

核 燃 料

2010年10月発行

No.46-1 (通巻)

目 次

I. 企画セッション

- 「先進的原子力システムにおける燃料材料」研究専門委員会報告〔核燃料部会、材料部会共催〕
先進的原子力システムにおける燃料材料の新しい研究アプローチ
..... 日本核燃料開発(株) 平井 睦 1

II. 特別寄稿

- 原子力学会賞を受賞して ～高速炉燃料の融点～
..... (独)日本原子力研究開発機構 加藤 正人、森本 恭一、東北大学 小無 健司 4

III. 国際会議紹介

- IAEA/TWGFPT 2010年総会報告 (水炉燃料の挙動と技術に関するワーキンググループ)
..... (独)原子力安全基盤機構 上村 勝一郎 6

IV. 国際交流ニュース

- 日中韓での核燃料分野国際交流の準備について
..... 日本核燃料開発(株) 坂本 寛 13

V. 関係機関便り

- 原子燃料工業株式会社(NFI)の事業概要と近況
..... 原子燃料工業(株) 来山 正昭 17

VI. 夏期セミナー報告

- 第25回 核燃料・夏期セミナー報告
..... 三菱原子燃料(株) 高野 賢治、大久保 道子、後藤 寛 19
夏期セミナーに参加して
..... 東北大学 齋藤 健、大阪大学 徳島 二之 29

VII. 編集後記

- 中部電力(株) 野田 宏 31



「先進的原子力システムにおける燃料材料」研究専門委員会報告

〔核燃料部会，材料部会共催〕

「先進的原子力システムにおける燃料材料の新しい研究アプローチ」

報告書：日本核燃料開発㈱ 平井 睦

1. はじめに

「先進的原子力システムにおける燃料材料」研究専門委員会は、先進的原子力システムにおける燃料・材料に関する課題や研究の現状について多角的に検討する目的で、2006年4月に核燃料部会と材料部会が共同で立ち上げ、2008年3月までの2年間に種々の観点から調査・検討を行った。その結果、燃料・材料に関して多くの課題解決が必要であり、効率的に研究を進める必要があること、また計算科学の進歩により新たな視点での研究が可能となってきたことが着目され、2008年4月から2010年3月までの2年間で、各分野における実験的アプローチと計算科学によるアプローチを調査・検討した。その中で、計算機能力の飛躍的な発展により、取り扱える体系も大きくなり、計算科学を用いたアプローチにより実験結果を表現できる例も出てきており、実験の補完的手段として用いることができる可能性が見えてきた。逆に、計算科学の観点からは、近年確立されてきた新しい実験手法によって得られた新たな微細構造等の情報により計算結果の検証が可能となり、精度の飛躍的な向上が期待される状況にあることが示された。このように、現在、計算科学によるアプローチと実験によるアプローチの距離が縮まってきており、今後の戦略的な研究アプローチを議論する局面に来ている。

そこで、これまでの活動のまとめとして、実験ならびに計算科学を効率的に活用することにより開かれる燃料・材料の新しい研究アプローチの創出に向けて、先進的原子力システムにおける燃料・材料のクリティカルな課題、燃料・材料の現状と課題、その課題に対する計算科学による取組み、量子ビームを用いた新しい実験手法について紹介した。

2. 報告内容概要

2.1. 委員会活動のまとめ

(東大、東海大；山脇道夫)

本委員会の4年間にわたる活動を総括した。本委員会は、先進的原子力エネルギーシステム実現に向けた燃料・材料に関する調査・研究、同システムにおける新燃料・材料導入に関わる課題の抽出、新燃料・材料導入に関わるシナリオ検討を主な目的として立ち上げられ、4年間で11回の委員会を開催し、延べ30テーマについて議論してきた。この中で、核燃料部会と材料部会とが融合して議論を進めることにより、新しい研究アプローチの一端が見えてくるなど、二部会共催が非常にうまく機能したと考えており、さらに協力の輪を拡大した水化学部会、再処理・リサイクル部会等との共同の活動、より開かれた運営、報告書の出版など形の残るアウトプットについて検討が提言された。

2.2. 先進的原子力システム（第四世代原子力炉）における燃料・材料の課題

（東大；寺井隆幸）

次世代原子力システムの特徴と第四世代原子力炉における燃料・材料の課題について、最新の情報が紹介された。次世代原子力システムにおいては、高温・高圧化、高燃焼度化、硬スペクトル化、安全性向上・核拡散抵抗性向上、高腐食性環境化、新燃料形態、燃料被覆材を含む構造材料などの特徴があり、これらに対応できる材料開発や安全に運転するために諸物性、諸特性の取得などの課題が挙げられ、次世代原子力システムを実現するためには燃料・材料の開発がきわめて重要であることが述べられた。その中で、ODS 鋼 (JAEA)、C/C 複合材料 (JAEA)、SiC/SiC 複合材料 (京大) の研究開発状況が先進的材料の研究開発状況に関するトピックスとして紹介され、技術上重要な発展がなされており、信頼性や経済性の向上が期待されることが報告された。

2.3. 燃料・材料の現状と課題

（NFD；平井睦）

現在、燃料研究に関しては、「燃料高度化ロードマップ」実行委員会において、現行炉燃料の高度化等、種々の戦略が議論され、ローリングされている。実験研究では、モデルを構築して各因子による影響を予測・検証することが重要であり、このプロセスにおいて実験的・理論的アプローチが用いられる。また、実機照射、試験炉照射、照射後試験、炉外試験などの実験的アプローチを用いる場合、それぞれの利点、欠点を十分に理解することが重要であることが紹介された。

2.4. 燃料・材料の課題に対する計算科学

（九大；有馬立身）

近年の目覚ましい計算機の進歩により、分子動力学計算 (MD) や第一原理計算が研究者にとって身近なものとなってきた。ここでは、1)主に実験データをもとにして原子間ポテンシャル関数が決定される、2)計算の負荷が比較的軽く計算体系を大きくとれる、3)温度・圧力を自由に変えられる、などの特徴を持った MD 法による燃料の物性評価についての研究成果例として、粒界/粒内イオン拡散評価、Two-Phase Simulation による融点評価、不定比組成の熱伝導度に関する評価結果が紹介され、実験結果をある程度表現できるまでに至っている。また、XANES、XAFS、中性子回折などの先端量子ビームを用いた測定と計算科学とが融合することにより、一面的な見方では解決できないような複雑な問題に取り組む際のアプローチ法のよい事例として、 UO_{2+x} の欠陥構造に関する一連の研究が紹介された。

2.5. 最先端量子ビーム計測技術とその応用

（JAEA；藤井保彦）

近年の技術革新により、高強度で高品位な光量子、放射光中性子線、電子線、イオンビーム等を発生・制御する技術、及びこれらを用いて高精度な加工や観察等を行う利用技術からなる「量子ビームテクノロジー」と呼ぶべき新たな技術領域が形成されてきている。

これらの中から、中性子、放射光を中心とした各種量子ビームの最先端計測技術開発の現状と、それらを用いた広範な分野における基礎・応用研究から産業・医療利用のホットトピックスが多数、紹介された。また、国の科学技術の基盤となる加速器や原子炉等の大型量子ビーム施設の戦略的整備と活用について、英国、欧州連合、米国におけるナノサイエンスに関する状況が紹介された。

原子力学会賞を受賞して ～高速炉燃料の融点～

原子力機構 加藤 正人、森本 恭一、 東北大学 小無 健司

この度、『高速炉用ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料の融点に及ぼす酸素・金属比の影響』と題する研究論文が第42回原子力学会賞(論文賞)を受賞いたしました。ウラン・プルトニウム混合酸化物(MOX)の融点は、高速炉燃料の開発において非常に重要な物性値ですが、その測定の難しさから、研究成果として発表できるまでに10年以上の年月がかかりました。そして、このように原子力学会賞という大変栄誉ある賞を頂くことができたのは、研究実施にあたりご協力、ご指導いただいた方々のおかげと感謝しております。受賞にあたっての感想ということですので、私たちの進めてきた融点測定に関して、振り返りながら測定データの紹介をさせていただきたいと思っております。

高速炉燃料の許容最大線出力は、融点によって制限されます。すなわち、燃料の燃焼中に燃料が溶融しないことが求められます。そのため、融点は燃料設計において重要な物性値になっています。しかし、MOX燃料の融点は、バラツキの大きい限られたデータしかありませんでした。一つは、フィラメント法と呼ばれるタングステン製のフィラメントの上で溶融させる方法。もう一つはタングステンカプセルに試料を密封して昇温し、融点を測定する方法です。私たちは、ウラン酸化物の測定で実績のあるタングステンカプセルに封入する方法を選んで測定を開始しました。しかし、MOXの融点測定を開始すると、すでに報告されていたMOXのデータとほぼ同じデータが得られるのですが、タングステンとMOXとの間に大きな反応が起こることが確認できました。この反応が起こらないように測定したいと考え、タングステンカプセルの材質を変えることを検討しました。

