

核 燃 料

2012 年 5 月発行

No.47-2 (通巻)

目 次

I. 巻頭言	山中 伸介	1
II. 企画セッション		
福島第一原子力発電所事故を踏まえた核燃料分野の課題と展望	小林 裕	3
III. 特別寄稿		
「東京電力(株)福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃止措置等に向けた研究開発計画に係る国際シンポジウム」における”燃料デブリの性状把握・処理に係る研究計画”の報告	鷺谷 忠博	6
IV. 国際会議紹介		
軽水炉燃料の「2011 Water Reactor Fuel Performance Meeting」国際会議の報告 ……緒方 恵造、小野 慎二、北芝 紀裕、坂本 寛、佐藤 大樹、篠原 靖周、 白井 孝治、杉山 智之、手島 英行、牟田 浩明、吉田 綾一		11
IAEA 技術ミーティング「Technical Meeting on Fuel Design and Licensing of Mixed Cores for Water Cooled Reactors」について	宇田川 豊、花山 育志、布川 公一	23
V. 核燃料関係国際会議予定一覧	March, 2012 – February, 2013	27
VI. 国際交流ニュース		
北欧ノルウェー王国での生活	皆川 洋治	31
VII. 関係機関便り		
福井大学附属国際原子力工学研究所	宇埜 正美	35
電力中央研究所の燃料研究の展開	北島 庄一、尾形 孝成	39
VIII. 夏季セミナー紹介		41
IX. 核燃料部会会員名簿		43
X. 編集後記		47



I. 巻頭言

今思うこと

大阪大学大学院工学研究科

山中 伸介

福島第一原子力発電所事故から1年たった現在でも、依然多数の住民の方が避難生活を強いられ困難な状況にあることに心痛を禁じ得ません。そのような状況の中で核燃料部会誌の巻頭言を執筆せよとのご依頼があり、大変恐縮ですが今思うところを率直に書かせて頂きます。

あの事故から2ヶ月ほどたった頃、著名な哲学者とお話する機会があり非常に厳しいご指摘を受けました。「日本原子力学会は、アカデミアではないように感じる」というご意見でした。ご承知の通り、アカデメイア（アカデミア）は古代ギリシャのアテナイにプラトンが創設した学校の一つであり、そこでは算術、幾何学、天文学などを学び予備的訓練を経てから理想的な統治者がうけるべき哲学が教授されたそうで、学校の入り口の門には「幾何学を知らぬ者、くぐるべからず」としていらしたらしい。哲学者の先生からすると、事故の頃に日本原子力学会が公表した様々なコメントは到底学術的なものであるとは考えられず、むしろ物理学会や化学会に属する研究者からの意見の方がより学者として納得できるものであったのだと思う。原子力村の人々が原子力を支える基礎学問を理解し、それを駆使し原子力を統治することができたとは、見えなかったのでしょうか。勿論、その先生の本当に意図されたことは良く分かりませんが、少なくとも今後も原子力の世界で生きる私への叱咤激励でもあったと信じています。

私自身、事故直後から本当に研究者として何をなすべきなのか、悩み考える日々でありました。核燃料や被覆管について、若い先生方や学生さんとともに今まで研究してきたことに間違いがあったとは思いませんが、この事故を受けて今後どのように研究を進めていくべきであろうかと考えてきました。事故後も核燃料への研究の興味（事故前からこれはしなければならぬとの思いも含めて）は全く消えてはいませんし、より強くその基礎を探求すべきと感じています。若い学生さんが興味をもってくれるならば、私自身も面白いと思える研究を一緒に続けて行きたいと思っています。核燃料に関係する様々な物質についての真理の探究が福島の住民の方々の少しでもお役に立てればと思っています。また、今後の原子力を安全に導いてくれる若者を育てること、遠い将来あの哲学者の不信に答えられるような原子力人に成長してくれるよう希望を授

け続けることが、私の使命であると思っています。

II. 企画セッション

2012年春の年会 核燃料部会主催企画セッション 「福島第一原子力発電所事故を踏まえた核燃料分野の課題と展望」

ニュークリア・デベロップメント(株) 小林 裕 (国内企画担当)

核燃料部会では、福井大学で行われた2012年春の年会において、「福島第一原子力発電所事故を踏まえた核燃料分野の課題と展望」と題した企画セッションを開催した。座長は安部田副会長（三菱商事）が務め、出張のためセッションに参加できなかった岩田部会長からのメッセージが紹介された後、3件の講演と質疑応答が行われた。当日は別会場にて福島事故関連の特別セッションが行われており、本セッションにどの程度の参加者があるか心配していたが、会場がほぼ一杯となる約70名の方が参加し、また質疑も活発に行われた。

核燃料部会長メッセージ 岩田 修一（東京大）

- (1) 私達は事故を止められなかった！
- (2) 私達は核エネルギーの価値を十二分に利用できていない！

この事実を胸に刻みながら、部会としては核のもつ価値を安全に取り出すための学術の保全と発展を企及、新たな学術の構築をしなければならない。今、分かっていることは何なのか、また分かっていることが何なのか、そして分かっていることをどのように扱うのか、私達に課せられた課題は重い。

日本におけるシビアアクシデント研究の経緯（京都大学 杉本 純）

過酷事故、炉心損傷事故等のシビアアクシデント（SA）に関する研究は、1979年3月の米国スリーマイル島（TMI）事故を契機に開始され、1986年4月の旧ソ連チェルノブイリ事故後には我が国を含む内外で本格的な研究が実施された。研究内容は、炉心の損傷・溶融過程、原子炉圧力容器の健全性、格納容器内の挙動、格納容器の健全性、放射性物質の挙動、及び解析コードの開発・検証に大別出来る。これらの研究の成果はシビアアクシデントマネジメント対策に反映され、今回の福島事故では一定の役割を果たしたものの、技術的には不十分であった。今後は、損傷炉心の調査、受動的冷却システム、水素対策、格納容器ベント、SA解析、事故後の炉心冷却・閉じ込め手法の研究が必要である。



Q ; 商用炉は発熱密度が高いため炉心の熱容量が莫大である。発熱密度を下げ、安全性を確保する発想はないか？

A ; 小型炉のように相対的に炉心表面積を大きくし、自然循環で除熱する炉の概念はある。

Q ; 現状の炉の安全性を高めるような対策として考えられることは何か？

A ; 外部電源に頼らず、水と蒸気の接触による凝縮で駆動するインジェクタのような静的安全システムの導入、また、プラント運転管理者にプラント特性の深い知識を習得させ、突発事象に対して的確に判断できる能力の向上を図ることが重要と考える。

溶融燃料の形態及び特性 (JAEA 永瀬 文久)

福島第一原発では、燃料の溶融が起こり SA に至った。燃料がどのような形で原子炉施設のどこにあるのかを推定する上で、また事故解析を行う上で、溶融し炉心材料と混合した燃料の特性は重要である。溶融燃料の特性について最も広範に調査・分析が行われたのは、1979年のスリーマイル島2号機(TMI-2)事故後に炉心から取り出された溶融燃料(TMI-2 デブリ)に対するものである。JAEA は、1988～1993年に行われたTMI-VIP計画に参加し、入手した約60個のTMI-2 デブリに対して外観観察、密度測定、マイクロ組織観察、元素分析、熱特性評価等を燃料試験施設において行った。得られたデータは炉心溶融進展、ソースターム評価、解析コードの開発・検証に用いられた。



福島事故については炉型、初期インベントリー、事故シナリオ、冷却材残存量等が異なるため、TMI-2 デブリとは異なる特性を有するデブリの生成も考えられる

Q ; 燃料の高燃焼度化は溶融燃料の挙動について影響を及ぼすか。

A ; 高燃焼度化に伴いペレット中にFPが蓄積することにより融点か下がったり、FPが蒸発して気孔が多くできることがあるがデブリの性状が大きく変わることはないと考えられる。

Q ; TMI のデブリに関する情報を踏まえ、福一デブリについてどのようなアプローチをすべきか？

A ; しらみつぶしにやっていく方法や、SA シナリオ評価をして大まかなあたりを付けてゆく方法等、色々な意見があり、現時点では福島事故に関する情報が少なすぎてこれと断定できない。

福島第一原子力発電所事故後の核燃料分野の役割 (大阪大学 山中 伸介)

日本国内における最大規模の原子力事故となった福島第一原子力発電所事故において、核燃料に関する技術課題は山積する。具体的には、核燃料と構造材との反応・溶融・水蒸気酸化とそれに伴う水素発生といった事故時の燃料挙動把握に関する課題や、溶融燃料デブリを含む使用済燃料の現状把握及び取出しに関する課題などが挙げられる。

近年、核燃料・材料の研究分野の規模が非常に小さくなっており、その中でも基礎研究に携わる人材および時間が減少傾向にある。そのような状況の中で福島事故により核燃料研究を取巻く状況が大きく変わった。事故以前は SA は起こりえないとの前提で多くの研究が行われていたため、燃料材料で対象とする温度範囲はせいぜい 1500°C であり、その結果、それ以上の温度域でのデータは少なく、また信頼性も低い。他にも、照射燃料の融点、SA 時のソースターム評価データ等の基礎が不足している。

核燃料分野として、燃料・材料の高温物性、ジルコニウム合金以外の材料の適用性評価、これらを研究するための組織、体制の再構築が必要になっているとの提言をされた。

Q ; 被覆管にジルカロイを使う限り水素の危険があるから、いっそ材料を変える発想はないのか？

A ; ステンレス鋼、その他の鉄合金、SiC 等は SA 時の水素発生という観点では優れているので、被覆管としての適用性を検討すべきと考えている。

Q ; SA 全体を俯瞰し、主な振る舞いを分類整理できないか？

A ; 燃料・材料は高温時に従来考えられていたものとは異なる挙動も最近明らかになりつつある。今回の福島事故を分析し、燃料としての挙動を整理することは重要である。



以上

Ⅲ. 特別寄稿

「東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた研究開発計画に係る国際シンポジウム」における“燃料デブリの性状把握・処理に係る研究計画”の報告

鷲谷忠博

日本原子力研究開発機構

1. はじめに

3月14日に「東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた研究開発計画に係る国際シンポジウム」が大手町サンケイプラザで開催され、“燃料デブリの性状把握・処理に係る研究計画”について報告を行った。

本会議は、東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた研究開発計画において取り組む課題及び対応の方向について国際的な情報発信を行うとともに、関連分野における知見・経験を有する国内外の有識者・専門家を招き、課題及び対応方針等について討議を行い、技術的な提案・アドバイスを含め国内外の関係機関からの協力を得られる体制作りを目指して実施されたものである。本報告では、日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構と称す)が中心に検討を進めている“燃料デブリの性状把握・処理に係る研究開発計画”について報告するとともに海外の有識者との討議を行った。

2. 福島第一原子力発電所の状況

福島第一原子力発電所の事故では1号機から3号機に深刻な炉心損傷が発生し、当時定期検査のため停止中の4号機も水素爆発により建屋が大きく損傷している状態にある。特に深刻な損傷が予想される1号機から3号機では、地震後の津波襲来により全電源喪失が起こり、冷却機能が失われた燃料は崩壊熱により2000度以上の高温状態となり破損・溶融が生じているものと考えられる。溶融した燃料は原子炉圧力容器の下部に溶け落ち、炉心下部構造を損傷し、さらには格納容器内コンクリート製のペDESTALへ落下しているものと推定されている。1号機から3号機の原子炉圧力容器内の燃料については、TMI-2やチェルノブイリなどの過去の炉心溶融事故の経験から想定して高温になった燃料は被覆管や制御棒及び炉心構造材等と反応し、ウラン・ジルコニウム系の溶融酸化物となり、また、ペDESTALに落下した溶融酸化物はコンクリート成分と反応(MCCI反応)して種々の溶融化合物が生成しているものと考えられる。これらの溶融燃料は“燃料デブリ”と呼ばれ、TMI-2等の経験からその形態や物性は多岐にわたると想定され、特に化学的な側面では一般的な化学処理方策の適用は困難と考えられている。

福島第一原子力発電所の廃止措置作業については、政府・東京電力中長期対策会議で廃止措置に向けたロードマップが提示されているが、破損燃料の取出し迄に約10年、廃炉迄に約30年を要すると想定されている。また、現在の各号機では圧力容器および格納容器に漏洩が発生しており、圧力容器および格納容器内を十分に冠水できていないことから、早急な止水対策が必要であり、また、炉内の破損燃料の状況を正確に評価することが重要と考えられている。炉内の破損燃料の状態については、シビアアクシデント時の事故進展解析コード(MAAP、MELCOR等、以

下、SA 解析コードと称す)による評価推定が進められているが破損燃料の特性(成分、量、物性、形態等)については不明な部分が多く、今後の燃料取出作業等を実施する上で破損燃料の特性情報を把握することが、取出作業の手法選定や治具の選択、さらには破損燃料の安定性評価の上で重要な因子と考えられる。

3. 報告内容(燃料デブリ処理に係わる研究計画)

原子力機構では、政府・東京電力中長期対策会議研究開発推進本部の体制のもと、燃料デブリ性状把握・処理準備サブ・ワーキングチームのプロジェクト実施者として、政府・東京電力・電力中央研究所・プラントメーカー等と連携しつつ、燃料デブリに関する研究開発を進めている。本会議では研究開発スケジュール、燃料デブリ状況の推定方法、デブリ特性把握に関する研究状況、処理方策の検討状況等を報告した。以下に発表内容を要約する。

研究開発の目的

本研究の目的は、福島第一原子力発電所の燃料デブリの特性を把握し、廃止措置作業に必要な作業(サンプリング・燃料取出し、臨界安全、計量管理、炉内状況把握、デブリ処置方策の検討)に貢献することにある。

研究開発スケジュール

福島第一原子力発電所からの燃料デブリのサンプリングには7～8年、燃料取出しには10年以上かかると予想され、その間にデブリ性状を推定し、適切なサンプリング方法を決定する必要がある。従って、本研究では2015年頃までに模擬燃料デブリを用いて特性を把握し、TMI-2デブリとの比較評価を行い、サンプリング方法等に必要な情報を提供する予定である。また、原子炉からの実デブリのサンプル取得後は、その分析結果を破損燃料の取出し作業に反映する。また、作業と並行してデブリの処理方策の検討を進める。処理技術としては、実用化されている湿式処理技術、湿次に次いで研究が進展している乾式処理技術を中心に技術改良を行い、それらの適用性を評価する計画である。また、本検討は貯蔵保管技術や処分技術に関する検討とも連携を図りつつ、破損燃料取出し後の処置方策の選定に資する技術情報を提供することとしている。

燃料デブリ状況の推定

燃料デブリの特性については TMI-2 の燃料デブリの情報が参考となるものの、福島第一原子力発電所と TMI-2 では炉型式や事故進展状況など異なる点が多いことから、それらを考慮したデブリ特性の推定が必要である。

燃料デブリ状況の推定方法

炉内の燃料デブリ状況の推定方法としては、SA 解析コードや熱力学的な手法の応用を計画している。SA 解析コードの計算結果より炉内の溶融成分の概略把握が得られ、さらに、熱力学的評価を加えることで燃料デブリ状況を推定する計画である。また、ここで得られる情報は模擬デブリ条件の検討にも反映する予定である。しかし、SA 解析コードや熱力学的評価には不確かさが伴われるため、デブリ生成条件の評価ではこれらの不確定要素を十分に考慮する必要がある。

デブリ特性把握に関する研究状況

燃料デブリ特性の把握では福島特有の要因に十分な考慮が必要である。福島第一原子力発電所の2号機、3号機では、TMI-2と較べて多くの違いがある。例えば、炉心損傷時間の長期化により酸化反応が進行し、燃料の粉体化が進行している可能性、最高到達温度が TMI よりも低いことによる燃料デブリの非均一性の増加、圧力容器及び格納容器の損傷による核燃料物質等の冷却水中への移行やコロイドの発生等が想定される。

