

核 燃 料

2019 年 3 月発行

No.54-1 (通巻)

目 次

I. 企画セッション

- (1)日本原子力学会 2018 年秋の大会 核燃料部会企画セッション
「溶融塩炉開発の国内外の状況」の概要報告 有田 裕二 1
- (2)日本原子力学会 2018 年秋の大会 総合講演・報告
「燃料デブリ」研究専門委員会活動報告 大石 佑治 3

II. 特別寄稿

- (1)平成 30 年度核燃料部会賞(学会講演賞)を受賞して(1) 大石 佑治 6
- (2)平成 30 年度核燃料部会賞(学会講演賞)を受賞して(2) 近藤 俊樹 7
- (3)平成 30 年度核燃料部会賞(学会講演賞)を受賞して(3) 中森 文博 8

III. 国際会議紹介

- (1)軽水炉燃料の「TopFuel2018」国際会議の報告
..... 天谷政樹(JAEA)、坂本寛(NFD)、太田宏一(電中研)、渡部清一、古本健一郎(MNF) 9
- (2)燃料安全研究国際会議(Fuel Safety Research Meeting)2018
..... 谷口 良徳、垣内 一雄、天谷 政樹 16

IV. 夏期セミナー報告

- 2018 年第4回軽水炉燃料・材料・水化学 夏期セミナーの開催報告 谷口(NFI) 20

V. 編集後記 27



I. 企画セッション

(1) 日本原子力学会「2018 年秋の大会」核燃料部会企画セッション：

「熔融塩炉開発の国内外の状況」の概要報告

福井大学 有田 裕二

核燃料部会が主要部会であった日本原子力学会「熔融塩技術の原子力への応用」研究専門委員会では、国内外の熔融塩利用技術を調査してきたが、近年の国外における原子力システム開発の中で著しい進展が見られる熔融塩炉について国内研究者にもその状況を知らせることを企図して、2018 年秋の大会における核燃料部会企画セッション（9 月 6 日(木) 13:00～14:30、座長：東京大 寺井幸隆教授）では、国内外の熔融塩炉研究状況を報告すると共に、中国から熔融塩炉研究をとりまとめている研究者を招聘しその状況を聴講した。以下、各報告の概要を紹介する。

(1) 世界の状況（福井大 有田裕二）

近年の世界各国における熔融塩炉研究開発状況について報告した。

熔融塩炉の研究開発は、第 4 世代炉国際フォーラム(GIF)での 6 つの将来炉中の一つとして取り上げられていたが、2016 年より IAEA においても共同研究や情報交換の枠組みが設置されるなど国際的な取組の活発化と、アメリカを中心とするベンチャー企業による熔融塩炉開発への国の支援など、実機建設に向けた取組が一気に加速している状況である。これまでは、プラント設計など机上の検討が先行していたが、耐食材料の開発、燃料塩の物性評価、照射試験など実験的な取組も広がってきており、各国の熱意が感じられる状況であった。

(2) 国内の状況（東京大学名誉教授 山脇道夫氏）

2013－2016 年度に活動した研究専門委員会及び国内研究者の取組について報告した。

国内大学や研究期間等による基礎研究や概念設計等の取り組みについて照会があり、これまでの熔融塩炉の弱点を補う炉型についての提案や今後加速すべき研究領域についての提案がなされた。

今後求められる原子力システムは安全性と廃棄物管理は重要であり、過酷事故が起こりにくく核変換効率の高い熔融塩炉の開発は、原子力イノベーションの観点からも進めていくべきであるとの意見表明がなされた。

(3) 中国の状況(Progress of TMSR in China)（中国 SINAP Hongjie XU 氏）

中国で開発が進められている TMSR(Thorium Molten Salt Reactor)についての紹介があった。2020 年に 2MWth の液体燃料試験炉と 10MWth の固体燃料熔融塩冷却試験炉を建設し、2030 年にはより大きな実証炉を建設する計画に向けて研究開発を進めている。熔融塩に用いられる Li-7 の同位体分離や新たな Ni 基合金の開発、循環ポンプや熱交換器、乾式再

処理技術など、必要な研究開発を全て自国で実施しようとする壮大な取組がなされているようであった。

質疑では、SMR（小型モジュール炉）との関係に対するものがあり、熔融塩炉は SMR の一つのやりかたとしての提案もあることを回答した。また、中国での開発状況に関して、タイトなスケジュールに関しての許認可工程に関する質問があり、タイトではあるが、当局へ実験データなどを提示し説明をしており、やや遅れはあるもののほぼ予定通り進められると考えているとの回答があった。

(2)日本原子力学会 2018 年秋の大会 総合講演・報告

「燃料デブリ」研究専門委員会活動報告

「燃料デブリ」研究専門委員会 幹事 大石佑治

福島第一原子力発電所（1F）事故においては、核燃料（燃料ペレットと被覆管）に関する技術課題が山積している状況にある。これらの課題を核燃料の専門家の視点から検討することは核燃料専門家こととしての責務であり、同時にこのような検討は1F廃止措置における様々な取組みや、今後の原子力の安全性向上に寄与するものであると考えられる。この考えのもと、2011年8月に核燃料部会において「溶融事故における核燃料関連の課題検討ワーキンググループ」が設立され、2年間の活動期間中に溶融事故に関する核燃料関連の研究状況の整理と課題の抽出がなされた。1F事故から数年が経過した今、事故時の状況及び事故後の状況が少しずつ明らかになってきているとともに、1Fの廃止措置に向けた燃料デブリ取出し方法の検討およびその技術開発が進んでおり、さらにシビアアクシデント研究にも進展がみられるような状況となっている。このような背景のもと、上記の「溶融事故における核燃料関連の課題検討ワーキンググループ」の設立の趣意を引き継ぎ、新たに得られつつある燃料溶融や燃料デブリ等に関する知見やデータを核燃料の専門家以外の視点も交えた上で調査・検討し、1F廃止措置の今後の取り組みや1F廃止措置で得た経験のシビアアクシデント研究への反映のための課題の整理と提言を行うことを目的として、「燃料デブリ」研究専門委員会が設立された。そして、日本原子力学会2018年秋の大会総合講演・報告において、研究専門委員会の設立から現在までの活動状況が4件の講演により報告され、本研究専門委員会主査の東京大学・阿部隆教授を座長として議論がなされた。本稿は、そこでの報告内容の概要を紹介するものである。

一件目は大阪大学の阿部委員により、研究専門委員会設立の経緯、趣旨、現在までの活動状況の概要が報告された。具体的には、本研究専門委員会は2016年6月1日に設立され、2018年3月31日まで活動したこと、委員数は2018年3月31日時点で58名であり、核燃料部会所属者が主体ではあるものの委員の半数以上は核燃料部会以外の様々な部会に所属していること、これは燃料デブリに関連した知見やニーズを多角的な視点から検討するためであること等である。また、本研究専門委員会ではR&Dの現状調査と共通の知識基盤の提供を目的として計5回の講演会（講演11件）を開催し、その結果を踏まえて抽出される技術課題について、課題に関連する専門家による深掘作業を行うことを目的とし、「事故進展」と「デブリ性状」の2つのタスクチームを設置して検討を進めたことが報告された。図1に本研究専門委員会の体制を示す。

