

核 燃 料

2022 年 12 月発行

No.58-1 (通巻)

目 次

I. 企画セッション

日本原子力学会「2022 年秋の大会」 企画セッション報告
炉心燃料の安全高度化に向けた原子力学会での体系的活動について
(炉心燃料分科会活動報告) …………… 黒崎健 (京大) 1

II. 特別寄稿

2022 年度核燃料部会賞 (学会講演賞) を受賞して
…………… 増子元海 (東京都市大) 3
2022 年度核燃料部会賞 (学会講演賞) を受賞して …… 小宮山大輔 (MNF) 4

III. 国際会議紹介

国際原子力機関「燃料の性能と技術に関するワーキンググループ」
(TWGFPT) 2022 年年会合出席報告 …………… 尾形孝成 (電中研) 5
「NuMat2022」の報告…………… 中森 文博、太田 宏一 (電中研) 16

IV. 国際交流ニュース

“STUDIES IN JAPAN” …………… Haoxin Wang (東京都市大) 22

V. 夏期セミナー報告

2022 年 第 32 回 夏期セミナー開催報告 …………… 高田直之 (日本原燃) 25

VI. 編集後記 …………… 32



I. 企画セッション

日本原子力学会 2022 年秋の大会 企画セッション報告 炉心燃料の安全高度化に向けた原子力学会での体系的活動について (炉心燃料分科会活動報告)

京都大学 黒崎 健

日本原子力学会標準委員会システム安全専門部会炉心燃料分科会では、炉心燃料の安全高度化に向けた活動を組織的に推進している。本企画セッションでは、炉心燃料分科会の活動報告として、分科会活動の全体像、炉心燃料の安全設計に関する技術レポート、事故耐性燃料（ATF）の実用化に向けたワーキンググループ活動、商用炉先行照射（LUA）の導入に向けたワーキンググループ活動などが紹介された。最後に、講演者全員と会場参加者による総合討論が行われた。

標準委員会、標準委員会システム安全専門部会挨拶

原子力安全推進協会の成宮氏より、標準委員会からのご挨拶をいただいた。

炉心燃料の安全確保・向上に向けた体系的な活動

炉心燃料分科会主査の東京大学阿部教授より、炉心燃料分科会の活動状況が報告された。炉心燃料分科会設立の経緯や活動の目的が述べられた後、炉心燃料分科会でなされている燃料安全に向けた取り組みの事例が紹介された。また、本企画セッション開催の趣旨や、各講演の概要が紹介された。

炉心燃料の安全設計に関する技術レポート

三菱重工業の福田氏より、炉心燃料の安全設計に関する技術レポートが紹介された。本技術レポートに関する検討が 2012 年度頃から継続的になされていること、2015 年 10 月に「発電用軽水型原子炉施設の炉心及び燃料の安全設計に関する報告書（AESJ-SC-TR009-1）」が発刊されたこと、2022 年 3 月に改訂版が発行されたこと、等が紹介された。技術レポートのとりまとめに際して、体系的階層的な安全要求事項の展開や、国内外の新知見・運転経験等の収集・分析・安全性向上への反映といったところに注力していることが示された。また、2022 年 3 月になされた改定の骨子や今後の改定の予定、さらには、技術レポートの広範な活用に対する期待等が述べられた。

事故耐性燃料（ATF）の実用化に向けたワーキンググループ活動

日本原子力研究開発機構の山下氏より、事故耐性燃料（ATF）の実用化に向けたワーキンググループ（WG）の活動が紹介された。ATF 導入に関する安全要件について整理することを目的としていること、事前検討期間含め 2017 年 7 月から検討が

進められていること、等が示された。WG における考え方の整理・検討を合理的かつ効率的に進めるために、日本原子力学会標準委員会の技術レポート（AESJ-SC-TR009-1：2021）を土台としていることが紹介された。ATF の安全設計に必要な評価項目を抜け漏れなく抽出するための考え方や、ATF 安全設計の評価項目の重要度を分類するための考え方が示された。具体的な検討事例として、コーティング被覆管の重要度分類表（PIRT）が示された。

商用炉先行照射（LUA）の導入に向けたワーキンググループ活動

炉心燃料分科会副主査の電力中央研究所北島氏より、商用炉先行照射（LUA）の導入に向けたワーキンググループ（WG）活動が紹介された。幅広い開発レベルの新設計燃料を対象として LUA の活用方策の検討が望まれているという背景のもと、LUA を有効に活用する実施手順や課題について課題が重ねられているとのことであつた。具体的には、LUA の位置づけ、LUA で取得するデータ、LUA の安全性確認や継続／中止の判断、許認可対応、等について議論がすすめられているとのことであつた。

総合討論

原子力安全推進協会の成宮氏の司会のもと、講演者四名に会場参加者も交えて、総合討論がなされた。「いいもの、必要なものをいかに早く導入できるか？」という点と、「重要な、必要な情報・知識等をいかに広く共有・伝承していき、絶え間なき安全向上の推進に反映していくか？」という点の二つの視点が提示され、それに基づいて議論・質疑がなされた。

参考文献

- [1] 発電用軽水型原子炉の炉心及び燃料の安全設計に関する報告書
第1分冊炉心及び燃料の安全設計（改訂版）（AESJ SC TR009 1:2021） ISBN 978 4 89047 440 0
- [2] 発電用軽水型原子炉の炉心及び燃料の安全設計に関する報告書：（AESJ-SC-TR009：2015）
第1分冊炉心及び燃料の安全設計 ISBN 978 4 89047 384 7
第2分冊炉心設計 ISBN 978 4 89047 385 4
第3分冊熱水力設計 ISBN 978 4 89047 386 1

2022年10月28日記

Ⅱ. 特別寄稿

2022 年度核燃料部会賞（学会講演賞）を受賞して

東京都市大学総合理工学研究科・共同原子力専攻

修士二年 増子 元海

この度は、日本原子力学会 2022 年春の年会での「FP の有効利用に関する研究 (3) 模擬合金に対する水素吸蔵評価法の検討」と題した発表で、核燃料部会賞（学会講演賞）を受賞いただき、誠にありがとうございます。

本研究は、使用済み燃料から得られる不溶解残渣としての白金族合金の有効利用を目指しており、中でも白金族合金の水素吸蔵性能を評価しております。特に、現在廃止措置中である 1F の燃料デブリを保管する際の水素発生対策に直接利用することを検討しております。発表当時は、まず水素吸蔵評価法を確立させるため、各種必要な準備や実験を行っていました。水素吸蔵評価装置の構築、模擬合金の作製、合金処理の検討。現在は、使用済み燃料から得られる合金を模擬した白金族合金に対して実際に水素吸蔵性能評価を行っており、本研究の前進に努めております。

私は福島県出身で、震災、事故を身近に経験した身からすれば本研究の意義は大変重要だと感じております。事故以降、原子力のイメージは明らかに低下しており、今後のエネルギー改革に向けて危機感を持たなければならないと感じています。そのためには、まず原子力に対して世間からの興味、関心を引かなければなりません。本研究はこれまで処分されてきた放射性廃棄物の有効利用ということで、躍進すればこれまでの原子力に対するイメージを変化させられ、「放射能＝危険」という世間からの疎外感を少なからず除けるのではないかと考えております。この研究をさらに進め、原子力の可能性が切り拓けるとともに、地元福島の復興にも繋げていきたいです。

最後に、本研究を行うにあたり、ご指導賜りました東京都市大学・佐藤勇教授をはじめとし、多くの方々に厚く御礼申し上げます。また本発表のシリーズである (1), (2) にそれぞれ携わっていただいた、新田旭さん、樽見直樹さんにも御礼申し上げます。今後の核燃料サイクル、福島廃炉における課題に貢献できるよう、研究に努めて参ります。



以上

2022 年度核燃料部会賞（学会講演賞）を受賞して

三菱原子燃料株式会社
小宮山 大輔

この度は、日本原子力学会 2022 年春の年会において、「PWR における冷却材喪失事故（LOCA）後の燃料耐震評価に係る検討ーフルサイズ燃料グリッド向け LOCA 模擬高温酸化装置の製作ー」を核燃料部会賞（学会講演賞）に選出いただき、誠にありがとうございます。本研究は PWR5 電力の委託事業の成果となります。この場をお借りして、関係者の皆様に御礼申し上げます。

本研究は、PWR プラントにおいて冷却材喪失事故（LOCA）が発生した後の燃料集合体の耐震性、特に冷却可能形状維持の観点に着目した研究の一部であり、中でも燃料棒を保持するグリッドに着目したものとなっています。LOCA が発生すると、グリッドは高温・水蒸気雰囲気には曝されますが、万が一 LOCA 発生後に地震等が発生した場合でも燃料棒の保持機能が損なわれないことが求められます。しかしながら、フルサイズのグリッド（約 20 cm 四方）に対し、LOCA 時の雰囲気を模擬できるような大型の高温酸化炉は存在せず、LOCA 経験後のグリッドの特性データを取得できていませんでした。