今年、5月6日、14年半ぶりに高速増殖炉「もんじゅ」が再起動しました。「もんじゅ」の再起動に向けた本格的な準備は、約5年前に始まりましたが、その中で、MOX燃料の融点について信頼性の高いデータが必要となりました。また、もんじゅ燃料は、長期間停止していた間に燃料中にアメリカシウムが約2%まで蓄積したため、融点に及ぼすアメリカシウムの影響についても評価する必要が出てきました。融点のデータは、「もんじゅ」の設工認に間に合わせるために、短期間で測定する必要がありました。

MOXとタングステンの反応を抑制して、融点を測定するためにはどうしたらよいか。この課題を克服するために、私たちは、レニウムという金属を選択しました。レニウムは、タングステンと同様に高融点の金属で、タングステンに比べ酸化されにくい金

属です。MOX をレニウム容器に入れ、さらにタングステンカプセルに封入することによって融点測定に成功しました。従来の状態図を改定(図参照)し、MOX の融点は、従来のデータに比べ、約 100K 高いことを明らかにし、アメリシウムの影響についても評価することができました。「もんじゅ」の設工認用データとして用いるためには、論文として発表する必要があります。同時に世界各国の研究機関を回り、測定データについて議論してくることになりました。ドイツ、フランス、アメリカと世界一周をして各国の研究者と議論してきました。その後、発表した論文の一つが、今回、学会賞を受賞しました。

今年 8 月、海外から融点測定に関するニュースが飛び込んできました。ドイツのアクチノイド研究所のグループがレーザを用いたプルトニウム酸化物の融点測定を行い、従来よりも大幅に高い融点を得たとのことです。10 月に研究所を訪問し、装置を見学するとともにプルトニウム酸化物の融点データについて情報交換を行う予定です。MOX 燃料の燃料製造技術、燃料設計及び照射挙動評価に必要なデータは、まだ十分とは言えません。高速増殖炉の実用化に向けて、さらにデータの拡充を進めたいと思います。

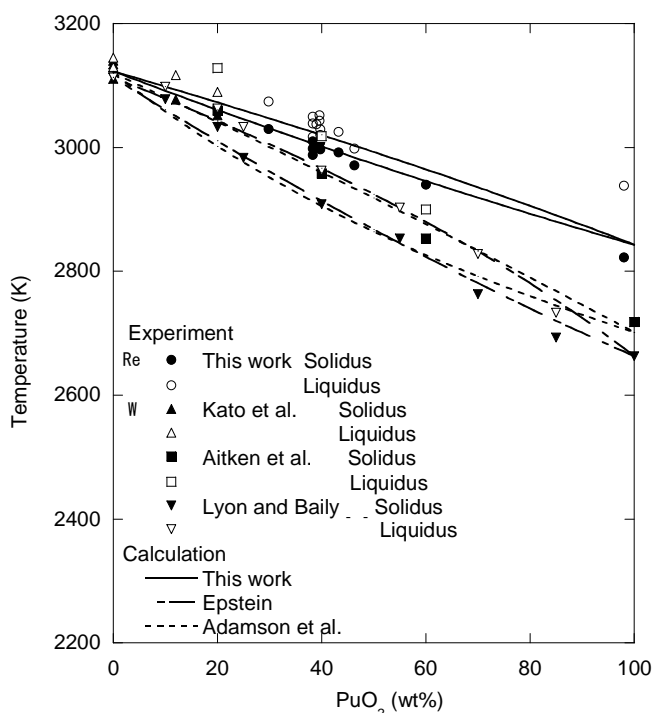


図 UO_2 - PuO_2 系の状態図

IAEA/TWGFPT 2010 年総会報告

(水炉燃料の挙動と技術に関するワーキンググループ)

平成 22 年 7 月 21 日

TWGFPT 日本代表委員

(独) 原子力安全基盤機構 (JNES)

上村勝一郎

kamimura-katsuichiro@jnes.go.jp

1. TWGFPT 及び今回の総会について

- TWGFPT (Technical Working Group on Water Reactor Fuel Performance and Technology) は 1976 年に設立され、水炉燃料の設計・製造、挙動、安全性研究、解析等幅広い分野において、情報交換、技術移転、国際協力研究、出版などを行ってきた。
- TWGFPT は毎年総会が開催されてきたが、昨年は本 WG の改組のため休会された。より効果的な活動ができるようにと参加国を原子力発電を実際にやっている 25 カ国に絞り、参加者は実働しうる者との条件をつけ構成メンバーも約半数入れ替わった。今回は新組織の第 1 回会合ということで、今後の本会議の運営方法についての討議が行われた。また、例年の TWGFPT 関連の各種活動の進捗状況の報告、今後の計画の検討を行ったが、国別の原子力状況報告はなかった。

2. 会議の概要

開催期間：2010 年 4 月 27 日(火)～29 日(木)

開催場所：オーストリア ウィーン IAEA 本部

参加者：IAEA (V. Inosemtsev, G. Dyck, H. Forsstroem, U. Basak, A. Zeman, N. Tricot, V. Onufriev)、EU/ITU (P. Van Uiffelen)、OECD/NEA (N. Gulliford)、アルゼンチン (L. A. Alvarez)、ベルギー (H. Druenne)、ブラジル (J. L. Chapot)、ブルガリア (M. A. Manolova)、カナダ (L. W. Dickson)、中国 (C. Liu)、フィンランド (R. Terasvirta)、フランス (P. Blanpain)、ドイツ (L. Heins)、ハンガリー (I. Nemes)、日本 (K. Kamimura)、韓国 (D. S. Sohn)、オランダ (F. C. Klassen)、ノルウェー (M. Mcgraph)、ルーマニア (N. Baraitaru)、ロシア (V. M. Troyanov)、スロバキア (V. Chrapciak)、スペイン (J. M. Alonso Pacheco)、ウクライナ (O. Godun)、イギリス (D. Farrant)、以上 20 カ国 3 国際機関の 28 名

3. 会議での報告・討議の要点

- ・ 今後の本 WG の活動・運営の基本方針について討議し、総会では全参加国からの country report の報告を一定のフォーマットで事前に作成・提出することにより合理化し、4 件ほどの重点トピックスについての討議に重点を置くこととした。
- ・ IAEA の燃料に関する活動（専門家会議、共同研究、技術レポートの発行等）は、おおむね活発に行われているが、IAEA 事務局のマンパワー不足によって、一部のレポート・書籍の発行が遅れている。
- ・ 原子力エネルギーシリーズの最高順位の一つである文書“核燃料サイクルの目的：原子力エネルギー基本理念達成”の原案について討議し、8 項目の基本原則を決めた。
- ・ 2010 年～2011 年 活動計画及び 2012 年～2013 年のニーズに関する討議を行い、2010 年に 2 件の専門家会議を、2011 年に 2～4 件の専門家会議を開くことを決めた。
- ・ 「LOCA 及び RIA 条件下における燃料ふるまいとモデリング」専門家会議は、JAEA がホストとなって日本（東海）で開くが、2011 年 5 月又は 2012 年 5 月のどちらに開くか IAEA 事務局で確認・調整の上決定することとなった。
- ・ 専門家会議のニーズとして次のような新提案テーマがあげられた。
5%濃縮度限度、高燃焼度の経済性と運転経験、HTR 燃料、トリウム燃料、GenIV 材料開発の必要性(炉内試験と計装を含む)(超臨界水炉と高速炉を対象)、 PHWR 燃料許認可

4. 会議の内容

(1) オープニングセッション

- ・ 最初に本会議の担当部課である IAEA 原子力局 核燃料サイクル廃棄物部の Mr. H. Forsstroem 部長及び核燃料サイクル・材料課の G. Dyck 課長より歓迎の挨拶があった。
- ・ Forsstroem 氏は 5 年間部長を勤められたが、5 月に退職される予定である。また、Dyck 氏はカナダの AECL の出身で、昨年 9 月に Ganguly 氏の後任として着任した。
- ・ 今回の会合から参加国が少し入れ代わったとともに構成メンバーが約半数代わったこともあり、自己紹介は少し時間をかけて行った。
- ・ 議長には、これまでのノルウェーハルデンプロジェクトの Ms. M. Mcgraph に代わって、英国 NNL の Mr. D. Farrant が選出された。

(2) 新メンバーによる各国の状況紹介

①ハンガリー (Mr. I. Nemes : Paks 原子力発電所)

