

# 核 燃 料

2021 年 12 月発行

No.57-1 (通巻)

## 目 次

### I. 企画セッション

日本原子力学会「2021 年秋の大会」 企画セッション報告  
核燃料の今後の展望 (討論バージョン) ..... 黒崎健 (京大) 1

### II. 特別寄稿

2020 年度核燃料部会賞 (学会講演賞) を受賞して ... 岡崎陽香 (東工大) 3

### III. 国際会議紹介

軽水炉燃料の「TopFuel 2021」国際会議の報告  
..... 岡田 (MNF), 小宮山 (MNF), 坂本 (NFD), 松永 (GNF-J), 三原 (JAEA) 4

### IV. 国際交流ニュース

My journey from China to Japan ..... Li Nabaichuan (京大) 13

### V. 夏期セミナー報告

2021 年「第 5 回軽水炉・材料・水化学夏期セミナー」開催報告  
..... 渡部清一 (MNF) 18

VI. 編集後記 ..... 25



## I. 企画セッション

### 日本原子力学会 2021 年秋の大会 企画セッション報告 核燃料の今後の展望（討論バージョン）

京都大学 黒崎 健

#### 1. はじめに

日本原子力学会 2021 年秋の大会において、核燃料の今後の展望—討論バージョン—が開催された。本企画は、前回春の年会と同じテーマであるが、前回は講演中心、今回は討論中心ということとで差別化されている。前回企画セッションの内容は、部会報に掲載されている報告記事 [1] を参照していただきたい。

#### 2. ショートプレゼンテーションの概要

当日の企画セッションでは、まず、前回同様、七名の登壇者からそれぞれの燃料形態における研究開発の動向、特に照射炉・照射試験に関するものに関して、各 5 分程度のショートプレゼンテーションがなされた。京都大学の黒崎からは、核燃料研究の現状や将来展望が述べられた。福井大学の宇埜からは、軽水炉燃料について、これまでになされた照射試験の種類や実績が報告された。JAEA の前田からは、高速炉用 MOX 燃料開発における照射試験の重要性が説明された。特に、照射試験を補完する計算機シミュレーションの重要性が指摘された。電中研の尾形からは、高速炉用燃料の副概念としての金属燃料の照射試験について、米国で豊富な実績があること、日本では 2011 年の震災直前まで「常陽」での照射試験準備が進められていたことなどが報告された。JAEA の高野からは、ADS 用の窒化物燃料について、照射試験の実績は国内外問わずほとんどないことが示された。また、核燃料分野における人材育成の必要性も示された。JAEA の植田からは、ガス炉用燃料について、HTTR が今年運転再開したことや、新たなガス炉用燃料の研究開発の状況が示された。福井大学の有田からは、熔融塩燃料について、他の燃料形態のような照射試験の実績はほとんどないが、最近少しずつ進展している様子が示された。ただし、燃料の照射というよりは、材料照射が中心であるとのことであった。

#### 3. 意見交換・ディスカッションの概要

以上のショートプレゼンテーションの後、登壇者と会場参加者間で意見交換・ディスカッションがなされた。おもな議論、質疑応答としては、以下のようなものがあつた。

Q：質問、A：回答、C：コメントで、順不同で記す。

Q：我が国の金属燃料の照射試験について、震災以降 10 年間と少し眠っていた

ことになる。10年あれば研究分野の大きな進展があってもよいと思われるが、金属燃料開発ではどのような進展があったのか？

A：他の分野に見られるような革新的な進展は残念ながらみられない。早くはないがゆっくりと進化している。少しずつできるところを埋めていっているような状況である。

C：照射試験の必要性を見極めるべきである。何でもかんでも照射試験は必要なのだろうか？シミュレーションによる補完は需要だろう。

C：若い人に魅力的な核燃料研究とはどういったものなのか？照射試験と魅力はつながるのだろうか？

Q：燃料形態としてこれほどたくさん必要なのか？

A：多様性は重要であるという考えはある。また、用途に応じて最適な形態はある。例えば、ADS用の燃料としては、MAを安定に高濃度に含有できることから窒化物が選定されていたりする。

Q：国内で照射場を設けることは本当に必要なのか？

A：そもそも海外にもそれほどたくさんあるというわけではない。国内で照射環境やそれに関する技術を有しておくことの重要性は高いと考えている。

#### 4. 執筆者の感想

最後に、以上の企画セッションを経て、執筆者がもった感想を以下に示す。今回並びに前回の企画セッションが、我が国の核燃料研究開発や人材育成に少しでも役立つことを願っている。

- ① 核燃料分野の人材育成は重要である。一方で、照射試験研究は息の長いテーマでもある。計画を立てる人と成果を出していく人で世代が変わるくらいの時間スケールであるので、技術伝承という観点も重要となる。
- ② 照射試験を補完する計算機シミュレーションは重要である。単なる計算科学ではなく、情報科学やデータ科学が活躍できそうでもある。このあたりの研究が、若い人にとって魅力的にうつらないだろうか？
- ③ 照射試験に限らず、核燃料研究開発を通じて蓄積されている膨大な知見を、収集整理して使いやすい形にしていくことが需要である。アナログ情報をデジタル化してイノベーションを起こすというDX（デジタルトランスフォーメーション）と核燃料研究は、意外と親和性が高いのではないかと。

#### 参考文献

- [1] 黒崎 健, 「日本原子力学会 2021年春の年会 企画セッション報告」, 核燃料部会報 Vol. 56, pp. 2-3 (2021).

2021年9月25日記

## Ⅱ. 特別寄稿

2021 年度核燃料部会賞（学会講演賞）を受賞して

東京工業大学環境・社会理工学院融合理工学系原子核工学コース  
修士一年 岡崎 陽香

この度は、文部科学省原子力システム研究開発事業 JPMXD0219214921 の助成を受けた研究の一部として、日本原子力学会 2021 年春の年会での「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」と題した発表で、核燃料部会賞（学会講演賞）をいただくことができ、大変光栄に存じます。

本研究を行うにあたり、ご指導を賜りました福井大学宇埜正美教授、鬼塚貴志特命助教をはじめとし、多くの方々に厚く御礼申し上げます。本研究は、高速炉燃料の熱伝導率が高燃焼度化に伴い、マイナーアクチニドが燃料の同心円状に偏析することで低下すると考えられるため、燃料の半径方向の熱伝導率を測定する技術を開発するという目的で行いました。従来法よりも前処理が簡易的である非定常平面熱源法 Hot Disk 法と TCi 法を用いて、結晶方位により熱伝導率が異なる単結晶試料を測定、半径方向の熱伝導率を計算、評価いたしました。研究の結果、二酸化ウランと類似した熱伝導率をもつ単結晶では半径方向の熱伝導率を誤差 3%範囲内で評価できましたが、二酸化ウランよりも数倍大きな熱伝導率をもつ単結晶では、TCi 法での測定結果の誤差が影響し、半径方向の熱伝導率を正確に評価することはできませんでした。これらの結果より、細かな前処理なしでも上記の方法を使用すれば、熱伝導率は測定することが分かりました。また、大きな熱物性値をもつ試料のためにも測定機器の改良が必要であると考えられます。