このため、本研究では、フルサイズグリッドの高温酸化を可能とする装置の開発を行いました。装置開発においてグリッド材の高温酸化により発生する水素への対策や 20 cm 四方サイズの部材の均質昇温といった課題を解決した結果、グリッドの LOCA 時の温度履歴の再現に成功し、LOCA 経験後のグリッド特性データを取得することができました。

末筆ではございますが、本部会賞選考に関わってこられた核燃料部会の皆様に深く御礼申し上げます。この度の受賞を励みとし、今後も原子力の安全性向上及び高度化に貢献できる研究・開発に邁進していく所存です。



Ⅲ. 国際会議紹介

国際原子力機関「燃料の性能と技術に関するワーキンググループ」 (TWGFPT) 2022 年会合出席報告

電力中央研究所 尾形 孝成

IAEA の「燃料の性能と技術に関するワーキンググループ」(TWGFPT : Technical Working Group on Fuel Performance and Technology) は、核燃料分野の技術プログラムに対して助言と支援を行う専門家グループである。事務局は、Department of Nuclear Energy の Nuclear Fuel Cycle and Waste Technology/Nuclear Fuel Cycle and Materials Section が務めている。検討対象は、核燃料の性能と関連技術の現状と開発動向、炉心材料の研究開発、核燃料の設計・製造・利用、冷却材の化学、燃料挙動解析、品質保証などである。IAEA-TWGFPT の各国代表委員は一カ国に一名で、任期は 4 年である。報告者は、日本原子力学会核燃料部会運営小委員会の推薦を受けて、2020～2023 年の任期の日本代表委員を務めている。

会合は毎年 1 回 4 月頃に開催されるのが通例である。新型コロナウイルスの影響のため、2020 年と 2021 年の会合はリモート開催であったが、2022 年の会合は対面とリモートの併用で 4 月 5 日～7 日に開催された。各国代表委員 21 名、EC-JRC および OECD/NEA から各 1 名、オブザーバおよび説明者 6 名の計 29 名に加えて IAEA 事務局 8 名が参加した。このうち 21 名はリモートで参加した。今回新たに英国 NNL の Glyn Rossiter が議長に選任された。

以下、会合の概要を紹介する。

1. 各国、欧州共同研究センターJRC、OECD/NEA の核燃料に関する活動状況

韓国(KEPCO Nuclear Fuel Co Ltd.: Jae-Ik Kim)

KEPCO NF は、国内 23 基の PWR と 3 基の CANDU 炉に燃料を供給。PWR 用の次期 HIPER16 新型集合体に用いられる被覆管材 HANA-6 は耐食性に優れ、燃焼度 65GWd/t でも酸化膜厚さは 20 μ m 以下。政府の資金援助を得て、Cr コーティング被覆管と Si 添加ペレットから成る事故耐性燃料を開発中で、2025～2029 年に照射試験、2030～2032 年に許認可を得る計画。

中国(China National Nuclear Corporation: Yongjun Jiao)

53 基の原子炉(54646MWe)が運転中、16 基(17507.79MWe)が建設中。高温ガス炉を含む 4 基への燃料装荷が承認、2021 年 7 月に SMR の建設を開始。最初の EPR である Taishan 1 号機はサプライヤからの強い要望もあって停止中。EPR と VVER 一部を除く全ての原子炉(CANDU 炉や高温ガス炉を含む)の燃料は国内で製造。

日本(電中研: 尾形)

NEXIP 事業の一環として政府が国内燃料メーカー他による事故耐性燃料の開発を支援。日本原子力学会は事故耐性燃料の安全設計の研究のため ATF ワーキンググループを設置。JAEA を中心に燃料安全研究が継続。OECD/NEA や IAEA の燃料関連の国際共同プログラ

ムに、JAEA、電中研、燃料メーカー他が参加。SMR 用燃料開発としては高速炉用 He ボンド型金属燃料が挙げられる。

ベルギー(Tractebel ENGIE: Jinzhao Zhang)

2 サイトで 7 基の PWR が運転中。原子力発電電力量約 6000MWe は国内電力の約 50% を占める。2022~2025 年にかけて全基停止予定であったが、2022 年 3 月にドール 4 号機とティアンジュ 3 号機の 2035 年までの運転継続が決定。SMR など原子力研究開発は継続。ENUSA が製造した Cr コーテッド Zirlo 被覆管の事故耐性燃料の先行試験燃料棒を 2020 年 6 月にドール 4 号機に装荷、2021 年 11 月のオンサイト検査で健全性を確認。ENGIE ELECTRABEL & TRACTEBEL は OECD/NEA、IAEA および EU H2020 のプロジェクトに多数参加。ENGIE-CEA 協力でコードベンチマークなども実施。

ブルガリア(Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy: Mladen Mitev)

コズロドイ発電所で 2 基の VVER-1000 が稼働中。FeCrAl 被覆管や U3Si2 燃料などの事故耐性燃料の研究も実施中。IAEA CRP ATF-TS にも参加。2022 年 9 月に VVER 燃料の国際会議を開催予定。

チェコ(Research Institute in Husinec, ÚJV Řež, a. s.: Jan Klouzal)

デュコバニで 4 基の VVER-440、テメリンで 2 基の VVER-1000 が運転中。燃料はロスアトム燃料会社 TVEL から供給しているが、テメリンではウェスチングハウス社の LTA を装荷。デュコバニで 1 基の PWR の入札を始めたところ。デュコバニでは燃料破損はないが、テメリンでは平均して 1 サイクルに 4 本の漏えい燃料が生じたが、燃料集合体の設計改良により現在漏えいは減少しつつある。IAEA CRP ATF-TS や OECD/NEA FIDES など国際プロジェクトに参加して事故耐性燃料の研究を進めている。

ドイツ(Framatome GmbH: Petra-Britt Hoffmann)

3 基の PWR(1400Mwe、18×18 集合体、稼働率 93-94%)が運転中だが、2022 年 12 月で廃止予定。その他の PWR と BWR については廃止措置が進行中。活動中の原子力関係企業としては、ウラン濃縮を行う Urenco、燃料設計～製造を行う Framatome、研究開発機関である GRS、中間貯蔵事業を行う BGZ がある。大学やいくつかの研究機関も安全性、廃止措置、放射性廃棄物処理等の研究を進めている。

フィンランド(Radiation and Nuclear Safety Authority - STUK: Jenni Laine)

ロビーザで 2 基の VVER-440、オルキルオトで 2 基の BWR が運転中。オルキルオトでは 1 基の EPR が 2021 年 12 月に初臨界、2022 年 3 月に併入、現在 30%の部分出力運転中。ハンビビキでの 1 基の VVER-1200 の建設許可申請と安全審査が進行中。燃料は専ら海外の Westinghouse Sweden (WSE)、GNF/ENUSA、Framatome、および ROSATOM/TVEL から調達。地下処分研究施設 ONKALO の操業許可申請を 2021 年 12 月に提出。

フランス(CEA -Saclay: Thierry Forgeron)

現在 18 のサイトで 56 基の PWR が稼働中で、設備容量は 61.3GWe。フラマンビルで建設中の EPR1 基の燃料装荷は 2023 年第 2 四半期となる見通し。2020 年のエネルギー計画では 2020 年に停止したフェッセンハイムの 2 基を含む 14 基を停止していく計画であった

が、2022年2月の大統領談話では2050年までに新たに25GWeの新規設備の導入を目標とすることになった。研究開発としては、PWRによるマルチリサイクルやナトリウム冷却高速炉の研究を継続する方針。CEA-Framatome-EdFの協力により事故耐性燃料ATFの研究開発を進めており、2023年にはATFの先行試験集合体をEdFのプラントに装荷する計画。FramatomeのATFを装荷した先行試験集合体GAIAは米国のプラントで1サイクル(18か月)の照射を達成した。Framatomeは5%超の濃縮度ウラン燃料に関するコードと手法に関するトピカルレポートのレビューをNRCに提出し、受領された。TaishanのEPRの燃料集合体で生じた技術上の問題点はEPRの設計に疑義を呈するものではなく、既にフランスのプラントで判明している現象であるとEdFが言明。

ロシア(JSC «TVEL» Rosatom: Alexey Gusev)

11サイトで37基29.4GWeが稼働中。ロシア初の海上浮揚式原子力発電所(電気出力35MWeのKLT40Sを2基搭載)、Na冷却高速炉BN-800を含む。2基のVVER-1200と鉛冷却窒化物燃料高速炉BREST-300を建設中。ROSATOMの燃料会社TVELは、世界の核燃料供給の17%を占め、ATFの試験や高速炉用MOX燃料などの製造も行っている。

スロバキア(Úrad jadrového dozoru SR: Michal Melichárek)

2サイトで4基のVVER-440が稼働中、2基のVVER-440を建設中、2基のVVER-440が廃止措置中。ウランの供給元は露TVELと仏ORANOが半々だが、燃料製造はTVELのみ。

スウェーデン(Westinghouse Electric Sweden AB: Mattias Puide)

