

# IAEA/TWGFPT 2007 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 19 年 5 月 24 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、輸送、貯蔵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、2 年毎に各国原子力の状況が報告される。今回は状況報告を含め、TWGFPT 関連の各種業務の進捗状況・今後の計画の検討を行った。

### 2. 会議の概要

会議は 4 月 24～26 日 ウィーン IAEA 本部 C-VI 会議室で開催された。会議には 25 ヶ国、3 国際機関 35 名が出席し、議長はノルウェーハルデンのマクグラウ氏(女性)がつとめた。会議での報告・討議の要点は次のとおりである。

(1)事務局から、計画していた専門家会議や共同研究等はほぼ予定どおり実施されたことが報告された。

(2)今後 3 年間の専門家会議 (TCM)、共同研究等の計画が決まった。主なものは次のとおり。

- ・ 2007 年 9 月ノルウェー:燃料棒計装と炉内計測技術に関する TCM
- ・ 2008 年 アルゼンチン: PHWR 燃料の設計・製造・挙動に関する TCM
- ・ 2008 年 インド: 燃料製造と QC の先進技術に関する国際会議
- ・ 2009 年 フランス: 水炉の改良燃料ペレット物質と燃料棒設計に関する TCM
- ・ 2009 年 ウクライナ: 燃料破損を含む水化学と被覆管の腐食・付着に関する TCM

- ・ 2009年 フィンランド：燃料モデリングに関する TCM
- ・ 筆者の提案した、「LOCA と RIA 時の燃料ふるまいとモデリングに関する TCM を 2010 年日本で開催すること」が予定に組み入れられた。なお、2009 年及び 2010 年には開催希望 TCM がそれぞれ 3 件と 4 件あり、IAEA の予算上これを 2 件程度にしぼる必要があるが、次回の本会議で調整することとなった。

(3)本ワーキンググループとして以下の項目について IAEA 本部に提案することとした。

- ・ 共同研究プロジェクト「FUMEX-III（燃料挙動解析モデルの開発）」を 2008 年から始める。
- ・ 共同研究プロジェクト「DHC-II（被覆管の遅れ水素破損）」を継続する。
- ・ 共同研究プロジェクト「SMoRE（照射効果の加速器シミュレーションと理論モデル）」を 2008 年から始める。
- ・ 「材料研究と加速器の利用」に関する国際会議を 2009 年に開催する。
- ・ 「燃料設計、製造、使用に関する QMS、QA/QC ガイドブック」作成について検討を継続する。

(4)印象に残った点

- ・ 各国共通に、高燃焼度化と燃料破損率低減化が着実に進展している。破損率は各国とも大変低い値に保持されており、日本と同レベルに達している国が増えてきた。なお、破損の主要因はデブリとグリッドフレットングである。
- ・ イギリスは原子力機関の再編を進めており、“BNFL”は 2008/9 年にはなくなる予定である。
- ・ 中国は発電炉の建設を大規模に進めているが、燃料の研究開発基盤にも力を入れており、今年末には、燃料棒のランプ試験が可能なインパイルループを備えた 60MW t の照射試験炉（CARR）が臨界になる予定。
- ・ フランスが着々と  $UO_2$  及び MOX とともに高燃焼度燃料の開発をすすめている。
- ・ 前々回から出席するようになっていたアメリカが今回欠席したのは残念であった。これまでアメリカ政府(DOE 等)は軽水炉の分野は民間が実施すべきものとの考えであったが、前々回の出席時に、将来炉への取組みを見据えて、INL を中心にその研究開発活動を活発化させる意向が述べられ今後継続して出席する意志を表明していた。
- ・ 韓国、中国も製造技術を手はじめに、MOX 燃料の研究・開発を始めた。

・カールスルーエの ITU では精力的に R&D を実施しているがその一つと Micro-indentation tests (1~2mm の微小ペレットサンプルの圧縮試験、引張試験) が行われており、この技術は今後高燃焼度燃料の破損研究の一環として、水素化物が析出した不均一な被覆管の局所的な機械特性の評価の面での応用が期待される。

### 3. 会議の内容

#### 3. 1. はじめに

- ①IAEA の核燃料サイクルと廃棄物部の部長 Forsstroem 氏より挨拶と当該部の活動の紹介があった。
- ②同部燃料サイクル・材料課の Ganguly 氏より当該課のこの一年の活動概要の報告があった。
- ③同部燃料サイクル・材料課で本 GW の事務局担当である Inozemtsev 氏から IAEA の核燃料技術に関する 2007 年 4 月までの 1 年間の活動状況について報告があった。

