

# 核 燃 料

2015 年 12 月発行

No.51-1 (通巻)

## 目 次

### I. 企画セッション

原子力学会 2015 年秋の大会 核燃料部会企画セッション 「軽水炉・高速炉におけるトリウム燃料の利用(その2)」概要報告 .....	牟田(大阪大)	1
---	---------	---

### II. 国際会議紹介

(1)「Top Fuel 2015」報告 .....	天谷(JAEA)、坂本(NFD)、徳島(JAEA)、 中島(GNF-J)、永瀬(JAEA)、渡部(MNF)	4
(2)「Global 2015」報告 —核燃料関連— .....	尾形(電中研)	18
(3)「3rd Asian Zirconium Workshop」報告 .....	牟田(大阪大)	21

### III. 夏期セミナー報告

第3回 軽水炉燃料・材料・水化学 夏期セミナー開催報告 .....	草ヶ谷(GNF-J)	24
--------------------------------------	------------	----

IV. 編集後記 .....		28
-------------------	--	----



# I. 企画セッション

2015年原子力学会秋の大会（9/9-11）核燃料部会企画セッション  
 「軽水炉・高速炉におけるトリウム燃料の利用（その2）」概要報告

トリウム燃料利用に関するWG幹事 牟田浩明

「軽水炉・高速炉におけるトリウム燃料利用に関するワーキンググループ」は東日本大震災と東京電力福島第一原子力発電所事故を受けて活動を中断していたが、トリウム燃料についての関心の高まりから活動を再開し、6回の検討会を開催して最近の研究状況を調査するとともにトリウム燃料に関する報告書をレビュー・評価した。主なレビュー対象はIAEAレポート（NF-T-2.4, PUB-1540, 2012年）およびNRCレポート（U.S.NRC, NUREG/CR-7176, 2014年）である。また国内外の専門家を招いて国際セミナーを開催して議論を深め、報告書を取りまとめたWGとしての活動を終了した。この成果を学会員に幅広く公開し意見を取り込み、今後の更なる検討を深める礎とすることを目的に本セッションは実施された。

講演に先立ち、座長の大阪大学山中教授よりトリウム燃料の位置づけとワーキンググループの設立経緯、活動概要が説明された。

第一件目の講演では「トリウム燃料の炉物理－海外レポートレビューと評価」として、大阪大学の北田教授より、トリウム燃料の核的な性質と海外での利用検討事例が報告された。トリウム燃料の炉物理特性としてウランよりも fissile への転換率が高く、また LWR よりも HWR での使用時に転換比が高いことがあげられる。しかしウラン燃料を代替すると反応度係数/出力分布が変化するため、集合体/炉心設計により対応する必要がある。このため各国ではそれぞれの導入シナリオをもとに様々な炉型での利用が検討されている。インド・ノルウェー・カナダではエネルギーセキュリティ確保のための国内トリウム資源活用が目的であり、ロシアでは国内ウラン資源の消費量削減のためのトリウム利用が検討されている。また韓国・EC では既存 PWR におけるトリウム燃料利用の特徴把握のための研究がなされており、それぞれの炉心設計・転換比等について報告された。



北田教授

トリウム燃料の炉物理－海外レポートレビューと評価(1) 8

IAEAレポート1章、NRCレポート5章 Th利用の特徴に関するまとめ

- Th燃料は<sup>238</sup>Uよりもfissileへの転換率が高い
- Thの転換比は炉型やサイクルモード(open/closed)に依存
- LWR(Shippingport, 72MWe) ~1.01が達成
- LWRよりHWRでは増殖が容易

燃焼欠損が緩やか = 転換比が高い

LWR(Shippingport) NRCレポート

- Th燃料の温度係数(燃料、減速材)は同程度/負側に大(NRC)

Average Fuel Temp. Coeff. $300 < T_1 < 2400$ (pcm/K)				
	BOE	NBOE	EOE	
UOX	-1.74	-1.77	-2.54	-3.02
MOX	-2.53	-2.53	-2.73	-3.02
Pu-Th	-3.03	-3.08	-3.31	-3.71
U-Th	-2.95	-3.09	-3.64	-4.18

Average Moderator Temp. Coeff.  $566 < T_2 < 614$  (pcm/K)

	BOE	NBOE	MOE	EOE
UOX	-23.01	-23.74	-48.50	-67.10
MOX	-50.04	-47.46	-61.19	-75.40
Pu-Th	-47.62	-49.25	-54.49	-58.91
U-Th	-31.68	-33.34	-45.24	-50.94

燃料温度係数の燃料温度依存性

トリウム燃料の炉物理－海外レポートレビューと評価(3) 10

- ロシア：自国でのエネルギー供給(セキュリティ確保)のためにThサイクル検討  
必要天然U資源量600ktで留まる@2050年 (ロシアの確認理蔵量)
- 既存炉の寿命を踏まえて21世紀半ば以降 ⇒ VVER型軽水炉+BN型高速炉

Th燃料導入シナリオ (mass flow)

- U233増殖 (BN-800)
- Pu生成 (VVER-1000)
- U233+U<sub>238</sub>+Pu利用 (VVER-1000)

- VVERでEU/Th、Pu/Th酸化物燃料
- 減速材温度係数を負にするために、燃料組成・集合体構成を変更
- BNでブランケットにThを装荷(金属or酸化物)

続いて二件目の講演では大阪大学の牟田助教より「トリウム燃料の物性—海外レポートレビューと評価」としてトリウム酸化物燃料の燃料物性、核拡散抵抗性、コスト評価、NRC レポートにまとめられている現在の知見・課題について報告された。トリウム酸化物はウランと比べて融点・安定性などの面で優れた特性を持つ一方、製造時には難焼結性かつ遮蔽を要するなどの問題がある。また従来高いと言われてきた核拡散抵抗性は、濃縮ウランもしくはプルトニウムを加えることを考えると、それほど優位性はないとする記述がみられた。またコストについてはウラン価格をパラメータにした解析結果が報告された。前提条件の仮定に疑問があるものの、ウラン価格が現行の数倍になったときにトリウム燃料がコスト面で優位になるとのことである。NRC レポートはトリウム燃料の軽水炉適用についてはじめて基礎的概念以外に規制等の検討に踏み込んだものであり、実用化のために必要な知見が整理されている。照射試験など膨大なデータが必要とされるものの、現行の規制に大きな変更を加えることなく許認可ができる見通しであることが紹介された。



牟田助教

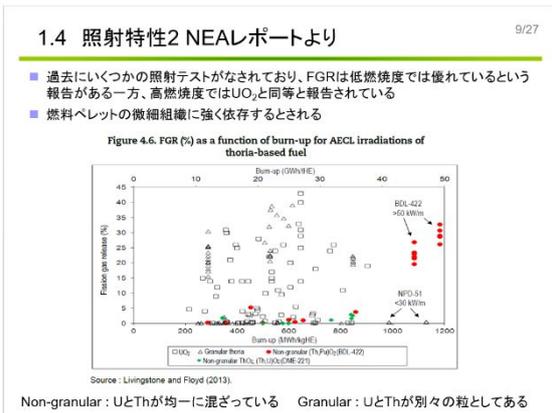


表3 燃料特性についての重要度・知見ランキング 23/27

現象/特性	重要度 (H:高, M:中, L:低)	知見程度 (U:なし, P:部分的, K:あり)	コメント	まとめ
FPガス生成/含有/放出	H	U	予備検討では $ThO_2$ はFPガス生成量は多いものの、閉じ込めが優れているしかし固溶体、特にUまたはPu比率が高いときの放出率データは少ない	ほとんどの研究が $ThO_2$ の燃料特性は燃焼度か、わずかに優れているとしている
寸法変化/スエリング/焼結/まり/クリーブ	H	U	予備検討では $ThO_2$ の照射時の寸法変化はより小さいが、固溶体についてはよく知られていない	しかし研究例は限られており、特に固溶体について少ない
微細構造変化	M	U	微細構造の変化は小さいことが示唆されているが、固溶体について評価は少ない	特性ならびにコードの作成、検証には照射試験が必要である
ペレット・被覆管相互作用	H	P	いくつかのPCI, PCMIデータが存在するが燃料および炉形により詳しいデータが必要である	炉内での $ThO_2$ 燃料の実験はいくつかあるが、特に高燃焼度領域で不確実性が大きい
燃料曲がり	H	P	同上	
燃料特性モデル	H	U	予備検討からFRAPCONモデルは $ThO_2$ 燃料用に発展させる必要があるこれらのモデルは実データで検証する必要があるが、現時点でデータがない	

最後の講演として、ニュークリア・デベロップメント株式会社の伊藤氏より「トリウム燃料の開発動向」と題して、トリウム燃料のこれまでの開発、および今後の照射計画等のトリウム燃料の開発動向について報告された。まず 1940 年代から始まったトリウム炉の歴史に言及しつつ、米国をはじめとした各国のプロジェクトが紹介された。続いて近年の開発動向として、カナダ CANDU 炉でのトリウム燃焼の検討、中国における熔融塩炉のプロジェクト開始、ロシアと米国 Light bridge 社による LWR/VVER での照射計画、インドでの AHWR による U233 照射サイクルの開発、そしてノルウェー・Thor Energy 社の取り組みが紹介された。Thor Energy 社を中心とした国際コンソーシア



伊藤氏

ムが結成されており、2015年からハルデン炉にて(Th, Pu)O<sub>2</sub>燃料の照射試験が継続中である。同社の開発では既存炉燃料におけるGdおよびU238をThで置換していき、(Th, Pu)O<sub>2</sub>燃料を経てA-LWRにおけるTh-U233クローズドサイクルを構築する計画が立てられており、2018年頃からの商用炉への装荷が予定されている。

