

原子力安全工学センターの紹介

内藤 正則*

General Introduction of Nuclear Safety Engineering Center

Masanori Naitoh*

原子力安全工学センターは、2020年4月1日に設立された新しい組織である。当センターでは、シビアアクシデント解析コードの開発、福島第一原子力発電所事故に係る調査研究、シビアアクシデント時に現れる諸現象とその解析手法に関する研修・講義、各種過渡・事故事象の実験解析および実機解析、等の業務を実施しており、加えて米国ISS社（Innovative Systems Software LLC.）との技術協力協定に基づき、RELAP5、ASYST、SCDAPSIMなどISS社の安全解析コードを用いた解析業務を実施している。以下に当センターの活動概要を紹介する。

Keywords: 原子力安全、シビアアクシデント、福島第一原子力発電所、シミュレーション

1. はじめに

原子力安全工学センターは、(一財)エネルギー総合工学研究所の職員の当社への異動に伴い、原子力分野に関する安全工学に係る事業を推進・拡大することを意図して2020年4月1日に設立された組織である。原子力安全に係る業務は、当センターの他、熱流動エンジニアリングセンター、リスク研究開発センター、及び第4事業部等も担当しており、これらの部署と連携して業務を進めている。以下に当センターが進めている事業の概要を示す。

2. シビアアクシデント解析コードの開発整備

シビアアクシデント（過酷事故）とは、設計で考慮した範囲（いわゆる設計基準事故）を超える事故で、想定していた手段では炉心を冷却・制御できない状態になり、炉心溶融あるいは原子炉格納容器の破損に至るような事故と定義されている。過去には、1979年の米国スリーマイル島原子力発電所事故や、1986年の旧ソ連（現、ウクライナ）で起きたチェルノブイリ原子力発電所事故が

ある。わが国においては、2011年（平成23年）3月の東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波によって引き起こされた東京電力福島第一原子力発電所（以下、1Fと略記）事故が該当する。

OECD/NEA（経済協力開発機構/原子力機関）は、1F事故後、BSAFプロジェクト（Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant）を発足させた。BSAFでは、参加各国の機関が所有するシビアアクシデント解析コードを用いて1Fの1号機～3号機で発生した事故の進展挙動を解析し、プラントの実測値や観測結果等との比較検討から1F炉内・格納容器内の状況推定に資する情報をもたらした。一方、放射性核分裂生成物（以下、FP: Fission Productと略記）の炉内・格納容器内分布や格納容器床のコンクリートが炉心溶融物（溶融コリウムと言う）によって浸食された現象MCCI（Molten Corium Concrete Interaction）などについては、実機事象を再現できず、更なるコードの改良が必要であることが指摘されている[1]。

FPの挙動に関しては、日本原子力研究開発機構による実験から高温下での不溶性セシウム化合物の生成など、新たな知見が得られている[2, 3]。

MCCI挙動に関しては、OECD/NEAのROSAUプロジェクトにより、1Fの事故状態を模擬したケ

*アドバンスソフト株式会社 原子力安全工学センター センター長

Nuclear Safety Engineering Center, AdvanceSoft Corporation

ースを含む実験的研究が 2024 年 5 月までの 5 カ年計画で開始された[4, 5]。

このような状況に鑑み、当センターにおいては、新たなシビアアクシデント解析コード ISAAP (Integral Severe Accident Analysis Program) の開発整備に着手した。ISAAP のモジュール構成を図 1 に示す。

RELAP (ASYST) /SCDAPSIM は解析対象を In-Vessel 事象に限定した、米国 ISS 社のシビアアクシデント解析コードである。ISS 社は、米国アイダホ国立研究所が開発した原子炉過渡事象解析コード RELAP-5 と自社開発による SCDAPSIM を結合させた RELAP/SCDAPSIM をシビアアクシデント時の In-Vessel 解析コードとして整備した。同コードは世界 28 カ国、約 60 の機関で実用的に使用されている。また最近、ISS 社は RELAP-5 と同等の機能を有する ASYST を自社にて独自開発し、SCDAPSIM と連成させた ASYST/SCDAPSIM としてライセンス販売を開始した。当社は ISS 社との技術協力協定によりこれらのコードの提供を受けるとともに、ISS 社の代理店として技術コンサルティングにも応じている。