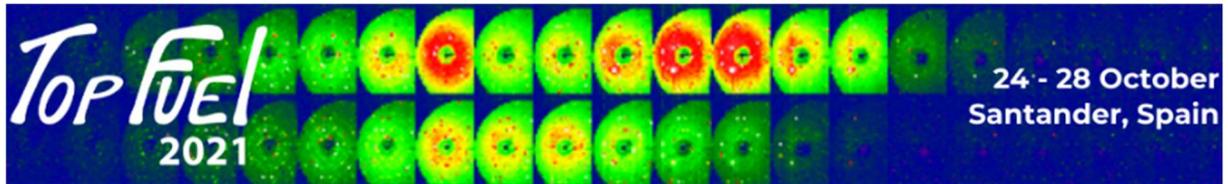
この受賞を受け、高速炉の安全な運転に貢献できるよう、さらに研究に勤しみたいと思います。

最後になりますが、核燃料部会の運営に携わっておられる皆様に深くお礼申し上げます。

以 上

### Ⅲ. 国際会議紹介

#### 軽水炉燃料の「TopFuel 2021」国際会議の報告



(Top Fuel 2021 ウェブサイトより引用)

報告者(50音順)：(MNF)岡田, (MNF)小宮山, (NFD)坂本,  
(GNF)松永, (JAEA)三原

2021年10月24日(日)から28日(木)までスペイン カンタブリア州サンタンデルの Peninsula of La Magdalena ホテルにおいて「TopFuel 2021」が開催された。本国際会議は、アジア地域(日中韓)⇒欧州(ENS)⇒米国(ANS)の持ち回りで毎年開かれている軽水炉燃料に関する国際会議であり、アジア地域では日⇒韓⇒中での持ち回り開催となっている。COVID-19の世界的なパンデミックにより、昨年(2020年)に中国で開催が予定されていた WRFPM2020 が中止となったため、今回は2年ぶりの開催となった。今回開催された TopFuel 2021 も COVID-19 の影響を受け、開催時期を延期し、かつ現地における従来型のオンサイト参加とリモート参加を組み合わせたハイブリット型での開催となった。

COVID-19の混乱の中ではあったが、300名を超える多くの軽水炉燃料の技術者、研究者が参加する盛況な学会となり、口頭発表、ポスター発表共に活発な議論が行われた。なお、オンサイトでの参加は欧州と米国に限られ、アジアからの参加は全てリモートであった。また、TopFuel/WRFPMでは初めてのハイブリット型での開催であったが、大会ホスト機関であるENSの工夫により、従来と同等以上の行き届いた大会運営がなされた。会議の内容を俯瞰すると、事故耐性燃料(ATF)等の新材料に関する発表が依然として多かったが、3Dプリンター等を活用した Additive Manufacturing などの新技術、現行軽水炉燃料の通常運転時、RIA・LOCA時、輸送・貯蔵時に関する多くの最新知見も発表され、産官学の垣根を越えた幅広い情報共有がなされた。

次頁からは、会議に関する基礎情報と講演内容を紹介する。なお、講演内容の紹介を行っているが、執筆者が参加できたセッションに限られていたため、必ずしもすべてのセッションを網羅していない点について、ご了承願いたい。

## 1. 会議に関する基礎情報

### 1.1. 参加者数

307名 (Participant List より)

➤ 国別集計 (オンサイト参加) : 表 1

1位 : スペイン(74名)、2位 : 米国(22名)、3位 : スウェーデン(19名)

➤ 国別集計 (リモート参加) : 表 2

1位 : 米国(37名)、2位 : 日本(17名)、3位 : 韓国(11名)

表 1 国別参加者数集計結果 (オンサイト参加)

Austria	1
Belgium	9
Czech Republic	5
France	17
Germany	11
Hungary	2
Italy	1
Netherlands	1
Russian Federation	8
Slovenia	1
Spain	74
Sweden	19
Switzerland	7
United Kingdom	4
United States	22
<b>総計</b>	<b>182</b>

表 2 国別参加者数集計結果（リモート参加）

Austria	1
Belgium	2
China	3
Czech Republic	2
Finland	2
France	8
Germany	10
Hungary	1
Indonesia	2
Israel	1
Japan	17
Russian Federation	6
South Korea	11
Spain	4
Sweden	6
Switzerland	4
Taiwan	2
United Kingdom	6
United States	37
<b>総計</b>	<b>125</b>

## 1.2. Social program

Welcome cocktail、Botin center 訪問&Cocktail buffet、Cocktail& Official banquet、ENSA への Technical visit など多くの Social program が開催された。ただし、報告者らはいずれもリモート参加であったため、具体的にはどのような内容であったかについては不明である。

## 1.3. 全体プログラム

TopFuel 2021 はハイブリット開催の利点を生かした変則的なプログラムを採用して、大会開催期間（2021年10月24日(日)から28日(木)）の前後に以下のイベントやプログラムがリモート開催された。なお、Meet&Greet-See はハイブリット開催ならではの試みで、大会のバーチャル会場（例を図1に示す）に参加者がリモートで参加し、参加者同士でビデオやチャットで会話ができる場が提供された。

- ・ 10/20（水）企業による展示会
- ・ 10/21（木）Pre-opening session、Meet&Greet-See、ポスターセッション
- ・ 10/29（金）オンデマンド方式による発表ビデオの上映（ただし、トラック毎に1時間の時間制限が設けられていた）