#### 3. 2. 各国の原子力状況報告

各国の原子力および燃料の状況についてパワーポイントを用いて順に簡単な紹介があった。以下にその要点を記す。

##### (1) アルゼンチン (L.Alvarez : 原子力委員会)

- ・ 原子力発電炉 総発電量の 7%
 

PHWR 一基 357MWe	}	運転中	計画	中 2 基
CANDU-6 一基 648MWe				
- ・ 微濃縮ウラン (0.85% U<sup>235</sup>) を用い燃焼度増加 : 平均 10,000MWd/t、最大 16,000 MWd/t

##### (2) ベルギー (H. Druenne:Tractebel 及び H. Bairiot:FEX)

- ・ 許認可上の燃焼度制限 (集合体最大)
 

{	UO <sub>2</sub> : 55GWd/t
	MOX : 50GWd/t
- ・ PWR : 7 基運転中 1993 年以來 5 基の炉で 8~10% の出力 up を実施
- ・ 燃料破損は数体/年、原因は端栓溶接欠陥
- ・ DESSEL MOX 工場は、2006 年 8 月で操業停止した。

##### (3) ブラジル (J. Chapot : 原子力材料研究所)

- ・ PWR 2 基 (657, 1350MWe)
- ・ 原子力発電炉：総発電量の 3%
- ・ ウラン鉱石とイエローケーキ：国内需要に見合うだけを国産
- ・ 燃料破損原因：ワイヤデブリが主

(4) ブルガリア (D.Elenkov：原子力規制庁)

- ・ 原子力発電 総発電量の 47%
  - VVER-440 2 基を 2006 年末に停止し、現在 VVER-1000 2 基を運転中
- ・ 使用済燃料貯蔵：現在原子炉サイトの湿式施設に 940t 貯蔵、乾式貯蔵を開発中
- ・ ロシアへ輸送して再処理

(5) カナダ (M.Tayal：AECL チョークリバー研究所)

- ・ CANDU 炉 18 基，総発電量の 15%
- ・ 荷動率：86%
- ・ 燃料破損率：0.0055%集合体 (2001～2005 年)、 $1.6/10^6$  燃料棒
- ・ Advanced CANDU (ACR-1000) を開発中
  - 1200MWe、60 年寿命、建設期間=4 年、
  - 燃料集合体：42 本+1 本 (Dy/Gd 含有中央ピン)
  - 初期炉心：1.8～2.0%LEU、10～12MWd/KgU
  - 平衡炉心：2.4%LEU、20 MWd/KgU

(6) 中国 (S.Ji：中国原子力研究所)

- ・ 原子力発電炉運転中：PWR 7 基，CANDU 2 基
  - 建設中：VVER 2 基，PWR 16 基
- ・ 燃料破損の例：
  - Qinshan-3 (CANDU)
    - 2003 年 7 月～2004 年 2 月に 14 体破損
    - 最近の 2 年間は破損なし。
  - Daya Bay (PWR)
    - 8 体リーク (内 FRAGEMA 製 6 体、国産 2 体)
    - 破損原因は主としてデブリフレットィング
- ・ 中国製の全燃料集合体の設計、製造、試験のデータベースを作成中。
- ・ MOX 燃料に関する R&D を推進
  - Qinshan-1 (PWR) 及び CEFR (高速実験炉) 用の MOX 燃料集合体の設計終了
  - MOX ペレットの製造技術開発をすすめている。

照射試験は未経験。

- ・ 試験炉

重水試験炉 (HWRR) を用いた試験を実施

Qinshan-1 (PWR) 用小型燃料集合体の照射試験

PWR 燃料の出力急昇試験

計測線付燃料棒の炉内照射技術開発

HWRR 及びスイミングプール型炉 (SPR) はまもなく停止予定

→新試験炉 (CARR) が今年末初臨界の予定

60MWt、 $\phi t = 8 \times 10^{14} \text{ n / c m}^2 \cdot \text{S}$

ランプテスト用の He-3 ループ

高温・高圧テストループ

(7) チェコ (A.Miasnikov : 原子力安全局)

- ・ 原子力発電炉

Dukovany VVER440 4基 (ロシアの TVEL 製燃料)

Temelin VVER1000 2基 (WH 製燃料)