これらの特性把握のため原子力機構では模擬デブリ(ウラン系/MOX系/照射済燃料系)を利用した研究を計画している。その一つが“マッピング”研究であり、少量の模擬デブリを用いて組成/温度条件/酸素分圧/海水条件等をパラメータとして広くデブリ特性を取得する計画である。これによりデブリの生成条件と性状との相関を把握する予定である。

また、福島第一原子力発電所3号機には MOX 装荷されており、Pu のストイキオメリーが U と異なることから MOX 系の模擬デブリの特性評価が重要と考えている。本研究については、これ迄に UO₂ 系の模擬デブリの特性データの取得から開始し、MOX 系での模擬デブリの調製に着手したところである。福島燃料デブリでは Zr 含有量が高いと想定され、Zr 含有量をパラメータ(Zr: 25%~75%)とした試験を実施し、Zr 含有量の変化量が粒子径等の微細構造や組成変化に影響があることを確認している。また、酸素ポテンシャルについては、TMI-2結果から推定して O/M は 2.05 まで上昇すると想定され、MOX 系燃料デブリとしては 2.05 前後の範囲で O/M を調整する必要があると考えられる。

UO₂ 系でのマッピング研究では、Zrリッチな条件下の高温状態図の検討も進めており、600℃以下の温度条件では α -Zr(O)相が先行して析出、次いで、金属 U、或いは UZr₂ が固化するメカニズムが想定されている。また、実験結果は解析した平衡状態図とほぼ一致することも確認した。さらに、海水による影響評価を実施し、ウラン系模擬デブリに海水塩を添加して過熱処理を行い、海水中の Ca と Mg による UO₂ 表面での反応を確認している。今後は Zr 濃度の影響や高温条件下(~3,000 度)での反応性を評価する予定。

また、使用済燃料を用いた模擬デブリの特性評価も調整中であり、試験的なデブリ調整を開始した。装置は大洗研究開発センターAGF のソースターム用測定装置を用い、ふげん燃料を Zry と混合したングステン坩堝内のカプセル内に封入、過熱融解により模擬デブリを調整する。本試験では同時にオフガス挙動データも取得する予定である。

デブリ処理方策の研究状況

TMI-2 の場合、炉心から取出した破損燃料は現在 INL サイト内に保管(乾式保管)され、将来的な処置方策は未定である。一方、福島第一原子力発電所は TMI-2 と炉心損傷状況が異なると予想されるため、その処置方策(「長期保管」「処理」「処分」)の選定については更に複雑と予想される。処置方策の選定では総合的な「合理性」が求められるため、「技術的な成立性」に加えて「経済性」、「廃棄物発生量」、「化学的安定性」、「社会受容性」等が重要である。そのような中で、当ワーキング・グループでは、既存の処理技術をベースに「処置方策の可能性」を検討することとしている。本検討は TMI-2 や SA 研究におけるデブリ情報を反映し、具体的な処理方法として「湿式処理」「乾式処理」及び「冶金的前処理」の 3 点について検討を行っている。デブリは化学的に安

定であり、既存の処理技術を適用する場合、技術改良が必須であり、同時に廃棄物発生量やその形態についても十分な配慮が必要である。

湿式処理は特別な試薬が不要であれば、従来と同じ廃棄物形態とできることから処理プロセスとして望ましい。しかし、INL での TMI-2 デブリ分析の経験によると、デブリは硝酸やフッ酸では溶解せずにピロ硫酸カリウムや王水などの強酸の利用が必要であると報告されている。福島の前も通常の PUREX 法による溶解は困難と想定されるが、一方でデブリの主要成分である(U,Zr)O₂ は結晶構造により異なる溶解性を示すことから、結晶構造の調整による溶解性の向上が 1 つの解決策とも考えられる。

また、乾式処理についても INEL での知見が参考となり、デブリを高温環境下で電解還元することにより一部が金属化できたとの報告がある。現在、電力中央研究所と共同研究で実施している金属電解法適用性検討でも、ウラン系模擬デブリの一部が電解還元できたという結果が得られている。しかし、デブリのような複合酸化物の還元挙動については不明な点が多く、更なる基礎データの蓄積が必要である。その他の技術として、ハロゲン化やモリブデン酸塩を用いた溶解法についても検討中である。

まとめ

原子力機構は福島第一原子力発電所事故の廃止措置に向けた研究開発の一環として「燃料デブリ特性把握及び処理準備 SWT」に参画し、政府・東電・電中研・メーカー等と連携しつつ燃料デブリの特性把握と処理技術に係る研究開発を実施している。福島第一原子力発電所の燃料デブリの特性を推定するためには国内外の知見を有効利用するとともに模擬デブリを用いた検討が有効と考え、関連機関と連携して模擬デブリを用いた研究を進めている。検討に当たっては現場の復旧作業を進めている東電・メーカーのニーズを把握しつつ、TMI-2 やチェルノブイリ事故、SA 研究の知見を参考としながら福島第一原子力発電所事故の特異性を考慮して検討を進め、さらに事故進展解析や臨界評価等の検討チームとも協力することで効果的な検討が行えるように留意している。また、処理方策の検討も含め、国内外の英知を結集することが必要であり、現在、欧州・ロシア・米国等との情報交換を積極的に進め、今後、具体的な国際協力に繋げてゆく予定である。

4. パネル討論の概要

発表後、京大山名教授と東大岡本教授の共同議長の下、海外招聘者による短時間の講演とパネル討論が行われた。海外招聘者の講演及び討論の概要を以下に示す。尚、本パネル討論の内容は報告者が発表した“燃料デブリ処理に係わる研究開発計画”と東電山中氏が発表した“炉内の損傷燃料状況把握のための計算コード改良に関する研究計画”について、合同で討論がなされたため、以下には双方の内容が含まれる。

CEA-Marcoule の Stephane Bourg 氏

Bourg 氏は CEA におけるバックエンド燃料サイクル活動を紹介するとともにコリウム処置に関する見解として、コリウムと燃料デブリを最終廃棄物であると見なし、それらの長期的な化学的安定

性の評価が重要と指摘している。

S.A.Technology の Matt Cole 氏

Cole 氏は破損燃料取出しに係る臨界安全性に関してコメントした。燃料取出しの前に臨界に関する懸念を払拭すべきであり、また、明確な廃棄体の要件を作るために燃料取出時の安全要求事項の設定が必要である。尚、破損燃料取出しには優先順位を設けることが重要であり、使用済燃料プールについてもクリーンアップが必要と指摘している。さらに遠隔での原子炉調査／点検および燃料プールのクリーンアップに関して一例を挙げて紹介。

Sosny の Anton Leshchenko 氏

Leshchenko 氏は破損燃料処理の必要性を紹介した。ロシアでは 2.5 トンの破損燃料の取扱いに関する経験があり、破損燃料の取扱いに対する認識として長期貯蔵よりも再処理の方が安全であるとの見解を持っている。

KIT の Walter Tromm 氏

Tromm 氏は KIT の SA 研究の各プロジェクトの中で放射性核種移動とガラス固化について紹介した。KIT の活動は Institute of Technology & Management for Decommissioning とドイツの Nuclear Emergency Response Team(KHG) が共同して実施している旨を紹介。

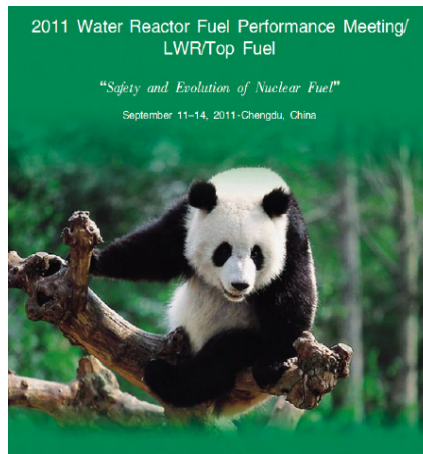
討論のポイント

山名議長の司会でパネリストと日本側発表者を交えたパネル討議を実施した。論点を以下に記す。

- 破損燃料の特性把握に関しては、欧州のコリウム・データ等の活用によって、福島第一原子力発電所の廃止措置に向けた研究開発プロジェクトの効率性及び信頼性が向上する。
- 破損燃料の取出し後の処置に関しては、その最終状態を前もって検討することが重要であり、関連する戦略も最終目標を踏まえて策定する。
- 実デブリのサンプル取得については、観測データや分析データによりプロジェクトがより最適化する。
- 修復作業について、代替技術・方針を用意しておくことにより、あらゆる事態に实际的に対応すべきである。
- 燃料デブリの処理・処分に係る研究開発について、処分の判断基準に合致するか、既存技術の組み合わせで処理手順を最適化できるか、などの研究を実施しておくことが必要である。
- 安全性確保について、多様なデブリ性状の調査・把握を通じて信頼性の高い解決手段を抽出することで、できるだけ不確実性を減らすアプローチが望ましい。

以上

軽水炉燃料の「2011 Water Reactor Fuel Performance Meeting」国際会議の報告



(Preliminary Program より引用)

報告者 (50 音順) : (JNES) 緒方 恵造、(NFI) 小野 慎二、(MNF) 北芝 紀裕、(NFD) 坂本 寛 (取りまとめ)、(MNF) 佐藤 大樹、(NDC) 篠原 靖周、(CRIEPI) 白井 孝治、(JAEA) 杉山 智之 (取りまとめ)、(MNF) 手島 英行、(阪大) 牟田 浩明、(JNFL) 吉田 綾一

2011年9月11日(日)から14日(水)まで中国四川省成都のホテル(Jinniu Hotel)で「2011 Water Reactor Fuel Performance Meeting」(以下、WRFPM と称す)が開催された。本国際学会は、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学会であり、今回は中国核学会(CNS)が初めて主催を務めた。基調講演6件、口頭発表90件、ポスター発表49件があり盛況であった。アジア/欧/米の20ヶ国の規制当局・電力・メーカ・大学・研究機関より240名程度が参加した。日本からは、10機関から合計20名参加した。



金牛賓館 (Jinniu Hotel) の正門



Welcome Reception での集い

1. 基調講演 (Opening Ceremony) (杉山、坂本)

主催者 (CNS) の開会挨拶に続き、IAEA、CNS、日本原子力学会 (AESJ)、韓国原子力学会 (KNS)、米国原子力学会 (ANS)、欧州原子力学会 (ENS) の各代表による基調講演が行われた。

IAEA : Inozemtsev 氏により原子力施設安全に向けた IAEA の一連の活動が紹介され、その一環である IAEA 技術会合の実績及び計画に関連して JAEA が事務局を務める「過渡及び LOCA 時の燃料挙動に関する技術会合」(2011 年 10 月に水戸で開催) が紹介された。

CNS (中国) : CNS 学会長の Li 氏より、現在 11.16GW の発電容量 (計 14 基の PWR、CANDU、WWER。国内電力の 1%に相当) を 2020 年までに 70~80GW に拡大する計画が示され、福島第一事故を踏まえても原子力政策は揺らがないが、安全の意識は決して緩めないとの方針が表明された。

AESJ (日本) : AESJ 核燃料部会部会長の岩田先生 (東大) により、福島第一事故発生から現在までの簡単な経緯が紹介された。また、歴史を紐解くと大きな災害・事故はあらゆる地域で起こり得ることであり、未来を見据えて「人類がどのように科学技術と向き合うのか」といった議論が国境を越えてなされるべきとの提案がなされた。

KNS (韓国) : KAERI 燃材料部門の副部長 Song 氏により、現在 17 基の PWR、4 基の CANDU が稼働中で、5 基の PWR (OPR1000 型 3 基、APR1400 型 2 基) が建設中、2017 年までにさらに 2 基の APR1400 を計画中、2030 年までにはさらに 10 基を増設との計画が示された。また、SiC 被覆燃料、Dual-cooled 燃料 (中空ペレットの内面にも被覆を設け、内外両面で冷却) 等の新型燃料の開発状況を紹介され、中国と同様に、福島第一事故後も引き続き原子力関連の開発を継続することが示された。

ANS (米国) : EPRI 副長の Yang 氏により「米国の原子力の未来」と題する講演が行われ、2010 年の設備利用率が 91.2%に達したこと、非常に低い燃料破損率を達成したことなどが報告された。福島第一事故の影響としては、重要度の順位において使用済燃料プールが格上げされた点など、リスク評価の考え方が影響を受けたことが挙げられた。

ENS (欧州) : ENS の Auge 氏より、昨年より ENS の法人会員として加わった ONET Technologies の活動が紹介された。同社はフランスのマルセイユを拠点とし、除染、解体、保守を始めとして廃棄物管理、防火、保全、訓練など多岐にわたるサービスを提供し、ITER 計画や第 IV 世代原子炉計画にも技術を提供している。



AESJ 核燃料部会部会長の岩田先生 (東大) による基調講演

2. 技術セッションとポスターセッション

技術セッションは、下記の Track で構成され 3 日間開催された。

Track-1 : Fuel Design, Test and Fabrication

Track-2 : Fuel Performance and Operational Experience

Track-3 : Transient Fuel Behavior and Safety Related Issues

Track-4 : Fuel Cycle, Spent Fuel Storage and Transportation

Track-5 : Advances and Innovation in Nuclear Fuel Technology

Track 1: Fuel Design, Test and Fabrication (牟田、手島、吉田)

Track 1 として 24 件の口頭発表が行われた (プレナリーセッション 4 件、パラレルセッション 20 件)。

プレナリーセッション

AREVA、Third Qinshan Nuclear Power (中国)、Westinghouse、Department of Atomic Energy (インド) から合計 4 件の発表があった。

AREVA からは、FA の曲がりについての試験及び CFP 法によるシミュレーションの結果が報告された。曲がりには FA のデザインに強く依存し、またこれを任意のパラメータなしで計算により再現できたとのことである。モデルを発展させ、簡略化することで炉心全体の評価も行われている (T1-006)。Third Qinshan Nuclear Power からは、再処理によって生じた回収ウランの利用についての成果ならびに計画が発表された。現在天然ウランと同じ濃縮度とした回収ウランの照射テストを行っており、将来は直接利用を計画していることが報告された。また再処理プラントについては今後拡大する予定とのことである (T1-005)。Westinghouse からは、Protective グリッドで生じたクラックを評価するためのループ試験およびその解析結果が報告された。Vortex-shedding による振動の周期と、集合体の固有周期が共鳴したときにクラックが生じることが明らかにされた。Vortex-shedding が生じるとは防げないため、集合体形状を変えて振動周期を一致させないことで対応できることが説明された (T1-021)。Department of Atomic Energy からは、インド国内における PHWR および BWR 研究についての進捗状況が報告された。燃料製造から PIE 結果まで幅広く紹介された。PHWR は 540 MWe から 700 MWe 級へ移行中であり、現在 4 機が建設中、さらに 5 サイトの建設が予定されている (T1-044)。

パラレルセッション (9/12)

KNF (韓国)、Fudan 大学 (中国)、Westinghouse、NPIC (中国)、OKB “GIDROPRESS” (ロシア) から合計 5 件の発表があった。

KNF からは、1999 年より実施している PULS7 燃料の設計開発の報告、ホットセル内でのテストの状況等について説明があった (T1-001)。Fudan 大学からは、フレットング摩耗が Zry-4 燃料被覆管に与える影響を評価するための実験及びシミュレーションプログラムについての説明があり、本プログラムによる摩耗深さや燃料棒形状の計算結果が報告された