3サイトでBWR4基とPWR2基が稼働中。鉛冷却窒化物燃料高速炉のSMRであるSEALER-55を2030年までに建設するため、スウェーデン政府は電気加熱のスケールモデルSEALER-Eの建設に99Mクローネを出資(SOLSTICEプロジェクト)。また、SEALER-55の実証炉建設の準備(安全設計、材料開発、燃料開発など)にスウェーデン戦略研究財団が50Mクローネを出資(SUNRISEプロジェクト)。2022年1月にスウェーデン政府はフォルスマルクの最終直接処分場とオスカーシャムのキャニスタ封入施設の建設許可を決定。

スペイン(Enusa Industrias Avanzadas: José Manuel Alonso Pacheco)

PWR6基とBWR1基が稼働中で、運転サイクルは1基が12ヶ月、5基が18ヶ月、1基が24ヶ月である。

ウクライナ(ENERGOATOM: Oleg Godun)

4サイトでVVER-4402基とVVER-100013基が稼働中で、発電電力量に占める原子力の割合は52%である。国営のエネルゴアトム社が全ての原子力発電所を運転している。VVER-1000の燃料集合体の約60%はTVEL社製で、残りはウェスチングハウス社製である。今後全てのVVER-1000の燃料をウェスチングハウス社製の燃料にしていく予定であり、VVER-440でも2022年以降はTVEL社製の燃料は装荷しない予定である。

スイス(Paul Scherrer Institute: Johannes Bertsch)

2017年5月の国民投票の結果、原子炉の新設・リプレースが法的に禁止され、段階的脱原子力を進めていくこととなっている。現在PWR3基とBWR1基が稼働中。Crコーティ

ング被覆管のガスゲン炉での照射(Imago プロジェクト)、シンクロトロンを利用した高燃焼度燃料ペレットの転位分布の測定、中性子ラジオグラフィを用いた被覆管内の水素化物の分布の測定などの研究も実施中である。

英国(National Nuclear Laboratory: Glyn Rossiter)

電源構成に占める原子力発電割合は漸減しており、2021年の原子力発電電力量 45.9TWh は 1982 年以来最低であった。現在、10 基の AGR と 1 基の PWR が稼働中で、AGR の燃料はウェスチングハウス社、PWR の燃料は Framatome 社から供給されている。ヒンクリーポイント C で 2 基の EPR が建設中、サイズウェル C とブラッドウェル B で新規建設計画が進行中である。ビジネス・エネルギー・産業戦略省 BEIS のエネルギーイノベーションプログラムの一部である先進燃料サイクルプログラムの中で、様々な形態の燃料および燃料サイクルの研究を進めている。Pu をリサイクルするとの政府の方針の下で、Pu の軽水炉あるいは CANDU 炉での利用や金属燃料高速炉 PRISM での利用などが検討されている。

米国(INL: Pavel Medvedev)

現在 BWR 31 基、PWR 62 基の計 93 基が稼働中で、内 47 基が 40 年以上運転している。

ブラジル(ELECTRONUCLEAR: Renata Wolter dos Reis Nery)

PWR 2 基が稼働中、PWR 1 基が建設中。これまで、デブリ、(おそらくは)バッフルジェット、被覆管腐食に起因した燃料漏えいが発生。乾式貯蔵施設を建設し、最初の搬入キャンペーンが 2021 年 3 月に始まり、2022 年 3 月に完了した。

アルゼンチン(Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA: Luis Alvarez)

圧力容器型重水炉 PHWR 2 基(アトーチャ 1・2 号)と CANDU 炉 1 基が稼働中。25MWe の SMR である CAREM を建設中。アトーチャ 2 号の燃料を天然ウランから微濃縮ウラン(0.85%)にするプロジェクトが進行中

カナダ(Canadian Nuclear Laboratories (CNL: Jeff Armstrong)

19 基の CANDU 炉が稼働中。地層処分場の選定に向けたプロセスが進行中。

欧州共同研究センターEC/JRC(JRC: Paul Van Uffelen)

EC/JRC では、INSPIRE、McSAFE(R)、R2CA、IL TROVATORE、PATRICIA などの欧州プロジェクトに参加している。IAEA 関連では国際共同研究 FMFR および ATF-TS に参加しており、OECD/NEA 関連では専門家会合(EGRFP と EGIFE)および国際共同プロジェクト FIDES などに参加している。

OECD NEA(Michelle Bales)

NEA の燃料関連の活動は、原子力施設安全委員会 CSNI の燃料安全ワーキンググループ WGFS、原子力科学委員会 NSC の燃料性能に関する専門家会合 EGRFP、およびいくつかの共同プロジェクト：FIDES、QUENCH-ATF、CIP、SCIP 他で行われている。EGRFP ではペレット-被覆管機械的相互作用 PCMI のベンチマーク解析を行うとともに、急速なガス放出に関するベンチマークの立上げを検討中。WGFS では以下のレポートを準備中あるいは作成中である。

- Technical Opinion Paper on safety criteria for accident tolerant fuels: TOPATF (NEA

7576),

- RIA fuel code benchmark synthesis report (NEA 7577),
- State of the art report on nuclear fuel behavior under RIA conditions (NEA 7575),
- State of the art report on nuclear fuel behavior under LOCA conditions (NEA 7483),
- Status Report on Fuel Safety Implications of Extended Enrichment and High Reactivity/High Suppression Core Designs,
- Status Report on Good Practices for Analyses of Design Extension Condition without Significant Fuel Degradation (DEC A) for Operating Nuclear Power Plants,
- Report on Development of a Validation Matrix and Database of RIA related Experiments.

2. 燃料分野における積層造形技術の適用(Framatome: P. Guillermier, CEA : T. Forgeron)

Framatome 社では、設計最適化、機能付加、迅速なプロトタイプ製作などの可能性に着目して積層造形(AM: Additive Manufacturing)技術の燃料部材製造への適用を検討している。機械的強度変化、腐食、寸法安定性などを確認するため、ガスゲン炉の制御棒案内管に AM 材を挿入して 2019 年から 5 サイクル照射中である。AM で製作したチャンネルファスナーをブラウنزフェリー2号機(BWR)の集合体に装着して 2020 年から 3 サイクル照射中で、他の集合体部材にも AM の適用を検討している。AM の原子力分野への適用性を検討する欧州プロジェクト NUCOBAN も進んでいる。

Framatome 社では、上記の他、U-Mo 合金を燃料とした研究炉用板状燃料の製造に 3D プリンティング技術を適用しようとしている。U-Mo 合金を回転電極法によって粒径 10~150mm の粒子状とし、コールドスプレイ法やレーザー粉末床熔融結合法(PBF)で成型する。

CEA では、形状や組成の設計幅を広げるため、燃料ペレットへの AM の適用を検討している。

3. IAEA 共同研究プロジェクト CRP の状況

Fuel Materials for Fast Reactors : FMFR (電中研 : 尾形)

ナトリウム冷却高速炉の燃料照射挙動に関する知見の共有のため、日米仏韓印の 5 か国と EU から 8 機関が集まり、高速炉燃料(酸化物燃料と金属燃料)照射データの供出とベンチマーク解析を進めている。2022 年 1 月の諮問会合で各機関の進捗を確認し、2022 年 10 月の運営会議で各機関の分担分の報告を持ち寄り、2023 年 3 月までに報告書のドラフトを作成する計画。

Testing, Modelling and Simulation of Accident Tolerant and Advanced Technology Fuels: ATF-TS (Tractebel ENGIE: Jinzhao Zhang)

事故耐性燃料 ATF の技術向上のため、参加機関が各々の ATF 用被覆管材料を持ち寄り、炉外加熱試験等のデータを取得し、これらおよび既存のデータを用いたベンチマーク解析、モデリングなどを実施する。炉外加熱試験の一部には電中研の炉外加熱試験設備 DEGREE

が用いられる。実施期間は 2021 年～2024 年。

4. 貯蔵時の燃料挙動に関する研究(IAEA: Laura McManniman)

燃料技術に関するワーキンググループ TWGFPT と燃料サイクルに関するワーキンググループ TWGNFCO の境界分野となる貯蔵時の燃料挙動に関する IAEA の取り組みについて IAEA 事務局が紹介した。BEFAST や SPAR などの過去の共同研究プロジェクトは IAEA の TECDOC として発行されており、現在は 2 つの共同研究プロジェクト : Spent Fuel Characterization (SFC) と Spent Fuel Research & Assessment (SFERA) を進めている。SFC では放射性物質の組成や崩壊熱のデータライブラリの不確かさの影響や使用済燃料の熱的挙動に関するシミュレーションなどを検討している。2021 年には Phenomenology, Simulation and Modelling of Accidents in Spent Fuel Pools (IAEA-TECDOC-1949) を発行した。この分野の研究については、今後も 2 つのワーキンググループが連携していく。

5. SMR 用燃料の開発状況

SMR 燃料の設計・製造・照射挙動に関する技術会合(IAEA: K.S. Sim)

2021 年 10 月に、Technical Meeting on the Design, Fabrication and Irradiation Behaviour of Small Modular Reactor Fuels をリモートで開催した。水冷却炉およびナトリウム冷却炉については SMR 用燃料としての関心は低く、高温ガス炉と熔融塩炉については IAEA で共同研究プロジェクトの立上げを検討することとした。

