2020年春の年会

海外情報連絡会セッション

OECD/NEA における 1F 事故以降の国際研究プロジェクトの現状

Outline of joint research projects in the OECD/NEA after 1F-accident

*倉田 正輝[1]
[1]原子力機構 廃炉国際共同研究センター

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所（1F）の事故を背景として、経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA: Organization for Economic Co-operation and Development/ Nuclear Energy Agency）において様々な国際協力が進んでいる。本報告では、その中で、原子力施設安全委員会（CSNI: Committee on Safety of Nuclear Installation）と原子力科学委員会（NSC: Nuclear Science Committee）における主要な研究活動を概説する。それ以外にも多様な活動が進められているが、それらについては OECD/NEA の URL を参照いただきたい[1]。

2. OECD/NEA での研究協力体制

図 1 に、OECD/NEA の委員会の構成を示す。OECD/NEA はいくつかの委員会で構成され、その下に様々な研究分野について、ワーキンググループ（WG: Working Group）やワーキングパーティ（WP: Working Party）が構成され、情報交換が行われている。重要な個別課題については専門家会合（EG: Expert Group）が構成される。また、参加機関が予算を分担拠出するジョイントプロジェクトも複数進められている。これらの活動においては、参加している OECD/NEA 加盟国が認める場合に限り、非加盟国の組織の参加も認められる。

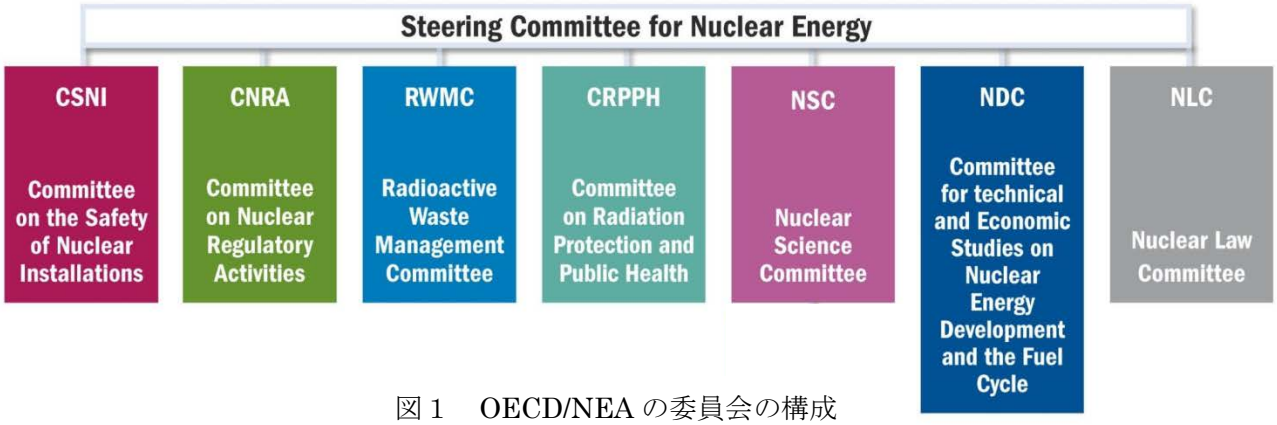

図 1　OECD/NEA の委員会の構成

3. 1F 事故以降の CSNI、NSC を中心とした研究協力活動

3.1. CSNI を中心とする活動

(1) 1F 事故を背景とした安全研究に関するシニア専門家会合（SAREF）

1F 事故で顕在化した課題と現状技術レベルのギャップを同定し、1F 事故以降の安全研究を適切に推進すると共に 1F 廃炉をサポートする目的で、2013 年 6 月に、1F 事故以降の安全研究に関するシニア会合（SAREF: Senior Expert Group on Safety Research Opportunities Post-Fukushima）が立ち上がった。1F 事故解析や廃炉の過程で得られる知見に基づいてどのような研究活動を進めていくか、また、NEA 加盟国に対し新たに得られる原子力安全性にかかわる知見をどのように提供していくかを目的とした議論が行われ、2016 年に報告書が提出された[2]。

報告書では、研究課題が短期的課題と長期的課題に分けて示されている。短期的課題は、実際の燃料デブリが取り出される前の準備段階で必要となる研究課題と位置付けられた。また、長期的課題は、1F 廃炉の進捗（炉内状況、デブリ取出し、残留線量、人材インフラ、コスト等を広く勘案）を参考にしつつ、数年後を目