- ・ 現在 1 サイト 4 基の WWER-440
- ・ 108% の出力アップを実施
- ・ 原子力は全電力の 43%
- ・ 荷働率は約 90%
- ・ 乾式貯蔵施設に 4000 体貯蔵中、空きは 1000 体分
- ・ 燃焼度制限値を集合平均で 49 から 54GWd/t に上げた。

- ・ 2003年に燃料洗浄装置で30体の集合体をLOCA破損させる事故を起こしたが、今は処理を終了している。
- ・ 新規発電炉としてPWR1600を考え、2020年にPaks 5、2025年にPaks 6を運開する計画

②ブルガリア (Ms. M. Manolova : INRNE)

- ・ Kozloduy 1~4 NPP (WWER-440) で1994~2006年に多くの燃料破損を経験した。
- ・ 主原因は水化学、グリッドフレティング、製造欠陥である。

③中国 (Mr. Ch. Liu : CNS)

- ・ 11基運転中、20基建設中(主にPWR)、29基計画中
- ・ 高速実験炉CEFR用にMOX燃料を開発、被覆管はCr-Ni鋼
500kg/年の製造能力あり。
- ・ CJNF : AFA3GタイプのPWR燃料600tU/年の製造能力、被覆管はM5。
WWER-1000タイプ燃料200tU/年の製造能力、被覆管はE110。
- ・ CNNF : CANDUタイプの燃料200tU/年の製造能力、被覆管はZry-4。
- ・ 使用済燃料は11基から370t/年発生。
- ・ パイロットタイプの再処理施設(50t/年)がホット試験中。
商業再処理施設(800t/年)を2025年運開予定で計画中。
- ・ 燃料のR & D
 - ・ NシリーズのZry被覆管を開発中
 - ・ 回収ウランを2010年3月にQinshan IIIに装荷した。
 - ・ Th燃料、HTR燃料の開発も行っている。翻訳
- ・ 原子力発電は2020年に70~80GWに達する予定。

(3) IAEA 活動状況の報告(その1) (Mr. V. Inosemtsev : IAEA)

①DHC-2(2005年~2009年)

- ・ 遅れ水素破損に関する共同研究プログラムが終了し、TECDOCがまもなく発行される。
- ・ DHC-1は圧力管を対象としたがDHC-2では被覆管を対象としている。
- ・ 同一母材サンプルを参加各機関に配布し、先進的なピンローディング手法でDHC速度と温度との相関実験を行い、比較検討した。
- ・ その成果は以下のように発表している。

ASTM Zr シンポジウム in 中国 : 2010年5月17日

WRFPM2008 : Nuclear Energy and Technology, Vol 41, No.2, 2009

ASTM Zr シンポジウム 2007 : ASTM Zr International, Vol 5, No.2, 2008

②FUWAC

- ・ 水化学に関する共同研究プログラムの最終会議が2009年12月にフィンランドで開かれ、終了した。
- ・ 2010年2月ウィーンでコンサルタント会議を開き、報告書取りまとめの協議を行った。
- ・ 現在、最終報告書を編集中である。

③SMoRE(2008年~2012年)

- ・ 照射効果の加速器シミュレーションと理論モデルに関する共同研究プログラムが進行中。
- ・ 照射欠陥の物理的理解を目的としたもので、現在 15 カ国、19 機関が参加している。
- ・ 2010 年 6 月に第 2 回会議を開いて中間結果の討議をする予定。

④「先進的燃料ペレット材料と燃料棒設計」に関する専門家会議

- ・ 2009 年 11 月 23 日～26 日にスイスの PSI で開催された。
- ・ 5%EU のリミットを越えることに焦点をあてた専門家会議の必要性が指摘された。

⑤Zr-book

- ・ 7 名の専門家が分担して執筆した Zr 材料のレビューブック
- ・ ほとんどの章はでき上がっているが、IAEA 事務局の担当分ができておらず、発行が遅れに遅れている。
- ・ 当 WG としては、IAEA に対して早期に完成させるよう要請することにした。

⑥INFIS DB(Integrated Nuclear Fuel Cycle Information System Data Base)

- ・ 燃料サイクル分野の IAEA におけるデータベースシステムの紹介があった。
- ・ HOTLAB と称する PIE 施設のデータベースの up date が進行中であるが、出張者は日本の施設に関する各機関のコンタクトパースンの連絡先について調査依頼を受けた。

(4) IAEA 活動状況の報告(その 2) (Mr. P. Uffelen : ITU)

①FUMEX-III (燃料挙動のモデリングに関する共同研究プログラム)

- ・ 代表的な照射データを与え、各機関の持っている挙動解析コードを用いてベンチマーク計算を行い比較検討し、モデル、コード改良に反映することを目的としている。
- ・ FUMEX- II では被覆管の歪計算に参加機関間で大きなバラツキがあった。
- ・ 現在参加機関は 21。(日本からは JAEA、NFI、JNES が参加)
- ・ 第 2 回会議を 2010 年 6 月 1 日～4 日 イタリアのピサで開催予定。

(5) IAEA 活動状況の報告(その 3) (Mr. L. Alvarez : アルゼンチン CNEA)

①PHWR と CANDU 燃料に関する専門家会議

- ・ 2009 年 11 月 9 日～12 日アルゼンチンのブエノスアイレスで開催
- ・ 参加者 53 名、23 件の発表
- ・ PHWR/CANDU 燃料の近年の使用実績は良好でたまたまに製造欠陥でわずかの破損があるのみ。
- ・ PHWR/CANDU の場合は、LWR と異なり燃料ベンダーは各国に 1 つずつであり競争がないこともあり、極めて協調的である。

(6) IAEA 燃料破損レビュー 1994 年～2006 年 (Mr. V. Onufriev : 元 IAEA)

①1994 年～2006 年の世界の水炉燃料破損データの統計的整理とその原因、メカニズム及び対策等に関するレビュー報告書

- ・ 2010 年初めに印刷原稿が完成し、IAEA の出版部門で印刷準備中である。出版は 6 月頃の予定。
- ・ 日本の燃料破損率は世界一低く、欧米より 1～2 桁小さいが、出席者より出張者に対しこ

の原因についての質問があった。

- ・ これに対して、出張者(レビュー本の執筆者の一人)の見解として主要破損原因の1つであるデブリフレティングについては、日本の炉ではプラント建設時のQCがよくデブリが少ないことが大きな原因と考えられる旨述べた。

(7) IAEA 原子力安全局の活動における原子力エネルギーシリーズの発行 (Mr. N. Tricot: IAEA)

①燃料安全に関連して以下のような図書が発行されている旨の紹介があった。

- ・ NR-R-1 Design requirement
- ・ NS-G-1, 12 Design guide
- ・ TECDOC-1381 WWER & PWR の燃料安全クライテリアの比較
- ・ TECDOC-1578 燃料挙動の計算機解析
- ・ GS-R Part 4 施設の安全解析

②2009年12月より高燃焼度燃料の安全要件に関する TECDOC 作成作業がスタートした。

(8) TWGFPT 運営の改善についての討議

①今後の本WGの活動・運営の基本方針について討議し、以下の点を確認した。

- ・ 本WGの総会は2年ごとに開くこととし、その間に1回ずつ中間会議を開くこととした。
- ・ 新たな総会は2011年から開くこととし、今回のWGはその準備のための中間会議と位置付けた。
- ・ 各総会では4件ほどの重点トピックについて討議することとし、そのトピックスの摘出及びそれぞれの取りまとめ担当はその前に中間会議で決めることとした。
- ・ 各参加者はcountry reportを一定のフォーマットで作成し、総会の2カ月前までにIAEA事務局へ送付する。
- ・ IAEA事務局は入手した情報を一覧表に整理し、総会の6週間前までに全WGメンバーに送付する。
- ・ 各トピックの取りまとめ担当は送られた情報から総会での発表用のPPTを作成し、2週間前までにIAEA事務局及び全WGメンバーへ送付する。

②討議の結果2011年総会のトピックスは次の4件とした。

- ・ 2006年～2010年の燃料破損のレビュー(V. Onufriev)
- ・ PHWR/CANDU 先進燃料サイクル(L. Dickson)
- ・ 高燃焼度化の課題(P. Blanpain)
- ・ 水化学(M. Mcgraph)

なお、議論の中で次の2点の意見があった。

- ・ 混合炉心問題(Mixed core problem):
同一炉心に異なるタイプの燃料を装荷して運転した場合に生じる問題は重要なテーマであるが、燃料ベンダーが情報を出すことに電力事業者の理解を得るのが難しいことから、本WG総会のトピックとして取り上げるのは難しい。別途共同研究プログラム等の形を考える必要がある。