### 4.3 Thor-Energy社とハルデンプロジェクト(2/5)

**開発ステップ**

- ・ステップ1燃料: Th添加(Th,<sup>235</sup>U,<sup>238</sup>U)O<sub>2</sub> / 既存炉燃料のGdや<sup>238</sup>UをThへ置換
- ・ステップ2燃料: (Th,<sup>239</sup>Pu)O<sub>2</sub> / 既存燃料の<sup>238</sup>UをThへ置換
- ・ステップ3燃料: A-LWRによるTh-<sup>233</sup>Uクローズドサイクル)
- ・2018年頃に商用炉(スウェーデンOskarshamn 2)にステップ1のTh添加燃料を装荷
- ・2015年にハルデン炉でステップ2の(Th,Pu)O<sub>2</sub>燃料の照射を開始
- ・2020年頃にステップ2燃料を商用炉に装荷することを計画

<b>Step 1: ThAdditive</b> • 5-10% Th in Uranium Oxide • Replacing Gadolinium and U238 in today's fuel	<b>Step 2: ThMox (mixed oxide)</b> • 90% Th /10% Pu • Replacing U238 (90%) in conventional U-MOX	<b>Step 3: Closed, breeding Th-U233 cycle in A-LWR</b> • Eternal energy with zero HL waste
---	--	---

NEC ニュークリア・デベロップメント株式会社 日本原子力学会「2015年秋の大会」

### 4.3 Thor-Energy社とハルデンプロジェクト(4/5)

**ハルデン照射データ 燃料温度**

- 新燃料について、測定値と計算モデル予測の一致度が良い。
- (Th/U)O<sub>2</sub>燃料の方がUO<sub>2</sub>燃料よりも若干温度が低い。
- (Th/Pu)O<sub>2</sub>燃料の方が(Th/U)O<sub>2</sub>燃料よりも温度が低い。

UO<sub>2</sub> ヘルフト半径8.48mm (Th/U)O<sub>2</sub> ヘルフト半径8.48mm (Th/U)O<sub>2</sub> ヘルフト半径5.90mm (Th/Pu)O<sub>2</sub> ヘルフト半径5.90mm

NEC ニュークリア・デベロップメント株式会社 日本原子力学会「2015年秋の大会」

トリウム燃料の使用には製造から再処理に至るまで多くの課題があり、実用化には時間を要する。しかし豊富な資源、高いプルトニウム燃焼性、高転換(幅広いスペクトル活用)、優れた燃料の安全性能に期待があることを踏まえ、科学技術、経済ニーズ、資源論等を考慮した調査検討に基づき研究開発が進められることが期待される。最後に講演発表内容の多くは部会HPで公開されている(<http://www.aesj.or.jp/~fuel/Events/WG.html>)WG報告書に記載されている。興味を持たれた方はご一読頂きたい。

以上

## Ⅱ. 国際会議紹介

### 「TopFuel2015」報告

報告者（50音順）：天谷(JAEA)、坂本(NFD)、徳島(JAEA)  
中島(GNF-J)、永瀬(JAEA)、渡部(MNF)



(TopFuel2015 ウェブサイトより引用)

2015年9月13日（日）から17日（木）までスイスチューリッヒのホテルSwissôtel Zurichで「TopFuel2015」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会議であり、今回はENSが主催を務めた。口頭発表（基調講演含む）110件、ポスター発表51件（プロシーディングでの集計）があり盛況であった。アジア/欧/米を中心とした24ヶ国の規制当局・電力・メーカ・大学・研究機関から303名が参加した。日本からは、7機関から合計10名参加した。

今回のTopFuel2015の特徴としては、事故耐性燃料（Accident Tolerant Fuel: ATF）に関する発表が全体の20%程度と増々発表件数が増加していること、また、ATF研究開発を精力的に実施している米国からの参加が多かったことが挙げられる。次ページからは、大会中の口頭発表の概要を報告する。なお、16日（水）には軽水炉以外の研究開発についての発表（ASGARD）も合計12件（プロシーディングでの集計）行われ、イナートマトリックス燃料、窒化物燃料等についての最新研究が紹介された。



Conference Dinnerでの集い

(Schützenhaus Albigütliにて(TopFuel2015 ウェブサイトより引用))

【9/14 (月)】

Modelling, analysis, methods: 5 件 (坂本)

VTT(フィンランド)から2件、PSI(スイス)、Canadian Nuclear Laboratories(カナダ)、AREVA(アメリカ)から各1件、合計5件の発表があった。

VTTからは、燃料熱機械解析で用いるジルコニウム合金の粘弾性(クリープ、応力緩和)モデルに関する検討が紹介され、粘弾性を取り入れることでクリープ、応力緩和による炉内データがより良く再現できる結果が示された。また、不確実性解析や感度解析に対する入力値の不確実性の影響についてFRAPCONを用いたシミュレーションで検討した結果も紹介された。

PSIからは、不活性マトリックス燃料や溶融塩再処理に役立てるために、溶融塩(LiCl-KCl)におけるモリブデンに関する熱力学的情報を整備する取り組みが紹介された。

Canadian Nuclear Laboratoriesからは、燃料を水平方向に装荷する加圧型重水炉(Pressurized heavy water reactor: PHWR)で起こる圧力管の変形により、燃料挙動がどのように影響を受けるのかを核計算、熱水力計算等で評価した結果、起こり得る変形では大きな影響は与えないことが報告された。

AREVAからは、開発を行っている3次元総合解析コードARCADIAについての開発状況が報告された。ARCADIAは、核、熱水力、熱機械解析を連成して解析するコードであり、通常運転時から過渡解析までを網羅しており、より柔軟な設計が可能であるとの紹介がなされた。

Accident Tolerant Fuel I: 6 件 (坂本)

WH(アメリカ)、BNL(アメリカ)、CEA(フランス)、EPRI(アメリカ)、GEC(アメリカ)、VNIINM(ロシア)から各1件、合計6件の発表があった。

WHからは、DOEプロジェクトで進めているATF開発の現況と今後の計画について紹介された。 $Ti_2AlC$ や $TiAlN$ コーティングジルカロイのオートクレーブ腐食試験、 $SiC$ 複合材被覆管の試験炉照射試験、インベントリ向上を目的とした $U_3Si_2$ の開発状況などが示された。 $U_3Si_2$ の $300^\circ C$ 、150気圧での高温水保持試験では良好な耐食性能が示されていた。DOEプログラムでは2022年にLTRデモンストレーションを目標としており、論理的パスを与えるプログラム計画の提供が重要と伝えていた。

Brookhaven 国立研究所(BNL)からは、事故耐性燃料や被覆管の選定アプローチに際して、粒子状燃料(FCM)やセラミックス複合材燃料、スチール被覆管等のスクリーニング解析をもとに従来ジルカロイシステムに対する制御棒反応度や炉特性への変化に焦点を当てた考察が紹介された。

CEAからは、Crコーティングしたジルカロイ被覆管の試作品による微細組織観察、 $1200^\circ C$ 、1500s条件での高温水蒸気酸化試験、 $415^\circ C$ 、200日条件での高温水腐食試験、 $1200^\circ C$ 加熱急冷させたLOCA模擬クエンチ試験などの結果について紹介があった。また、 $SiC/SiC$ 複合材のプレリミナリーな酸化腐食試験の結果についても触れられていた。

EPRIからは、Mo合金被覆管のFS開発の進捗状況に対する紹介があった。被覆管コンセプトは0.2-0.25mm肉厚のMo合金の表面に最大 $50\mu m$ 程度のジルカロイあるいはFeCrAlをコーティング

したものであり、LWR 水質条件でコーティング有無でのオートクレーブ試験、1000-1500°Cの高温水蒸気酸化試験を実施し、試験前後の機械強度や腐食量の変化について示された。

GECからは、3条件による高温水腐食試験(1)290°C1ppm O<sub>2</sub>のBWR通常水化学、(2)290°C0.3ppm H<sub>2</sub>のBWR水素含有条件、(3)330°C3.57ppm H<sub>2</sub>のPWR1次冷却材の結果が紹介された。(1)では40 μm/monthの非常に大きな腐食特性を示し、(2)では9 μm/month、(3)では5 μm/monthであった。また、FeCrAlコーティングを施したMo試料について1000°C水蒸気+10%水素含有条件で4日間の暴露試験を実施し、劣化はほとんど認められなかったと報告された。

VNIINMからは、SiC複合材被覆管、スチール被覆管、コーテッドジルカロイ被覆管、高熱伝導度ペレットなどのATF開発を進めており、試作後に600°Cまでの基礎特性(密度、空孔、耐食性、機械的特性)と熱膨張、金相および電顕分析など実施した結果概要や挙動評価モデリングの取り組みなどについて紹介があった。

#### PWR Operating Experience: 6件 (渡部)

MNF(日本)およびKNF(韓国)から各1件、AREVA(フランス)およびWH(アメリカ)から各2件、合計6件のPWR燃料の開発に関する発表があった。

MNFからは、現行のMDAを更に改良したM-MDA被覆管の実証試験に関する発表があり、商業炉での先行照射(~73 GwD/t)およびホットセルでの照射後試験、並びにランプ試験によりMDAよりも耐食性、水素吸収特性、機械特性に優れていることが実証されたとのことであった。

