

核燃料部会セッション

Advanced Technology Fuel (ATF) の最近の展開について

The Recent Activities of Advanced Technology Fuels (ATFs) in Japan

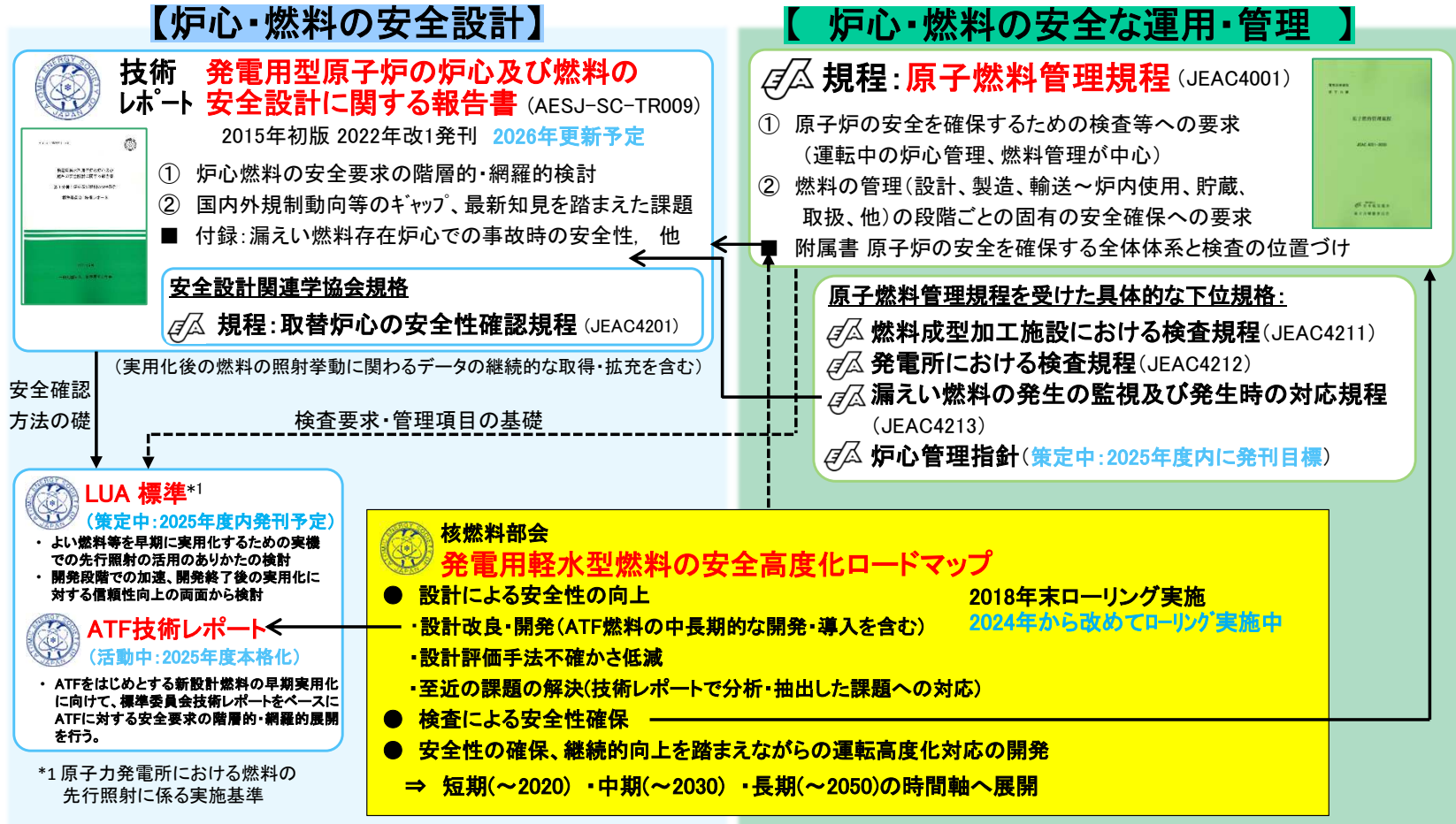
(2) 核燃料部会 軽水炉燃料の安全高度化ロードマップ更新
ワーキングの活動

(2) Nuclear Fuel Roadmap in Nuclear Fuel Division

福田 龍

三菱重工業(株)

炉心燃料の安全性向上へ向けた学協会での体系的活動



燃料((安全) 高度化)ロードマップ (RM) の変遷

2007年 策定：燃料高度化RM

- ・2007年3月特別専門部会報告書「軽水炉燃料の高度化に必要な技術検討」の内容の一部として発刊
- ・将来の炉心高度化を目指した10×10燃料 (BWR)、J合金被覆管 (PWR) の実用化に向けた開発を対象
- ・「民間規格の充実」、「技術基盤の拡充」とともに「燃料高度化ロードマップ」が策定された。