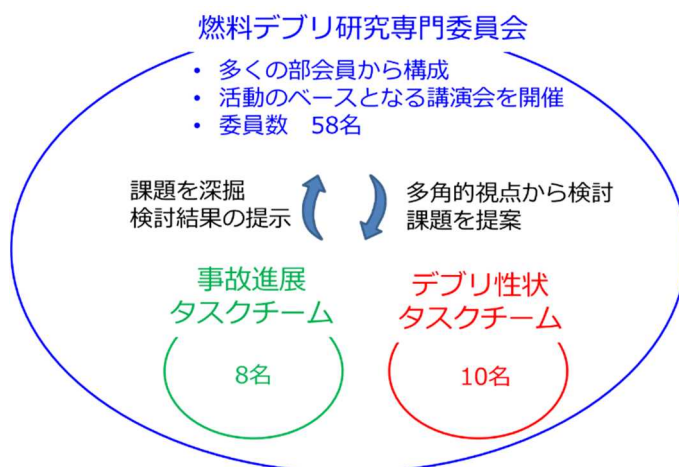


図1 「燃料デブリ」研究専門委員会の体制

二件目は電中研の尾形委員より、本研究専門委員会内に設置された「事故進展」タスクチームの活動が報告された。まず事故進展に関する未解明課題と溶融燃料の分布状況の推定については、1～3号機の炉心・格納容器の状態で直接的・間接的に関係する52件の課題が東京電力HDによって体系的に整理されていること、これらの中で燃料デブリの生成過程に直接関連が強い課題として、「コア・コンクリート反応」「溶融炉心の下部プレナム落下挙動」「炉心損傷状況とデブリ位置」の3課題が挙げられることが示された。次に事故進展解析の現状については、OECD/NEAの国際プロジェクトBSAFで共通の事故進展データベースを用いて1F1～3号機の各事故進展を各機関のSA総合解析コードで解析したこと、フェーズ1では日本を含む8か国（日仏独韓露米西瑞）16機関が参加したことが報告された。解析の結果、1号機では大量の溶融物がベデスタルに移行してMCCI発生に至り、1～3号機の中では炉心損傷の程度が最大であるとの一致した結果が得られたこと、2号機と3号機では、燃料デブリが原子炉圧力容器内に留まる計算結果と原子炉圧力容器が損傷してMCCIに至る計算結果の両方があったが、いずれも1～3号機の中で2号機の炉心損傷の程度が最小となったことが説明された。続いて事故進展の解明に向けた課題については、炉心構成物質が原子炉圧力容器外へ再配置した割合の解析結果の定量的な傾向はミュオン測定等を踏まえたデブリの分布状況の推定結果と概ね整合するものの、コード解析間の違いや解析と現場観察の違いや近所に見られること、その要因として解析コードのモデルや解析手法の違い、主蒸気逃し安全弁や高圧注水系等の動作状態や応答の不確かさ、炉心損傷過程やMCCIを含む燃料デブリ挙動等の事象の理解不足などが挙げられることが述べられた。最後に、現場観察や燃料デブリ取り出し・分析の段階的な進展に応じてその都度分析や解析を進めることが必要であるとの見解が示された。

三件目は、JAEAの高野委員より、本研究専門委員会内に設置された「デブリ性状」タスクチームの活動の中から1F燃料デブリの推定性状とFP放出ソースタームについての報告がなされた。まず燃料デブリを構成する炉心材料について、BWRの場合は UO_2 ペレット、燃料被覆管、制御棒とプレート材、制御材、チャンネルボックス、およびスパーサーグリッドに使用されるインコネルなどであること、またBWRの制御材であるB₄Cは、重量では0.5%と少ないが、モル換算では5%近い含有率となり、炉心溶融固化物中で無視できない量であること、炉心溶融物が流下してPCV底部に堆積した際にはMCCIが起るため、コンクリート成分が効くことになることが示された。次に酸化物デブリの主成分である $\text{UO}_2\text{-ZrO}_2$ 系固溶体について、全率固溶する温度領域が融点直下の超高温領域に限られることから、冷却速度が生成相、すなわち機械的特性に影響する可能性があるとの指摘がなされた。一方、金属質のデブリ構成成分としては、溶融進展時の酸化状況に応じて、 Zr-(Fe,Cr,Ni) 系金属間化合物あるいは (Fe,Ni) 系合金等がある他、Zr又はFe系のホウ化物として合金中に析出している可能性が述べられた。MCCI生成物については、炉心溶融物とコンクリートの接触面付近で大きな温度勾配があるため、到達温度領域に応じて生成相・組織が階層構造ができている可能性があるとの説明がなされた。最後に課題として、これまでに得られた性状データの網羅性不足が懸念されること、マクロな連続体（シレク）として捉えた際の特性評価が不十分な状況にあること、取り出しまでの長期間における表面変質や溶出といった経時変化に関する知見が不足していることが挙げられた。

四件目は、電中研の中村委員より、本研究専門委員会内に設置された「デブリ性状」タスクチームの活動の中から、廃炉工程に係る項目である線量評価、臨界評価、収納・移送・保管、処理、1F サンプル分析、長期変性挙動のそれぞれについて現状と主な課題の報告がなされた（表1参照）。

線量評価については、高線量場（>100Gy/h）での燃料デブリの取出しを想定し、原子炉圧力容器（RPV）内および格納容器（PCV）内の線量率分布評価手法や局所線量率を実測する計測技術開発が行われていることが報告された。臨界評価については、燃料デブリ取出し時の実効増倍率への影響因子と臨界防止、臨界監視技術、臨界事故時の影響評価、臨界停止手段などの技術開発が行われていることが述べられた。

収納・移送・保管については、同伴水量を35vol%以下に制限することによって収納缶内径400mmを確保する臨界安全評価、収容缶の構造強度および水素ガス管理技術開発などが行われていることが説明された。処理については、燃料デブリ取出し後の処理（中長期保管、処理・処分）の技術的見通しを把握するため、湿式および乾式再処理技術を適用した燃料デブリの化学処理技術開発が行われており、燃料デブリの溶解にはフッ素ガスを用いたフッ化物揮発法が有効とされていることが示された。サンプル分析については、分析ニーズを整理するとともに、最新の分析技術の開発が進められており、燃料デブリの分析も可能な1Fサイトに隣接した放射性物質の分析・研究施設の建設も進んでいることが報告された。長期変性挙動については、チェルノブイリ4号機の燃料デブリでは、自己照射損傷や機械的要因（相変態など）、化学的要因（酸化など）による自己崩壊やエアロゾルの発生、二次鉱物の形成、水中における浸出・移行挙動などが報告されていることが説明された。最後に、燃料デブリ性状に関する課題について委員から出された主な意見を示し、燃料デブリの性状把握、事象進展の解明、ならびに、SA安全対策の高度化には、引き続き部会の垣根を超えたコミュニケーションが重要であるとの見解が述べられた。

表1 燃料デブリ性状に関する主な課題

項目	主な課題
線量評価	- RPV/PCV 内の三次元Cs 濃度分布、実測値 - 取出し作業地点の線量強度の経時変化 - U/Pu 同位体比、Eu のアクチニド帯同生、Cs 放出率、燃焼度相関性
臨界評価	- 燃料デブリの冠水・冷却状況 - U/Pu 同位体比の位置依存性 - ^{155}Gd、^{157}Gd、ホウ素、鋼材、コンクリート成分の混合比と均質性 - 粒径、密度、含水率、開/閉気孔率 - デブリ表面で軽水からホウ酸水への置換時間 - FP ガス（Xe、Kr など）放出割合と放出速度 - 中性子吸収材との親和性
収納・移送・保管	- 水の濡れ性、水切り特性 - 水素ガス発生挙動（乾燥特性、水質） - 収納缶内での長期変性挙動、両立性 - 迅速なデブリ分別技術と判定基準
処理	- 溶解性、均質性、FP 放出挙動 - 工学的なプロセスの成立性
サンプル分析	- 取出し位置と事故進展解明との相関 - サンプルの代表性（マイクロ⇄マクロ） - 取出し/分析前処理時のFP 放出挙動
長期変性	- 取出し/収納・保管中のAn/FP 浸出挙動 - 燃料デブリの長期変性挙動モデルの構築 - 物理化学的特性や微細構造・結晶構造などの経時変化
その他	- デブリ取出し作業の安全ガイドラインの策定・指針

Ⅱ. 特別寄稿

(1)平成 30 年度核燃料部会賞（学会講演賞）を受賞して

大阪大学 大学院工学研究科附属
オープンイノベーション教育研究センター
大石 佑治

この度は「東京電力福島第一発電所事故におけるセシウムの化学的挙動に関する検討（6）不溶性 Cs 粒子の微細構造の検討」（日本原子力学会 2018 年春の年会）の発表につきまして核燃料部会賞（学会講演賞）に御選出頂き、誠に有難うございます。

本発表の元になった研究は、福島第一原子力発電所事故後に環境中から発見された「不溶性 Cs 粒子」の微細構造の生成メカニズムの解明を目的としています。この目的の達成のため、本研究では模擬試料を作製し、模擬試料と不溶性 Cs 粒子の微細構造を比較することで、不溶性 Cs 粒子の微細構造の生成メカニズムについての知見を得るというアプローチを取りました。発表では、様々な条件で作製した模擬試料の結晶構造や微細構造を、X 線回折測定や走査型電子顕微鏡観察、透過型電子顕微鏡観察によって評価した結果を述べ、模擬試料の作製条件と得られた微細構造との関係から、不溶性 Cs 粒子の微細構造の生成メカニズムについて得られた知見について報告しました。