途に具体的な議論を再開することとした。なお SAREF は規制庁が運営担当している。

この提言に基づいて、2017 年 1 月に、短期的課題の具体化に向けた準備会合が開催された。意見交換の結果、燃料デブリの特性評価にフォーカスした課題と、1F 現場サンプルの分析からどのような知見を得ていくかにフォーカスした課題に集約されることとなり、後述する二個の研究プロジェクト（PreADES、ARC-F）が立ち上がることとなった。

(2) 1F 事故進展に関するベンチマーク研究（BSAF/BSAF2）

1F 事故直後から、様々なシビアアクシデント解析コード（MAAP、MELCOR、ASTEC、THALES-2、SAMPSON、SOCRAT 等）を用いた事故進展解析が様々な組織により行われた。これらの解析結果を整理し、得られた知見をいっそう有効に活用すると共に、それぞれの解析コードの効率的な開発に展開するため、2012 年に OECD/NEA の呼びかけにより、1F 事故進展に関するベンチマーク研究（BSAF: NEA Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station）が開始された。BSAF フェーズ 1 では、事故後 6 日間の原子炉圧力容器（RPV: Reactor Pressure vessel）と原子炉格納容器（PCV: Primary Container Vessel）内部での熱水力状態の推移にフォーカスした解析が行われ、解析コードごとの比較が行われた。2015 年に、解析対象期間を事故後 3 週間に拡大し、また、PCV 外への核分裂生成物（FP）放出の解析も含めた BSAF2 に引き継がれ、2019 年に終了した。BSAF の報告書は NEA の URL からダウンロードすることができる[3]。BSAF2 の報告書は現在取りまとめ中である。BSAF/BSAF2 には 11 カ国の機関が参加し、BSAF は原子力機構の安全研究センター、BSAF2 はエネ総研が運営を担当した。

(3) 燃料デブリの分析に向けた準備研究プロジェクト（PreADES）

SAREF の提言を受けて、現在、燃料デブリ取出しに向けた準備プロジェクト（PreADES: Preparatory Study of Analysis of Fuel Debris）が進められている（プロジェクト期間 2017.7～2020.7）。**表 1** に PreADES のタスクの構成を示す。

表 1　PreADES プロジェクトのタスク構成

Task-1: Joint study of fuel debris expected properties and characterization
1-1: Estimated properties of fuel debris
1-2: Sharing of knowledge base on fuel debris characteristics
Task-2: Identifying needs and major issues for future fuel debris sampling, retrieval, and analyses
2-1: Needs for fuel debris analysis
2-2: Study for safety major issues related to future debris sampling, retrieval, analysis , transport, treatment, storage and disposal
2-3: Experimental/analytical techniques and demands in hot-testing facilities
Task-3: Planning of a future international R&D framework
3-1: Development of plan for a future R&D framework for actual fuel debris sampled from Fukushima Daiichi NPPs

Task-1 では、1F で形成された燃料デブリの特性について、これまで得られた 1F 事故にかかわる知見や、TMI-2 事故、チェルノブイリ事故等の知見を参考に、特性リストのとりまとめが進められている。Task-2 では、燃料デブリの分析に関する様々なニーズの同定と燃料デブリ分析技術に関する情報共有が行われている。Task-3 では、これらの検討結果や 1F 現場から新たに得られる知見に基づき、1F 燃料デブリに関する今後の国際協力の進め方の議論が行われる予定である。PreADES の運営は原子力機構の CLADS が担当している。

(4) 1F 建屋と格納容器から得られる情報の分析プロジェクト（ARC-F）

1F 建屋と格納容器から得られる情報の分析プロジェクト（ARC-F: Analysis of Information from Reactor Buildings and Containment Vessels of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station）は、SAREF の提言を受けて、2019 年 1 月から 2021 年 12 月までの 3 か年の予定で進められているジョイントプロジェクトである。ARC-F は、事故進展解明や建屋・格納容器内の状況理解に向けたサンプル情報の分析及び集約、事故シナリオ検討やソースターム評価を含む BSAF/BSAF2 のフォローアップ、これらを有効に進めるための国際的な専門家との情報共有や意見交換、を目的としている。これに基づき、ARC-F は以下の 3 個の Task で構成されている。

Task-1: Refinement of analysis for accident scenarios and associated FP transportation and dispersion