KNFからは、HIPER16燃料集合体の開発状況が紹介され、韓国で実施されたLTA照射試験データが示された。

AREVAからは、グリッドおよび案内シンプル用に開発したQ12合金に関する発表と、新たに開発したGAIA燃料集合体に関する発表が行われた。Q12合金はM5をベースにしてクリープ低減を図った合金である。2010年にドイツでLUA照射が開始され、最高で集合体燃焼度55 GwD/t以上照射されている。GAIA燃料集合体はM5被覆管、クロミア添加ペレット、およびQ12合金製改良型グリッドから成る。その先行照射燃料集合体(LUA)は2012年からRinghals 3号機で照射されており、ホットセルでの照射後試験も実施中である。

WHからは、同社製燃料の開発実績に関する発表とDNB試験ループに関する発表があった。同社は主たるリーク原因であるグリッドフレットイングと異物フレットイングへの対策として、グリッドの改良、下部ノズルの改良、保護グリッドの導入、燃料棒下端の酸化膜コーティングなどを施した結果、2010年以降はリーク率が減少したと報告している。DNB試験ループに関する発表では、同試験ループをDNB試験に適用できるように改良を重ねていること、並びにそのデモ試験結果が紹介された。

#### Modelling, analysis, methods II: 6件 (中島)

UJV Rez(チェコ)、ANATECH(アメリカ)、AREVA(ドイツ)、KINS(韓国)から各1件、WH(アメリカ)から2件、合計6件の発表があった。

UJV Rez からは燃料棒とガイドチューブ間の摩擦力を評価できる 3D FEM モデルを用いた解析を実施し、測定荷重と引抜カーブの関係を調べることで、ガイドチューブの変形を推定できることが報告された。

ANATECH からは、BISON-CASL コードに VPSC(Visco-Plastic Self-Consistent)モデルを導入し、被覆管の結晶組織が照射成長に与える影響及び他のモデルとの比較結果が報告された。

AREVA からは、PWR と BWR のリロード及び安全解析の許認可対応において使用している種々の解析コードについて報告された。

KINS からは、HZP(Hot Zero Power)における PWR の RIA 時の統計解析結果が報告された。

WH からは、サイクル末期の燃料集合体の地震時/LOCA 時の感度解析結果と PCI リスク監視手法について報告された。PCI リスク監視手法では、ペレットミッシングの影響や破損確率が考慮されている。

#### Enhanced accident tolerant fuel II: 6 件 (坂本)

INL(アメリカ)から 3 件、ORNL (アメリカ) から 2 件、Amec Foster Wheeler (英国) から 1 件、合計 6 件の発表があった。

INL からは、米国 ATF の照射試験計画について概要が発表された。プロジェクト化された ATF 1～ATF4 のテストシリーズの概要について示された。ATF1 はカプセル照射試験で 2015 年 2 月に照射を開始し、2018 年まで継続される予定である。ATF1 では、AREVA、GE、WH の ATF 被覆管に高密度ペレットなどが装荷される。ATF2 ではダウンセクションされた材料で PWR ループ条件にて 2016-2022 年に ATR にて照射される予定となっており試験体の概念図も示された。ATF3 は ATF2 照射済み燃料棒を使って TREAT にて過渡事故条件下での試験を 2018-2025 年で計画している。ATF4 では 2022 年に開始される予定の LTR および LTA 実炉照射燃料棒を使って TREAT での過渡事故模擬試験を計画している。

ORNL からは、高純度 CVD と FeCrAl 合金のクリープおよびスウェリングについてハルデン炉照射でデータ採取した結果が報告された。2 つの SiC と 4 つの FeCrAl 試料が試験に用いられた。引張試験形状の試料と LVDT 設置により長さ変化をオンライン計測で求めている。ORNL 見解では 1dpa までの低照射量でスウェリング率およびクリープ率の甚大な依存性が認められた。ハルデンの SiC スウェリングは HFIR 結果と良い一致を示したとのこと。一方 FeCrAl は燃料挙動モデルに従い性能や振る舞いの予測に良好な方向性を示した。

#### BWR Operating Experience: 6 件 (徳島)

GNF-A(アメリカ)、KKL(スイス)、AREVA(アメリカ)、WH(スウェーデン)から各 1 件、Vattenfall(スウェーデン)から 2 件の、合計 6 件の発表があった。

GNF-A からは、最近の GNF-A 燃料の性能・実績等について紹介があり、デブリフィルター付きタイプレート(DefenderTM)とインコネル(Alloy X-750)製のスパーサを用いた設計では、従来設計に比べてデブリによる燃料破損が低減されたことが報告された。

KKL からは、制御棒の健全性監視のためのオンラインヘリウムディテクターについて、その概要と詳細な検出手法に関する報告がなされた。

AREVA からは自社の BWR の最新設計である ATRIUM™ 11 について、設計概念、信頼性、順応性及び経済性等について紹介された。また、照射試験結果から設計の妥当性が得られたことも報告された。

WH からは、現在広く認可されている SVEA-96 Optima2™ 及び最新設計である SVEA-96 Optima3™ について、最近の詳細な動向と、今後の展望について報告された。

Vattenfall からは 2 件の報告があり、1 件目は、チャンネルボックス面の制御棒ブレードとの位置関係(隣接面かそうでないか)と水素濃度及び shadow corrosion との関係性について報告された。6 サイクル燃料では制御棒ブレードと隣接するチャンネルボックス面において高い水素濃度が確認されたことについて、例えば局所的な出力やボイド形成のためと説明された。2 件目は、Ni 基合金のスペーサ領域に生じる Zr 基合金の被覆管表面の shadow corrosion(oxide)に伴う剥離と、もともと存在していた被覆管表面の傷との関連性について報告された。

#### Enhanced accident tolerant fuel III: 5 件 (坂本)

AREVA(フランス)、東芝(日本)、KAERI(韓国)、CEA(フランス)、マンチェスター大学(英国)から各 1 件、合計 5 件の発表があった。

AREVA からは、米国 DOE およびフランス国内の ATF プロジェクトで実施中の取り組みについて紹介された。短期的取組では添加材による熱伝導向上 UO<sub>2</sub> ペレットおよび MAX フェーズコーティング Zr 合金被覆管、Mo 合金被覆管、Cr コーティング Zr 被覆管を開発している。長期的には金属ライナ付き SiC/SiC 複合材被覆管を開発ポテンシャルとして取り組んでいる。これらの基礎的試験に関する結果について紹介がなされた。

東芝からは、MEXT 事業で実施中の SiC 炉心材料開発について中間成果の発表があり、LPS 試作材による機械特性試験、高温水腐食試験、高温水蒸気試験、イオン照射試験、核特性試験、接合試験などの各種試験結果と燃料棒熱機械解析および SA 模擬ヒートアップ解析による試験結果が示され、SiC 材料やプラント安全性に対する取組みやふるまいデータについて紹介された。

KAERI からは、CVD, CVI-SiC 複合材ディスク状試料を用いた PWR 条件(360°C、最大 20MPa)でのオートクレーブ試験結果が報告された。溶存酸素と水素、PWR 水条件を制御した試験を実施している。複合材の試作品は外径 9.6-10.1mm、内径 8.5mm、長さ 30mm の試料でフープストレス試験も実施している。210 日の腐食試験の結果は 0.03mg/cm<sup>2</sup> 未満と良好な成績を示した。フープ強度ではチラノ SA と Hi-ニカロンのファイバーの違いによる特性を示していた。

CEA と EDF からは、SiC/SiC 複合材のプレリミナリーな酸化腐食試験結果が報告された。複合材は Hi ニカロンタイプ S でのフィラメントワインディング、100nm 厚さの PyC インターフェースを含む CVI で成形。外形 10mm、0.85-0.90mm 肉厚で成功している。オートクレーブは PWR 環境条件の 360°C、18MPa で 3500h (5 か月) であった。高温水蒸気は 1200°C と 1400°C の大気圧および 10bar の条件で 4~110hrs であり、試験結果は良好であった。

#### Advances in designs, materials and manufacturing: 5 件 (坂本)

NPIC(中国)、INL(米国)、NNL(英国)、WH(米国)、MEPhI(ロシア)から各 1 件、合計 5 件の発表があった。

NPIC からは、CNNC が PWR 用に開発を進めている CF3 燃料集合体の開発進捗状況が報告された。CF3 燃料集合体は、ガイドシンプル、グリッド設計を改良し、また、高燃焼度化を目的として被覆管材料には高耐食性の N36 合金 (Zr-1.0Sn0.3Fe1.0Nb) を導入している。既に 2014 年 7 月から商用炉にて LUA の照射が始まっており、今後、それらの結果が紹介される予定である。

INL からは、米国 DOE 主導で進められている Advance fuel campaign(AFC)の取り組み状況について報告された。AFC では研究開発機関、米国 NRC、大学、原子力業界を横断して、米国において製造から廃棄に至るまでの工程を考慮して、最も優れた燃料概念を築き上げることを目的として活動している。現在の検討結果では、核変換用燃料と先進軽水炉用セラミクス燃料に対象を絞っていく方針である。

NNL からは、Generation III、III+、IV および小型モジュール原子炉 (Small modular reactor: SMR) に適用可能な先進燃料候補材 (核燃料) の技術成熟度レベル (Technology readiness level) 評価を行った結果が報告された。先進 UO<sub>2</sub> 燃料、先進 MOX 燃料、Th 含有燃料、被覆粒子燃料、先進金属燃料等、数多くの概念が候補に取り入れられて評価がなされ、Generation III、III+の原子炉には、多くの概念が商用化に非常に近い TRL であることが確認された。一方、Generation IV 原子炉については、原子炉の設計と共に開発する必要性があることが強調された。

