

企画セッション | 部会・連絡会セッション：核燃料部会

■ 2016年9月9日(金) 13:00 ~ 14:30 | 会場 B会場 久留米シティプラザ 展示室1

[PL3B] 核燃料関連の安全性向上に係る課題のロードマップの検討

座長：阿部 弘亨（東大）

[PL3B01] 燃料信頼性向上・高度化

*平井 睦¹ (1.NFD)

[PL3B02] 炉心・熱水力設計評価技術の高度化

*青木 繁明¹ (1.三菱原子燃料)

[PL3B03] 事故耐性燃料の開発

*檜木 達也¹ (1.京大)

[PL3B04] 燃料安全高度化ロードマップのインターフェース

*巻上 毅司¹ (1.東電HD)

核燃料部会セッション「核燃料関連の安全性向上に係る課題のロードマップの検討」

(1) 燃料信頼性向上・高度化

(1) Improvement and Advancement of Fuel Reliability

*平井 睦¹¹ 日本核燃料開発

1. 燃料信頼性向上・高度化に関する課題の抽出と整理

軽水炉燃料等の安全高度化のうち、燃料信頼性向上および高度化に関する項目は、設計・製造から運転、貯蔵に関する通常時、過渡時、DBA 時だけでなく、DEC を含む B-DBA、SA 時に至る広い分野にわたっており、核燃料部会においてアクシデントマネジメントの観点から、抽出した課題⁽¹⁾⁻⁽³⁾並びに日本原子力学会標準委員会システム安全専門部会の下に設けられた「炉心燃料分科会」において既存の基準類の枠に囚われることなく安全設計の考え方を整理し、海外基準類、国内外の新知見を踏まえて抽出した相違点⁽⁴⁾を基に、安全対策の種類並びに深層防護レベルに対して各項目を分析し、必要に応じて新規項目を追加した。

安全対策の種類は、1)現状の安全課題、2)改良材料や燃料設計変更による安全性向上、3)コードや基準等の見直し、新規技術課題や未評価項目、未反映知見への取り組みによる安全評価の信頼性向上に分けられ、このほかにこれらをサポートする 4)要素技術/基盤技術の維持/向上、5)燃料の安全性向上及び高度化燃料の早期実用化のための許認可等の制度検討が挙げられ、これら安全を確保した上での 6)燃料の高度化に大別された。

深層防護レベルに関しては、a)Lv1～3 における材料や構造などハード改良による安全性向上、b)Lv1～3 における被覆管機械的破損に関する信頼性向上、c)Lv2 および Lv3 における NonLOCA 時の安全性向上/評価の信頼性向上、d)Lv3 における LOCA 時安全性向上/評価の信頼性向上、e)Lv3 におけるソースタームなどの事故時被ばく評価、f)Lv1～3 における燃料集合体/チャンネルボックスの安全性向上、g)Lv4 における SA 時燃料挙動に関わる評価の信頼性向上、h)Lv3,4 における SA 時の安全性向上燃料に分類した。

2. 今後の進め方

これらの項目について、達成目標時期（短期：2020 年、中期：2030 年、長期：2050 年）、並びに技術開発期間を検討することにより時間軸へ展開し、ロードマップを策定する。また、策定されたロードマップについて、適宜最新知見、最新状況を反映してローリングを行う予定である。

参考文献

- (1) (独) 原子力安全基盤機構「原子力安全研究ロードマップの整備 2005 年 12 月
- (2) 特別専門委員会「燃料高度化技術戦略マップ」、2007 年 7 月、核燃料部会「燃料高度化技術戦略マップ」2008 年 12 月他
- (3) 核燃料部会「溶融事故における核燃料関連の課題検討ワーキンググループ」報告書（2013 年 12 月）
- (4) 標準委員会レポート「発電用軽水炉型原子炉の炉心及び燃料の安全設計に関する報告書」2015 年 10 月
- (5) 安全対策高度化技術検討特別専門委員会「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」2015 年 6 月

Mutsumi Hirai¹¹NFD

核燃料部会セッション「核燃料関連の安全性向上に係る課題のロードマップの検討」

(2) 炉心・熱水力設計評価技術の高度化

(2) Improvement in Reactor Physics and Thermal Hydraulics Methodologies
for Reactor Core Design Evaluations*青木 繁明¹¹三菱原子燃料

「炉心・熱水力設計評価技術の高度化」に含まれる課題の概要

「炉心・熱水力設計評価技術の高度化」には、基盤となる「炉心・熱水力設計評価技術」があり、適用先としての「運転性能の高度化」及び「プラント運用技術、炉心設計管理の高度化」がある。

