

企画セッション | 総合講演・報告：総合講演・報告2「水素安全対策高度化」特別専門委員会

📅 2020年9月18日(金) 13:00 ~ 14:30 | 📍 G会場 Zoomルーム7

[3G_PL] 原子力における水素安全対策の向上に向けて

座長:村松 健(東京都市大)

[3G_PL01] 「水素安全対策高度化」特別専門委員会の活動報告

*村松 健¹ (1. 東京都市大)

[3G_PL02] CFDによる水素の拡散・燃焼挙動に関する実験照合解析の結果

*松本 昌昭¹ (1. 三菱総研)

[3G_PL03] CFDによる実機PWR-CV内での水素の拡散・燃焼挙動解析事例及び今後の水素安全高度化に向けた知見

*福田 龍¹ (1. MHI)

[3G_PL04] 水素挙動統合解析システムの公開について

*寺田 敦彦¹ (1. JAEA)

総合講演・報告 2 水素安全対策高度化特別専門委員会

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¹¹東京都市大学

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。特に軽水型原子力発電施設については、日米における2回のシビアアクシデントの経験を踏まえ、継続的安全性向上の観点から一層の研究を進めることが重要と認識されており、資源エネルギー庁では、「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」の一環として「水素安全対策高度化」事業を進めている[1]。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活動を行っている。

2. 水素安全高度化事業の概要

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(CFD 水素挙動統合解析システム)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。

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 [2]としてまとめられている。現在の事業はそのフェーズ 2 であり、平成 28 年度から令和 2 年度までの計画で進められており、成果はコードシステム及びハンドブックの第 2 版としてまとめられる予定である。

3. 今回の総合講演のねらい

当特別専門委員会では、活動の一環として、国内外の最新知見の共有を図ることを目的に一般公開セミナーを過去 5 回開催しており、さらに学会年会での総合講演として継続的に成果報告を行っており、2019 年春にはフェーズ 2 の 2018 年度の成果[3]を中心に報告を行った。今回の総合講演では、特別専門委員会報告を含めて、次の 4 件の講演を行う。現在の予定では次年度が最終年度となることから、今回は、格納容器(CV)内の拡散・混合・燃焼・爆発解析を中心に、これまでに得られた知見と今後の予定をまとめて紹介すると共に、得ようとする成果がどのように活用できるかについても研究者の期待・提案を述べ、それを基に会場の参加者からもコメントを頂き、最終年度での取りまとめに活かしたいと考えている。

- (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) CFD による水素の拡散・燃焼挙動に関する実験照合解析
- (3) CFD による実機 PWR-CV 内での水素の拡散・燃焼挙動解析事例及び今後の水素安全高度化に向けた知見
- (4) 水素挙動統合解析システムの公開について

*Ken Muramatsu¹¹Tokyo City Univ.

4. 令和元年度の特別専門委員会の活動

令和元年度の委員会開催実績を表1に示す。第1回では、これまでの成果として、CFDコードによる燃焼伝播及び爆轟発生の解析結果とともに、アクシデントマネジメントの手順検討への活用の見通しが報告された。また、これに対する議論では、技術的な議論に加えて、開発したコードの公開に当たっては、実験解析や実機への適用解析の知見・経験を利用ガイドとしてまとめておくことが重要との指摘や、今後の実用段階では、水素の燃焼・爆発によるリスクの一層の低減に向けて、新たに導入された重大事故等対処設備を含めた幅広いアクシデントマネジメント手順や設備挙動のシミュレーションが必要となるので、それを支援するためのコードのメンテナンスや今後明らかとなる技術的課題の検討を行う研究体制が必要、といった指摘がなされた。また、福島第一事故における水素挙動に関する最新の知見についても、紹介を受け、検討した。

第2回はメール審議とし、JAEA主催「原子力水素安全に関するワークショップ2019」の紹介があった。

さらに第3回は、本日の総合講演の発表予定の情報を基に成果の評価や活用上の課題について議論を行う予定である。

5. 終わりに

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。

なお、本稿は2020春予稿からの転載である。

参考文献

- [1] 資源エネ庁、「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)」
https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/001/event/180831a/pdf/180903/005.pdf.
- [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] 総合講演「原子力における水素安全対策の向上に向けて-(1) 水素安全対策高度化特別専門委員会の活動報告」ほか、日本原子力学会「2019春の大会」予稿集、(2019).

