

福島第一原発事故調査に関する 小委員会活動の総括と今後の課題

松岡 猛

はじめに

日本学術会議原子力安全に関する分科会では、学術的観点から福島第一原子力発電所で発生した事故事象を検討する必要があると判断し、福島第一原発事故調査に関する小委員会を設置し、政府事故調査委員会、国会事故調査委員会、民間事故調査委員会、東京電力事故調査委員会の4事故調査委員会の報告書、新たに公表された事実及び関係者からのヒアリング等を通じて検討を進めてきた。本検討は、あくまでも純学術的な立場から福島第一原発事故で起こったと考えられる事象および背後の原因を明らかにし、今後の安全対策に活かすことを目的として実施した。

2. 検討結果の公表

これまで小委員会で技術的な側面を中心に検討・とりまとめを行い、親委員会である原子力安全に関する分科会名で、提言・報告・記録を学術会議より公表してきた。時間順に、(報告)「東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓」(2014年6月13日)、(記録)「東京電力福島第一原子力発電所1号機において発生した事故事象の検討」(2014年9月30日)、(記録)「東京電力福島第一原子力発電所1号機にお

いて発生した事故事象の検討(2)」(2016年3月)、(報告)「我が国の原子力発電所の津波対策～東京電力福島第一原子力発電所事故前の津波対応から得られた課題～」(2019年5月)、(提言)「原子力安全規制の課題とあるべき姿」(2020年6月30日)の5件の公表を行い、現在「新知見への取り組み強化について」を検討中である。公表資料については日本学術会議のHPからダウンロード可能である。

なお、以下の関係者に本小委員会へ出席頂きヒアリングを実施してきている。東京電力原子力・立地本部、品質・安全部等のご担当者多数、原子力規制庁上席技術研究調査官杉野英治氏、元原子力規制委員会委員長代理島崎邦彦氏、原子力規制庁原子力規制技監櫻田道夫氏。

以下公表資料の内容について記す。

3. 提言・報告・記録の内容

3.1. 報告：東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓

福島原子力事故後の長期間にわたって対応すべき課題に立ち向かうには、事故の教訓を十分に生かす必要があるとの立場から検討を行った。得られた主な見解を以下に示す。

設計条件を超えた巨大津波による過酷事故の発生を防止できず、人と環境に甚大な被害を引き起こした。これは、複雑巨大な人工物システムとしての原子力の安全を確保するために必要な、全体を俯瞰する不断の努力を怠ったことが根源的要因である。

内部事象、地震・津波・テロなどの外部事象による過酷事故への対応が疎かになっていたことを反省し、過酷事故に対して防災対策の有効性を確認する必要がある。

学術のあり方の課題としては、原子力安全などに関し、社会が受け入れられるリスク水準の決定は、科学・技術だけでは答えることができない問題であることを認識する必要がある。

科学・技術の基本的役割は社会のリスク選択に際して、不確実領域を含めて科学技術的知見の現状を正確に伝えることである。

3.2. 記録：東京電力福島第一原子力発電所1号機において発生した事故事象の検討

(ア) 1号機非常用復水器(IC)の作動の妥当性
地震発生から津波到達までにおける配管破断の可能性については「ICの機能を大きく損なうような重要な配管破断はなかった」との推論に合理性が認められる。

ICの構造上の問題については、フェイルアズイズの設計になっていれば、ICのバルブが津波襲来後閉じることはなくしたがって、外部からの水の補給がなくても8～10時間冷却機能が働き、その分だけ炉心溶融が始まる時間を遅らせることができた。

原子力学会事故調では、全電源喪失となった状態で、「B系の格納容器内側隔離弁(1B、4B弁)は全開に近い状態であった」と考えら

れており、この状態に気付いて、直流電源を手当てして外側バルブを開いていれば、ICを有効に作動出来たと指摘している。

また、米国から指摘されたB5bに対する対策が、我が国において生かされなかったことは大きな問題であると考えべきである。

運転員の訓練、ICの機能に対する理解にも問題があった。シビアアクシデントが発生した場合には、あらかじめ定められたシナリオ通りに現象が進むとは限らないので、その場の状況に応じて臨機応変に対処できる能力を養っておく必要がある。このような能力を養うための教育と訓練の在り方については、今後検討すべき重要な課題である。

(イ) 地震による配管破損事故に伴う冷却材喪失事故(LOCA)の有無

国会事故調の報告書では津波以前に地震で機器が損傷した可能性があると指摘している。一方、政府事故調の見解は、地震発生後、全電源喪失まで1号機の原子炉圧力、水位、温度等のパラメータはチャートに自動記録されており、パラメータの正確性に疑問を差し挟む余地はない。即ち、地震でICの機能を大きく損なうような配管破断はなかったと考える方が自然であるとなっている。