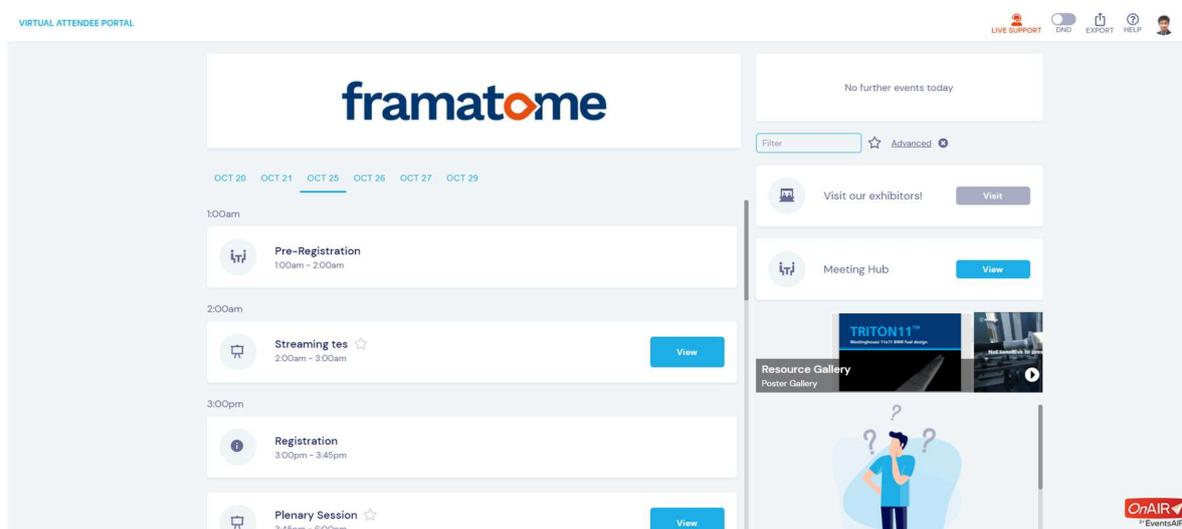


図1 バーチャル会場の例

大会開催期間中のプログラムを表3に示す。現地時間にあわせての開催のため、日本では夕方から深夜にわたる時間帯に開催された。Plenary session は初日午前中のみで、以降は6つの技術トラックに分かれて発表が行われた。

表3 大会開催期間中のプログラム  
(時刻は現地時間のため、日本での時刻は+7時間)

Track	25(Mon)			26(Tue)				27(Wed)			
	9:00-11:00	2:00-3:40	4:00-6:00	8:30-10:30	10:50-12:50	1:50-3:10	3:30-5:30	8:40-10:20	10:50-12:50	1:50-3:30	4:00-6:00
- Prenary	○										
1 Operation and experience			I			II		III			IV
2 Advances in designs, materials and manufacturing		I		II						III	
3 Evolutionary and innovative advanced technology fuels (eATF)			I	II	III		IV		V		VI
4 Modelling, analysis and methods			I	II	III	IV	V		VI		
5 Transient fuel behaviour and safety related issues		I			II		III		IV		V
6 Used fuel storage, transportation and re-use		I				II			III	IV	

#### 1.4. 技術トラック

表3にも示したが、技術トラックは以下の6トラックであった。事故耐性燃料(ATF: Accident tolerant fuel、欧州では enhanced ATF で eATF と呼んでいる)はTrack3に含まれるが、その他の新素材や新工法についてはTrack 2に含まれる。その他の技術トラックもバランスよく配分されていた。

- Track 1 Operation and experience
- Track 2 Advances in designs, materials and manufacturing
- Track 3 Evolutionary and innovative advanced technology fuels (eATF)
- Track 4 Modelling, analysis and methods
- Track 5 Transient fuel behaviour and safety related issues
- Track 6 Used fuel storage, transportation and re-use

## 2. 講演内容

### 2.1. Plenary session

ENUSA、Westinghouse、GNF-A、Framatome らのトップが講演者として、軽水炉燃料の今後について述べた（セッションの様子を下図に掲載）。

講演、セッションでは、15年間で原子力を取り巻く状況は大きく変化しており、2007-8年は原子力カルネサンス、2009-10年は金融危機、2011年は福島第一原子力発電所事故と続き、業界全体が保守的にならざるを得ない状況であるが、2050年を目標としたカーボンニュートラルへのコミットを達成するためには先進炉、先進燃料が必要となるのは明白であり、従来技術の改善とともに取り組んでいく必要があると言及された。また、燃料メーカーからは、困難な状況にはあるが原子力発電は引き続き必要であり、近々の課題として、濃縮度上昇、許認可に必要な時間の短縮、高燃焼度化、先進炉や新型炉が挙げられた。



図 Plenary sessionの様子（大会録画ビデオより抜粋）

### 2.2. Track 1 Operation and experience : (GNF-J)松永

Track 1は運転経験に関する技術トラックであり、燃料メーカーや研究機関等から燃料改良等に関する22件の発表があった。Westinghouseからは、BWR燃料について、TRITON11<sup>®</sup>（11×11燃料）のLTA18体を2019年に北欧2プラントに装荷し、今後2025年にPIEを予定していること等が紹介された。また、PWR燃料について、Ringhals3・4号機での燃料曲がり対策の状況や、スイスおよびドイツのKWU製PWRでOptimized ZIRLO被覆管が燃料棒平均燃焼度70Mwd/kgU以上まで良好な実績を重ねていること、次世代被覆管であるAXIOMについて、商用炉での燃料棒平均燃焼度75Gwd/MTUまでの照射実績が蓄積され、トピカルレポートが2021年3月に米国NRCに提出されたこと等が報告された。GNFから

は、River Bend 原子力発電所において、包括的なデブリ破損対策ならびに Defender Plus デブリフィルタ付き GNF3 燃料の採用等によりデブリフレッシング破損が低減されたことや、チャンネルボックスについては、Zry-2 材/Zry-4 材から NSF 材への変更を進めていること、その他 ATF 開発を進めていること等が報告された。Framatome からは、構造材料用として開発された Q12 (Zr-Nb-Sn-Fe 合金) 照射試験結果が紹介され、Zry-4 材と比較して、耐食性/耐水素吸収性能、寸法安定性/クリープ耐性、スパーサグリッドのばね力緩和/耐震性などの特性が改善されることが示された。

### 2.3. Track 2 Advances in designs, materials and manufacturing : (MNF) 小宮山

Track 2 は新しい燃料設計、材料、製造方法に関する技術トラックであり、14 件の発表が燃料メーカーや電力会社などからなされた。

このうち、新燃料設計を中心としたサブトラックでは、米国、ロシア、日本より PWR、BWR、VVER に関する新燃料設計や新材料に関する発表があった。各発表とも、既存の燃料や材料をベースとした改良や開発に関する発表であり、実現性の高い内容となっていた。その他のサブトラックにおいても異物対策フィルタなど耐フレッシングを始めとした既存の炉心の信頼性向上に関する開発・設計に関する発表が殆どであり、高燃焼度化など炉心運用の拡張に関する発表は限られていた。また、製造技術に関しては、AI を活用したペレットの自動化技術などに関する発表があった。