表1 令和元年度「水素安全対策高度化」特別専門委員会の開催状況

委員会/日時/場所	主な議題・トピックス	説明者・機関
第1回 2019年12月26日(木) 三菱総合研究所	- 水素挙動統合解析システムの構築 全体計画と今年度進捗 - 実機格納容器内の燃焼・爆発解析と得られた知見及びアクシデントマネジメントのための知見の整理方法など。 - 福島第一原発2号機の格納容器からの水素漏洩と事故防止安全対策	三菱重工 (福田龍) 東工大 (奈良林直)
第2回 2020年2月7日(金) メール審議とし、右記情報を配布。	- 福島リサーチコンフェレンス「原子力水素安全に関するワークショップ2019」の開催結果について(報告) - 欧州の5名を含め45名が参加。廃炉措置段階での水素安全管理など、口頭及びポスター発表20件があったことの紹介。 - 春の年会での企画セッション(総合講演)の提案について	事務局 JAEA (日野竜太郎)
第3回 2020年2月19日(水) 三菱総合研究所	- 春の年会における総合講演について - これまでに得られた知見、今後の活用可能性等につき議論	東京都市大 (村松健) 三菱総研 (松本昌明) 三菱重工 (福田龍) JAEA (寺田敦彦)

総合講演・報告 2 水素安全対策高度化特別専門委員会

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

CFD による水素の拡散・燃焼挙動に関する実験照合解析

Validation analysis results on hydrogen diffusion and combustion by CFD using existing experimental data

*松本 昌昭¹, 佐藤 郁也¹, 河合 理城¹, 藤山 翔乃¹, 中村 京春¹¹三菱総合研究所

1. はじめに

水素安全対策高度化事業において、JAEA、MHI、MRI は、水素の発生から拡散・爆発燃焼に至る挙動を解析評価するために、数値流体力学（CFD）による水素挙動統合解析システムの整備を進めている。本システム整備の一環として、爆発燃焼解析コードの整備及び大規模多区画における水素拡散・混合試験の照合解析を行い、CFD 解析コードの成立範囲の検証を進めてきた。本稿では、CFD 解析コードによる水素燃焼挙動の照合解析の状況、及び解析結果による CFD コードの適用性の評価について報告する。

2. 水素燃焼挙動の検証解析

水素挙動解析を行うために、オープンソースコードである OpenFOAM 及び DDT（Deflagration to Detonation Transition）を再現するためのソルバーである ddtFoam を使用し、実験データに基づく照合解析を通して成立範囲の確認を行った。本事業は平成 28 年度より開始しており、昨年度までは火炎速度と設備規模に着目して、様々な条件下での燃焼試験解析及び拡散・混合試験解析を実施してきた。昨年度までの解析結果から、燃焼試験解析については非均一水素濃度条件下での ddtFoam の適用性に課題が残り、また、拡散・混合試験解析についてはより大規模多区画な体系における OpenFOAM の適用性を確認する必要性が生じた。

そこで、今年度は、非均一水素濃度条件下での燃焼解析として ENACCEF 試験（RUN736）を選定し、特に水素濃度が低い条件下における ddtFoam の適用性を確認した。また、拡散・混合試験解析については、NUPEC 試験（M-8-1, M-4-3）を選定し、大規模体系における上部及び下部からの水素放出試験の解析を実施した。