Task-2: Compilation and management of data and information

Task-3: Discussion for future long-term project

Task-1 では、事故シナリオの感度解析、個別重要事象の詳細解析、環境モニタリング情報に基づくソースターム逆解析等が進められている。Task-2 では、FP 移行経路や蓄積状況の推定に資するための建屋・格納容器サンプルに関する公開情報のデータベース化及び必要に応じた追加分析が行われている。前述の PreADES、後述の TCOFF と、この ARC-F プロジェクトの間では綿密な情報交換が行われている。ARC-F の Task-3 は、他プロジェクトの成果等も反映しつつ、今後進められる予定である。ARC-F の運営は原子力機構の安全研究センターが担当している。

(5) シビアアクシデントの不確かさ低減に向けたプロジェクト（ROSAU）

シビアアクシデント事象進展の不確かさのうち、圧力容器から流出する溶融した炉心物質の格納容器内部での広がり、溶融した炉心物質中の残留金属成分による溶融燃料とコンクリートの反応（MCCI: Molten Core Concrete Interaction）への影響、RPV 内外で堆積した燃料デブリの冷却性、に着目したジョイントプロジェクト（ROSAU: Reduction of Severe Accident Uncertainties）が米国アルゴンヌ国立研究所（ANL）の運営により 2019 年 6 月より進められている。日本からは原子力規制庁及び電力中央研究所が参画するとともに、東京電力他が ANL を技術支援している。

3.2. NSC を中心とする活動

(1) 1F 事故解析結果を参考にした燃料デブリと FP の熱力学的な特性評価プロジェクト（TCOFF）

文科省が提唱した東京電力（株）福島第一原子力発電所の廃止措置等研究開発の加速プラン（平成 26 年）に基づき、1F 廃炉加速化に向けた国際協力推進の一環として文科省から OECD/NEA に研究資金が提供され、1F 事故解析結果を参考にした燃料デブリと FP の熱力学的な特性評価プロジェクト（TCOFF; Thermodynamic Characterization of Fuel Debris and Fission Products based on Scenario Analysis of Severe Accident Progression at Fukushima-Daiichi Nuclear Power Station）が立ち上がった（プロジェクト期間：2017.6～2019.12、半年間延長見込み）。TCOFF では、原子力安全研究の専門家だけでなく、従来は原子力安全研究に直接携わっていない基礎科学研究の専門家も交えたシナジーにより、燃料デブリや FP に係る研究課題について材料科学的な検討を進め、得られた知見を PreADES や ARC-F 等の国際プロジェクトや国内の 1F 廃炉関連研究に提供している。TCOFF は 2 個の Task Force（デブリと溶融燃料、FP）で構成され、各国で開発されている熱力学データベースのベンチマーク解析に基づくデータベース高性能化、原子炉圧力容器内外の溶融燃料の挙動に係る検討、1F の原子炉格納容器内部から採集されたサンプル分析データの検討、Cs,Sr.Ba 等の蒸発性 FP の熱力学データの拡充、燃料デブリからの FP 浸出、等の要素課題に関する研究が進んでいる。燃料溶融現象の適切な理解と簡素化モデルへの組込み、溶融燃料と下部プレナム構造材との反応等について、非常に有意義な議論が進んでおり、報告書及び論文として公開される予定である。TCOFF で得られた燃料デブリの材料科学的な特性に関する知見は、上述の PreADES で進められている燃料デブリ特性リストの検討に反映されている。また、蒸発性 FP に関する新たなデータは ARC-F プロジェクトで活用される予定である。TCOFF の運営は NEA 自身が担当し、原子力機構の CLADS がテクニカルアドバイザーとしてサポートしている。また、原子力安全研究以外の専門家の英知を結集する観点で、TCOFF 研究基金を創設し、2018-2019 の 2 年間、基礎研究の国際公募をおこなった。ロシアのサンクトペテルブルグ州立大、オランダのデルフト工科大、フランスのマルセイユ大、日本の東工大等の提案が採択され、貴重な基礎データが提供された。なお、TCOFF には、我が国からは原子力機構、電中研、東工大が参加しており、報告者が議長を担当している。

(2) 軽水炉事故耐性燃料に関する専門家会合（EGATFL）

1F 事故以前より、ジルカロイ被覆管に比べ、シビアアクシデント条件において著しく水素や熱の発生が抑制される SiC を母材とする新型被覆管の研究は進められていた。1F 事故を契機として、いわゆる事故耐性燃

