

総合講演・報告 2「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
Advancing hydrogen safety for nuclear plants

(1)「水素安全対策高度化」特別専門委員会の活動報告

Activity report of the special committee on advanced hydrogen safety

*村松 健¹、門脇 敏²¹東京都市大学、²長岡技術科学大学

1. はじめに

水素安全は、原子力分野のみならず水素インフラの分野でも注目を集めており、安全工学の重要な一分野となっている。特に原子力分野では、1979年のスリーマイル島原子力発電所2号炉の事故において格納容器内で水素燃焼が発生したことを踏まえて、アクシデントマネジメント策整備の一環としてアイスコンデンサ型格納容器を持つPWRを中心に水素対策が強化され、さらに2011年の東京電力福島第一原子力発電所事故では、格納容器に大きな損傷のない場合であっても格納容器の外で水素の爆発が起き、その後の事故時対応に悪影響を及ぼした経験が原子力規制委員会の規制基準に反映され、BWRを含めて水素対策の強化が図られたところであるが、継続的な安全向上を図っていく観点から、シビアアクシデント時の水素の漏洩放出による格納容器内への拡散・混合、さらには爆発燃焼とその影響を評価し、水素濃度低減などの対策に反映していくことが重要な課題となっている。資源エネルギー庁ではその重要性に鑑みて、「原子力の安全性向上に資する共通基盤整備のための技術開発事業」の中で「水素安全対策高度化」事業を進めている。水素安全対策高度化事業は、水素安全対策の合理的な高度化や水素安全評価の更なる信頼性の向上に向けて、シビアアクシデント時の水素拡散から爆発燃焼、その影響評価までを解析する数値流体力学CFDによる解析システムを整備することを目的とし、世界の最先端の情報を精査し、解析のためのモデルの改良や解析の効率化などを含めて解析システムの整備を進めているところである。

なお、この事業は平成24年度から27年度に「発電用原子炉等安全対策高度化技術基盤整備事業(水素安全対策高度化)」としてなされた事業(以後フェーズ1の事業と呼ぶ)の成果を踏まえて実施されている。フェーズ1の事業での調査・研究の成果は、水素安全対策ハンドブック [1]、[2]としてまとめられている。

日本原子力学会では、この事業からの委託を受けて、「水素安全対策高度化」特別専門委員会を設置し、水素発生から燃焼・爆発、さらに水素安全対策に係わる熱流動解析の課題について、国内有識者からの最新情報や知見を収集して整理し、解析技術の開発方向性を検討するとともに、原子力の水素安全に係わる知識普及のため、熱流動の観点から水素安全を俯瞰し、水素安全に係わる最新の情報を発信することを目的として、国内外の専門家を講師にした公開セミナーを開催している。図1に資源エネルギー庁事業と特別専門委員会の関係を示す。

本企画セッションでは、特別専門委員会での平成30年度活動報告に引き続き、「水素安全対策高度化」事業で進めているCFDによる解析システム(水素挙動統合解析システム)の整備状況について以下の順で紹介する。

- (1)「水素安全対策高度化」特別専門委員会の活動報告(本講演)
- (2) 水素挙動統合解析システム整備—CFD解析システムの役割と活用・整備の進め方
- (3) 水素挙動統合解析システム整備進捗状況—水素燃焼挙動の照合解析
- (4) 水素挙動統合解析システム整備進捗状況—水素拡散混合挙動の照合解析、統合システムの構築

*Ken Muramatsu¹ and Satoshi Kadowaki²¹Tokyo City Univ., ²Nagaoka Univ. Tech.

2. 平成 30 年度の特別専門委員会の活動

2-1. 委員会メンバー

委員会は、電気事業者、メーカー、研究機関、大学、規制機関等においてシビアアクシデント又は水素安全対策に係わっている技術者・研究者を中心に構成している。平成 30 年度「水素安全対策高度化」特別専門委員会の委員名簿を表 1 に示す。

2-2. 委員会の開催実績

各年度 2 又は 3 回のペースで進めている。平成 30 年度の開催実績を表 2 に示す。なおフェーズ 1 の事業の委託に基づいてなされた本特別研究委員会の活動については、平成 27 年春の年会の企画セッション[3]として報告している。

委員会では水素安全対策高度化事業の予定や成果の紹介を受け議論すると共に、国内での新たな研究を選定して紹介を依頼し、検討した。

2-3 公開セミナーの開催

公開セミナーは過去 4 回（第 1 回 平成 25 年 9 月 19 日（木）、第 2 回 平成 26 年 12 月 12 日（金）、第 3 回 平成 28 年 1 月 29 日（金）、第 4 回 平成 29 年 11 月 30 日（木））開催した。第 5 回は平成 30 年 12 月 11 日（火）に科学技術館サイエンスホールにおいて、公開セミナー「原子力のための水素安全対策高度化」を開催した。本セミナーは、経済産業省資源エネルギー庁委託事業平成 30 年度原子力の安全性向上に資する共通基盤整備のための技術開発委託事業（水素安全対策高度化）の一環として、熱流動の観点から水素安全を俯瞰し、情報を発信することを目的とする。

第 5 回セミナーは、村松及び門脇が司会を務め、元熱流動部会長の谷本浩一氏による開会挨拶、村松によるプログラム紹介の後、以下に示す 6 つの講演が行われた。

午前の部では、Ilona Lindholm 氏（VTT フィンランド技術研究センター社）が「フィンランドにおける原子力発電所の安全性向上のための活動状況」と題し、同国の VVER、BWR、及び建設中の EPR に対する安全性向上対策やシビアアクシデントマネジメントの取り組みについて紹介するとともに、今後の研究課題について紹介した。研究課題としては、想定外をなくす（Elimination of surprise）という観点から、事故後の長期のマネジメント段階での PAR や水素関連計測の長期信頼性などが検討すべき課題として指摘された。

