

2019 年秋の大会「海外情報連絡会・材料部会・核燃料部会 合同セッション」
海外情報連絡会第 41 期（2019 年度） 第 2 回講演会 開催報告

開催日時：2019 年 9 月 12 日（木）13:00-14:30

開催場所：富山大学 共通教育棟 2F-B21 （2019 年秋の大会 H 会場）

講師：Christian GONNIER(仏 CEA)

演題：「フランスのエネルギー政策」

及び「ジュールホロビッツ材料照射試験炉と照射実験設備、照射計画について」

参加者：2019 年秋の大会参加者の約 60 名が参加

フランス CEA のクリスティアン ゴニエ氏を講師にお迎えし、フランスの最新のエネルギー政策動向とジュールホロビッツ材料試験炉の照射実験設備や照射計画について紹介いただいた。

(1) フランスのエネルギー政策について

温室効果ガスの 7 割は化石燃料から発生している状況であり、フランスはパリ協定に基づき 2050 年までの脱炭素に向けたロードマップを策定。発電においては再生可能エネルギーの利用と電力消費エリアに分散化することを基本方針とし、2015 年に多年度エネルギー計画 (the multiannual energy program(PPE)) を策定した。その目標は以下の通り。

- ・ エネルギー消費量を 2012 年に比べて 2023 年までに 7%削減、2028 年までに 14%削減する。
- ・ 二酸化炭素排出量の多い石炭火力は 80%、石油火力は 35%、天然ガスは 19%を 2028 年までに削減する。
- ・ 現存の 4 プラントの石炭火力は 2022 年までに廃止し、再生可能エネルギーは 2023 年までに発電比率を 27%、2028 年までに 32%まで高める。
- ・ 一方、原子力は 2035 年までに運転期間 50 年を超えた 14 プラントを廃止し、原子力の占める割合は 2017 年時点で 71.6%だったものを 50%までに低減させる。
- ・ フランスは隣国に対して電力を輸出入していることから、これらの計画は隣国との送電容量にも依存する。

原子力発電に関しては、40 年超運転の許認可対応を進めるとともに、新設（フラマンヴィル 3 号機）も進めている。小型炉の開発に関しては、150-170MWe クラスの PWR（F-SMR）について国際コンソーシアムのもとコンセプト設計を進めている。燃料サイクルは上記“PPE”においても重要戦略として位置付けており、MOX 燃料の使用は全 58 基中 24 基で承認されている状況。1300MWe プラントでの MOX 燃料の使用に向けた準備、PWR プラントにおける複数回燃料サイクルの研究開発の推進、高速中性子炉の研

究開発の維持（短中期視点では安価なウラン燃料が安定的に入手できるため不要であるが、長期サイクルの観点で必要）を行う。

（２）ジュールホロビッツ材料照射試験炉と照射実験設備、照射計画について

ジュールホロビッツ材料照射試験炉（JHR）は、仏カダラッシュサイトに建設中の燃料および材料の照射試験場であり、国際的な共同活用を目的として欧州を中心とするコンソーシアムによって建設および試験計画が進められている。幅広い照射試験を行えるように、様々な試験体（燃料、材料）、中性子束およびスペクトル、冷却材・熱水力（LWR および GEN IV）の条件を設定できるようにしており、今後 60 年間の技術開発に活用することを計画している。2009 年に着工、主要機器の据え付けは本年から開始しており、2020 年代中旬に竣工予定。以下に JHR の特徴と、製作および計画中の試験デバイスの概要について示す。

JHR は 100MWth のコンパクトな炉心を持つプール式の試験炉と、ホットセル等の評価設備や制御室を同一建屋内に有する。照射位置での非破壊検査を行えるようにホットセル内だけでなく試験プール内に中性子イメージング装置や X 線/γ 線検査装置などの非破壊検査装置を備えている。炉心の主な仕様は以下の通り。

- 炉心部は高速中性子束が高く（ $\sim 5.5 \times 10^{14} \text{n cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ above 1MeV）、高経年化評価が可能（ $\sim 16 \text{dpa/y}$ ）。
- 炉心の周りはベリリウムの反射体があり熱中性子束が高く（ $\sim 3.5 \times 10^{14} \text{n cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ）、圧力容器のような低経年化評価を行う材料試験（低高速中性子束における評価として 0.1dpa/y が必要）に活用。
- 変位調整装置により試験体と炉心との距離を制御して照射束を調整可能（正確で安定した出力、出力サイクルの調整等）。