(T1-026)。Westinghouse からは、PWR 燃料格子のフレッティング摩耗シミュレーションとメカニズムについて VITRAN コードを用いた検討を行い、P 格子がある場合と無い場合について原子炉内燃料の格子-燃料棒間のフレッティング傾向と一致するとの説明があった (T1-028)。NPIC からは、燃料集合体の混合係数 (Mixing coefficient) に関する研究結果について、得られた混合係数の解析がなされ、混合係数は燃料集合体の固定値であり燃料集合体の構造と熱水力条件に混合係数が左右されるとの報告があった (T1-037)。OKB “GIDROPRESS” からは、冷却材中の燃料棒の通常及び強制振動下での実験的研究として、地震時における設計の健全性の説明がなされた (T1-048)。Westinghouse からは、AP1000 向け燃料集合体の設計及び開発の状況として、これまでの経緯から燃料集合体の機械設計の比較、設計検証結果について報告があった。なお、本燃料は中国で建設中の AP1000 にも使用される予定である (T1-011)。

パラレルセッション (9/13)

AREVA、PSI (スイス)、JNFL (日本)、上海大学 (中国)、China Guangdong Nuclear Power Holding (中国)、GRC (アメリカ) から合計 6 件の発表があった。

AREVA からは、MOX 燃料の設計について、これまでの製造・照射実績、照射データの紹介、さらに MOX 燃料評価モデルの妥当性 (FP ガス放出、He 放出、内圧、燃料温度) について発表がなされた (T1-008)。PSI からは、MOX 燃料について、 μ -XAFS 等を用いた測定から、Pu よりもウランの方が酸化されやすい傾向が見られ、照射試料からは Pu (5、6 価) は見つからず、炉水や貯蔵水への溶解リスクは低いことが報告された (T1-009)。JNFL からは、J-MOX の製造プロセスおよびこれまでの検討状況、今後の操業開始予定について説明がなされた (T1-017)。上海大学からは、N18 合金 (Sn-Nb-Fe-Cr) をベースに添加物の量 (Sn、Cu、Cr) をパラメータとした耐食性に関する発表があり、TEM による Second Phase Particle 観察や炉外腐食試験結果を用いた考察が紹介された (T1-027)。China Guangdong Nuclear Power Holding からは、Zr-Nb-Sn 系のジルコニウム合金に対して温度をパラメータとした応力緩和試験から、転位の動的な歪時効効果について考察がなされた (T1-030)。GRC からは、冷却材中での BWR 被覆管、チャンネル材の腐食・水素吸収に関する研究として、腐食試験を通常炉水条件および水素注入条件 (150ppb) の 2 つの条件で実施して、不純物 (Na、Li、EHC) の影響を確認した結果が紹介された。なお、被覆管については表面処理の影響も報告された (T1-013)。

パラレルセッション (9/14)

Shanghai Nuclear Engineering Research and Design Institute (中国)、フロリダ大学 (アメリカ)、KEPCO (韓国)、China Nuclear Power Technology (中国)、CEA (フランス)、AREVA、China Guangdong Nuclear Power Group (中国) から合計 7 件の発表があった。

Shanghai Nuclear Engineering Research and Design Institute からは、ここ数十年における FA300-1 から FA300-4 までの燃料集合体の改良点などについて説明がなされ、40,000 MWD/MTU までの燃焼度の増加、またその PIE 結果などが報告された (T1-010)。フロリダ大学からは、燃料および被覆管について進められている様々な取り組みが報告された。ギャッ

プに液体金属を加えることによる LOCA 時の燃料温度の低下、SiC ファイバーを燃料に加えることによる熱伝導率向上、リム対策としての劣化ウランコーティング、被覆管への DLC コーティング、SiC 被覆管など先駆的な取り組みが紹介された(T1-019)。KEPCO からは、燃料集合体のつかみ部分 (Hold-on Spring) の改良についての取り組みが紹介され、ON-OFF Hold-down Spring という新たなデザインについての FEM 解析結果と披露試験結果が報告された。これにより照射成長などによる応力負荷を低減できるとのことである(T1-014)。China Nuclear Power Technology からは、ガイドシンプルなどの設計についての安全解析結果と二酸化ウランの低温焼結法について報告された。低温焼結については 1400℃での焼結体についてクリープ試験結果が報告され、粒径や酸素欠陥量との関連について説明された(T1-020、032)。CEA からは被覆管切れ目に円錐形のマンドレルを挿入し、そこから破壊靱性値等を評価する実験について報告された。FEM での動的解析結果とよく一致し、ここから求められた換算破壊靱性値は $75.6 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ とのことであった(T1-022)。AREVA からは、AFA の第 1 世代から第 3 世代までの変遷について説明され、特に第 3 世代における改良点の報告がなされた。ガイド部分を単一の鋳物とすることで変形の抑制を図ったほか、グリッドデザインや被覆管の変更について述べられた(T1-045)。China Guandong Nuclear Power Group からは、燃料の調達計画について報告された。他国の動向を考慮し、安定な燃料供給を行うためのいくつかの戦略が紹介された(T1-018)。

Track-2 : Fuel Performance and Operational Experience (緒方、北芝、小野)

Track 2 として 27 件の口頭発表が行われた (プレナリーセッション 4 件、パラレルセッション 23 件)。

プレナリーセッション

EPRI(アメリカ)、Westinghouse(アメリカ)、JNES(日本)、CEA(フランス)から合計 4 件の発表があった。

EPRI からは、米国における燃料破損状況が紹介された。”Zero by 2010” 計画下での燃料破損要因毎のガイドライン策定等により燃料信頼性が 2006 年以來着実に向上し、当初 70 ~80%台であった破損燃料無しの炉の比率が 2010 年末までに 94%に増加したことが紹介された。今後は”Driving to Zero” として更なる改善を目指している(T2-041)。Westinghouse からは、高燃焼度における被覆管リフトオフ(ペレット-被覆管ギャップ拡大)へのマージン増加の観点から、改良被覆管材 Optimized ZIRLO 及び AXIOM 合金の照射成長及び照射クリープと水素吸収量の関係を検討し、AXIOM 合金の製造プロセス改良による効果が紹介された(T2-024)。JNES からは、Zry-2 被覆管の外表面割れに関して水素熱拡散試験による半径方向水素化物が析出する時間と線出力の関係、外表面割れ模擬試験による破損時間と線出力の関係及び初期き裂発生応力などが報告された(T2-037)。CEA からは、PWR 燃料挙動予測システム PLEIADES における 3 次元ペレット局所変形と PCMI 解析コード ALCYONE について、OSIRIS 炉で実施した出力過渡試験の炉内外径プロファイル測定結果を用いた検証結果が報告された。ペレット端部及び腹部のリッジ変形と応力の詳細予測が可能であることを示したが、

会場からペレットクリープモデルに改良の余地がある旨のコメントが出された(T2-003)。

パラレルセッション(9/12)

KAERI(韓国)、Westinghouse(スウェーデン)、KKL(スイス)から合計3件の発表があった。

KAERIからは、改良合金に関して組成の異なる4種類のHANA合金を用いた燃料棒をハルデン炉で67GWd/tUまで照射したが、このうち燃焼度34GWd/tU時点で取り出した燃料被覆管の照射後試験結果が報告された。被覆管の金相観察、水素分析、リング引張試験及びTEM観察結果を実施し、Zry-4と比較して良好な結果が得られたが、今後予定の高燃焼度試料の照射後試験結果を含めて評価する方針である(T2-021)。Westinghouseからは、ZIRLO及びOptimized ZIRLOについて、Vogtle 2号機での照射クリープ試験、照射材の応力緩和試験、照射材の長期間熱クリープ試験などの結果を用いて燃料挙動解析コードSTAV7のクリープモデルを検証し、広い応力範囲の試験データをモデルが良く表現する結果が報告された(T2-038)。KKLとWestinghouse(スウェーデン)からは、制御棒ブレードのIASCCクラック発生に関する研究として、KKLで使用した制御棒の¹⁰B燃焼計算とブレード寸法測定からB₄Cスェリングによるブレード変形を評価した結果が報告された(T2-042)。

パラレルセッション(9/13)

AREVA(アメリカ)、China Nuclear Power Technology Research Institute(中国)、CEA(デンマーク)(2件)、SCK・CEN(ベルギー)、China Institute of Atomic Energy(中国)、KAERI(韓国)、OECD Halden(ノルウェー)、MNF(日本)、Westinghouse(米国)から合計10件の発表があった。

AREVAからは、米国製MOX燃料の先行照射体の照射後試験の結果が報告された。γスキヤニング等の非破壊検査、被覆管やペレットの金相観察などの破壊検査の結果から、米国製MOX燃料の性能は、既存のヨーロッパ製MOX燃料での知見から予測される優れた性能であることが確認された(T2-020)。China Nuclear Power Technology Research Instituteからは、燃料棒の熱解析及び機械的な健全性を確認するための計算コード(コード自体は独自で開発中)の解析アルゴリズムについて説明がなされた(T2-027)。CEAからは、ALCYONEコードについて説明がなされた。ALCYONEコードは、PWR向け通常運転及び過渡状況の評価するための多次元燃料のコードでCEA、EDFとAREVAにより共同開発されたコードである。発表ではALCYONEコード3Dモデルでの評価結果が示され、被覆管のオーバル変形等の非対称な変形挙動を考慮出来るようになったことが紹介された(T2-028)。また、APOLLO2コード、PRODHHELコードを用いた中性子スペクトルの定量的評価結果も報告された。実験データと計算された核分裂生成物等の局所濃度の比較から、実験の傾向がよく再現されていることが説明された。(T2-031)。SCK・CENからは、核分裂ガスの挙動について過去10年間の研究成果や最新の取り組みについて報告がなされた。従来の実験や理論的研究に加え、経験的原子間ポテンシャルに基づく最新の原子スケール計算結果などが示された(T2-043)。China Institute of Atomic Energyからは、LWR-MOX燃料のフィッションガス放出挙動に関して、CEAが開発したMETEORコードを用いた評価と、ハルデン炉での照射結果との報告がなされた。その結果、高Pu凝集物の粒径がフィッションガス放出に大きな影響を持って

いることが確認された(T2-025)。KAERI からは、燃料棒内のフィッションガスの組成を定量的に測定した実験結果と、組成計算コードの比較結果が説明された。測定結果は、計算コードより7%程度高い結果となったが、この差分はデータ点数が少ないためと考えており、将来的にデータの蓄積を図るとの説明であった(T2-035)。OECD Halden からは、照射済燃料のプールサイドでの核分裂生成ガス放出の測定方法が報告された。これまでの⁸⁵Krより放射されるγ線分光法では、少なくとも6ヶ月間冷却が必要であったが、代わりに¹³³Xeを測定することで、30日以内での冷却期間で測定を可能とする方法が紹介された(T2-009)。MNF からは、近年の日本の17×17 55GWd/t燃料を装荷したPWRプラントで生じた燃料リーク事象について、その原因究明(最下部グリッドでのフレット磨耗)について報告があった。また、流動解析や燃料棒の振動解析、流水試験をもとに、フレット磨耗を評価する手法を開発し、実機でのリーク事象と傾向が一致することが示された。なお、フレット磨耗対策を施した17×17 55GWd/t燃料は既に開発済みであるとのこと(T2-039)。Westinghouse からは、AP1000に供するメカニカルシム(MSHIM)を用いた運転の優位性について報告がなされた。既存のPWRプラントでは、微小な反応度の制御にケミカルシムとしてホウ素が用いられているが、代わりに低価値の制御棒(グレイRCC)を用いることで炉心反応度及び軸方向出力分布の両方を細かく制御することが可能であることが示された(T2-006)。

パラレルセッション(9/14)

ENUSA(スペイン)(2件)、EPRI(アメリカ)、CNPE(中国)、AREVA(アメリカ、ドイツ)、Vattenfall(スウェーデン)、PSI(スイス)、CNNC(中国)、NPIC(中国)、KKL(スイス)から合計10件の報告があった。

ENUSA からは、燃料集合体の変形に関してPWR燃料の伸びや変形に関する検討事項及び解析コードGROWBOW(Westinghouse)、SAVAN(ENUSA)の紹介がなされ、照射17X17燃料集合体の伸び、曲がり、グリッド成長の測定結果から最新燃料集合体RFA(Robust Fuel Assembly)の改良効果を示された(T2-004)。EPRI からは、過去10年間に米国のBWR35機中半数以上がチャンネル変形による制御棒ブレードとの干渉を報告していることから、2010年から5年計画で開始したBWRチャンネル変形プログラムによる取り組みが開始されたことが報告された(T2-001)。CNPE(China Nuclear Power Engineering Co.)からは、燃料集合体湾曲の観点からWWER-1000燃料の構造がPWR燃料と比べて有利であり、TIANWAN炉(WWER-1000)の湾曲測定結果が最大10.3mmであったこと、START-3コードによる燃料挙動解析の結果湾曲による燃料棒出力ピーキング増の影響は非常に小さいことが報告された(T2-019)。AREVA からは、チャンネル曲がりについて2001年にBlade挿入不良が発生、その後2007年に事象発生がピークになったが、チャンネルの材質をZry-2からZry-4へと変更することで解決されたことが報告された。将来的な解決策として、Zry-BWR合金の開発とベータクエンチ処理による改良が挙げられた(T2-023)。Vattenfall からは、BWRのスペーサの腐食に関する報告がなされた。Oskarshamn 3、Forsmark 1、Krummelで使用された燃料を用いた試験の結果、スペーサ材のFe濃度および製造工程が重要であり、Fe濃度が低いほど腐食が大きくなる相関が報告された(T2-017)。PSI からは、FALCONコードによるMPS(Missing Pellet

Surface; ペレット表面欠け)破損の解析についての報告がなされた。Super Ramp、特に PK シリーズについて解析結果について報告された(T2-030)。ENUSA からは、Vandellous 及び ASCO 炉における垂鉛注入についての報告もなされた。Vandellous 炉では、~15ppb、ASCO 炉では~20ppb の垂鉛注入を実施し、垂鉛注入 1~2 サイクル経験後の酸化膜厚さ測定では垂鉛注入による影響は見られないこと(被覆管は ZIRLO)、EPRI と共同で実施した CRUD 分析でも予想通りの結果であったことが報告された。Vandellous 炉では放射線量の低下がみられたが、ASCO 炉ではあまり低下していない結果も紹介された(T2-033)。CNNC (China National Nuclear Corporation)からは、CANDU 炉燃料の国産化に関する報告がなされた。当初はカナダ製燃料 100%であったが、徐々に国産燃料へ移行しており、2005 年にリークした国産燃料のオンサイト PIE から破損原因の多くは溶接不良(コンタミ)によるものであり、対策を講じることにより 2006 年以降はリークが激減して 1, 2 号機合わせて、0.5 回/年の破損率となったことが報告された(T2-002)。NPIC (Nuclear Power Institute of China)からは、分子動力学法(MD)による HBS(高燃焼度組織)からの FP ガス放出に関する研究の報告がなされた。MD 解析から、高燃焼度、低温領域では UFO のような形状をした構造をとることが示された(T2-026)。KKL からは、冷却材へのプラチナ注入に関する報告がなされた。プラチナ注入(OLNC:On-Line NobleChem™)を開始したが、期待に反して放射線量が急昇したことが報告された。ただし、外観観察、CRUD 厚さ、CRUD 分析、燃料棒伸び、酸化膜厚さについては OLNC 開始以前と変わらず、燃料挙動への影響はないことが確認された(T2-010)。

Track-3 : Transient Fuel Behavior and Safety Related Issues (杉山)

Track 3 として 19 件の口頭発表が行われた(プレナリーセッション 3 件、パラレルセッション 16 件)。

プレナリーセッション

NPIC (中国)、NRC (アメリカ)、Studsvik (スウェーデン) から合計 3 件の発表があった。

NPIC からは、新たに開発した LOCA 時被覆管酸化モデルによる酸素濃度分布評価方法が紹介された(T3-009)。NRC からは、被覆管水素吸収量及び酸化膜厚さの評価式と、被覆管の状態を考慮したアメリカの新 LOCA 基準及び暫定 RIA 基準を組み合わせ、それぞれ、酸化量(ECR)及び燃料エンタルピー増分の許容限界を燃焼度や高さの関数として評価する方法論が示された(T3-031)。Studsvik からは、NRC の委託で実施した高燃焼度 ZIRLO 被覆燃料の LOCA 模擬試験の報告から、17%ECR でもクエンチ後の被覆管が延性と強度を維持することが報告された(T3-039)。