「炉心及び熱水力設計評価技術」は、通常及び事故時の炉心挙動評価の基盤技術である。これらの技術の信頼性向上は、通常運転での安全性に関する説明性の向上、さらに、異常事象収束対策の信頼性向上に寄与すると考えている。特に、最適評価および不確かさ評価技術、また未臨界度測定を含む炉心解析結果を確認する実験技術の開発、炉物理計算には欠かすことができない核データの測定及び評価技術の維持、不確かさ評価の入力データとなる共分散データの整備を行い、炉心及び熱水力設計評価技術の高度化に資する内容となっている。

次に、「運転性能の高度化（事象進展抑制、停止機能、L/F等）」では、既設プラントの高稼働率運転、長期安定運転を実現するためには、炉心出力の向上や長期サイクル運転の導入により達成されと考えている。燃料濃縮度は増加の方向であり、過渡・事故時の事象進展を緩和する停止機能の向上や反応度制御能力を向上する技術の高度化が重要であり、負荷追従運転を含め、運転条件に即した現実的な安全余裕を定量的に把握し、運転管理に役立てることが重要である。本課題である運転性能の高度化に係る技術開発は、高稼働率・長期安定運転時の一層の安全性向上に資するものであり、「炉心・熱水力設計評価技術の高度化」の成果が反映される。

最後に、「プラント運用技術、炉心設計管理の高度化」では、原子力プラントの性能を最大限に活用し設備利用率を向上させるためには、出力向上や長サイクル運転といったプラント運用技術の高度化が有効であるとし、出力向上については、必要に応じてタービンや蒸気発生器等の設備拡張（それに伴う材料開発等の要素技術開発含む）や給水流量の測定精度改善、原子炉熱出力向上の安全評価技術の高度化等が必要と考えている。また、長サイクル運転や設備利用率向上のためには、燃料の高燃焼度化、状態監視の幅広い導入やリスク情報活用によるオンラインメンテナンス導入（作業員の負荷平準化等）などによる設備信頼性の向上が有効であるとしている。また、炉心構成要素（高燃焼度燃料、事故耐性燃料および制御棒等）の設計変更、原子炉の運転条件見直しに対し、運転上の制限を遵守し、安全余裕を確保した状態で原子炉の運転を行うためには、炉心設計、運用管理技術の高度化を継続的に推進していくことが必要であることを記載している。

「マイルストーンおよび目指す姿」について

上述の課題は、短期的には、「信頼性向上へ向けたプラント技術・運用管理の高度化」に関与し、中期的には、「既設プラントの高稼働運転と長期安定運転の実現」及び「事故発生リスクを飛躍的に低減する技術の整備」に関与するものである。

Shigeaki Aoki¹¹MNF

核燃料部会セッション「核燃料関連の安全性向上に係る課題のロードマップの検討」

(3) 事故耐性燃料の開発

(3) Development of Accident-Tolerant Fuels

*檜木 達也¹¹京都大

東日本大震災における地震と津波、熊本地震のような連続的な大きな地震等、重畳的な事象も含めて将来の全ての事故を引き起こす要因を想定することは不可能である。事故耐性燃料・制御棒は、想定外の事象に起因する事故も含めて、固有安全性の向上により、最終的には炉心における事故発生リスクの飛躍的低減や事故拡大リスクの大幅な抑制を達成する概念である。要素技術として、炭化ケイ素(SiC)、改良ステンレス鋼(改良 SS)、改良ジルコニウム合金(改良 Zr 合金)、代替革新的燃料(被覆粒子燃料、トリウム燃料、炭化物燃料、窒化物燃料、シリサイド燃料、添加酸化物燃料)、改良制御棒の検討を行っている (表 1)。

表 1 各要素技術の安全性向上効果

	特長 (事故時特性)	事故の進展 LOCA → SA				事故進展抑制
		冷却性	炉心溶融	CV 破損	FP 拡散	再臨界防止
①SiC	・寸法安定性が高い・溶融点が高い ・水素発生が殆どない	◎	◎	◎	◎	-
②改良 SS	・寸法安定性が比較的高い・水蒸気反応が殆どないので反応熱、水素の発生も殆どない	◎	○	○	○	-
③改良 Zr 合金	・水蒸気反応が殆どないので反応熱、水素の発生も殆どない	○	○	○	○	-
④代替革新的燃料	・熱伝導度が高い・融点が高い ・FP 閉じ込めに優れる	○	○～◎	○～◎	○～◎	-
⑤改良制御棒	・燃料に先行して破損しない・水素発生が殆どない・制御材が燃料物質から分離しない	○	◎*	-	-	◎