- ・ MOX 燃料は、関心のある国が限定されるので、共通のトピックにするのは難しい。その他として次回総会では、以下の発表もしてもらおうこととした。
- ・ OECD/NEA の活動 (IFPE を含む) (J. Gulliford)
- ・ EC/JRC の R & D (P. V. Uffelen)
- ・ 燃料の品質と信頼性に関する NES の指針 (P. Rudling)

(9) 原子力エネルギーシリーズの最高順位の一つである文書“核燃料サイクルの目的：原子力エネルギー基本理念達成”に関する討議

- ・ IAEA 原子力エネルギー局では発行文書の体系化とその体系にそった文書の作成発行を進めている。
- ・ 文書体系：①Basic Principles ②Objectives ③Guides ④Reports
- ・ 今回は IAEA 事務局より燃料工学と性能に関する基本文書②Objectives の原案が提示されたが、この内容・文章について検討を行い、本 WG としては、次の 8 項目の基本原則を是とした。

基本原則 1：利益

信頼できかつ経済的な原子力エネルギー達成のため効率的な燃料材を開発し、設計及び製造技術を実現する。

基本原則 2：透明性

燃料材及び構造材の特性並びにそれらの照射下でのふるまいに関する十分な情報を提供する。

基本原則 3：人と環境の保護

燃料製造、取扱い及び運転のすべての段階における人と環境の保護のための設計と技術の提供を確実なものとする。

基本原則 4：防護

燃料製造、取扱い及び運転のすべての段階における安全と防護を確実なものとする。

基本原則 5：核不拡散

核不拡散の特性を強め、IAEA 保障措置を実現する燃料設計と製造技術の開発と実施。

基本原則 6：長期

持続的な原子力の利用を可能とし、並びに異なる照射環境下で成分、構造及び物性間の関係を理解できるようにするため、適切な燃料の選択及び適切な R & D 環境の利用可能性を確実なものにする。

基本原則 7：資源の有効利用

核分裂及び増殖物質の有効利用のために新燃料、設計及び製造技術を開発する。

基本原則 8：継続的改良

燃料の効率性及び信頼性を継続的に改良することを意図した管理及び品質システムを開発する。

(10) 2010年～2011年 活動計画及び2012年～2013年のニーズに関する討議

①2010年 専門家会議

- ・ 2010年12月の第1週にアルゼンチンで「燃料の品質管理と信頼性」に関するTMを開く。
- ・ 2010年11月にウクライナで「水化学と被覆管腐食(燃料破損を含む)」に関するTMを開く。

②2011年 専門家会議

- ・ 2011年5月23日～27日にスロバキアのスモレニスで「ホットセルPIEとプールサイド検査」に関するTMを開く
- ・ 2011年6月にロシアのモスクワで「高速炉燃料の設計、製造及び照射挙動」に関するTMを開く。

次の2件のTMについては、2011年又は2012年のどちらに開くかIAEA事務局で確認・調整の上決定する。

- ・ 「LOCA及びRIA条件下における燃料ふるまいとモデリング」2011年5月又は2012年5月、日本(東海)
- ・ 「PHWRの通常運転時及び事故時の燃料健全性」2011年又は2012年6月、ルーマニア(ブカレスト)

③2012年～2013年 新提案の専門家会議

- ・ 5%濃縮度限度(NP、NSと共催)
- ・ 高燃焼度の経済性と運転経験
- ・ HTR燃料(B4と共催)
- ・ トリウム燃料(B4と共催)
- ・ GenIV材料開発の必要性(炉内試験と計装を含む)
(超臨界水炉と高速炉を対象) ノルウェー(ハルデン)
- ・ PHWR燃料許認可(NSと共催)

5. 次回予定

次回2011年総会は、4月27日(水)～29日(金) IAEA本部で開催することとした。

以 上

日中韓での核燃料分野国際交流の準備について

日本核燃料開発 坂本寛

背景

現在、核燃料部会では運営小委員会および下部組織である企画小委員会が中心となり、核燃料分野に関しての日中韓をはじめとしたアジアの国々での交流活性化に取り組んでいます。本国際交流ニュースでは、企画小委員の私が深く関わっています日中韓 MOU(Memorandum Of Understanding)締結に向けての取り組みを中心として、その経過についてご報告いたします。

「アジアの国々での交流を活性化する」との目的に対して、以下の点を目標に準備に取り組んでいます。

1. 【日中韓】アジアの核燃料研究の中心である日本、中国、韓国の各学会間での核燃料分野での協力を円滑とするため、MOU を締結する。
2. 【日中韓】軽水炉燃料に関する国際学会である WRFPM(Water Reactor Fuel Performance Meeting)の開催、実施に関して日中韓の各学会間での協力体制を構築する。
3. 【アジア全般】核燃料分野でも特に学術的内容に関して、「学」が中心となるアジア内での国際交流として ANFC(Asian Nuclear Fuel Conference)を開催する。

また、これら以外にも、日韓セミナーなど従来までも継続的な交流もごございます。

まず、1の MOU 締結ですが、日本、中国、韓国の原子力学会である、AESJ、CNS、KNS では既に基礎となる学会全体での MOU の締結はなされていますが、この学会全体での MOU をベースとして、核燃料（および材料）分野に特化したより具体的な MOU を別途締結することがその目的です。そのため、新規に締結を目指している MOU では、学会間での交流、協力の具体事項として、前述の WRFPM や ANFC についても言及しています。

次に、2の WRFPM に関する協力体制の構築ですが、まずは WRFPM についての簡単な説明を行いたいと思います。現在、軽水炉燃料に関する国際学会としては、ヨーロッパで開催される TopFuel(ENS が主催)、アメリカで開催される LWR Fuel Performance Meeting(ANS が主催)、アジアで開催される WRFPM が協調して開催されており、TopFuel ⇒LWR Fuel Performance Meeting⇒WRFPM の順に毎年開催されています（今年の9月

にはアメリカのフロリダで 2010 LWR Fuel Performance Meeting が開催されます)。すなわち、アジア地区の軽水炉燃料に関する国際学会である WRFPM は 3 年に一度アジアで開催されます。第 1 回の WRFPM は日本の京都で 2005 年に開催され、第 2 回は韓国のソウルで 2008 年に開催されました。次回（第 3 回）は中国の四川省成都で 2011 年に開催予定です。「WRFPM に関する協力体制の構築」の目下の目標は、この WRFPM2011 の開催となります。

最後に 3 の ANFC の開催ですが、これは全くの新しい取り組みであり、特に日中韓以外のアジア原子力新興国を視野に入れた学術交流です。WRFPM は軽水炉燃料を中心とした国際学会ですが、ANFC では高速炉、ガス炉燃料などを含んだ核燃料全般を範囲として、より基盤的な研究に関する学術交流を目指しています。ただし、既に交流の実績がある日中韓が中心となって ANFC を盛り上げていく予定です。

日中韓での核燃料分野 MOU の締結に向けての準備状況

この国際交流ニュース執筆時（9/21 現在）には、残念ながら MOU の締結には至っておりませんが、下準備は終り、残る作業は署名のみとなっています。ここでは、MOU の締結に向けての準備状況を WRFPM や ANFC の準備状況と併せてご報告いたします。これは、今回締結する MOU が、WRFPM や ANFC での協力を視野に入れたより具体的な MOU であることから、MOU 単独での合意ではなく、WRFPM や ANFC での協力を踏まえた締結となるためです。

正確な作業開始時期は不明ですが、遅くとも 2009 年秋の第 1 回核燃料部会企画小委員会の議題に MOU 締結が挙がっています。すなわち、核燃料部会企画小委員会の最初の大きな仕事として、核燃料 MOU の締結がノミネートされました。企画小委員で分担し、MOU の素案作成、英訳を行うとともに、より具体性を持たせるため、WRFPM の運営要領書（WRFPM Organization Guidelines）、ANFC の設立趣意書（Establishment of Asian Nuclear Fuel Conference）の素案作成、英訳も行いました。これら資料が AESJ 核燃料部会の企画小委員会、運営小委員会で承認された後、CNS と KNS の関係者に送付し、内容についてのコメントを要請しました。なお、MOU の素案は 2009 年 12 月末に CNS、KNS に送付、また 2010 年 4 月末には AESJ 国際活動委員会での承認が得られました。また、WRFPM の運営要領、ANFC の設立趣意書の素案は 2010 年 4 月末に CNS、KNS に送付をし、コメントを要請いたしました。