2011年3月 東日本大震災、1F事故発生

2015年～2018年：燃料安全高度化RM

- ・福島第1発電所事故を踏まえ、各運転段階、深層防護のレベルでの安全性を第1に燃料ロードマップ策定
- ・2018年12月「学会 軽水炉燃料等の安全高度化ロードマップ検討ワーキンググループ 活動報告書」として発刊
- ・国内外知見の分析、設計改良、評価手法の適正化、運転管理による安全の担保の広い視点から安全向上のためになすべきことを短期、中期、長期のターゲットごとに割付け。
- ・経済産業省への報告・要望とともに、原子力学会として多様なステークホルダーの共有物としてロードマップとして位置づけ

2024年～：ローリング：燃料安全高度化RM改訂

- ・原子力学会にて自主的な定期見直しを現在実施中。

民間規格類
の充実・整備

燃料ロードマップ検討の手順 と これまでのRMでの対応

技術戦略マップ

第1階層：導入シナリオ
(原子力に求められるミッション)

研究開発が世の中に出ていく道筋と
そのための関連施策を示したもの

第2階層：技術マップ

技術課題を俯瞰し重要技術を絞り込んだもの

第3階層：燃料ロードマップ

求められる機能などの向上・進展を時間
軸上にマイルストーンとして示したもの。

2007年RM 燃料高度化RM	2018年RM 燃料安全高度化RM	2024年～ RM 燃料安全高度化RM
<p>炉心運用高度化に着眼し、主にさらなる高燃焼度化、出力Up等に対応する燃料を志向</p> <p>【炉心燃料高度化】を推進</p>	<p>すべてにおいて、まずは。安全の向上が優先課題とされた</p> <p>【炉心燃料安全性向上】を推進</p>	<p>プラント寿命延長のもと、炉心運用高度化への対応があらためて重要と認識のもとローリング活動を開始</p> <p>【炉心燃料高度化】及び【炉心燃料安全性向上】の双方を推進</p>
<p>燃料高度化に係わる挙動や関連する燃料の破損モードの観点から、燃料開発や安全研究などの対応策の重要性を評価し示した。</p>	<p>バランスよい安全性向上を図るため、深層防護の各階層における重要な課題・取り組み事項を列挙</p>	<p>安全性向上についての技術課題は基本的に2018年安全RMの継続、とともに炉心運用高度化対応の技術課題を展開予定。</p>
<p>主に高燃焼度化、出力増加対応を念頭に</p> <ul style="list-style-type: none"> ・10×10配列/新合金 ・J合金被覆管 <p>の導入を対象として、ステージ1/ステージ2/ステージ3とマイルストーンを設定して策定</p>	<p>短期2020、中期2030、長期2050とターゲットを具体化。</p> <p>安全性向上を</p> <ul style="list-style-type: none"> ・新知見の分析/対応 ・設計(ハード)改良 ・手法(ソフト)適正化 ・運転管理の体系化 <p>から様々な課題を洗い出しATFを長期開発で位置づけ</p>	<p>短期・中期・長期ターゲットの見直し (2030/2040/2050)</p> <p>技術課題としては；</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ATFの導入具体化 ・炉心運用高度化対応のハード/ソフト課題列挙他 (今後検討継続)

目次

2007年 策定：燃料高度化RM

- ・2007年3月特別専門部会報告書「軽水炉燃料の高度化に必要な技術検討」の内容の一部として発刊
- ・将来の高燃焼度化を目指した10×10燃料（BWR）、J合金被覆管（PWR）の実用化に向けた開発を対象
- ・「民間規格の充実」、「技術基盤の拡充」（プラットフォーム）とともに「燃料高度化ロードマップ」が策定された。