SMR の安全性に関する OECD/NEA/CSNI の活動(OECD NEA: M. Bales)

SMR の安全性の実証に関する検討を行うため、Expert Group on Small Modular Reactors(EGSMR)を立上げ、2022 年 1 月に最初の会合を開催した。15 か国と EC から 27 名が参加し、加仏独日蘭米瑞および IAEA がコアグループを作っている。また、WGFS では、先頃とりまとめた Technical Opinion Paper on ATF (TOPATF)を踏まえて、濃縮度増大・高反応度の炉心設計における燃料安全性に関する報告書を作成するためにタスクグループを設置した。

McSAFER プロジェクトの概要 (KIT: V.H. Sanchez-Espinoza、他)

欧州プログラム H2020 の McSAFER プロジェクトでは、水冷却 SMR の安全評価のための解析手法の高度化と実験を進めている。評価対象として F-SMR、CAREM、NuScale、SMART が選ばれている。実験は、燃料集合体や蒸気発生器を対象とした熱水力学的なものが中心で、限界熱流束の測定などが行われている。解析では、例えば、3次元動特性解析や炉心解析—サブチャンネル解析—燃料挙動解析を結合したピン毎の燃焼解析などが試みられている。

各国の SMR 用燃料の研究開発の状況

韓国、ロシア、英国、フィンランド、アルゼンチン、米国、カナダの代表委員から、各国の SMR の研究開発の概要とそれらに使用される燃料の仕様などについて報告があった。米国からは HALEU の供給能力について説明された。

6. 加圧水型重水炉燃料の状況(CNL: Jeff Armstrong)

本会合の開催に先立ち、アルゼンチン、カナダ、中国の3か国の代表委員と IAEA 事務局が集まって、各々の加圧水型重水炉燃料の研究開発状況を共有した。IAEA の次の2ヶ年計画(2024~2025年)に対して、加圧水型重水炉燃料の改良に向けた設計・製造・照射・照射後試験に関する活動を提案することとした。

7. 燃料漏えいデータのとりまとめ状況について

IAEA では水冷却炉での燃料漏えいデータを集めて数年毎に報告書を発行してきたが、2016年~2020年間の燃料漏えいデータの収集が難航している。燃料漏えいデータの収集には事業者の協力が不可欠であるため、収集データの簡素化や各国 IAEA 代表部を通じて口上書の発出などを行ったが、不首尾に終わっている。また、集まった燃料漏えい例の多くで原因が同定されていない点も課題となっている。WANO が各発電所から収集している運転データから燃料漏えい事例を収集することも考えられるが、燃料の信頼性の観点から十分な情報量が得られるかどうか不明である。2022年12月に予定している諮問会合において、データ収集方法や漏えいの原因の究明の見とおしなどを議論することとした。

8. 事故耐性燃料の開発の状況(Nuclear Energy Institute: Aladar A. Csontos)

米国原子力産業界の政策的および技術的課題に対する窓口である NEI は、米国の電子力発電事業者から成る Accident Tolerant Fuel Working Group (ATFWG)を組織し、ATFに関する産業界の方針を先導している。また、5%超濃縮度と高燃焼度を伴う ATF の許認可の加速といった課題にも取り組んでいる。コーティング被覆管や Cr 添加ペレットなどを含むいくつかの概念の ATF の商用炉における照射が進行中であり、今後、国立研究所における照射後試験を行う計画である。ATF がバックエンドに与える影響に関する EPRI ワークショップでは、大きな課題は指摘されなかったが、高濃縮度かつ高燃焼度の燃料に関するデータの必要性が指摘された。

9. IAEA における 2021年9月~2022年4月の活動状況(事務局)

2021年 TWGFPT 会合の開催、HotLab 2021 や TopFuel 2021 など国際会議の共催、教育支援、OECD/NEA 専門家会合への参加、核燃料工学に関する e-ラーニング教材の開発などの他、以下の技術会合 TM(リモート)および諮問会合 CM(リモート)を開催した。

- TM on Design, Fabrication and Irradiation Behaviour of Small and Modular Reactor Fuels, 18-22 Oct. 2021
- TM on Technical Challenges and Advances in Fuel Fabrication for Water Reactors: Recent Experience and Future Prospects, 08-10 Nov. 2021
- TM on Ageing Management and Life Extension of Nuclear Fuel Cycle Facilities, 6-10 Dec. 2021

- CM to develop a TECDOC on U Pu Oxide Fuel Design, Operations & Management, 27-29 Oct. 2021
- CM on the Status and Trends of Nuclear Fuel Technology for Fast Reactors, 2-4 November 2021
- CMs to discuss the follow up actions of the Technical Meeting on Advances in Post Irradiation Examination Techniques for Power Reactor Irradiated Fuels and Innovative Fuels, 15-16 Nov. 2021/9-11 February 2022
- CM to Develop a Nuclear Energy Series Guide on Fuel Reliability and Performance in Water Cooled Reactors, 6-8 Dec. 2021
- CM on Fuel Materials for Fast Reactors, 25-27 January 2022
- CM on the Simulation of Nuclear Fuel Cycles for Generation IV Reactors, 9-11 February 2022
- CM on In-Reactor Structural Behaviour of Fuel Assemblies for Water Cooled Reactors, 22-24 February 2022
- CM to develop a Draft IAEA TECDOC on Coated Particle Fuels for High Temperature Gas Cooled Small Modular Reactors, 14-17 March 2022

10. IAEA における 2022 年～2023 年の活動計画(事務局)

2022 年の技術会合 TM、諮問会合 CM および国際会議共催の計画は次のとおり。()内は予定期日。

- TM on the Life Management and Modernization of Fuel Fabrication and Fuel Reprocessing Facilities (22-26 August 2022)
- TM on In-Reactor Structural Behaviour of Fuel Assemblies for Water Cooled Reactors (24-28 October 2022)
- TM on Safety aspects with development and qualification of high burn-up fuels for water cooled reactors (12-16 December 2022)
- TM on Plasma Physics and Technology Aspects of the Tritium Fuel Cycle for Fusion Energy (10-13 October 2022)
- CM to Develop the Draft of an IAEA Technical Document on “The Long-Term Operation of Nuclear Fuel Cycle Facilities”, (16-18 May 2022)
- CM to Develop the Nuclear Energy Series Document on Fuel Reliability and Performance (6-10 June 2022)
- CM to Develop a Draft IAEA Technical Document on Uranium-Plutonium Oxide Fuel Design, Fabrication, Operation and Management (27–29 June 2022)
- CM to Develop a Draft IAEA Technical Document on the “Technical Challenges and Advances in Fuel Fabrication Technology for Water Reactors” (19-20 July 2022)
- CM to Develop a Draft IAEA NES Document on Nuclear Fuel Technologies for Liquid

Metal Cooled Fast Reactors (4-7 July 2022, 14-17 November 2022)

- Series of CMs to Review the Draft e-learning modules on Nuclear Fuel Engineering, Fabrication and Behaviour (Q3 and Q4 2022)
- CM to Draft the Nuclear Energy Series publication “Review of Fuel Failures in Water Cooled Reactors (2016–2020)” (5-9 December 2022)
- CM on the Challenges and Opportunities for Reprocessed Uranium Fuels: Fabrication and Performance Assessment, to exchange information on current situation and future trends on Rep U fuel technologies, including fabrication and performance assessment, for developing an IAEA NES on Rep U fuel technologies (12-16 December 2022)
- CM to develop infographics for NCF Data and PIE data (Q4 2022)
- 15th International Conference on CANDU Fuel, Canada (Ajax), 21-24 August 2022
- Sixth International Workshop on Structural Materials for Innovative Nuclear Systems (SMINS-6), USA (Idaho Falls), 12-16 September 2022
- 14th International Conference on WWER Fuel Performance, Modelling and Experimental Support, Bulgaria (Nessebar), 18-24 September 2022
- 59th Annual Meeting on Hot Laboratories and Remote Handling (HOTLAB 2022), UK (Manchester), 25-29 September 2022
- 27th International QUENCH Workshop, Germany (Karlsruhe), 27-29 September 2022
- TOPFUEL 2022: Light Water Reactor Fuel Performance Conference, USA (Raleigh), 9-13 October 2022
- 2022 Nuclear Materials Conference (NuMAT 2022), Belgium (Ghent), 24-28 October 2022

2023 年の技術会合 TM および諮問会合 CM の計画は次のとおり。(一部 2024 年)

- 21st Meeting of the Technical Working Group on Fuel Performance and Technology, (17-21 April 2023)
- CRP ATF-TS: Intermediate CM to review the progress and interim results of ATF-TS CRP (継続)
- CRP FMFR: CM to prepare the draft TECDOC “Fuel Materials for Fast Reactors. Final Report of a Coordinated Research Project (FMFR)” (early March 2023)
- TM of coordinators of Nuclear Fuel cycle Facilities Information system for updating and feedback on operating experience at NFCFs.
- TM on Ageing management and life extension of Hot cell facilities.
- CM to discuss the content of the new CRP “SMR Fuel Development, Modelling and

Qualification”.