2-1. 非均一水素濃度条件下での燃焼試験解析：ENACCEF 試験（RUN736）

非均一水素濃度条件下における照合解析結果の一例として、ENACCEF 試験の解析結果を示す。RUN736 に

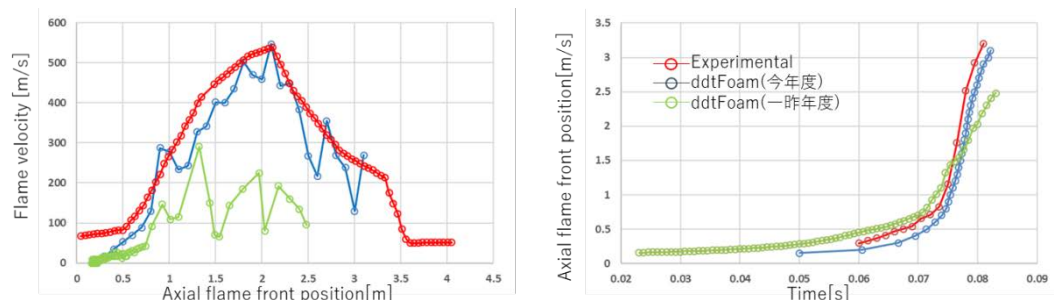


図1 火炎速度（左）と火炎面位置（右）の時間変化（ENACCEF 試験 RUN736）

ついては一昨年度も ddtFoam で

解析を実施したが、特に水素濃度の低い位置での燃焼の再現性が課題であったため、今年度はメッシュモデルを改良し、Quenching（消炎）効果を考慮しないことで水素濃度が希薄な条件下でも消炎しない解析条件とした。火炎速度及び火炎面位置に関する解析結果を図1に示す。特に、一昨年度は再現ができていな

*Masaaki Matsumoto¹, Fumiya Sato¹, Masaki Kawai¹, Shono Fujiyama¹, Keishun Nakamura¹¹Mitsubishi Research Institute, Inc.

かった水素濃度が10%未満となる領域での火炎速度については消炎を考慮しないことにより実験結果を適切に再現する火炎速度分布を得ることができた。

2-2. 加圧器室上部からの水素放出試験解析：NUPEC 試験（M-8-1）

拡散・混合試験の照合解析の一例として、NUPEC 試験の解析結果を示す。NUPEC 試験には数多くの試験ケースが存在するが、OpenFOAM による成層化の再現性を確認することを目的として、本年度の照合解析においては M-8-1（加圧器室上部からの水素（He）放出、格納容器上部に水素が成層化するケース）及び、M-4-3（加圧器室下部からの水素（He）放出、格納容器全体に水素がほぼ均一に拡散するケース）を選定した。水素濃度分布の解析結果を図2に示す。

照合解析においてはメッシュ数を25cm及び12cmとして2パターンの条件で計算しており、いずれのメッシュにおいても成層化が確認できたが、25cmメッシュの方がより実験結果に近い解析結果を得ることができた。25cmメッシュにおいて、より実験結果に近い解析結果を得ることができた要因としては、使用しているモデル（Realize k-ε）に含まれる乱流粘性の影響が小さく、数値粘性の影響が大きいことによる影響が考えられる。なお、12cmメッシュにおける解析では1週間程度の時間を要したが、25cmメッシュでは半日程度であった。結論として、今後実施する実機解析においては、解析に要する時間を考慮するとともに、メッシュ数によるモデルへの影響を踏まえてメッシュ作成を行うことが重要となることがわかった。