次の段階として、実際に関係者が集い、MOU、WRFPM 運営要領書、ANFC 設立趣意書についての議論を行うべく、準備を開始いたしました。ちょうど ASTM が開催する 16th International Symposium on Zirconium in the Nuclear Industry が中国で開催されるため、同学会の直前に中国で会合を開く運びとなりました。残念ながら KNS の関係者は日程が合わないため参加できず、CNS から Liu 博士および Ma 氏が、AESJ から岩田部会長と私の合計 4 名が 5 月 7 日(金)に北京市内で会合を開きました。2 時間程度の短い会合でしたが、特に WRFPM を初めて開催する CNS の関係者と直接話げできたこと、また、MOU および WRFPM、ANFC に関しての議論を直接行えたことは今後の協力関係を強化するにあたり有意義なものであったと期待しています。

内容が硬くなってしまいましたので、少し北京会合でのこぼれ話をご紹介します。私自身は北京は初めての訪問であり、3 年前に出版されたガイドブックを片手に握りしめての出張でした。まず到着早々に驚かされたのは、北京空港の巨大さでした。夜に北京空港に到着する便でしたが、航空機を降りてから閑散とした通路をひたすら歩く、歩く、で約 15 分ほどしてようやく入国審査場所に到着いたしました。真新しい空港でしたが、何とも巨大な空港を建設したものだとそのパワーに圧倒されました。ガイドブックにはリムジンバスしか北京市内への公共交通手段がない(タクシーを除く)との情報でしたので、リムジンバスに乗り、北京中心街のホテルに移動しました。後日知ったのですが、最近地下鉄が開通したため、実は地下鉄が最も便利が良いとのことでした。数年で地下鉄のようなインフラが整ってしまうという、そのスピードには驚くばかりでした。翌日は会合に向かうべく、ホテルでもらった地図を片手に、徒歩で会場場所に向かいました。北京中心地は京都と同様に碁盤の目状に道路が整備されていますが、歩き始めてすぐに徒歩という移動手段を選択したことを後悔することになってしまいました。と、申しますのは、同じ碁盤目状でも、京都と比べて 1 ブロックの大きさが大きく、京都などでの距離感では倍近くの時間がかかってしまうということが分かったからです。何とか急いで会場場所に到着したのですが、会場場所のビル玄関には警備員(兵?) が立っており、中に入ろうとすると止められてしまい困ってしまいました。警備員には英語が全く通じず、結局、ビル近くの事務室にて筆談で交渉して Liu 博士と Ma 氏に連絡を入れてもらいました。大半は私の準備不足から来たものですが、やはり異国との交渉にはまずは相手の国に出向くというのは、大事なことだなと感じました。中国の変化のスピードは驚異的であるため、次回訪問した際には、最新のガイドブックを購入して臨もうと反省いたしました。

閑話休題、会合後には MOU に関しては多少のコメント対応を行い、署名を行う代表者の選定、実際の署名作業についての詳細が決定し、早ければ 9 月末には MOU が締結されている予定です。また、この MOU の締結を基礎として、今後は WRFPM2011、第 1 回 ANFC の開催に向けての実作業が開始されます。WRFPM2011 では、日中韓での協力体制を強化するため、実行組織である Executive Committee へはホスト学会(WRFPM2011 では CNS)以外にも非ホスト学会(WRFPM2011 では AESJ、KNS)から代表者が参画することなど、計画段階から日中韓で協力していく予定になっています。勿論、その計画、実施では WRFPM 運営要領書が貴重な指針となることと期待しています。一方、ANFC は第 1 回の大会を 2011 年秋に日本で開催する予定となっており、その事前打合せが日中韓の関係者が集まって来春に開かれる予定となっております。

今後、総会や部会報などを通して、部会員の皆様には随時進捗をご報告していく予定です。なかなか思うように進まないこともございますが、部会員の皆様のご指導、ご協力を賜り、日本原子力学会核燃料部会の国際交流がより活性化されることを期待してやみません。

了

原子燃料工業株式会社（NFI）の事業概要と近況

原子燃料工業株式会社
来山 正昭

NFIは、1972年に古河電気工業（株）と住友電気工業（株）の原子燃料事業を統合し、総合原子燃料専門メーカーとして発足しました。その後、30年以上にわたり、BWR及びPWRの両（タイプ）原子炉向けの燃料を製造する国内唯一のメーカーとして、東海事業所（茨城県東海村）及び熊取事業所（大阪府熊取町）から、全国各地の原子力発電所へ、高品質の燃料を安定的に供給しています。国内の電力需要の約3分の1を原子力発電でまかなっている我が国においては、総発電量の10%をNFI製燃料が担っていることとなります。また、軽水炉用燃料の設計・開発及び製造の他、高速炉及び高温ガス炉等の新型炉用燃料の分野、原子力発電所内で使用する燃料関連機器や各種検査サービス業務、及び燃料加工プラントのエンジニアリング分野においても事業を積極的に展開しています。

NFIは、主幹事業である軽水炉用燃料の分野において、燃料の高燃焼度化、原子力発電所における長期運転サイクルの導入及び出力増強等に向けて、新設計燃料の開発等の準備を着実に進めています。BWR向けには長期サイクル運転と使用済燃料の減少につながる「9×9燃料」の高度化や「10×10燃料」の導入を準備しており、PWR向けには次の高燃焼度化に向けての燃料開発を実施する計画です。また、経済産業省が推進する次世代軽水炉開発において超高燃焼度（70GWd/t以上）燃料向けの新材料被覆管開発等を進めております。

原子力発電所への燃料の安定供給の他、NFIは原子燃料サイクルの実現にも積極的に関与しています。海外で再処理し得られた回収Uを用いた回収ウラン燃料の加工供給と同じく得られたPuを用いたMOX燃料の海外加工・供給を元請メーカーとして実施しています。青森県六ヶ所村にMOX（ウラン・プルトニウム混合酸化物）燃料工場を建設する日本原燃と協力協定を締結し、2015年度に予定する操業開始時点で、新工場の従業員の約3分の1をNFIから操業指導のために出向させる計画です。BWR及びPWR向け燃料製造の両方に実績があるNFIの強みを活かし、これまで蓄積して来た両燃料工場の製造技術や操業経験による貢献を目指して、すでに設計・製造技術者や技能者の出向を開始しています。

国際的な原子力カルネッサンスの流れの中で、昨年5月、軽水炉開発における国際的リーダーであるウェスチングハウス・エレクトリックがNFIの経営に筆頭株主として参加しました。これにより、NFIはウェスチングハウス・グループのアジアにおける燃料供給拠点及びエンジニアリングサービス拠点として、米国コロンビア、スウェーデン・バステロス等とともに、米-欧-アジア3極体制の一角を担うことになりました。現在、ウェスチングハウス・グループ各社と、燃料の設計・開発、炉心管理技術、燃料製造技術、ならびにサプライチェーン等の他、プラントメンテナンスを含む広範な分野において、各社の強みを活かした協力を積極的に進めております。

経営体制は大きく変化したNFIですが、安全を第一にして、お客様に最高の満足を提供するために品質・技術の維持・向上に努めていくとの経営方針は、ウェスチングハウス・グループの一員となった現在も全く変わっていません。新設計燃料導入による原子力発電

所の運転高度化支援等、お客様のニーズに密着した活動により、今後も、日本のエネルギー安定供給への貢献に努めて参ります。

【会社概要】

会社名	原子燃料工業株式会社
所在地	本社：東京都港区虎ノ門2丁目3番17号（虎ノ門2丁目タワー） 東海事業所：茨城県那珂郡東海村村松 3135 番地 41 熊取事業所：大阪府泉南郡熊取町朝代西一丁目 950 番地
資本金	10 億円
株主	ウェスチングハウス・エレクトリック、古河電工、住友電工
取締役社長	岩田善輔
従業員数	約 800 名
事業内容	軽水炉（PWR/BWR）用原子燃料の設計・開発及び製造 PWR 用制御棒・BPR-PD の設計・製造 軽水炉（PWR/BWR）の炉心管理サービス 新型炉 HTR その他研究炉用燃料の設計・開発及び製造 原子燃料サイクル関連技術開発 原子燃料関連検査・取扱装置等の設計、製作及び発電所機器の検査サービス業務 電子線照射サービス（滅菌/材料改質等）

【ウェスチングハウス・グループの燃料製造拠点】



第25回 核燃料・夏期セミナー報告

報告者：高野 賢治、大久保 道子、後藤 寛 (MNF)

2010年8月5日(木)～8月7日(土)

(鹿児島県霧島市・霧島観光ホテル)

今回で25回目を迎えた「核燃料・夏期セミナー」は、79名の参加者（講演者21名）を得て無事開催された。大学、研究機関及び産業界の様々な分野の講師の方々に、核燃料分野だけに留まらず、原子力に関する幅広く且つ専門的なご講演を頂いた。地元からの特別講演として鹿児島の又野氏（株式会社天元 社長）より、火山灰の紹介と自然の持つ力を生活に役立てる工夫について講演頂いた。若手によるポスターセッションは、夕食時と重なったため限られた時間ではあったが、活発な議論が行われた。セミナー最終日は、鹿児島県内の名所を巡り、鹿児島が初めてという方も多く好評であった。