### 2.4. Track 3 Evolutionary and innovative advanced technology fuels (eATF) : (MNF)岡田、(NFD)坂本

Track 3 は ATF 被覆管やペレットの開発・研究に関する技術トラックであり、燃料メーカーや研究機関から 33 件の報告があった。

ATF 被覆管の候補の 1 つである Cr コーティング被覆管について、欧州や米国では LTA 照射試験が開始されており、Framatome からは 15 GWd/t まで照射した Cr コーティング被覆管の外観や外径変化に関する発表があった。同発表では照射材に特異な挙動は見られないこと、今後も照射を継続することが示された。また、炉外試験に関しては、コーティングによる事故時の膨れ破裂の抑制効果や高温化における Cr の拡散挙動に関する発表や質疑が多かった。国内からは MNF より、Cr コーティング被覆管の開発状況に関する発表があった。コーティング材としては純 Cr が多いが、UJP (チェコ) は Cr-Ni 合金をコーティングした被覆管に関する発表を行っていた。

ATF 被覆管の別の候補材である FeCrAl 被覆管については、米国からの発表が多く、アイダホ国立研究所 (INL) からは、INL を始めとした多くの米国国立研究所が産業界をバックアップしている現状が紹介され、オークリッジ国立研究所 (ORNL) からは ATF-1 キャンペーンにおいて INL の ATR 試験炉で照射された  $UO_2$  を装荷した FeCrAl 被覆管の照射後試験結果が紹介された。中性子照射により高温水蒸気酸化耐性に差が生じる結果が得られるなど興味深い知見が得られつつあるが、最終的な結論を得るには更なる試験が必要との見解が示された。日本からは酸化粒子の分散により強化した FeCrAl-ODS 被覆管の開発状況が紹介され、炉外試験ではあるが座屈やヨウ素に対する SCC 耐性が実用化の障害にはならない見通しが示された。

#### 2.5. Track 4 Modelling, analysis and methods : (MNF)小宮山

Track4 は解析技術に関連した技術トラックであり、燃料ペレットや被覆管挙動、燃料集合体、炉心設計と幅広い内容であり、30 件の発表が登録されていた。また、従来からの解析技術の改良なども見られたが、AI を活用したビッグデータ処理による解析的なメカニズム分析など、解析から現象を理解する試みも示された。

Framatome GmbH からは磁性流体を用いた CFD 解析技術の検証についての発表があり、実機燃料と同様の長さの試験供試体を 3D プリンターで製造した上で、大学の MRI 装置を用いての流況測定など、産学での連携を図ることで、効率的に大規模試験データを取得し、解析技術の検証を進めている様子が示されていた。

#### 2.6. Track 5 Transient fuel behaviour and safety related issues :

(JAEA)三原

Track 5 は異常過渡時の燃料挙動及び安全に関連した問題に関する技術トラックであり、ペレットと被覆管の相互作用 (PCI) 、冷却材喪失事故・燃料ペレットの細片化、軸方向再配置、及び燃料棒外放出現象 (LOCA FFRD) 、反応度事故模擬試験及びその解析 (RIA Tests and analysis) 、高温過渡挙動及び地震時荷重 (Heating transients & seismic loading) 、冷却材喪失事故解析 (LOCA Analysis) 、の計 5 個のサブトラックに分かれて欧・米・アジアの研究機関等から発表があった。

この内、LOCA FFRD のサブトラックでは、FFRD に関して、JAEA 及び ORNL から高燃焼度燃料を対象とした炉外試験結果、IRSN から LOCA 時燃料集合体挙動解析コード DRACCAR の開発状況、ウェスティングハウスから FFRD が炉心冷却性や線量評価に及ぼす影響の評価結果、等が報告された。RIA Tests and

analysis のサブトラックでは、JAEA から過去の RIA 試験結果の追試験及び詳細分析、CEA から新たな手法を用いた RIA 時挙動解析のモデル化、IRSN から RIA 解析コードの比較結果、INL から SiC 被覆ケイ化ウラン燃料の RIA 時挙動、及び過渡事象試験炉 TREAT における RIA 試験の進捗状況、等が報告された。

## 2.7. Track 6 Used fuel storage, transportation and re-use : (GNF-J) 松永

Track 6 は使用済燃料の貯蔵・輸送と、これに係わる燃料取扱いに関する技術トラックであり、欧米各国の関係機関等から 19 件の発表があった。スペイン ENRESA からは、スペインの使用済燃料貯蔵施設 (ISFSI) にある乾式貯蔵システムの Lifetime Management Plan 評価手法の開発状況が紹介された。フランス IRSN は、水素吸収させた未照射 Zry-4 被覆管に  $Al_2O_3$  ペレットを装填し、内圧負荷と 4 点曲げによる水素化物再配向処理および強度評価試験を実施し、内圧およびペレットの存在により、より高い荷重までサンプルが破損しない結果が示された。ORNL は、高燃焼度燃料乾式貯蔵キャスク研究開発プロジェクトに関連して実施した sister rod の非破壊試験で発見された約 1mm 程度のペレット-ペレットギャップ部の金相観察結果を報告した。当該ギャップ部の被覆管の水素濃度分析は今後実施される予定とのことであった。Axpo Power からは、乾式貯蔵時におけるライナ被覆管中の水素化物分布についての文献レビューおよび解析から、ライナ被覆管については乾式貯蔵時において径方向水素化物による脆化は想定されないと報告した。Studsvik は、Brunsbüttel 原子力発電所での破損燃料について室温での 4 点曲げ試験や残留水分測定結果を報告した。ベルギー SCK/CEN からは、地層処分シナリオ評価等に関連して 2018 年 9 月から開始した  $UO_2$  および MOX ペレットの浸漬試験 SF-ALE (Spent Fuel Autoclave Leaching Experiments) の進捗が報告された。

#### IV. 国際交流ニュース

### My journey from China to Japan

Kyoto University

Li Nabaichuan, D1

Supervisor: Prof. Dr. Ken Kurosaki

I had started my journey of being an international student since I was 17. Canada was my first stop and I am glad that I found my first goal in there. After I finished my time in there as a high school student. I obtained a chance to go to study in the University of Sheffield, UK. After 4 years of undergraduate degree, I decided to keep study further on the material science. It took another year of post-graduate study in the master degree before I finally made my mind to come to Japan just to look upon the place where the origin of the attraction to me was born, and for further understanding of the nuclear power industry. Hence, I finally started my PHD student course in the Kyoto University in 2020.