パラレルセッション(9/12)

Iberdrola (スペイン)、Anatech (アメリカ)、慶熙大学(韓国)、CEA (フランス) から合計 4 件の発表があった。

Iberdrola からは、事故発生前の被覆管腐食状態を考慮したアメリカの新 LOCA 基準に適

合した安全解析をスペイン Cofrentes 炉 (BWR) に対して行い、十分な安全余裕があることが示された (T3-002)。Anatech からは、LOCA 時の被覆管高温酸化を評価する新コードを用いた解析解との比較や、Halden IFA-650 実験データによる検証解析結果が報告された (T3-023)。慶熙大学からは、被覆管高温酸化に対する水蒸気圧力の影響を調べ、Zry-4 では高圧下で酸化速度が上昇するが、Zr-Nb 合金では影響が見られないことが示された (T3-029)。CEA からは、初期酸化膜を形成された Zry-4 と M5 被覆管の高温酸化速度を 1000°C 及び 1200°C で測定し、急冷後の機械的性質及びその影響因子に関する評価が紹介された (T3-040)。

パラレルセッション (9/13)

CIEMAT (スペイン)、JAEA (日本)、IRSN (フランス)、NRIR (チェコ)、NPIC (中国)、Studsvik (スウェーデン) から合計 6 件の発表があった。

CIEMAT からは、フランス CABRI 炉で計画されている CIP3-1 実験の予測解析を FRAPCON-3/FRAPTRAN コードにより行い、同実験で燃料破損の可能性が高いことが示された (T3-006)。JAEA からは、PWR-MOX 燃料の追加照射 (Halden IFA-629.1) 時挙動を FEMAXI-7 コードで解析し、特に被覆管伸びと FP ガス放出の評価において重要なポイントが示された (T3-014)。IRSN からは、CABRI、NSRR 等で行われた 120 件以上の RIA 試験の解析を SCANAIR コードにより行い、実測値と比較検討した結果が紹介された (T3-026)。NRIR からは、FEM コード COSMOSM により EDC 試験 (被覆管拡管試験) の解析を行い、Zry-4 と Zr-1Nb 合金について、温度、機械的性質、ペレット形状等をパラメータとして系統的な感度解析を行った結果が紹介された (T3-032)。NPIC からは、結晶粒界ガス放出プロセスに粒内微小バブル形成のモデルを組み合わせた新しい FGR モデルを取り入れた COPERNIC コードの検証解析が発表された (T3-013)。Studsvik からは、通常時及び異常過渡時の被覆管健全性試験を行った SCIP プログラムの成果が発表された (T3-016)。

パラレルセッション (9/14)

EPRI (アメリカ)、JAEA (日本) (2 件)、Westinghouse (アメリカ) (2 件)、NPIC (中国) の合計 6 件の発表があった。

EPRI からは、実機で想定される RIA では被覆管温度上昇による延性回復が期待でき、幅の狭い出力パルスで行われた NSRR 実験よりも被覆管が破損しにくいことを示す BWR 被覆管の機械特性試験結果が示された (T3-033)。JAEA からは、照射済 PWR 燃料を JMTR にて負荷追従運転を模擬した追加照射に供し、その後 NSRR でパルス照射したところ被覆管に縦割れ破損が生じたとの実験結果の報告 (T3-004)、及び、NSRR 実験における初期温度及び出力パルス幅の条件が PCMI 破損限界に及ぼす影響を高温実験並びに RANNS 及び汎用 FEM コードによる解析を組み合わせた定量的な評価結果が紹介された (T3-022)。Westinghouse からは、AP1000 型炉について、被覆管腐食量の関数としてエンタルピー増分の許容限界を定めた米国の暫定 RIA 基準に適合した安全解析手法及び結果の概要が示された (T3-015)。また、PWR 燃料集合体の冷却水入口付近の燃料棒に作用する励振力を CFD 解析により評価し、グリッドフレットに起因する燃料リークの防止に保護格子 (P-Grid) が有効であることが示された (T3-041)。NPIC からは、限界熱流束の向上及び集合体圧力損失の低減を目指した混

合翼の最適設計及びその試作支持格子のフロンを用いた熱流動試験結果が紹介された (T3-012)。

Track-4 : Fuel Cycle, Spent Fuel Storage and Transportation (白井)

Track 4 として 8 件の口頭発表が行われた (パラレルセッション 8 件)。

本セッションでは、乾式貯蔵中のクリープ評価モデル (2 件) や使用済燃料の中間貯蔵の運転経験や経年変化 (2 件)、放射性廃棄物の安全評価試験 (1 件)、トリウム増殖サイクルにおける使用済燃料特性評価 (1 件) 等、多岐にわたる分野の発表が行われた。

乾式貯蔵中のクリープモデル評価については、米国グループ (EPRI, EDF, ウェスティングハウス) から ZIRLO の照射材を用いたクリープ試験による簡易クリープモデルの提案が (T4-021)、フランスグループ (AREVA, CEA, EDF) から CWSR Zry-4 の照射材を用いた詳細なクリープモデル (ひずみ/照射硬化やそれらの回復現象の影響の考慮等) が提案された (T4-005)。いずれも米国の燃料基準 400℃ を超える温度帯域での加速試験の結果である。会場からは、クリープ構成則の長期的な貯蔵への外挿性、水素吸収量が構成則に及ぼす影響に関する討議が行われた。

使用済燃料の中間貯蔵については、中国原子力研究所から金山発電所における CANDU 炉の中間貯蔵施設 (MACSTOR-400) の概要や貯蔵実績、設計の妥当性に関する報告が行われた (T4-004)。また、CRIEPI (日本) から、中間貯蔵で使用されるステンレス製キャニスタの寿命に及ぼす環境条件の同定結果が報告された (T4-012)。会場からは、中国で海岸立地されるキャニスタシステムの腐食への考慮に関して討議が行われた。また、中国核防護研究所より、放射性輸送容器の IAEA 輸送規則適合試験や解析評価結果が報告された (T4-020)。上海原子力技術研究所からは、GEN-IV を目指した PWR での Th-U 燃料サイクルにおける ORIGEN-S コードによる使用済燃料燃焼特性評価結果 (崩壊熱や線源強度、同位体組成、放射線学的毒性等) の報告が行われた (T4-003)。

Track-5 : Advances and Innovation in Nuclear Fuel Technology (篠原、佐藤)

Track 5 として 16 件の口頭発表が行われた (プレナリーセッション 5 件、パラレルセッション 11 件)。

プレナリーセッション

CNPRI (中国)、AREVA (フランス)、LAVM (アメリカ)、Westinghouse (アメリカ)、MepHI (ロシア) から合計 5 件の発表があった。

CNPRI からは、中国における PWR 技術の開発状況 (CPR1000 型炉、a11 M5 集合体適用等) について概要紹介がなされた (T5-002)。AREVA からは、近年開発を進めている ARCADIA (中性子挙動/熱水力/熱応力の統合評価システム) 等の計算コードの開発状況が説明された (T5-006)。LAVM からは、新しい燃料形態として、液体金属を被覆材とする "cer-liq" 燃料と呼ばれる燃料の挙動に関する机上検討の結果が紹介された (T5-016)。Westinghouse からは、AP1000 に適用されるタングステン制御材を用いた GRCA (Gray Rod Cluster

Assembly) の設計概要が紹介された(T5-012)。MephI からは、次世代軽水炉の炉心材料として、ジルコニウム系複合材料が提案され、その機械特性の調査結果等が報告された(T5-020)。

パラレルセッション

CNPRI(中国)、CIAE(中国)、KAERI(韓国)、MNF(日本)、CRIEPI(日本)、NDC(日本)、ENUSA(スペイン)、Westinghouse(アメリカ)、フロリダ大(アメリカ)、HRP(ノルウェー)、State Nuclear Baotai Zr Industry Company(中国)から、合計11件の発表があった。

CNPRI からは、Gen-IVの超臨界炉において、中空燃料を想定した場合の流体解析を行い、冷却水および被覆管の温度分布評価を行った結果が報告され、中空燃料の熱伝達特性上の有効性が示された(T5-019)。KAERI からは、改良被覆管材 HANA 合金の炉内外の腐食挙動等が示され、ジルカロイの腐食挙動に対して約 30~50%の腐食抑制傾向が示された。HANA 合金は、グリッド材等の構造材への適用も検討されており、また、中空燃料被覆管材としても検討されている(T5-009)。MNF からは、改良被覆管材 M-MDA の 73GWd/t 燃焼後の PIE 結果が示され、ベースとなる MDA に比べて耐食性が向上される一方で、機械特性は MDA と同程度なる傾向が報告された(T5-021)。CRIEPI からは、ジルコニウム合金の腐食および水素吸収の低減を目的とした表面改質技術(フレッシュグリーン法)の紹介がなされた。Zry-2 に適用した場合、炉外腐食試験から 500℃あるいは 580℃で 1h の処理で形成させた表面膜(炭素添加ジルコニア層)では、未処理材の腐食速度および水素吸収率に比べて約 50%低減することが確認された(T5-026)。NDC からは、水素イオン照射下における水素化物成長挙動の TEM 内その場観察結果が紹介され、水素化物成長と転位構造の関係、照射欠陥における水素化物の形成が示唆される観察結果が示された(T5-014)。ENUSA からは、一般的な CFD 解析における、連続性、対象性、均一性、非圧縮性についての妥当性検証の結果が報告され、典型的な PWR 条件においては本質的な問題は無いが、乱流現象については、別途の近似モデル(著者提案の $k-\epsilon$ RANS モデル等)が必要との検討結果が示された(T5-024)。KAERI からは、中空燃料棒およびグリッドの設計について発表があり、既存の 16×16 型燃料に代わって中空燃料集合体を装荷することを想定した場合の燃料棒寸法およびグリッド構造が示された。中空被覆管の内側と外側の伸び差に起因した燃料棒端栓溶接部の応力増加への対策、および燃料棒間隔が狭くなることに対応するためのグリッド設計が示された(T5-017)。Westinghouse からは、SiC 複合材料による被覆管開発状況について報告され、被覆管材料変更の利点と実用化までの課題が整理された(T5-010)。フロリダ大からは、Inert Matrix Fuel (IMF) の利点について発表があった。IMF 燃料の再処理手法開発は現在も DoE 予算にて進められている(T5-003)。State Nuclear Baotai Zr Industry Company からは、世界的な燃料被覆管の開発変遷を踏まえ、中国の自国による燃料被覆管開発の方針について提言があった(T5-027)。

3. 全体まとめ（坂本）

今回の学会（WRFPM2011）は、従来ほとんど参加がなかった中国からの参加が劇的に増加したことが大きな特徴であった。中国側の参加者は若手が多く、これから中国での原子力業界を支えていく研究者と、WRFPM2011のような国際的な場で交流を深めることができたことはうれしい限りである。

学会運営の面からは、中国が本学会を初めて主催することから、AESJ と KNS からサポートを行うというアジア地域での協力関係のもとに運営された点も特徴として挙げられる。準備開始時期が多少遅れ気味であったが、最終的には間に合わせることができ、AESJ、KNS、CNS 間の連携を強くするという点からも有意義であったに違いない。また、CNS スタッフ等との挨拶だけではない、一緒に物事をやり遂げたという繋がり、今後とも貴重なものになると期待している。



CNS スタッフらとの歓談

(左から二人目：岩田部会長、右から二人目：坂本)

次回のお知らせ

TopFuel2012： 2012年9月2日～6日、英国マンチェスター

(<http://www.euronuclear.org/events/topfuel/topfuel2012/index.htm>)

IV. 国際会議紹介

IAEA 技術ミーティング「TECHNICAL MEETING ON FUEL DESIGN AND LICENSING OF MIXED CORES FOR WATER COOLED REACTORS」について

日本原子力研究開発機構 宇田川 豊
原子燃料工業株式会社 花山 育志
三菱原子燃料株式会社 布川 公一

1. はじめに

IAEA 主催で、混在炉心に対する考え方についての情報交換のための会議が、H23 年 12 月 12～14 日に IAEA 本部 ウィーン Austria Center Vienna Hall M で開催され、16 カ国から規制当局、電力会社を中心に、研究機関、燃料ベンダーから約 40 名が出席しました。

IAEA からは、本会議の主旨として、次の説明がありました。

ほとんどの軽水炉において、性能向上燃料の導入等を目的として、異なるベンダー・異なる形状(設計)の燃料による混在炉心が経験されている。この状況を踏まえ、出席メンバーから混在炉心に関する多くの情報を集め、安全性の確保、許認可のあり方、新しい評価手法などについて議論していきたいと考えている。本会議での各メンバーの発表内容は今後の検討に使用したい。

出席メンバーからは、それぞれの混在炉心に関する説明があり、各国とも保有する原子炉、燃料の形式は異なる(PWR,BWR,VVER,CANDUなど)ものの、規制当局・電力会社の対応は、主に炉心の安全性に大きく影響しないよう規制・運用する基本姿勢で一致していました。

以下に代表的な発表に関して、概要を紹介します。

2. 会議の内容

2.1 軽水炉燃料の混在について

(1)Safety Analysis of Mixed Cores in Pressurized Water Reactors in France(フランス Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN))

異なる設計の燃料が導入された場合を混在と位置付け、設計変更が炉心内の流動に与える影響を示し、それに起因する炉心安全性能等(例えば、流れが少ない時の LOCA,DNB、クロスフローによるフレッティング)への影響を確認している。過去 3 回混在炉心に対する顧問会を行っており、安全性能等の確認を行っていることが紹介された。

(2)FA Design and Licensing Aspects of Mixed Cores in PWRs(ドイツ TÜV NORD EnSys Hannover)

異なるベンダー、異なる設計の燃料が導入された場合を混在と位置付け、燃料と燃料の共存性のほか、燃料と工具・ラック等との共存性も確認している。燃料と燃料の共存性は、炉心内の出力分布と流動に着目し、特に炉心安全性能(DNB)を確認しており、また燃料設計においてクロスフロー等に対して強い(robust)設計が必要と考えていることが紹介された。

(3)Cause Investigation of High Burn-Up Fuel Leakage, and Evaluation of Fretting Wear(日本 Mitsubishi Nuclear Fuel Co., Ltd.)