- ・ Temelin で燃料集合体の曲りが発生し、RCCA の不完全装入や燃料交換の不具合発生。

原因 : 集合体下部のクロスフロー

集合体部材と燃料棒の照射成長差による変形

- ・ 燃料破損 : 2003~2004年 無し

(8) エジプト(M.Ghoneim : 原子力公社)

- ・ 研究試験炉 2基のみ、発電炉はない。
- ・ 材料試験炉用の板状燃料製造施設を所有しておりその製造法の紹介があった。

(9) フィンランド (R.Terasvirta : FORTUM 社)

- ・ 原子力発電所

Loviisa VVER 2基 490MWe 設備利用率: 93、89%

現行の 2007年までの運転許可を 20年と 23年それぞれ延長する許可申請中。

Olkiluoto BWR 2基 860MWe 設備利用率: 94、97%

第5基目のプラント Olkiluoto3号炉(EPR 1600MWe)を建設中。運開は 2009年から 2010ないし 2011年に遅れる見込み。主契約者は FRAMATOM-SIEMENS, 圧力容器は神戸製鋼

- ・ Olkiluoto 最終処分場の建設は順調に進んでおり、2020年から操業開始の予

定である。

- ・ 燃焼度

Loviisa            集合体最大    45GWd/t (許可 45GWd/t)

Olkiluoto        集合体最大    42GWd/t (許可 45GWd/t)

- ・ 燃料破損

Loviisa (燃料製造メーカーは、1998年までは、ロシアの OAO TVEL  
だけ。1998年からは BNFL/WH が参入)    2000年～2006年：0本

Olkiluoto (燃料製造メーカーは WH Atom AB、GNF-ENUSA、  
Framatome ANP)。2002年～2006年：毎年1本ずつ破損

### (10) フランス ( J.Guillet : CEA/DEN/DSNI)

- ・ 原子力発電所 (PWR) 計 58基    62.950MWe

900MWe : 34基

1300MWe : 20基

1450MWe : 4基

- ・ 2006年の全設備利用率：83.6%、全電力の88.2%が原子力

- ・ 最大燃焼度実績は UO<sub>2</sub> では、900MWe ; 3バッチ、18ヶ月サイクル及び4バ  
ッチ、12ヶ月サイクルで 52GWd/t

MOX では 900MWe ; 3バッチ、12ヶ月サイクルで 41GWd/t。

- ・ MOX PARITY が 2006年12月許可

900 MWe、PWR 用、4バッチ、12ヶ月サイクル運転、

最大集合体燃焼度は現行の UO<sub>2</sub> と同じ 52GWd/t

- ・ 1基目の EPR は 2007年6月より建設開始、2012年臨界の予定

- ・ 燃料破損 (2006年)

全破損率 0.14% (集合体)

原因：スパーサグリッドフレットィング(50.0%)、デブリによるフレットィ  
ング(8.2%)、製造欠陥(6.0%)、他不明(35.7%)

- ・ AREVA NP 社の世界的展開

燃料設計：4カ所

Zr 製造：6カ所

燃料製造：7カ所

- ・ 世界の AREVA の燃料プラントに BWR、PWR 共通にクロス品質管理を適用。

- ・ 燃料破損 0 を目標 (ZTF)

- ・ 売上の 5% を R&D 予算にあてている。

- ・ 毎年 10～20本の燃料棒のサーベイランス試験を定常的に行っている。

- ・ MELOX

2004年 製造容量増加(145→195t)変更申請審査中

日本の3電力会社とMOX燃料製造契約を締結

- CEAのPWR燃料ふるまいに関するR&D

UO<sub>2</sub>: 60,70GWd/t (ペレットピークで76,87GWd/t), MOXは52GWd/t  
を目標にした高燃焼度化 (FPガスの分布に関する実験に重点)

- CEAのホットラボと材料試験炉政策

次の施設へ機能を集中

燃料研究: カダラッシュ(LECA-STARとLEFCA)

X線、EPMA、SEM、SIMS等による分析

高燃焼度燃料、MOX、RIA/LOCA、急速加熱試験

GEN IV燃料研究

ISABELLE 1 ループ: Max.LHR>600W/cm,

Max.Ramp rate:700W/cm/min.