当センターでは、これら In-Vessel 解析用の ISS 社コードに格納容器内および原子炉建屋内の事象解析機能を付加してシビアアクシデントの一貫解析を実現すべく、独自に格納容器内熱流動解析モジュール COTHA および FP 移行挙動解析モジュール FIPRA を開発した。これらのモジュールと RELAP (ASYST) /SCDAPSIM とを連成させた ISAAP コードの初版は 2022 年 3 月末に完成した。格納容器内の床上に落下した溶融コリウムの

拡がりや床材であるコンクリート浸食、およびその後のコリウム冷却挙動の詳細については、2022 年 4 月よりモジュール開発に着手する予定である。

一般に、原子力プラントの事故時挙動を数値流体力学のソフトウェア CFD (Computational Fluid Dynamics) で解くことができれば、極めて詳細な物理現象を解明することができる。しかし、現状の計算機能力の観点から原子力プラント全体を対象とした CFD 解析は実用的・現実的ではない。従って、上記した ISAAP に含まれるモジュール群は、ノードジャンクションと言われる解法を採用している。一方、当社では別途 CFD コード BAROC を開発した。この BAROC に水素の挙動および主要 FP であるセシウムの挙動に関するモデルを付加し、格納容器・原子炉建屋内の流動挙動、および水素濃度分布、セシウム移行挙動を対象とした CFD モジュールとして完成させた。このモジュールは、ISAAP の結果を受けてオフライン（スタンドアローン）で使用するものとした。

当社の独自開発によるモジュールの概要については、本誌において別途紹介しているので参照されたい。

3. 福島第一原子力発電所事故に係る調査研究

2011 年 3 月 11 日、1F において核燃料が溶融し FP が環境に放出される、いわゆるシビアアクシデントが発生した。

事故後、OECD/NEA は 1F 事故のベンチマーク解析プロジェクト BSAF を発足させ、解析による事故進展挙動の解明を進めてきた[1]。BSAF の後継プロジェクトも現在進行中である。国内では東

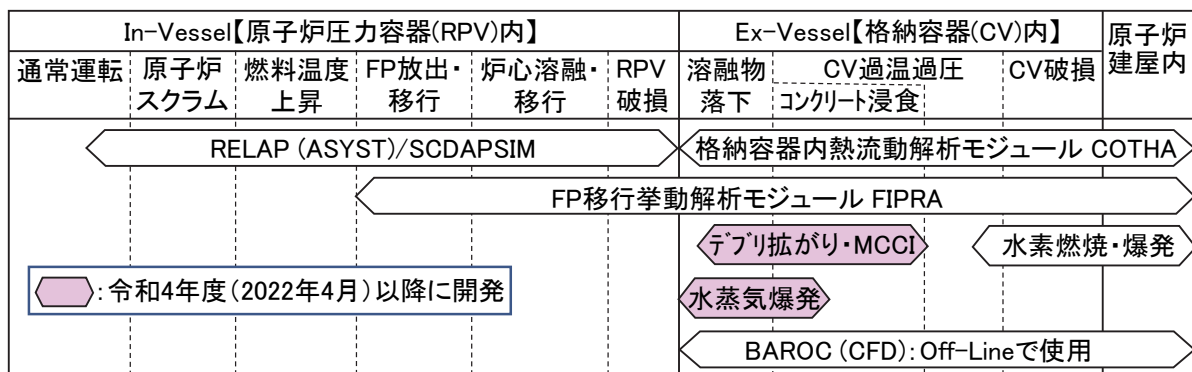


図 1 シビアアクシデント解析コード ISAAP のモジュール構成

京電力を中心として事故後の炉内・格納容器内の状況を推定するための検討作業が進められている。これまで5回にわたって検討結果が公開されているが、未だ未解明の事象が課題として残されている[6]。また、国内外の研究機関では、1F 事故事象の解明を目指した研究が進められている。

