

「事故耐性燃料開発に関するワークショップ」開催報告

日本原子力研究開発機構

原子力基礎工学研究センター 根本義之、加治芳行、山下真一郎

概要

開発課題の共有等を行って関係者が効果的に連携し、国内事故耐性燃料（以下、ATF）開発を加速していくための議論の場として、第4回目となる ATF ワークショップを開催した。今回は、海外試験炉を利用した照射試験進行等国内開発の進捗、今後の開発ステージの段階が工学的実証に移行していく状況等を踏まえ、国内導入を見据えた技術的課題やさらに効率的・効果的に研究開発を推進していくための体制・仕組み等について、国内ステイクホルダーが一堂に会して議論を行う場とした。

国内開発事業のスポンサーである経済産業省資源エネルギー庁（以下、エネ庁）からのイントロダクション、日本原子力研究開発機構（以下、JAEA）からの国内における ATF 開発状況と研究開発概要の報告、東京大学大学院工学系研究科（以下、東大）からの ATF 導入シナリオに関する講演等に加えて、メーカ、大学等の若手を中心とした計 24 件のポスター発表があり、活発に技術的議論が行われた。パネル討論においては、「ATF 導入に向けた関係者の連携（プラットフォームの構築）に向けて」というテーマで討論が行われた。

当日は、92 名が現地参加するとともに、61 名が Web 接続し、講演や議論を聴講した。

1. はじめに

ATF 開発に係る課題共有等のための議論の場として、ATF に係る基礎研究を進めている東大と、エネ庁「原子力の安全性向上に資する技術開発事業」の下で ATF の開発を進めている JAEA は、2024 年 12 月 11 日（水）に、第4回目となる「事故耐性燃料開発に関するワークショップ」（以下、「ATF-WS」という。）を開催した。本 ATF-WS は、日本原子力学会（以下、AESJ）核燃料部会・材料部会・水化学部会ならびに AESJ 標準委員会システム安全専門部会の協賛を得て開催されたものである。別添 1 にプログラムを示す。

本ワークショップには、日本国内の大学・研究機関・電力会社・プラントメーカ・燃料メーカ等から約 150 名が参加し、ATF の開発状況や技術的なトピックスを共有するとともに、今後の開発の進め方等について議論した。また、計 24 件のポスター発表も行われ、非常に活発な議論が行われた。付録 2 にポスターセッションのプログラムを示す。

以下に、講演概要、質疑応答、及び議論概要等を報告する。

2. 開会あいさつ

JAEA 理事の門馬氏より、開会あいさつが述べられた。引き続き、JAEA の逢坂氏より本ワークショップの趣旨が説明された。

3. 講演

エネ庁の堀井氏より、国として進めている、『原子力の活用に向けた安全性向上の取組』について講演が行われた。次世代革新炉を巡る昨今の状況、及び、原子力の安全性向上及び次世代革新炉の開発・建設に向けた取り組みに関して、主に小型モジュール炉、高速炉、高温ガス炉、核融合炉の研究開発の取り組みが紹介された。

次に JAEA のモハマド氏より、『国内における ATF 開発状況と研究開発概要』について講演がなされた。ATF 研究開発の状況として、国内外の動向について報告した。また、実装化する際の技術課題として、既往知見のレビューに基づく課題の抽出や、課題解決に向けた JAEA の取り組みについて紹介した。この講演に対して、「各国同じコンセプトで開発が進められているという状況があり、ATF 導入にメリットがあることは理解できるが、デメリットはないのか」と会場の参加者から質問が寄せられた。この質問に対して、モハマド氏から、「デメリットかどうかは判断が難しいが、それぞれの ATF コンセプトには性能の限界があり、実用化においては特性や性能を確認して置くべきポイントも幾つかある。例えば、Cr コーティング被覆管では Cr コーティングそのものの健全性や Cr と Zr の共晶であり、FeCrAl-ODS では Cr 脆化、SiC では腐食性能などが確認すべきポイントである」との回答が述べられた。

次に東大の阿部氏より、『ATF の実現に向けた課題の整理』について講演がなされた。これまで、ATF は Accident Tolerant Fuel としてきたが、フランスでは Advanced Technology Fuel と読み変えられており、日本もそのように意識的に言い換えていくべきであることが述べられた。また被覆管だけでなく色々と研究開発すべきであるとの見解が述べられた。これに対して、会場の参加者からその背景の詳細について質問があった。また、別の会場参加者からは「プラットフォームを作ることは ATF の魅力をアピールすることに繋がる」との意見も述べられた。これに対して阿部氏より、本件は国民へのアピールが目的であること、また、事故耐性だけでなく燃料そのものも高性能化していきたいこと、が回答された。

