源は使えると仮定している。これは何時でもそうとは限らない。さらに、これらは手動操作ができないほどの放射線量率のようなプラントと局所的環境のあり得る状態を考慮していない。

3 - 結論

2011 年__月__日

苛酷事故管理ガイドライン (SAMG) あるいはプラント固有の順書において、事故の進行に対応するための強固な計器、照明および電源が十分考慮されていなかった。

4 - 教訓

2011 年__月__日

苛酷事故管理ガイドラインとその手順書は計器、照明および電源が使えない可能性と、プラント状態と高線量場を含む異常状態を考慮に入れるべきである。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A2-13
評価領域 :	A2-苛酷事故	
施設 :	全般	
原子炉 :		
所見タイトル :	苛酷事故管理	

2. 所見

2.1 所見の記述 : 背景

- 十分規模の大きな外的起因事象は、炉心損傷に至る可能性のある多重機器故障を直接引き起こす可能性がある。2011年3月11日の津波では、まさにそれが福島第一原子力発電所の運転中の3基に起こり、4基の使用済燃料プールにおいて複雑な事態を招いた。外的起因事象リスクの明瞭な理解は、臨界管理、炉心および使用済燃料プールの熱除去、格納容器健全性の維持を含むプラントの必須の安全機能を首尾よく果たすために、予め状況を設定した移動機器をプラントに備えることで、電力事業者に役立つ。一般にたいいていの沸騰水型原子炉で、炉心損傷頻度に大きく寄与する要因は、交流および直流電力の両方の喪失による全電源喪失(SBO)である。SBOでは、必須の安全機能を実行するために必要なポンプと弁の運転が両方とも不可能になる。一般に数時間内である適切な時機に、手配可能で、かつ、使用可能な移動機器の使用によってその状況を緩和することができる。そのためには、機器は予め状況を設定し、手順が策定され、計画を実行するために運転者に訓練を施さなければならない。機器は、外的事象による損傷の確率が限られた場所に保管されなければならない。外的事象にはサイトのすべての発電炉に影響を及ぼす可能性があるために、サイトのすべての発電炉について、使用済燃料プールを含めた適切な機器が利用可能であることも不可欠である。さらに、適切に訓練されたスタッフが、サイトのすべての発電炉における事象に対応する可能でなければならない。

2.2. 福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所における所見 :

- 2011年3月11日の事象の後に、福島第一原子力発電所は上述の機器を受け取り、格納容器ライナ溶融および一次格納容器のエネルギー不全を阻止し、苛酷事故の進展をくいとめることができたように思われる。プラントは現在、必須の安全機能を炉心と使用済燃料プールに提供する、より確実に冗長な手段を開発し、冷温停止の最終的な到達を図っている。
- 福島第二原子力発電所は損傷がより少なく、プラント運転者は、炉心への給水と反応器の減圧を継続することができた。冷温停止状態への到達を支援するために、プラント本部長は、移動電源車を要求し、作業員をサイト内で動員して全長9 km以上の仮設電力ケーブルを敷設した。さらに、浸水したポンプの一部には交換モーターが手配された。これによって、津波の3日後には、通常の残留熱除去系が供用を再開し、各基はRHRが回復した日、またはその翌日のいずれかに、冷温停止に移行することができた。
- 日本の電力事業者は、1992年5月28日に刊行され、1997年10月20日に改訂されたNSC指針「Accident Management Measures Against Severe Accidents in Light Water Nuclear Power Facilities」に基づいて、苛酷事故を防止し、影響を緩和するための自主的な措置を実施した。典型的なプラントの変更は、代替ポンプの設置、格納容器スプレイシステムを用いた炉心冠水、消火ポンプを用いた注水、隣接する設備からの結線による追加の交流電力供給の手順を含む。これらの措置は、必須の安全機能に多様性をもたらすが、サイト内に位置するために、大きな外的事象に対して脆弱である。2011年3月11日の事象の後に、NISAは認可取得者がこの指針に従っていることを確認するための措置を取り、さらに電源車、ポンプ車な

どのいくつかの設備は、サイト外に配置するように義務付けた。

3 - 結論

2011年__月__日

プラントの必須の安全機能を果たす予め状況を設定した移動機器が適切に供給されなければ、事象に対応する能力の妨げとなる。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A2-14
評価領域 :	A2 - 苛酷事故	
施設 :	全般	
原子炉 :		
所見タイトル :	管理および手順 - 日本の新設および既設発電所に関する苛酷事故管理の考察	

2. 所見

2.1 - 所見の記述 : 背景

- 苛酷事故管理ガイドライン (SAMG) と関連の手順は、1990 年代以降、世界のほとんどの発電所において開発され、実施されている。さらなる運転経験および調査によって、苛酷事故についての知見が広がり続け、それを受けて SAMG の改善がもたらされた。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

- 日本の電力事業者は、1990 年代初期に自発的に SAMG を実施した。プログラムには、手順の文書化と年間ベースのプラントにおける訓練の実施などの訓練計画が含まれる。福島第二原子力発電所でも東海第二発電所でも炉心損傷が発生しなかったために、運転員は、サイトでの損傷で実施が困難であったにもかかわらずこれらのプランを実施することができた。福島第一原子力発電所では、炉心損傷によってサイトに高放射線場が生じた。SFP の水量には蒸発による喪失がいくらかあり、スロッシングによる水の喪失の可能性もあった。これらが高レベルであったために、プラントの多くの区域にアクセスできず、手順の履行を妨げた。

3 - 結論

2011 年__月__日

世界の原子力界は、その手順の中の潜在的な放射線レベルを考察すべきである。その結果、以前考えられていたよりも早くアクションを取らなければならないことや、予め状況を設定した遠隔操作機器の使用が必要になる可能性がある。人工呼吸器および防護服を含む放射線防護措置が必要であるために、それらを使用する行動が適時に実施できるかを検証する各機器を用いた訓練を実施しなければならない。さらに、運転者は遠隔操作設備の使用について適切に訓練を施されなければならない。高放射線場を含む苛酷条件の下での機器の機能を確実にするようにしなければならない。

4 - 教訓

2011 年__月__日

高放射線場が存在するために、事故条件下での手動操作の実施を確実にするよう考察しなければならない。

4 - 教訓

2011 年__月__日

全電源喪失またはすべての工学的安全系機能の喪失などのほとんどの苛酷な状況に関して、事故を管理するために必要な設備面 (移動電源および水の供給など) を、特定しなければならない。これは安全な場所に配置し、プラント運転者はそれらを使用するための訓練を受けなければならない。

外的事象は、同時に複数のプラントに影響を及ぼす可能性がある。このために、安全機能の独立性が必要である。さらにこのために、訓練された人員、設備、供給面、および外部の支援面で複数のリソースが必要である。

付録 3

東日本大震災と津波による
福島第一原子力発電所の事故に関する
IAEA の国際専門家調査団

調査所見シート

モニタリングおよび緊急時対応

IAEA 2011 年

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A3-01
評価領域 :	A3 - モニタリングおよび緊急時対応	
施設 :	全般	
原子炉 :		
所見タイトル :	日本における原子力災害対策システム	

2. 所見**2.1 - 所見の記述 : 背景**

- 日本における災害対策システムは3階層の形態で構成されている。日本政府は原子力災害対策本部（本部長：総理大臣）、および原子力災害現地対策本部（本部長：経済産業省副大臣）を設置し、国家計画および手順の作成ならびに重要な行動および対策の意思決定を行う。地方自治体は災害現地対策本部を運営し、モニタリング、緊急防護措置（屋内退避、避難、ヨウ素剤服用）および長期対策を含む災害対策活動を実施する。市町村もまた災害対策本部を運営する。原子力施設の運転者（事業者）は、事象の主務大臣、都道府県知事および市町村長への報告を含む、サイト内の災害対策の責任を有する。
- 日本における原子力災害対策に関する基本法規は災害対策基本法（すべての種類の災害に関する）および原子力災害対策特別措置法である。対策は、原子力とは異なる災害にも関係する防災基本計画に基づくものである。
- 国家レベルの責任は複数の省庁に分担されている。すなわち、経済産業省は原子力発電所、核燃料サイクル施設および核燃料輸送に責任を有し、文部科学省は研究用原子炉および放射線源に責任を有する。
- 3月11日の地震および津波の際に、緊急時対応システムは、現地のインフラ内で地震によって生じた損傷に対して、災害対策計画および法規に基づいて機能することができなかった。したがって、中央の対策本部が現地のオフサイトセンターの特定の機能を引き継いだ。
- 2007年の柏崎刈羽地震の事象が発生した際に、様々なタイプの災害対策間の正式かつ法的拘束力のある調整の必要性が示唆されたにもかかわらず、そのような調整はなされていない。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