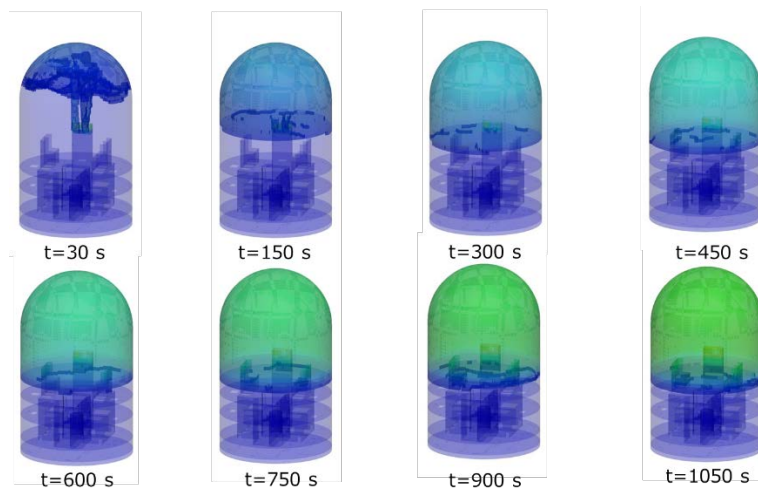


図2 水素濃度分布の解析結果（25cmメッシュ）

3. おわりに

これまで様々な火炎速度及び小規模から大規模までのスケールでのOpenFOAM及びddtFoamの適用性の評価を行ってきたが、本年度は燃焼解析として非均一水素濃度条件下に着目し、拡散・混合解析は大規模多区画の試験に着目した解析を実施した。結果として、水素濃度が低い領域を解析する場合にはQuenching効果を過大評価しないようにモデルを設定することで、より実際に近い火炎伝播速度の解析結果を得ることがわかった。また、拡散・混合解析については加圧器室上部放出による水素（He）の成層化を確認でき、OpenFOAMの実機解析に向けた準備を進めることができた。今後は、燃焼解析と拡散・混合解析を統合し、連続的な解析が可能なシステムの整備を目指す。また、実機CVスケールにおける解析を実施し、より大型かつ複雑形状におけるOpenFOAMの適用性を確認していく。なお、本稿は2020春予稿からの転載である。

参考文献

- [1] OECD Nuclear energy agency, “ISP-49 on Hydrogen Combustion”, NEA.CSNI.R(2011)9, OECD, Paris (2011)
- [2] 独立行政法人 原子力安全基盤機構, “溶接部等熱影響部信頼性実証試験（原子炉格納容器）に関する報告書 平成4年度”

熱総合講演・報告 2 水素安全対策高度化特別専門委員会

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

(3) CFD による実機 PWR-CV 内での水素の拡散・燃焼挙動解析事例

及び今後の水素安全高度化に向けた知見

CFD Analysis of hydrogen behavior in PWR CV and
utilization of CFD code system for improved hydrogen safety* 福田 龍¹¹三菱重工

1. はじめに

試験照合解析で適用性が確認された各種モデルを用いて PWR 実機 CV 内での水素挙動解析に 2020 年度から本格的に着手している。CFD 解析による水素挙動の主要な目的は、LP（集中定数系）解析コードでは評価できない水素の燃焼に伴う火炎加速による動的荷重の発生の有無と程度を、拡散混合解析から得られる詳細な濃度分布も考慮して実施することである。現在まで得られている知見の報告と水素安全の高度化に向けた CFD 解析システムの活用を提言を行う。

2. 実機 CV 内水素挙動解析

2.1 CV 内水素拡散混合挙動解析による現在までの知見

水素及び水蒸気の放出位置、放出速度等を変えたさまざまな条件で解析を進めているが、放出後の水素及び水蒸気は CV 内全体で良好な混合となり局所的な高濃度が生じるケースは認められていない。また CV 内下部の各種の機器での気体の過熱及び CV 内の頂部等の壁面での水蒸気凝縮は CV 内の良好な循環流形成を促進する。AM 策である CV スプレイの効果を取り込むと、CV 内の良好な水素と水蒸気の混合をさらに加速させる結果となる。一方で個々の区画に着目すると、水素放出区画内では水素の放出継続中は、水素濃度の分布が顕著であるが、それ以外のほぼ CV 内の全区画では良好な混合により均一に近い濃度となる。