4. パネル討論『ATF 導入に向けた関係者の連携(プラットフォームの構築)に向けて』

東大の阿部氏がモデレーターとなり、パネル討論が行われた。パネリストとして、山本氏(名古屋大学)、江口氏(原子力規制庁)、荻田氏(関西電力)、佐藤氏(三菱重工業)、山下氏(JAEA)の 5 名が登壇した。

まず阿部氏より、全体の議論の進め方について提案がなされた。様々なコンセプトの ATF の技術開発に関する全体シナリオ、早期導入を目指す Cr コーティングに関するシナリオ、これらを支えていく人材育成の 3 つのポイントについて議論していく旨が述べられた。これらの議論のポイントに関して、メーカ、JAEA、事業者それぞれに意見を聞いた上で、学会での取り組み、今後のプラットフォームの構築等に関して議論を継続していくことが提案された。特に安全性評価に関しては、幅広い意見聴取が必要である旨の見解が示

された。また開発を支えるためには、「人材の育成や国内の新たな試験炉の建設なども必要である」ことが強調された。

次に山下氏より、JAEA の取り組みに関して紹介された。海外からの遅れを取り戻すため、それらの先行例を参考に効率的に開発や各ステイクホルダの調整、体制の構築などを進めて行く必要があるとの考えが示された。また、エネ庁からの受託事業を実施しつつ人材育成も進めて行くこと、さらには学会活動での技術レポートの取り纏め等を通して、今後の商用炉照射試験等に向けた安全評価の議論を行っていること、等が述べられた。それらを通して、知見の不足している項目に関しての研究開発を優先的に進めていく計画であることが紹介された。特に海外炉照射に重点を置き、それらの評価に関しては各ステイクホルダの意見を取り入れて実施していくとの考えも示された。

これを受けて佐藤氏より、Cr コーティング被覆管開発に関する取り組みが紹介された。当該被覆管は、通常運転時の耐食性等の改善により寿命が延びることで経済性が改善し、加えて事故耐性の向上効果も期待できることが述べられた。

Cr コーティング被覆管開発に関する取り組みの現状を踏まえて、萩田氏からエンドユーザーの立場から意見が述べられた。「事故耐性を高める取り組みは重要であることはもちろんであるが、同時に経済性を高める視点も重要であり、Cr コーティング被覆管を適用することによりそれらを向上させていけることは大変魅力的である」との意見が述べられた。また、人材育成が重要であることに強い賛同が示された。

これに関連した流れで、江口氏より、今年度から令和 10 年度までの 5 ヶ年計画で立ち上がった Cr コーティング被覆管の安全研究について紹介された。この研究では、燃料挙動や破損メカニズムに Cr コーティングの与える影響を明らかにすることを目的として、「現状のジルカロイの基準として策定されたガイドラインが Cr コーティング被覆管の場合でも適用可能なのか？新たな基準作成が必要なのか？」といった視点から知見を取得・整備していきたいとの考えが示された。合わせて、現状では FeCrAl や SiC は対象に含めていないことが述べられた。具体的な内容としては、規制庁が JAEA 安全研究センターに研究委託して、冷却材喪失事故 (LOCA) および反応度事故 (RIA) 等の事故条件を模擬した試験を実施することが計画されており、設計基準を超える事故 (BDBA) 条件の試験に関しても被覆管とペレットを個別に試験するための装置が製作されている。ペレットの BDBA 試験に関しては、製作中の装置を用いて核分裂生成物 (FP) 放出、被覆管との機械的相互作用の影響等について解析も含めて研究する計画であることが述べられた。また研究とは他に、実務者レベルの意見交換の場を設けていること、現状では今後の計画に関するスケジュールなどの議論を行っていること等が追加で紹介された。

以上の各パネリストからの説明や紹介を受けて、原子力安全部会の部会長である山本氏から、これまでの革新炉などでの規制対応の先行例について紹介された。意見交換の場で

は率直な意見を互いに述べ合うべきであることが述べられた。特に、福島事故後の安全研究としては、事故対応がその活動を活性化させる一つの要因となっているとの見解が示された。

これを受けて阿部氏より、今後のプラットフォーム構築の重要性、またそこでの忌憚らない意見交換が重要であることが述べられた。

フリーディスカッションの時間において、会場の参加者より「米国電力研究所（EPRI）主体の研究協力体制を構築して ATF 開発を進める米国に比べて、日本が遅れを取っている理由は何か？」との質問があり、JAEA の山下氏から、米国と日本で ATF 開発に投じられている予算規模が大きく異なることが要因ではないかとの回答が述べられた。これに対して、会場の別の参加者から、米国での ATF の実用化開発は、市場ニーズに基づいて実施されているというよりも政府（米国エネルギー省）の意向で予算措置がなされているから実施されているとの補足説明がなされた。ATF 開発に関する予算措置等について、議会が法案にまで書き込んでいる米国に比べて、日本の議会ではそこまではしていないことが予算規模の違いになっているとの見解が述べられた。その他にも、Cr コーティング被覆管の今後の実用化に向けてのイメージについて示してほしいとの要望が会場の参加者より述べられた。