セミナー参加者集合写真（霧島観光ホテルロビーにて）

【基調講演】座長：岩田 修一氏（東京大学）

(1) 核燃料と照射 石野 栞氏（東京大学名誉教授）

サイクロトロンによる実験や照射損傷に関する研究の豊富な経験を踏まえ、照射損傷研究の歴史と考察を通じて、現在取り残されている課題について述べられた。ガドリナイトの蓄積エネルギーの放出、Seitz-Koehlerによる照射損傷古典論の完成、ボイドスエリング、というような照射損傷研究の変遷があり、これより「照射によって励起状態となる電子がどのように緩和するかを調べること」の重要性を指摘された。併せて、「核」という言葉に囚われ過ぎずに燃料や材料の見方を変えて考えてみるべきである、との示唆があった。

(2) 21世紀原子力開発への視点 山脇 道夫氏（東京大学名誉教授）

原子力技術開発の現状を踏まえ、資源的な制約や取り扱いの側面から問題を取り上げつつ、将来の技術開発に対する考えが述べられた。再生可能エネルギー利用の促進が化石燃料消費の抑え込みに有効であり、原子力においても、ウラン地下資源の制約を考えると将来の再利用サイクルを考えたトリウム炉や高速炉は重要である、とのことであった。また、放射性廃棄物の問題は避けては通れない問題であり、核変換の技術の採用や、保管期間が過ぎた廃棄物の回収処理など、やるべきことがあるとの指摘があった。

(3) 高速増殖炉 MOX 燃料の製造と照射挙動 古屋 廣高氏（九州大学名誉教授）

マイクロ波による（MH法）による MOX 燃料の製造に関して、MOX 燃料原料粉末の特性や製造技術に関する研究開発について紹介された。FP ガスの放出、リム組織などの微細組織の機構を解明する研究などでも成果を出され、モンテカルロ法による最新のコードを使用した解析にも成功されている。また 3MeV 近くあるガンマ線より強い X 線の発生と検出方法の改良を行い、高性能な X 線 CT 装置を開発されているとのことであった。

(4) 核燃料研究：過去と将来 大井 昇氏（元 東芝）

バークレー国立研究所での超プルトニウム元素の分離技術や東芝時代の Pu238 試料の作成等、プルトニウムの研究に深く携わられており、IAEA 在職時に「核燃料サイクルシステム」のプロジェクトを立ち上げ、プルトニウムの国際的な指針の策定に貢献された内容について触れられた。今後国際的にウランの価格が上昇すれば、確実に MOX の経済的メリットが生まれ、更にセキュリティの面からもプルトニウムを貯蔵しておくより燃料として消費することが望ましい、とのことであった。



石野 栞氏



山脇 道夫氏



古屋 廣高氏



大井 昇氏



会場の様子

【研究開発トピックス（燃料・安全）】座長：緒方 恵造氏（JNES） 檜木 達也氏（京都大学）

(1) In-Reactor Fuel and Materials Research at the OECD Halden Reactor Project
Margaret McGrath 氏（Halden）

燃料の様々な照射挙動を確認する上で重要な役割を担う世界的な試験炉として、Halden 炉における各種測定装置、およびそれらを用いた測定事例が紹介された。Halden 炉は HBWR であるが、測定に応じて PWR 条件や BWR 条件を模擬できるループを有しているとのこと。照射下での燃料中心温度測定、燃料棒内圧測定、燃料寸法測定をはじめ、腐食電位測定 (ECP) や各種オンラインモニター装置について触れられ、Halden 炉が有する技術によって、MOX 燃料の詳細挙動解明など、今後の原子燃料や材料に関する安全への貢献が期待されるとのことであった。

(2) Fuel Safety Research at JAEA 更田 豊志氏（JAEA）

保安院事業として日本原子力研究開発機構（JAEA）により実施されている軽水炉の安全研究プログラム（ALPS）について紹介された。2002 年より、反応度事故（RIA）や冷却材喪失事故（LOCA）について特殊な試験設備（NSSR、RFEF）における試験結果を基に研究が行われている。第 1 期（ALPS-I）では、局所燃焼度約 80GWd/t までの商業炉照射燃料材各種を対象に試験が実施されており、RIA 時の PCMI 破損や温度効果、および MOX 燃料とウラン燃料との挙動比較、ならびに LOCA 時の被覆管酸化や熱衝撃抵抗に関する研究成果について説明があり、貴重な成果が得られていることが確認された。また、第 2 期（ALPA-II）の計画概要についても説明があった。

(3) Non-Parametric Analysis Scott Franz 氏（MNF）

ノンパラメトリックな方法による炉心設計と安全解析について紹介された。米国及び欧州では、電力会社がより長サイクルの運転や、より高い炉心出力ピーキング係数の適用を望んでいるという背景があり、今後の評価に対して一層の保守性の削減が要求される観点より、ここで紹介される手法の重要性が述べられた。具体的な解析手法の例として、冷却材喪失事故（LOCA）について紹介があった。

(4) Degradation mechanism in Zr-based alloys under irradiation and hydrogenation 阿部 弘亨氏 (東北大学)

将来の軽水炉燃料に必要とされる高負荷に耐え得る燃料被覆管材料を考える上で、水素化物による材料脆化のメカニズムが重要との観点から、Zr 基合金における水素化物の成長や照射・水素化による材料脆化について、透過電子顕微鏡 (TEM) によるその場観測や第一原理計算によるシミュレーションを用いた研究について紹介された。加速器により水素イオンを Zr 基合金に高速で打ち出す事で水素化物を作り出し、TEM 等を用いて Zr-Nb 系合金の金属表面を観測し、水素化した組織の濃縮や欠損群の析出などの現象を確認できたとのことであった。

(5) Macroscopic to atomic scale understanding - Advanced Microscopy in Nuclear Application Daniel Jädernäs 氏 (Studsvik)

スウェーデン Studsvik 社では軽水炉燃料の照射挙動を把握するために様々な測定技術の開発が行われているが、ここでは、走査型電子顕微鏡 (SEM) や透過電子顕微鏡 (TEM) 等の微細組織観測技術の応用に関する紹介があった。Zr 合金の第二相粒子 (SPP) の分析やナノインデンテーションによる Zr 合金の特性に関する研究、TEM による ZIRLO や Zry-2 における水素化加速の仕組みに関する観察、SEM/EPMA による MOX 燃料の Pu スポット分析が説明され、また、Ni 基合金の PWSCC に影響を及ぼす水素濃度との関連から、Ni 基合金の表面酸化物分析についても紹介があった。



Margaret McGrath 氏



更田 豊志氏



Scott Franz 氏



阿部 弘亨氏



Daniel Jädernäs 氏

【仏の原子力状況】座長：安部田 貞昭氏(三菱商事)

(1) Expected roles of nuclear energy in France's energy policy Pierre-Yves Cordier (フランス大使館)

フランス原子力事情の紹介があり、原子力大国であるフランスは、現在 58 基の PWR を保有し、それらの総出力は 63GWe にも上るとのこと。廃棄物について国家計画に基づいた地層処分及び中間貯蔵、分離変換技術などで対応しており、また、2020 年までの次世代炉の実用化に向けた研究開発やプルサーマル計画にも取り組んでいるとの説明があった。今後も原子力技術の発展に国を挙げて取り組み、安全性、信頼性、経済性等の面の更なる強化を目指すと共に、日本との関係もますます緊密となる事が予想される、とのことであった。

【技術トピックス (MOX 燃料実用化)】座長：橋爪 健一氏 (九州大学)

(1) MOX 燃料の計画 高橋 好作氏(九州電力)

九州電力によるプルサーマル計画の概要と電力各社のプルサーマル状況について紹介された。九州電力ではプルサーマル計画を進めるために、訪問説明や公開討論会 (NISA、九大等参加) などを通じ、理解活動を積極的に行ってきたことについて説明があった。現在は、九州電力におけるプルサーマルとして、玄海 3 号機での MOX 燃料利用が開始されているが、今後も安全を最優先とし、プルサーマルを着実に進めていくとのことであった。

(2) PWR MOX 燃料の設計と加工 小野 俊治氏 (MNF)