2.2 CV 内水素燃焼挙動解析による現在までの知見

予混合均一条件のもと、水素・水蒸気組成、着火位置を変えたさまざまなケースにおいて燃焼に伴う強い圧力波の生成と動的荷重の発生につながる火炎加速の有無に着目して解析を進めている。水蒸気を含む極端な組成（ドライ条件）では、現行の水素濃度基準 13%を超えると DDT の発生が実機解析でも確認されること、水蒸気の増加（ウェット条件）に伴い燃焼の進行は著しく緩慢となり火炎加速の発生が生じにくくなることが確認された。極端な組成条件のもと火炎加速が生じる場合、主に燃焼の進行が 1 方向に加速されやすい形状の外周部の区画での周方向での燃焼や SG 等の機器と区画壁との間隙部を鉛直方向に進む燃焼において、火炎前方の圧力波が衝撃波に増大し、そこから爆轟に遷移しやすい傾向にあることが、事前の予測通り確認された。

2.3 今後の CV 内解析

拡散解析では事故発生後、長時間の水蒸気及び水素の発生が継続した場合の PAR 等による水素濃度低減効果や長時間後のスプレイ作動による水蒸気凝縮による水素の着火・燃焼への移行のための解析を行う。燃焼解析では、拡散解析を引き継いだ非均一な濃度分布下での水素燃焼やスプレイ凝縮に伴う燃焼における火炎加速の有無に着目して解析を行う。さらに、火炎加速による強い圧力波の発生を前提とした CV 壁面への動的荷重の作用を入力とした構造応答解析を行う予定としている。これらの解析を通じて、より実

*Ryo Fukuda¹¹MHI.

用的なメッシュ、タイムステップの設定等の解析システムへのフィードバックについても検討を深める。

3. CV 解析による知見を踏まえた水素安全の高度化に向けた水素 CFD 解析システムの適用について

新規規制基準への適合審査を経て、炉心損傷事故及び炉心損傷後の水素発生事故が生じる確率はさまざまな SA 方策の導入とともに軽減されており、水素安全の向上も図られている。さらに2項のとおり、CV 内の水素挙動に係るこれまでの CFD 解析により得られた知見として、拡散・混合解析では多様な SA 対策とあいまって CV 内では水素及び水蒸気による良好な循環流が形成されること、燃焼解析では水素及び水蒸気の組成において爆轟遷移が確認された条件と実機での水素発生事故の複数のシーケンスでの条件との間で明確な乖離が認められること、等が挙げられる。これらを踏まえて、従来の LP コードによる水素挙動解析の充実に加え、CFD による解析を補完することで、以下のような水素安全の高度化への寄与が期待される。

・水素燃焼時の安全余裕の適正化と今後の追加知見への対応

LP コードと比べ直接燃焼解析で火炎加速の評価が可能な CFD 解析を活用すると、CV 内の動的荷重発生に対する安全余裕及び水素処理装置をはじめとする SA 機器の有効性のよりの確な評価が可能となる。この適正化・定量化された余裕は、今後の水素挙動に係る知見が新たに得られた際にも、現行の安全機器による安全確保が十分であるか否かについて評価を行う際の信頼できるベースとなる。

・水素発生事故時の CV 内状態監視と AM 施策の有効活用

水素発生事故時に CV 内の圧力と水素濃度を監視しながら、必要な低減策であるスプレー散布やイグナイタの作動等のタイミングや容量等について、現場の捜査員が不安なく判断できるために、CV 内の多様な状態における水素燃焼時の安全性を LP 解析に加えて CFD 解析で補完することが有効な判断材料となる。

・CV 以外の水素安全の評価への適用

構築された水素挙動の CFD 解析システムは、CV 以外での水素安全の評価に適用が期待できる。たとえば、耐圧設計ではない原子炉建屋に CV から流出した水素挙動については、濃度分布を考慮しての可燃性雰囲気とならないことを拡散混合解析により、ベント配管を含む FV 装置内で火炎加速に伴う大きな動的荷重が発生しないことを燃焼解析により、LP コードでは困難であった詳細な評価が可能となる。