これに対して東大の阿部氏から、「より高性能な被覆管を利用する場合において、これまでの現行規制をそのまま当てはめる必要性はなく、規制基準の改訂も視野に入れた活動を考えている」旨の回答が述べられた。合わせて、パネリストの関西電力・荻田氏からも、「コストを考慮した様々な調整が必要である」ことが追加で述べられた。これを受けて、規制庁の江口氏から、規制の立場として、「ATF の導入により事故耐性と通常運転時の耐食性が向上することについて理解する一方で、電力事業者がどこにコスト的な魅力を感じて将来（許認可）申請してくることになるのか？」という点に関心を持っている旨の意見が述べられた。また、「コスト的な魅力については出来るだけ早い段階で示してもらえると対応が取りやすい」旨の見解も示された。

東大の阿部氏より、JAEA、メーカ、電力、規制の各立場からの人材育成に関する意見が求められ、それぞれの今後の若手人材獲得に向けた意欲が述べられた。各ステイクホルダーからの意見を踏まえて、会場の参加者より、「現在の学生の原子力アレルギーは徐々に薄れてきていること」、一方で「未だに絶滅危惧種からは脱却できていない状況にあること」が述べられ、「原子力分野に若手人材を呼び寄せるためには、学生が具体的なキャリアパスを思い描けるような具体像を産学官が協力して示していくことが重要である」との見解が述べられた。加えて、別の会場参加者からも、「学生がわくわくするような技術開発を行っていければ」、との思いが述べられた。

最後に東大の関村氏から講評が述べられた。プラットフォーム構築や、研究開発を進めるにあたっては、米国の先行事例を参考に若手が活き活きと活動できるよう、それぞれのリーダーは適切に導いていく必要があることの重要性が指摘された。

以上を受けて東大の阿部氏より、本パネル討論は非常に生産的で有意義な議論ができたことが述べられ、まとめられた。

5. ポスターセッション

個別の研究開発テーマ毎に詳細な技術的議論を行うことを企図して、約1時間半の時間枠を設けてポスターセッションを開催した。参加者人数に対して会場が若干手狭であったことも相まって、各ポスター前では非常に熱気に溢れた議論が展開され、ポスターセッションは大盛況であった。別添2に発表タイトルの一覧を示す。

6. まとめ、講評

東大の阿部氏が全体をまとめてあいさつし、ATF-WS を閉会した。

7. 最後に：ワークショップ事務局あしがき

本ワークショップの講演者、発表者、また一般聴衆の皆様のご協力により、「第4回事故耐性燃料開発に関するワークショップ」を成功裏に開催できた事を、この場をお借りして深謝申し上げたい。

ポスターセッションを中心とした活発な技術的議論、パネル討論における研究開発の重要性等の共通認識の醸成等、ワークショップの目的は達成されたと考える。

本ワークショップの事務局を務めた JAEA としても、自らの研究開発と、国内各機関の更なる連携強化による研究開発の実効性の向上に尽力することにより、引き続き ATF 開発の加速に貢献していきたい。次回以降のワークショップでもより闊達に議論ができるよう、関係者との調整を進めていく。

なお、ワークショップでのプレゼン資料等は、以下の日本原子力研究開発機構ホームページに掲載しているので、適宜ご参照いただきたい。

<https://nsec.jaea.go.jp/ATFWS/index.html>

以上

【別添1】「事故耐性燃料(ATF)開発に関するワークショップ」プログラム




事故耐性燃料開発に関する ワークショップ

Workshop on Development of ATF for LWR

- Current status and future challenges in enhancing the nuclear safety -

○東京大学大学院工学系研究科および日本原子力研究開発機構では、原子力の継続的な安全性向上の観点から、事故耐性燃料(ATF)の開発を進めています。

○今年度のATFワークショップでは、国内ATF開発における関係者の連携に向けた示唆を得ることを目的に、クロムコーティング被覆管を対象として、重要技術課題を解決するための研究開発と効率的・効果的な枠組みや体制について議論します。

一般の方も参加できますので、ふるってご参加ください。

2024年12月11日(水)

13:00~17:00 (12:30開場)

HASEKO-KUMA HALL

※ Web同時配信も予定しています。

お申込み先

日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究センター
<https://nsec.jaea.go.jp/>
 ※右側のQRコードからも、お申込み頂けます。