WH からは、先進的な VVER の設計が紹介された。

MEPhI からは、ジルコニウム管を対象として、電磁研磨法とプラズマを利用したガス放電によるコーティング膜の堆積法を組み合わせた表面改質に関する発表がなされた。この方法は、外面、内面を電磁研磨法で仕上げ、その上に耐食性に優れたコーティング膜 (例えば、クロムやチタン) をプラズマコーティングする方法であり、表面改質により腐食耐性が向上することが確認されている。

#### Transient fuel behavior - PCI/PCMI: 5 件 (天谷)

JAEA (日本)、CEA (フランス)、VNIINM (ロシア) 及び WH (スウェーデン) から各 1 件、合計 5 件の発表があった。

JAEA からは、高燃焼度まで照射された改良型燃料の反応度事故時及び冷却材喪失事故時の挙動に関する報告がなされ、実用化が見込まれる改良型燃料の事故時破損限界が高燃焼度域においても顕著に低下することはなく従来の日本の規制基準が適用可能である、等の報告があった。

CEA からは、RIA 時に水素化物ブリスタに発生するクラック挙動に関し燃料挙動解析コード ALCYONE を用いた 2 次元シミュレーション結果が報告され、破損しきい値やクラック進展時の脆性・延性モードの変化等について実験結果と解析結果との比較が示された。また、ALCYONE を用いて、出力ランプ時の 3 次元熱的・化学的・機械的シミュレーションを実施した結果が報告され、

PCI/SCC を生じる揮発性物質（ヨウ化セシウム、ヨウ素、テルルなど）の放出量やペレット内放出位置、ヨウ素の放出量（分圧）と燃料出力との関係などが示された。

VNIINM からは、試験炉 MIR にて出力ランプ試験を実施した際の  $Gd_2O_3$  添加  $UO_2$  燃料の照射挙動について、実験値と解析値の比較結果が報告された。

WH からは、出力ランプ試験時の PCI 破損結果を統計的に取扱った例が報告され、得られた統計処理の結果を燃料挙動解析コードに適用することでランプ試験時の PCI/SCC 破損の有無を判断する手法が紹介された。

【9/15 (火)】

Modelling - Experiments and analysis; Neutronics and core physics: 6件 (坂本)

CEA(フランス)、オハイオ大学(米国)、Studsvik(スウェーデン)、SNERDI(中国)、WH(スウェーデン)、WH(米国) から各1件、合計6件の発表があった。

CEA からはジルコニウム合金酸化膜内でのリチウムおよびボロンの高精度分析についての研究が紹介された。PWR の長期サイクル運転には、一次冷却水中のリチウムおよびボロン濃度の上昇が必要となるが、その場合には特にリチウムのジルコニウム合金酸化膜内への取り込みによる腐食耐性の劣化に注意する必要がある、CEA では PSI とともに照射燃料被覆材を用いて核変換法と SIMS による分析を行い、低濃度のリチウム、ボロン共に分析が可能であることを示した。

オハイオ大学からは、燃焼による燃料の熱特性や結晶構造の変化の非破壊測定法として、レーザー照射による Thermal wave imaging 法やピコ秒超音波による結晶方位の測定を開発しており、その進捗が報告された。

Studsvik からは、CEA と同様な目的で、レーザーアブレーション(LA) ICP 質量分析計によるリチウムとボロン分析を実施した結果が紹介された。リチウムによる腐食加速が起きたと予測される燃料曲りが起こった PWR 燃料棒の表面酸化膜を LA-ICP 質量分析計で深さ方向分析したところ、数 100ppm レベルの高濃度のリチウムが検出され、予測が裏付けられている。

SNERDI からは、CAP1400 原子炉下部でのミキシング係数の熱流体(CFD)解析結果が紹介された。CAP1400 原子炉は中国が開発している先進的な PWR で、特に压力容器下部の構造に工夫を凝らしており、同効果を系統的に確認するために CFD 解析を活用しているとのことである。

WH(米国)からは、原子炉解析コードの開発状況についてその進捗が報告された。BWR の燃料および炉心設計に用いる PHOENIX5、POLCA8、ABBOT 等の解析コードの開発状況が解析例を用いて紹介された。WH(スウェーデン)からは、CFD 解析コードである STAR-CCM+を用いて、PWR 燃料集合体に負荷される横方向荷重を計算し、燃料曲りに対する対策を構築していることが報告された。

Advances in designs, materials and manufacturing II: 6件 (渡部)

GNF-A (アメリカ) および WH (アメリカ/スウェーデン) から各2件、オックスフォード大学 (イギリス) およびペンシルバニア大学 (アメリカ) から各1件、合計6件の発表があった。

GNF-A からは、BWR 燃料に関する2件の発表があった。1つは冷却材への貴金属注入が被覆管 (Zry-2) の腐食に及ぼす影響に関する研究であり、Pt および Rh をスパッタコーティングした試験片の MIT 試験炉における照射試験により、これらが被覆管表面に付着した場合、腐食が促進される可能性があるとして述べていた。もう1つはシャドウ腐食に関する研究であり、MIT 試験炉およびハルデン炉での照射試験により材料の違いがシャドウ腐食に及ぼす影響を調査したが、材料間で明確な違いは見られず、試験のセットアップに問題があった可能性があるとしている。

WH の1つめの発表は、低すぎ ZIRLO の BWR 燃料チャンネル材への適用に関する発表であり、低すぎ ZIRLO は従来のチャンネル材に比べて寸法安定性が優れているとのことであった。もう1つは Zr 合金の腐食・水素吸収に関する発表であり、オートクレーブ腐食試験および水素分析により、

Zry-2、Zry-4、ZIRLO および Zr-Nb の遷移前後の腐食挙動、水素吸収挙動に関する詳細なデータが取られていた。

オックスフォード大学、ペンシルバニア大学からは共に Zr 合金の腐食挙動に関する研究発表がなされ、前者ではアトムプローブなどの高解像度技術を用いた酸化膜・金属部の微細組織観察結果および添加元素の分析結果が、後者は XANES (X 線吸収端近傍構造) 分析による酸化膜中の Fe のプロファイル分析結果が示されていた。

#### Used fuel (storage, transportation and re-use/material recovery): 6 件 (徳島)

CEA(フランス)、NRC(アメリカ)、HGNE(日本)、ペンシルベニア大学(アメリカ)、GNF-J(日本)、PSI(スイス)から各 1 件、合計 6 件の発表があった。

CEA は、通気された純水中における使用済み MOX 燃料の酸化溶解に関する pH 条件の影響について、ほんのわずかな pH の違いにより挙動が大きく異なることを報告した。

NRC は、高燃焼度燃料の超長期貯蔵(extended dry storage)における燃料スウェリングと崩壊ガス放出の被覆管応力への影響について DATING コードを用いて計算し、その応力は被覆管のクリップ破損を評価する上で問題とならないと報告した。

HGNE は、福島事故を受けて評価が進められている燃料部材の海水中での腐食進展に関して、福島で使用済み燃料が経験したような海水濃度履歴であれば、燃料部材の健全性は保たれていると報告した。

ペンシルベニア大学は、水素化物が再配向する閾応力への二軸応力状態の効果について評価した結果から、乾式貯蔵時の水素化物再配向性を評価する際には、応力状態の効果を考慮すべきであると報告した。

GNF-J は、福島事故で使用済み燃料プールに瓦礫が落下したことを背景に、照射・未照射の BWR 燃料被覆管を用いて、被覆管表面の傷が水素化物の析出に与える影響について調査した結果を報告した。

PSI は、スイスで使用されている 3 種類の被覆管材料を対象に、水素拡散速度や水素化物析出への冷却速度や水素濃度の影響に関して、実験及び解析から評価を行った結果を報告した。

#### Neutronics and core physics: 4 件 (坂本)

Amec Foster Wheeler(英国)、Risk Engineering(ブルガリア)から各 1 件、AREVA(ドイツ)から 2 件の合計 4 件の発表があった。

Amec Foster Wheeler からは、高温ガス炉の燃料として使用されている被覆燃料(TRISO)のマルチスケール解析手法の開発について発表があった。発表では、同手法を熔融塩冷却小型モジュール原子炉(SmAHTR)の解析に適用した結果も紹介された。

Risk Engineering からは、OECD/NEA で実施された 3 次元での熱流動解析と核計算の連成問題についての取り組みが報告された。具体的には、燃料集合体としては TVSA、炉心としては Lalinin3 号機を選び、集合体計算コードによるベンチマークを HELIOS、TVS-M、SCALE で行っている。

AREVA からは、PWR、BWR の両者に使用可能な沸騰曲線についての研究開発について紹介がなされた。最悪の場合には燃料破損を引き起こす問題であるため、AREVA では沸騰に関する予測に対して様々な取り組みを行っており、熱水力試験施設、信頼性の高い限界熱流速相関式の構築を行っており、それらを現行およびこれから開発する燃料設計に用いている。また、燃料集合体曲りの予測のため、集合体全体の機械解析と炉心全体および集合体局所の熱水力解析を組み合わせた解析方法の開発および適用例についても紹介がなされた。

#### Advances in designs, materials and manufacturing III: 5 件 (坂本)

PSI(スイス)、CEA(フランス)、KAIST(韓国)、CNNC(中国)、MEPhI(ロシア)から各 1 件、合計 5 件の発表があった。

PSI からは、クロミア添加  $UO_2$  の陽電子消滅試験結果が発表された。クロミア添加  $UO_2$  では標準的な  $UO_2$  と比較すると減衰の時定数が大きく、クロムが置換固溶することにより酸素空孔が減少して点欠陥が減少するからではないかとの推測を行った。