- CM to prepare the draft NES Guide “Quality and Reliability Aspects in Nuclear Power Reactor Fuel Engineering” (Guidance and Best Practices to Improve Fuel Reliability and Performance in Water-Cooled Reactors).
- CMs to prepare and finalize the draft TECDOC “Advances in Post-Irradiation Examination Techniques for Power-Reactors Irradiated and Innovative Fuels”.
- CM to finalize the NES report “Nuclear Fuel Technologies for Liquid Metal Cooled Fast Reactors (LMFRs)”
- CM to prepare the draft TECDOC on the “Structural Behaviour of Fuel Assemblies in Water Cooled Reactors”.
- CM on the Simulation of Nuclear Fuel Cycles for Generation IV Reactors.
- CM to finalize the TECDOC “Long Term Operation of Nuclear Fuel Cycle Facilities”.
- CM to prepare a draft IAEA Nuclear Energy Series Publication “Review of Fuel Failures in Water Cooled Reactors (2016–2020)”.
- CM to develop the terms of reference of the Technical Meeting on the “Advances in Control and Instrumentation for nuclear Fuel cycle facilities”.
- CM on “Design, manufacturing, irradiation and PIE opportunities to improve PHWR fuel bundles/assemblies” to discuss topics of common industry interest across MSs (PHWR owners), including advanced fuel types (Th, repU, etc.), fuel design concepts, manufacturing improvements, demonstration irradiations/irradiation facilities and hot cell laboratory utilization, and to develop terms of reference for TM (2024).
- CM to develop the terms of reference of the Technical Meeting on “Design, manufacturing, irradiation and PIE opportunities to improve PHWR fuel bundles/assemblies” in 2024.
- CM to develop the terms of reference of the Technical Meeting on Developing BEPU (best estimate plus uncertainty) methods in fuel licensing in 2024.
- CM to develop the terms of reference of the Technical Meeting on Spent fuel behaviour and modelling (together with SNFM team) in 2024.
- CM to develop the terms of reference of the Technical Meeting on Failure criteria (RIA/LOCA) in 2024

11. 2024-2025 年の計画に関する議論

IAEA の活動計画は 2 年毎に決定され、次のフェーズは 2024-2025 年となる。次のフェーズの予算は 2023 年秋の IAEA 総会で承認を受けるため、次回の TWGFPT 会合にて、より具体的な活動計画案を検討することになる。今回事務局から次フェーズの活動計画案の概要として次の案が示され、承認された。

【新規共同研究 CRP】

- Fuel Modelling Exercises for HTGR, including SMR (FUMEX-IV)
- Standardization of small sample preparation (for innovative types of fuel including ATF and SMR fuel), transport and determination of mechanical properties

【技術会合 TM および諮問会合 CM】

- ATF testing, modelling and simulation. Industrialization. 2024 (after completion of the ATF-TS CRP)
- Fuel reliability and performance, in 2023 or 2024 (after finalization of the technical guide)
- Design, manufacturing, irradiation and PIE opportunities to improve PHWR fuel bundles/assemblies in 2024, to start developing a technical document
- Failure criteria (RIA/LOCA) (potentially, after CM in 2023)
- Developing BEPU (best estimate plus uncertainty) methods in fuel licensing
- Spent fuel behaviour and modelling

12. 終わりに

予定されている諮問会議 CM や技術会合 TM に参加希望の場合は、報告者に連絡してください。TM での発表や TECDOC 作成への協力が前提になる場合がありますが、IAEA 事務局との相談により参加できることがあります。

また、TWGFPT 会合の資料をご覧になりたい方は、尾形に連絡してください。

以上

(2022年12月2日記)

「NuMat2022」の報告

電力中央研究所 中森 文博、太田 宏一

1. 概要

2022年10月24日（月）から28日（金）までベルギーのヘント市にある「ヘント国際会議場（Gent ICC - International Convention Center）」において「NuMat2022」（図1[1]）が開催された。NuMat: The Nuclear Materials ConferenceはElsevier主催でJournal of Nuclear Materialsに関連して設立された国際会議である。本国際会議は、核分裂炉や核融合炉、核燃料サイクル全体に関連する原子力材料科学に関する研究を発表・議論することを目的としている。2年に1回開催されており、COVID-19による世界的なパンデミックの影響で、前回（2020年）はオンラインで開催され、今回は4年ぶりの対面開催となった。

前回のオンライン開催（500件を超える発表）に対して、対面開催であることから参加者の大幅な減少が想定された。しかしながら、世界各国の渡航規制が緩和されつつある環境下であったこともあり、InvitedやPlenary含め380件を超える多くの講演・発表が行われ、盛況な会議となった。オーラルセッションは各日の発表件数に合わせて、5または6会場設けられた。また、ポスターセッションは3日間に分けられ、連日活発な議論や意見交換が行われた。

会議のトピックスとしては従来からの構造材料や燃料、被覆管などに加え、Numat2022では「セメントおよびセラミックス」、「ポリマー」および「先進的製造（Advanced manufacturing）」に特化したセッションも開催された。具体的には、ペDESTAL（コンクリート）への放射線による影響を検討したものや、近年注目されている「積層造形（AM: Additive Manufacturing）」によるデブリフィルターの製造などに関する発表があった。



図1 NuMat2022 のバナー（NuMat2022 のホームページ[1]より抜粋）

報告者らが参加した燃料に関するセッションである Track 2 Fuel systems (Track 2A Cladding materials including coating, Track 2B Fuel materials,

absorbers and fuel cladding interaction) に関して俯瞰すると、被覆管に関するトラック (Track 2A) では Accident tolerant fuel (ATF) に関する発表が多かった。発表テーマは、Cr コーティング、FeCrAl 合金および TRISO 燃料の順で発表件数が多かった。燃料に関するトラック (Track 2B) では、Cr 添加 UO₂ 燃料や窒化物燃料と硼化物燃料の複合材による ATF に関する発表もあったが、現行の軽水炉燃料や高速炉用燃料、核変換ターゲットなどを含む様々な概念を対象とする発表が行われた。また Track 2 の発表を包括的に見ると、軽水炉用 ATF の研究が盛んであることに起因し、多くの発表が「軽水炉」を対象としていた。一方で高温ガス炉や、金属燃料高速炉などを対象とした研究もあった。

次章から、NuMat2022 の統計情報と報告者らが参加したセッションの講演内容を紹介する。

2. 統計情報

オンラインで公開されている Programme および Participants list[2] の情報をまとめた。表 1 にトラック別の講演・発表件数、図 2 に国別の講演・発表者数の割合、表 2 に国別の発表者数の一覧を示す。

表 1 より、燃料材料や被覆管関係の講演・発表が合計で 177 件であり、全体の半数以上であることがわかる。発表件数が多いトラックは、2 会場に分けて実施されており、被覆管に関するトラックは大方 1 会場で開催されていた。

図 2 と表 2 より、UK、France、USA に次いで日本からの講演・発表者数が 4 番目に多かった。日本からの講演・発表者は大学に所属する方 (学生を含む) が大半を占めていた。

表 1 トラック別の講演・発表件数
(Programme[2]を参考に作成した。)

| No. | トラック名など | 件数 |
|--------------------------|---|-----|
| 1 | Metallic alloys for structural components | 125 |
| 2 | Fuel materials, absorbers and fuel cladding interaction | 118 |
| 3 | Cladding materials Including coatings | 59 |
| 4 | Refractory metallic materials | 32 |
| 5 | Cement & Ceramics | 22 |
| 6 | Advanced manufacturing | 13 |
| 7 | Polymers | 6 |
| 8 | Plenary など | 9 |
| 合計 (Invited, Plenary 含む) | | 384 |

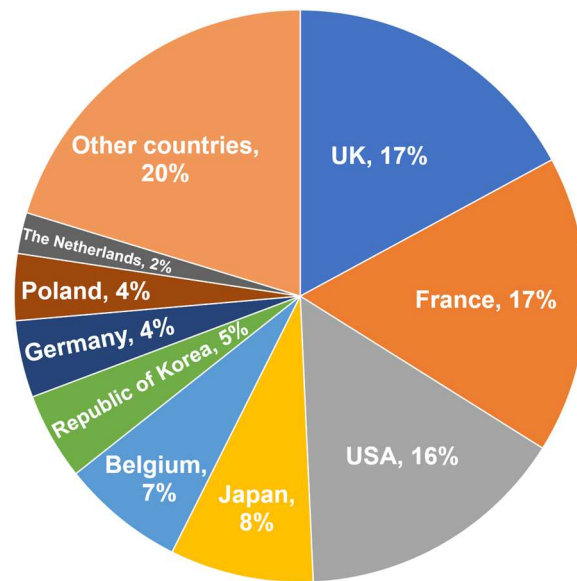


図2 国別の講演・発表者数の割合
 (Participants list[2]を参考に作成。参加者数が7名以下の国はOther countriesに統合。)