当センターでは、未解明事象の解明に資することを目指して、これら 1F に関連する情報・研究論文等を広く収集し系統的に分類・整理する作業を進めている。

4. 事故時の諸現象と解析手法に関する研修・講義

1F 事故では、それまでのシビアアクシデントに関する認識を超えた事象が発生した。そのため、原子力発電プラントの安全性評価上、想定外の事象進展となった 1F の事故進展挙動の詳細を把握しておくことが重要であると認識されている。特に中国を含む東南アジア諸国では、シビアアクシデント時の事故事象とその解析手法に関する最新情報に接する機会が少ないこともあり、当センターでは 1F の事故進展挙動を含めてシビアアクシデント時に現れる諸現象とその解析手法に関する研修・講義を実施している。この研修・講義の主な対象国は、中国、インドネシア、マレーシア、メキシコ等である。メキシコは、1F より型式は新しいが、同じ沸騰水型原子炉 2 基が稼働していることから、当センターが実施する研修・講義を強く希望している（現状、コロナの影響により、実現が遅れている）。

5. 各種の過渡・事故事象の実験解析及び実機解析

当社は、米国 ISS 社から RELAP、ASYST、SCDAPSIM 等の安全解析コードの提供を受けている。RELAP および ASYST は、シビアアクシデント解析への適用に限らず、各種の過渡事象や設計基準事故の解析へも適用できる。当センターにおいては、これらのコードに加えて自社開発コードも併用して各種炉型の実機解析および実験解析を進めている。特に RELAP、ASYST や SCDAPSIM による実機の安全評価においては、その結果を確率論的リスク評価に適用すべく数多

くの感度解析を実施している。

当センターでは、RELAP、ASYST、SCDAPSIM のコードをそれぞれ単独で使用するとともに、これらを結合させたシビアアクシデント解析コードとしても使用実績を積んでおり、ノウハウを豊富に蓄積している。この実績をベースとして、同コードのユーザーからの技術コンサルティングにも応じているところである。

6. まとめ

以上、原子力安全工学センターが進めている事業の概要を紹介した。今後、1F 事故における未解明事象の解決を重点課題として、MCCI をはじめとする新たなコード開発を進めるとともに ISAAP の改良・高度化を推進し、大学等との協力体制の下でシビアアクシデントの研究開発を継続していく。

参考文献

- [1] OECD/NEA、BSAF Summary Report、2021.
- [2] Shunichiro Nishioka, et al., *J. Nucl. Sci. and Technol.*, Vol.56, No.11, pp988-995 (2019).
- [3] Shuhei Miwa, et al., *Mechanical Engineering Journal*, Vol.7, No.3 (2020).
- [4] https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_25254/reduction-of-severe-accident-uncertainties-rosau-project.
- [5] J. R. Licht, et al., Summary of the Reduction of Severe Accident Uncertainties (ROSAU) Project, ANS 2020 Annual Mtg., June 8, 2020.
- [6] 東京電力ホールディングス(株)、福島第一原子力発電所 1～3 号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討第 5 回進捗報告、平成 29 年 12 月 25 日

著者略歴

内藤 正則、工学博士

(株)日立製作所エネルギー研究所部長、企画室長、(財)原子力発電技術機構部長、(一財)エネルギー総合工学研究所原子力工学センター副センター長、研究顧問、この間筑波大学および法政

大学兼任講師を経て、2020 年 4 月より当社理事、原子力安全工学センター長。

日本原子力学会計算科学技術部会長、同熱流動部会長、日本混相流学会理事、同学会長、等を歴任。

日本原子力学会論文賞、技術賞、技術開発賞、日本混相流学会業績賞等を多数受賞。2006 年経済産業大臣より原子力安全功労者顕彰。

※ 技術情報誌アドバンスシミュレーションは、アドバンスソフト株式会社 ホームページのシミュレーション図書館から、PDF ファイル（カラー版）がダウンロードできます。（ダウンロードしていただくには、アドバンス/シミュレーションフォーラム会員登録が必要です。）