日本のPWRで経験した55GWd/t燃料のリークはフレットング事象であり、設計の異なる燃料との隣接に起因する横流れを含む炉内流動により燃料棒が振動した結果である。これは燃料隣接体系での流動解析及び流動振動の実証試験に基づき分析した結果であり、特定の燃料棒位置で発生することも究明したことが紹介された。

(4)Survey of Vattenfall's Experience with Mixed Cores in Ringhals' PWRs(スウェーデン Vattenfall Nuclear Fuel)

経済性確保・性能向上燃料の導入を目的として、燃料調達を定期的に行うため、混在炉心は数年に一度数サイクルにわたって発生する。確認は主に、燃料性能(構造的共存性)と炉心安全性能(LOCA,DNB)であり、特に安全に関して混在の影響が過大である場合には、炉心出力を下げるなどの運用または評価の見直しの対応が必要となることが紹介された。

(5)Mixed Cores in Belgium: Licensing Aspects(ベルギー BEL V)

混在炉心の共存性確認は、新型燃料の一様炉心、1/3 混在炉心、2/3 混在炉心など混在割合の異なる種々の炉心について行う。確認内容としては、炉心安全性能(LOCA,DNB)、熱水力性能(クロスフロー等)のほか、地震も対象となっていることが紹介された。

(6)Experience of Design and Licensing of Mixed Cores at Sizewell 'B'(イギリス EDF Energy)

安全性と経済性向上を目的として燃料の改良及び新規ベンダーの参入が決定され、これにもない混在炉心が形成されてきた。新設計燃料許認可では、計算コード及び手法の妥当性確認、サイトでの模擬集合体取扱い試験など新設計の実証、炉心サイクル毎の安全性解析評価の3段階のプロセスを経ていた。炉内圧力損失などについて従来燃料との共存性が確保されたことも紹介された。

(7)Safety and Licensing Aspects of Mixed Cores in Switzerland(スイス ENSI)

同一BWR炉心内における異なる設計の燃料(2燃料ベンダー)、ウラン燃料/Gd入り燃料、部分長燃料棒などの存在を混在と位置付けていた。炉内混在にあたり核的・熱水力的・構造的観点から既存燃料との共存性を確認することとしており、特に熱水力的安全評価においては圧力損失、ドライアウト相関、チャンネルボックス曲がり、炉心安定性の各項目が取り扱われることが紹介された。

2.2 その他の燃料の混在について

(1)Design and Performance of South Ukraine NPP Mixed Cores with Westinghouse Fuel(ウクライ

ナ STE “Nuclear Fuel Cycle” NSC KIPT)

VVER 燃料調達リスク低減のため、現行の調達先に加え、他社製燃料導入を検討した。炉内流量非均質化、燃料棒出力に対する新規工学的安全因子の適用、混在炉心解析経験の少なさ、既存燃料に対する新規参入ベンダー炉心設計手法認定の必要性などの問題をクリアし、先行照射燃料を用いた実炉テストを経て、現在の混在炉心が形成されたことが紹介された。

(2) Fuel Engineering Considerations for Mixed Cores Experience at the Argentine Atucha-1 PHWR (アルゼンチン Fuel Engineering Department, Atomic Energy National Commission)

アルゼンチンでは PHWR2 基が稼働中であり、1 基が建設中である。新規ベンダー参入、新設計採用、使用材料の変更により混在炉心が検討された。混在においては通常の技術評価に加えて先行照射による確認や段階的な混在割合増加を経験することにより、総合的な炉心／燃料特性把握に努めた。混在炉心プログラムの代表的なものとして、燃料高燃焼度化プログラムが紹介された。

(3) Operation Experience of VVER with the Core Made Up of Mixed FAs of Different Designs (ロシア JSC EDO Hidropress)

VVER 燃料の設計変更として、強度増加、熱的余裕確保を図っており、それに伴い混在炉心となっている。許認可は、安全性確保、熱流動、炉心設計、燃料機械設計を対象としている。例として、有効長の違う燃料を適用するための混在炉心の実績(移行のために 4 サイクル要)が紹介された。

(4) Canadian Approach to Licensing of Mixed Cores Fuel (カナダ Canadian Nuclear Safety Commission)

Candu 炉においては、安全性能(ドライアウトやLOCA)の余裕確保のために、集合体あたりの燃料棒数を変更しており、それに伴い混在炉心を経験している。確認事項は、混在に着目した安全性能、熱水力性能であるが、それ以外にも、製造性、炉心運転方法、人的要因も確認していることが紹介された。

(5) Indian Experience of Licensing of Mixed Cores for Water Cooled Reactors (インド Atomic Energy Regulatory Board)

インドの 220MWe 級 PHWR においては、炉内中性子束平坦化を目的として、既存の天然ウラン燃料に加えて濃縮ウラン燃料、ウランの劣化度の異なる複数種類の劣化ウラン燃料やトリウム燃料を炉内に配置することで混在炉心を形成していた。典型的な混在炉心では、各種反応度価値、反応度係数、炉心動特性パラメータ、中性子束プロファイルがレビューされることが紹介された。

2.3 燃料関連研究

(1) Sampling Based Nuclear Data Uncertainty Analysis in Mixed LWR Calculations (ドイツ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit)

GRSでは、中性子輸送計算の核データ誤差に対する感度解析コードXSUSAを開発している。VVER-1000炉のUO₂/MOX混在炉心を対象とした統計解析を行った所、中性子増倍係数のばらつきについては軽水炉混在炉心で通常想定される誤差範囲内であった一方、炉心径方向核分裂率分布は主として混在の効果により有意なばらつきが生じたことが紹介された。

(2) A Study of the MOX Power Peak Anomaly by Monte Carlo Method and its Comparison with the Results of SUPERB-TRITAPS Code System for TAPS BWR (インド Bhabha Atomic Research Centre)

タラプル発電所では炉内移動型プローブの計測データに制御棒、ボイド率、燃焼度を考慮した補正を行うことで炉内出力分布の情報を得ている。MOX燃料集合体を導入した炉心においてコードの予測を大幅に上回る出力計測値が観測され、調査の結果MOX燃料集合体表面付近の熱中性子束ピークが原因であったこと、これを考慮するための新たな補正係数を導入した事例が紹介された。

(3) Experimental and Analytical Study on MOX Fuel Behavior under RIA-Simulating Conditions in the NSRR (日本 Japan Atomic Energy Agency)

軽水炉への部分的MOX燃料装荷については基本的にUO₂燃料と同様の枠組みでの安全評価となっており、知見の少ない高燃焼度MOX燃料の事故時挙動についてはデータ取得が続けられている。高燃焼度MOX燃料のRIA模擬実験結果について、ペレット被覆管機械的相互作用による破損挙動については、UO₂燃料との間に有意な違いは見られないこと、被覆管変形挙動はUO₂燃料と同様PCMIとガス圧による高温クリープにより説明できること等が紹介された。

3. 会議全体印象など

本技術ミーティングに参加して各国からの発表を伺い、混在炉心が広く経験されていること、またそれは、性能向上燃料の導入以外にも、燃料の安定供給確保、経済性確保を目的としていることを認識しました。

また各国の規制当局・電力会社とも、混在炉心の影響として、主に安全性能(DNB,LOCA)への影響が少ないことなどを求めるところは一致しており、原子力にはより高い安全性が必要とされていることを再認識しました。

新規に原子力発電を採用する諸国においても将来的に混在炉心が採用される可能性もあることから、混在炉心の適切な運用に資するため、今回のような情報交換は今後も規制当局、電力会社、研究機関、燃料ベンダー間で継続されるべきであると考えます。

V. 核燃料関係国際会議予定一覧

(March, 2012 – February, 2013)

No.	期 間	会 議 名、 開 催 場 所、 内 容 等	問 合 せ 先
1	13 - 15 March, 2012	Regulatory Information Conference (RIC) 2012 米国、North Bethesda, Maryland NRC	http://www.nrc.gov/public-involve/conference-symposia/ric/
2	18 - 23 March, 2012	18th Pacific Basin Nuclear Conference (18th PBNC) 韓国、釜山 PNC	http://www.pbnc2012.org/sub/welcome.html
3	20 - 22 March, 2012	International Conference on Progress in Nuclear Energy and Education 英国、ロンドン Lancaster University UK	http://www.progressnuclearenergy.com/
4	22 - 23 March, 2012	Putting Severe Accidents Into Perspective. Learning From The Past, Preparing For The Future Of Nuclear Energy' ドイツ、ミュンヘン ECC	http://www.enela.eu/index.php/component/content/article/55
5	3 - 6 April, 2012	Nuclear Industry China 2012 (NIC '12) 中国、北京 CNS	http://www.nic-expo.net/
6	15 - 20 April, 2012	International Topical Meeting on Advances in Reactor Physics (PHYSOR 2012) 米国、Knoxville, TN ANS	http://physor2012.org/
7	17 - 19 April 2012	World Nuclear Fuel Cycle 2012 フィンランド、Helsinki WNA/NEI	http://www.wnfc.info/
8	18 - 19 April 2012	第 45 回原産年次大会 日本、東京 JAIF	http://www.jaif.or.jp/ja/annual/45th/45th-annual_top.html

9	22 - 26 April, 2012	Top Safe 2012 フィンランド、Helsinki ENS	http://www.euronuclear.org/events/topsafe/topsafe2012/index.htm
10	26 - 27 April 2012	Putting Severe Accidents Into Perspective. Learning From The Past, Preparing For The Future Of Nuclear Energy' ドイツ、ミュンヘン ECC	http://www.enela.eu/index.php/component/content/article/55
11	17 - 18 May, 2012	8th China Nuclear Energy Congress 2012 中国、北京 China Nuclear Energy Congress	http://www.cdmc.org.cn/cnec2012/
12	20 - 26 May, 2012	中国新型炉調査・交流団 中国、上海他 一般社団法人日本技術者連盟	http://www.jef-site.or.jp/image/China_advanced_reactor20120520-0526.pdf
13	21 - 23 May, 2012	2012 Nuclear Energy Assembly 米国、Charlotte NEI	http://www.nei.org/newsandevents/conferencesandmeetings/nea
14	3 - 5 June, 2012	WNFM Annual Meeting カナダ、Banff WNFM	http://wnfm.com/annualmeeting/Meeting.aspx?id=39
15	3 - 8 June, 2012	2012 NEI Emergency Preparedness Forum and Training Course 米国、Seattle NEI	http://www.nei.org/newsandevents/conferencesandmeetings/
16	11 - 14 June, 2012	The National Nuclear Security Conference 米国、Peabody NEI	http://www.nei.org/newsandevents/conferencesandmeetings/nnsc
17	24 - 28 June, 2012	2012 ANS Annual Meeting 米国、Chicago ANS	http://www.new.ans.org/meetings/m_78
18	24 - 28 June, 2012	ICAPP 2012 米国、Chicago ANS	http://icapp.ans.org/icapp12/

19	22 - 26 July, 2012	8th International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human Machine Interface Technologies (NPIC&HMIT 2012) 米国、San Diego, CA ANS	http://www.nei.org/newsandevents/conferencesandmeetings/
20	30 July -3 August, 2012	ICONE 20 / ASME 2012 Power Conference 米国、Anaheim ASME	http://www.nei.org/newsandevents/conferencesandmeetings/
21	2 - 6 Sept., 2012	Top Fuel 2012 英国、Manchester ENS	http://www.euronuclear.org/events/topfuel/topfuel2012/index.htm
22	2 - 7 Sept., 2012	ATALANTE 12 フランス、Montpellier CEA	http://www.atalante2012.org/
23	2 - 7 Sept., 2012	第12回放射線遮蔽国際会議(ICRS-12&RPSD-2012) 日本、奈良県新公会堂 日本原子力学会	http://www.icrs12.org/
24	9 - 13 Sept., 2012	NUTHOS-9 台湾、Kaohsiung NUTOS	http://nuthos-9.org/
25	23 - 28 Sept., 2012	The 9th International Conference on Facility Operations - Safeguards Interface 米国、Savannah GA ANS	http://icfo-9.org/
26	24 - 28 Sept., 2012	NPC 2012 International Conference on Nuclear Plant Chemistry フランス、Paris SFEN	https://www.sfen.fr/NPC-2012
27	21-25 Oct. 2012	NuMat 2012 大阪、大阪国際交流センター Elsevier, Ltd.	http://www.nuclearmaterialsconference.com/index.html
28	12 - 14 Nov., 2012	第1回保全科学技術に係る国際会議 (1st International Conference on Maintenance Science and Technology) 東京、東京大学弥生講堂(東京都文京区) 日本保全学会	http://www.jsm.or.jp/jsm/icmst/ICMST2012_GeneralInformation.html

29	9 - 12 Dec., 2012	ENC 2012 英国、Manchester ENS	http://www.euronuclear.org/events/enc/enc2012/index.htm
30	3-7 Feb. 2013	17th International Symposium on Zirconium in the Nuclear Industry Taj Krishna, Hyderabad, India ASTM	http://www.astm.org

北欧ノルウェー王国での生活



皆川洋治
Department Head
Experiment Engineering Department
IFE, OECD Halden Reactor Project

私はノルウェーの首都オスロより約 120 キロ南に位置するスウェーデンとの国境の町ハルデンに住んでいる。昔ノルウェーの国境はハルデンより更に 200 km 近く南に位置するスウェーデンのヨーテボリ辺りだったが、戦争好きなスウェーデン王カール 12 世にハルデンまで攻められてしまった。しかし、ハルデンの要塞の守りは固く落とせず、反対に王はここで射殺されてしまい戦争が終結した。そのためここが国境の町となったわけである。平和な今では、要塞はミュージアムとなっており、色々な催し物が行われたり、その一角はゴルフ場やキャンプ場としても活用されている。また、ノルウェー人にとってはとても誇高い要塞で、ヨーロッパの国々からも沢山の観光客が訪れる観光スポットとなっており、高台からはフィヨルドやノルウェーとスウェーデンの両国が見渡せる景観地でもある。

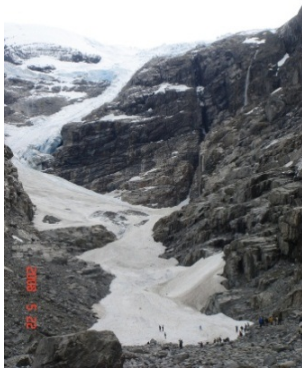


ハルデンの要塞

小生は 1976 年の 6 月にハルデンに引っ越してきたが、その当時と比較すると大変な変化があった。当時のノルウェーのテレビは 1 チャンネルで放送時間は 18 時から 23 時までであったが、今はノルウェーだけで数十チャンネル、それにスウェーデン、デンマーク、ヨーロッパの国々、日本の JSTV も観られるようになった。日本との電話料金も、1 時間当たり月収の半分位もしたのが今では千円以下（スカイプを使えば無料）。ハルデンの人口も約 2 万 5 千人だったものが今では約 3 万人に増加。ノルウェーの人口は一般的に増加しているが、これはひとえにノルウェーの妊婦や子供に対する手厚い国の政策の結果だと思う。高福祉/高負担の社会なので、税金として持って行かれる時は「何でこんなに取られるのだ！（収入の 40% 以上、消費税は食料品は低く抑えてあるがその他は 25%、自動車に関しては車種によっては 100% 以上）」と思うが、反面、子供の教育は大学まで無料（生活費は国からの奨学金及び子供たちが全員無利子で国から借りられるお金で賄う）、病気になれば年間約 3 万円までは自己負担であるが、それを越した場合は無料。もし病院に入院することになれば即座に無料。体を壊してもし働けなくなってしまった場合は障害者年金が出る。また、出産すると母親は勿論 1 年間有給で産児休暇を取れるが、父親も数カ月産児休暇を取れるようである。また、必要に応じては父親が母親の代わりに産児休暇を取ることもできるようである。出産は無料で、出産手当として約 50 万円の一時金がでるようである。また、3 歳以下の子供が家にいる場合は、子供一人当たり毎月 4 万円以上の手当が支給されるようである。このような国の政策が少子化にならない状態を作り出しているのだと思う。ノルウェー全体の人口も 400 万強から約 500 万に増加している。

ノルウェー人は殆どの人が別荘と船、またはどちらかを持っており、とても家族生活を大切にしている民族のようである。勤務体制も、国の方針で極力残業をさせないということになって

いるようで、ハルデンプロジェクトの人間は非常に仕事が早く、限られた時間内で次々と効率良く仕事をこなしているようである。そして、自由時間を家族のため及び己の趣味に充てているようである。小生は全くノルウェー人のようにはなれないが、それでも古い家を購入し、柱と外壁だけ残して自力で改装したり、定期的に家のペンキを塗りかえたり、ベランダの改装/ペンキ塗り等々を行っている。前述したように、ノルウェーに引っ越してきたのはノルウェーが一番日の長い夏至の時だったので、まるで夢の世界にでも住んでいるような気分であった。白樺や芝生の緑の中の澄み切った青い空。ノルウェー北部では白夜がみられるが、ほぼ最南端のハルデンでも日没は23時頃で3時頃にはまた太陽が昇ってくる。23時から3時の間も屋外で新聞を読めるくらいの暗さにし