-

3 - 結論

2011年__月__日

日本は簡潔で良く組織された原子力緊急時対応システムを備えている。原子力緊急時対応システムの法的な背景は健全であり、責任は明確に規定されている。福島事故の処置に際して、日本の原子力災害対策の能力および堅牢さが実証された。それでもなお、原子力災害対策システムはその構造および組織が複雑であると見受けられる。これが、緊急の意思決定において不必要な遅れをもたらす可能性がある。

4 - 教訓		2011年__月__日
<p>様々なタイプの緊急事態への対応間の調整によって防護措置をより効果的にできる可能性がある。同様に、組織体系の単純化は対応時間の短縮および機能の円滑化をもたらす可能性がある。</p> <p>日本における災害対策システムの柔軟性および良く訓練された特徴は、革新的な解決策を必要とする不測の事態に対しても効果的に対処することを可能にした。</p>		

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号：	A3-02
評価領域：	A3 — 緊急時対応	
施設：	全般	
原子炉：		
所見タイトル：	権限、行動および調整	

2. 所見

2.1 — 所見の記述：背景

- － 日本における原子力災害対策の様々な関係者の権限および行動は、原子力災害対策特別措置法に規定されている。本法は事業者ならびに地方自治体および日本政府の役割および責任を規定する。
- － 本法第 10 条は、異常な運転上の事象が発生した際の、事業者の日本政府および地方自治体への通知義務に関する要件を規定する。所定の状況において放射線量率が所定の値を超えた場合またはプラントの状態からそれが明らかである場合に通知を行う必要がある。制限条件は別の規則に規定される。
- － 本法第 15 条は、事業者の緊急事態宣言義務に関する要件を規定する。これは日本政府に伝達され、総理大臣は防護および対策措置を開始するために必要な措置を取る。緊急事態宣言は所定の放射線状態の存在または施設の状態によって条件付けられる。制限条件は別の規則に規定される。
- － 他のいくつかの国の状況とは対照的に、日本の原子力災害対策システムにはいかなる警戒状態も規定されず、いかなる特定の緊急事態分類も規定されていない。IAEA が推奨する緊急時対応の概念、定義および方法は、日本においてはごく限られた範囲で適用されたにすぎないことも併せて留意されたい。
- － 原子力災害対策に関わる様々な関係者間の調整は、関連法規で規定されている（A1-06-01 参照）。原子力施設内の事象に対する災害対策の唯一の責任は当該原子力施設が負う。それにもかかわらず、公衆に対して影響を与える措置（例えば、福島の場合のベントまたは水の注入など）はより高いレベルの災害対策組織または日本政府／総理大臣の承認を必要とする。
- － 福島の間、過酷な自然条件および事象によって、原子力災害対策システムが、良く確立された手順や慣行に従うことが、非常に困難か時には不可能となった。このような状況において意思決定者は、公衆、施設従業員および環境の利益を最優先した新規の解決策を選択した。

2.2. — 福島第一原子力発電所における所見：

－

3 — 結論

2011 年__月__日

日本における緊急時対応組織の様々な要素の権限、機能および調整は、福島の間、事故に対する対応状況によってすでに実証されまた実証されつつある。非常に献身的な職員および作業員、ならびに良く組織されかつ柔軟なシステムがさらなる大災害を防止し、公衆および施設従業員の生命を救った。しかしながら、IAEA も推奨する特定の確立された技法は、日本の

原子力災害対策において使用されていない。

4 - 教訓

2011年__月__日

非常に献身的な日本の災害対策関係者および彼らの革新的な行動は、国際災害対策コミュニティの関心と呼ぶに値する。

脅威の分類、事象の分類および対策に関し、IAEAのガイダンスを使用することは、日本のサイト外の緊急時対応をさらに効果的にすることができる。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A3-03
評価領域 :	A3 - 緊急時対応	
施設 :	全般	
原子炉 :		
所見タイトル :	計画、手順およびガイドライン	

2. 所見**2.1 - 所見の記述 : 背景**

- 活動、義務、および行動については、様々なレベルの法令、規則およびマニュアルに記載されている。特定の国家災害対策計画は使用されていない。
- 原子力緊急時対応に関連する最も重要な要件は原子力災害対策特別措置法に規定されている。これには、他国においては国家災害対策計画に含まれるような基本的情報も含まれる。
- 通常は事業者によって編纂された、意志決定者を支援するための予備的および助言的措置における、様々な組織による協力に関する実践的情報を総括したマニュアルが存在する。防災システム内で様々な役割を担う省庁は特定のマニュアルを備え、省庁間協力は実務レベルで実現される。地域レベル（都道府県、市区町村）の計画はそれぞれの義務および活動を規定する。
- 事業者はあらゆる原子力施設に対して防災計画を備えている。
- 関連する IAEA ガイダンスの観点では、緊急事態分類システムは使用されていない。あらゆる原子力施設に対して単一の防災計画区域が規定されており、原子力発電所についてはおよそ 8~10 km の範囲が規定されている。緊急防護措置計画区域の概念の導入および防護区域の IAEA が推奨する範囲への拡張に関しては検討中である。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

-

3 - 結論

2011 年__月__日

日本は、その原子力災害対策を組織する上で、原子力防災計画よりも法規に頼る傾向が強いが、これは対策の有効性を阻害しているわけではないように思われる。

4 - 教訓

2011 年__月__日

対応する IAEA 要件、ガイドおよび技術文書が示唆する原子力防災計画システムの使用は、日本の緊急時対応組織の能力をより強化する可能性がある。この場合において、様々な防災計画区域の定義および導入ならびにそれに応じた災害対策計画の準備が、災害の初期段階における対応組織の負担を軽減する可能性がある。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A3-04
評価領域 :	A3 - 緊急時対応	
施設 :	全般	
原子炉 :		
所見タイトル :	防護措置	

2. 所見**2.1 - 所見の記述 : 背景**

- 防護措置に関する規則を提示する。NSC が編纂した行政文書／ガイドラインを参照された。これらのガイドラインは屋内退避および避難のための放射線量の数値的制限値を提供するとともに、他の情報およびデータをどのように使用するかを示す。
- 特に、基本防災計画における避難検討および規制ガイドについて、NSC による原子力施設防災もまた考慮に入れるべきである。
- ヨウ素剤服用は、知覚預託線量が所定の値を超えた場合に実行する。この値はすべての集団グループに対して一意であるが、安定ヨウ素剤の服用量は患者の年齢によって決定する。40 歳以上の大人は含めないと想定される。
- 日本においては、食物摂取制限を含む長期防護措置が詳細に規制されており、特定の摂取習慣も考慮されている。行動レベルは IAEA が一般的に提案するものとは若干異なる。
- 運用上の介入レベルの適用に関しては NSC のガイドラインには示されておらず、また検討対象でもない。
- 移住および再定住という用語は、日本の防災実務においては使用されない。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

-

3 - 結論

2011 年__月__日

日本においては、防護措置の適用は適正に定義され規制されている。IAEA が示唆するいくつかの手法は使用されていないが、しかし完全に同等の方法が採用されている。

4 - 教訓

2011 年__月__日

緊急防護措置として、運用上の介入レベル (OILs) の適用を検討することを提案する。OILs の適用は、緊急防護措置の適用を容易かつより効果的にする可能性がある。特定のエリアから人々を避難させる際に使用する諸条件の、IAEA 勧告に沿った改正は、問題の長期的な管理を容易にする可能性がある。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A3-05
評価領域 :	A3 - 緊急時対応	
施設 :	全般	
原子炉 :		
所見タイトル :	防護措置 - 福島事故の場合	