MNF が海外 MOX 燃料加工工場で製造する MOX 燃料の設計と加工、ご自身の欧州駐在を中心とした紹介があった。MOX 燃料集合体は高燃焼度ステップ 1 のウラン燃料 (48GWd/t) を基本とし、設計上の特徴として、ペレットおさえバネの寸法変更、照射中の FP ガス放出を考慮した初期 He 加圧量低下、溶接リペアを考慮した長尺上部端栓の使用、出力ピーキングを考慮した Pu 含有率の異なる燃料棒配置が挙げられた。MOX 燃料は海外で加工されることから、異常発生時に日本の規制当局が立入調査できるか、という問題点が指摘された。

(3) BWR MOX 燃料の設計と加工 加々美 弘明氏 (GNF)

GNF-J が海外 MOX 燃料加工工場で製造する MOX 燃料の設計と加工が紹介された。燃料仕様として、当面は Gd-MOX 燃料棒は使用せず、また加工が難しいことから MOX 燃料棒の軸方向富化度分布を一様としているとのことであった。また、燃料加工上の取り扱い性や耐 PCMI 性能の観点でペレット高さを最適化しているとの説明もあった。将来的には ABWR 向けフル MOX 運転が想定されている。



Pierre-Yves Cordier 氏



高橋 好作氏



小野 俊治氏



加々美 弘明氏

【技術トピックス（軽水炉、高速炉、新型炉、新技術）】座長：平井 睦氏（NFD）

(1) 多元系燃料の物性研究 黒崎 健氏（大阪大学）

高燃焼度燃料（ペレット）の物性を評価する上で、その影響因子を把握することが重要であり、燃料中に含まれる「相」をどのように評価するか、という視点で研究内容が紹介された。具体的には、燃料マトリックス相、酸化物析出相(灰色相)、酸化物析出相(JOG)、金属析出相に分類し、核分裂生成物による熱伝導率への影響、燃料中のアクチニド元素とFPの挙動について説明された。併せて、FEMによる物性評価について紹介され、SEM写真情報からの直接モデル構築によって、より細かく模擬する解析が期待されるとのことであった。

(2) 高速炉用 Am 含有酸化物燃料の特性 小山 真一氏（JAEA）

長寿命核種の核変換法として、マイナーアクチニド（MA）を燃料に混合させて高速炉燃料サイクルシステムに取り込む方法があるが、これに関連して、MAを含有する酸化物燃料の概要について述べられた。Amの生成と基本特性・核変換特性、高速中性子場でMA核変換を行うメリットが説明され、MAを含有するMOX燃料の製造に関する技術開発の結果と照射挙動が紹介された。MAのリサイクルにおいて、AmがPuから生成されるため高速炉やMOX利用の際に考慮すべきであること、CmやPFという分離困難な物質が含まれることを常に意識すること、が留意点として挙げられた。

(3) 先進材料の研究開発 檜木 達也氏（京都大学）

先進材料として原子力分野におけるセラミックス、特にSiCについて紹介があった。核融合炉やガス冷却高速炉といった次世代原子力システムに求められる材料特性として、低放射化性・高温特性があり、セラミックス材料を用いる研究が進められているとのこと。核融合炉構造材料、ガス冷却高速炉用燃料の炉心材料、軽水炉燃料や装置、に対してSiC材料の適用が考えられることから、耐照射特性に優れたSiC/SiC複合材料の開発が行われ、基本的な技術の確立と共に今後の進展が期待されているとの説明があった。

(4) 水炉燃料破損に関するIAEAレビュー 上村 勝一郎氏（JNES）

IAEA技術レポート「水炉燃料破損のレビュー」としてまとめられている、燃料破損の統計、原因、メカニズムを中心に燃料破損全般に関する説明があった。原子力主要各国におけるリーク燃料の年別本数とPWR、BWR燃料の比較について統計を見てみると、日本は、どちらにおいても世界で最も優秀な成績を残しており、特にPWR燃料のリーク数が少ないとの説明があった。ただ最近では、国内のPWR燃料のリークが徐々に増えている。日本の燃料破損率が少ない理由については、未だによく分かっておらず、海外も注目しているとのことであった。

(5) 出力急昇模擬試験技術の開発と適用例 坂本 寛氏（NFD）

国内BWRプラントで4~5サイクル照射された高燃焼度セグメント燃料による出力急昇試験で従来と異なるタイプの破損（外面割れ破損）が見られたことに対し、そのメカニズム解

明に必要な再現試験方法の開発が行われており、今回、開発方法と適用例について紹介があった。この外面割れ破損を模擬する試験方法の開発は、水素拡散試験とき裂進展試験の二面で進められており、試験方法を模擬試験に適用することで外面割れ破損の破損限界の明確化を目指し、燃料棒の健全性評価に役立てることができれば、ということであった。

(6) 高温ガス炉燃料の製造と照射 本田 真樹氏 (NFI)、沢 和弘氏 (JAEA)

講義前半は NFI の本田氏より、ガス冷却炉の特徴・種類・歴史・燃料仕様の比較について説明され、その後ビデオにて燃料コンパクト製造方法に関する紹介があり、NFI における製造工程の高度化について紹介された。後半は JAEA の沢氏より、高温ガス炉の燃料・材料の高度化研究として、HTTR 運転における燃料挙動、高温ガス炉燃料の照射実験、新型燃料の照射について紹介された。



黒崎 健氏



小山 真一氏



檜木 達也氏



上村 勝一郎氏



坂本 寛氏



本田 真樹氏



沢 和弘氏

【特別講演】座長：岩田 修一氏

「火山粒子：無用之用、用之美」 又野 佳洋子氏 (株式会社天元 社長)

鹿児島島の地形(霧島、桜島)・降灰とその環境の中で生活する住民の方々の様子について、写真を用いて紹介された。シラスは、吸水性・はっ水性に優れ、セメント・断熱屋根・ヘルメット・クレンザー・洗顔用品などに用いられており、シラスという地元の粉体資源を有効に活用するための工夫について説明された。

【ポスターセッション】

大学・企業の若手研究員によるポスター発表が開催された。夕食時と重なったが、限られた時間の中、多くの方に参加頂き、質疑応答が飛び交う活気のあるポスター発表であった。

- ・「ペロブスカイト CaXO_3 (X=Ti, Zr, Hf) の熱機械特性」 大阪大学 大石 佑治氏
- ・「Zr 水素化物の各種物性に及ぼす Hf の影響評価」 大阪大学 木村 裕明氏
- ・「Mo-Ru-Ph-Pd 合金の相状態と物性」 大阪大学 菅原 徹氏
- ・「 SrUO_4 の熱物理的性質評価」 大阪大学 徳島 二之氏
- ・「トリチウムレーザー技術を応用した室温付近における金属中の水素拡散係数及び透過係数の測定」 九州大学 池田 隆博氏
- ・「JT-60U プラズマ対向黒鉛壁への水素同位体蓄積」 九州大学 吉田 雅史氏
- ・「3次元アトムプローブによる Zr-Nb 合金のナノ組織観察」 東北大学 齋藤 健氏
- ・「マグネシウム含有ケイ酸塩を用いたイナートマトリックス用窒化ケイ素セラミックスの焼結と特性」 JAEA 白杵 俊之氏
- ・「地域と原子力との共生を目指したデータベース「ACALi」の概念設計」 三菱原子燃料 山本 哲大氏
- ・「超ウラン用磁化測定装置の開発と磁性及び超伝導」 三菱原子燃料 吉尾 俊亮氏



【懇親会】

懇親会は立食形式で行い、74名が参加した。初めに、京都大学の^{大石}名誉教授よりご挨拶をいただき、その後、数名の講師や事務局等よりセミナーに参加した感想などを述べた。また、今回参加の Studsvik 社にご協力頂いてスウェーデンコーナーを設け、スウェーデンより持参のパン、チーズ、魚の缶詰、酒が懇親会で振舞われ、好評を博していた。