CEA からは粉末成型工程の最適化を行うための取り組みが発表された。有限要素法 (FEM) を活用して、焼結までの形状変化を考慮して、最も良い粉末成型条件を調べるという取り組み行われており、すぐにでも実材料 ( $UO_2$ ) を用いた検証試験を開始するとのことである。

KAIST からは Big T と呼んでいる可燃性中性子吸収材の研究が報告された。PWR では反応度制御のため一次冷却水にホウ酸を添加しているが、同時に pH 調整のために水酸化リチウムも加えているため、リチウムの核反応によりトリチウムが一次冷却水に発生することになる。Big T では、このトリチウム発生を抑制する方法として、Guide Thimble に  $B_4C$  等の可燃性吸収材を加える方法を採用している。

CNNC からは、大粒径  $UO_2$  ペレットの製造技術について発表された。具体的には、 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$  等を添加することで大粒径化する手法を採用している。

MEPhI からは、ウラン金属とミッシュメタルの混合粉末を高温窒化することで作製したウラン基混合窒化物の高温安定性に関する報告がなされた。ウラン窒化物と比較して、ウラン基混合窒化物では高温における重量減少が大きい結果が得られている。

#### Transient fuel behaviour - LOCA Test Session: 5 件 (天谷)

VNIINM (ロシア)、Centre for Energy Research (ハンガリー)、IRSN (フランス)、PSI (スイス) 及び GIDROPRESS (ロシア) から各 1 件、合計 5 件の発表があった。

VNIINM からは、高燃焼度 VVER 燃料の試験炉 LOCA 試験結果が報告され、被覆管の膨れ破裂、燃料棒からのペレット放出及び軸方向再配置状態に関する結果が示された。

Centre for Energy Research からは、E110 及び E110G 被覆管の高温水蒸気中酸化後の機械特性試験結果が報告され、高温水蒸気中酸化後の試験燃料棒の上下端近傍の外表面にフレーク状の酸化膜の剥がれが観察されたこと、酸化後の被覆管の 4 点曲げ試験を行った結果、酸化時間が短くても脆性破断する可能性があることが示された。

IRSN からは、模擬 LOCA 試験中に水素吸収 Zry-4 被覆管に生じる酸素の偏析について、被覆管肉厚方向の EPMA の結果と LOCA 時被覆管内酸素プロファイル評価コード (DIFFOX) を用いた計算結果とを比較した結果、後者の方が多少過少評価する傾向が見られたこと、などが報告された。

PSI からは、空気侵入シナリオにおける被覆管の窒化の影響について報告され、シナリオに依存して Zry-4 被覆管の酸化層及び窒化層形成状態が変化することが示された。

GIDROPRESS からは、LOCA 時の TVS-2006 燃料集合体の熱機械的な変形に関する実験的及び解析的な評価結果が示され、設計基準事故としての LOCA 時におけるこの燃料集合体の安定性に関して報告された。

#### Multiphysics and thermomechanical modelling I: 4 件 (坂本)

INL(米国)、VNIINM(ロシア)、VTT(フィンランド)、WH(スウェーデン) から各 1 件、合計 4 件の発表があった。

INL からは、INL で開発を進めている軽水炉燃料の熱機械解析コード (BISON コード) による LOCA 解析への拡張について報告がなされた。LOCA への拡張のために、バルーニングと破裂までを含んで評価できるように被覆管のクリープ変形、酸化、相変態を取り込んでおり、破裂の判定基準も設定されている。解析と試験により得られた破裂温度の比較では良好な再現性を得ている。

VNIINM からは、 $UO_2$  燃料の高燃焼度組織 (High burnup structure : HBS) からのガス放出についてのモデルが報告された。モデルではガスの拡散係数は構造変化前の値と変化後では同一と仮定し、拡散領域の大きさを変化させることで HBS からの優先的なガス放出を再現している。

VTT からは、速い過渡を計算するための燃料挙動モジュール FINIX について発表がなされた。FINIX は比較的簡単ではあるが、過渡解析等には十分な機能を有した燃料挙動モジュールであり、同モジュールを用いて制御棒引き抜き等による早い過渡解析を実施した結果が紹介された。

WH からは、WH 製の BWR 制御棒 CR99 の長期使用時の機械的な挙動についての検証結果が報告された。WH では、数多くの中性子吸収棒やブレードの炉内スウェリングデータを蓄積しており、それらを再現するための先進的な解析手法を開発しており、スウェリングにより引き起こされる IASCC に関する評価を行っている。

#### Advances in designs, materials and manufacturing IV: 2 件 (坂本)

WH(スウェーデン)、SNERDI(中国) から各 1 件、合計 2 件の発表があった。

WH からは、BWR 炉内における X-750 合金の腐食速度の見積もりが報告された。見積もりは、炉内で得られた重量変化測定結果、金属の溶出測定結果を用いて行われた。表面酸化物の炉水への溶出は冷却水流速、化学組成(特に鉄)、ボイド率等により強く影響されるため、見積もりに使用したモデルでは、それらの経験則を用いている。

SNERDI からは、新型 PWR 燃料である CAP1400 の開発状況について報告がなされた。CAP1400 は FA300 の豊富な実績をもとに考案された PWR 燃料であり、独自に開発したジルコニウム合金、BeO 添加  $UO_2$  ペレット、SAF グリッド、SAFAR および CARBON ノズルの適用を考えている。

#### Transient fuel behaviour - LOCA Modelling: 3件 (永瀬)

仏における LOCA 時の安全基準及び燃料挙動評価手法に関する発表が 3 件あった。

IRSN は、仏における LOCA 時の被覆管酸化に関する安全基準を、従来の被覆管ゼロ延性ベースから被覆管強度（破断限界）ベースに代えること、また燃料棒の膨れ・破裂時に起こるペレットの破碎及び軸方向移動を考慮した炉心冷却性評価が課題であること、さらに LOCA 解析においてモデル化が不十分である集合体内の熱流動現象等に対する評価精度向上を図っていくこと等を述べた。

EDF は、被覆管強度をベースにした LOCA クエンチ時の安全基準の具体案について説明した。提案された安全基準は、JAEA クエンチ試験データを基に拘束力等に関する再評価を加え、燃焼による水素濃度増大に従って漸減するものである。

IRSN からはもう 1 件、機械特性試験から求められる破壊靱性を指標とした高温酸化被覆管の破損基準に関する検討結果が示された。

#### Multiphysics and thermomechanical modelling II: 4件 (坂本)

IBRAE(ロシア)、AMAZUL(ブラジル)、PSI(スイス)、INL(米国) から各 1 件、合計 4 件の発表があった。

IBRAE からは、出力急昇(Power ramp)試験において観測された照射  $UO_2$  からのガス放出加速現象の解析コード MFPR を用いた検証についての発表がなされた。解析コードには、ガス原子の拡散、バブルのランダム移動およびバイアスを受けた移動、結晶粒界による掃出し効果が取り入れられている。

AMAZUL からは、事故耐性燃料被覆管材料として初期の PWR 燃料被覆管材料として用いられた鉄系合金を再度見直すため、348 合金の物性値を用いた熱機械解析を実施した結果が報告された。機械解析コードには TRNSURANUS を一部改造することで適用し、コードの検証には Yankee Rowe での照射データが用いられた。照射データは必ずしも全て整備されているわけではないが、いくつかの仮定を用いることで両者は良い一致を示している。

PSI からは、スイスの BWR の一つである KKL の燃料についての FP ガス放出に注目したモデル検証について報告がなされた。本取り組みで特に力が入れたのはボイド率に依存する高速中性子フラックスである。PSI で実施された KKL 燃料の PIE では、70Gwd/t 以上において強いボンディング層が形成されており、モデルではボンディングによる拘束で FP 放出が抑制される効果も取り入れている。

INL からは、BISON コードを用いた PCMI についての詳細な熱機械解析について報告がなされた。検証データには Riso 3 Fission Gas Project の結果が用いられている。過去にも BISON コードによる検証は行われたが、本取り組みでは熱衝撃で分裂したペレットをそれぞれ取り扱うことで、解析をより現実に近づけており、その結果、過去の検証よりもより良い一致が得られている。

#### Pellet behaviour: 4 件 (中島)

JRC-ITU (ドイツ)、NRA(日本)、AREVA(フランス)、Studsvik(スウェーデン)から各 1 件、合計 4 件の発表があった。

JRC-ITU からは、高燃焼度(>60GWd/t)UO<sub>2</sub>ペレットの Vickers 局所硬さとヤング率について報告された。局所硬さは気孔率の増加によりペレット外周部で著しく低下すること、径方向の局所硬さの分布とヤング率の分布に相関があることが示された。

NRA からは高燃焼度 MOX 燃料の照射試験結果について報告された。ヘリウムガス放出や FP ガス放出の挙動に関しては MIMAS-MOX は UO<sub>2</sub> と幾分異なる傾向があるものの、そのほかの挙動については同様であったと報告された。

AREVA からはクロミア添加燃料の照射実績とクロミア添加による効能について報告された。

Studsvik からは、SCIP2 プロジェクトで実施された種々の改良ペレットの照射材の元素分析結果が報告された。ペレット中の元素分析の結果、Al/Cr 及び Al/Si 相の中で Cs が、Al-Si 相には I が測定された。クロミア添加ペレットについては、ペレット中心部に Cr が移行し、Ba-Cr-Zr と U-O を含む析出物を形成することで、ガドリニア添加ペレットについては、出力急昇時に Gd の均一化により酸素が放出されることで、それぞれ PCI を抑制する可能性が示唆された。

