共通技術基盤SWGでの議題案
- 燃料ペレット、 ATCR、その他 -

電力中央研究所

ATF-PF 共通基盤SWG 第0次会合

2025年12月5日

電力中央研究所

© CRIEPI 2025

共通技術基盤SWGにおける実施項目案（1/4）

■ 被覆管以外の開発概念

I. 新型ペレット：海外ではATF＝ATF被覆管＋ATFペレット

1. 添加物燃料（欧米メーカー）
   - Cr_2O_3添加ペレット：仏Framatom
   - Al_2O_3-Cr_2O_3添加ペレット（ADOPT）：WH
   - SiO_2-Al_2O_3添加ペレット：GNF

2. 多量添加物入りペレット、ナイトライド、シリサイド、U-Mo、等
3. 大粒径燃料、等（1990年代に日本も開発）
4. MOX燃料、5%超燃料（HEILEU）

© CRIEPI 2025

共通技術基盤SWGにおける実施項目案（2/4）

■ 被覆管以外の開発概念

II. 新型制御棒（ATCR）：

1. 希土類安定化ジルコニア／ハフニア: 電中研 ※
   - Eu_2O_3-ZrO_2, Eu_2O_3-HfO_2, etc.
2. 炭化ハフニウム: 仏Framatom

※ 希土類安定化ジルコニア／ハフニアを装荷したATCRについては、以下について紹介・議論する

1. 属性ガイド、TRL評価、検討状況（物性データ、制御性評価、照射試験等）
2. PIRTの作成・検討
3. 技術課題（現状と目標のギャップ）の特定
4. 技術課題解決方策（研究開発、協力体制、人材育成等）の議論

© CRIEPI 2025

共通技術基盤SWGにおける実施項目案（3/4）

■ 燃料プラットフォーム（2018-22)からのATF課題抽出

フェーズ1(2018-2019)で整理された重要課題と着手時期

区分	本格的研究開発の着手が望まれる時期		
	5年程度以内	10年程度以内	10年程度後で可
既設炉・新設炉での高効率利用	○運転サイクル長期化への対応 ○出力向上への対応	◎燃料ペレットの改良 ◎被覆管材料の改良	◎5%超濃縮度燃料の製造・照射挙動評価 ◎PIEデータ拡充等高燃焼度燃料の挙動評価
既設炉・新設炉での継続的安全性・信頼性向上	◎過渡時・事故時の燃料挙動解明 ○熱水力設計評価技術の高度化・不確かさの定量評価 ○核設計評価技術の高度化・不確かさの定量評価 ○安全審査の効率化	◎被覆管材料の改良 ◎事故耐性燃料の開発 ◎地震時の燃料集合体の健全性 ◎燃料集合体の構造強化	
長期乾式貯蔵への備え（効率的貯蔵と安全性向上）		◎キャスク構造材料の劣化評価技術	◎燃料長期健全性実証 ◎臨界管理の合理化（燃焼度クレジット導入） ◎高燃焼度MOX燃料貯蔵 ◎漏えい燃料の管理 ◎コンクリートキャスク導入
共通事項	◎モデリング技術・解析コードの高度化 ◎照射試験・照射後試験技術の充実・高度化 ◎炉外試験技術の高度化		◎崩壊熱測定実験データの拡充と不確かさの低減 ◎使用済試験燃料の処理技術確立

フェーズ2(2020-2022)で抽出された研究開発項目（8項目）

- 現行被覆管材の改良
- ATF 被覆管等の開発
- 燃料ペレットの改良
- 事故時挙動の把握
- ウラン濃縮度5%超燃料に向けた検討
- 高燃焼度化に向けた検討
- 燃料挙動モデル開発
- 乾式貯蔵時燃料健全性実証