本研究は、経済産業省「平成 27 年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金（総合的な炉内状況把握の高度化）」の一部として実施されました。また、本研究の成果は、本研究に携わった多くの方々のご支援ご協力の元に得られたものです。この場をお借りして関係の皆様にお礼申し上げます。今回の受賞を励みに、今後も核燃料分野の発展に寄与できるように精進したいと思います。



授賞式での寺井部会長との記念撮影
(8月7日 3部会合同セミナーにて)

(2)平成 30 年度核燃料部会賞（学会講演賞）を受賞して

大阪大学工学研究科
環境・エネルギー工学専攻
博士後期課程 2 年
近藤 俊樹

この度は、日本原子力学会 2018 年春の年会で
行った「Multi-physics モデリングによる Ex-
Vessel 溶融物挙動理解の深化 (3) ガス浮遊法
を用いた酸化物溶融物の物性評価」を核燃料部
会賞（講演賞）にご選出いただき、誠にありが
とうございます。この成果は日々ご指導をいた
だいている大阪大学黒崎先生、牟田先生、大石
先生ならびに共同研究先としてご助言をいただ
いた早稲田大学山路先生、電力中央研究所古谷
様をはじめとしたさまざまな方のご助力があつて
のものと考えております。深く御礼申し上げます。



授賞式での寺井部会長との記念撮影
(8月7日 3部会合同セミナーにて)

本研究では原子炉過酷事故時の溶融物挙動評価に必要な溶融物の粘性や表面張力を、近年発展してきたガス浮遊法技術を用いることによって従来よりも高温で、かつ不純物の影響なく評価することを目指しています。具体的には、ドイツの研究グループの協力のもと作成した浮遊中の試料に音波振動を印加し、その減衰振動の様子から粘性を導出する液滴振動法と、今回我々のグループが新たに提唱した浮遊試料を基板上に落下させ、その変形の様子から表面張力を算出する液滴衝突法を用いて溶融アルミナを対象に試験を行い、物性の評価・検討を行いました。結果としては両手法において物性値の取得に成功し、その値は他の手法によって得られた値と近いものを示しました。

今後は従来の測定法では測定が困難な、より高融点である溶融 ZrO_2 や UO_2 といった炉心溶融物の物性評価に着手し、炉心溶融挙動の解明に資するデータの取得を目指していきたいと考えております。今回の受賞を励みに、今後も研究に取り組んでいく所存です。

(3)平成30年度核燃料部会賞（学会講演賞）を受賞して

大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻*

中森 文博

この度は、日本原子力学会2018年春の年会で発表させて頂いた「東京電力福島第一発電所事故におけるセシウムの化学的挙動に関する検討 (7)無機鉛塗料からの Zn, Si およびその他成分の溶出挙動評価」を核燃料部会賞（講演賞）にご選出頂き、誠にありがとうございました。ご共著頂いた大阪大学の山中先生（～2017年9月ご在籍）、黒崎先生、牟田先生、大石先生、日本原子力研究開発機構の逢坂様へ深く感謝致します。また、ご支援、ご助力頂いた東京電力ホールディングスの伊東様、溝上伸也様、溝上暢人様、日本核燃料開発株式会社の鈴木様、日本原子力研究開発機構の西岡様をはじめとした多くの方々に心から感謝を申し上げます。本研究は、経済産業省「平成27年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金（総合的な炉内状況把握の高度化）」の一部として実施致しました。



授賞式での寺井部会長との記念撮影
(8月7日 3部会合同セミナーにて)

本発表は、福島第一原子力発電所事故後環境中から発見された「不溶性Cs粒子」を構成する元素の起源を実験的に検討したものです。不溶性Cs粒子は主にSiO₂ガラスで構成されており、Cs、ZnおよびFeなどが含まれていることが報告されております。Siは断熱材やコンクリートまた炭素鋼が、Csは核分裂生成物、Feは圧力容器（RPV）などが起源であると考えられています。しかしながら、Znの起源は明らかになっておりませんでした。伊東様による調査の結果、サプレッションチャンバー（SC）内壁にZnを主成分とする塗料が用いられていることがわかりました。当時SCのプール水は、原子炉隔離時冷却系の作動によってRPV内に取り込まれています。そこで、本研究ではSC内壁を模した試料を分析するとともに、事故時の圧力や温度を模擬した条件で溶出試験を行いました。塗料の分析結果から、Znの他にSiなども含まれていることがわかりました。また溶出試験結果から、Znを主成分とする塗料が直接水に晒されると、ZnやSiなどが水中に溶出することがわかりました。本研究結果より、不溶性Cs粒子中のZnやSiなどが、SC内壁の塗料由来である可能性が示唆されました。

最後に私事で大変恐縮ですが、本年の4月より一般財団法人電力中央研究所（電中研）に入所しました。電中研では大阪大学在籍時からの1Fの廃止措置関連の研究に加え、燃料・被覆管の研究を行っております。今後も、福島第一原子力発電所の廃止措置、原子力発電所の安全および電力の安定供給に寄与できるよう研究に精進致します。

最後になりますが、本部会のご運営に携わってこられました皆様へ深く御礼を申し上げます。この度は誠にありがとうございました。

*現所属：一般財団法人電力中央研究所 原子力技術研究所 燃料・炉心領域

Ⅲ 国際学会紹介

(1) 軽水炉燃料に関する国際会議「TOPFUEL2018」の報告



(同会議のWebsiteより引用)

報告者 (50音順) :

天谷政樹 (IAEA)、坂本寛 (NFD)、太田宏一 (電中研)、渡部清一、古本健一郎 (MNF)

1. 概要

2018年9月30日(日)から10月4日(木)にかけて、軽水炉燃料に関する国際会議TOPFUEL2018が開催された。同会議は、アジア地域(日本、韓国、中国の順に3年毎に持ち回り)、欧州、米国の順に持ち回りで開催されているものであり、今年度は欧州原子力学会(ENS)の主催によりプラハ(チェコ)で開催された。

出席者は24カ国から計283名と例年と同程度であった。図1に示すとおり、国別で見ると、米国(54名)が最も多く、次いでフランス(33名)、韓国(31名)の順、日本は20名で5番目であった。発表件数は23カ国から口頭・ポスター合わせて177件。図2に示すとおり、米国の最も多く(41件)、日本は全体で4番目(15件)であった。

分野別では、ここ数年の傾向と同様に、事故耐性燃料(EATF)に関する発表が49件と最も多く、次いで解析技術に関するもの(modelling)が40件、照射挙動に関するもの(Operation&Experience)、過渡時挙動に関するもの(Transient Fuel Behaviour)、並びに使用済み燃料関連(Used Fuel)がそれぞれ24件、材料関連(Advances in designs)が11件、IAEA Fumac project 関連が5件であった。講演プログラムとその内容については後述する。

来年は、燃料サイクルに関する国際会議のGLOBALと共催で、シアトル(米国)で開催されるとのこと。開催日は2019年9月22～27日。

¹ 出席者数と発表件数(国別、分野別の分析含む)は、会場で配付された資料に基づく数字。

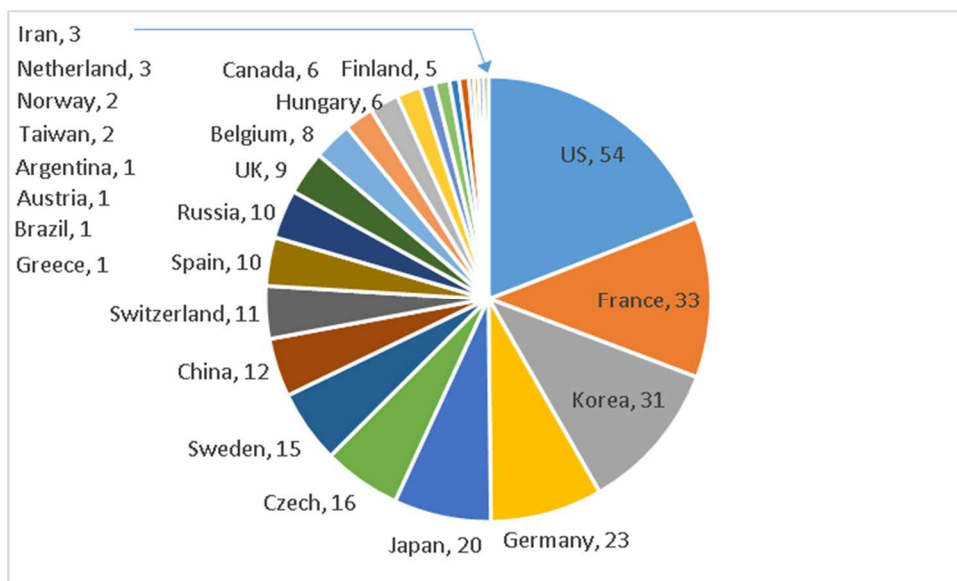


図1 国別の参加者数
(配付されたParticipant Listに基づく)