プログラム

開会挨拶 【本ワークショップ開催の趣旨説明】 ≫ 講演 【原子力の活用に向けた安全性向上の取組】 【国内におけるATF開発（実装化）状況と研究開発概要】 【ATFの実現に向けた課題の整理】	日本原子力研究開発機構 門馬 利行 氏 日本原子力研究開発機構 達坂 正彦 氏 13:10 ~ 14:10 経済産業省資源エネルギー庁 堀井 雄太 氏 日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター モハマド アフィカ 氏 東京大学大学院工学系研究科 岡部 弘孝 氏
≫ パネル討論 ● 議題：ATF導入に向けた関係者の連携(プラットフォームの構築)に向けて モデレーター：岡部 弘孝 氏（東京大学） パネリスト：山本 肇夫 氏（名古屋大学）、江口 裕 氏（原子力規制庁）、秋田 利幸 氏（関西電力） 佐藤 大樹 氏（三菱重工業）、山下 真一郎 氏（日本原子力研究開発機構）	14:20 ~ 15:20
≫ ポスターセッション ※12:30から開催。	15:30 ~ 16:50 発表者所属：東京大学、早稲田大学、北海道大学、横浜国立大学、近畿大学、東北大学、電中研、三菱重工業、東芝ESS、日立GE、日本核燃料開発、豊研機構、エネ総工研、原子力機構
≫ まとめ、閉会	16:50 ~ 17:00 開会挨拶 東京大学大学院工学系研究科 岡部 弘孝 氏

主 催：東京大学大学院工学系研究科
 日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究センター

協 賛：日本原子力学会、核燃料学会、原子力安全・材料協会
 日本原子力安全理事會核燃料システム安全専門委員会

お問合せ先
 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
 原子力基礎工学研究センター
 E-mail: nsec-atf@nsec.jaea.go.jp

【別添2】「ATF 開発に関するワークショップ/ポスターセッション」プログラム

ポスターセッションプログラム

◎会場配置図

◎タイトル

01	Cr-Fe and Cr-Al binary alloy and their high-temperature oxidation behavior for ATF cladding applications	東京大学	J.A.K. Jovellanos
02	Experimental kinetic study of interdiffusion behavior at the Cr/ZrO ₂ interface under elevated temperatures	東京大学	Bo-U
03	Depth-Dependent Radiation Damage on Nano-oxide Stability in 12Cr ODS Steel irradiated with Fe ²⁺ ions	東京大学	Wang, Zidong
04	Hot Mechanical Behavior of Cr-coated Zircaloy as Accident Tolerant Fuel Cladding Using Advanced Expansion Due to Compression (A/EDC) Test	東京大学	熊子 恒
05	Synthesis of yttrium-titanium oxides and their radiation behavior under iron ion irradiation	東京大学	Han Yi
06	原子力材料としての低放射化ハイエントロピー合金の可能性	北海道大学	橋本 直幸
07	FeCrAl-ODS合金に形成したアルミナ被覆の引張応力-せん断応力下の挙動	横浜国立大学	大野 直子
08	CrコーティングしたZrO ₂ の高温水蒸気中での酸化及び水素吸収挙動	筑波大学	河合 慶人
09	FEA/MD-ATFによるSC被覆燃料の過熱運転時FCMI挙動解析	早稲田大学	久保 康裕
10	東北大SC被覆材料の研究開発アクティビティ	東北大学	近藤 朗介
11	マイクロ引張試験によるCrコーティング被覆管の界面強度評価	富研機構	野澤 貴史
12	イオン照射下軽水が環境での腐食挙動評価技術の開発（その2）	原子力機構	相馬 清孝
13	Crコーティング被覆管の過熱時腐食挙動評価試験装置の整備状況	原子力機構	石島 健大
14	マルチフィジックス・プラットフォームJAMPIONの開発状況	原子力機構	多田 健一
15	Fission products chemistry in achieving reliable UWR source term prediction: An outlook to Cs-Cr vapor species interaction	原子力機構	リザールムハンマド
16	イオン照射下でのFe-Cr-Al合金におけるCrリッチ析出物形成に及ぼす合金組成と焼成速度の影響	原子力機構	河部 陽介
17	Cr-coated Zr基合金被覆管の高温酸化モデルの開発-析出反応が高温酸化挙動に及ぼす影響-	原子力機構	田嶋 雄大
18	過熱事故解析コードJAMPIONにおける新型燃料モデルの開発	エネ動研	木野 千晶
19	事故耐性の高い長寿命型燃料棒の開発	電中研	嶋田 直樹
20	SWR適用に向けたSC被覆管の要素技術開発	日立GE	石橋 昌
21	Development of SC core material for UWR	東京ECS	窪谷 崇
22	Crコーティング被覆管の過熱運転の特性と挙動	三菱重工	神田 裕史
23	FeCrAl-ODS被覆管の研究開発	日本技術	阪本 寛
24	Performance of Ti-coated SC at High-temperature Steam as Accident Tolerant Fuel Cladding	原子力機構	Hai Pham