2. 所見

2.1 - 所見の記述 : 背景

- 人の生命を救うためすべての適切な手段が取られた。日本政府、地方自治体および施設の事業者は、原子力または放射線災害の影響を最小限にするために必要な措置を速やかに取った。施設における措置を支援するための緊急時サービスが使用可能となり、対応者は、国際標準に従って、影響を最小限にし、防災作業員を防護するための実行可能かつ適切なすべての措置を講じた。
- 重大かつ深刻な健康への影響の発生を可能な限り防止し、放射線被ばくを回避するため、緊急防護措置が講じられた。2011年3月11日に日本政府が緊急事態宣言を行った後、新たな危険の迅速な特定および対応戦略の精緻化を行うために、速やかに放射線モニタリングおよび環境サンプリングならびに評価が開始された。
- 3月16日に現地対策本部は地方自治体に対して、避難時にヨウ素剤服用を実施すべきであることを指示したが、その時まで人口の大半は20kmのエリア外に退去していた。
- 福島第一原子力発電所の周辺からの避難は、プラントの状況悪化に伴って徐々に拡大されたエリアに避難指示がなされた（緊急防護措置のさらなる詳細に関しては、A1-06-06を参照されたい）。
- 放射線被ばくを回避するために農業対策および長期防護措置が講じられた。この措置において、原子力災害対策本部は食品衛生法および原子力災害対策特別措置法に基づき食品の流通および/または摂取制限の指示を2011年3月23日に発した。この決定にあたって、適用すべき基準は3月17日になってやっと決定され、測定に2日を要し、加えて意思決定までにさらに2日を要した。
- 帰宅の基準はまだ決定されていないが、年間被ばく量が1~20ミリシーベルトの間であろうと想定されている。
- 損害に対する賠償制度はまだ詳細に練り上げられておらず、既存の規則の適用は適切ではない。これに関する暫定ガイドラインが2011年7月までには作成される予定である。
- 作業員の防護および汚染モニタリングに関しては「放射線の影響」の章で取り扱う。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

-

3 - 結論		2011年__月__日
<p>福島事故に関連する防護措置は効果的であり、適切であることが分かった。いくらかの遅延の原因は過酷な状況および異常事態によるものである。被災した住民に通知することは、当局の活動の重要な部分であった。複合的な災害の影響に対処する訓練は、非常に限られた範囲で行われたが、実際の活動は効率的であり命を救った。</p>		

4 - 教訓		2011年__月__日
<ol style="list-style-type: none"> 1. 史上最大規模の複合的な大災害へ対応する中での組織、規律および献身は、1つの例として世界中の緊急時対応組織に提示されるべきである。 2. より少数の参加者による適時の意志決定およびより迅速な対策決定により、一般公衆の防護をさらに効率的に行うことができる。 3. 複合的な大災害の状況を想定した訓練および演習を、かかる事象の影響を受ける可能性があるサイトにおける緊急時訓練プログラムの中に含めるべきである。 		

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号：	A3-06
評価領域：	A3 — 緊急時準備と対応	
施設：	全般	
原子炉：		
所見タイトル：	防護措置 — 福島における緊急防護措置	

2. 所見

2.1 — 所見の記述：背景

- 2011年3月11日15時42分に原子力災害対策特別措置法第10条に従う通知が福島第一原子力発電所から政府および地方自治体に送られた。経済産業大臣は60分間で現地対策本部を設置しなければならなかった。
- 16時36分に緊急事態が政府に連絡され、19時03分までに政府対策本部が活動状態に達し、緊急事態を宣言した。
- 3月11日に福島第一原子力発電所1号機周辺半径2 km圏内の住民の避難が決定された。通常、避難決定は線量測定に基づくが、この場合は信頼できる測定値が利用できず、決定は1号機の状態（冷却喪失）に基づいた。同日に避難区域の半径は3 kmに拡大されたが、翌日には圧力上昇によってさらに10 kmまで拡大された。これは緊急時計画の避難区域である。
- 3月12日の水素爆発は20 km圏の住民の避難につながった。
- 3月15日には別の爆発が2号機を襲い、半径20 km～30 km圏内の住民は屋内に留まるように指示された（屋内退避）が、その一方同じ住民が自主的に避難するよう勧められた。
- 3月16日に現地対策本部は、地方自治体に避難を実施する時はいつもヨウ素剤を投与するように指示した。しかしこの時までには避難の大部分は完了していた。
- 長期的退避（「屋内退避」）は1カ月以上実施された。
- 3月23および25日にNSCは原子力災害現地対策本部に0～15歳の年少者1080人に甲状腺被ばく調査を実施するよう助言した。0.2 mSv/hのスクリーニング・レベルの超過はまったくなかった。住民190,000人が外部被ばく測定を受け、100,000 cpmレベルの超過が102回あった。
- 4月21日に半径20 km区域への立入が禁止された。
- 半径20～30 km圏内の退避は、4月22日に解除され、同時に、線量が1年間に20 mSvに達する脅威がある場所に計画的避難区域が設定された。このような場合、居住者は1カ月以内に避難するよう要請される。脅威は、測定され補間された線量値から決定された。今のところこれらの地域から測定された個人データは入手できない。含まれた5つの村のうち3つはすでに避難していた。
- それと並行して避難準備区域が設定され、その住民は別の緊急事態が発生した場合に直ちに避難する準備を整える必要がある。
- 施設は、言葉の伝統的な意味で緊急時対応活動にあまり関わっていなかった。その主要な活動は事故管理であった。

2.2. ー 福島第一原子力発電所における所見：

ー

3 ー 結論

2011年__月__日

測定値が入手できないため、結果的にプラントの状態に基づいて緊急防護活動を開始することとなった。急速に変化するプラントの状況により、住民を防護するためにいくつかの連続的対策（大部分は避難）を講じることが避けられなかった。長期的退避は国際的慣行と一致せず、中止され、「計画的避難」および「避難準備区域」という概念が代わりに導入された。

4 ー 教訓

2011年__月__日

1. 長期的退避（屋内退避）の使用は異常であり、十分に正当化されない措置であり、これは今後さらなる分析が必要となる。
2. 国家の緊急時準備と対応システムのさらに良い組織化および効率的な機能のために、施設の緊急時対応チームは個々の IAEA 文書が求める活動に重点を置くべきである。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A3-07
評価領域 :	A3 - 緊急時準備と対応	
施設 :	全般	
原子炉 :		
所見タイトル :	公衆の懸念への取組	

2. 所見**2.1 - 所見の記述 : 背景**

- 公共コミュニケーションは地方自治体の責任である。避難によって影響を受けた住民は、地元の拡声器、広報車およびメディアを通じて通知されたい。中央政府は全国および地方メディアに住民への通知の支援を要請した。総理大臣はテレビで放映されたスピーチを通じて住民に呼びかけた。しかし最も影響を受けた住民は、停電のためテレビを使用することができなかった。ラジオが最も効率的な連絡手段であることが分かった。
- 対策によって影響を受けた住民は、日本政府および厚生労働省（MHLW）のウェブページから情報および助言を得ることができる。国立医療センター（神経学、精神医学）も影響を受けた住民に助言を与える準備が整っている。
- 毎日の地上モニタリングおよび大気モニタリングの結果は、メディアおよび一般公衆に公表されている。英語、韓国語および中国語への翻訳はできる限り行われている。MEXT は JAEA と共に健康上の懸念および放射線データに関する一般公衆向け電話サービスを確立した。放射線医学総合研究所は放射線被ばくおよび健康上の懸念に対応するためのホットラインを確立した。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

-

3 - 結論

2011年__月__日

一般公衆に通知することは、日本政府および地方自治体にとって一番重要である。様々な連絡および情報手段が成功裏に使用されている。

4 - 教訓

2011年__月__日

公衆の情報ニーズに対応するために、開放的な態度、献身、事実に基づく公正および十分な資源が絶対に必要である。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A3-08
評価領域 :	A3 - 緊急時準備と対応	
施設 :	全般	
原子炉 :		
所見タイトル :	国際的懸念への取組	

2. 所見**2.1 - 所見の記述 : 背景**

- 事故の初期に日本政府は関係のある国際社会に十分な情報を提供することができなかった。政府は何も隠したくはなかったが、十分な情報も持っていなかった。例えば 4 月 4 日に TEPCO は低レベル放射性汚染水を海に放出し、NISA は事前に IAEA に通知したが、急速な変化および連絡不足のため、日本政府は近隣諸国に十分な情報を提供することができなかった。政府は改善に向けて努力している。政府はコミュニケーションを変更し、重要な措置の場合は IAEA のみならず近隣諸国にも通知される。
- 政府は一部の諸国の輸入制限を認識している。政府は事故に関する説明を公式なルートを通じて外交団および諸外国政府に提供してきた。政府は国際社会が懸念を持っていることを理解し、また科学的な議論を使用して対応することが重要であると考えている。政府は日本が十分な情報を提供することができないことが一部の諸国での制限の引上げにつながったことを認識している。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