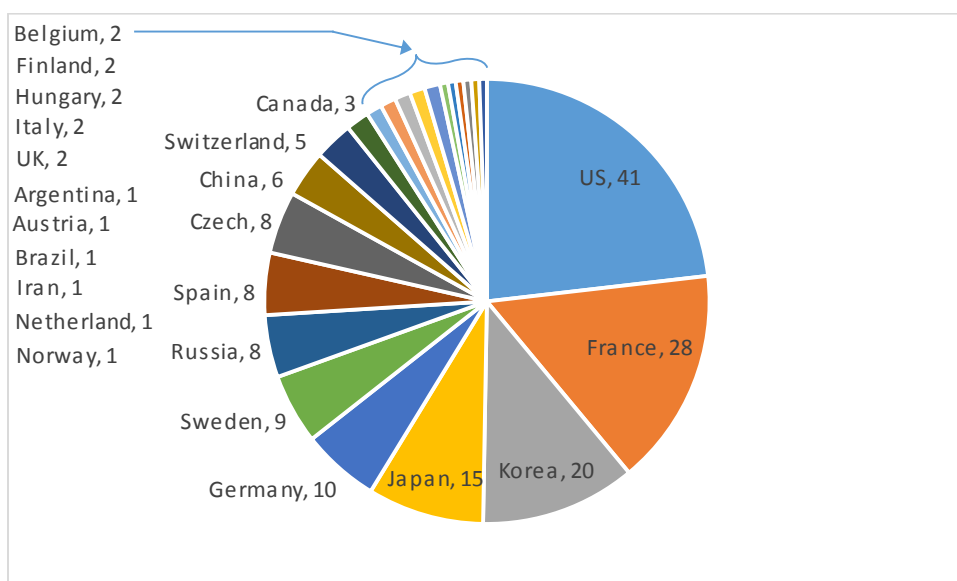


図2 国別の発表件数
(配付されたプログラムに基づく)

2. プログラム

プログラムは表1に示すとおり。講演（口頭及びポスター発表）は3日間、3会場同時進行であった。4日目はテクニカルツアーで、チェコの研究施設（Research Centre Rez）、発電所（Temelin NPP）及び産業機関（UJPPRAHA）の何れかから選択して参加する形式であった。

10月1日（月）	RoomCD	RoomB	RoomA
8:30～10:30	Plenary Session		
11:00～13:00	EATF Keynote Session		IAEA FUMAC Project
14:00～15:40	EATF	Operation & Experiences	Transient Fuel Behaviour 1
16:10～17:50	EATF	Operation & Experiences	Transient Fuel Behaviour 2
10月2日（火）	RoomCD	RoomB	RoomA
9:00～10:40	Operation & Experiences	Modelling 1: Coupled codes and analysis	Transient Fuel Behaviour 3
11:10～13:10	EATF	Modelling 2: Fuel Rod Codes	Transient Fuel Behaviour 4
14:00～15:00	Poster Session（共用スペースにて実施）		
15:00～16:20	EATF	Modelling 3: Uncertainty Analysis	Used Fuel: storage, transportation, and re-use
17:00～18:00	EATF	Modelling 4: Fuel performance analysis	Advances in Designs, Materials and Manufacturing
10月3日（水）	RoomCD	RoomB	RoomA
9:20～10:40	EATF	Modelling 5: Fuel performance analysis	Advances in Designs, Materials and Manufacturing
11:10～12:30	EATF	Modelling 6: Mechanical and CFD Codes	Used Fuel: storage, transportation and re-use
13:30～15:10	Operation & Experiences	Modelling 7: Advanced Codes and Methods	Used Fuel: storage, transportation and re-use
10月4日（木）	Technical Tour（下記3種類から選択）		
8:30～12:45	Research Centre Rez		
8:30～18:00	Temelin NPP		
8:45～12:45	UJPPRAHA		

3. 講演内容

各トラック²の講演内容は以下のとおりである。なお、テクニカルツアーについては、3カ所の施設の何れかに参加できる方式であったが、ここではMNF 古本氏が参加した研究施設（Research Centre Rez）について報告する。

(1) Plenary Session（MNF 渡部）

Plenary Session として6件の基調講演があった。

開催地チェコのState Office of Nuclear Safetyより、チェコ国内の原子力発電の概要について発表された。チェコでは現在2サイト6基の商用炉により、国内電力需要のおよそ3割が賄われており、さらに原子炉の増設も計画中であること等が紹介された。

IAEAからは将来（2050年）の燃料の展望についての発表があり、キーワードとして、濃縮度5%超、リーク撲滅へ向けた取り組みの継続、事故耐性燃料、次世代炉・SMR（Small Modular Reactor）向け燃料開発、先進燃料ペレット開発（ナイトライド、シリサイト等）が挙げられた。

OECDからは欧州での原子燃料開発の取り組みについて紹介された。ホルデン炉廃止について、OECDとしても試験照射場が失われていることに危機感があり、新しい国際協力の枠組みが必要であるとの主張であった。今後、短期・中期・長期に分けて燃料開発技術ニーズを整理し、最適な研究炉活用について検討していきたいとのことであった。

INLからは、OECD/NEAが主催するATFの専門家会合であるEGATFL（Expert Group of ATF for Light water reactors）について、その成果をまとめた最終レポートを発行したことが報告された。

その他、Westinghouse 及びFramatome から、それぞれ両社の近年の燃料開発動向について、概要が紹介された。

(2) EATF（MNF 古本）

本トラックでは、口頭・ポスターあわせて49件の発表があり、コーティングZr合金被覆管、FeCrAl合金被覆管、SiC被覆管、及び改良燃料ペレット等の事故耐性燃料候補技術について、研究成果や今後の展望等が報告された。

コーティングZr合金被覆管は他の候補技術に比べて実用化開発が先行しており、GNF-A社は2018年度からコーティングZr₂の商用BWRにおける先行照射試験を実施中である旨を発表していた。また、Westinghouse社は2019年度からCrコーティングZIRLOの商用PWRでの先行照射試験を実施予定である旨を発表していた。コーティングZr合金被覆管は、表面改良による耐フレッティング摩耗性能の向上、通常運転時の耐食性向上、並びに設計基準事故時の被覆管酸化、膨れ変形の低減が可能とのこと。

一方、FeCrAl合金被覆管とSiC被覆管については、米国と日本からの発表が多く、General Atomics社からは製造技術開発に関する発表が、Westinghouse社からは研究炉における照射試験結果が紹介された。日本からは、口頭・ポスターあわせて10件の発表があり、FeCrAl合金被覆管の製造技術開発、材料試験結果及び評価結果、並びにSiC被覆管の材料試験結果及び評価結果が紹介されていた。

改良燃料ペレットに関しては、Westinghouse社がシリサイド（U₃Si₂）の実用化開発を進めており、2019年から米国PWRにおいて先行照射を開始するとの発表があった。米国のATF開発の特徴は、経済性を重視している点であり、シリサイド燃料ペレットのメリットは、高密度化による燃料サイクルコストの低減であると紹介されていた。

² IAEA Fumac Project 関連と貯蔵関連（Used Fuel）は報告者の都合により、対象外とする

(3) Operation & Experiences (MNF 渡部)

本トラックでは、口頭・ポスターあわせて24件の発表があり、内容は主に商用炉燃料のふるまい（照射実績、不具合の調査・対策を含む）、研究炉に関する紹介、並びに検査技術等に関するものであった。