軽水炉（VVER を含む PWR と BWR）の燃料挙動評価試験用デバイスとして以下のものを製作して試験を計画中。

- “MADISON”：通常状態の燃料の試験用。燃料の微細構造や気体核分裂生成物、クラッドの腐食の評価など。
- “ADELINE”：非定常状態の燃料の試験用。出力制御中やクラッド破損後の燃料挙動の評価など。
- “LORELEI”：事故時（LOCA）の燃料の試験用。燃料破損時の挙動や核分裂生成物の放出挙動の評価など。

材料試験評価用デバイスとしては以下のものを製作、試験計画中。

- “MICA”、“CALIPSO”：熱条件（ $< 450^\circ \text{C}$ ）、中性子束、応力を模擬して材料の高経年化評価が可能。微細構造や膨張挙動の評価、引っ張り試験、照射環境下におけるクリープ試験など。MICA は照射強度 $10 \sim 12 \text{dpa/y}$ 、CALIPSO はガンマ発熱量を大きくできるように電磁ポンプを備えているため $16 \sim 17 \text{dpa/y}$ の評価

が可能。

- “CLOE”：照射誘起応力腐食割れおよび Zr の腐食の腐食評価用。
- “OCCITANE”：低 dpa 環境における圧力容器の照射後の物理特性評価用。

質疑応答

Q：PWR 燃料のマルチリサイクリングについて。再処理を繰り返すことでプルトニウムの品質が低下し使用できなくなると推測されるがどのように対処するのか？

A：（自分はこの件の担当ではないが）簡単ではないと思う。マルチリサイクリングの研究は始まったばかり。

Q：燃料照射試験装置について。JHR にはどのような種類の水化学処理システムがあり、何システムあるのか？

A：（LWR 燃料試験用の）MADISON 試験装置（under normal conditions）と ADELIN 試験装置（under off-normal conditions）はそれぞれ 2 式ある。特に MADISON は PWR と BWR の運転に合わせたシステム設計となっている。PWR の条件では構造物にホウ素が取り込まれるため、1 式目は PWR 用として 2 式目を BWR 用として計画している。なお、ADELINE は非定常状態の試験用であり、運転時間が数時間・数日の短時間であるため水化学的な問題は発生しない。

Q：JHR には複数のホットラボがあるとのことだが、（JHR がある）カダラッシュ地区の他のホットラボで試験する必要性はないのか？

A：JHR のホットセルは照射対象に直結しており、照射状態や核分裂生成物の確認など非破壊検査のみが可能である。環境の整ったホットセルに移送して試験する必要がある。

Q：コンソーシアムのメンバを見ると材料や燃料の実用技術の開発が中心と思われるが、基礎研究はやる余地はあるか？

A：ある。インドの機関と協力して装置仕様を検討し、基礎的な特性評価ができる装置の開発から着手した。

Q：そのような目的に対してはその場測定（in situ 測定）や低温照射特性の評価が必要になるのではないか？そのような試験の余地あるか？

A：ある。低温照射試験の検討は核融合のメンバが行っている。

Q：核融合の研究との関連は？

A：JHR の若いエンジニアは JET のプロジェクトにかかわっていた。

Q：ITER プロジェクトとの人のつながりは？

A：大きなつながりは無い。近くに集まっているが組織が全く異なる。

Q：核融合の観点では高温度の特性に興味があるが、高温試験特性についてはどうか？

A：核融合では 200~600℃がターゲットになる。

Q：フランスのエネルギー事情について。フランスでは **Energy Transition for Green Growth** 戦略によって 2035 年までに電源構成を大きく変えようとしているが、それと異なる日本の状況についてコメントはあるか？

A：フランスの目標は政治的に決定したが、もちろん技術的な課題に基づいている。変動する電力要求に対応できるように電源を構成する必要がある。再生可能エネルギーは出力が不安定であるし、原子力も変動要求に対応できるようにする必要がある。政策に対し長期的な視点で技術的な解を見つけていかなければならない。

Q：照射後の材料はどうするのか？

A：材料試験はサンプルを取り出してキャスクに入れてホットラボに移送するがこれは比較的容易。これに対して燃料試験は試験装置から燃料を取り出す破壊試験となるため厄介で、試験装置ごとホットラボに移送する。

以上