表2 国別の講演・発表者数
 (Participants list[2]を参考に作成。複数の所属を有する場合、第一所属機関の国のみをカウント。)

| No. | 国名 (アルファベット順) | 講演・発表者 (Presenters) 数 |
|-----|------------------|-----------------------------|
| 1 | Australia | 2 |
| 2 | Austria | 3 |
| 3 | Belgium | 24 |
| 4 | Canada | 5 |
| 5 | China | 1 |
| 6 | Czech Republic | 4 |
| 7 | Egypt | 1 |
| 8 | Finland | 7 |
| 9 | France | 58 |
| 10 | Germany | 15 |
| 11 | Greece | 1 |
| 12 | Hungary | 1 |
| 13 | India | 5 |
| 14 | Italy | 5 |
| 15 | Japan | 28 |
| 16 | Kazakhstan | 6 |
| 17 | Nigeria | 1 |

| | | |
|----|----------------------|-----|
| 18 | Poland | 13 |
| 19 | Republic of Korea | 17 |
| 20 | Romania | 1 |
| 21 | Singapore | 1 |
| 22 | Slovakia | 4 |
| 23 | South Africa | 2 |
| 24 | Spain | 6 |
| 25 | Sweden | 5 |
| 26 | Switzerland | 7 |
| 27 | The Netherlands | 8 |
| 28 | Turkey | 1 |
| 29 | UK | 59 |
| 30 | United Arab Emirates | 1 |
| 31 | USA | 53 |
| 合計 | | 345 |

3. 講演内容

報告者らが参加した燃料材料および被覆管などに関するセッションなどの講演内容を紹介する。Plenary session などに関しても燃料および被覆管にフォーカスして紹介する。

【ST, Plenary session】

初日のオープニングセッションおよび各日の朝から1件ないし2件、合計で9件のプレナリー講演が行われた。各トラックなどに関連して、その先駆的な成果やプロジェクトなどに関する紹介があった。

初日に IAEA から、加盟国に対して行っている既設および将来の革新的原子炉に関する燃料の開発支援に関する紹介が行われ、新たな Coordinated Research Project (CRP) として、Small Modular Reactor (SMR) と Advanced reactor (先進的原子炉) のための燃料開発をターゲットすることが紹介された。2023 年に募集を行い、2024 年から開始する予定とのことであった。

3 日目にオークリッジ国立研究所から ATF である FeCrAl 合金に関する取り組みの紹介があった。現在まで実施されてきた Cr や Al の含有率を変更した合金の性能に関する結果などが示された。また関連する技術の紹介として、FeCrAl-ODS に関して簡単な紹介があった。

4 日目にソウル大学から NRC のガイドラインに基づいた LOCA 後の Cr コーティング Zr 合金製被覆管の延性評価などに関する紹介があった。Cr-Zr 合金界面の EPMA による Cr の拡散の評価や、DSC による共晶反応の評価といった基礎的な観点からも考察されており、Cr コーティングによる ECR の低減量や脆化限界までの時間的変化など多岐に渡って検討・試験された結果が報告された。

その他には、VTT から現在 Euratom プロジェクト “Nuclear Components by Additive Manufacturing” (NUCOBAM) が行われており、原子力分野向けの積層造形による SUS316L 製の部品製造のガイドラインを作成していることなどの紹介があった。

【Track: Cladding materials including coatings】

本トラックではコーティングを含む被覆管材料に関する発表が実施された。

発表内容としては、①Cr コーティング Zr 合金、②FeCrAl 合金、③TRISO 燃料に関する発表の順で、多く見受けられた。引き続き各国、各機関で事故耐性燃料の研究ニーズが高いものと推察される。また他には、Zr 合金の点欠陥、転位密度などの原子レベルの挙動をより詳細あるいは簡単に把握するために、X線ラインプロファイル解析の分析条件を検討したものや、密度汎関数理論の計算結果をニューラルネットワークの利用によって導き出す研究などの発表があった。

Cr コーティング Zr 合金の研究では、Cr と Zr 合金の界面に生成すると想定されている $ZrCr_2$ などの化合物の安定性などを議論したものがあつた。また特徴的な研究として、「BWR 用のコーティング材」を検討したものがあつた。多くの発表で取り扱われている Cr コーティングは PWR での使用をターゲットとしたものであり、Cr 単体でのコーティングは酸素濃度の高い BWR では表面に形成した Cr_2O_3 が冷却材に溶出し続けることから使用できないと考えられている。そこで、BWR 用のコーティング材として CrN-NbN を検討した研究が報告されていた。スウェーデンのチャルマース工科大学によるもので、Zr 合金はウェスティングハウスから HiFi 合金の提供を受けているようであつた。

FeCrAl 合金では Cr-rich なプライム相の形成、析出が被覆管の機械的物性に悪影響を与えることが想定されており、その影響を評価したものや形成挙動を検討したものがあつた。また、オークリッジ国立研究所の研究者によるプレナリーセッションでの講演でも紹介があつたが、FeCrAl 合金の有望材・組成は、C26M (Fe-12.2Cr-6.1Al-2.04Mo) や APMT (Fe-21Cr-5Al-3Mo) などがあげられ、Mo も含まれている。興味深い内容として、GE Research から BWR での通常環境下 (NWC) と水素注入環境下 (HWC) における FeCrAl 合金の酸化挙動を評価した研究が発表された。FeCrAl 合金の酸化特性に関しては Mo の影響は少なく、Cr と Al のバランスが重要であることが報告された。

【Track: Fuel materials, absorbers】

2 日目から始まった燃料に関するセッションでは、Cr 添加燃料中の粒子成長に対する初期 UO_2 粉末の化学量論の影響や窒化ウラン (UN) とホウ化ウラン (UB_2) の複合燃料など、ATF 燃料の開発に関する発表が数件あつたほか、 UO_2 燃料の LOCA 時

の組織変化や 60%を超える高濃度 Pu 含有 MOX 燃料の製造方法、UN の耐酸化性向上策の検討、金属燃料 (U-Pu-Zr) 合金の照射による Zr 成分の径方向移動など、現行の軽水炉用燃料だけでなく、高速炉燃料および核変換ターゲットなどを含む様々な燃料概念を対象とする製造法の開発や照射試験の実施、さらに数値解析モデルの提案など、多岐にわたる研究開発の進捗が報告されていた。

また、燃料デブリ試料を加熱することによって発生するエアロゾルの化学組成の分析や溶融固化燃料 (コリウム) の EPMA や回折法を用いた分析結果等、事故燃料の性状に関する報告も含まれていた。

今後、発表論文の一部は Journal of Nuclear Materials に投稿され、通常の査読プロセスを経て、特別号としてリリースされる。

参考文献

- [1] Elsevier, “NuMat2022: The Nuclear Materials Conference”, Elsevier, <https://www.elsevier.com/events/conferences/the-nuclear-materials-conference> (cited 2022 November 25)
- [2] Elsevier, “NuMat2022: Programme”, Elsevier, <https://www.elsevier.com/events/conferences/the-nuclear-materials-conference/program> (cited 2022 November 25)

以上

IV. 国際交流ニュース

“STUDIES IN JAPAN”

23/11/2022

Tokyo City University

First year graduate student: Haoxin Wang

Supervisor: Prof. Dr. Isamu Sato

I still look back on my first day in Japan to this day. It was a 2016 afternoon when I set foot alone in this new country for me. My study trip to Japan began.

Studying Japanese

I had already learned Japanese in China for half a year before coming to Japan and passed the JLPT (Japanese Language Proficiency Test) N3 test, but that was not enough, so after I arrived to Japan, I reached the Japanese language school like everybody else. To be honest, my time at the language school was pretty relieved, with simply two Japanese classes in the morning and evening with intermediate free time. During those days, I used to walk around the streets of Tokyo with my friends after school to experience this strange country and culture, and it excited me in everything. The two things I remember most were going to Fujikyu High Land with my friends and watching Jacky Cheung's concert in Tokyo. Two years later, with the help of my language schoolteacher, I got my JLPT N1 paper and enrolled in Tokyo City University to start my College life in Japan.