ISABELLE2 ループ整備中、2009年までに15ラップ/年可能

材料研究: サクレー(LECIとPELECI及びOSIRIS炉)

被覆管と炉構造材の研究

マルチスケールモデリングに注力

再処理と廃棄物研究: マルクール(ATALANTE)

- 新材料照射試験炉プロジェクトの開始

ジュールホロビッツ炉(JHR) (100MWt) の建設を2007年3月19日に開始した。

GEN III及びIVの燃材料開発のためにEUの総意のもとに建設。

#### (11) ドイツ (L.Heens: Framatome ANP GmbH)

- 全原子力発電炉をそれぞれ約32年運転したら停止する政策。第1号炉(KKS)は2003年11月に停止。第2号炉(KWO)は2005年5月に停止。
- 2005年7月1日以降は再処理禁止。
- 原子力の発電比率は27%
- Framatomeのヨーロッパにおける燃焼度実績  
燃料棒平均燃焼度の最大: PWR (76GWd/t) BWR (76GWd/t)
- 燃料棒破損率 (2006年)  
BWR: 0.001% (破損原因: 未検査又は不明)  
PWR: 0.0005% (破損原因: デブリフレッシング (25%)、グリッドフレッシング (25%) 未検査 (50%))
- 再処理はやめたがこれまで取出されたPuを使ってMOX燃料を製造し炉に装荷している。あと10年は続く予定。

(12) インド (P.Prasad : インド原子力機構)

- 水炉発電所 : 18,420MWe
  - 運転中 (3,900MWe) : BWR 2基  
PHWR 14基
  - 建設中 (3,380MWe) : PHWR 4基  
VVER 2基
  - 計画中 (13,000MWe) : AHWR、PHWR、LWR (VVER 含む)
- 平均取出燃焼度 : PHWR 7,000MWd/t  
BWR 29,000MWd/t
- これら燃焼度向上と燃料破損率低減の R&D を進めている。
- この他に、高速増殖原型炉 (PFBR 500MWe) の建設中で、燃料製造中。またトリウムサイクル技術開発にも力を入れている。

(13) イタリア (F.Vettrano : ENEA)

- 原子力発電は 1987 年にやめた。
- 電力の 14% をフランス、スイス等より輸入している。
- 4 基の原子力発電所と燃料製造工場 (FN) を含む多くの実験施設の解体が 1990 年に決まった。
- 最近の政府政策 :
  - 外国の原子力発電所に参加するのは OK
  - 革新的な原子力の R&D は OK
  - 施設の解体、消滅処理、限定した燃料サイクルの R&D (乾式再処理他)
- R&D
  - Halden 炉における Inert Matrix とトリウム燃料の照射試験
  - IRIS における  $UO_2$  と MOX の照射試験

(14) 日本 (上村勝一郎 : JNES)

- 日本の原子力の状況 (原子力発電所の運転停止と再開状況、MOX 燃料装荷の遅れ、JAEA の設立等の原子力機関の再編成等) 最近 2 年間の燃料破損実績、JNES の高燃焼度燃料照射試験及び中間貯蔵燃料試験計画と結果のトピックス並びに JAEA における ALPS 計画について報告した。

(15) 韓国 (D.Sohn : KAERI)

- 発電所運転中 PWR(16 基), PHWR(4 基) 計 20 基  
建設中 PWR(6 基), 計 6 基

計画中 PWR(2基), 計 2 基

- 原子力の発電比率：27%(2006年)
- 稼働率：92.3%(2006年)
- 許可最大燃料棒燃焼度：60 GWd/t
- 燃料破損：2004年(1体 1.7E-6), 2005年(1体 1.6E-6), 2006年(0体 0.0E-6)
- 破損原因：腐食(44%)、デブリ(36%)、その他(20%)
- バッチ平均取出燃焼度 55GWd/t 以上を目標に LTA を 2005年から 2008年まで照射。(ACE7タイプ)
- 70GWd/t 以上の燃焼度を目標に新 Zr 合金被覆管(HANA)を開発中。(ハルデン照射試験結果では、腐食、クリープが 40~50%, 70%改善)
- ペレットの製造技術開発
  - ①  $\text{UO}_2$  粉に  $\text{U}_3\text{O}_8$  粉を混ぜて焼結し大粒径ペレット(14, 20  $\mu\text{m}$ )を製作
  - ② ドーピング材を用いて、 $\text{UO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$  と  $\text{UO}_2\text{-Er}_2\text{O}_3$  界面にクラックのない duplex ペレットを製作
- 使用済燃料の処理の1つのオプションとして MOX 燃料使用の研究を進めている。

具体的には、MOX 燃料の製造技術開発、MOX 燃料照射挙動解析、炉心設計技術開発等である。

スイスの PSI と共同で、MOX 燃料棒 2 本を製作し、ハルデン照射を行った。(燃焼度 50GWd/HM) 2006年10月に照射が終了し今後 PIE の予定