-

3 - 結論

2011 年__月__日

日本政府は、国際社会への開放的、誠実および完全な情報を目指して努力している。初期の失敗には客観的理由があり、これまで日本の当局者には事実を隠蔽する意図はなかった。

4 - 教訓

2011 年__月__日

一般公衆および特に国際社会への情報は、大規模な緊急事態の場合には重要かつ細心の注意を要する問題である。この問題に対処するために情報伝達手法を一層精巧にし、訓練するべきである。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号：	A3-09
評価領域：	A3 - 放射線影響	
施設：	全般／福島第一原子力発電所	
原子炉：		
所見タイトル：	ソースターム	

2. 所見

2.1 - 所見の記述：背景

- 環境への放射能放出に関する知識は、事象の正しい理解および住民を防護する対策についての意思決定に必要である。ソースタームの推定は、放射能放出に関する明確な推定値を持ち、プラントの一部の重要な構造物およびシステムの挙動を知るためのプロセスの主要項目の1つを構成する。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見：

- 現在利用可能なソースターム推定値は、NISA（JNES の支援を得て）および JAEA の支援を得て NSC によって行われた。4月12日に NISA は、結果的にレベル7となった INES 尺度に基づく事象評価の目的で推定値を計算した。下表に結果を示す。

	福島第一原子力発電所からの放出の推定量		チェルノブイリからの放出量
	NISA Bq	NSC Bq	
I-131 ... (a)	1.3×10^{17}	1.5×10^{17}	1.8×10^{18}
Cs-137	6.1×10^{15}	1.2×10^{16}	8.5×10^{16}
I-131 への換算値... (b)	2.4×10^{17}	4.8×10^{17}	3.4×10^{18}
(a) + (b)	3.7×10^{17}	6.3×10^{17}	5.2×10^{18}

加えて TEPCO は、総量 4.7×10^{15} Bq が液体排出物として海に直接放出されたと推定した。

すべての関連する同位体を考慮しておらずまた放出がまだ止まっていないので、これらの推定値はすべて暫定的かつ限定的であると思われる。

最も現実的なソースタームの再構築は、時間的な事象シーケンスならびに環境モニタリングおよび気象条件の実データの解析を対話型フィードバック・プロセスに含めることであろう。このプロセスは異なる時間および距離範囲における分散モデルを検討すべきである。解析の中では同位体のすべての可能性のあるグループ（希ガス、I、Cs、Te、Sr、Pu...）ならびに一部のまさしく指標となる同位体比（v.gr. Sr-89/Sr-90）が検討されるべきである。格納容器建屋内で発見された同位体成分と外部で発見されたものとの相違が、放出中の格納容器の健全性に関する情報を与える可能性がある。

3 - 結論		2011年__月__日
<p>事故に関連するソースタームに関する知識は、事象の明確な理解を得て、公衆および環境への放射線影響の可能性のある範囲を決定するために最も重要と考えられる。</p>		
4 - 教訓		2011年__月__日
<p>国際原子力コミュニティは、原子力事故に関連するソースタームを決定し、緊急事態における意思決定を支援するために、福島事故を活用して既存の方法およびモデルを改善し、精密にするべきである。</p>		

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A3-10
評価領域 :	A3 - 放射線影響	
施設 :	全般 / 福島第一原子力発電所	
原子炉 :		
所見タイトル :	サイト外の放射線影響 公衆線量の評価	

2. 所見

2.1 - 所見の記述 : 背景

- 住民に対する線量評価は、原子力災害の適正管理を行うための重要な要因である。これは通常意思決定支援システムを用いて異なる時間や距離範囲の線量を予測する一方、周辺監視による実データからフィードバックを受けるものである。個人に対する被ばくの直接監視は、公衆の安心にとって重要であると考えられる。
- 福島の事故の時間的な順序およびどのように放射能が放出されたかに関して、サイト外の影響を前もって予測することは不可能であった。このため、個人ならびに周辺監視から得られたデータは、この事故の放射線影響の評価に唯一役割を果たすものである。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

- 日本の各当局は、線量評価を支援するため、個人ならびに周辺監視の結果の直接監視を実施した。個人の汚染測定の結果、重大な線量は結論付けられなかった。
- 事故の結果、大量の放射性物質が大気中に放出され、施設周辺の一部の地域が汚染された。それにもかかわらず、避難 (20 Km) および屋内退避 (20~30 Km) などの緊急時計画が早期に適用されたため、住民への重大な被ばくは防止されたと考えられる。
- さらに各当局は、年間 20 ミリシーベルトの予測線量基準 (移転に関する ICRP 基準) の適用および実際の放射線の状況 (測定値が使用できない地域では補正值を利用) に基づき、当初の 20 Km 避難地域よりも外の北西地域にある複数の町の避難を決めた (計画的避難地域)。
- この北西地域の避難は事故後数週間で開始されたが、まだ終了していない。今までのところ、特にヨウ素 131 (雲および沈着) に対する被ばく、および沈着して中長期的にとどまる同位元素だけではなくそれ以外の同位元素 (セシウム 134 およびセシウム 137) に対する被ばくを考慮した、計画的避難地域の実線量の推定値はない。
- 前述の目的のため、日本の各当局は、北西地域 (計画的避難地域) に住む住民を含む、住民の健康調査および線量評価の規定と実施を担当する特別グループを創設した。このグループは福島県と、広島大学および長崎大学を含む各大学の医学部で構成される。

3 – 結論		2011年__月__日
<p>住民に対する線量の適正な評価は、意思決定プロセスへのフィードバック、防護戦略の最適化、そして公衆の安心のために、原子力災害管理における重要な問題と考えられる。さらに線量の適正な評価は、個人の健康管理のための戦略を規定し最適化することに貢献する可能性がある。日本の各当局は、線量評価を支援するため、個人ならびに周辺監視の結果の直接監視を実施し、北西地域（計画的避難地域）に住む住民を含む、住民の健康調査および線量評価の規定と実施を担当する専門家グループを創設した。</p>		
4 – 教訓		2011年__月__日
<p>個人の被ばくを直接監視し、可能であれば周辺監視の結果を利用すれば、住民の安心を高め、個人の健康追跡プログラムを決定する現実的な線量評価の達成に役立つ可能性がある。</p>		

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A3-11
評価領域 :	A3 — 放射線影響	
施設 :	全般／福島第一原子力発電所	
原子炉 :		
所見タイトル :	周辺監視	

2. 所見

2.1 — 所見の記述：背景

- － 周辺放射線監視は、特に重大な放射線放出を伴う事象における、原子力災害管理の重要な要因である。
- － 福島第一原子力発電所の事故では、監視を担当する福島県で見つかった多くの困難のため周辺監視の開始が遅れた。上記の困難のほとんどは原子力事故の原因となった起源を同じくする事象、すなわち地震、津波、SBO によって引き起こされた。このため、事故直後の状況では周辺データはそれほど多く収集されなかった。3 月 15 日に文部科学省（MEXT）が監視プログラムを担当するようになってようやく、有益な周辺データの収集が開始された。

2.2. — 福島第一原子力発電所における所見：

- － 日本では、各都道府県が緊急時の周辺放射線監視を担当している。福島第一原子力発電所の事故後、福島県は事前に構築されていた監視プログラムを開始する上で多くの困難があることを発見した。そのほとんどは地震、津波、SBO によって引き起こされた機器の損傷によるものだった。例えば県内の 24 のモニタリングポストのうち 23 が損傷し、オフサイトセンターは運営できない状態になった。
- － この状況に対処するため、監視車両を使うなどいくつかの措置が講じられたが、3 月 11 日から 15 日の期間はデータがそれほど多く収集されなかった。
- － 避難を定するために利用可能で有益な周辺監視に関するデータはなく、この決定は原子力発電所の状況に関連して採用された。
- － 3 月 15 日、MEXT が周辺監視についての中央省庁となった。3 月 18 日以降監視が強化された（陸・海・空）。IAEA および米国エネルギー省（US-DOE）からの重要な支援がその改善に貢献した。最新式の監視装置が使用されている（可搬式ユニット、航空機、船舶）。陸・海・空を含む最も重大な被ばくの経路が現在監視されている。監視項目は以下のとおりである。
 - 線量値。固定ポストおよび可搬式ユニット、航空機、船舶
 - 固定モニタリングポストにおける積算線量
 - 放射性核種分析（主にヨウ素 131 とセシウム 137）
 - 塵、土、池水、雑草
 - 飲料水、降下物（47 都道府県）
 - 海水および海底土
- － 航空機を使った空中測定を発電所の周辺 80 km の環境で実施する。得られたデータから範囲を拡大するかどうかを決定する。