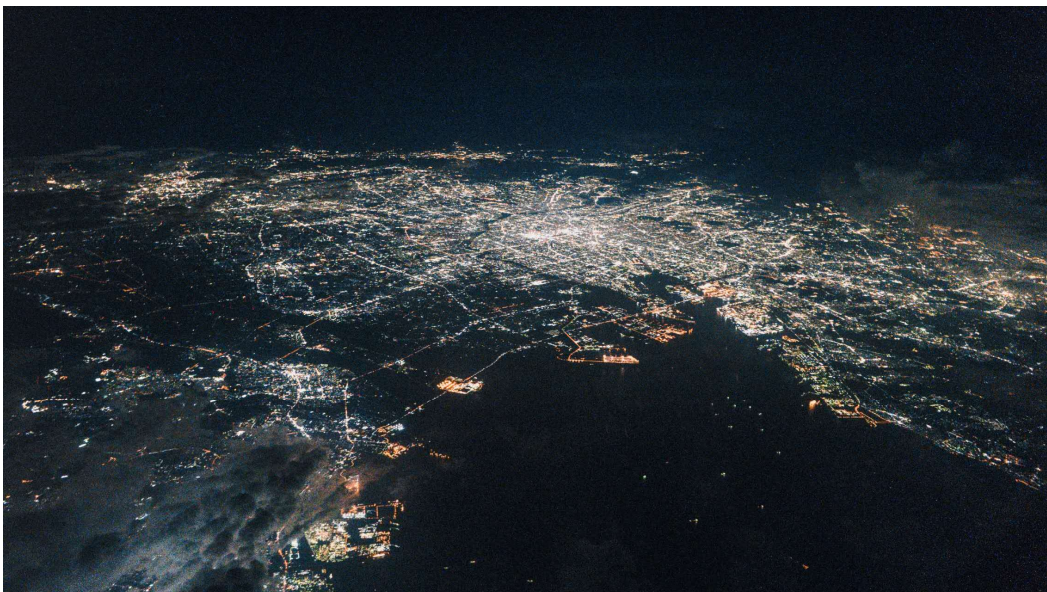


Fig. 1 Japan Day 1 (in airplane)

College life

When I began my college life, I was nervous and full of expectations, nervous because I was two years older than my classmates, and full of expectations about college life in a different country with a different culture. As it turns out, I thought too much. My classmates were polite and kind to me, and my college life was pretty colorful. I joined the school's astronomy club in my first year of college and go trip with them.

After that, the COVID-19 became serious from the second year, and the school's teaching method gradually changed from offline study to online teaching. Although the remote classes made various constraints, they finally adapted to this new learning method.

In the third year of college life, when I chose my own research lab, 'Prof. Sato's lab' to start my research career because of the course 'Example Research' ("JIREI KENKYU" in Japanese). Under the supervision of Professor Sato, I opened the gate of research and had my own project 'Evaluation of physical properties of simulated fuel alloy materials for passive reactor shutdown. In this project, my task was to find out and analyze the physical properties of the alloy. This was also the topic of my graduate paper.

At the opening, I easily thought that my task was just to find out the physical properties of the alloy, but that was not enough, as my rough made the experiment full of uncertainties. For example, I didn't like to writing the experiment plan before doing the experiment, so I always asked the professor for help in the experiment. Another example is that I am not in the manner of having notes of my experiments, which makes me unable to present paper quickly and efficiently in every meeting or when I want to review past results, etc. My immaturity contributed to many 'surprises' at the beginning of my research life. After that, I successfully completed my graduate paper under the supervision of Prof. Sato and began my master's course.

Master's Life

Compared to my college life, my master's life is relatively smooth, but every day is full. Mostly, I have to maintain a three-point life: the Atomic Energy Research Laboratory (belonging to Tokyo City University, located at Kawasaki City of Kanagawa Prefecture) at school, classes, and home. I have one more year left in my master's life, and I hope that I can finish my life in Japan in the remaining year without any regrets.

About my research

A new subassembly-type passive reactor shutdown device is proposed to expand the diversity and robustness of core disruptive accident prevention measures for sodium-cooled fast reactors (SFRs)[1]. In this research, the device with increasing power and temperature are utilized as a passive reactor shutdown device mechanism, and these simulated materials are selected and fabricated as alloy-based or salt-based fuel, and various physical properties are evaluated.



Fig. 2 Researching life

(Melting and falling-down test device for low melting point material)

References:

- [1] K. Morita et al., ICONE2021-64099.

V. 夏期セミナー報告

2022年 第32回 夏期セミナー開催報告

報告者：夏期セミナー幹事
高田 直之（日本原燃）

1. はじめに

2022年8月23日、第32回夏期セミナーを実施した。核燃料部会・夏期セミナーは、例年であれば対面で施設の見学ツアーを含む2日間の日程で開催しているが、今年は新型コロナの影響もあり、オンラインで1日みの開催となった。

2. 開催要領

開催要領は以下のとおりである。日程は、お盆にかかわらず、また大学及び学会のイベントと重ならないように配慮して決定した。

日時：2022年8月23日（火）

場所：オンライン方式（Web会議） 使用アプリ：WebEX

3. 参加者

62名の方から参加申し込みがあった。社会人、学生の内訳はそれぞれ社会人50名、学生12名であった。

また、学会員、部会員の内訳は下表のとおりであった。

| | | |
|-----------|-------|--------|
| 原子力学会員 | 非会員 | 不明 |
| 42名 | 16名 | 4名 |
| ↓ (内訳) | | |
| 核燃料部会 | その他部会 | 所属部会なし |
| 32名 | 6名 | 4名 |

4. 講演内容

4.1 講演プログラム

講演プログラムは表4のとおりである。講演数10件、延べ講演時間270分であった。講演内容は、例年の夏期セミナーと一味違ったテーマが多く、初めて参加された方から例年参加された方まで、満足度の高い講演が続いたと思われる。

表4 講演プログラム

| 時間帯 | 講演内容(講演者) |
|---------------|---|
| 9:30 - 9:35 | 事務連絡(事務局) |
| 9:35 - 9:40 | 開会あいさつ(加藤 部会長) |
| 9:40 - 10:20 | 「六ヶ所再処理工場の現状」(日本原燃 大竹氏) |
| 10:20 - 10:50 | 「六ヶ所再処理工場の新規制基準対応について」(日本原燃 玉内氏) |
| 10:50 - 11:00 | 休憩 |
| 11:00 - 11:30 | 「六ヶ所再処理工場のガラス固化試験について」(日本原燃 姫野氏) |
| 11:30 - 11:50 | 「海外返還廃棄物の歴史と現状(新規制基準対応)」(日本原燃 金梅氏) |
| 11:50 - 13:00 | 昼食・休憩 |
| 13:00 - 13:15 | 部会賞講演① 「マイナーアクチニド含有低放射燃料による高速炉リサイクルの実証研究(4) 非定常平流熱除去におけるペレット半径方向の熱伝導率測定技術の開発」(福井大学※ 岡崎氏) |
| 13:15 - 13:30 | 部会賞講演② 「Nb添加ジルコニウム合金の微細組織と元素分布に及ぼす照射の影響 ② Zrイオン照射に α -0.5Nb合金の原子プローブ分析」(電力中央研究所 中森氏) |
| 13:30 - 13:45 | 部会賞講演③ 「早期実用化に向けたPWR向け事故耐性燃料被覆管(コーティング被覆管)の開発② コーティング被覆管の製造試験」(三菱原子燃料 岡田氏) |
| 13:45 - 14:00 | 休憩 |
| 14:00 - 14:15 | 部会賞講演④ 「PWRにおける冷媒体喪失事故(LOCA)後の燃料棒燃焼評価に係る検査ツールサイズ燃料グリッド向けLOCA模擬高温酸化装置の製作」(三菱原子燃料 小宮山氏) |
| 14:15 - 14:30 | 休憩 |
| 14:30 - 15:10 | 「福島第一原子力発電所廃炉作業の現状と今後の取り組み」(東電HD IF 廃炉カンパニー 石川理事) |
| 15:10 - 15:30 | 休憩 |
| 15:30 - 16:20 | 「小型モジュール炉に関する国際動向」(電力中央研究所 堀尾氏) |
| 16:20 - 16:30 | 閉会あいさつ(佐藤 副部会長) |

※ 受賞当時の所属 現 東京工業大学

4.2 講演内容紹介

(1) 六ヶ所再処理工場の現状

再処理工程全般、廃棄物処理工程、各種試験の目的および原理を各論的な説明があった後、試験運転を実施する上でのスケジュールおよび現在の状況について紹介があった。

(2) 六ヶ所再処理工場の現状

2011年の福島第一原発の事故を受けた新規規制基準の概要およびそれに対する六ヶ所再処理工場での安全設計の対応状況について説明があった。

(3) 六ヶ所再処理工場のガラス固化試験について

高レベル放射性廃液を貯蔵するために六ヶ所再処理工場で採用するガラス固化についてこれまでの試験結果についての紹介があった。炉内温度管理や白金族元素の管理などの技術的課題を克服し、ガラス溶融炉の安全運転の見通しが得られたとの説明があった。

(4) 海外返還廃棄物の歴史と現状(新規規制基準対応)

海外から返還される高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)について受入れ・貯蔵の概要および新規規制基準対応について紹介された。また、低レベル放射性廃棄物についての受入れ、貯蔵の検討状況についても説明があった。

(5) 部会賞講演① 「マイナーアクチニド含有低除染燃料による高速炉リサイクルの実証研究(4) 非定常平面熱源法におけるペレット半径方向の熱伝導率測定技術の開発」

高速炉燃料のFP複合酸化物を前処理なしで半径方向熱伝導率を測定するためにHD法およびTCi法を用いた測定を試みた結果、試料に対して簡便に測定を行えることが示唆されたことが紹介された。