#### **Journey from aerospace material science to nuclear science**

I was firstly attracted by aircraft engine engineering technology since I am a fan of science fiction. Thus, after I complete my high school degree in Canada. The UK, where hold one of the best jet engine company of the world, has become my next destination. I kept my attention and passion of science fiction whole the time while I am studying about the relative knowledge in reality. In the 2nd year of my undergraduate time, I finally noticed that nuclear power is always taking a place in a science fiction product whenever the author would like to send aircraft to the universe. Which was why I was getting interested into the technology of nuclear power and how exactly it works in real life. As a result, I figured that nuclear fission power is but a super advancing way of boiling water for steam, and there were experiments of loading reactor into vessels and aircraft or deep-space spacecraft already. With my growing knowledge, understanding and age, my interest on nuclear science is no longer only stay as a personal hobby. Where I found out the nuclear fuel is critical on either the development of nuclear science

in aerospace industry but also general power generating industry. Cost, ease of produce, safety, period of life, size, efficacy, stability, etc. Everything take in place should be considered. Hence, I am convinced that this topic can be the majority of my career.

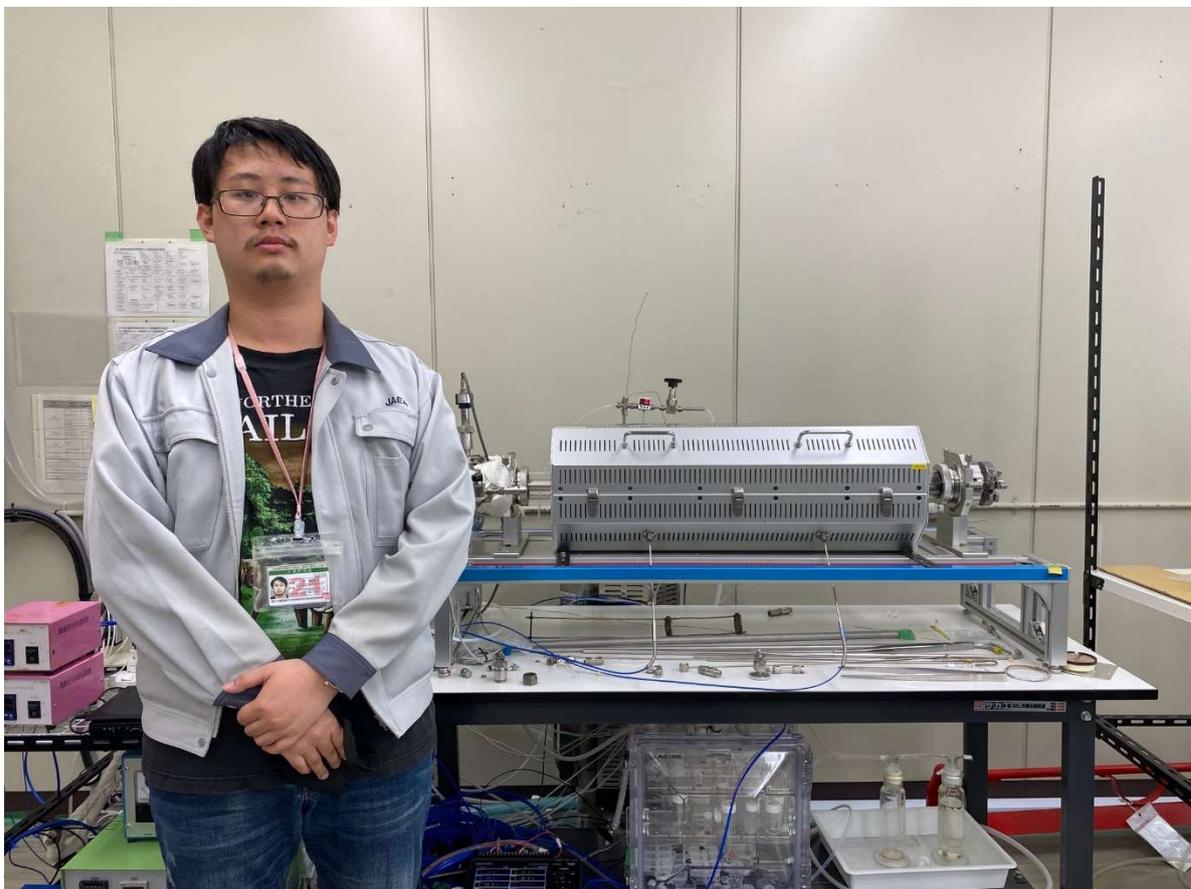
### **Back to Asia, life in Japan**

I have been watching Japan made anime, movie, comic and TV shows before, and my supervisor during the time in the University of Sheffield is a Japanese too. Japan is not unfamiliar to me, yet it is proved that Japan is still a different country of my own after I have lived in Japan for a year and half. Many details in daily life, work and crossing different region are hardly saw or realized from a view of outside of Japan. Which is why I took a year as research study in the Yoshida campus of Kyoto University for adopting the life in Japan. However, a worldwide disaster has breakout meanwhile I am officially start my PHD student life. It changed a lot of this world, not exactly in a good way, lectures and conferences are forced to be processed online, seminars are cancelled, group meeting can be taken online only. Fortunately, I was pleased to take the chance of being able to study and do experiment in the Development group for LWR Advanced Technology of the Nuclear Science and Engineering Center of JAEA. It is located near the coastline of Tokaimura, Ibaraki, which is a quite and peaceful town with not much population, and I found the way of life here is felt not the same in the west of Japan.

### **Life as a Research in JAEA**

My research direction is to build a better understanding of the fission product behavior in the nuclear fuel. Therefore, I am able to access to the actual front line of nuclear safety researching due to the Fukushima 1st nuclear power plant accident. Our group is aiming to optimizing a Cesium chemisorption simulation model, the Bowsher model (Bowsher, et al., 1990). Which can be contribute to the decommissioning of the Fukushima 1st power plant for a safer, radiation free working environment. During my past half year time of study and research in JAEA, I realized there are so much to learn, and I am very lucky to have a group of

passionate colleague here who is willing to help with any difficult and questions of mine. I wish the impact of Covid-19 can be eased as soon as possible and I may participate more amazing researching life in Japan.



Me and the experiment equipment of my project in JAEA

### **Brief introduction of my previous research**

During my study in the University of Sheffield. I mainly focus on study of molten salt state synthesis and solid state synthesis of geo-polymers. Which is a type of magnesium based cement called Magnesium-Silicate-Hydrate (M-S-H), it is a potential alternative method to be used on encapsulation of a type of intermedium nuclear waste produced from Magnox nuclear power plant, which is a UK designed 2<sup>nd</sup> generation commercial nuclear power plant as figure 1 has shown [1]. Through the study in the University of Sheffield, I have learned fundamental knowledge about nuclear science, I have also learned about solid state reaction and thermodynamics through the project. Moreover, having chance to talk with

those pioneers face to face of nuclear industry is absolutely precious to my career, I learned many stories and details which can hardly be found through text book from my time, which allows me to consider about the challenges of nuclear industry from non-obvious point of view during applications.