(16) オランダ (F. Klaassen : NRG)

- 運転中の発電炉は 1 基：Borssele (450MWe PWR)

2006年12月よりタービン交換によって 450→480MWe へ出力アップ

2030年まで運転延長(60年)、これはヨーロッパ初。

燃料に回収ウラン使用中
- 高レベル廃棄物ガラス固化体は、HABOG 中間貯蔵施設(2003年運開)に 100年間保管
- 燃焼度 バッチ平均 45MWd/KgU を 55 MWd/KgU まであげるべく開発中
- 燃料破損率：1997年~2006年 0.01%

原因の 80%はデブリフレティング
- Dodewaard : 60MWe BWR 自然循環冷却

1997年にシャットダウン

40年冷却後に最終解体予定
- オランダの原子力将来政策

新原子力法制定について会議で審議中。

政府はきびしい規制条件のもとに NPP の建設は可能とする提案

最新の技術に従った GENIII 炉であること (プロトタイプはダメ)

運転許可は 40 年間

運転時点で廃炉・解体費用もすべて用意できること

運転前に再処理及び廃棄物最終処分方法が決まっていること

(17) ノルウェー (M.McGrath : IFE)

- ・ノルウェーでは原子力発電は 0、ほとんど水力発電

- ・原子力関係の研究所は 2 ヶ所

IFE-Kjeller : オスロ近郊、275 名

IFE-Halden : オスロの南 120km、275 名

- ・OECD/NEA ハルデンプロジェクト

17 ヶ国、100 以上の機関が加盟

- ・ハルデン炉

現在の運転許可は 2008 年 12 月 31 日までであるが、これを 10 年延長する許可申請をした。許可は来年末に出される予定。

(18) ルーマニア (C.Gheorghiu : 原子力研究所)

- ・原子力関係施設：下記のように一通りの施設がそろっている。

原子力発電所：CANDU 700MWe 運転中 1 基

建設中 1 基(2007 年 6 月運転予定)

計画中 3 基

設備利用率 89% (2006 年)

原子力発電量 10% (2006 年)

燃料工場 (FCN) (1997 年 1 月より国内の発電所の全燃料製造、6000 体/年)

重水製造工場

ウラン鉱山

原子力研究所 (照射用 TRIGA-ICN 炉、インパイルループ、ホットセル材料試験設備、高圧水ループ)

- ・FCN は中国に燃料製造の施設、訓練、情報を提供した。

- ・燃焼度：170MWh/kgU

- ・破損燃料数は減少：0 (2002~2006 年)

- ・乾式中間貯蔵施設 (サイト内)：2003 年 6 月運転。2005 年 3 月までに 8,400 体貯蔵

- AECL と協力関係
- 燃料 R&D 用の施設がそろっている。  
挙動解析コード(CARIB)の開発 :  
LOCA、パワーサイクリング挙動解析  
TRIGA 定常照射炉(14MW)での燃料の定常、ランプ試験照射が可能  
TRIGA パルス炉で 4.6msec のパルス照射試験可能。  
ICN ホットセルで PIE が可能  
IAEA の FUMEX II プログラムに参加
- IAEA/DHC プロジェクトの一環として、被覆管の DHC 試験を行っている。

(19) ロシア (V.Novikov : VNIINM)

- 発表なし

(20) スロバキア (V.Chrapeiak : VUJE a.s.)

- 現在 5 基の VVER を運転中
- 2 基の VVER を建設中 (運開 2012 年及び 2013 年)
- 原子力 : 67%、輸出もしていた。
- 4 基を 107% up rate する計画 (1375MW→1471MW)

(21) スペイン (S.Galan : ENUSA)

- ENDESA(原子力発電所運転)  
ENUSA(鉱山, 転換, 濃縮, 加工(400t/y))  
ENRESA(中間貯蔵, 炉解体, 廃棄物処分)
- 運転中 PWR 6 基, BWR 2 基, 合計 7728MW
- 解体中 2 基(ガス炉 1 基, PWR 1 基)
- 原子力発電比率 : 20% (原子力の比率は年々減少)
- 稼働率 : 87%(2006 年)
- 運転サイクル 12 ヶ月 (KWU PWR 1 基), 18 ヶ月 (WH PWR 5 基), 24 ヶ月 (BWR 2 基)
- 燃料破損 1 体(2006 年), 主原因はデブリ。
- 最大取出燃焼度 (集合体) : 53 (PWR)、50 (BWR) MWd/kgU
- 使用済燃料の貯蔵はプラントの水プールが主、Trillo 炉だけが 2002 年に乾式中間貯蔵施設の許可を得た。
- 現在サイト外乾式貯蔵施設の許可審査中。
- 2010 年に最終処分方法を決める予定。