(6) 部会賞講演② 「Nb添加ジルコニウム合金の微細組織と元素分布に及ぼす照射の影響 (2) Zrイオン照射 Zr-0.5Nb合金の原子プローブ分析」

PWR燃料被覆管に使用されているNb添加ジルコニウム合金の水素吸収抑制の現象を理解するため、合金にZrイオンの照射を行った結果の紹介があった。照射によりナノクラスターが形成され、Nbの固溶濃度が低下することが分かった。

(7) 部会賞講演③ 「早期実用化に向けたPWR向け事故耐性燃料被覆管(コーティング被覆管)の開発(2) コーティング被覆管の製造試験」

ATF 被覆管に用いるコーティング被覆管を開発するための成膜方法としてスパッタを用いた結果の紹介があった。スパッタで被膜させた Cr 被膜は密着性があり、軸方向引張試験の結果からは機械特性への影響も見られなかった。

(8) 部会賞講演④ 「PWRにおける冷却材喪失事故 (LOCA) 後の燃料棒損傷評価に係る検討—フルサイズ燃料グリッド向けLOCA 模擬高温酸化装置の製作—」

LOCA 時の高温水蒸気雰囲気を経験したグリッドの機械的特性取得のため、衝撃試験を実施するための装置の製作について紹介があった。装置は、グリッドが晒される温度、時間条件を満足するような水蒸気中での高温酸化がフルサイズグリッドに対して可能であることが確認され、今後試験を実施するとのこと。

(9) 福島第一原子力発電所廃炉作業の現状と今後の取り組み

福島第一原子力発電所の廃炉作業で発生した汚染水・処理水の対策、使用済み燃料プールからの燃料取り出しおよび燃料デブリ取り出しの取り組みについて、現場の写真を示しながら紹介があった。それらを踏まえて今後の固体廃棄物保管管理の計画について説明があった。

(10) 小型モジュール炉に関する国際動向

小型モジュール炉を採用することに対して経済面での評価および国際(主要国:米国、カナダ、英国、フランス)動向について昨今の情勢を踏まえて説明があった。

5. アンケート結果

セミナー終了後、参加者全員にアンケートを電子メールで配信し、事務局へ返信していただく形で本夏期セミナーに対する参加者の感想・意見を聴取した。回答数は29件であった。アンケートは選択回答式+自由記述式であり、各質問に対する回答は以下のとおりであった。

◆今回の夏期セミナーについて感想をお聞かせください

(1) 開催時期について

1. 適当 : 29名 (お盆明けの開催は大変だと思うので、もう少し遅くても問題ないと思いました)
2. 不適當 : 0名

(2) 開催期間について

1. 適当 : 26名 (講演は、半日～一日くらいで集中的に実施した方が良いと思います)

- 2. 長い : 0名
- 3. 短い : 3名 (従来の夏期セミナーは学生向けに核燃料の入り口として機能しており、核燃料の基礎についての講演がある認識。今回は諸事情により開催趣旨が遅くならざるを得なかったことなどから学生が少なかつた感強いため、実際はそれほど影響はなかったかもしれないが、基礎講座を行う時間もあることが望ましいと考える)

(3) テキストの配布方法について

- 1. 適当 : 28名 (①メールでの配信ありがたいです
②電子ファイルとして入手できる場所はよい)
- 2. 不適当 : 1名 (①テキストの共有が直前すぎたため、あまり読み込む時間が無かった。もう少し余裕があるとありがたい
②事前配信が望ましいです
③もう少し早めに閲覧できるようにしていただけると助かります。(遅くとも3日前))

(4) 各講演の講演時間について (全体的に)

- 1. 適当 : 27名
- 2. 長い : 0名
- 3. 短い : 2名 (質疑の時間が不十分だったと思います)

◆オンライン開催について感想をお聞かせください

(5) 司会者/講演者/質問者の話を聞き取れましたか?

- 1. 問題なく聞き取れた : 18名
- 2. 聞き取りづらかった : 11名 (一部、事務局から通信が芳しくなく、聞き取りにくいことがあった。全体的には問題なかった。(複数))
- 3. 殆ど聞き取れなかった : 0名

(6) テキストは見やすかったですか?

- 1. 十分見やすい : 28名 (ppt資料のことだと思うが、十分よく見えた)
- 2. やや見づらい : 1名 (自分の別パソコンでテキストスライドを表示させながら聞いたので、問題なかった)
- 3. 殆ど見えない : 0名

(7) 全体として、オンライン開催おかげでしたか?

- 1. 通常開催と遜色ない : 4名

- 2. 通常開催よりも劣る : 3名
- 3. オンライン開催でも許容できる : 14名
- 4. オンライン開催の方がよい : 8名

オンライン開催の肯定的意見:

- ①目の前のパソコン画面で、聞け、見れるので会場での講演よりもよい
- ②無料かつ遠隔で参加できるのはありがたいです
- ③良かったです。会場も良いですが、移動コストも削減でき今後リアル、オンラインの併用を望みます
- ④会場に行くことはできないのに、よい勉強をさせていただけた。これからもオンラインなら参加できる
- ⑤通常開催時に参加してないので比較はできないが、オンラインでも十分に分かりやすく、参加もしやすいと感じました

通常開催の肯定的意見:

- ①現地開催よりも盛り上がりには欠けた気が。また、会員同士の交流の機会だと思いますので、オンラインだとそこが弱い
- ②オンライン開催でも講演を聴講するといった点のみに着目すれば許容できると考える。しかしながら、面着で講演の間の時間で学生や同業者とコミュニケーションをとるといった副次的な点が失われてしまう点については、夏期セミナーの良い点が少し損なわれてしまっていると感じた

その他意見（オンライン開催 運用にかかわる意見）:

- ①挙手による質問は少し勇気がいるので、「チャット」を利用した質問も導入してみてもいかがでしょうか
- ②声が聞き取りづらい 際のバックアップ方策は必要に思います

◆その他自由記述欄

自由記述欄に対しても、多くの方からコメントを頂戴した。寄せられた代表的なコメントを紹介する。

(昨年(続き) オンライン開催に対するコメントが多く、「移動費がかからず、部分参加もしやすいので、参加しやすい」というメリットを指摘する意見と、「親睦を図りにくい、人脈形成は対面開催に劣る」といったデメリットを指摘する意見の双方があった。

これ以外には、プログラム構成が例年と異なる形となったことに対し、次のような意見があった。

今年度プログラム構成の肯定的意見:

- ①例年よりも短縮しての実施とのことだったが、アカデミックな内容から、法令（新規規制基準）対応、実プラントでの廃止措置作業、SMR に関する政治的な動向まで、様々な分野について学ぶことができたと感じた
- ②核燃料のみならず、SMR などの様々な分野について学ぶことが出来大変有意義でした
- ③講義の内容が多岐に渡っており、特に福島第一原子力の現状と小型モジュール炉に関する国際動向は非常に興味深いものでした

例年のプログラム構成の肯定的意見：

- ①講義の内容が多岐に渡っており、特に福島第一原子力の現状と小型モジュール炉に関する国際動向は非常に興味深いものでした
- ②今回短い期間で実施となったため、核燃料の基礎に触れる部分が少なくなりましたが、通常開催ではやはり、教科書みたいな普遍的な部分はそれとして、リマインドできたらよいと思う。また、通常開催で、多くの学生の参加を進めていければよいと思った

6. 謝辞

参加者 60 名超、講演者 10 名の規模のオンライン会議の運営経験がほとんどなく、接続不良や進行の遅れが生じないか心配でしたが、ご講演を引き受けて下さった方々と参加者の皆さまのご協力のおかげで無事に終えることができました。運営にご協力いただいたすべての方々に心より御礼申し上げます。どうもありがとうございました。

以上

VI. 編集後記

核燃料部会報第 58-1 号を会員の皆様にお届けいたします。

執筆者の方々には、執筆のお願いに対して快くお引き受けいただき、お忙しい中ご執筆いただきましたことを厚く御礼申し上げます。また、執筆者の推薦、調整等にご協力いただきました方々にも、あわせて御礼申し上げます。

今年度も新型コロナウイルス感染の影響があったものの、ようやく活動制限が緩和されつつあり、2022 年秋の大会は茨城大学日立キャンパスにおいて現地開催することができ、対面にて活発な議論・意見交換が行われました。

今回の部会報では、2022 年度上期の核燃料部会の取り組みとして、原子力学会秋の大会の企画セッション、夏期セミナー、国際会議等のご報告に加え、核燃料部会賞受賞者、留学生の方からの記事も掲載させていただいております。是非お読みいただければと思います。

エネルギーの安定供給および政府が掲げる 2050 年カーボンニュートラルの実現の観点から、原子力の最大限の活用について重要性が高まっており、既存原発の運転期間延長等についても活発に議論されています。今後も、益々原子力が注目され、原子力業界が更に活性化していくことを期待しています。

次回の部会報は、2023 年 5 月頃の発行を予定しております。部会報担当として、充実した内容となるように努めて参りますので、今後とも皆様のご協力をお願い致します。

2022 年度部会報担当：中部電力株式会社 内川 剛志
メールアドレス：Uchikawa.Tsuyoshi@chuden.co.jp
電話番号：080-8663-6212