料（ATF: Accident Tolerant Fuel）への注目が国際的に高まり、OECD/NEA においても情報交換が開始された（2012,2013 年、CSNI と NSC 共催でワークショップ開催）、その結果、ATF には様々な開発目的をもつ様々な開発段階の要素技術が多数あることから、まず、ATF 技術の現状を整理することが必要であると合意された。これを受けて、2014 年に、NSC の下に、軽水炉事故耐性燃料に関する専門家会合（EGATFL: Expert Group of Accident Tolerant Fuel for Light Water Reactors）が立ち上がった。EGATFL は 3 個のタスクフォース（TF1: ATF システム評価、TF2: 事故耐性被覆管及びその他の燃料集合体部材、TF3: 先進燃料）で構成された。報告者は、日本代表委員として TF3 リーダーを担当した。**表 2** に、EGATFL で評価した主要な ATF 要素技術をまとめて示す。

EGATFL では、TF1 において様々な開発目的を持つ ATF 要素概念の定義とそれを実用化するのに必要な要件、及び、ATF 技術選択のための指標「技術成熟度（TRL: Technology Readiness Level）」をとりまとめた。TF2 と TF3 では、個別の ATF 要素技術について、実用化に必要な要素課題マップの整備と実用化阻害要因の検討、さらに、ATF 要素技術の現状の技術成熟度の評価を行った。これらの成果は、OECD/NEA の報告書として公開されている[4]。

EGATFL の成果を受けて、2018 年 1 月に、Enhancing Experimental Support for Advancements in Nuclear Fuels and Materials と題したワークショップが開催され、ATF 等の新たな概念の実用化に向けた意見交換が行われたが、各国の ATF 開発動向が大きく異なっていることから、OECD/NEA における ATF に係る今後の国際協力はまだ模索中である。要素研究としては、ドイツ KIT の QUENCH 試験装置を用いた ATF 模擬バンドル試験に係るジョイントプロジェクトの予備検討が行われている。

表２　EGATFL で検討した ATF 要素技術

ATF要素技術
- 被覆管、その他燃料集合体部材
  - コーティングZry、改良Zry
  - SiC系材料
  - 先進鋼材
  - 高融点金属（Mo等）
  - 先進制御棒、事故耐性制御棒
- 新たな燃料概念
  - 高度化二酸化ウラン燃料
  - 高熱伝導度燃料
  - 高密度燃料
  - TRISO型燃料

(3) 先進燃料に関する国際熱力学データベースプロジェクト（TAF-ID）

1F 事故以前より、各国で開発が進んでいる様々な熱力学データベースに関連する知見を統合・汎用化し、汎用的に使える国際データベースとして整備しようという検討が進んでおり、原子力機構と電中研はその主要メンバーとなっていた。1F 事故発生により、先進燃料だけでなく、軽水炉破損燃料もカバーできるデータベースとして整備することを日本から提案し、2013 年に TAF-ID プロジェクトが立ち上がった。2017 年にフェーズ 1 が終了し、そこで整備された TAF-ID データベース[5]は基礎科学の様々な場面で活用されている。日本からは、電中研が金属燃料に関わる熱力学データベースを、原子力機構が UO_2燃料と Zr の反応に係る熱力学データベースを、それぞれ提供する等で、国際汎用データベース開発に大きく貢献した。

2018 年より、TAF-ID データベースのユーザー拡充とニーズの掘り起こしを目的にフェーズ 2 が開始された。なお、TAF-ID プロジェクトは上述の TCOFF に対し、TAF-ID データベースの利用を無償で許諾する一方、TCOFF は得られた基礎データを TAF-ID に提供する等で、密接に連携している。なお、報告者は、TAF-ID プロジェクトの日本代表委員を担当している。

4. まとめ

1F 事故を背景として様々な国際的な研究活動が進められている。ここでは、CSNI と NSC の 2 つの委員会での活動について概説した。1F 廃炉に係るこのような国際プロジェクトをけん引していくのは日本の責務と認識している。また、若手・中堅の研究者には、国際会議での論文発表だけでなく、このような国際協力の場にもぜひ積極的に参加いただき、人脈作りや視野を広げることなどに活用いただきたい。

参考文献

[1] OECD/NEA, https://www.oecd-nea.org/

[2] SAREF report, https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2016/csni-r2016-19.pdf
[3] BSAF report, http://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2015/csni-r2015-18.pdf
[4] EGATFL report, http://www.oecd.org/publications/state-of-the-art-report-on-light-water-reactor-accident-tolerant-fuels-9789264308343-en.htm
[5] TAF-ID database public version, https://www.oecd-nea.org/science/taf-id/taf-id-public/

---

*Masaki Kurata[1]
[1]Japan Atomic Energy Agency, Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science