(22) スウェーデン (G.Ronnberg : OKG AB)

- 原子力発電所を段階的に止める政策  
2010年までに最終決定する予定。  
1999年 Basebaeck 1 停止  
2005年 Basebaeck 2 停止
- 運転中原子力発電炉 BWR 7 基  
PWR 3 基  
この 10 基の発電所を 4~10 年かけて 10%の出力アップを計画。これによって 2 基の炉を止めたための発電量の減少分とコンパラ。
- 2006 年の稼働率は 82%と低かった。これは Turismark1 での 2/4EDGs の破損が原因
- ワンススルー政策  
水プール方式の集中中間貯蔵施設 CLAB の容量は 2 倍になった。  
処分用容器への封入工場の建設許可審査中。  
地層処分場は Oskarshamn か Forsmark のどちらかに決める。2009 年に建設許可申請する。
- 最近の BWR 取替燃料は以下のような 10×10 型である。  
Atrium-10B、SVEA Optima2
- LUA 燃料として GNF2、Atrium-XM 及び Optima3 を装荷している。
- PWR 取替燃料は、Areva Agora-5A (M5)、HTPX5 (M5) である。
- 設計燃焼度：  
BWR : バッチ平均 45GWd/t  
PWR : バッチ平均 50GWd/t  
徐々に増加させる計画
- 燃料破損：  
近年大幅に減少した。1993 年以降の破損は BWR 59 体/107 運転年、  
PWR 14 体/39 運転年。主原因は BWR では、51 体がデブリ、5 体が PCI、PWR は 3 体がデブリ、2 体がグリッドフレットィング、8 体が製造欠陥である。前に多数の破損を生じた集合体曲がり問題は解決した。

(23) スイス (Y.Parmar : NOK)

- 燃料棒破損は近年極小。  
2005年 1本  
2004年 0本  
2003年 1本

2002年 0本

- KKLは2008年11月に初めて Online Noble Metal Chemistry Application (OLNC) を適用する契約を GE と締結した。
- 最初の OLNC 使用は 1999 年の KKM。
- ベツナウ炉用の MOX 燃料集合体の SMP からの最終搬入は 2007 年に終了した。
- ベツナウ MOX 燃料は次のような国際プロジェクトに使われている。

GAP、PRIMO、GEMINI、FIGARO、CABRI、ALPS、ARIANE

(24) ウクライナ (A.Afanasyev : 国立原子力発電会社)

- 原子力発電所 11,835MWe(全発電量の 47%)  
    運転中 : VVER-1000 13 基  
            VVER-440 2 基
- 燃料棒破損率 : 20~30ppm

(25) イギリス (D.Farrant : Nexia Solutions、BNFL Gr の R&D 会社)

- 原子力発電炉 : 12.1GWe      AGR      7 基  
                                    PWR      1 基  
                                    Magnox 2 基
- 原子力発電割合 : 20%
- PWR 燃料の破損 0
- SBR MOX

    ハルデン照射 : 現在 43MWd/kg・oxide (集合体平均) 達成、2007 年末  
                                    50 MWd/kg・oxide で取出し予定

    2007 年末にはハルデンにおいて、SMP SBR MOX 燃料のクリープ試験を予定。また、He 放出試験計画もある。

    出力急昇試験 : Petten、35GWd/t、破損なし (カダラッシュ PCI セミナー2004 で発表済) 現在 PIE 実施中で最終報告は 2008 年の予定。

    Beznau-1 : 5 サイクル、~54GWd/t 燃料の PIE 中、NDT は 2006 年の Top Fuel で発表済。DT は 2008/9 年に完了予定。

