

原子力安全部会セッション

福島第一原子力発電所事故の解明の進展から学ぶ
Learning from Progress of Fukushima Dai-ich Nuclear Accident Clarification

(2) 解明／未解明事項の整理と原子力安全研究への教訓

(2) Classification of Resolved/Unresolved Issues and Implications for Nuclear Safety Research

*山本 章夫¹¹名古屋大学

1. はじめに

福島第一原子力発電所事故から7年半が経過し、事故進展に関して、多くの知見が得られてきた。日本原子力学会の福島第一原子力発電所廃炉検討委員会において、「事故進展に関する未解明事項フォローWG」(以下、未解明WG)が設置され、これまでに得られた知見と、残された未解明事項の整理が行われた。その成果は、2018年1月に報告書として公開されている¹。

本稿では、この未解明事項の調査と評価において整理された知見や、残された未解明事項に基づき、原子力安全研究において今後取り組むべき課題を議論する。

2. 未解明事項の調査と評価の概要

2-1. 調査方法の概要

未解明WGでは、2014年3月に日本原子力学会より出版された「福島第一原子力発電所事故 その全貌と明日に向けた提言: 学会事故調 最終報告書」の第6章付録に示された「事故進展に関し今後より詳細な調査と検討を要する事項」に加え、52編の国内外の報告書を精査し、事故進展解明に関する新たな知見や、残された未解明事項を調査している。調査の結果、73項目の課題について、これまでに得られた知見と、未解明WGとしての評価が「対象号機」「日時」「分類」「対象物」「未解明事項」「内容」「調査資料」「調査結果」「評価結果」からなる整理表として取りまとめられている。

2-2. 評価結果の概要

整理表では、課題はA:合理的な説明がなされていると判断されるもの、B:既存発電所の安全対策高度化や廃炉作業の進捗の観点から重要でないと考えられるもの、C:重要度は高いが、現時点では、これ以上の調査が困難であると考えられるもの、D:重要であり、今後も継続した検討が望まれるものに区分された。

73項目の課題に対する評価結果は、以下の通りとなっている。

A 合理的な説明がなされていると判断されるもの	: 45%
B 重要でないと考えられるもの	: 8%
C これ以上の調査が困難と判断されるもの	: 4%
D 重要であり、今後も継続した検討が必要と考えられるもの	: 43%

福島第一事故発生時点において「未解明」とされた項目のうち、相当数について「合理的な説明が出来る」だけの知見がこれまでに得られていると判断されている。一方、今後も継続した検討が必要な項目もかなりの数に上る。特に、原子炉容器内、格納容器内の事故進展の詳細に関しては、これまでに実施された調査が限定的であることもあり、多くが継続した検討が必要、との区分になっている。

¹ 日本原子力学会 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会 「福島第一原子力発電所事故: 未解明事項の調査と評価」、2018年1月 http://www.aesj.net/activity/activity_for_fukushima/public

3. 原子力安全研究への教訓

3-1. 評価結果から示唆される安全研究の課題

以下では、未解明事項に関する調査結果をまとめた整理表の評価結果に基づき、今後取り組むべきと考えられる安全研究の課題を示す。

(1)津波シミュレーション

建屋に対する津波侵入プロセスについては、高精度津波シミュレーションや廃炉作業において新たに得られる知見を活かして、より詳細な全体像を検討する余地がある。また、建屋や設備の被害状況の再現の観点から、継続して津波シミュレーション手法の高度化に取り組むことが重要である。

(2)海水冷却時の除熱効果

塩分を含む海水を代替注水したときの冷却効果(熱伝達)については、必ずしも知見が十分ではなく、継続して検討する余地がある。

(3)過酷事故時の γ ヒーティングの効果

炉心に冷却材がない状態では、 γ ヒーティングによる発熱分布は、冠水状態に比べて変化すると考えられるが、定量的な評価はなされていない。この効果を定量化することにより、燃料の温度上昇など、事故進展への影響を評価することができると考えられる。

(4)酸化ジルコニウムの高熱特性

酸化ジルコニウムの機械的特性の基礎的なデータは存在するが、高温時の特性も含め、必ずしも最新のデータではないことから、より信頼性の高いデータの取得が望まれる。

(5)DCH、シェルアタック、水蒸気爆発

廃炉作業に伴い、原子炉容器及び格納容器の破損形態、破損メカニズム、原子炉容器内・格納容器内の状況が明らかになると想定されることから、DCH、大規模なシェルアタックや水蒸気爆発が発生しなかったメカニズムを継続して検討することは過酷事故進展の理解の上で重要であると考えられる。