- 監視データは計画的避難地域の決定に使用された。
- 地上監視に利用できる集約化された地図はまだない。これまでのところ住民に集中した監視が行われてきた。現在メッシュを規定し、マッピングを行う作業が進行中である。
- 47 都道府県は毎時測定を行い、その結果を毎日 MEXT に提出している。54 の大学も測定を行っている。その情報は公開されている。
- 効率的な周辺監視を行うため、日本国政府は国内外の専門機関と協力して多大な努力を払っている。最近日本国政府は、計画的避難地域（PEZ）内および比較的線量値の高い PEZ 外の各地域における監視能力を強化し最適化する決議を採択した。これは大気中および海中の監視を含む。

3 - 結論

2011 年__月__日

周辺放射線監視は、特に重大な放射線放出を伴う事象における、原子力災害管理の重要な要因である。

周辺放射線監視プログラムは、事故発生当初から現在に至るまで強化されてきた。事前に構築されていた地方政府の監視プログラムを開始する上で多くの困難が発見された。そのほとんどは地震と津波に引き起こされた機器の損傷によるものだった。効率的な周辺監視を行うため、日本国政府は国内外の専門機関と協力して多大な努力を払っている。最近日本国政府は、計画的避難地域（PEZ）内および比較的線量値の高い PEZ 外の各地域における監視能力を強化し最適化する決議を採択した。これは大気中および海中の監視を含む。

4 - 教訓

2011 年__月__日

周辺監視プログラムの結果は、対策戦略を最適化し公衆に知らせるためにフィードバックする上で有益であるべきである。

緊急時周辺放射線監視プログラムは、事故が起きた場合の迅速で信頼性の高い配備を確実にを行うため、前もって規定し、訓練（通常条件）を行っておくべきである。その設計では、原子力事故により機器に同時に影響を及ぼす可能性のある SBO や限界自然事象などの共通原因故障の可能性、およびこのようなケースに対処するために国レベルや国際レベルで利用可能なあらゆる資源の考察を考慮するべきである。

調査所見シート

1. 調査所見の識別	所見番号 :	A3-12
評価領域 :	A3 - 放射線影響	
施設 :	全般 / 福島第一原子力発電所	
原子炉 :		
所見タイトル :	サイト内の放射線影響 作業員の放射線防護	

2. 所見

2.1 - 所見の記述 : 背景

- 放射線による重大な影響を伴う事故におけるサイト内外での作業員の放射線防護は、放射線に係る個人に対する疾病予防の見地からだけではなく、サイト内の軽減活動の適切な進歩に寄与する重要な課題である。放射線防護プログラムは効果的であるが、防護について安心できる状況において自らの職務に放射線リスクが伴う前提であることを作業員に再確認するものである。
- 福島第一原子力発電所の事故は、線量測定システムの損傷、線量計の喪失、および特に発電所の一部区域における極端な放射線状況などの複数の要因により、作業員の適切な放射線防護プログラムの進歩に試練を与えた。

2.2. - 福島第一原子力発電所における所見 :

- 放射線防護に対する日本の規制は、ICRP が公告 ICRP-60 (1990 年) で規定した勧告に沿ったものである。作業員の線量限度は 5 年で 100 ミリシーベルト、1 年で最大 50 ミリシーベルト、女性は 3 カ月で 5 ミリシーベルトという実効線量 (ED) で規定されている。
- 緊急事態においては、線量限度よりも予め規定した個人線量基準値が使用される。初めに 100 ミリシーベルトの個人線量基準値が定められた。事故状況の評価後、各当局が個人線量基準値を、緊急期間中の外部被ばくと内部被ばくの合計で 250 ミリシーベルト ED まで引き上げることを決定した。これは、必要な活動と作業員の防護を両立可能にするために許容するものであった。
- 操業者は、当局が決定した基準値を確実に達成するため、これよりも低い基準値 (200 ミリシーベルト) を規定した。内部被ばくは、外部被ばくが 100 ミリシーベルトを超えた作業員に対して全身カウンタ (WBC) を使って測定される。
- 事故の間、個人の線量測定管理システムの操作ができなくなった。すなわち、放射線管理区域 (RCA) への出入管理情報や個人の線量データが収集できなくなった。さらに自動個人線量計 (APD) システムが操作できなくなり、線量計 5,000 個が使用できなくなった。最初の数日間では集めることができた APD はわずか 320 個だった。
- この問題に対処するため、明確な基準値の下で複数の作業員が線量計を共有して使用すること、および個人の線量を手書きで記録することを含む暫定的な手法が確立された。状況は次第に向上し、現在約 2,100 個の APD が使用可能である。
- NISA は、線量計および十分な数の全身カウンタが不足している特定のケースにおいて TEPCO が従うべき放射線防護に関する指示を発表した。
- 状況は次第に改善された。4 月 14 日、APD とバーコードシステムを組み合わせた単純化した出入管理システムを導入した。5 月 20 日には、作業員の放射線被ばく管理について、下

記に規定した措置を含む新しいシステムが確立した。

- 被ばく線量の管理（複数の作業に関し TEPCO から MHLW（厚生労働省）へ報告）
 - 個人線量データベースに応じて実施される健康診断の仕組みの確立
 - 以下の基準に基づいて、内部被ばく評価に対する優先順位を規定する仕組みの導入：
100 ミリシーベルト超の累計外部被ばく、運転に関与する女性、および特殊なケース（負傷、心理的症状）
- 発電所の様々な区域での線量値の監視が継続的に行われ、結果は有益な放射線マップに表示される。
 - RCA におけるあらゆる介入が計画される。RCA における作業時間は、すべての作業員について最長 2 時間に制限される。放射線が最大レベルの区域または深刻な汚染状況にある区域での作業を支援するため、ロボットや無人機器などの特殊なツールが次第に導入されてきた。
 - 制限区域や施設に入るすべての職員の放射線防護管理について、J ヴィレッジと福島第一原子力発電所間での強力な調整が行われ包括的な手続きが確立された。J ヴィレッジでは 1 日約 2,000 人の作業員に放射線防護機器が提供される。
 - 外部作業員および初めて立ち入る者の放射線防護については、原子力発電所に入る前に、防護服、放射能、および関連作業工程について TEPCO が短期の訓練を行う。この訓練には J ヴィレッジが使われる。遡及健康管理のための登録が現在行われている。
 - 事故直後の数日間に施設内で作業した職員に対し、ヨウ素タブレットによる放射線予防が施された。
 - 今までのところ（5 月 23 日）、30 人の作業員の外部線量が 100 ミリシーベルトを超えている。3 月 31 日までに、最大内部線量が 40 ミリシーベルト未満で 100 ミリシーベルトに達した人は 21 人いた。これらの人々は引き続き憂慮される状態であり、できるだけ早く WBC（全身カウンタ）評価を行うことが望まれる。
 - 一部の建物やトレンチの中に大量の高濃度汚染水が存在していることは、作業員の放射線防護にとっても、また制御できずに海に放出されるという潜在的なリスクにとっても、特に憂慮すべき問題として存在し続けている。
 - TEPCO によってすでに多くの措置が講じられ、汚染水を効率的に制御できるようにするため追加措置が復旧ロードマップの中に加えられている。この目的において、以下に記した問題などのいくつかの顕著な問題の他に、追加的な検討を行うべきである。
 - 原子炉および使用済燃料プールの冷却を両立できる方法による汚染水の現在量と生成量の最小化。汚染水を最小化することについて、その最終的な目標は密閉冷却システムの確立であり、中間目標として汚染水の再利用と再循環を検討するべきである。
 - 信頼性と効率の高いシステムの運転を確実にを行うため、そして予想外の漏洩を防ぐために、一時的な保管機能の追加、および汚染除去機能の設置については、特定の安全基準の適用を強化するべきである。これらのシステムの設計および運転手順では、地震や津波などの自然事象の潜在性を考慮すべきである。
 - 最後に TEPCO は、作業員 2 名が福島第一原子力発電所での軽減活動中にヨウ素 131 への被ばくによって、規定の基準レベル（250 ミリシーベルト）を超える線量を浴びたことを報告した。TEPCO は、これらの作業員が浴びた内部被ばく量（甲状腺）の評価を行う計画である。
 - まとめると、福島第一原子力発電所における作業員の被ばくを抑制するために確立された手順は、極端に困難な状況の中で高レベルの放射線防護を確実にを行う上で効率的であると思われる。

