

## 総合講演・報告3 「水素安全対策高度化」特別専門委員会

「水素安全対策高度化」特別専門委員会報告：  
原子力における水素安全対策の向上に向けてReport of the Special Committee on advanced hydrogen safety :  
Advancing hydrogen safety for nuclear power plants

## (2)国内外の水素挙動解析の取組みと課題

Approaches and technical issues of hydrogen behaviorial CFD analyses in Japan and overseas

\*松本 昌昭<sup>1</sup>, 中島 清<sup>1</sup>, 河合 理城<sup>1</sup>, 藤山 翔乃<sup>1</sup>, 佐藤 郁也<sup>1</sup><sup>1</sup>三菱総合研究所

## 1. はじめに

福島第一原子力発電所事故は社会に衝撃を与え、特に水素爆発によるインパクトの大きさは一般市民の視点から見ると非常に大きなものであったと言える。この事故以降、格納容器内の水素の漏洩、拡散、爆発燃焼挙動を解明し、水素リスクを正確に評価することが求められている。シビアアクシデント（SA）時の格納容器内の水素リスクを評価するには、事故進展挙動を解析したのち、LP コードや CFD コードを用いて水素挙動を解析する流れとなる。日本のプラントにおける SA シナリオに沿った水素リスク評価を行うためには、国内外における従来及び現在の水素安全対策に係る取組みを把握し、残された課題を明確化したうえで、適切な解析コード開発、検証解析を実施していくことが不可欠である。本稿では、水素挙動解析に係る国内及び国外の取組みをまとめるとともに、それらを基にした課題事項の整理を行う。

## 2. 国内の取組み

国内における水素安全対策の代表的な取り組みとして、原子力発電技術機構により実施された大規模解析事例が挙げられる。ここでは、PWR 格納容器の実機スケールモデルを用いて、水素挙動の解析・解析手法の整備が行われた。また実験事例としては、同じく原子力発電技術機構にて実施された原子炉格納容器信頼性実証事業がある。この事業では、PWR 格納容器及び内部構造物を模擬した試験装置にて、水素の拡散混合試験、燃焼試験が実施された。PWR については、このように格納容器全体での水素挙動把握のための試験・解析が行われている一方、BWR については格納容器内部が窒素で不活性化されていることから、そもそも水素濃度が燃焼域に至らないという前提のもと検討がなされており、むしろ配管等局所に水素が滞留し燃焼することに焦点が当てられている。実際に、BWR 配管における燃焼挙動については、日本原子力技術協会によってガイドラインの形で整備がなされている。

従来の規制対応などを含めた水素安全対策の解析は LP コードを用いて実施されてきた。LP コードは計算時間が短いことや相関式の新規組み込みが用意であるなどのメリットがある一方、局所的な挙動の把握が困難であった。局所的な水素の成層化などの現象を正確に把握するためには、CFD コードによる評価が必要である。本水素安全対策高度化事業では、CFD コードである OpenFOAM、Fluent を用いた PWR の実機スケールでの水素拡散・燃焼挙動解析システム整備を目標として、試験照合解析を通じた解析コードの妥当性検証を実施してきた。本事業の成果については、次の発表にて紹介する。

## 3. 国外の取組み

国外、特に欧州においては、欧州各国の共同プロジェクトの形で数多くの水素安全に係る試験、解析が実施されてきた。各国に存在する国際協力により役割分担しながら。特に欧州では、SA 時の対応として、スプレイを作動させず、可能な限り PAR によって水素濃度を低減させる形をとっている。格納容器内部にも大量

---

\*Masaaki Matsumoto<sup>1</sup> <sup>1</sup>MRI.

の PAR を設置することから、特に PAR の挙動、水素濃度低減効果の検証を目的とした取組みが多くなされている。

代表的な取組みとしては、中規模の円筒型 TAHI 試験装置を用いて様々な条件下での PAR の性能評価を行った THAI プロジェクト、PANDA 試験装置・MISTRA 試験装置を用いて自然対流、スプレイ効果等 CFD 及び LP コード検証に必要な実験データ取得を目的として実施された SETH プロジェクト、同じく PANDA 試験装置・MISTRA 試験装置を用いての複数の安全設備の相互作用に関する実験を通じて安全評価のためのモデリング強化を目的とした HYMERS プロジェクトなどが挙げられる。

また最近の動きとしては、既存のプロジェクトでは解決がなされていない、SA の後期やより複雑・個別の事象に焦点を当てたプロジェクトが立ち上げられている。代表的なものとして、SA 後期における CO が存在する条件下における PAR の性能評価、燃焼や火炎伝播挙動解明を目的とした THEMIS プロジェクト、SA 時の可燃性ガス管理方法提言のため H<sub>2</sub>/CO/H<sub>2</sub>O 混合気の燃焼リスクを実験的・解析的に評価し SA 管理ガイドラインへの反映などを行う AMHYCO プロジェクトが開始されている。

#### 4. 課題の整理

国内においては、水素拡散混合挙動及び燃焼挙動において、様々な試験装置スケールにおいて解析コードの試験照合解析が実施されており、十分な基盤が整備されてきたと言える。一方で、欧州において SA 後期や特定事象に焦点を当て始めているのと同様に、特定の事象に限定した解析評価についてはまだ課題があると認識される。例えば、個別事象・局所挙動としては、フィルターベント時のベント管内での挙動や主に BWR の不活性雰囲気下での PAR 性能評価などが挙げられる。また SA 後期の挙動については、水の放射性分解による水素発生量評価などを含め、長期挙動の評価手法のさらなる整備が今後必要と考えられる。これらの具体的な課題整理に際しては、実際のプラントにおける事象の重要度と紐づける必要があることから、PIRT の整備と並行して実施されることが求められる。

最後に、本活動経済産業省資源エネルギー庁からの受託事業「原子力の安全性向上に資する技術開発事業（水素安全対策高度化）」の一環として実施したものである。ここに記して謝意を表す。

#### 参考文献

- [1] 財産法人原子力発電技術機構, “重要構造物安全評価（原子炉格納容器信頼性実証事業）に関する総括報告書”, 平成 15 年 3 月
- [2] OECD Nuclear energy agency, “ISP-49 on Hydrogen Combustion”, NEA/CSNI/R(2011 年 9 月)
- [3] OECD Nuclear energy agency, “OECD/SETH-2 Project PANDA and MISTRA Experiments Final Summary Report”, NEA/CSNI/R(2012 年 5 月)
- [4] 日本原子力学会熱流動部会, “基盤 R&D 技術マップ 2020”, 2020 年