燃料の照射実績に関しては、GNF-A 社が2016年から導入したGNF2の開発経緯と照射実績が紹介された。同社の課題の一つは異物フレッティングであり、異物フィルタの開発に3Dプリンタを活用している。Westinghouse 社からは、1997年に導入したRFA及びその改良版であるRFA-2（2002年から導入）の開発経緯と照射実績が紹介された。これらの燃料集合体はこれまでに約28,000体が使用され、うち燃料リークが生じたのは76体（燃料棒91本）、要因の40%近くが下部グリッドフレッティングである。Framatome 社からは、2012年からRinghals-4号機で先行照射試験を実施しているGAIAの照射後試験結果が紹介された。先行照射されたGAIAの照射挙動は良好であり、2020年から欧州で、2021年から米国で導入される予定とのことである。

研究炉関連では、IFEからホルデン炉プロジェクトの最新状況及び今後の展望に関する発表があった。同発表では、ホルデン炉の開鎖が決定したことが紹介され、一方でIFEにはホルデン炉以外にJEEP炉、冷却材ループ、ホットセル、中間貯蔵試験設備等があり、IFEとしてはこれらインフラを活用し、今後も燃料R&Dに貢献していきたいとのこと。また、ロシアのJSCからは、研究炉MIRMIの紹介があった。同炉には照射ループがあり、熱水力条件及び水化学条件まで、VVER及びPWR条件での照射試験が可能であり、一部の試験に関してはBWR条件でも実施可能とのこと。

(4) Transient Fuel Behaviour (IAEA 天谷)

このセッションは異常過渡時及び事故時の燃料挙動に関するものであり、4つのサブトラックに分かれて欧・米・アジア・露の研究機関等から発表があった。

サブトラック I では、種々の雰囲気下におけるジルカロイ4被覆管の高温酸化挙動、LOCA 模擬試験後被覆管のリング圧縮試験結果の解析手法、被覆管外表面のクラッド及び酸化膜の熱抵抗安全解析結果に及ぼす影響、LOCA 時の高燃焼度燃料から放出される揮発性FPの挙動に関する報告がなされた。

サブトラック II では、高燃焼度改良型燃料に関する最新のRIA 及びLOCA 模擬試験結果、LOCA 時の燃料ペレット細片化及び軸方向挙動に係るBISON コードを用いた評価結果、SFP におけるLOCA 時の燃料挙動解析結果、CODEX 施設を使ったVVER 燃料のLOCA 試験結果、Zr-1%Nb 合金被覆管の二次水素化に関する実験及び解析結果が報告された。

サブトラック III では、FeCrAl 被覆管のLOCA 時挙動についてBISON コードを使ったシミュレーション結果、LOCA 時の被覆管延生に及ぼす水素化物の動的挙動の影響評価、空気等の種々の雰囲気下におけるE110 被覆管の高温酸化挙動、模擬BWR 燃料集合体を用いた水蒸気供給不足条件下での高温酸化試験結果に関して発表があった。

サブトラック IV ではRIA 時のPost-DNB を模擬した熱機械条件下での非照射ジルカロイ4 被覆管の機械挙動試験、RIA 条件を模擬した非等温条件下でのジルカロイ4 被覆管の挙動試験、RIA 時の燃料破損に伴う燃料放出及び冷却材との相互作用に関する実験及び解析評価結果、試験炉TREAT にて過去に行われた軽水炉燃料の実験結果の概略、浸水燃料のRIA 時挙動評価結果、仏国におけるRIA 規制基準の改定案について報告された。

(5) Modelling (電中研 太田)

燃料解析のモデリングや手法に関する技術セッションでは、統合コード解析（Coupled codes and analysis）、燃料棒解析コード（Fuel rod codes）、不確かさ解析（Uncertainty Analysis）、燃料挙動解析（Fuel performance analysis(1)&(2)）、機械挙動及びCFD解析コード（Mechanical and CFD Codes）、先進解析コードと手法（Advanced Codes and Methods）の7つのサブトラックに分

かれて、合計30件の口頭発表と10件のポスター発表があった。

統合コード解析のサブトラックでは、CEA と EC-JRC による核分裂生成物放出モジュール (MFPR-F : Module for Fission Product Release-France) における高燃焼度組織形成モデルの開発や燃料挙動コードとの統合、米国で進められている軽水炉先進シミュレーション・コンソーシアム(CASL : Consortium for Advanced Simulation of Light Water Reactors)の具体的な適用例についての報告等が行われた。燃料棒挙動コードのサブトラックでは、LOCA 後の冷却時における燃料棒の地震挙動の解析や燃料棒挙動コードの改良システム1 (FAST : Fuel Analysis under Steady-state and Transients) による、様々な添加物を加えた改良 UO_2 燃料棒のパワーランブ時のガス放出や燃料中心温度解析についての報告等がなされた。近年、 Cr_2O_3 を添加した改良 UO_2 燃料は、事故耐性燃料としても注目されており、 Cr_2O_3 添加 UO_2 燃料を対象としたパワーランブ時の3D 燃料挙動解析や大破断LOCA 挙動の不確かさ解析についての報告もあった。機械挙動及びCFD 解析コードのサブトラックでは、燃料棒や燃料集合体の地震動解析や原子炉解析におけるCFD 解析コードに関する開発状況や規制の見通しについて報告された。また、先進コードと手法のサブセッションは、5 件中4 件がFramatome 社による報告で、最新の3 次元中性子挙動熱水力熱応力の統合評価システム (ARCADIA, GALILEO) の開発状況等が報告された他、TeraPower 社からは、ナトリウム冷却高速炉の全炉心地震動解析についての報告がなされた。

(6) Advances in Designs, Materials and Manufacturing (NFD 坂本)

このセッションは事故耐性燃料 (EATF) 以外の先進技術に関するものであり、スウェーデン、中国からそれぞれ2 件、ロシア、ドイツ、カナダからそれぞれ1 件の合計7 件の発表があった。

スウェーデンからは、Westinghouse から新型BWR 燃料TRITON11™、改良Zr 合金材料であるHiFi®に関する報告がなされた。TRITON11™はWestinghouse の最新BWR 燃料であり、11×11 配列、3 本のウオーターロッドなど従来までの10×10 燃料とは大幅に異なる設計となっている。また、これまでのBWR 燃料の使用実績から、構成材料にも最先端設計が採用されている。今回の発表では、一連の炉外試験結果をもとに、2019 年に予定されているLTA (Lead Test Assembly) の装荷に向けた準備が計画されていることが報告された。HiFi®は原子燃料工業が開発したBWR 用ジルコニウム合金であり、鉄濃度をジルカロイ-2 よりも増加させることにより、水素吸収量を低減させることを目的としている。今回の発表では、これまでの開発経緯や炉内での性能評価結果等を用いて健全性向上に期待できるものであると報告された。

中国からは、NPIC、SNEDRI からスペーサグリッドの開発に関する発表がなされた。これまでの仕様実績から、装荷時と取出し時の持ち上げリスクを低減する必要があることが指摘されていた。そのため、スペーサグリッドの設計改良を進めており、CFD 解析や熱流体試験によりその実効性が確認されている現状が報告された。

ロシアからは、先進PWR 運転条件として検討されている高Li 水質における燃料被覆管材料の性能評価を行うため、ノルウェー・ホルデン試験炉において実施した燃料照射試験に関する発表がなされた。合金としては、ロシアで開発されたE110-opt、E110M、E125、E635M が試験に供されたが、照射後試験によりE110-opt とE110M が腐食特性、水素吸収耐性、クリープ特性、機械的特性の観点から、先進PWR 炉水環境に適しているとの結果が示された。

ドイツからは、Framatome からAdditive Manufacturing (AM) と称する先進製造技術に関する発表がなされた。AM は複雑化する構造物の製造を容易とすることを目的としており、今回の発表では Selected Laser Melting (SLM) と呼ばれる方法により、複雑な立体構造を有する部材を試作した結果が紹介された。SLM は金属粉末ベッドにレーザーを局所的に照射して溶融させる工程を繰り返すことで、3D プリンタと同様なLayer-on-layer 法で製造する方法である。適用先としては、複雑な形状を有しているデブリフィルターなどが挙げられている。

カナダからは、Canadian Nuclear Laboratories (CNL) からドイツFramatome と同様AM に関する発表がなされた。なお、CNL はトリウム燃料製造に関するものであり、セラミクス材への適用検討である。90%TD 以上の焼結が出来たも