◎：高い防止・抑制効果が期待される。○：防止・抑制効果が期待される。△：抑制効果が期待される。

*：制御棒の先行溶融に対する高い防止・抑制効果が期待

短期的段階では、効果が高いと思われる革新的な候補技術の開発を活性化し、固有課題について技術成熟度を向上させると共に、革新技術導入による安全性向上効果の定量評価法を確立した上で、技術の最終的な達成目標と達成に至るまでの開発課題や開発ステップ、及び候補技術の選択の手法等を明確にする必要がある。共通基盤技術の開発では、照射データの蓄積や工学規模の性能検証試験等において、長期の開発期間や大きな費用が必要であり、短期的な段階からの戦略的な研究開発推進が重要となる。併せて、他の革新技術の導入と同様に、燃料設計、燃料製造技術、安全性評価だけでなく、炉心設計や炉心運用技術、さらに規格基準や規制も含めて、現行技術に対する高度化の開発要求を明確化し、かつ、それを分野横断的に認識共有する必要がある。この点についても短期的段階からの包括的な取組が重要となる。

中長期的段階では、短期的段階において技術選定した実用化技術に基づく、経済性のある燃料の設計、量産加工技術の開発、安全性評価手法の確立、安全性向上効果の検証、革新技術に対応した炉心設計や炉心運用技術の高度化及び規格基準や規制の整備、等を着実に進め、実用化までに必要な開発期間と得られる効果を適切に評価し、適宜技術導入していくことで、段階的に炉心の事故耐性性能を向上させていく。

規格基準や規制、技術評価、共同照射試験、材料ベンチマーク試験、等に係る国際協力の枠組みにおいて、他国をリードする人材と技術レベルを伴って、国際的な原子力安全の向上を主導していく必要がある。

Tatsuya Hinoki¹, ¹Kyoto Univ.

核燃料部会セッション「核燃料関連の安全性向上に係る課題のロードマップの検討」

(4) 燃料安全高度化ロードマップのインターフェース**(4) Interfaces of Roadmaps for Fuel Safety Enhancement***巻上 毅司¹¹東京電力 HD**1. 燃料安全高度化ロードマップのインターフェース**

現在、核燃料関連の安全性向上に係る課題の検討を進めているが、これを継続的な軽水炉安全技術の向上に結び付けるためには、軽水炉安全技術・人材ロードマップ⁽¹⁾とのインターフェースを確立し、軽水炉等の安全性向上に係る課題として体系的に位置づけていくことが必要である。

軽水炉安全技術・人材ロードマップは平成 27 年 6 月に策定され、今後ローリングが行われるが、ローリングにおいて特に燃料安全高度化とのインターフェースを意識すべき個別課題として、「安全解析技術の高度化」と「使用済燃料の安全評価技術の高度化」があげられる。前者は燃料・炉心を内包する原子炉システムの安全解析、後者は使用済燃料を内包する貯蔵・輸送設備の安全評価の高度化に係るものである。

2. 安全解析技術の高度化⁽²⁾

現行の許認可用安全コードは、保守的な条件及び手法を原則としているが、物理現象に即した安全余裕の内訳に係る説明性に改善の余地があり、国際的な水準から見ても最新化の必要がある。また、過酷事故解析コード等の高度化は、主に海外での事故事象模擬試験等の知見をモデル化することで進められてきたが、福島第一原子力発電所事故事象の検証などを進めていくためには、モデルの高度化に資する試験を実施すると共に、海外と連携して過酷事故解析コードのモデルに反映していく必要がある。

3. 使用済燃料の安全評価技術の高度化⁽²⁾

原子力発電所などの使用済燃料プールについては、冷却機能の喪失によるプール水位の低下、燃料の温度上昇に起因した燃料破損、それに続く再臨界等の発生防止のため、注水強化等の安全対策が求められ、取り組みが進められている。通常時の安全性向上を図りつつ、燃料破損などが発生した場合にも、その影響を最小限に緩和するための燃料貯蔵方法について検討を進め、原子炉、使用済燃料プール、使用済燃料乾式貯蔵設備などの安全対策に反映することが望まれる。

4. 今後の進め方

上述の課題は、短期的には「事故発生リスク低減・更なる安全性向上の実施」及び「信頼性向上へ向けたプラント技術・運用管理の高度化」、中期的には「既設プラントの高稼働運転と長期安定運転の実現」などに関連するものであり、今後のローリング活動を通じて、燃料安全高度化に着目して抽出された課題を、安全解析・安全評価の高度化に反映していく。

参考文献

(1) 安全対策高度化技術検討特別専門委員会「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」2015 年 6 月

(2) 安全対策高度化技術検討特別専門委員会 活動報告書 資料 3 「課題調査票」2015 年 5 月

Takeshi Makigami¹

¹TEPCO HD