・外的事象起因の水素発生事故の評価への適用

多数の AM 策の適用が困難となりうる外的事象に起因する水素発生事故時の評価についても、CFD 解析システムにより CV 破損への影響について、従来の LP 解析よりは詳細な評価が可能と考えられるが、際限ない巨大地震の発生等を考慮した解析を現時点で行うことは時期尚早と考えられる。一方で、CFD による個々の解析結果を地震等の大きさの頻度を考慮した評価する手法については、今後の計算機技術・容量の進歩と地震 PRA 等の評価技術の進歩を念頭に、そのイメージを構築していくことを考えている。

4. おわりに

本検討は、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。また水素安全対策特別専門委員会及び運営委員会において水素 CFD 解析システム構築の進捗及びその具体的な活用案に貴重な意見をいただいた委員各位に謝意を表する。なお、本稿は 2020 春予稿からの転載である。

参考文献

- [1] 経済産業省資源エネルギー庁「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）報告書」2012-2017.
- [2] 経済産業省資源エネルギー庁「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）報告書」2018-2019.

総合講演・報告 2 水素安全対策高度化特別専門委員会

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

(4) 水素挙動統合解析システムの公開について

Public release of the CFD code of hydrogen behavior

*寺田 敦彦¹¹日本原子力研究開発機構

1. はじめに

日本原子力研究開発機構（原子力機構）では、福島第一原子力発電所事故の経験や、事故から得られた教訓を踏まえ、原子炉のみならず廃止措置、廃棄物管理における水素安全評価・対策に適切に対応するための基盤技術の高度化を図ることを目的として、水素の発生から拡散、燃焼・爆発に至る挙動を予測する水素挙動統合解析システム整備を平成 24 年度から本年度迄、2 期（フェーズ 1 [1]：平成 24 年度～平成 27 年度、フェーズ 2：平成 28 年度～令和 2 年度（予定））にわたって進めている。本システムでは、既存の汎用コードを活用し、そこに新規にモジュールやプリ／ポストプロセッサを組み込むとともに、より高い汎用性と低コストでの導入が可能なオープンソースコードを活用したシステムの開発を並行して進め、原子力施設の水素に関わる安全評価・対策改善に利用できる形での基盤技術の提供を目指している。本報告では、水素挙動統合解析システムの公開に向けた現在の取組みを紹介する。

2. システムの構成

原子力施設のシビアアクシデント時における格納容器内の水素挙動評価では、研究機関、事業者、製造メーカ等において各種システムコード（MELCOR、MAAP、GOTHIC 等）が活用されるとともに、OECD/NEA プロジェクト等の国際的な枠組みにおいては、CFD コードを含む検証や現象のより詳細な解明が進められているところである。これらの状況を踏まえ、特に CFD 技術の活用に着目して、システムコードを補完する水素挙動解析システム（図 1）の整備を進めている。開発は、フェーズ 1 にて、シビアアクシデント時の水素挙動に係る汎用物理モデル導入により基本構成を整理し[1]、現在のフェーズ 2 では、PWR 原子力発電施設を対象に、実用的な観点から考慮すべき現象（火炎伝播加速現象の評価技術、格納容器規模の現象への適用性）のモデル拡充を行った[2]。

数値シミュレーションは、事故漏洩シナリオ（漏洩箇所、漏洩流体の組成、漏洩量等）に基づき、大きく分けて 3 つの解析フェーズ（水素ガスの漏洩・拡散を扱う移流拡散解析、着火から爆燃および爆風圧の伝播を扱う爆燃及び爆風伝播解析、爆風圧による構造物への影響評価解析）で構成され、統合的に建屋やプラント設備全般にわたって各種影響の検討を実施できるよう、コード間のデータの受け渡しについては、インターフェースを作成して連結させることで、対象事象を一貫して解析できるように整備した。システムを構成する主要なコードは、汎用熱流体解析コード ANSYS FLUENT[3]、OpenFOAM[4]、衝撃解析コード AUTODYN[5]である。本事業では、新たに図 1 に示す※部分の開発を行った。水蒸気雰囲気中での水素ガスの移流解析や燃焼解析をするために必要な蒸気凝縮モデル、水素燃焼モデルに関するユーザ定義関数を作成し、ANSYS FLUENT で計算できるようにした。火炎が亜音速に達する早い爆燃や爆轟に遷移する DDT の解析に関しては、ddtFoam[6]をベースに水蒸気特有の燃焼特性や AMR が活用できる改良を行って OpenFOAM で解析できるようにした。さらに、AUTODYN において、構造物の健全性評価を行うために

*Atsuhiko Terada¹¹Japan Atomic Energy Agency.