の、焼結による大きな焼きしまりや歪みが生じている。ただし、課題は多いものの、燃料に対しても AM が適用できるのであることの期待を示した。

(7) Technical Tour (MNF 古本)

テクニカルツアーとして、チェコの R&D 企業の UIJV グループの研究施設である、Research Centre Rez の見学が催された。Research Centre Rez はプラハ市街中心地から車で 30 分程度の位置に立地しており LVR-15 及び LR-0 という試験研究炉、並びにホットセル試験施設を備えている。

このうち、LVR-15 では独立ループを用いて任意の商用 PWR、BWR 条件を含む熱水力条件での照射試験が可能である。ただし木枠照射のみであり、現状では燃料入りの試験燃料棒を照射することはできない。非常にコンパクトな炉心であり、試験目的に応じて中性子線束やスペクトルをフレキシブルに設計することができるとのことであった。

また、LR-0 はほぼゼロ出力 (1kW) の炉物理試験のための炉であり、こちらもコンパクトな炉心であるため、試験目的に応じて容易に炉の特性を変化させることができる点が強みである。さらに、ホットセル施設の見学があった。ホットセル試験施設は、照射済燃料を受け入れる設備はなく、したがって照射燃料の PIE は不可であるが、ちょうど近代化工事を終えたところであるとのことであり、各所が電子化されており 3D プリンタでの試験ジグの作成など、ハイテクも駆使されている様子がうかがえた。

(2)燃料安全研究国際会議 (Fuel Safety Research Meeting) 2018

日本原子力研究開発機構
谷口 良徳、垣内 一雄、天谷 政樹

日本原子力研究開発機構 (JAEA) は、国内外の専門家との情報交換や議論を通じて安全規制のための研究展開や安全評価手法の開発に役立つ情報を入手し一層の国際協調を図ることを目的に、高燃焼度燃料の反応度事故 (RIA) 時及び冷卻材喪失事故 (LOCA) 時の燃料安全に関する発表及び討議を行う国際会議を開催してきた。2011 年の震災以降、一時中断していたが、2016 年度より会議を再開し、本年度は、2018 年 10 月 30 日 (火) 及び 31 日 (水) にホテルテラスザガーデン水戸において、「燃料安全研究国際会議 (Fuel Safety Research Meeting) 2018」を開催した。日本国内及び欧米などの海外 (8 カ国) の研究機関、電力、燃料メーカー等から約 90 名の専門家が参加し、JAEA 及び米仏などから 20 件の発表があった。

会議は、以下のセッションで構成され、各セッションの講演概要を紹介する。

Opening Session (1 件)

Session 1: Fuel Behavior Study using Research Reactor (6 件)

Session 2: Analytical Study and Mechanical Test (3 件)

Session 3: Fuel Behavior under LOCA Condition (7 件)

Session 4: Fuel Behavior under SA Conditions (3 件)

オープニングセッションでは、JAEA の三浦理事による開会の挨拶に続き、JAEA における燃料安全研究の取り組みとして、RIA/LOCA 研究、それらに関する機械試験等の基礎試験、燃料挙動解析コードの開発、及び国際連携の概要が報告された。

欧米各国における研究炉を用いた研究の現状に関するセッションでは、米国 INL からは、TREAT の最新状況として、今年 9 月に再稼働後初の RIA 試験が実施され、所定の性能が確認されたこと、2019 年以降 RIA 試験を現在の実施計画に沿って進めていくこと、将来的には RIA 試験だけでなく LOCA 模擬試験の実施も視野に入れていることが紹介された。仏国 IRSN からは、CABRI プロジェクトの進捗として、今年 4 月に性能確認試験である CIP-Q test が終了し、今後、照射後試験を実施し、2019 年に行われる CABRI 炉の安全審査を経て 2020 年から試験を再開することが紹介された。ノルウェー IFE からは、ホルデン廃炉を踏まえたホルデンプロジェクトの今後の進め方が紹介された。

JAEA からは、今年 6 月の NSRR 再稼働以降に実施した RIA 試験結果の速報、燃料挙動解析コードの開発状況、今後の計画が報告された。RIA 試験では、ALPS-II プログラムの高燃焼度改良型燃料を用いて、合計 4 回のパルス試験を実施し、そのうち 1 つの燃料棒では、低エンタルピーでの破損が観察され、被覆管半径方向に析出した水素化物が影響していること、また、別の燃料棒では、従来の PCMI (Pellet Cladding Mechanical Interaction) 破損とは異なるラプチャー破損が観察され、今後、それぞれ詳細な照射後試験が実施予定であることが報告された。また、燃料挙動解析コードの開発状況として、FEMAXI-8 の照射試験データに基づく検証を実施し、その結果、良好な精度を有し、信頼性が向上したことが報告された。

解析、機械試験に関するセッションでは、IRSN から RIA、LOCA 時の燃料モデリング挙動解析コードの概要及び検証結果が報告された。JAEA からは、RIA 時の PCMI 破損を模擬した二軸引張試験による水素化物、被覆管製造条件の影響評価、及びジルカロイの水素固溶度に対する被覆管製造条件の影響評価が報告された。

LOCA 時の燃料挙動に関するセッションでは、JAEA から高燃焼度燃料を用いた LOCA 試験としてインテグラル試験、4 点曲げ試験、酸化試験の概要、及び現行 ECCS 基準の適用性が報告された。スウェーデン Studsvik からは、SCIP-III の現時点までの成果のまとめ及び SCIP-IV の計画が紹介された。IFE からは、IFA-650 シリーズで実施した LOCA 試験の進捗及びホットセル LOCA 装置を用いた試験計画が紹介された。独国 GRS からは、通常運転中に被覆管に吸収された水素が LOCA 時の破断限界に及ぼす影響、及び被覆管脆化クライテリアの考え方が報告された。JAEA からは、LOCA 時に生じる二次水素化が被覆管の機械特性に及ぼす影響、及び高温水蒸気中で生じるブレークアウェイ酸化に関して被覆管表面状態及び昇温条件が及ぼす影響が報告された。MNF（三菱原子燃料）からは、SiC 被覆管を対象とした LOCA 試験結果及び現行ジルカロイ材との比較結果が報告された。

シビアアクシデントに関するセッションでは、JAEA から VERDON-2 実験における核分裂生成物の化学的挙動、並びに炉心及び格納容器内での核分裂生成物の沈着挙動が報告された。また、経済産業省が進めている事故耐性燃料プロジェクトに関して、FeCrAl-ODS 及び SiC 被覆管の開発状況が報告された。

それぞれの発表に対して活発な質疑応答が行われた。特に、JAEA が最近実施した高燃焼度燃料を対象とした RIA 試験及び LOCA 試験の成果に強い関心が寄せられ、有意義な議論が行われた。