3 - 結論		2011年__月__日
<p>福島第一原子力発電所およびJヴィレッジにおける作業員の被ばくを制御するための確立された手順と組織は、極端に困難な状況（深刻な汚染区域と非常に高い線量値）の中で高レベルの放射線防護を確実に行う上で効率的であると思われる。懸念事項は、一部の建物内にある大量の高濃度汚染水である。</p> <p>すべての作業員、特に放射能の放出が起こった事故当初に軽減活動に携わった作業員に対する個別の内部被ばく制御をできるだけ早く行うことが推奨される。</p>		

4 - 教訓		2011年__月__日
<p>緊急事態における作業員の防護は、不要な被ばくを防止し、軽減活動を支援するための重要な問題とみなされるべきである。緊急事態における作業員の被ばくに対する最適化プロセスでは、線量基準レベルの柔軟な適用、およびサイトの放射線マップの拡大利用や特殊機器（ロボットや無人ツール）の利用など、実用的なツールの導入を検討するべきである。リスクの異なるグループごとに作業員を分類すれば、作業員の線量測定と防護の最適化に役立つ可能性がある。</p> <p>外部作業員と第一対応者には、過去の情報と訓練という観点から特別な注意を払うべきである。</p> <p>事故に対応して大規模な放射線防護を行うことにおいて、国際社会は日本の経験から多くの教訓を学ぼう。</p>		

別添資料

別添資料I – 調査団プログラム

2011年5月24日（火）：

- 午前：東京、成田空港への専門家の到着、ホテルに移動
- 09:00 メイン・ロビーにおいて状況報告および議論
- 12:00 昼食
- 13:00 バンケット・ルームのプロミネンス（B1階）において技術的議論～18:00
- 16:40 バスによってMETIに移動
- 17:10 海江田大臣の事務所において経済産業省（METI）大臣海江田万里氏を表敬訪問（20分）
- 17:30 表敬訪問の後に報道陣への対応（出口でのインタビュー）（20分）
- 17:55 バスによってホテルに帰還
- 18:10 ワーキング・ディナー
- 部屋は24:00まで予約されている。

2011年5月25日（水）：

- 08:30 バスによってホテルANAを出発
- 09:00 METIに到着
- 09:00 METI会議室（主建物17階）において技術的議論（3時間20分）
- 12:20 昼食（ランチ・ボックス）
- 13:20 METIを出発
- 13:50 MOFAに到着
- 13:50 外務省（MOFA）大臣松本剛明氏を表敬訪問（30分）
- 14:20 報道陣への対応（出口でのインタビュー）（10分）
- 14:30 MOFAを出発
- 14:40 NISA/METIに到着
- 14:40 METIにおいて技術的議論（1時間20分）
- 16:00 METIを出発して首相官邸（PMO）へ
- 16:30 PMOに到着
- 16:30 内閣官房長官枝野幸男氏を表敬訪問（30分）
- 17:00 報道陣への対応（出口でのインタビュー）（10分）
- 17:10 PMOを出発
- 17:30 MEXTに到着
- 17:30 文部科学省（MEXT）大臣高木義明氏を表敬訪問（20分）
- 17:50 報道陣への対応（出口でのインタビュー）（10分）
- 18:00 MEXTを出発
- 18:10 ホテルに到着
- 18:10 24:00までワーキング・ディナー

2011年5月26日（木）：

- 07:00 ANA ホテルを出発
- 10:00 東海第二原子力発電所（日本原子力発電株式会社）に到着
- 10:00 サイト視察（120分）
- 12:00 東海第二原子力発電所を出発
- 12:00 車上で昼食
- 14:00 J ヴィレッジに到着
- 14:00 衣服の交換～14:30
- 14:30 TEPCO のバスによってJ ヴィレッジを出発
- 15:00 福島第二原子力発電所（東京電力株式会社）に到着
- 15:00 放射線調査（20分）
- 15:20 状況報告（30分）
- 15:50 プラント視察（外部からの取水口、熱交換器建屋、T/B、R/B）（2時間50分）
- 18:40 放射線調査（20分）
- 19:00 合同会議の視察
- 19:00 Q&A、インタビュー（60分）、ディナー・ボックス（TEPCO において）
- 20:00 福島第二原子力発電所を出発
- 20:30 J ヴィレッジに到着
- 20:30 放射線調査（60分）
- 21:30 J ヴィレッジを出発
- 23:00 ホテル・テラスザスクエア日立（茨城県日立市、0294-22-5531）に到着およびチェックイン

2011年5月27日（金）：

- 07:00 ホテル・テラスザスクエア日立を出発
- 07:00 車上で朝食（東海第二で購入した軽食）
- 08:30 J ヴィレッジに到着
- 08:30 衣服の交換～09:00
- 09:00 TEPCO のバスによってJ ヴィレッジを出発
- 09:30 福島第二原子力発電所（東京電力株式会社）に到着
- 09:30 放射線調査（30分）
- 10:00 状況報告、情報交換、インタビュー、軽食による昼食（60分）
- 11:30 福島第二原子力発電所を出発
- 12:00 福島第一原子力発電所に到着
- 12:00 プラント視察（取水口、その他の施設）（2時間30分）
- 14:30 放射線調査（30分）
- 15:00 非常時運転建屋（免震建屋）（30分）
- 15:30 福島第一原子力発電所を出発
- 16:00 J ヴィレッジに到着
- 16:00 放射線調査（60分）
- 17:00 J ヴィレッジを出発

- 17:00 車上で軽食（東海第二で購入したまたは高速サービス・ステーションで停車することによって）
- 20:30 ANA ホテルに到着
- 20:30 ホテルのバンケット・ルーム「オーロラ」（B1F）においてスクリーニング
- 21:00 部屋においてワーキング・ディナー～24:00

2011年5月28日（土）：

- 08:30 専門家との内部 IAEA 会合、3 グループに分割（37F、606、610）
- 09:00 バンケット・ルーム「アリエス」（37F）において日本の機関との非公式な技術的議論
- 12:00 バンケット・ルーム「アリエス」（37F）において昼食
- 13:00 バンケット・ルーム「アリエス」（37F）において日本の機関との非公式な技術的議論
- 18:00 議論の終了
- 18:00 チーム会合
- 19:00 バンケット・ルーム「ギャラクシーIII」（B1F）において夕食 - ワーキング・ディナー～24:00

2011年5月29日（日）：

- 09:00 バンケット・ルーム「グローリー」（B1F）において非公式な技術的議論
- 12:00 昼食
- 13:00 バンケット・ルーム「グローリー」（B1F）において報告書の準備
- 17:00 事務局との調整
- 19:00 日本政府への報告書案の提出
- 19:00 バンケット・ルーム「グローリー」（B1F）においてワーキング・ディナー～24:00

2011年5月30日（月）：

- 09:00 ANA ホテルを出発して NISA/METI に
- 09:10 非公式な技術的議論
- 12:00 昼食
- 14:00 NISA との報告書のレビュー
- 18:00 METI を出発
- 18:30 ホテルのバンケット・ルーム「グローリー」（B1F）において夕食
- 20:00 非公式な技術的議論、報告書のレビュー

2011年5月31日（火）：

- 09:00 ANA ホテルを出発して NISA/METI に
- 09:10 公式な技術的議論、報告書のレビュー
- 12:00 昼食
- 18:00 METI を出発
- 18:30 谷口氏の～でチーズ&ワインのレセプション
- 18:30 バンケット・ルーム「グローリー」（B1F）において夕食

2011年6月1日(水) :

- 08:30 ANA ホテルを出発
- 09:00 首相官邸に到着
- 09:00 首相官邸において最終会合
- 09:30 報道陣への対応：出口でのインタビュー
- 18:00 歓送会

2011年6月2日(木) :

- 午前 専門家は帰宅

別添資料 II – 参加者リスト

A.1 IAEA REVIEW TEAM:

TEAM LEADERSHIP

Mr WEIGHTMAN, Michael
William
United Kingdom
(Team Leader)