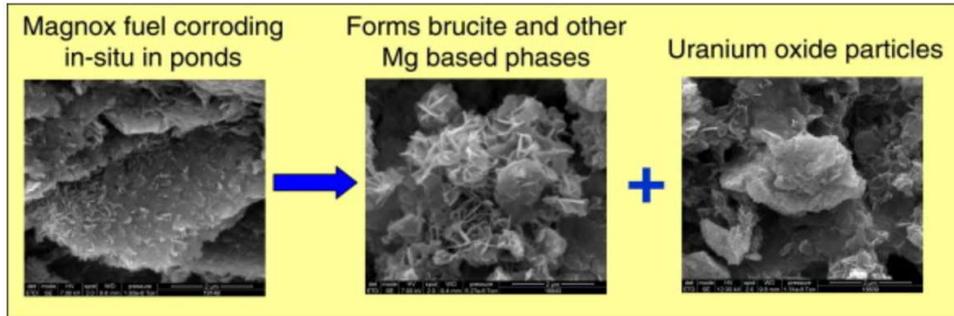


Figure 1: Formation of Magnox sludge [1]

### Brief introduction of my current research

My research in the Kyoto University is to establish a better method of evaluating the fission product behavior, it has generally a negative influence on both fuel neutron economies and altering the physical/thermodynamic property of the fuel assembly. Hence, the main goal of my research could be beneficial on both improving the safety and stability of nuclear fuel disposal and designing new type of nuclear fuel. Hence, I started on looking at the issue of Fukushima 1<sup>st</sup> power plant, where a precise prediction model to evaluate how radioactive fission product can be distributed in the reactor is urgently needed at the moment. As Figure 2 shown, it was revealed recently that the exist model cannot precisely predict the Cs chemisorption rate during a simulated severe nuclear accident [2].

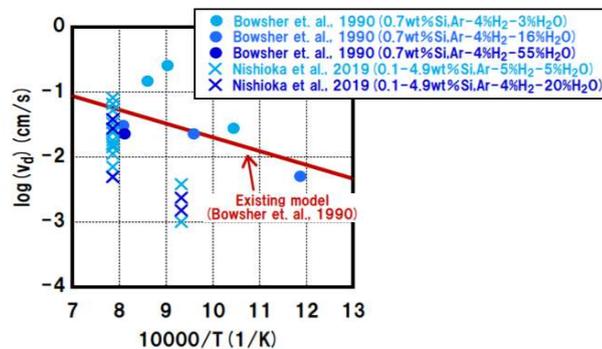


Figure 2: Comparison of the surface reaction rate constant,  $v_d$ , for

the water-insoluble Cs deposit calculated from the existing Cs chemisorption model [2]

**References:**

- [1] C. R. Gregson et al., "Combined electron microscopy and vibrational spectroscopy study of corroded Magnox sludge from a legacy spent nuclear fuel storage pond", *Journal of Nuclear Materials*, 412, 145-156 (2011).
- [2] K. Nakajima et al., "Study on chemisorption model of cesium hydroxide onto stainless steel type 304", *Mechanical Engineering Journal*, DOI:10.1299/mej.19-00564.

## V. 夏期セミナー報告覧

### 2021年 第5回軽水炉・材料・水化学夏期セミナー開催報告

報告者：軽水炉・材料・水化学夏期セミナー事務局  
渡部 清一（三菱原子燃料）

#### 1. はじめに

2021年8月10、11日の2日間、掲題の3部会合同夏期セミナーを実施した。この夏期セミナーは、3年に1度、核燃料部会、材料部会、水化学部会の3部会が合同で開催するものである。今回が5回目の開催となり、今回は核燃料部会が幹事を務めた。

なお、今回は新型コロナの影響により対面ではなくオンラインで開催した。

#### 2. 開催要領

開催要領は以下の通りである。日程は、学生が参加しやすく、かつ各部会に関連する会議等と重ならないように配慮して決定した。

◇ 日時：2021年8月10日（火）9:10～16:40  
8月11日（水）9:05～17:10

◇ 場所：オンライン開催

◇ 総合テーマ：福島第一原子力発電所事故後10年の節目を迎えて

◇ 主催（幹事）：核燃料部会（福井大学、三菱原子燃料）

◇ 事務局：三菱原子燃料（渡部、北芝）

#### 3. 参加者

参加者は以下の通りである。159名というのは3部会合同開催のセミナーとしては例年とほぼ同じであるが、学生の参加者が従来より多かった点が特徴的である。

◇ 参加者<sup>注1</sup>：159名

◇ 所属部会別、所属機関別の内訳はそれぞれ表3-1、表3-2の通り。

表3-1 参加者の所属部会の内訳<sup>注2</sup>

核燃料部会員	材料部会員	水化学部会員	原子力学会員 (三部会には所属していない)	非学会員
53名	21名	38名	10名	37名

表3-2 参加者の所属機関別の内訳

大学（うち学生）	研究機関	電力	メーカー	その他
45名（26名）	43名	21名	44名	6名

注1：事前申し込み者数

注2：複数の部会に所属されている方は、最も関係性が高いと思われる部会を所属先としてカウントした。

#### 4. 講演内容

##### 4.1 講演プログラム

講演プログラムは表 4-1 の通りである。講演数は 23 件、延べ講演時間は 670 分と、2 日間のオンライン会議としては件数、時間ともに充実したプログラムであった。