氷河



フィヨルド

かならない。そういう訳で、24時頃まで外で遊んでいることが多くまるで一日が2日あるような気分である。小生も、ほぼ毎夏ノルウェー旅行を行ったが、雄大な大自然と美しさには目を見張るものがあり、何度行っても飽きない感動の世界である。国土面積は日本とあまり変わらないが人口が少ない(約500万人)ため、日本で言ったら国立公園のようなところにも誰もいないということがしばしばである。ハルデンは森と湖と海に囲まれたとても自然豊かなオリエンテーリングの盛んな町である。ハルデンで楽しめる一年間の生活としては次のようなものがあげられる。冬には、ナイター設備のあるクロスカントリーのスキートラックがいくつかあるので、雪が積もればいつでもスキーに行ける。寒くなって湖(や海)が凍れば、大自然のスケートリンクができたり、ドリルで氷に穴を開け氷上釣りができる。春には、蕨やゼンマイがいたるところに発生するが、ノルウェー人は誰も食べないので全て我々日本人

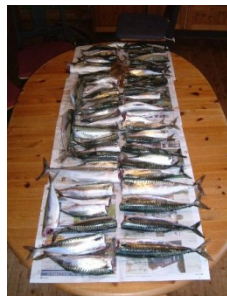
の物で、好きな時に好きなように食べられる。この頃になるとモーターボートの準備を開始し釣りのシーズンに備える。ハルデンでは、鱈、カレイ、カサゴ、ホウボウ、鰻、ダツ、鯖、鯰、海マス等々の魚がかかるが、小生は今鯖釣りにはまっている。鯖の強力な引きと脂がたっぷりのった釣りたての新鮮な鯖でつくるシメ鯖はまるでマグロのトロのような絶品である。



氷上釣り



サバ釣り



ムール貝

今までの記録は、一回の釣りで200匹、ひと夏で1200匹である。また、海にはムール貝、アサリ、

ミル貝等があり、特にムール貝は足の踏み場もないほどいたるところにあるが、ノルウェー人はこれも取らないので、自然の冷蔵庫に小生専用のムール貝を保存しているように何時で



茸（アンズ茸とその仲間）

も調達できる。ベランダでムール貝を焼き、白ワインを飲みながらレモン醤油やニンニク醤油で食べるのは至福な一時である。夏が短いので、野菜の栽培には苦勞をするが、日本で種を購入し、何とか日本にしかない物の栽培に挑戦している。夏から秋には、色々な果物（サクランボ、リンゴ、洋ナシ、プラム等々）、色々な木イチゴ（ラズベリー、赤スグリ、黒スグリ等々）、ブルーベリー、コケモモ等が庭や林で沢山取れる。また、茸もノルウェー人はアンズ茸しか知らない人が多いようであるが、沢山の種類（ハツタケ、アマタケ、ヌメリイグチ、マツタケ等々）があり、小生は 20 種類くらいのキノコをエンジョイしている。年の暮れ近くになると、クリスマスパーティーがいたるところで開催され一年が終わる。さて、ノルウェーでは仕事をしないで毎日遊んでばかりいるのかという誤解を与えるといけないので、少しは仕事の話もし



琴とクラリネットでの春の海演奏

よう。小生が勤務しているハルデンプロジェクトは約 18 ケ国が加盟している国際研



ハルデン炉のある建屋



岩山の中にあるハルデン炉

究所であり、ここには 20 MW の研究用の原子炉がある。ハルデンには大きな製紙工場があり、その隣の岩山の中に原子炉は設置されており、運転時には発生する蒸気を製紙工場に送って有効利用している。ハルデンプロジェクトは、燃料・材料の照射試験を様々な条件（PWR, BWR, CANDU 等の条件）で行える水ループを数多く有しており、変化に富んだ様々な試験を行うための試験設備と照射挙動を把握するために必要な様々な優れた計装技術を持っていることで知られている。今までに膨大な数の照射試験を行ってきたが、小生がハルデンに引っ越してきた当時はランプ試験（出力急昇試験）たけなわの時代で、アメリカ、ドイツ、スウェーデン等からの数多くの依頼でほぼ



我が家の庭でのバーベキュー

一年中ランプ試験が行われていた。ハルデンプロジェクトは 1958 年に設立され、1959 年 6 月に臨界となったが、日本は原研が日本国を代表して既に 1967 年にハルデンプロジェクトに加盟し現在に至っている。加盟に当たっては当時原研に勤務されていた三井田純一様（後に日本人で初の NEA の次長にご就任）がご活躍された。研究者がハルデンに継続して派遣されているが、トップバッターは当時原研に



ローエンでの拡大会議より

勤務されていた石塚信様（後に原研の理事にご就任）であった。その後、住友、東芝、日立、電中研、動燃、NDC, MHI, MNF 等からの派遣もあり、現在までに 75 人の研究者が派遣されてきた。ハルデンプロジェクトでは加盟機関からの加盟金で行う共通の試験研究（ジョイントプログラム）と個々の機関と個別契約にて行う試験研究とがあるが、日本との個別契約試験の数も膨大で、これらの試験関連で膨大な数の方々とお付き合いをさせていただいている。特に、三島良績先生には何度も拡大会議に出席いただき、「ハルデンプロジェクトが他者に先んじて先端技術を開発し有意義な照射試験を実施し続ける限りはサポートする」とおっしゃり、御尊命中ずっとサポートしていただいた。先生はとても多趣味で、先生とのエピソードは沢山あるが、その一つは、調査団としてイタリアの



三島先生ご一行によるノルウェー訪問

研究機関訪問後、ノルウェーのボルケショーという湖と山に囲まれた場所でのことである。三島先生を先頭に近藤吉明様、鈴木成光様、その他の方々がハルデン訪問関連でこの地を訪れ、ここで近藤様と私は湖で釣りをした。結構沢山の魚がかかっているはずなのになかなか増えないので不思議に思っていたら、我々が釣った魚をビーバーが横取りしてしまっていたのだ。そんな釣り騒動の後小生がセップという高級キノコを摘んで帰り、ホテルの料理長に料理を依頼したところ、「魚の料理はするが茸はしない。自己責任で料理をするのなら台所を貸してやる」と言われてしまった。そこで、台所を借りて茸を料理し、料理長が料理した魚と一緒に皆さんにご馳走しようとしたところ、皆怖がって手を付けようとしなかった。すると三島先生が「皆川さんが自信を持って摘んだキノコなのだから問題は無い、皆食べるように！」との鶴の一声で皆恐る恐る一斉に食べ始めた。すると、「美味しい！美味しい！」という声があちこちから聞かれめでたしめでたしであった。そして、三島先生からハルデン/ビーバー会を設立しようとの提案まで飛び出してきた。

今でこそ、日本以外の加盟国からの派遣者数は少なくなってきたが、以前は非常に多く有意義な国際交流の場でもあった。週一回のバレーボール、クロスカントリスキー大会、ヨットレース、漁船を借りての釣り大会、湖畔に建設したプライベートサウナでの裸での交流等々。このようなわけで、私のノルウェーの生活は、公私ともにとっても変化に富んだものである。

福井大学附属国際原子力工学研究所

福井大学附属国際原子力工学研究所
宇埜 正美

1. 設立の経緯と組織

福井大学附属国際原子力工学研究所（研究所）は、もんじゅを中心とした福井県嶺南の原子力施設をフルに活用し、北陸・中京・関西地区の大学とも連携しながら、高速増殖炉を中心とする原子力発電の実学に即した世界トップレベルの基礎研究を行い、同時にアジアを中心とする国際的な人材育成を行う研究教育拠点形成を目的として平成21年4月に設立された。研究所は原子力工学基礎分野、4つの部門からなり原子力のエネルギー利用についての研究開発を行う原子力工学研究分野、放射線の医学利用を目的とした研究開発を行う医学物理・化学分野、原子力に特化した地震・耐震、福井県の地層と地震波伝播などを研究する原子力防災工学分野の4つの分野で設立された。平成24年1月現在、6名の教授と4名の特命教員のほか23名の客員教員と4名の特別研究員で構成されている。平成24年4月に、敦賀市の敦賀駅前の新建屋に移転し、防災・危機管理分野を強化した新しい組織でスタートした。

以下、研究所の活動を、研究、教育および拠点化に分けて紹介する。

2. 研究紹介

専任の教員が主に行っている原子炉物理、熱流動、核燃料・原子炉材料および放射線物理・化学などの基礎研究の他、原子力研究開発機構の客員教員や特別研究員が行っている高速炉開発や廃止措置研究などが主な研究テーマである。その中でも、平成21年度に採択された文部科学省委託研究、原子力システム研究開発事業・特別推進分野「「もんじゅ」における高速増殖炉実用化のための中核的研究開発」（研究代表者・竹田敏一研究所長）（もんじゅ特進）では、全国8つの研究機関と3つのプラントメーカーによる4年間の総額約16億円の大型プロジェクトである。

このもんじゅ特進の研究は、図1に示すように高速炉の実用化に必要な経済性の向上や安全性の向上に向けての3つの技術開発を行う。その一つである①炉心・燃料技術に関する研究開発では、高度で革新的な核設計手法の開発とそれをを用いたシステムのもんじゅデータによる検証を行う。また高い燃料中心温度や高燃焼度を想定した燃料の高性能化とその照射挙動解析コードの構築に必要な物性値や照射挙動を取得し、その評価技術を開発する。また、②プラントの安全性に関する研究開発では、冷却材流量が低下した場合の機器の内部を詳細に3次元解析する手法とその検証、系統除染が行えない高速炉冷却系統での放射性物質の系統内容出・沈着挙動の評価さらには燃料破損検出技術の高度化を行う。さらに、③プラント保全技術に関する研究開発では、軽水炉や火力発電とは異なる高速炉保全活動において高温（550℃、実用炉では更に高温）、ナトリウム雰囲気の特種環境における劣化診断、検査モニタリング、補修の各要素技術を開発する。

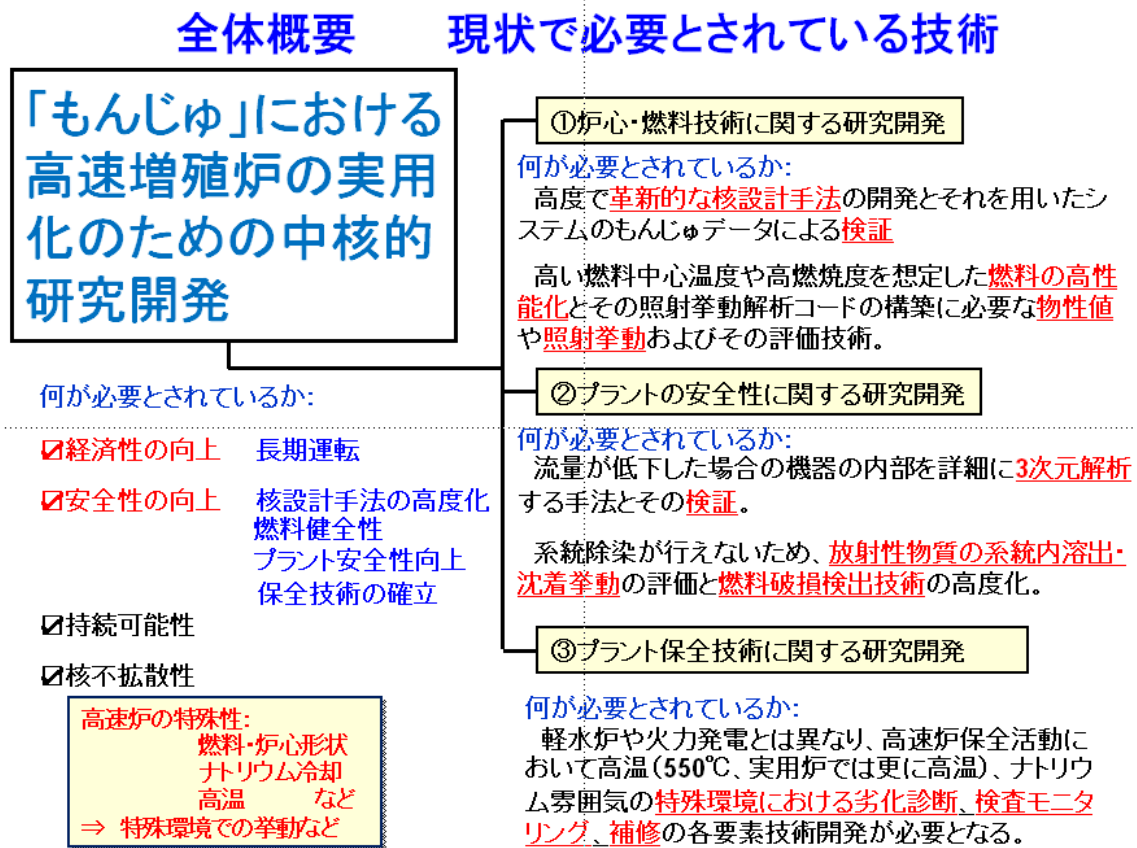


図1 もんじゅ特進の研究概要

3. 教育プログラム

研究所に配属される学生は、独立専攻である工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻（専攻）に所属する。平成23年度からは、平成24年度の研究所移転を見越して、専攻内を原子力応用工学コースと原子力基盤工学コースに分け、この内の原子力基盤工学コースを研究所教員が担当している。平成23年度研究所教員が指導している学生は修士課程学生が19名、博士課程学生が4名である。この大学院教育におけるカリキュラムを表1に示す。

原子力基盤工学コースの学生は、主に研究所教員が担当する高速炉工学分野の科目を履修することになるが、そこでは、原子炉物理学、原子炉工学、核燃料や原子力材料学が履修が望ましい科目として設定されており、学生は原子力のエネルギー利用に必要な基礎科目を履修する。また、必須科目である原子力・エネルギー安全創生実験、同特別実験では、福井県嶺南地区にある福井県（若狭湾エネルギー研究センター）、電力（原子力安全システム研究所など）および原子力研究開発機構の施設等を利用した実験・実習を行うのも特徴のひとつである。また、福井大学では原子力教育を行う学部は無い。しかし、工学部には専門教育科目を履修するだけでは得られない異なる分野の知識や考え方の修得にも意欲を

もって取り組むことにより、学部の専門教育を補完するだけでなく、大学での学修の目的をさらに高めるために「副専攻科目」が設けられている。研究所教員は、この副専攻科目において、学部生を対象に、原子力システムや原子燃料サイクルなどの授業も行っている。

現在の所、留学生の受け入れ実績はないが、(財)原子力安全研究協会を通じて3ヶ月程度の期間でアジアからの研究生を受け入れている。平成22年度は2名、平成23年度は5名の受け入れがあった。平成23年度は、最初の1ヶ月間は全員に共通した基礎的な講義を行い、残り2ヶ月は研究テーマごとに個別に研究を実施した。

また、平成23年度よりフランス原子力庁(CEA)の教育機関であるINSTNからフランス人学生を5または9ヶ月の期間受け入れている。23年度は3名の受け入れがあり、研究結果を国際会議論文に仕上げるなど高い成果を達成している。

さらに、後述する「原子力人材育成イニシアティブ」制度を利用し、京大、阪大、名大と連携した人材育成を行っている。

その他、広く一般向けの原子力普及活動も行っており、平成22年度までは高速炉の安全性などについて一般向けに説明する「原子力安全講座」や平成23年度以降は、福島第一原子力発電所事故への福井大学の取り組みを報告した「原子力防災・安全セミナー」などを行っている。