Health and Safety Executive (HSE)
Office for Nuclear Regulation
(ONR)
4N.2 Redgrave Court
Merton Road, Bootle
MERSEYSIDE L20 7HS
United Kingdom
Tel: +44 151 951 4168
Fax: +44 151 951 4821
mike.weightman@hse.gsi.gov.uk

Mr JAMET, Philippe
France
(Deputy Team Leader)

Autorité de Sûreté Nucléaire
(ASN)
6 place du Colonel Bourgoïn
75572 PARIS Cedex 12
France
Tel: + 33 1 40 19 86 35
Fax : + 33 1 40 19 86 09
Mobile : + 33 6 66 40 09 71
philippe.jamet@asn.fr

INTERNATIONAL EXPERTS

Mr GODOY, Antonio *1
Argentina
(Effect of earthquake, tsunami,
explosion and after-shocks on
SSCs)

Chivilcoy 1178 Castelar (1712)
BUENOS AIRES, Argentina
Tel: +54-11-4627-0762
Mobile: +43 (664) 41 39 328
agodoy@aon.at

Mr GUERPINAR, Aybars *1
Turkey
(External Events Assessment)

Tokoglu Mah.
1068 Sok. No. 31
Alacati, CESME, Turkey
Tel: +90 232 7169879
Mobile: +436645385787
aybarsgurpinar2007@yahoo.com

Mr GORYACHEV, Alexander
Valentinovich *2
Russian Federation
(Spent Fuel Management under
severe degradation)

NIIAR
Group head, Fuel Research
Department
JSC “State Scientific Center
Research Institute of Atomic
Reactors”
433510 DIMITROVGRAD-10,
Ulyanovsk region, Russia
Tel: +7(84235) 65674
Mobile +7 9063943686
Fax: +7(84235) 65663
goryachev@list.ru, jvv@niiar.ru

Mr CHAI, Guohan *2
People's Republic of China
(Safety Assessment and Defence-
in-Depth)

Chief Engineer, Nuclear and
Radiation Safety
Centre, Ministry of Environmental
Protection
54 Hong Lian Nan Cun, Haidian
District, BEIJING
100082 People's Republic of China
Tel: +86-10-8221-2561
Fax: +86-10-6225-7804
chaiguohan@126.com

Ms UHLE, Jennifer *2
United States of America
(Severe Accident: Analysis)

US Nuclear Regulatory
Commission (USNRC)
21 Church Street, RACHVILLE
MD 20852 USA
Tel: +1-301-251-7402
Jennfer.Uhle@nrc.gov

Mr SUNG, Key Yong *2
Republic of Korea
(Severe Accident: Analysis)

Head, Risk Assessment Department
Korea Institute of Nuclear Safety
(KINS)
Yousong-ku Kusong-dong 19,
DAEJEON, 305-600
Republic of Korea
Tel: +82-42-868-0158
Mobile: +82-10-8247-4543
k109sky@kins.re.kr

Mr CHANDE, S. K. *2
India
(Severe Accident: Management
Procedures)

Vice-Chairman,
Atomic Energy Regulatory Board
(AERB),
Niyamak Bhavan, Anushaktinagar
MUMBAI
PIN. 400 094, India
Tel: +91-22-2557-4024
Mobile: +91-981-983-2100
vc@aerb.gov.in

Mr LUX Ivan *3
Hungary
(Emergency preparedness and
response: protective actions)

Deputy Director General
Nuclear Safety Directorate
Hungarian Atomic Energy
Authority (HAEA)
1539 BUDAPEST, P. O. Box 676
Hungary
Tel: +36-1-4364-881
lux@haea.gov.hu

Mr SUMARGO, Dedik Eko *3
Indonesia
(Emergency preparedness and
response: governmental
infrastructure and communication)

Head for Sub-directorate of
Nuclear Emergency
Preparedness
Nuclear Energy Regulatory Agency
(BAPETEN)
P.O. Box 400, Jl. Gajah Mada No.
8
JAKARTA, Pusat, 10120
Indonesia
Tel: +62 81382198211, +62
2163856518
d.sumargo@bapeten.go.id
de.margo@yahoo.com

Mr LENTIJO, Juan Carlos *3
Spain
(Radiological Consequences)

General Director for Radiation
Protection
Consejo de Seguridad Nuclear
(CSN)
c/ Pedro Justo Dorado Dellmans,
11
28040 MADRID
Spain
Tel: +34-91-346-0622
Fax: +34-91-346-0528
Mobile +34-630-0822-73
jcll@csn.es

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA) EXPERT TEAM

Mr LYONS, James Edward

Director
Division of Nuclear Installation
Safety (NSNI)
Department of Nuclear Safety and
Security
IAEA
Vienna International Centre
P. O. Box 1400, VIENNA, Austria
Tel: +43-1-2600-22520
J.Lyons@iaea.org

Mr SAMADDAR, Sujit Kumar

Head, International Seismic Safety
Centre (ISSC)
Division of Nuclear Installation
Safety (NSNI)
Department of Nuclear Safety and
Security
IAEA
Vienna International Centre
P. O. Box 1400, VIENNA, Austria
Tel: +43-1-2600-22513
S.Samaddar@iaea.org

Mr BRADLEY Jr, Edward Eugene

Nuclear Engineer
Research Reactor Section (RRS)
Division of Nuclear Fuel Cycle and
Waste
Technology (NEFW)
Department of Nuclear Energy
IAEA
Vienna International Centre
P. O. Box 1400, VIENNA, Austria
Tel: +43-1-2600-22759
E.Bradley@iaea.org

Ms NAMMARI, Nadia

Project Assistant
Safety Assessment Section (SAS)
Division of Nuclear Installation
Safety (NSNI)
Department of Nuclear Safety and
Security
IAEA
Vienna International Centre
P. O. Box 1400, VIENNA, Austria
Tel: +43-1-2600-25557
N.Nammari@iaea.org

IAEA PUBLIC INFORMATION TEAM

Mr WEBB, Gregory Paul

Press and Public Information
Officer
Media and Outreach Section
Division of Public Information
(MTPI)
Department of Management
IAEA
Vienna International Centre
P. O. Box 1400, VIENNA, Austria
Tel: +43-1-2600-22047
Mobile: 43-699-165-22047
G.Webb@iaea.org

Mr PAVLICEK, Petr

Video Editor/Cameraman
Media and Outreach Section
Division of Public Information
(MTPI)
Department of Management
IAEA
Vienna International Centre
P. O. Box 1400, VIENNA, Austria
Tel: +43-1-2600-26390
Mobile: +43-699-165-26390
P.Pavlicek@iaea.org

IAEA LIASION OFFICER

Mr MORITA, Shin

Nuclear Safety Officer
International Seismic Safety Centre
(ISSC)
Division of Nuclear Installation
Safety (NSNI)
Department of Nuclear Safety and
Security
IAEA
Vienna International Centre
P. O. Box 140 0, VIENNA, Austria
Tel: +43-1-2600-22614
S.Morita@iaea.org

A.2 JAPANESE ORGANIZATIONS

Officials of the GOVERNMENT OF JAPAN and governmental advisory committee members, including from:

- Prime Minister's Office;
- Ministry of Foreign Affairs (MOFA);
- Ministry of Economy, Trade and Industry (METI)
- Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA);
- Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT);
- Ministry of Agriculture, Forestry and Fishery (MAFF);
- Ministry of Health, Labour and Welfare (MHLW);
- Nuclear Safety Commission (NSC);
- Japan Nuclear Energy Safety Organization (JNES);
- Japan Atomic Energy Agency (JAEA);
- Tokyo Electric Power Company Ltd. (TEPCO);
- Japan Electric Power Company Ltd. (JAPC)
- The Committee's members, academic experts (to be nominated by the Government of Japan).