(6)溶融燃料の性状と移行経路

原子炉容器内の状態は、ミューオンによる調査以外の情報は得られておらず、今後、廃炉作業に伴い得られる知見を活かしつつ継続して検討を行う必要がある。また、燃料デブリの性状については、不確かな点が多く、今後継続して検討が必要である。また、得られる知見をシビアアクシデント解析の高度化につなげることが重要である。

(7)原子炉容器・格納容器の損傷、MCCI の状況

原子炉容器、格納容器の損傷状態、MCCI の状況については、詳細は明らかになっておらず、廃炉作業の進展に伴って得られる情報を取り入れつつ、事故進展再現の観点から継続した検討を行うことが必要である。

(8)水素爆発シミュレーション

廃炉作業に伴って得られる現場の情報を加味しつつ、水素爆発シミュレーションの高度化を行うことは、より精緻に現象を理解するために重要である。

(9)過酷事故時の計測機器の信頼性

廃炉作業における現場確認の知見などを活用して、計測機器の信頼性について検討を進めることが望まれる。

(10)RCIC の駆動メカニズムと停止メカニズム

2号機におけるRCICの動作については、二相流によるRCICタービン駆動により、合理的に説明できる。今後、試験などを行うことにより、二相流によるRCICのタービン駆動状況について確認をすることが可能になると考えられる。また、RCIC停止のメカニズムが推定されているが、廃炉作業時にRCICの状態を確認することにより、その妥当性を確認することができる。

(11)非凝縮性ガスがS/Cの健全性に及ぼす影響

非圧縮性ガスがS/Cの健全性に与える影響については、継続して検討が必要と考えられる。

(12)PLR ポンプメカニカルシールの健全性

交流電源喪失時における PLR ポンプメカニカルシールからの冷却材漏えい挙動を把握することは、特に事故対応が長期にわたる場合、重要になる可能性があり、継続して検討が望まれる。

(13)環境中に放出された放射性物質の量や化学形態など

環境中に放出された放射性物質の量については、様々な評価がなされているものの、不確かさが大きい状況である。廃炉作業時の知見などを取り入れることにより、不確かさを低減する検討が可能になると考えられる。また、シビアアクシデント時の放射性物質の移行については、放射性物質の化学形態が重要になるが、知見が十分でない場合があり、今後継続して検討していく必要がある。

(14)モニタリングで測定された放射線のピークと放出量

廃炉作業時に得られる格納容器損傷状態の情報、解析の高度化などを含めて継続して検討することが望まれる。

(15)ウエットベント時の DF

今後、さらに知見を拡充し、様々な条件における DF の不確かさを低減する取り組みが必要であると考えられる。

3-2.安全研究に対する教訓

3-1 でまとめた課題を概観すると、①シミュレーション手法の高度化、②過酷事故時の現象の理解の深化、③ ①・②を支える基礎データの取得に大別することができる。

シミュレーション手法の高度化は、過酷事故解析、津波シミュレーション、水素爆発シミュレーション、大気拡散シミュレーションなどであり、事故時の原子力発電所の振る舞いを正確に予測し、安全対策に活かすという観点から重要である。

過酷事故時には多種多様な複雑な物理現象が発生する。これまで実機における詳細な観測例が存在しない MCCI や BWR に特有の原子炉容器下部の制御棒駆動機構の破損メカニズム、ウエットベントの性能など、さらに理解を深化させる必要がある課題が存在する。

また、シミュレーション手法の高度化や、現象の理解を深化させるためには、これらを支える基礎的なデータの拡充も必要である。福島第一の事故前は、このような基盤的な安全研究が十分に行われていたとはいえず、福島第一事故後に精力的に取り組まれているとはいえ、さらなる取り組みが必要である。

4. まとめ

本稿では、福島第一原子力発電所事故の事故進展に関し、残された未解明事項を元にして、取り組むべき安全研究の課題を概観した。今後、福島第一の廃炉作業が進展するにつれ、特に原子炉建屋内、格納容器内、原子炉容器内の状況が明らかになり、残された未解明点に関する知見が新たに得られていくものと考えられる。取り組むべき安全研究の課題は、新たに得られる知見を反映しつつ、今後も検討していく必要がある。

*Akio Yamamoto¹

¹Nagoya Univ.