    トランジェット試験

- SBRMOX 燃料の NSRR・RIA 試験が 2007 年 1 月に実施済み。
- CABRI 水ループでの RIA 試験も予定。

    物性試験

- SBR MOX のポロジティ、Pu 均一性、熱伝導度、結晶粒界の同位

体保持量測定等を継続しており、2007年の Top Fuel で報告予定。

- SMP の現状
  - 16体の集合体の製造が完了し、スイスの NOK へ納入した。
  - 新 MOX 燃料の製造と Neckarwestheim への輸送について EnKK 社と契約した。
  - 40t/y への製造容量の増大計画は継続して進めている。
- BNFL 機構・組織の改変
  - British Nuclear グループ（セラフィールドとマグノックス炉サイトの運営）  
関連事業は既に売却済（BNG America、プロジェクトサービス、マグノックス炉サイトの運営）  
最終に残っていたセラフィールドサイトについても近い将来競売される予定。
  - WH は既に東芝に売却された。
  - Nexia Solutions Ltd（BNFL の R&D 部門の会社）は今年 BNFL から離れて、政府所有の UK National Nuclear Laboratory（NNL）になる。
  - 従って‘BNFL’は 2008/9 年には消滅することになる。
- 2007 年 5 月に原子力を含む政府の新しいエネルギー政策が“エネルギー白書”として発表される予定。

### 3. 3. 国際機関からの報告

#### (1) EC (P.V.Uffelen : JRC Karlsruhe)

- EC の Joint Research Center (JRC)は、ITU の 220 名を含め 7 研究所に研究者 1717 名、総職員 2800 名がいる。
- 燃料安全に関するプロジェクトは主としてカールスルーエの ITU で実施している。
  - 高燃焼度燃料特性
  - 燃料モデリング
- 高燃焼度燃料特性
  - 計側線付測定による  $UO_2$  のヤング率測定
  - Y 添加  $ZrO_2$  セラミックの HBS 模擬
  - 高燃焼度 MOX (50MWd/kg) の PIE
  - 均一 MOX (35 MWd/kg) の熱拡散率
  - NFIR プロジェクトへの参加
- 燃料モデリング
  - [EU 予算プロジェクト]
  - OMICO、MICROMOX

## TRANSURANUS コードの整備と普及

(2007年6月にITUでワークショップ開催予定)

[国際プロジェクト]

IAEA : FUMEX-II CRP

OECD : HRP 実験、TFRPDMOX (解体 Pu プロジェクト)

USDOE : GEN IV

→multi-time-scale modeling

### ・ ITU プログラム

- ・ 理論面及び実験によって、Multi-time-scale approach に取り組んでいる。
- ・ POLARIS : 炉内での熱挙動を模擬するためレーザーフラッシュによる照射済燃料加熱試験
- ・ HEIDI : helium infusion device
- ・ LOGRE : FP ガス放出挙動研究のためのレーザーオープン
- ・ Micro-indentation tests : 1~2mm の微小ペレットサンプルの圧縮試験、引張試験

### (2) OECD/NEA (E.Sartori : NEA Data Bank)

- ・ NEA の Nuclear Science 部及び Data Bank 部では燃料挙動研究及びデータベース (IFPE) 作成を進めている。
- ・ IFPE データベースには最近 MOX 燃料を中心に以下のデータが追加された。
  - DOE WG-MOX (米国 ATR 照射の MOX 燃料棒 2 本)
  - NFIR-1 (BR3 照射 6 本)
  - HRP-IFA-597 (解体 Pu 用中空/中実 MOX 2 本)
  - JAEA IFA-591 (ランプ試験 MOX 11 本)その他
- ・ 現在 1208 本の照射燃料データがバンキングされており、加盟各国での挙動解析コードの検証等に利用可能である。

<http://www.nea.fr/html/science/fuel/ifpelst.html>

### 3. 4. TWGFPT 業務進捗報告

事務局の Killeen 氏及び Inozemtsev 氏より 2004 年 4 月以降の進捗について報告があった。

#### (1) TCM (Technical Committee Meeting)

- ・ 水炉燃料集合体のホットセル PIE 技術とプールサイド検査に関する TCM が 2006 年 11 月 27 日~30 日アルゼンチンのブエノスアイレスで開かれた。17

カ国より 33 件の発表があった。

日本は JAEA 及び NDC からの参加があり、JAEA の燃料集合体の X 線トモグラフィの技術開発が注目を受けた。

- ・ 高燃焼度燃料の経験と経済性に関する TCM が 2006 年 9 月 26～28 日ブルガリアのソフィアで開かれた。参加者は 36 名で PHWR 燃料を中心に 17 件の発表と 3 件のパネル討議があった。日本は JNES からの参加があった。
- ・ PHWR 燃料モデリングの TCM が 2006 年 12 月 5～8 日、インドの Mumbai で開かれた。