PRIME MINISTER'S OFFICE (PMO)

**Mr EDANO,
Yukio**

Chief Cabinet Secretary,
Minister of State for Okinawa and Northern
Territories Affairs

**Mr HOSONO,
Goshi**

Special Advisor to the Prime Minister

MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS (MOFA)

**Mr
MATSUMOTO,
Takeaki**

Minister for Foreign Affairs

**Mr MIYAGAWA,
Makio**

Director General, Disarmament, Non-Proliferation
and Science Department

**Mr KOIZUMI,
Tsutomu**

Director, Non-Proliferation, Science and Nuclear
Energy Division Disarmament, Non-Proliferation
and Science Department

**Mr ONISHI,
Kazuyoshi** Deputy Director, International Nuclear Energy
Cooperation
Division, Disarmament, Non-Proliferation and
Science Department

MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY (METI)

**Mr KAIEDA,
Banri** Minister for Economy, Trade and Industry

NUCLEAR AND INDUSTRIAL SAFETY AGENCY (NISA)

**Mr TERASAKA,
Nobuaki** Director General

Mr NEI, Hisanori Deputy Director General for Nuclear Fuel Cycle

**Mr BANNAI,
Toshihiro** Director, International Affairs Office
Bannai-toshihiro@meti.go.jp

**Mr YAMADA,
Tomoho** Director, Nuclear Power Licensing Division
Yamada-tomoho@meti.go.jp

**Mr MITA,
Shunichiro** Senior Safety examiner, Seismic Safety Office
Nuclear Power Licensing Division

**Mr SUGIHARA,
Yutaka** Safety examiner, Seismic Safety Office
Nuclear Power Licensing Division

**Mr YOSHINO,
Masaharu** Director for Safety Examination,
Nuclear Power Licensing Division

**Mr OHSHIMA,
Toshiyuki** Director for Safety Examination,
Nuclear Safety Regulatory Standards Division

**Mr AOYAMA,
Katsunobu** Deputy Director, Nuclear Power Plant Aging
Management Office
Nuclear Power Inspection Division

Mr TAKASU, Tsuyoshi	Safety examiner, Nuclear Power Licensing Division
Mr MAEKAWA, Yukinori	Director, Nuclear Emergency Preparedness Division
Mr KOSAKA, Atsuhiko	Deputy Director, Quality Assurance, Nuclear Power Inspection Division
Mr NAKAMURA, Koichiro	Deputy Director General for Nuclear Safety
Mr TAKABATAKE, Masaaki	Head of Radiation Group, Emergency Response Centre
Mr ICHIMURA, Tomoya	Head of Coordination Group, Emergency Response Centre
Mr YONEYAMA, Hiromitsu	Chief Nuclear Safety Inspector Nuclear Power Inspection Division
Mr ONO, Yuji	Deputy Director, Nuclear Safety Regulatory Standard Division

MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS AND TECHNOLOGY (MEXT)

Mr TAKAKI, Yoshiaki	Minister for Education, Culture, Sports and Technology
Mr SASAKI, Ryuzo	Senior Vice Minister
Mr GODA, Takafumi	Director General, Science and Technology Policy Bureau
Mr WATANABE, Itaru	Senior Deputy Director General Science and Technology Policy Bureau Exec Director for Nuclear Safety iwatana@mext.go.jp

Mr AKASAKA, Naoaki	Director, Office of International Relations, Nuclear Safety Division Science and Technology Policy Bureau akasaka@mext.go.jp
Mr TANABE, Kuniharu	Deputy Head, Residents' Safety Group, Nuclear Sufferers Life Support Team, Cabinet Office
Mr CHAYAMA, Shuichi	Head of Radiation Group, Nuclear Sufferers Life Support Team, Cabinet Office
Mr FUKUSHIMA, Yasumasa	Head of Medical Care Group, Nuclear Sufferers Life Support Team, Cabinet Office

MINISTRY OF AGRICULTURE, FORESTRY AND FISHERY (MAFF):

Mr AKIYAMA, Noritaka	Deputy Director, Food Security Division, Secretariat
Mr ENDO, Hisashi	Director, Ecosystem Conservation Office, Fisheries Agency
Mr MORITA, Takami	Senior Research Coordinator, Fisheries Agency
Mr SATOH, Yuusuke	Fisheries Coordination Division Chief, Fisheries Agency

MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE (MHLW)

Mr MIYAHARA, Shintaro	Policy Planning Division, Industrial Safety and Health Department, Labour Standards Bureau
Mr MORI, Tadashi	Industrial Health Division, Industrial Safety and Health Department, Labour Standards Bureau

JAPAN NUCLEAR SAFETY COMMISSION (JNSC)

Mr MADARAME, Haruki	Chair
Mr KUKITA, Yukata	Deputy Chair
Ms KUSUMI, Shizuyo	Commissioner
Mr OYAMADA, Osamu	Commissioner
Mr SHIROYA, Seiji	Commissioner

JAPAN NUCLEAR ENERGY SAFETY ORGANIZATION (JNES)

Mr NAKAGAWA, Masaki	Director, Emerging Nations Training Centre, Office of International Programmes Nakagawa-masaki@jnes.go.jp
Mr SAITO, Minoru	Assistant Director General, Nuclear Emergency Preparedness and Response Division
Mr EBISAWA, Katsumi	Associate Vice President
Mr HAYASHIDA, Yoshihisa	Director, Radiation Safety and Water Chemistry Evaluation Group, Nuclear Energy System Safety Division
Mr ABE, Hiroshi	Senior Staff, Seismic Safety Division
Mr CHANGJIANG, Wu	Senior Researcher, Seismic Safety Division

**Mr SUGINO,
Hideharu**

Senior Researcher, Seismic Safety Division

**Mr ANZAWA,
Tokio**

Principal Staff, Nuclear Energy System Safety
Division

**Mr
MOTOHASHI,
Shohei**

Senior Counsellor, Seismic Safety Division

**Mr WATANABE,
Atsushi**

Senior Staff, Nuclear Energy System Safety
Division

Representatives of Licensees:
TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY LIMITED (TEPCO)
TOKYO HEADQUARTERS

Mr MASUDA, Naohiro	Superintendent, Fukushima Dai-ni NPP Masuda.naohiro@tepcoco.jp
Mr KAWANO, Akira	General Manager, Nuclear Power & Plant Siting Administrative Dept. Kawano.akira@tepcoco.jp
Mr NISHIOKA, Hiroaki	Overseas Business Development Dept., International Affairs Dept. Nishioka.hiroaki@tepcoco.jp
Mr TATEIWA, Kenji	Deputy Manager, Overseas Business Development Dept., International Affairs Dept. tateiwa.kenji@tepcoco.jp
Mr SUZUKI, Akira	Group Manager, Nuclear Power Plant Management Dept. Suzuki.akilla@tepcoco.jp
Ms KUMANO, Yumiko	Transport Engineering Group, Nuclear Fuel Cycle Department kumano.yumiko@tepcoco.jp
Mr ITO, Shinichi	General Manager, Nuclear Power & Plant Siting Administrative Dept. Ito.shinichi@tepcoco.jp
Mr MIYATA, Koichi	Group Manager, Nuclear Asset Management Dept. Miyata.koichi@tepcoco.jp
Mr ONO, Masayuki	Group Manager, Nuclear Quality and Safety Dept. Ono.masayuki@tepcoco.jp
Mr OTSUKA, Yasuyuki	Deputy Manager, Nuclear Asset Management Dept. Otsuka.yasuyuki@tepcoco.jp
Mr FUKUDA, Toshihiko	General Manager, Nuclear and Siting Division Fukuda.toshihiko@tepcoco.jp
Mr SAKAI, Toshiaki	General Manager, Construction Engineering Center, Construction Dept. Sakai.toshiaki2@tepcoco.jp

Mr ASAI, Satoshi Deputy Manager, Nuclear Asset Management Dept.
Asai.satoshi@tepcoco.jp

**Mr MIZUTANI,
Hiroyuki** Deputy Manager, Nuclear Asset Management Dept.
Mizutani.hiroyuki@tepcoco.jp

FUKUSHIMA DAI-ICHI NPP

**Mr YOSHIDA,
Masao** Superintendent
Yosida.masao@tepcoco.jp

**Mr
YOSHIZAWA,
Atsufumi** Unit Superintendent
Yoshizaawa.a@tepcoco.jp

**Mr INAGAKI,
Takeyuki** General Manager, Maintenance Dept.
Inagaki.takeyuki@tepcoco.jp

FUKUSHIMA DAI-NI NPP

**Mr MASUDA,
Naohiro** Superintendent
Masuda.naohiro@tepcoco.jp

**Mr
KAWAMURA,
Shinichi** Unit Superintendent
Shinichi.kawamura@tepcoco.jp

JAPAN ELECTRIC POWER COMPANY LIMITED (JAPC)

**Mr ITO,
Hiroyasu** Deputy General Manager, Plant Management Dept,
Headquarter

**Mr KENDA,
Hirofumi** Station Manager, TOKAI Dai-ni Power Station