4. 連携・拠点化

上述のような共同研究や他機関と連携した人材育成を通じ、研究所は北陸、中京・関西地区の原子力研究・教育の拠点化の形成を目指している。この拠点化に関してはこれらの地区の大学や福井県内の企業および自治体の委員からなる「広域連携拠点化検討委員会」を設置し、その将来の計画や課題について議論している。これまでに、教育における入口・出口調査、海外ニーズの調査、連携・連合的な大学院の設置形態や運営、共同研究のテーマや研究所の在り方について検討を重ねてきた。今後は、福島第一原子力発電所の事故を受けて学生の意識や就職先がどのように変化したかの調査を継続するとともに、教育面では単位互換等に向けての検討や研究面では研究所が嶺南地区の施設利用のコーディネータ

表1 原子力・エネルギー安全工学専攻、原子力基盤工学コースのカリキュラム

	科目名	単位
○	原子核物理・原子核反応	2
●	原子炉物理	2
●	原子炉工学	2
○	原子炉制御工学	2
○	次世代炉システム工学	2
●	原子力材料学	2
●	核燃料工学	2
○	冷却材環境工学	2
○	放射線物理学・放射線化学	2
○	放射線防護・生物学	2
○	原子核工学概論	2
○	核燃料サイクル工学	2
○	原子力・エネルギー安全工学特別講義2	2
○	計算機科学	2
○	原子力基礎科学	2
○	科学技術英語	2
○	科学技術英語演習	2
◎	原子力・エネルギー安全創成実験	6
◎	原子力・エネルギー安全特別実験	4

○：選択科目

●：必修ではないが、履修することを強く推奨する科目

◎：必修科目

一としての役割を担うことなどを検討していく。

特に、若狭湾エネルギー研究センターと共同の申請で平成23年度より採択された文部科学省原子力国際人材育成イニシアティブ事業「福井の人材育成機能等を活用した原子力の安全・国際協力に資する人材育成」では、広く北陸・中京・関西圏の学生を対象に教育を行う。そこでは、これまでも行なってきた炉物理や炉工学など原子力の基礎だけでなく、防災や危機管理なども含めた領域について、国内外の専門家を招いての英語による国際セミナーやグループ討議を含むスクールを開催する。同時にこのような活動を通じて、北陸・中京・関西圏の他大学の教員と一緒に、今後の教育や研究における具体的な取組みについての議論を行なっていく。

5. 福島第一原子力発電所事故を受けて

昨年3月11日の東日本大震災に端を発した福島第一原子力発電所の事故は、専攻を希望する学生の減少や高速炉研究のトーンダウンなど様々な面で暗い影をおとしている。一方研究所では図2に示すように、4月の敦賀移転にあわせてこれまでの開発部門を学問分野毎の名称に変更し、新たに原子力防災・危機管理部門を設置する組織見直しを行った。この原子力防災・危機管理部門では、原子力の防災・危機管理を進展させ、新たな防災・危機管理技術を開発するため、事故の防止・緩和対策や、地震・津波に強い原子力システムの開発、事故対応策の立案、防災対策の最適化、適切かつ迅速な放射線防護対策、被曝管理の適正化に関する研究を行う。

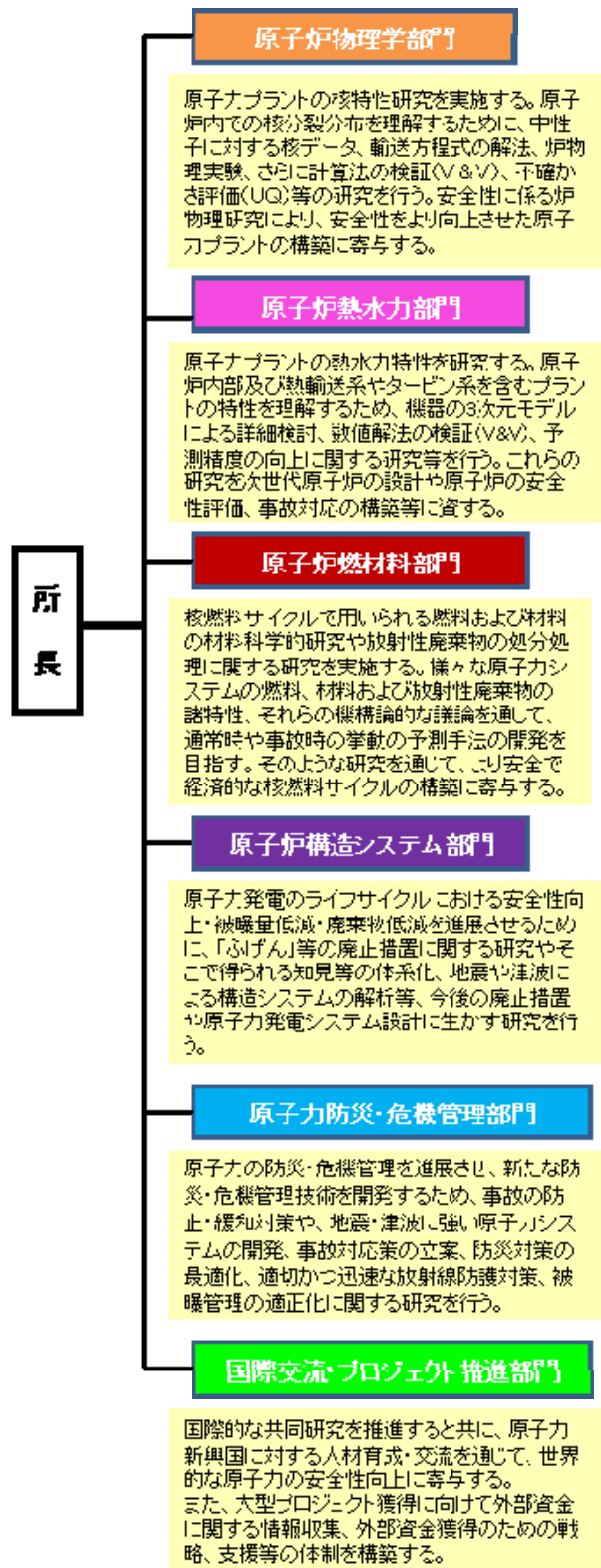


図2 平成24年度からの新組織

電力中央研究所の燃料研究の展開

電力中央研究所 原子力技術研究所 北島庄一, 尾形孝成

当研究所では、軽水発電炉燃料については、十分な安全性を確保しながら、原子燃料を効率的に利用する研究、高速炉燃料については、実用性評価に向けた研究に取り組んできました

わが国では、段階的に原子燃料の高燃焼度化が進められ、現在では集合体取出平均 55GWd/tU の高燃焼度が達成されていますが、当研究所は 1990 年頃に、高燃焼度まで燃焼した燃料ペレットの周辺部に出現するリム組織に注目し、国内外の関連機関の協力を得て、国際プロジェクト（HBRP）を立ち上げました。この中で、ウラン燃料およびガドリニア燃料について、リム組織が形成される条件を明らかとし（図 1）、リム組織の様々な物性値を測定しました。さらに、リム組織の形成メカニズムを解明するため、文部科学省新クロスオーバー研究で、タンデム加速器を用いてイオン照射した天然ウランの組織観察を実施し、現在も日本原子力機構

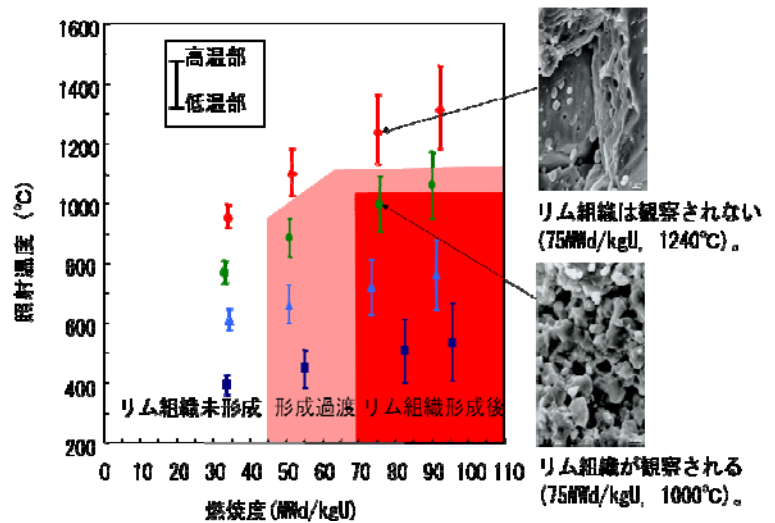


図 1 ウラン燃料のリム組織形成条件

(JAEA) との協力関係のもとに、研究を継続しています。

2009 年に軽水発電炉での MOX 燃料利用が開始されました。当研究所では、MOX 燃料の高燃焼度化を見据えて、EU 超ウラン元素研究所 (ITU) と共同で核分裂生成ガスの放出メカニズムを解明する研究も行っています。

近年は、被覆管の腐食と水素吸収に関するメカニズムを明らかにすることが、更なる高燃焼度化を実現するために必要不可欠であると考え、研究に取り組んできました。ジルカロイ合金が腐食と水素吸収を抑制する性能と密接に関連する金属析出物について、微量成分である Si も含めた原子レベルでの精密な元素分析（図 2）を実施することにより、照射によ

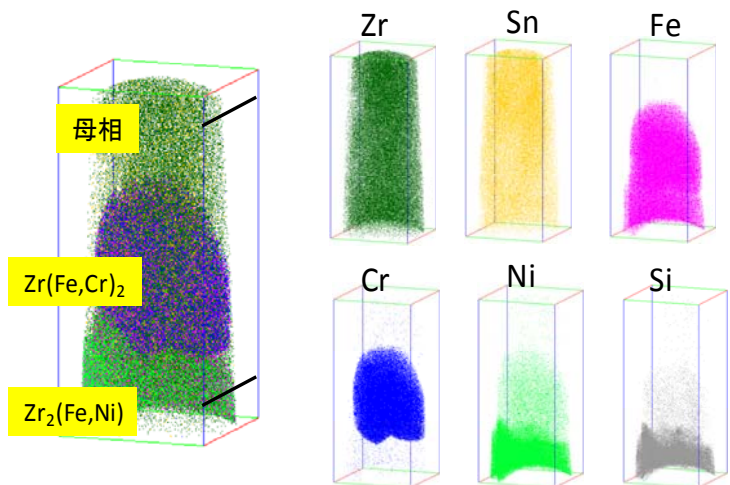


図 2 ジルカロイ-2 の金属析出物の元素分布分析

る金属析出物の溶出と腐食量の相関を明らかにすることを目指しています。また、被覆管の腐食進展における、局所応力と微細組織の関係を調べるため、SPring-8 放射光施設を利用した酸化膜の微小領域の応力評価手法を開発しています。

当研究所は、燃料設計、被覆管用合金の開発等を行っていませんが、被覆管の腐食と水素吸収を抑制する付加的な方法として、フレッシュグリーン処理（カーボンドープ酸化膜）を提案し、性能評価を進めてきました。

高速炉用燃料については、増殖率の向上や炉内 Pu 装荷量の低減など高性能炉心の設計が可能な「金属燃料」の研究を進めています。金属燃料は古くから米国で開発されて来ましたが、当研究所では、600°Cを超える高い被覆管温度で 10 at.%を超える燃焼度を目指した実用的な条件での性能やマイナーアクチニド (MA) の核変換への適用性を明らかにすることを目的としています。これまで、金属燃料として用いられる U-Zr 合金や U-Pu-Zr 合金の物性値の調査、被覆管候補材との共存性試験、熱力学的評価などを進めるとともに、金属燃料照射挙動解析コードの開発、射出鋳造法による燃料製造技術の開発などを行ってきました。最近では、実用的な条件における照射性能を確認するため、JAEA と共同で、金属燃料「常陽」照射試験を計画し、金属燃料設計手法の確立、分析・検査方法の整備などを進め、2010 年度に照射試験用 U-Pu-Zr 金属燃料要素 6 本の製造を完了しました。また、MA 含有金属燃料については、ITU と共同で、U-Pu-Zr-MA 合金の製造性の確認などを行い、最大 5 wt.%の MA を添加した照射試験用燃料要素 9 本を製造しました。これらを Phenix 炉において最高燃焼度約 10 at.%まで照射し、現在、ITU において照射後試験を進めています (図 3)。

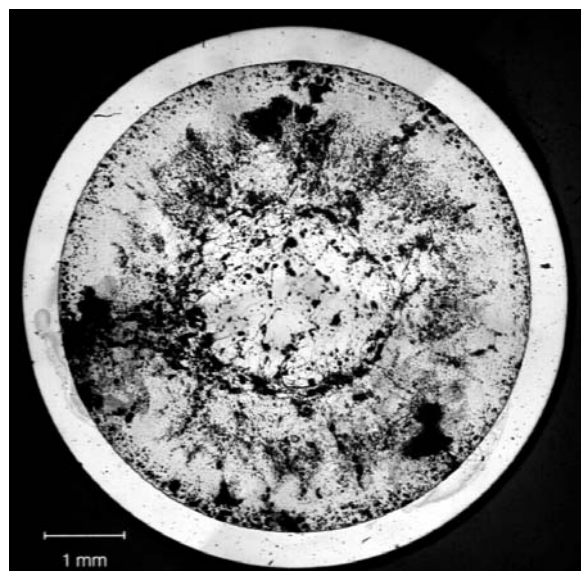


図3 U-19wt.%Pu-10wt.%Zr-5wt.%MA燃料の断面 (燃焼度約2.5at.%)

福島第一発電所の事故後は、その中長期的措置に関わる研究や軽水炉燃料の安全性向上に寄与するための研究開発に重点的に取り組むことができるように、当研究所の燃料関連研究の再編を進めています。例えば、これまで当研究所で培ってきた高温融体取扱技術などを活かして、模擬燃料デブリの製造試験、燃料デブリの安定性に関する研究、被覆管の事故時破損限界の評価などに取り組んで行く計画です。一方、電気事業の中央研究所としての役割を果たすとともに、社会のニーズに柔軟に応えられるように、国内外の関係機関との連携のもと、軽水炉燃料および高速炉燃料の照射挙動評価技術など基盤技術については長期的に維持し、展開する計画です。

第2回 軽水炉燃料・材料・水化学夏期セミナーの開催について

毎年恒例の核燃料夏期セミナーにつきましては、平成24年度(2012年度)は、核燃料部会、材料部会、水化学部会の共同開催の「第2回 軽水炉燃料・材料・水化学夏期セミナー」として実施予定です。セミナーの詳細は、日本原子力学会核燃料部会ホームページ(<http://www.aesj.or.jp/~fuel/>)に掲載しております。

記

1. 開催日程 平成24年(2012年)7月11日(水)～7/13(金)
2. 開催場所 松江しんじ湖温泉「ホテル一畑」



住所 〒690-0852 島根県松江市千鳥町 30

TEL 0852-22-0188 **FAX** 0852-22-0230

公式サイト <http://www.ichibata.co.jp/hotel/>

交通アクセス

・JR 松江駅からのアクセス

タクシー約10分 または

路線バス約10分(松江しんじ湖温泉駅下車徒歩3分)

・出雲空港からのアクセス

タクシー約40分 または

空港連絡バス約40分(松江しんじ湖温泉駅下車徒歩3分)

・米子空港からのアクセス

タクシー約50分 または

空港連絡バス約45分(JR 松江駅下車)、

以降、JR 松江駅からのアクセス参照

周辺観光等の情報

・中国電力(株)島根原子力発電所・・・松江市内から車で30分

・松江城・・・松江しんじ湖温泉駅からバス5分、

JR 松江駅からバス10分

・小島八雲記念館・・・松江城から徒歩10分

・出雲大社・・・松江しんじ湖温泉駅から電車1時間

・玉造温泉・・・松江しんじ湖温泉駅からバス43分、

JR 松江駅から電車9分、玉造温泉駅から車5分

名物・・・出雲そば、和菓子、宍道湖七珍、出雲銘茶など

3. 夏期セミナープログラム案(講師・座長の敬称略)