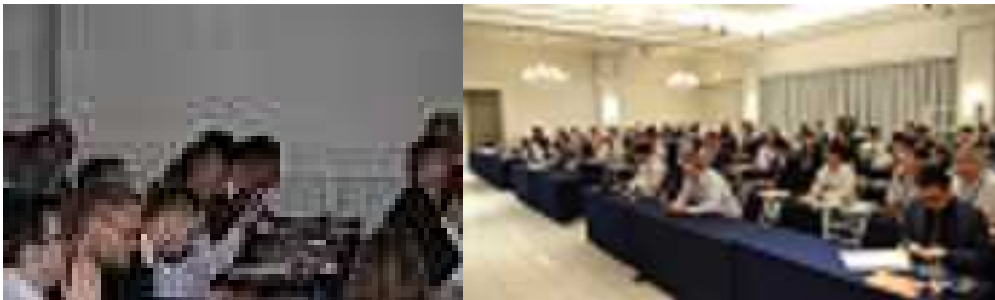
以上

Fuel Safety Research Meeting 2018 Program

Tuesday, October 30			
9:30 - 10:00 Opening Session			
9:30	- 9:40	Opening address	Y. Miura JAEA
9:40	- 10:00	Fuel safety research at JAEA	M. Amaya JAEA
10:00	- 10:10	Coffee Break	
Session 1: Fuel Behavior Study using Research Reactor			
10:10	- 10:40	Preparations for LWR design basis accident testing at TREAT	D. Wachs INL
10:40	- 11:10	Status of the CABRI Project	O. Marchand IRSN
11:10	- 11:40	Future plans for nuclear research at IFE	K. Haugen Halden
11:40	- 13:30	Lunch (take a Conference photo before Lunch)	
Session 1: Fuel Behavior Study using Research Reactor(cont.)			
13:30	- 14:10	Status and plan of RIA study at JAEA	Y. Udagawa JAEA
14:10	- 14:40	Behavior of high burnup BWR UO ₂ fuels with additives under RIA conditions	T. Mihara JAEA
14:40	- 15:10	Behavior of high burnup MOX fuel with M5 cladding under RIA conditions	Y. Taniguchi JAEA
15:10	- 15:30	Coffee Break	
Session 2: Analytical Study and Mechanical Test			
15:30	- 16:00	Status of Fuel Modelisation at IRSN	O. Marchand IRSN
16:00	- 16:30	Effect of hydride morphology on the failure strain of pre-cracked Zircaloy-4 cladding under biaxial stress conditions	F. Li JAEA
16:30	- 17:00	Dissolution and precipitation behaviors of hydrides in cold worked, stress relieved and recrystallized Zry-4	A. Yamauchi JAEA
18:30	- 20:30	Reception	
Wednesday, October 31			
Session 3: Fuel Behavior under LOCA Condition			
9:20	- 10:00	Status and plan of LOCA study at JAEA	T. Narukawa JAEA
10:00	- 10:30	A brief summary of the first four years of SCIP III and a presentation of SCIP IV	P. Beccau Studsvik
10:30	- 10:40	Coffee Break	
10:40	- 11:10	Recent results on the LOCA tests in Halden	V. Grismanovs Halden
11:10	- 11:40	Dynamic hydride precipitation during Integral Thermal Shock Test	F. Boldt GRS
11:40	- 13:00	Lunch	
Session 3: Fuel Behavior under LOCA Condition(cont.)			
13:00	- 13:30	Effects of oxidation and secondary hydriding on the strength of post LOCA cladding	Y. Okada JAEA
13:30	- 14:00	Study on breakaway oxidation of Zry-4 fuel cladding	M. Negyesi JAEA
14:00	- 14:30	Behavior of SiC cladding under LOCA conditions	D. Sato MNF
14:30	- 14:50	Coffee Break	
Session 4: Fuel Behavior under SA Conditions			
14:50	- 15:20	Numerical analysis for fission product behavior in VERDON-2 experiment	H. Shiotsu JAEA
15:20	- 15:50	Fundamental study on fission product chemistry under LWR severe accident conditions	M. Osaka JAEA
15:50	- 16:20	R&D Program for Establishing Technical Basis of Accident Tolerant Fuel Materials in Japan	S. Yamashita JAEA
Closing Session			
16:20	- 16:30	Closing remarks	M. Amaya JAEA



会議出席者の集合写真



会議の様子

IV. 夏期セミナー報告

第4回 軽水炉燃料・材料・水化学 夏期セミナーの開催

報告者 : 核燃料部会夏期セミナー幹事 大協理夫
開催日 : 2018年8月6日～8日
開催場所 : 静岡県掛川市 掛川グランドホテル

■ 概要

今回で4回目となった「軽水炉燃料・材料・水化学 夏期セミナー」は、静岡県掛川市の掛川グランドホテルにて、8月6日～8日の日程で開催された。参加者は139名を得て盛況であった。内訳は

所属別（大学：25、電力：38、研究：25、メーカ：20、他）

部会別（核燃料：24、材料：15、水化学39、他）であった。

セミナーでは初日に各部会より基礎講座が開かれ、各分野における基礎的内容の講義があり、二、三日目はSCCおよび事故事例のトピックスについて講演が行われた。ポスターセッションは二日目の昼食後に行われ、学生を中心に10名の参加があり、参加者は熱心にポスター発表に耳を傾け、盛況であった。

最終日の午後は浜岡原子力発電所の原子力館及び発電所の見学も行われた。原子力館では「失敗の回顧」と呼ばれる浜岡原発で発生した失敗事例とその対策に関するブースを主に見学し、また発電所では防波堤や新規制対応に伴う対策を見学し、再稼働に向けた対策を直に感じる機会であった。

本会では全体を通して、人材育成や技術伝承といった喫緊の課題が強調され、ベテランの先生方から若手技術者に向けた今後の期待や、他部会との連携強化についての言及が多くなされた。セミナー全体で活発な議論がなされ、非常に活気の溢れるセミナーとなった。



基調講演

◆ 水化学基調講演（日本原電 久宗氏）

水化学部会の活動や今後の構想についての概要に関して発表いただいた。また、水化学からみた新規制基準の対応や長期停止しているプラントの維持管理や技術伝承といったプラントの課題についての紹介がなされた。プラントが7年間も停止しているため、人材育成と技術伝承は特に重要な課題であると強調された。



◆ 材料基調講演（東京大学 阿部氏）



材料開発の視点からみたロードマップ（技術戦略マップ）の策定に関して発表いただいた。原子力技術・人材ロードマップの策定の過程と、そこから得られた課題に関して紹介いただいた。若手技術者への今後の期待と、今後は他部会との連携による専門性の深化が必要だと強調された。

◆ 核燃料基調講演（東京大学 寺井氏）

核燃料に関する基本的な内容と次世代炉に関して発表いただいた。また、1F燃料デブリの性状把握のための模擬試験や事故耐性燃料（ATF）の研究開発など幅広く紹介がなされた。



基礎講座

◆ 水化学基礎講座（日本原電 杉野 亘氏）

BWRとPWRの水化学に関する基礎的な内容を発表いただいた。軽水炉では水を多様な目的で利用するため、水と金属材料の腐食による腐食生成物がプラント機器の損傷やプラント作業員の被曝量の増加へ繋がる。軽水炉水化学の目的にあるその対策に関して、敦賀発電所2号機などの具体的な事例を挙げて紹介いただいた。



◆ 材料基礎講座（JAEA 加治 芳行氏）



軽水炉材料の照射挙動に関して発表いただいた。主な軽水炉材料はステンレス鋼、ニッケル基合金、炭素鋼・低合金鋼に分けられる。それら材料へ照射した場合におけるマイクロ組織や材料特性への影響に関して、SCCや配管減肉といった現象を中心に紹介いただいた。

◆ **核燃料基礎講座** （三菱原子燃料 藤原 大祐 氏）

PWR 燃料集合体について構造や設計の観点から発表いただいた。特に燃料設計における設計基準に関して解説いただき、また燃料集合体の製造工程（再転換工程、ペレット成形工程、燃料棒組立工程、燃料集合体組立工程）に関して写真を交えて紹介いただいた。



トピックス報告

◆ **水化学トピックス①「SCC の事例と環境緩和対策」**

（日立GE 長瀬 誠 氏）

BWR プラントにおける応力腐食割れ（SCC）の事例と環境緩和技術に関して紹介いただいた。SCC の要因は応力、材料、環境因子の3因子が重畳することで発生するため、それら因子に対しての対策が必要となる。本講義では特に環境因子の対策として水素、貴金属、酸化ヒタン注入等の技術に関して紹介いただいた。



◆ **材料トピックス①-1「BWR プラントにおける SCC 事例と対策」**

（日立GE 小島 亨司 氏）



BWR プラントで用いられる構造材の材料と材料因子の観点からみた SCC 発生事例に関して発表いただいた。再循環系配管の溶接部、炉心シュラウド及びHF 板型制御棒を事例として挙げ、SUS304L、316L 及び固溶強化型ニッケル基合金の SCC 損傷事例とそのメカニズム、そして対策に関して紹介いただいた。

◆ **材料トピックス①-2「PWR プラントにおける SCC の事例と対策」**

（三菱重工 杉本 憲昭 氏）

PWR プラントで発生する応力腐食割れ（PWSCC）の事例とその対策に関して発表いただいた。インコネル 600 合金はPWR の1次冷却系で用いられてきたが、PWSCC の発生が懸念されていた。この対策として実施した材料因子（690 合金開発）、環境改善、応力改善（ピーニング）に関する技術開発及びその保全技術の適用例を紹介いただいた。



◆ **核燃料トピックス①「BWR 燃料の変遷」**

（GNF-J 草ヶ谷 和幸 氏）



BWR 燃料の構造と変遷に関して発表いただいた。初期の6×6燃料時代から現在に至るまでの改良経緯が紹介され、また今後の燃料高度化の方向性についても紹介いただいた。