表 4-1 講演プログラム

8月10日(火)	講演内容(講演者)
9:10~9:20	事務連絡(事務局)
9:20~9:30	開会の挨拶(福井大 宇埜正美氏)
9:30~10:10	核燃料基礎講演 「事故後10年～核燃料部会の取り組みと燃料研究～」(JAEA 加藤正人氏)
10:10~10:50	材料基礎講演「材料部会の概要」(NFD 児玉光弘氏)
10:50~11:30	水化学基礎講演「水化学部会の概要」(東北大学 渡邊豊氏)
11:30~13:00	昼食休憩
13:00~14:00	総合テーマ講演「福島廃炉の研究開発課題の全体像について」(IRID 高守謙郎氏)
14:00~14:45	材料基礎講座「福島廃炉の研究開発課題」(東京大学 鈴木俊一氏)
14:45~15:05	休憩
15:05~15:50	核燃料基礎講座「PWR燃料の概要」(三菱原子燃料 渡部清一氏)
15:50~16:35	水化学基礎講座「水化学の基礎」(日本原電 杉野亘氏)
16:35~16:40	初日終了の挨拶と事務連絡(事務局)
8月11日(水)	講演内容(講演者)
9:05~9:15	朝の挨拶、事務連絡(事務局)
9:15~10:00	核燃料トピックス1「BWR燃料の概要」(GNF-J 松永純治氏)
10:00~10:25	材料トピックス1-1「事故進展の解析に役立つ分析技術」(東北大学 笠田竜太氏)
10:25~10:50	材料トピックス1-2「福島廃炉における腐食課題の概要」(東京電力HD 深谷祐一氏)
10:50~11:15	水化学トピックス1-1「1F廃炉環境とラジオリシスの評価・予測」(JAEA 端邦樹氏)
11:15~11:40	水化学トピックス1-2「ラジオリシス評価結果に基づいた腐食評価」(JAEA 佐藤智徳氏)
11:40~13:00	昼食休憩
13:00~14:00	若手研究者受賞講演 ①核燃料部会 JAEA 田崎 雄大 氏 ②核燃料部会 東京都市大学 服部 亮平 氏 ③材料部会 JAEA 高見澤 悠 氏 ④材料部会 長岡技術科学大学 Luu Vu Nhut 氏 ⑤水化学部会 東芝 ESS 根岸 孝次 氏 ⑥水化学部会 東芝 ESS 洞山 祐介 氏
14:00~14:25	材料トピックス2-1「構造材へのCsの化学吸着挙動」(JAEA 中島邦久氏)
14:25~14:50	材料トピックス2-2「材料トピックス2-2「遠隔分析技術」(JAEA 若井田育夫氏)
14:50~15:40	水化学トピックス2 「FPの基礎、FP研究専門委員会の活動の紹介」(東芝 ESS 高木純一氏)
15:40~16:00	休憩
16:00~16:25	核燃料トピックス2-1 「1Fデブリサンプル分析に向けた取り組みの紹介」(JAEA 高野公秀氏)
16:25~16:50	核燃料トピックス2-2「核燃料の今後の展望」(京都大学 黒崎健氏)
16:50~17:10	事務連絡(事務局) 閉会の挨拶、締め(一丁締め) 福元謙一氏(福井大) 久宗健志氏(WANO) 佐藤勇氏(東京都市大学)

## 4.2 講演内容

### (1) 基調講演

核燃料部会、材料部会、水化学部会それぞれの部会長より、基調講演を頂いた。

各講演とも、それぞれの部会の活動状況及び今後の展望について紹介があり、核燃料部会（加藤部会長）からは福島事故を受けた燃料デブリ研究等について、材料部会（児玉部会長）からは材料 Road Map の構築に向けた取り組み状況等について、水化学部会（渡邊部会長）からは水化学にまつわる各種ロードマップの取り組み状況等について、それぞれご紹介頂いた。

### (2) 総合テーマ講演

総合テーマ講演では、IRID の高守氏より、福島第一原子力発電所の廃炉に関する技術開発についてご講演を頂いた。高線量で人が近づけない事故現場から、不確定要素の大きい燃料デブリを取り出すという前例のない作業にどのように取り組んでいるか、貴重な映像や写真を交えて丁寧かつ分かりやすくご紹介頂いた。

### (3) 基礎講座

核燃料部会の基礎講座は、PWR 燃料の概要及び BWR 燃料の概要<sup>注1</sup>に関するものであった。両講座とも、各々の現在の燃料集合体に関する機能及び設計根拠、並びに事故耐性燃料など最新の開発動向について紹介があった。

材料部会の基礎講座は、1F 廃炉対策の課題と対策について、特に燃料デブリ取り出しに対する取り組み状況を中心に紹介があった。テーマは専門的であるが、不確定性の高い課題に対するリスク管理の在り方や、多様な技術の融合の必要性など、工学全般に通ずる教えが盛り込まれた講座であった。

水化学部会の基礎講座は、BWR 及び PWR それぞれの冷却材の水化学管理について、それぞれの炉型固有の特徴に基づく設定根拠と共に詳しく紹介された。また、最新の研究状況として、SCC 抑制を目的とした BWR の添加材注入や PWR の DH 最適化、PWR のリチウム添加に替わるカリウム添加について紹介があった。

注1：講演プログラム上は核燃料トピックス1として登録。

### (4) トピックス

核燃料部会からはトピックスとして2件の講演が行われた（核燃料トピックス1は基礎講座として(3)項で紹介済み）。核燃料トピックス2-1（JAEA 高野氏）では、JAEA が主体となり茨城地区の各ホットラボ施設が協力して実施している1F 燃料デブリサンプルの分析に関する取り組み状況が紹介された。核燃料トピックス2-2（京都大学 黒崎氏）では、1F 事故前から現在に至るまでの核燃料開発の動向が時系列で紹介され、これから原子力が目指すべき姿として、デジタル技術（DX）、国際化、多様な分野との融合が重要との提言が示された。

材料部会からはトピックスとして4件の講演が行われた。材料トピックス1-1

(東北大 笠田氏) では、EPMA やナノインデンテーションを用いたデブリの性状分析手法について紹介があった。材料トピックス 1-2 (東京電力 HD 深谷氏) では、海水注入した 1F プラント構造材の腐食対策と今後の技術課題について紹介があった。材料トピックス 2-1 (JAEA 中島氏) では、セシウムの環境放出に影響を及ぼすとされる 1F 構造材へのセシウム吸着挙動に関する研究状況について紹介があった。材料トピックス 2-2 (JAEA 若井田氏) では、レーザーを用いて 1F 原子炉内の燃料デブリ等を遠隔で分析する技術について紹介があった。

水化学部会からはトピックスとして 3 件の講演が行われた。水化学トピックス 1-1 (JAEA 端氏) では、水のラジオリシス (放射線分解) のうち、1F の課題である、海水成分及び金属酸化物表面の影響、並びに今後の課題としてアルファ線による影響及び窒素の放射線分解について紹介があった。水化学トピックス 1-2 (JAEA 佐藤氏) では、ラジオリシスを考慮した鋼材の腐食挙動評価について紹介があった。水化学トピックス 2 (東芝 ESS 高木氏) では、シビアアクシデント発生時における核分裂生成物の放出挙動に関する研究専門委員会の取り組みとして、3 つのワーキンググループの活動成果 (実験データ取得、解析モデリング、実機データ分析) が紹介された。