一般社団法人日本原子力学会 核燃料・材料・水化学 3部会共催

2012年度 軽水炉燃料・材料・水化学 夏期セミナープログラム(改定案)

日時	講演題目	座長	講師
7月11日(水)			
9:00 ~ 9:10	プログラム紹介	内田俊介(JAEA)	事務局
	【基調講演】		
9:10 ~ 9:50	・これからの水化学に期待する		勝村庸介(東大)
9:50 ~ 10:30	・原子力材料研究の今後		室賀健夫(NIFS)
10:30 ~ 10:45	(コーヒーブレイク)		
10:45 ~ 11:25	・人工物としての核燃料の学術		岩田修一(東大)
11:25 ~ 13:45	【ポスターセッション】 (12:00 ~ 13:00)昼食		
	【設計の基礎】(設計の前提と変遷)	佐藤正知(北大)	
13:45 ~ 14:55	・水化学設計の基本的な考え方(BWR/PWR)		内田俊介(JAEA) / 志水雄一(三菱重工)
14:55 ~ 15:10	(コーヒーブレイク)		
15:10 ~ 16:20	・材料設計の基本的な考え方 (実機ベースの材料科学/材料基礎科学の展開)		鹿野文寿(NFD)/ 阿部弘亨(東北大)
16:20 ~ 17:30	・核燃料設計の基本的な考え方(BWR/PWR)		早川啓朗(GNF-J) /小野慎二(NFI)
19:00 ~ 21:00	(情報交換会) ポスター賞の表彰		
7月12日(木)			
	【技術トピックス】	阿部弘亨(東北大)	
9:00 ~ 9:45	・軽水炉シビアアクシデント時の燃料のふるまい		永瀬文久(JAEA)
9:45 ~ 10:30	・ラジオリシスによる水素の発生		永石隆二(JAEA)
	【特別講演】	勝村庸介(東大)	
10:30 ~ 11:10	・東京電力福島第一原子力発電所の事故について		尾本彰(東大)
11:10 ~ 11:25	(コーヒーブレイク)		
11:25 ~ 12:05	・国の今後の原子力政策について		尾本彰(東大)
12:05 ~ 13:15	(昼食、記念撮影)		
	【事故と材料】	室賀健夫(NIFS)	
13:15 ~ 13:55	・海水による主要構成材料への腐食影響		渡辺豊(東北大)
13:55 ~ 14:35	・海水混入後の防食対策		山本正弘(JAEA)
	【事故と水化学】	久宗健志(原電)	
14:35 ~ 15:15	・福島第一原子力発電所汚染滞留水処理技術の開発		沖田壮史(東芝)
15:15 ~ 15:30	(コーヒーブレイク)		
15:30 ~ 16:10	・高濃度汚染水の塩分除去		浅野隆(日立GE)
	【事故と核燃料】	木下幹康(電中研)	
16:10 ~ 17:00	・今、核燃料研究者がなすべきこと ~ 熔融事故における核燃料関連の課題検討WGの活動 ~		山中伸介(阪大)
7月13日(金)			
	【見学会】	—	
9:00 ~	・中国電力(株)島根原子力発電所		

幹事部会：水化学部会

核燃料部会夏期セミナー幹事：北海道大学 佐藤 正和、日本原燃(株) 大江 晃

以上

IX. 核燃料部会会員名簿

核燃料部会会員 427名 2012. 3. 26 現在 (登録情報のまま記載)

青木 利昌	米田 守宏	<u>エム・アール・</u>	中川 祐司	渥美 寿雄
青地 哲男		<u>アイリサーチ</u>	西川 進也	藤 堅正
石井 武	<u>旭化成</u>	<u>アソシエイツ</u>	藤原 秀介	
井関 孝善	川上 文明	岡崎 亘	真寄 康行	<u>グローバル・</u>
井関 道夫			宮崎 孝正	<u>ニュークリア・</u>
井本 正介	<u>アトックス</u>	<u>MIK</u>	山田 健治	<u>フュエル・ジャパン</u>
岩本 多實	有馬 昌邦	榎本 孝		石本 慎二
打越 肇			<u>九州大学</u>	磯辺 裕介
大石 純	<u>E&Eテクノサービス</u>	<u>MHI原子力</u>	有馬 立身	伊藤 邦雄
大島 博文	平子 一仁	<u>エンジニアリング</u>	出光 一哉	伊東 賢一
大橋 弘士		本間 功三	大塚 哲平	岩本 優二
栗原 正義	<u>伊藤忠テクノ</u>		笠野 貴之	加々美 弘明
甲野 啓一	<u>ソリューションズ</u>	<u>大阪大学</u>	田辺 哲朗	草ヶ谷 和幸
小林 善光	野本 祐春	大石 佑治	玉利 南菜子	小飼 敏明
佐藤 健治	堀田 浩司	黒崎 健	中村 剛	國分 毅彦
嶋田 昭一郎		清水 敬太	橋爪 健一	櫻井 三紀夫
杉崎 昌和	<u>茨城原子力協議会</u>	馬場 宏	松本 卓	高川 佳浩
鈴木 滋雄	湯本 鎌三	牟田 浩明		徳島 二之
鈴木 敏夫		山中 伸介	<u>九州電力</u>	徳永 賢輔
早田 邦久	<u>宇都宮セントラル</u>		舘林 竜樹	中嶋 英彦
高橋 利通	<u>クリニック</u>	<u>大林組</u>		松村 和彦
高城 真	阿久津 源太	三島 毅	<u>京都大学</u>	梁井 康市
辻 利秀			伊藤 靖彦	
永井 将之	<u>エナジス</u>	<u>関西電力</u>	阪本 智志	<u>経済産業省</u>
永瀬 寛	近藤 吉明	荒川 恵史	高木 郁二	金子 洋光
奈木野 陽一		大槻 信行	檜木 達也	
林 洋	<u>エヌ・エフ・</u>	尾家 隆司	森下 和功	<u>検査開発</u>
東 邦夫	<u>ティ・エス</u>	亀田 保志	森山 裕丈	梶谷 幹男
藤野 威男	中野 敢司	後藤 健	山本 泰功	
三宅 千枝		仙藤 敏和		<u>原子燃料工業</u>
森 一麻		高杉 政博	<u>近畿大学</u>	井出 秀一

大平 幸一	<u>原子力安全技術</u>	<u>工学院大学</u>	池部 健一	<u>電力中央研究所</u>
大脇 理夫	<u>センター</u>	土江 保男		稲垣 健太
小野 薫	古屋 広高		<u>神鋼リサーチ</u>	太田 宏一
小野 慎二		<u>高度情報科学</u>	室尾 洋二	大野 博教
垣内 一雄	<u>原子力安全基盤機構</u>	<u>技術研究機構</u>		尾形 孝成
片岡 健太郎	緒方 恵造	藤城 俊夫	<u>住友金属工業</u>	亀山 高範
片山 将仁	上村 勝一郎		穴田 博之	木下 幹康
上村 仁	中江 延男	<u>国際原子力開発</u>	竹田 貴代子	名内 泰志
木下 英昭	中島 鐵雄	武黒 一郎		中村 勤也
北川 健一	馬場 利和		<u>スリー・アール</u>	横尾 健
北野 祐樹	広瀬 勉	<u>コベルコ科研</u>	菅井 弘	
来山 正昭	藤根 幸雄	安部 勝洋		<u>東海大学</u>
小井手 隆	堀田 亮年		<u>三菱エンビリアリング</u>	石野 栞
後藤 雅和	三浦 弘道	<u>四国電力</u>	福田 信幸	山口 晃範
小林 慎一	別所 泰典	米山 智巳		山脇 道夫
雑賀 宏		坂井 浩二	<u>総合科学研究機構</u>	
笹川 達也	<u>原子力安全研究協会</u>	澤田 佳孝	山下 利之	<u>東京工業大学</u>
杉浦 公二	古田 照夫	武田 高明		中村 正則
田中 秀樹			<u>中部電力</u>	福田 幸朔
谷口 良則	<u>原子力安全</u>	<u>芝浦工業大学</u>	八田 晋	藤井 靖彦
土内 義浩	<u>システム研究所</u>	新井 剛	原田 健一	
常松 睦生	福谷 耕司			<u>東京大学</u>
中岡 平		<u>昭和建物管理</u>	<u>帝京平成大学</u>	岩井 岳夫
野崎 貴大	<u>原子力委員会</u>	小林 正春	後藤 秀機	岩田 修一
濱西 栄蔵	齋藤 伸三			金田 保則
平澤 善孝		<u>ジルコプロダクツ</u>	<u>テプコシステムズ</u>	櫻原 達也
堀内 敏光	<u>原子力研究バックエ</u>	本田 明	竹田 周平	佐藤 克典
松浦 敬三	<u>ンド推進センター</u>	若松 竜治		澁田 靖
松永 嵩	榎戸 裕二		<u>電気事業連合会</u>	関村 直人
村田 顕彦		<u>新金属協会</u>	卷上 毅司	寺井 隆幸
村田 保	<u>原子力発電</u>	麓 弘道		服部 憲一
湯浅 敬久	<u>環境整備機構</u>		<u>電源開発</u>	
	田中 博	<u>辰星技研</u>	越川 善雄	<u>東京電力</u>
<u>原子力安全委員会</u>		宮田 勝仁	小林 哲朗	磯田 清
岡本 弘信	<u>原電情報システム</u>		柳沢 直樹	大澤 彰
若杉 和彦	藤田 千俊	<u>新日本通商</u>		大塚 康介

川崎 正幹	<u>名古屋大学</u>	荒井 康夫	杉山 智之	前田 誠一郎
斉藤 暢彦	北埜 元樹	阿波 靖晃	鈴木 政浩	牧野 崇義
鈴木 俊一	長崎 正雅	生澤 佳久	鈴木 元衛	松本 正喜
関田 俊介	矢嶋 美幸	石島 清見	須藤 勝夫	三浦 昭彦
武井 一浩		市川 正一	角 美香	湊 和生
服部 年逸	<u>日本メタル経済</u>	井上 孝治	瀬川 智臣	三原 武
原 貴	<u>研究所</u>	井上 賢紀	瀬谷 道夫	三輪 周平
平林 直哉	幡野 和久	岩井 孝	芹澤 弘幸	森平 正之
溝上 伸也		上塚 寛	大天 正樹	門藤 健司
山田 大智	<u>日本核燃料開発</u>	臼杵 俊之	高野 公秀	矢板 毅
	青見 雅樹	内田 俊介	高橋 啓三	柳澤 和章
<u>東芝</u>	市川 真史	内田 哲平	高橋 直樹	柳原 敏
今村 功	宇根 勝己	江沼 誠仁	武内 健太郎	大和 正明
樋口 真一	柴藤 良則	遠藤 慎也	田中 康介	山本 雅也
	久保 利雄	扇柳 仁	谷 賢	吉元 勝起
<u>東芝</u>	小山 隆男	逢坂 正彦	中島 邦久	
<u>プラントシステム</u>	坂本 寛	大友 隆	中島 靖雄	<u>日本原子力発電</u>
ファン レホアン	中司 雅文	岡本 芳浩	永瀬 文久	出澤 正人
サーン	樋口 徹	小川 徹	中田 正美	北嶋 宜仁
	平井 睦	奥村 和之	中道 英男	高田 治
<u>東電工業</u>	福井 和也	柏崎 博	中村 彰夫	竹本 吉成
渡会 偵祐	松永 純治	勝山 幸三	中村 仁一	長嶺 徹
	水迫 文樹	加藤 正人	中村 武彦	松浦 豊
<u>東北原子力懇談会</u>	若島 喜和	川口 浩一	中村 雅弘	
高橋 實		川島 和人	難波 隆司	<u>日本原燃</u>
	<u>日本原子力技術協会</u>	河村 弘	西 剛史	逢坂 修一
<u>東北大学</u>	笠井 滋	木原 義之	西村 和明	大江 晃
阿部 弘亨		工藤 保	野村 茂雄	太田 洋
小無 健司	<u>日本原子力研究</u>	小林 直樹	林 君夫	越智 英治
陳 迎	<u>開発機構</u>	米野 憲	廣岡 瞬	完山 伸之
本間 佳哉	赤司 雅俊	佐藤 勇	福田 拓司	桑原 茂
八登 唯夫	赤堀 光雄	佐藤 宗一	更田 豊志	今野 廣一
若林 利男	坪 葉子	佐藤 隆彦	藤咲 栄	神 裕
	浅賀 健男	塩谷 洋樹	舟田 敏雄	新開 康夫
<u>富山大学</u>	安部 智之	篠原 伸夫	前多 厚	鈴木 明好
波多野 雄治	天谷 政樹	柴田 裕樹	前田 宏治	武井 正信

田中 泉
徳田 玄明
浜田 隆
藤原 英城
安田 淳
山本 文雄
吉田 綾一

ニュークリア・
デベロップメント

池田 一生
伊藤 邦博
木戸 俊哉
小林 裕
野瀧 友博

N E S I

関根 伸行

発電設備技術

検査協会

長谷川 忠之

日立GEニュー

クリア・エナジー

斉藤 荘蔵
堤 信郎

日立エンジニア

リング・アンド・

サービス

松浦 哲明

日立製作所

土井 彰
西野 由高

原 重充
引地 貴義

広島大学

碓 隆太

福井大学

有田 裕二
宇埜 正美
佐々木 孔英

富士電機

尾崎 博
山田 裕之

ペスコ

鹿倉 榮

ヘルスウェイ

國分 政幸

放射線利用振興協会

柴 是行

北海道大学

鶴飼 重治
小崎 完
佐藤 正知

前田建設工業

大竹 俊英

三井建設

下川 純一

三菱原子燃料

今泉 正彦
岩瀬 清
小野 俊治
草間 誠
佐藤 大樹
清水 純太郎
鈴木 康隆
鈴木 嘉章
高野 賢治
手島 英行
永利 修平
藤井 創
藤原 昇
村上 望
若松 明弘

三菱重工業

太田 彰
岡山 彰
鈴木 成光
土井 荘一
森口 大輔

三菱商事

安部田 貞昭

三菱電機

小橋 晶

三菱マテリアル

磯部 毅
伊東 正登
小林 卓志
柴原 孝宏
清水 真
中澤 俊之

宮城県

木村 昭裕

八木総合研究所

八木 康次

四電エンジニアリング

今村 康博

リサイクル燃料貯蔵

高松 樹

X. 編集後記

編集後記

核燃料部会報第47-2号(冬版)を会員の皆様にお届け致します。

今回の冬版につきましては、当方の準備不足等から、発行が遅れましたこと深くお詫び申し上げます。また、寄稿をお願い致しました会員の皆様方には、短い原稿作成期間にもかかわらず、早く寄稿して頂きまして、本当にありがとうございました。

さて、東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故から一年が経ちましたが、避難生活を余儀なくされている方々や以前の生活ができていない方々が、現在も多くいらっしゃいます。被災されました皆様が一日も早く、元の生活に戻れますことを切に願っております。

一方、原子力を取り巻く情勢は、さらに混沌とし、先行きが不透明となっている感があります。しかしながら、こういう時期だからこそ、大きな試練として乗り越える気概と信念をもってあたれば、必ずや新たな光が見え、その先には進化した原子力が待ち受けているものと確信しております。

最後に、この一年、部会報担当として、不慣れな運営を行ったにもかかわらず、会員あるいは原子力学会事務局の皆様方から、優しいお言葉やご指導、ご支援などを賜り、なんとか部会報を2回発行することができました。また、この間、メールのやりとりなどで、日ごろお付き合いできない方々とも交流でき、個人的には、大変貴重な経験をさせて頂きました。

今後とも、この部会報が、会員あるいは関係者の皆様方にとって、有意義なものとして継続、発展してまいりますようお願いしております。

2011年度部会報担当：四国電力(株) 武田 高明
メールアドレス：takeda11031@yonden.co.jp
電話番号：050-8801-4530