大石 純氏



スウェーデンコーナー



【見学会】

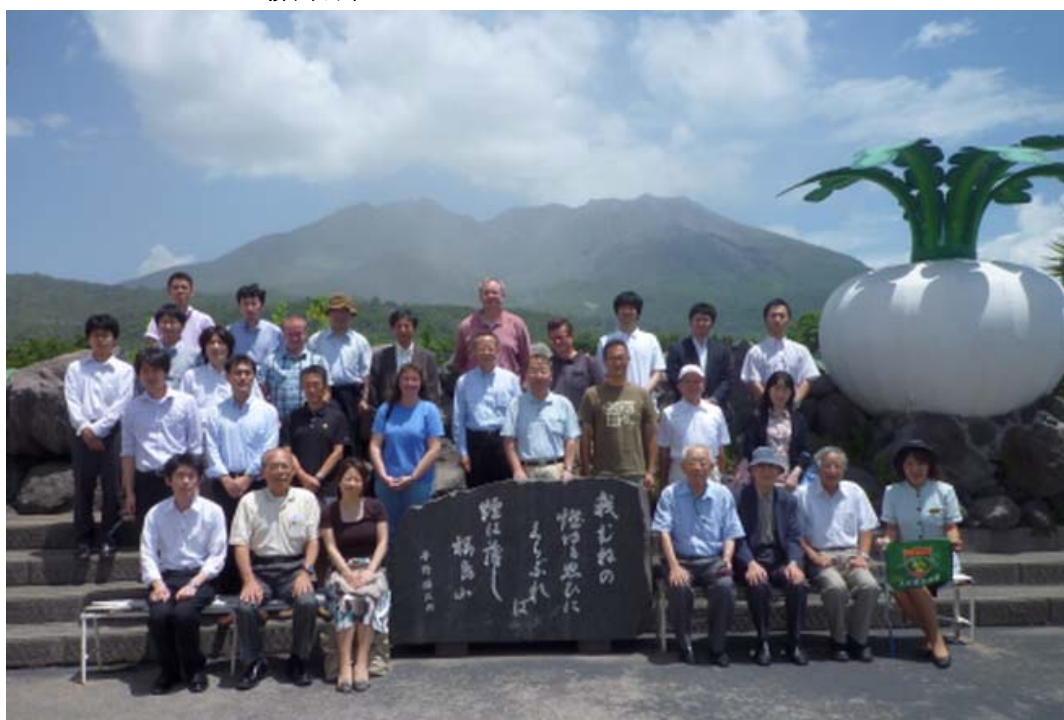
セミナー最終日の8月7日（土）は、霧島、桜島、鹿児島市内を見学した。バス、フェリーでの移動中、桜島の噴火に直面することができ、普段見ることのない大自然の光景に参加者からは驚嘆の声が上がっていた。



霧島神社



フェリーから見た桜島の噴火



桜島をバックに記念撮影

【謝辞】

今回のセミナー事務局は、三菱商事㈱、三菱原子燃料㈱が担当致しました。多々至らない点もあったと思いますが、講演者、参加者ならびに部会の方々のご協力で、無事成功を収めることができました。セミナー参加者及び関係の方々に、この場を借りて御礼申し上げます。

夏期セミナーに参加して

東北大学大学院工学研究科

齋藤 健

今回、学生の身分ではありますが初めて「核燃料・夏期セミナー」に参加させていただきました。真夏の鹿児島で行うということで、茹だる暑さであることを覚悟して向かいましたが、開催場所である霧島観光ホテルは、高所にあるため涼しく、過ごしやすい環境でした。ホテルに向かう道中は雨が降っていましたが、到着するときには青空となり、バスの中から見えた虹が印象深く心に残っています。

2日間に渡る講演では、石野先生の照射効果に始まり、21世紀の原子力開発、MOX燃料製造、ジルコニウム合金の組織観察、フランスの原子力状況など多岐にわたる内容があり、幅広い知識を得ることができました。特に興味深かったのが、古屋廣高氏の照射済燃料のX線CTによる非破壊試験の開発です。照射済燃料を破壊することなく、中心空孔径、燃料棒の変形を簡単に測定できることは、これまで実施されていた破壊検査の工程を短縮可能なことから素晴らしい成果であると感じました。他にも、坂本寛氏の出力急昇模擬試験に関する発表は、私の現在の研究がジルコニウム合金ということもあり、非常に勉強になりました。燃料側と減速材側との温度勾配による水素の半径方向への拡散の話は初めて聞く話で大変興味深く感じました。

私の勉強不足から今回の講演の内容の全てを理解するには至らないのが残念でありました。今後、自身の研究にも深く関係する内容ですのでしっかりと学んでいきたいと思いました。

夏期セミナー2日目には、ポスターセッションにて発表させていただき、多くの方に助言をいただきました。舌足らずな私の説明にも耳を貸していただき、また助言をして下さいました皆様、本当にありがとうございました。心残りであるのは自分の発表があったために他のポスターセッション発表者の発表を聞くことができなかつたことです。

3日目は、自称世界4大美女のバスガイドに案内され、霧島神宮、桜島を観光しました。霧島神宮では結婚式が執り行われており、参拝も忘れて花嫁に目を奪われていました。桜島観光中には噴火が起き、火山灰の洗礼を受けました。Yシャツには火山灰が付き、メガネのレンズは汚れました。鹿児島市民は常に火山灰に備えマスクを常備しているらしく、鹿児島での生活の苦労を実感致しました。

今回の夏期セミナーへの参加は、普段研究室に籠りがちな生活の中で研究者・企業の方々と出会う切っ掛けを与えてもらい、大変有意義な時間を過ごすことができました。今後の夏期セミナーにて、また皆様とお会いできる日が楽しみです。

夏期セミナーに参加して

大阪大学 大学院工学研究科
徳島 二之

平成 22 年 8 月 5 日から 7 日にかけて鹿児島県の霧島で開催された核燃料部会夏期セミナーに参加させて頂きました。学生として最後のセミナーであり、また出身地近くでの開催ということもあり非常に楽しみにしておりました。

セミナーの内容については、原子力の全体像をとらえたものから先進的な研究内容、また実際の製造に関わる話まで多種多様であり、終始興味深く講演を拝聴することが出来ました。印象に残った講演の 1 つとして、上村先生の「水炉燃料破損に関する IAEA レビュー」があります。破損の数を原因や国別に分けて統計を取ったデータがあり、このような統計学的なアプローチも重要であると痛感いたしました。また今年度のセミナーではいくつかの講演が英語で行われたのですが、私の英語の能力が乏しく、正確に理解することが出来ず非常に残念でした。今後私自身の課題として、英語の能力を磨かなければならないと切実に感じた次第であります。

また 1 日目の夜には懇親会が開催されました。ホテルの料理に加え、スウェーデンの方々が郷土の料理、お酒を準備して下さいました。パンの上にチーズやニシンをのせた料理が絶品であり、大変おいしく頂いたことを覚えております。また懇親会中に、大先生方から若手の先生方までの大変貴重な意見を拝聴することができ、非常に有意義な時間を過ごしました。

セミナーの最後には、特別講演として地元の講演が行われました。シラスは私にとっても大変身近なものであり、洗顔料に用いられていることを知り大変驚きました。またこのような表現が適切かどうか分かりませんが、先生方が最後まで真剣にお聞きになられていたことを、地元の人間として大変うれしく思いました。1 つの分野に固執せず様々な分野を学ぶことは、技術者として非常に重要なことであると考えておりますので、今後ともこのような講演を続けていくことは有意義なことであると思えます。

今年度のセミナーでも昨年度に引き続きポスターセッションが開催されました。若手研究者及び学生が対象であり、僭越ながら私も発表者として参加させて頂きました。議論を活発に行うとともに、先生方から貴重なご助言を頂戴し、大変勉強になりました。今後この経験を活かしていければと思えます。

最後に、拙い文章ではありますが所感を述べる機会を与えて頂き、感謝いたします。光栄にも来年度から某原子力燃料メーカーで働くことが決まっておりますので、今回のセミナーで学んだことを忘れぬよう今後とも精進し、原子力の発展に貢献していきたいと考えております。

VII 編集後記

核燃料部会報第46-1号を部会員の皆様にお届けいたします。

今回の核燃料部会報第46-1号では、8月に鹿児島県で開催された夏期セミナー報告をはじめとする2010年度上期のトピックスを中心に掲載しております。

執筆者の方々には、部会報への投稿を快くお引き受けくださり、またお忙しい中執筆していただいたことに心より御礼申し上げます。

核燃料部会報は、ニュース性を失わないように、また核燃料部会と部会員の皆様との繋がりを保つために、2005年度より「夏版」と「冬版」として年2回発行しています。このうち「冬版」は印刷物として部会員の皆様に郵送してきましたが、第34回核燃料部会総会（2010年3月27日）において部会報の電子化についてご承認いただきました。これにより、次号の第46-2号からは部会報の印刷物をお送りすることを止め、今回の「夏版」と同様に部会報を核燃料部会のホームページに掲示するとともに、発行したことを核燃料部会メーリングリスト（電子メール）で会員の皆様にご連絡する予定としておりますのでご承知おきください。

この度核燃料部会報第46-1号を無事発行できましたので、今後は第46-2号の発行準備を進めてまいります。核燃料部会報の作成にあたり、会員の皆様からの投稿をお待ちしておりますので、記事または情報の提供等がありましたら一報いただきたくお願いいたします。

また、部会報担当者として今後も部会報の一層の充実に努めてまいりますので、ご意見、ご要望等がありましたら連絡いただきますようお願いいたします。

2010年度部会報担当：中部電力（株） 野田 宏
メールアドレス：Noda.Hiroshi@chuden.co.jp
電話番号：050-7772-2472