◆ 材料トピックス②-1「実機廃炉材・廃却材を活用した研究の現状と課題」
(電中研 新井 拓 氏)

廃炉材を活用した経年劣化研究に関して発表いただいた。長期運転を経験した材料でしか得られない情報が得られる可能性があり、国内・国外双方にて関心が高まりつつある。国内炉の「ふげん」や国外炉のZion (米国)、Zorita (スペイン) の廃炉材についての研究内容に関して紹介いただいた。



◆ 材料トピックス②-2「浜岡1号機廃炉材を活用した研究」
(中部電力 熊野 秀樹 氏)



廃止措置中の浜岡1号機のプラントを活用した材料研究に関して発表いただいた。浜岡1号機の圧力容器を試験用部材とした衝撃試験や破壊発生試験、マイクロ・ナノ組織の試験内容に関して紹介いただいた。

◆ 核燃料トピックス②「事故耐性を高めた燃料部材の軽水炉導入に向けた“課題”と“取り組み”」(JAEA 山下 真一郎 氏)

事故耐性を高めた燃料部材を導入するまでの課題やその取り組みに関して発表いただいた。1Fの事故断絶から推定される主要因のなかにジルコニウム被覆管等の炉心構成員材と高温水・水蒸気との酸化反応がある。そのため、事故耐性を高めた燃料部材の導入へ向けたプロジェクトが実施されている。それらプロジェクトの内容を紹介いただいた。



◆ 水化学トピックス②「BWR プラントにおける被ばく低減対策の変遷」
(東芝E S S 洞山 祐介 氏)



BWR プラントにおける作業員の被ばくのメカニズムとその対策に関して発表いただいた。主な被ばく源は配管内で発生した放射化した腐食生成物が配管に含まれることによる。それら発生を抑えるための水質管理や復水浄化系のフィルタを用いた除去、部材への低Co材採用や材料表面処理に関する技術を紹介いただいた。

招待講演

◆ 「失敗に学ぶ回廊」の紹介（中部電力 大塚 温久 氏）



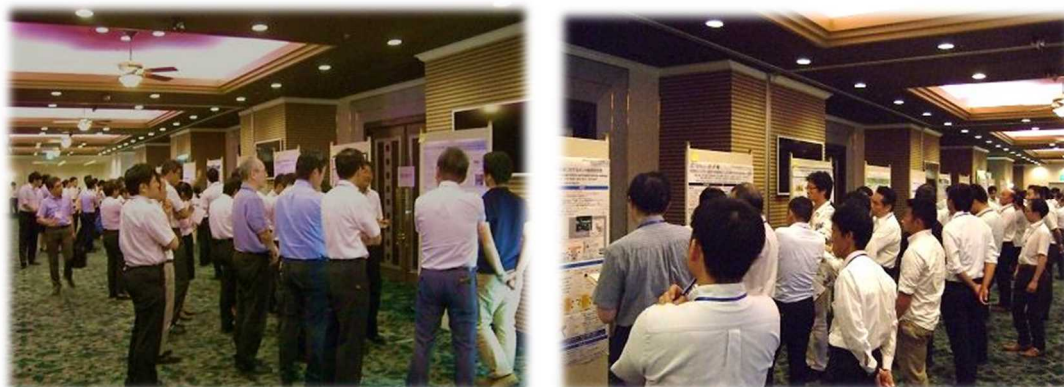
最終日の浜岡原子力発電所の見学の前に、PR館にある「失敗に学ぶ回廊」について発表いただいた。浜岡原子力発電所における事故を契機として『見える化』をコンセプトとして平成15年に設置された「失敗に学ぶ回廊」には様々な展示物があり、今なお更新が続けられていること、社内外教育や見学などで活用されていることを紹介いただいた。

ポスターセッション

昼食後（コアタイム60分）に下記10件のポスターセッションが行われ、多数の聴衆との活発な議論が交わされた。

- ・ 「トリチウム透過低減被覆中の水素同位体透過に対するガンマ線照射効果」
東京大学、藤田氏
- ・ 「低放射化フェライト鋼中の表面酸化による水素同位体透過挙動への影響」
静岡大学、木村氏
- ・ 「TG-DTA-MS による熔融 LiF-NaF-KF 塩中に溶解した Cs₂I の蒸気圧測定」
東京大学、関口氏
- ・ 「湿潤・乾燥環境下における炭素鋼の腐食に及ぼすガンマ線照射の影響評価」
東北大学、有賀氏
- ・ 「熔融塩原子炉用 Ni 基合金の熔融 FLiNaK 燃料塩に対する腐食挙動」
東京大学、小笠原氏
- ・ 「パルスラジオリシス法及びガンマラジオリシス法による有機物フリーな白金水溶液中におけるナノ粒子形成過程研究」、大阪大学、仮屋氏
- ・ 「メカニカルアイロニング法により作成した ODS-Cu 合金のレーザー焼結性」
京都大学、楠田氏
- ・ 「有限要素法を用いた高温純水中隙間腐食発生挙動に及ぼす幾何形状の影響評価」
日立製作所、橘氏
- ・ 「鉄／クロム炭化物二層組織の電子照射効果に関する研究」
東京大学、田中氏
- ・ 「PWR 一次系模擬水中における照射ステンレス鋼の腐食挙動と粒界酸化部の破壊挙動」
原子力安全システム研究所、三浦氏

本ポスターの受賞者は、最優秀ポスター賞が東北大学の有賀氏、優秀ポスター賞が東京大学の藤田氏、大阪大学の仮屋氏の2名であった。



懇親会

同ホテルの宴会場で約 100 人程度が集まり、歓談と食事を楽しみつつ相互の交流と親睦を深めた。各部会から基調講演を発表いただいた先生方（阿部氏、寺井氏、増田氏）や中部電力の大塚氏からのお話があった。また、水化学部会恒例の利き酒大会も実施され、熱心に議論がなされた。

本日開催したポスターセッションの審査結果の発表と表彰も行われた。



見学会

◆ 浜岡原子力発電所及び原子力館

見学会は3班に分かれて見学した。原子力発電所の原子力館では、新規制対応の実施内容や「失敗を学ぶ回廊」を見学した。「失敗を学ぶ回廊」の展示物は事故の現物や新聞、説明用DVDなど様々であり、とても見学時間だけでは十分に見て回ることはできない非常に充実した内容のものであった。また、発電所見学では、安全対策工事等の進歩を見ることができた。津波対策は抜けないようあらゆる事態を想定しており、非常に強固な印象を受けた。



謝辞

今回の合同夏期セミナーは水化学部会に主幹事をご担当いただきました。開催にあたってご尽力いただいた渡邊水化学部会長をはじめとする水化学部会幹事の皆様へ深く感謝いたします。核燃料部会では東京大学及び原子燃料工業株式会社が幹事を担当いたしました。ご多用中のところ講師をお引き受け下さった方、セミナーに参加下さった方、見学を受け入れていただいた中部電力の皆様へ、夏期セミナー開催にあたりご協力下さった方々に、この場をお借りして心より御礼申し上げます。

V. 編集後記

核燃料部会報第54-1号（夏版）を会員の皆様お届け致します。発行が遅れてしまい申し訳ございません。

執筆者の方々には、ご執筆のお願いに対して執筆を快諾して頂き、心より感謝申し上げます。

また、部会報の当方担当箇所の作成にあたり、内容のご確認等でご協力頂きました運営小委員会の皆様につきましてもこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

今回の部会報では、原子力学会秋の大会の企画セッション、平成30年度核燃料部会賞（学会講演賞）を受賞した3名の方々の受賞記事、2つの国際会議、及び、夏期セミナーの報告を掲載させて頂きました。いずれも大変興味深い内容となっておりますので、ぜひ皆様にもご一読頂ければと思います。

次回の部会報につきましては、今年6月頃の発行を予定しております。部会報の編集を通して少しでも盛り上げの一助になることを期待して、より一層の内容充実を図りたいと考えておりますので、会員の皆様からのご意見やご投稿などがございましたら、ご連絡を頂ければ幸甚に存じます。今後とも皆様のご協力をお願い致します。

2018年度部会報担当

東京電力ホールディングス株式会社 山内 景介

メールアドレス：yamauchi.keisuke@tepcoco.jp

電話番号：03-6373-1111（代表）