学術会議での検討の結果、1ガロン/分の原因不明の冷却材漏えいがあっても通常通り運転を継続できる様に設計するという思想はBWRでも採用され、また現在でも生きている。したがって、1ガロン/分=0.23m³/時間以下の漏えいがあっても、それはLOCA(冷却材喪失事故)ではなく、通常運転状態である。事故時に実際に測定された原子炉格納容器圧力の

挙動と独立行政法人原子力安全基盤機構の解析結果とを比較すれば、小規模 LOCA の可能性はなかったといえる。つまり、「津波前に LOCA は発生していなかった」と結論できる。

(ウ) 1号機非常用発電機の停止原因

国会事故調は非常用発電機の出力停止原因が地震動である可能性を指摘している。出力停止原因が地震動であるか、津波による浸水であるかによって事故の捉え方が大きく異なってくる。

学術会議における検討では、東電事故調査報告書の波高計（沖合1.5km）のデータの図、および東電撮影の津波来襲の一連の写真より4号機周辺が水没した時刻を15時36分29秒と推定し、1号機非常用発電機周辺に到達したのは15時36分47秒前後と推定した。この時刻は津波のシミュレーション解析結果とも整合性がとれていることを確認した。

更に、平成25年5月10日に東電が新たに過渡現象記録装置のデータを公表した。そのデータから、15時36分59秒まで1号機非常用発電機 A、B とも本体は運転状態にあったと確認した。時刻15時36分59秒における電流値減少、過渡現象記録装置のそれ以降の停止等一連の現象は津波による影響と考えるのが妥当である。

これらの結果から、非常用発電機 A、B は共に津波が原因で電力供給を停止したと考える。

3.3. 記録：東京電力福島第一原子力発電所1号機において発生した事故事象の検討(2)

(ア) 3号機における高圧注入系 (HPCI) の状況

HPCI 停止時の状況では、タービン回転数の低下によりタービンの振動が大きくなり設備が

損傷する可能性がでていた。タービン付近が損傷すると原子炉内の蒸気が HPCI 室内に放出され、放射線量が上がり、その後の事故収束に大きな制約を与えることが予想された。

この間圧力は1MPa gage 未満の値を推移し、HPCI 停止直前の同月13日2時40分頃には0.580MPa gage を示していた。

HPCI 手動停止直後、制御盤上の遠隔手動操作により SR 弁の開操作を2回試みたが、いずれの場合も失敗に終わった。HPCI の電磁弁操作直後にもかかわらずこちらの電磁弁は動作しなかった。つまり SR 弁を開にして炉圧力を減圧し炉心注水による冷却を実施しようとしたが実施できなかった。その結果、炉心注水も RCIC 再起動もできず、6時間43分にわたり炉心冷却ができず、炉心損傷を引き起こしたと見られる。

HPCI による冷却は原子炉圧力が低下した12日17時30分頃以降は有効には働いていなかった。そのため最終段階での HPCI 手動停止はやむを得なかったと考えるが、引き続いての炉心注水冷却ができなかったことが致命的と言える。

現場から本店対策本部にいたる間の情報共有が十分できておらず、大局的な方針が現場へ伝えられなかった。また、発電所複数号基を一人の所長が判断する体制が、今回の緊急時には無理があったのではないかと。早い時点での HPCI 停止時期の検討もなされていなかった。

(イ) 2号機における事故の推移

2号機においては、津波襲来後の全交流電源喪失 (SBO) 状態の下で原子炉隔離時冷却系 (RCIC) が約70時間働き続けた。しかし、当初

RCIC が働いているという確認が取れず、かなりの危機感を持って(すなわち、他号機の対策に優先して)2号機対策に取り組んでいた。2号機では結果的に、ベントの遅れ、代替え注水の遅れ、放射性物質の漏洩、多号機事故の影響が問題であった。RCIC の約70時間の作動中に格納容器ベント及び原子炉の減圧と消防車による代替注水が出来ていれば、原子炉内の燃料溶融は避けられた可能性がある。実際には、3号機水素爆発の影響を受けるなどしてベント及び代替注水に手間取り、炉心溶融を避けることが出来なかった。

RCIC が作動しなくなった後原子炉圧力が急上昇し、SR 弁開により原子炉圧力容器から格納容器に高温・高圧の蒸気が放出されるとともに、さらに炉心溶融時のジルコニウムと水反応によって発生した高温・高圧の水素も格納容器に放出された。これによって格納容器の温度と圧力がさらに高くなり、損傷を受けた格納容器から、大量の放射性物質が大気に放出されたものと考えられる。