© CRIEPI 2025

重要課題の着手すべき研究開発項目（ATF被覆管等の開発）

テーマ	対象	研究開発項目
ATF 被覆管開発	共通項目	・ 要求仕様を満たす工学規模の製造技術と品質管理 ・ 通常時から事故時までの炉内環境を踏まえた材料特性データの蓄積 ・ 照射データの拡充 ・ 事故時挙動の把握とモデリング ・ 研究炉、商用炉における照射特性 ・ バックエンドとの親和性
	Cr コーティング被覆管材	・ コーティング技術開発 ・ コーティング厚さの最適化 ・ コーティング層の性能評価 ・ コーティング層と基材の親和性
	FeCrAl(-ODS)	・ 長尺薄肉管の製造技術及び品質管理 ・ 高温強度
	SiC/SiC	・ 低延性の対策 ・ 低熱伝導率、高応力に対応するための設計改良 ・ 一次冷却水中へのケイ素溶出の抑制
チャンネルボックス部材開発	SiC/SiC	・ 既往部材等との親和性評価 ・ 低延性、熱水に対する低い耐食性への対応
新型制御棒開発	希土類含有化合物等	・ 現行材と同等以上の中性子吸収効果の達成 ・ 炉心構造材や溶融燃料との高温共存性の確認 ・ 照射試験による実証

重要課題の着手すべき研究開発項目（燃料ペレットの改良）

テーマ	対象	研究開発項目
燃料ペレット開発	Cr_2O_3 添加ペレット	・ 事故時挙動の解明 ➢ 固相線温度評価、被覆管との反応、等 ・ 照射試験による通常照射時性能の実証 ・ ランプ試験による過渡時性能評価
	Al_2O_3-Cr_2O_3 添加ペレット	
	SiO_2-Al_2O_3 添加ペレット	
	多量添加物入りペレット	・ 基礎物性の把握 ・ 適用性評価
	ナイトライド、シリサイド、U-Mo、等	・ 基礎物性の把握 ・ 適用性評価

重要課題の着手すべき研究開発項目（事故時挙動の把握）

テーマ	対象	研究開発項目
事故時挙動	RIA	・ ATF、新燃料等に関する実験データの拡充 ・ 実機条件に近い熱水力条件、パルス幅の下での試験データ拡充 ・ 被覆管機械特性について、高速加熱、高速負荷条件、被覆管内温度勾配等を模擬した試験データの拡充 ・ 表面熱伝達の機構解明に資する過渡伝熱時の沸騰試験の実施
	LOCA	・ ATF 被覆管、ATCR 等の LOCA 時挙動データの拡充 ・ 水蒸気環境下の高温酸化および高温酸化に伴う脆化挙動評価 ➢ Breakaway、水素影響、等 ・ FFRD の現象把握 ➢ 試験データの拡充、発生条件の明確化と発生時の影響評価、等

© CRIEPI 2025

重要課題の着手すべき研究開発項目（高燃焼度に向けた検討）

テーマ	対象	研究開発項目
高燃焼度化技術開発	燃料特性	・燃焼度延伸時の燃料挙動評価 ➢ 被覆管の酸化腐食、水素吸収、応力ひずみ基準 ➢ FP 放出と内圧増加 ➢ 燃料の中心温度の増加、寸法変化、機械特性、等 ・燃焼度延伸時の集合体挙動 ➢ スプリング力緩和、フレッティング、燃料棒曲がり、等 ・燃焼度延伸時の燃料棒破損特性評価 ➢ 熱特性、PCI、被覆管破損、被覆管機械特性、等 ・燃焼度延伸時の燃料冷却特性評価 ➢ 被覆管脆化、バルーニング、構造材変形 ・燃料延伸時の事故時挙動評価 ➢ LOCA、RIA、FFRD、等
	その他	・炉内滞在期間の長期化、中性子照射量の増加、FP の蓄積等への対応 ➢ 燃料棒デザインの最適化 ➢ PWR:耐食性改良被覆管（M-MDA）の開発、等 ➢ BWR: Fe の濃度を高めた Zr 基合金被覆管の開発、等 ・必要な照射試験の実施と設計データの取得 ・燃料設計コードの開発と、健全性評価による成立性の確認