#### Transient fuel behaviour - LOCA Analysis, Fuel fragmentation: 5 件 (永瀬)

LOCA 時の集合体構造応答や高燃焼度燃料ペレット挙動解析について 5 件の発表があった。

米国 NRC は、破損強度低下等、照射によるグリッドの特性変化により、集合体の径方向の動きや構成材に働く応力が変化するため、LOCA や地震時の外力に対する PWR 燃料集合体の構造応答に関する手引きを見直す必要があるとした。

スウェーデン Quantum Technologies 社は、ハルデン計画で行った LOCA 試験を対象に、FRAPTRAN コードを用いてペレット片の軸方向移動が被覆管最高温と膨れ挙動に及ぼす影響を評価し発表した。

米国 NRC は、SNL と共同で行った破裂時に燃料棒から放出されるペレット片の動きに関する解析結果について報告し、放出のタイミング、冷却材の流動条件、燃料棒の破裂挙動等に関する知見が不十分であり、流路閉塞や横方向の移動に関する評価は難しいと述べた。

仏 EDF から、ペレット破碎のメカニズム解明及びモデル化に関連し、高燃焼度燃料ペレットにおけるマイクロ組織評価、それを基にした FEM 解析、及び破碎メカニズム検討の結果が報告された。

ベルギーSCK-CEN は、燃料棒を粒状物質に見立ててペレットの破碎、移動、及び燃料棒外への放出を解析的に模擬する試みを紹介した。

【9/16 (水)】

Used fuel (storage, transportation and re-use/material recovery) II: 6 件 (中島)

マンチェスター大学(イギリス)、E.ON(Germany)、ORNL(アメリカ)、ENUSA(スペイン)、マドリード工科大学(スペイン)から各1件、合計5件の発表があった。

マンチェスター大学からは、AGR 燃料被覆管の水池保管時の腐食挙動についての理解を深めるため、被覆管の微細組織や腐食形態と水化学の関係について報告された。

E.ONからは、廃炉までの数サイクルの燃料・炉心設計の最適化に関して報告された。新燃料の装荷を削減するための Water-holes の導入やペレット密度変更等の検討や炉心設計が報告された。

ORNLからは、Zry-4 及び M5 の高燃焼度使用済燃料棒を用いた静的曲げ試験結果について報告された。燃料棒はペレット間の境界部の領域で破損しており、解析評価結果から、湾曲振幅や湾曲極値を考慮して使用済燃料の疲労を評価する必要性が示された。

ENUSAからは、使用済燃料輸送時のキャスクの9m落下時の破損クライテリアに関して報告された。被覆管表面の傷形状が落下時の燃料健全性に与える影響についても示された。

マドリード工科大学からは、水素化物の再配向処理をした未照射材の ZIRLO を用いたリング圧縮試験結果について報告された。試験結果を整理し、歪エネルギー密度及び 塑性歪の破損のしきい値が示された。

Used fuel (storage, transportation and re-use/material recovery) III: 5 件 (徳島)

NAGRA(スイス)、IAEA(オーストリア)、CIEMAT(スペイン)、国立清華大学(台湾)、JRC-ITU(ドイツ)からそれぞれ1件ずつの合計5件の発表があった。

NAGRAからは、長期安全解析のために必要な使用済み燃料集合体構造材の放射性各種のインベントリに関して、様々なコードを用いた見積もり方について報告された。

IAEAは、乾式貯蔵・サイト外貯蔵の現状及び今後の展望について紹介した。

CIEMATは、乾式貯蔵時の燃料棒の健全性評価等に必要な運転終了時点の燃料棒内圧の見積もりに関する FRAPCON-3 コードの不確かさについて評価し、燃料棒内圧の不確かさに伴う出力の保守的な閾値の設定について報告した。

国立清華大学は、Chinshan 原子力発電所の使用済み燃料プールの冷却機能喪失をモデルとして、TRACE、FRAPTRAN、DAKOTA 及び SNAP コードを用いて計算した結果を報告した。その結果、被覆管の円周応力が破損限界値に達し、被覆管が破損するまでに要する時間は3.6日と計算された。

JRC-ITUは、使用済み燃料棒中の軸方向のガスの透過性の評価のために実施した照射後試験について報告した。52GWd/tHM まで照射された PWR 照射燃料棒を用いて実施された試験の結果、燃料ペレットと被覆管のギャップは閉じているときでもガスの透過係数は  $2 \times 10^{-13} \text{m}^2$  と高く、容易に移動可能であることが示された。

以上

## 「Global 2015」報告

### —核燃料関連—

報告者：尾形（電中研）

日米仏韓の原子力学会の共催で隔年で開催される燃料サイクルに関する国際会議Globalでは、高速炉をはじめとする新型炉やマイナーアクチニド（MA）の分離・変換など新型燃料サイクルに関する発表が多い。今回のGlobal 2015は9月21～24日にパリ国際会議場で開催され、核燃料関連では30件の研究発表があった。内訳は、ターゲットを含む新型炉燃料では金属燃料関係の14件と酸化物・窒化物関係の10件、軽水炉燃料関係では4件、OECD/NEAの燃料関連の活動に関する紹介2件であった。以下、これらの概要を報告する。

#### 1. 新型炉燃料（金属燃料）

MAを含む金属燃料の照射試験METAPHIXやMETAPHIX照射済燃料を用いた電解精製試験METAPHIX-PYROなど25年以上にわたる電中研と超ウラン元素研究所（ITU）の共同研究に関する3件の発表があり、全体概要、METAPHIXの進捗、およびMETAPHIX照射後試験データの解析の結果が報告された。また、東芝が中心となって進めている「ウランフリーTRU金属燃料を用いたTRU燃焼高速炉サイクル」の研究の一環として、福井大他からPu-MA-Zr合金の液相線および固相線温度の計算状態図に基づく評価結果が報告された。

米国からは6件の報告があった。INLは金属燃料開発の経緯と現状を説明し、今後の展開として、Pdの添加による希土類FPの安定化によるFCCIの抑制、Ta添加によるMA添加燃料の融点上昇、30～40at%の高燃焼度の達成などを挙げた。INL/LANL/CEAはMA含有燃料のPhenix照射試験FUTURIX-FTAのうち米国で製造した金属燃料および窒化物燃料の製造と照射試験の概要を説明した。これらの照射燃料は2014年7月に米国に到着し、現在照射後試験を進めているところである。これらの他、INLに設置されている500g規模の重力鋳造による金属燃料鋳造装置における鋳造状況の三次元の流動解析によるシミュレーション（LANL）、金属燃料のFCCIの要因となる希土類FPの移行プロセスのモデリング状況（LANL）、過渡時の金属燃料のFCCI解明のための650℃および700℃でのU-Zr合金とFe合金の拡散実験の結果（ネバダ大）、高燃焼度を模擬した金属燃料サンプルのアーキ鋳造法による製造試験（ネバダ大）の報告があった。

韓国から4件の報告があった。KAERIにおける金属燃料開発の概要の紹介では、Am蒸発挙動の研究のためのU-10wt%Zr-5wt%Mn合金の射出鋳造実験、FC92鋼被覆管材料の開発、FCCI防止のため被覆管内面のCrメッキ等の検討、U-10ZrおよびU-10Zr-5Ce合金燃料のHANAROおよびBOR-60での照射試験の状況などが説明された。2028年までに建設予定の「プロトタイプGen-IV高速炉（PGSFR）」用のU-Zr燃料の許認可は2020年までに取得し、U-Zr-TRU燃料の先行照射を2030年から始める計画である。この他、フェライト-マルテンサイト鋼被覆管のTIGによる端栓溶接技術の開発（KAERI）、軽水炉燃料のPCMI解析手法を金属燃料のFCMIへ適用した結果（KAERI）、溶融Gaと水、溶融GaとR123冷媒の系を用いたシビアアクシデントにおける金属燃料のピン外挙動の模擬試験（ウルサン工大）の報告があった。

## 2. 新型炉燃料（酸化物・窒化物）

原子力機構から、加速器駆動システムを用いた MA 核変換のためのウランフリーの窒化物燃料サイクル技術の開発の現状と計画の説明があった。MA 窒化物の物性値の測定とデータベース化、照射挙動解析コードの開発、乾式再処理試験などを進めている。

欧州プログラム関連として次の3件のプロジェクトの報告があった。CEA/SCK-CEN/ITU/KIT が報告した PELGRIMM (2012~2015) は、HFR で照射した (U, Am) $O_2$  燃料の照射後試験、(U, Am) $O_2$  ペレットおよびスフェアパック燃料に関する次期照射試験 MARINE の準備、ゾルゲル法へのマイクロ波加熱の適用や弱酸樹脂法 (WAR) の開発などスフェアパック燃料製造技術の改良、照射挙動解析コードの改良などから成る。現在、MARIOS の照射後試験を実施中である。JRC-IET/CEA/ITU 他が報告した MARINE は PELGRIMM の一部で、MA 添加ブランケットに関する照射試験を計画している。試験燃料は 13% の Am を含む (U, Am) $O_2$  で、ペレットとスフェアパックの間の照射挙動 (He および FP ガス放出、スエリング、組織変化など) を比較する。照射は 2016 年から HFR で行う予定である。Chalmers 工大/NRG/NNL/KTH が報告した ASGARD は、酸化物、イナータマトリクス (CERMET, CERCER)、窒化物、炭化物の各燃料体の製造およびリサイクルにおける課題に関するプロジェクトで、CERMET 燃料の Mo 同位体のマトリクスの溶解と回収、CERCER 燃料の MgO マトリクスの硝酸による溶解、窒化物燃料からの  $^{15}\text{N}$  の回収、炭化物燃料の溶解方法などの研究が行われた。