(ウ) ベントに関する課題

米国では一般的に早期ベントを妨げるラプチャディスクを備えておらず、運転手順では『格納容器の設計圧力に達する前に、ベントを開始すること』が要求されている。日本では放射性物質の放出を避けるため、出来るだけベントを遅らせるよう考えられている。

ベントラインには、格納容器圧力が最高運転圧力に達するまで破裂しないよう設計されているラプチャディスクが備えられている。そのため、弁を開くだけではベントできない構造となっている。

また、全電源喪失までは考えていなかった設計上の課題があった。多くの弁の操作がベントには必要、格納容器圧力が高い状況下での水素漏えい量の増加の可能性について十分に対処されていなかった。

アクシデントマネジメントの準備不足点としては、①駆動源の無くなった弁を、手動で操作できるように設計されていなかった、②バッテリー、ポンプ、空気圧縮機などが十分に準備されていなかった、③非常用の電源、圧縮空気等の接続が容易なようには準備されていなかったが挙げられる。

米国の状況を含め海外の最新動向を把握し、これらの課題に真摯に対応していれば、早期のウェットベントに成功して放射性物質の放出を抑制でき、したがって、汚染も軽度で済んだ可能性がある。

3.4. 報告)「我が国の原子力発電所の津波対策～東京電力福島第一原子力発電所事故前の津波対応から得られた課題～

我が国では津波評価をどのように実施してきたのか。津波の調査研究はどこまで進んでいたのか。東京電力の津波評価と対策は、どのように行われていたのか。過去のトラブル事例等から浸水リスクをどのように認識していたのか。それに対して原子力安全に関係する組織やグループの状況はどのようなものであったのかの観点に着目し検討を進めた。

1970年の安全設計審査指針(原安委)では過去の記録を参照し最も過酷と思われる自然力に耐えることを要求していた。その後、年々地震、津波に関する知見が深まり、2002年に土木学会原子力土木委員会津波評価部会は

「津波評価技術」を作成し、解析による津波評価技術を標準化した。「津波評価技術」は既往津波にとどまらず、発生が予想される津波については想定津波として耐津波設計に取り入れるものとされていた。

2006年には金森らが、福島沖ではGPSによる観測結果から、プレート運動で蓄積されたひずみのうち3/4は地震で開放されておらず、①非地震性のすべりによって開放されているか、②プレート境界は100%固着していて将来巨大地震や巨大津波地震などで開放される可能性を指摘し、プレート境界の状況を科学的に観測するよう警鐘を鳴らしていた。

保安院、原子力基盤機構、東京電力等は原子力発電所の洪水（溢水）リスクを十分認識していた。それにも関わらず、現に福島原子力発電所で津波による過酷事故が発生してしまった。

津波対応の検討の結果、新知見への取り組みの強化、深層防護による安全性向上への取り組み、行動規範に基づく説明責任と対話の必要性が教訓として得られた。

3.5. 提言：原子力安全規制の課題とあるべき姿

2012年9月12日原子力規制委員会及び事務局の原子力規制庁が設置され、福島事故を踏まえて新規制基準が策定されて適合性の審査が行われるに至っている。また、2016年1月にIAEA（国際原子力機関）によるIRRS（総合規制評価サービス）のミッションを受入れ、それに対応した「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」の再改正がなされている。しかしながら、規制委員会及び規制庁からなる規制機関には、今後解決されるべき

多くの課題が存在しているとの認識から以下の8項目の提言を公表した。

- (1) 規制機関と被規制者・事業者の関係と双方の取り組み姿勢
- (2) リスク情報の活用
- (3) 規制機関における優先順位と迅速性
- (4) 安全対策機器の増設に伴う課題への対応
- (5) 規制機関における規制基準の体系的かつ継続的な改善
- (6) 規制機関における安全の目標について
- (7) 組織文化と安全文化の課題
- (8) 規制機関における安全研究、情報基盤の確立及び人材育成の統合的マネジメント。

4. 今後の課題

福島原子力発電所に関しての種々の検討を重ねてきた結果、津波発生頻度・大きさに関する知見の様な新知見が従来必ずしも有効に活用されてこなかったのではないかと結論に至った。原子力分野の安全対策だけでなく広く各種工学システム、社会システムの多様な場面において、新知見の有効な活用が重要であるとの考えから検討を進めている。

活動の一環として、本年9月には公開シンポジウム「新知見の扱いとその活用」を開催し、原子力分野以外にも航空、科学技術イノベーション、社会システム変革等多くの分野の専門家に参加頂いた。

原子力の枠を越えた理学・工学の分野に共通する新知見の活用に関しての提言あるいは報告書としてまとめて行く活動を進めている。

[元宇都宮大学工学部教授]