#### (5) 受賞者講演

2020 年度の原子力学会においてそれぞれの部会が設定した若手を対象とした賞の受賞者による講演が計 6 件 (各部会から 2 件ずつ) 行われた。

核燃料部会からは、田崎氏 (JAEA) 及び服部氏 (東京都市大 (受賞当時)) の 2 名が講演を行った。田崎氏は燃料棒挙動解析コード FEMAXI における MOX 燃料ペレットの FP ガス放出挙動モデルについて、服部氏は使用済み燃料の再処理プロセスで重要となる白金族元素の酸化蒸発挙動について、それぞれ講演を行った。服部氏は事情により出席できなかったため、事前に撮影したビデオレター形式で講演をして頂いた。

材料部会からは、高見澤氏 (JAEA) 及び Luu Vu Nhut 氏 (長岡技術科学大学) の 2 名が講演を行った。高見澤氏はノンパラメトリックベイズ方によって原子炉圧力容器の照射脆化への影響因子を分析した結果について、Nhut 氏は原子炉建屋のコンクリート材の一部が非晶質化及び体積変化を起こし、劣化するメカニズムについて、それぞれ講演を行った。

水化学部会からは、根岸氏 (東芝 ESS) 及び洞山氏 (東芝 ESS) の 2 名が講演を行った。根岸氏は BWR における線量率評価モデルに対する酸化チタンの影響 (実験データ) について、洞山氏は BWR における線量率低減モデルを用いて各種改良水質に対するケーススタディを行った。結果について、それぞれ講演を行った。

各講演とも、10 分 (原子力学会と同じ) という短い時間の中で、簡潔ながらも

ポイントを押さえた分かりやすい発表ばかりであった。

## 5. アンケート結果

セミナー終了後、参加者にアンケートを電子メールで配信し、事務局に返信頂く形で本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77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通りであった。

### ■ 今回の夏期セミナーの感想をお聞かせください

#### (1) 開催時期について

1. 適当 : 73名
2. 不適当 : 4名 (お盆や夏期休暇のシーズンなので、参加できない人もいるのでは)

#### (2) 開催期間について

1. 適当 : 74名
2. 長い : 1名
3. 短い : 2名

#### (3) テキストの配付方法について

1. 適当 : 76名
2. 不適当 : 1名 (クラウドサービスの利用などHPダウンロード以外でもよいのでは)

#### (4) 各講演の講演時間について (全体的に)

1. 適当 : 73名
2. 長い : 0名
3. 短い : 4名 (受賞者発表(10分間)は短い。質疑応答の時間が殆どとれていない)

### ■ 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/質問者の話は聞き取れましたか?

1. 問題なく聞き取れた : 70名
2. 聞き取りづらかった : 7名 (ほとんど聞き取れたが、マイクの音声が遠い方もいた)
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 : 73名
2. やや見づらい : 4名 (2アップ資料が混在していたので統一したほうが良い)
3. 殆ど見えない : 0名

(7) 全体として、オンライン開催はいかがでしたか？

1. 通常開催と遜色ない : 16名 (プレゼンテーションは見やすく理解は進む)
2. 通常開催よりも劣る : 4名 (業務から隔離される方が集中できて良い)
3. オンライン開催でも許容できる : 48名
4. オンライン開催の方がよい : 9名 (部分的に参加/遠隔地でも参加しやすい)

■その他自由記述欄

自由記述欄に対しても、多くのコメントを頂戴した。多くの方から寄せられた代表的なご意見は以下の通りである。全体的にオンライン開催に対するものが多く、参加しやすいというメリットと、親睦を図れないデメリットを指摘するご意見が多く、コロナ禍明けには併用型を提案される意見も多数あった。

- オンライン開催に対する肯定的な意見
  - ・ 時間的な融通がつきやすく、遠隔地からでも参加しやすい。
  - ・ メールでの質問受付により、講演者とのコミュニケーションも取れるのでよい。
  - ・ 参加費や旅費負担がなく、学生が参加しやすかったのではないかな。
- オンライン開催に対する消極的な意見あるいは提案
  - ・ 懇親会やコーヒープレイクなど、親睦を深める場がないのは残念。
  - ・ 講演者として、聴講者の反応が見られない点がやりにくい。
  - ・ 一方向の講演だけでなく、全員参加型のブレイクセッションを設けてみてはどうか？
  - ・ コロナ後もオンラインと対面の併用型もありではないかな。
- 3部会合同開催について
  - ・ 自分の専門外の話も沢山聞けて、有意義であった。
  - ・ 最先端の研究と基礎的な内容がミックスされており、バランスが良かった。
  - ・ 3部会合同はぜひ続けてもらいたい。
  - ・ パネルディスカッション的なセッションがあってもよかったのではないかな？

6. CPDプログラムへの登録

本セミナーは、原子力学会 教育委員会が行っている CPD (継続研鑽) の教育プログラムとして認められており、参加者は希望すれば、本セミナー (計 670 分) の受講証明書が発行される。

本セミナーにおける CPD プログラムへの登録者は 27 名であった。

## 7. 謝辞

参加者 150 名超、講演者 23 名のオンライン会議ということで、接続不良や進行の遅れなどが 生じないか、事務局として不安が大きかったが、講演者及び参加者の皆様のご協力のおかげで滞りなく進行し、無事に終えることができました。心より感謝申し上げます。また、各部会の運営委員を始め、本セミナー開催にご協力頂いた全ての皆様に深く感謝いたします。どうもありがとうございました。

オンライン開催の利点を指摘する声を頂いた一方で、面着で親睦を図れない欠点を悔やむご意見も多数頂きました。しかし、本セミナーの成功は、3 部会の連携の良さの賜物であり、これまで培われた絆の強さを再認識する機会にもなったように思います。

今後も 3 部会合同セミナーが継続され、各部会の一層の発展に寄与することを祈念いたします。

## VI. 編集後記

核燃料部会報第 57-1 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。

昨年に引き続き、2021 年度も新型コロナウイルス感染拡大の影響が心配されましたが、国内外の学会、会議等において、オンライン開催、またはオンラインと対面開催の併用等、状況に適応した会議形態が普通に行われるようになって参りました。オンラインでの会合は多くの方が比較的参加しやすい形である一方、対面でできないことによる議論や親交を深められない等、今後の会合の有りに一石が投じられ、今後の開催形態の検討課題と感じております。

今回の部会報では、2021 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。

新型コロナウイルスの影響が継続する中、各種会議や学会等もオンラインで開催されることも多くなり、活動としては以前の勢いを取り戻したかのように感じることもあります。やはり対面でこそできることもあると思いますので、完全終息後には今のこの経験を活かし、業界全体がさらに盛り上がることを期待しております。

次回の部会報は、2022 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。

2021 年度部会報担当：日本原子力発電株式会社 竹野 美奈子  
メールアドレス：Minako-takeno@japc.co.jp  
電話番号：03-6371-7600