CEA から、MgO マトリクスに (Pu, Am) $O_{2-x}$  粒子を分散させた CERCER 燃料の照射後試験結果の報告があった。これは MA 含有燃料の Phenix 照射試験 FUTURIX-FTA の一環として実施されたものである。2 本の試験燃料:  $\text{Pu}_{0.5}\text{Am}_{0.5}\text{O}_{1.88}+80\text{vol}\%\text{MgO}$  (燃焼度 8.6at%) および  $\text{Pu}_{0.2}\text{Am}_{0.8}\text{O}_{1.73}+75\text{vol}\%\text{MgO}$  (燃焼度 5.75at%) の He 放出率はいずれも 11~12% であったのに対して FP ガス放出率は各々 1.4%、0.6% であった。Am 添加ブランケット製造に関する 3 件の発表では、混合シュウ酸化物を転換して製造した  $\text{U}_{0.85}\text{Am}_{0.15}\text{O}_2$  の粉末の焼結挙動の研究 (CEA)、弱酸樹脂法 (WAR) とマイクロスフェアペレット法 (CRMP) を組み合わせた方法の研究 (CEA 他、2 件) の成果が報告された。WAR ではカルボキシル基を持つ球形のイオン交換樹脂にアクチニドを付加させ、これを焼いて有機物を分解した後、さらに  $\text{Ar}+\text{H}_2$  中で還元してアクチニド酸化物の粒子を得る。粒子は非常にポーラスであるが、圧縮して焼結させることで約 95%TD の (U, Am) $O_2$  ペレットが得られている。

以上の他、MOX 燃料と鉛ビスマス冷却材との共存性に関する試験 (ITU)、アクチニドと FP の二元化合物の固相熱力学パラメータの密度関数法 (Density Functional Theory) による予測 (ミラノ工大) の結果も報告された。

## 3. 軽水炉燃料

事故耐性燃料に関する研究として、ボイシー大/WH 社他から鋼製被覆管等を用いる事故耐性燃料に適合する  $\text{UO}_2+\text{UN}$ 、UN、 $\text{UN}+\text{U}_3\text{Si}_2$  など種々の高密度燃料の製造試験状況が報告された。AREVA からは、AREVA が参加している事故耐性燃料関連研究の説明があり、DOE プロジェクトにおいて EPRI が主導している Mo 被覆管、CEA と EdF と共に進めている Cr コーティングジルカロイ、および中央部に金属層を入れたサンドウィッチ型 SiC/SiC 複合材などの開発状況が報告された。

新型の軽水炉燃料については、AREVA 社から、地震時の剛性を高めた新型グリッド、ミキシンググリッド、M5 被覆管、クロミアドープ燃料ペレットなどを採用した PWR 用新型燃料集合体 GAIA、および 9.4mm 径の燃料棒、クロミアドープ燃料ペレット、20 本の部分長燃料棒、ライナー無 Zry-2

被覆管などを特徴とした BWR 用新型燃料集合体 ATRIUM11 の紹介があった。また、CEA から燃料ペレットに  $Nb_2O_5$ 、 $NbO_2$ 、 $NbO$  を添加して、照射中の酸素ポテンシャルを一定にすることにより、軽水炉被覆管の内面腐食を抑制する研究が報告された。アニール中に  $Nb_2O_5$  は消滅するが残留する  $NbO_2$  と  $NbO$  が共存することで、照射中の酸素ポテンシャルは一定に保たれる可能性があるとした。

#### 4. OECD/NEA の活動

OECD/NEA から、燃料材料に関する OECD-NEA の国際協力活動の紹介として、IFPE、EGRFP、EGIF、EGATFL、TAF-ID、WPMM 等々の燃料関連委員会の活動状況が報告された。また、2014 年に OECD/NEA から発刊された「State-of-the-art Report on Innovative Fuels for Advanced Nuclear Systems」(CEA/INL/ITU/原子力機構/電中研/PSI/OECD-NEA) が紹介された。これは、MA を含む各種燃料の開発状況をまとめたもので、金属、酸化物、窒化物、分散燃料、スフェアパックなどが含まれる。

#### 5. 感想

欧州での開催にもかかわらず金属燃料関連の発表が多かったが、これは米国における大学他への金属燃料研究の広がりや韓国における高速原型炉用金属燃料開発の着実な進展を反映したものと思われる。また、欧州フレームワークプログラムによる MA 含有酸化物燃料に関する広範囲な研究（基礎研究、燃料製造、照射試験など）が目立った。日本では、福島第一原子力発電所事故以来新型燃料関連の研究が低調となっているが、米韓欧の動向を注視しておくことは重要であろう。

なお、今回の Global 2017 は韓国ソウルで開催される予定である。

以上

## 「3rd Asian Zirconium Workshop」報告

報告者：牟田（大阪大）

アジア地域のジルコニウム合金研究者の連携を深めるため、2011年から隔年でアジアジルコニウム会議が開催されている。韓国（2011年）、中国（2013年）に続き、第3回会議が福井大学附属国際原子力工学研究所にて2015年10月5日～9日にわたって開催された。参加者は57名で中国から18名、韓国から12名、日本から27名であり、うち学生参加者が14名を占めている。3日間の講演ののち、最終日はもんじゅまたはINSSへの見学日となっており、それぞれ十数名の希望者が参加した。

表1 全体プログラム概要（括弧内は座長）

	5th	6th	7th	8th (Thu.)	9th (Fri.)
AM		10:30-Opening remarks (S. Yamanaka)	Mechanical, physical and chemical property (Y. K. Mok)	Alloy design & basic metallurgy & fabrication 3, Hydriding 2 (B. Luan)	Technical tour, Monju or INSS
		10:40-Alloy design & basic metallurgy & fabrication 1 (G. Yuan)			
		Lunch	Lunch	Lunch	
PM1		Alloy design & basic metallurgy & fabrication 2 (K. Kurosaki)	Corrosion 1 (M. Uno)	Safety issue 1 (H. Abe)	
		Coffee break	Coffee break	Coffee break	
PM2	Registration	Hydriding 1, Irradiation effects and Post-irradiation examination (J. Jang)	Corrosion 1 (M. Yao)	Safety issue 2 (Y. H. Jeong)	
				Closing remarks (M. Uno)	
			Banquet, New Sunpia Tsuruga		

発表は下記の 6 つのセッションからなっており、それぞれ数件の発表がなされた。

1. Alloy design & basic metallurgy & fabrication (9 件)
2. Mechanical, physical and chemical property (5 件)
3. Corrosion (8 件)
4. Irradiation effects and Post-irradiation examination (2 件)
5. Hydriding (hydrogenation) (5 件)
6. Safety issues (7 件)

なお、より詳しいプログラム、会議写真等は下記ホームページに記載されているのでご覧頂きたい。

[http://www.see.eng.osaka-u.ac.jp/seems/seems/3rd\\_AZW/index.html](http://www.see.eng.osaka-u.ac.jp/seems/seems/3rd_AZW/index.html)

中国および韓国からは第 2 回会議ホストの State Nuclear Baoti Zirconium Industry Company や Kepco Nuclear Fuel Company などの燃料メーカーと、中国核動力研究設計院 (NPIC) や第 1 回会議ホストである KAERI といった研究機関からの参加者が中心であり、被覆管の製造やその機械的特性、耐食性についての意欲的な取り組みが発表された。国産での被覆管製造・研究にかなり力が入れられており、勢いが感じられる内容であった。一方日本からは大学と研究機関からの発表がほとんどであり、アカデミックおよび事故時挙動に関する内容が多く、中韓とは本ワークショップに対する意識に多少違いがあるように感じられた。質疑応答は会議を通して非常に活発であり、質問がなく座長が困るような場面は見られなかった。



参加者の集合写真 (福井大学会議室にて)



バンケットでの鏡割り

今回で日中韓での開催が一巡したが、会期中に日中韓の代表者で実施した実行委員会において、今後も本会議を継続することが決定された。次回は2017年の5月に韓国の済州島で開催予定であることがKAERIのY. H. Jeong氏よりバンケットにて紹介された。日本からも企業の方を含め、多数の参加をお願いするとともに、本会議がアジア地域のジルコニウム研究者の交流を深める一助となることを祈念している。

最後になりましたが、本会議の開催にあたり助成金を賜りました福井観光コンベンションビューロー、会場を提供頂きました福井大学、見学を受け入れて頂きましたもんじゅおよびINSSの皆様をはじめ、ご協力頂きましたすべての方々に御礼申し上げます。

以上

### Ⅲ. 夏期セミナー報告

#### 第3回 軽水炉燃料・材料・水化学 夏期セミナーの開催報告

報告者：核燃料部会夏期セミナー幹事 草ヶ谷和幸 (GNF-J)

開催日：2015年7月8日(水)～7月10日(金)

開催場所：福井県あわら市あわら温泉 まつや千千

核燃料部会・材料部会・水化学部会合同の「軽水炉燃料・材料・水化学夏期セミナー」は、2009年以降3年ごとに行われ、今年の第3回は材料部会の主幹事で、福井県あわら温泉にて7月8日～10日の日程で開催された。ほぼ定員いっぱいの参加者119名を得て盛況であった。セミナー初日の午前中には、原子力全体に関する話題として原子力安全に関わる基調講演、および、3部会それぞれの専門分野における技術課題に関する基調講演が行われた。昼食と並行してポスターセッションが行われ、11件のポスター発表の中から核燃料部会枠のうちの1件が優秀ポスター賞を受賞した。午後には、3部会の各技術分野に関する「基礎講義」が行われた。懇親会で親睦を深めた後の2日目は、「福島第一原子力発電所事故その後」をテーマとし、事故の収束あるいは原子炉の安全向上に向けた対応や研究に関する7件（うち核燃料部会関連2件）の講演がなされ、セミナー最後の「総合討論」では会場から忌憚のない意見が寄せられた。翌10日には、敦賀発電所と大飯発電所の見学会が催され、計48名が参加した。