重要課題の着手すべき研究開発項目（ウラン濃縮度5%超燃料に向けた検討）

テーマ	対象	研究開発項目
ウラン濃縮度 5%超燃料開発	BWR PWR 共通	・コスト削減効果の定量的な評価 ➢ 高燃焼度化、サイクル長期化、出力向上、廃棄物低減、再処理効率化、等 ・濃縮・再転換・成型加工・輸送・保管・中間貯蔵・再処理の関連技術 ・サイクル長期化と高燃焼度化に伴う以下の技術的課題の解決 ➢ ペレットの微細構造変化、ペレットの熱伝導率低下、FP ガス放出率と被覆管内圧の増加、崩壊熱の増加、BP（可燃性毒物）添加量の増加、被覆管の微細構造変化（物性変化、水素吸収、他）、被覆管腐食とクラッド、照射影響に基づく集合体の形状変化、FFRD 特性、等

© CRIEPI 2025

重要課題の着手すべき研究開発項目（燃料挙動モデル開発）

テーマ	対象	研究開発項目
コード開発	PWR、BWR 共通	・ モデルとコード開発と V&V ・ ATF の導入、燃料の高度利用等を考慮したモデル拡張 ・ ベンチマークデータの取得
燃料挙動モデリング（通常時、AOO）	クラッキング、再組織化、中心溶融	・ クラッキングの生成条件とその影響 ・ HBS の形成メカニズム ・ 中心溶融発生による機械的影響および FP ガス放出挙動への影響 ・ 中心空孔と柱状晶の形成モデル
	PCMI	・ 接触モデル（摩擦モデル）の高度化 ・ 応力-ひずみモデルの高度化 ・ MOX ペレットのクリープモデルの高度化 ・ 負荷追従運転導入に向けた PCMI 破損モデルの改良
	PCI/SCC	・ 負荷追従に伴う条件変化や運転長期化の影響評価
	FP ガス放出	・ 結晶粒内拡散のモデルの高度化 ➢ 燃焼度依存性、過渡変化、等 ・ 速度論モデルの高度化 ➢ バブル成長、作用応力 ・ MOX 燃料の FP ガス放出モデル高度化
	伝熱解析	・ ペレット内熱伝達モデルの高度化 ➢ 窒化物燃料、シリサイド燃料、U-Mo 燃料等のモデル開発 ・ ギャップ熱伝達モデルの高度化 ➢ 固体間接触熱伝達モデル（ボンディング、リロケーション）の高度化、混合ガスの熱伝導率評価、等 ・ 被覆管外表面熱伝達モデルの高度化 ➢ 熱流動コードや過渡解析コードとのカップリング、等
燃料挙動モデリング（DBA、BDBA）	RIA	・ ATF,新燃料等に対応したモデル拡張 ・ 最新の照射データを反映したモデル改良
	LOCA	
	FFRD	・ 発生条件（燃焼度しきい値等）のモデル高度化 ・ 発生時の影響評価のモデリングとコードへの実装

重要課題の着手すべき研究開発項目（乾式貯蔵燃料健全性実証）

テーマ	対象	研究開発項目
乾式貯蔵時燃料健全性実証	BWR PWR	・ 燃料健全性影響因子の詳細解明 ➢ 被覆管クリープ変形、水素吸収、照射損傷回復、α 崩壊による He 生成の長期挙動、MOX 高燃焼度燃料の長期スエリング、等

©

共通技術基盤SWGにおける実施項目案（4/4）

■ ATF（被覆管、ペレット、その他）導入のメリットとデメリットの整理

モチベーション（ユーザー目線で）

・ATFを導入すると既存燃料より高コストとなる（デメリット）。

⇒導入するには、高コスト以上の“メリット”が必要

⇒ATF導入により、どのようなメリット（燃料高度化、等）が発生するか。

⇒燃料高度化（高燃焼度化、高出力運転、長期サイクル、出力調整運転、など）に必要な機能と検討項目の洗い出し（幾つかは欧米が意図→ATFだけでは達成できない。）日本として、どの選択肢が正解なのか。

⇒使用後の中間貯蔵、再処理の観点での整理（原子力委員会からのコメント）

© CRIEPI 2025