次に、Ahmed Bentaib 氏（フランス放射線防護原子力安全研究所 IRSN）及び Nabih Chaumeix 氏（燃焼・大気環境機構 ICARE）が「フランスにおける原子力水素安全研究の動向—全体概要と水素爆発燃焼研究」と題し、フランス及び EU 諸国における水素燃焼の実験や解析事例等を紹介した。研究成果に基づいて格納容器スプレーや格納容器ベントの運転手順の改善について提言をするとのことであった。

午後の部では、柴本泰照氏（日本原子力研究開発機構 JAEA）より、「安全研究センターにおける軽水炉水素リスクに関する格納容器熱水力研究」として、JAEA での CIGMA を用いた実験及び解析等に関する紹介があった。

Thomas Jordan 氏（カールスルーエ工学研究所 KIT）からは、「原子力水素安全に係わる解析システムの研究開発：ドイツの現状」というタイトルで、GASFLOW 及び COM3D コード、並びにそれらを用いた水素安全解析についての紹介がなされた。

寺田敦彦氏（JAEA）からは「資源エネルギー庁事業「水素安全対策高度化」で実施中の原子力水素安全のための CFD 解析システムの開発現状」として日本における水素燃焼及び拡散解析に関する課題認識や取り組みの紹介があった。

最後に、Ernst A. Reinecke 氏（ユーリッヒ総合研究機構 FZJ）から「過酷事故時における水素濃度低減対策の効果—再結合触媒器 PAR の研究開発と事故時の挙動シミュレーション」というタイトルで PAR に関する試験や解析結果が紹介された。試験結果を基に PAR への C や CO の付着の影響の物理モデルを組み込んだコードを開発しているとのことであった。

セミナーには大学、研究機関、電力事業者等から 68 名が参加し、活発な質疑応答が行われ、村松による本セミナーのサマリーを含む閉会挨拶で終了した。終了後に収集したアンケートでは、本セミナーにおい

3. 終わりに

なお、本活動は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共通基盤整備のための技術開発事業（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る。

- [1] 小川徹他、「原子力における水素安全の課題と対策-原子力における水素安全対策高度化ハンドブックの作成」、解説、日本原子力学会誌、Vol.57, No.5 (2015).
- [2] 日野竜太郎他(編)、「原子力における水素安全対策高度化ハンドブック (第1版)」、JAEA-Review 2016-038、(2016).
- [3] 村松健、「原子力における水素安全の課題と対策-(1) 水素安全対策高度化特別専門委員会の活動報告」、総合講演「水素安全対策高度化」特別専門委員会報告、日本原子力学会「2015 春の大会」予稿集、(2015).

[illegible]

表 1 平成 30 年度「水素安全対策高度化」特別専門委員会委員名簿

主査	村松 健	東京都市大学
幹事	門脇 敏	長岡技術科学大学
委員	岩城 智香子	東芝エネルギーシステムズ株式会社
委員	小川 徹	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 (JAEA)
委員	佐々木 泰裕	関西電力株式会社
委員	鈴木 雅克	日本原子力発電株式会社
委員	谷本 浩一	三菱重工業株式会社
委員	中田 耕太郎	株式会社東芝
委員	中村 秀夫	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
委員	奈良林 直	東京工業大学
委員	新山 健二	株式会社三菱総合研究所
委員	西村 健	原子力規制委員会 原子力規制庁
委員	藤井 正	日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社
委員	松井 一秋	一般財団法人エネルギー総合工学研究所

表 2 平成 30 年度「水素安全対策高度化」特別専門委員会の主な議題

委員会/日時/場所	主な議題・トピックス	説明者・機関
第 1 回 2018 年 8 月 29 日(水) 三菱総合研究所	- 水素拡散・爆発解析事例紹介 Fluent をベースに三菱マテリアル社内で開発したモデル組み込んで解析を実施。解析結果の妥当性については、実験結果や文献値と比較して信頼性を確認。 - 水素安全対策高度化事業の今年度計画 水素安全対策高度化事業の 30 年度活動内容を紹介。	三菱マテリアル (株) (戴文斌他) JAEA (日野竜太郎)
第 2 回 2018 年 11 月 29 日(木) 三菱総合研究所	- 一般公開セミナーの準備状況説明 「水素－空気混合気の爆燃危険指数」 水素－空気混合気の爆燃危険指数の適用方法を紹介。どのように拡散するかについて数値計算を行い、濃度分布から爆燃危険指数を見積もることができ、様々な場面で爆燃の危険性について定量化した評価が可能。ただし、着火点を考慮することが難しい。例えば壁面での静電気発生などもあるため、容器の一番上まで水素が上がってしまえば安全だという考えは危険。 - 水素安全対策高度化事業の進捗報告：水素発生過酷事故に対する安全性の向上の取り組みについて 水素発生過酷事故時のシナリオと対比して、水素に係わる安全性向上に対する取り組みについて紹介。	事務局 名古屋大学 (吉川典彦) 三菱重工業 (株)(福田龍)
第 3 回 2019 年 2 月 15 日(金) 三菱総合研究所	- 一般公開セミナー開催報告(本予稿に後述) - 水素安全対策高度化事業の成果報告 水素挙動統合解析システム整備及びその具体的な用途に関する検討状況を、本企画セッション(2019 年春)での発表予定内容をベースにして紹介。	三菱重工業 (株)(福田龍)