## (2) 協力研究 (Coordinated Research Program, CRP)

- ・ FUMEX II (燃料挙動解析モデルの開発)  
第 3 回運営会議が 16 カ国の参加のもと 2005 年 12 月にウィーン開かれ、27 ケースの各国の計算結果の比較検討を行った。2006 年に 3 回のコンサルタント会合を開き報告書のとりまとめを行っている。2007 年には完成の見込み。
- ・ 水化学技術と管理の最適化に関する CRP (FUWAC) の第 1 回会議が 2006 年 7 月に 15 機関が参加して ウィーンで開催された。日本からは JAEA の内田氏が参加している。
- ・ Zr 合金燃料被覆管の DHC に関する CRP(DHC-II)の第 2 回会合が 2007 年 3 月ルーマニアで開かれた。同一形状の Zry-4 被覆管試験サンプルを参加機関に配布し DHC 速度測定試験を行っている。日本からは JNES と NFD がオブザーバー参加した。

## (3) 専門家によるレビュー

- ・ 燃料破損のレビューと報告書の作成  
IAEA TRS-388 “水炉燃料の破損レビュー” は 1998 年に発行されたが、その後 10 年間の知見を加えて、このレポートの改訂版を作成することになり、6 名のタスクチームが発足した。(IAEA の要請により筆者もそのメンバーの 1 人となった。)  
第 1 回会合が 2007 年 3 月に開かれ、改訂版の目次及び執筆分担が決まり、2008 年をドラフト完成目標とすることになった。  
第 2 回会合は 2007 年 11 月の予定。
- ・ Zr 基金金のハンドブック作成が進められており第 1 ドラフトがほぼできてきた。ただし、今後編集作業に多大な労力が必要と思われる。
- ・ PIE 施設の DB  
現在 18 カ国、32 施設のデータがバンキングされている。  
2006 年から検索利用可能となっている。

(4) 技術協力 (プロジェクト、訓練コース等)

- ・ 東欧への NPP の燃料材料の安全性と信頼性向上のための支援は続いている。  
(2003-08)

(5) IAEA との共催で実施された国際会議

- ・ KAERI 及び KINS の主催で水化学に関する国際会議が 2006 年韓国の済州島で開かれた。24 カ国から 231 名が参加し、73 件の口頭発表と 70 件のポスター発表があった。  
次回は 2008 年 9 月 14 日～18 日ドイツのベルリンで開催予定。
- ・ Top Fuel が 2006 年 10 月 22 日～26 日スペインのサラマンサで開かれた。参加者総数 300 名、口頭発表 57 件、ポスター発表 60 件であり、初めてパラレルセッションの方式がとられた。  
次回は 2007 年 9 月 30 日～10 月 3 日アメリカのサンフランシスコで開催予定。

### 3. 5. 今後の TWGFPT 活動予定とその検討

(1) TCM

今後 3 年間の専門家会議 (TCM)、共同研究等の計画が決まった。主なものは、次のとおり。

- ・ 2007 年 9 月 ノルウェー：燃料棒計装と炉内計測技術に関する TCM
- ・ 2008 年 アルゼンチン：PHWR 燃料の設計・製造・挙動に関する TCM
- ・ 2008 年 インド：燃料製造と QC の先進技術に関する国際会議
- ・ 2009 年 フランス：水炉の改良燃料ペレット物質と燃料棒設計に関する TCM
- ・ 2009 年 ウクライナ：燃料破損を含む水化学と被覆管の腐食・付着に関する TCM
- ・ 2009 年 フィンランド：燃料モデリングに関する TCM
- ・ 上村が提案した、「LOCA と RIA 時の燃料ふるまいとモデリングに関する TCM を 2010 年日本で開催すること」が予定に組み入れられた。なお、2009 年及び 2010 年には開催希望 TCM がそれぞれ 3 件と 4 件あり、IAEA の予算上これを 2 件程度にしぼる必要があるが、今回の本会議で調整することとなった。

(2) CRP 等

本ワーキンググループとして以下の項目について IAEA 本部に提案することとし

た。

- 共同研究プロジェクト「FUMEX-III（燃料挙動解析モデルの開発）」を2008年から始める。
- 共同研究プロジェクト「DHC-II（被覆管の遅れ水素破損）」を継続する。
- 共同研究プロジェクト「SMoRE（照射効果の加速器シミュレーションと理論モデル）」を2008年から始める。
- 「材料研究と加速器の利用」に関する国際会議を2009年に開催する。
- 「燃料設計、製造、使用に関する QMS、QA/QC ガイドブック」作成について検討を継続する。

### 3. 6 次回予定

2008年、日時、場所は未定

以上