FLUENT または OpenFOAM の燃焼解析結果として得られた爆風圧分布を境界条件とするためのインターフェースプログラムを作成している。

3. 公開に向けた現在の取り組み

システムを構成する各コードに新たに導入した蒸気凝縮や水素燃焼等の各種モデルや熱化学物性データに係るプログラムおよびコード間インターフェースプログラム（図1※部分）について、事業終了後に安全性向上に向けた有効的な活用を希望される事業者、メーカ、研究機関等に提供できるよう、環境整備を進めている。一例として、原子力機構の PRODAS[7]を通じた提供等を検討している。また、各コードユーザを対象として、各コードマニュアルを補完する仕様と使い方をマニュアルに整備するとともに、既存の実験データとの照合解析を行った良好事例やメッシュ密度、境界条件等のユーザ効果による影響を参考資料として、ガイドラインというかたちで整理する予定である。各文献は、現在、初版を作成中であり、次年度、新たに得られる知見や使い勝手等を考慮して改訂を行っていく計画である。

4. おわりに

本報では、水素挙動統合解析システムの公開に向けた取り組みを紹介した。今後、当該システムが事業者、メーカ、研究機関等のユーザが安全性向上に向けて活用できる環境整備の検討を進めていく。

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る。なお、本稿は 2020 春予稿からの転載である。

参考文献

- [1] 経済産業省資源エネルギー庁「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）報告書」2012-2017.
- [2] 経済産業省資源エネルギー庁「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）報告書」2018-2019.
- [3] ANSYS 社、ANSYS FLUENT Ver19.2、<http://www.ansys.com/>.
- [4] ESI 他、OpenFOAM、<http://www.openfoam.com/>.
- [5] ANSYS 社、ANSYS AUTODYN Ver19.2、<http://www.ansys.com/>.
- [6] ETTNER, Florian; VOLLMER, Klaus G.; SATTELMAYER, Thomas.” Numerical simulation of the deflagration-to-detonation transition in inhomogeneous mixtures ”, Journal of combustion,2014.
- [7] PRODAS、<https://prodas.jaea.go.jp/PRAD8001>.

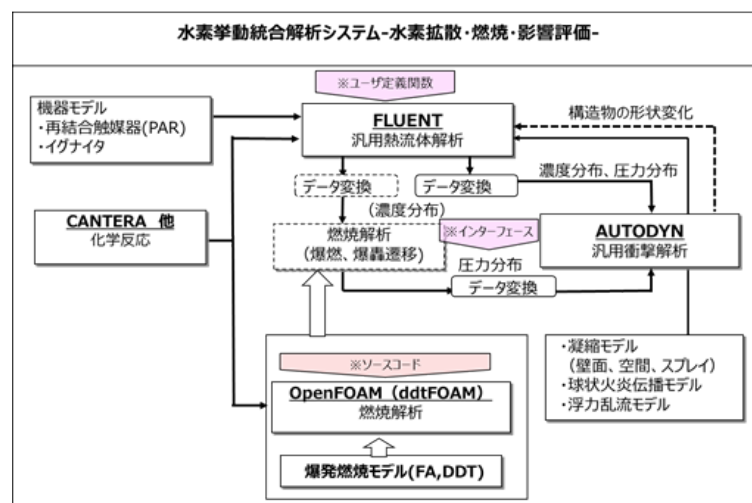


図 1.水素挙動統合解析システムの基本構成