以下、セミナーの各セッションでの講演内容を中心にご紹介する。



セミナー参加者集合写真（セミナー会場 まつや千千 宴会場にて）

#### ■基調講演

- ◆「原子力安全」の現状（エネ総研 松井氏）—— セミナー最初の講演は、原子力の全分野にとって重要な原子力安全に関連し、海外の原子力安全に向けた取組み、“実力をつけてきている”中国のプラント建設状況、深層防護の考え方など、多様な話題が問題提起を交え紹介された。
- ◆軽水炉水化学の課題（日本アイソトープ協会 勝村氏）—— BWR、PWRにおける水化学の役割や、刊行予定の水化学管理指針について紹介があり、実プラントでの水化学の取組み（水素や貴金属などの注入）について非常に分かりやすい解説を頂いた。

◆核燃料の課題（JAEA 湊氏）—— 核燃料部会の最近の活動内容（熔融事故における核燃料関連の課題検討WG、軽水炉・高速炉におけるトリウム燃料の利用WG、WRFP2014、ANFC2014 など）や、エネルギー基本計画にもうたわれている放射性廃棄物の減容化・有害度低減のための分離変換技術の意義と国内外の活動状況などが紹介されるとともに、核燃料・再処理・廃棄物処分などの核燃料サイクル技術を支えるものとしてのアクチノイド研究の重要性とその人材育成の課題（魅力的な研究分野の提示など）を強調された。



◆原子炉材料の課題（核融合科学研 室賀氏）—— 原子力材料で重要となる照射に着目して、照射技術、照射試験、照射施設についての紹介があり、近年原子炉による照射研究の機会が極端に減少してきており、照射技術の伝承が最大の課題であるとのお話であった。

### ■基礎講座

◆水化学の基礎（東芝 高木氏、三菱重工 前田氏）—— BWR 及び PWR において実施されている構造材料保全や被ばく低減等のための水化学管理技術の概要の解説とともに、最近の技術動向として昨年 10 月札幌で開催された水化学国際会議 NPC2014 の内容の一部が紹介された。

◆核燃料の基礎（福井大 宇埜氏）—— 核燃料分野以外の原子力関係者を主な聴衆に想定し、軽水炉燃料はどのようなもので、どのような物性が要求され、照射によりどのように変化するかについて、燃料の基礎（燃料の分類、形状・材質、基礎物性、燃料への要求事項、照射挙動（主に PCI）等）を分かりやすく講義された。

◆材料の基礎（東芝 鹿野氏、東北大 阿部氏）—— 鹿野氏からは、圧力容器等の炉内構造物に関する過去の材料開発の流れと材料特性の紹介、阿部先生からは、加速器結合型電子顕微鏡と超高压電子顕微鏡を利用した最近の照射損傷研究の紹介があった。

### ■ポスターセッション

1 日目の昼食時間の後半（コアタイム 45 分間）に下記 11 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。

- ・「ODS フェライト鋼の酸化物粒子析出機構」、北海道大 大野氏
- ・「Al-Zr 添加 ODS 鋼の高温酸化に及ぼす過剰酸素の影響」、北海道大 静川氏（学生）
- ・「室蘭工業大学における SiC/SiC 燃料被覆管開発の現状」、室蘭工業大 中里氏
- ・「BCC 金属のボイド-転位相互作用の実験・計算研究の取り組み」、福井大 大久保氏（学生）
- ・「フッ化物熔融塩における Ni 基合金の腐食挙動の基礎研究」、福井大 藤村氏（学生）
- ・「浜岡原子力発電所 5 号機の CUW 再生頻度低減に向けたシリカ挙動評価」、中部電力 稲垣氏
- ・「レーザー除染の廃止措置への適用に向けた基礎検討」、中部電力 稲垣氏
- ・「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」、INSS 福村氏
- ・「イオン照射によるステンレス鋼の腐食挙動に及ぼす照射影響の検討」、INSS 三浦氏
- ・「原子炉起動後の腐食環境緩和および放射性核種付着抑制技術の開発—Pt による放射性核種付着抑制効果—」、日立製作所 大橋氏
- ・「アルミナシリケート添加 UO<sub>2</sub> ペレットによる燃料特性の改良」、GNF-J 松永氏

各分会 2 名の審査員による審査が行われ、核燃料部会枠でエントリーした GNF-J 松永氏のポスター発表が優秀ポスター賞に選ばれた。

## ■懇親会

大宴会場に約 100 名が集まり、歓談と食事を楽しみつつ相互の交流と親睦を深めた。ベテランの先生方や若手からの一言や、新学会長の上塚氏のお話などの他、ポスターセッションの審査結果の発表と表彰が行われた。



福谷材料部会長(左)からの優秀ポスター賞の盾の授与

## ■「福島第一原子力発電所事故その後」

◆福島第一原子力発電所の現状と廃炉に向けた研究開発 (IRID 桑原氏)—— 燃料デブリ取り出しに向けた工法 (気中、水中) の検討や、炉内状況確認のための開発 (ロボット導入、宇宙線利用) についての紹介があった。

◆福島第一原子力発電所の汚染滞留水処理 (東芝 杉森氏)—— 汚染水中のセシウム等の処理技術について、事故直後の緊急移送から最近の増設多核種除去設備に至るまでの推移を追った紹介があった。

◆燃料デブリ取出しに向けた性状予測データ取得 (JAEA 高野氏)—— 福島第一原子力発電所事故で考慮すべき因子として、海水注入、 $B_4C$  制御棒、コンクリートとの反応 (MCCI) などがあり、 $(U, Zr)_2O_3$  模擬デブリを用いた海水塩との高温反応実験、制御棒成分 ( $B_4C$ , ステンレス) と燃料集合体成分の混合物の熔融固化実験による生成相の把握、アーク溶解や集光加熱による模擬 MCCI 生成物の性状把握が進められている。

◆材料長期健全性 (東北大 渡邊氏)—— 福島第一原子力発電所事故後の配管や燃料プールなどの鋼材の腐食について、腐食メカニズムや腐食抑制策について講義された。

◆燃料破損・熔融過程の詳細解析、事故耐性燃料の軽水炉への適用性検討 (JAEA 倉田氏)—— シビアアクシデント時の燃料挙動の理解を深めるため、経産省事業において試験装置を開発し、得られた試験データから、燃料破損・熔融の素過程のモデル構築や熱力学データベースの拡張が進められている。事故耐性燃料については、要素技術の実用化に向けたガイドライン策定を主目的とした OECD/NEA の専門家グループの活動状況や主要国の開発動向等が紹介された。

◆発電所の対応 (原子力安全システム研究所 田中氏)—— 重大事故に対処するための設備等を中心に、関西電力の美浜 3 号、高浜 1-4 号の設置変更許可申請の概要の紹介等があった。

◆軽水炉の高経年度化対策 (電中研 新井氏)—— 2030 年原子力比率 20-22%の実現には運転期間延長やリプレースが必要であり、運転期間延長のための制度や基準、経産省の軽水炉安全技術・人材ロードマップに基づいて研究推進を目指している動向などが紹介された。

## ■総合討論

総合討論では、座長の東北大・阿部先生が 2 日間のセミナーを総括された後、シニアの先生方及び若手の参加者から、セミナー講演に対する意見や感想が述べられた。シニアの先生方からは、模擬デブリを用いた研究の有用性に関するご意見、経産省の軽水炉安全技術・人材ロードマップに自らの研究を位置付けることと研究者の精神的自由との背反性への言及 (これに対して阿部先生からはロードマップは研究を制限するものではなくむしろ研究内容の検討に有用との説明あり)、3 部会以外の部会との連携やロードマップを活用し方向性をもった研究計画を作ることの重要性、といった含蓄のあるご意見を頂いた。若手からは、他分野との連携や自らの視野を広げることの必要性を実感したことや、夏期セミナーに限らない 3 部会のさらなる交流の提言といった活力ある発言が多くあり、頼もしく感じられた。



セミナー会場の様子

■謝辞

本合同夏期セミナーの主幹事としてご尽力された福谷材料部会長をはじめとする材料部会の幹事の方々に深く感謝いたします。核燃料部会の幹事は福井大学および(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパンが担当いたしました。講師、座長、ポスター審査員の依頼をご快諾くださるなど、本セミナーの運営にご協力くださいました皆様に改めて御礼申し上げます。

#### IV. 編集後記

核燃料部会報第51-1号（夏版）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。

さて、今回の部会報は、3つの国際会議を中心に、原子力学会秋の大会の企画セッション、夏期セミナーの2015年度上期の核燃料部会の取り組みを掲載させて頂きました。私自身が、昨年のWRFPMや軽水炉燃料等の高度化RM検討WGでお世話になった方々からの報告です。是非お読みいただければと思います。

震災後原子力に対する風当たりは強く落ち込んでしまいがちな日々を過ごしてこられた方も多いと思いますが、今年は原子力発電再開の明るいニュースもありました。歩みは遅いかもかもしれませんが、着実に前進していることは確かです。核燃料部会も盛り上げていきましょう。次回の部会報につきましては、来年5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。

2015年度部会報担当

日本原子力発電株式会社 高松 樹

メールアドレス：[tatsuki-takamatsu@japc.co.jp](mailto:tatsuki-takamatsu@japc.co.jp)

電話番号：03-6371-7630