2011年3月 東日本大震災、1F事故発生

2015年～2018年：燃料安全高度化RM

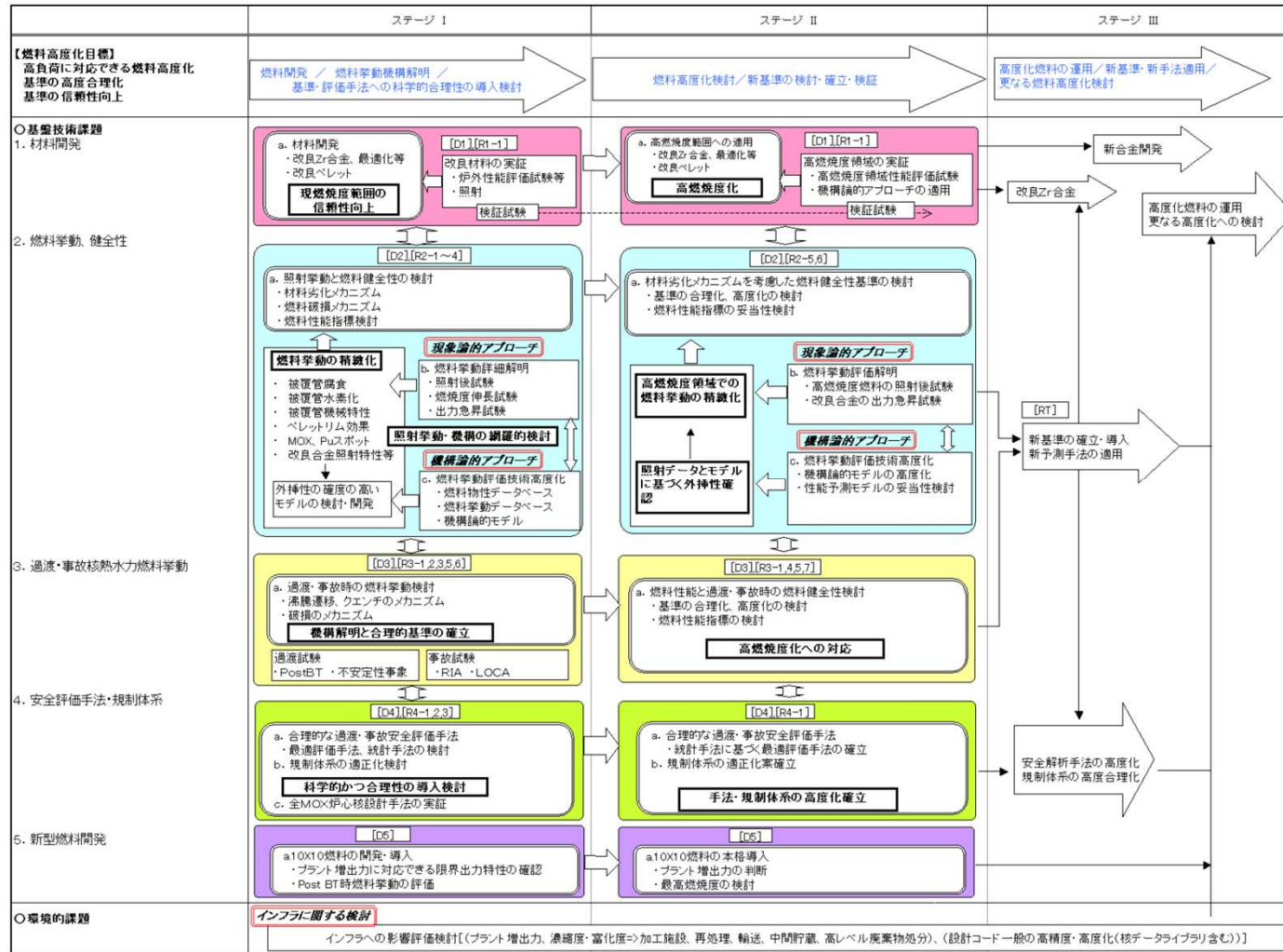
- ・福島第1発電所事故を踏まえ、各運転段階、深層防護のレベルでの安全性を第1に燃料ロードマップ策定
- ・2018年12月「学会 軽水炉燃料等の安全高度化ロードマップ検討ワーキンググループ 活動報告書」として発刊
- ・国内外知見の分析、設計改良、評価手法の適正化、運転管理による安全の担保の広い視点から安全向上のためになすべきことを短期、中期、長期のターゲットごとに割付け。
- ・経済産業省への報告・要望とともに、原子力学会として多様なステークホルダーの共有物としてロードマップとして位置づけ

2024年～：ローリング：燃料安全高度化RM改訂

- ・原子力学会にて自主的な定期見直しを現在実施中。

民間規格類
の充実・整備

2007年 燃料高度化ロードマップ (PWR) の最終形



**炉心運用の高度化
特に**

- ・ 更なる高燃焼度化
- ・ 熱出力向上、 に向けて；
- ・ 燃料健全性評価
- ・ (燃料) 安全評価、について
- ・ データ強化・理論補足すべき挙動
- ・ 評価として余裕向上が求められる項目

を洗い出し、

- ・ 燃料ハード
- ・ 基準等のソフト

の向上・合理化等に向けた道しるべが示された。

↓

J合金(PWR)、10×10/改良合金(BWR：前ページ)の導入に向けた長期的開発の中で、国の関与・協力のパートも明確にした。

目 次

2007年 策定：燃料高度化RM

- ・2007年3月特別専門部会報告書「軽水炉燃料の高度化に必要な技術検討」の内容の一部として発刊
- ・将来の高燃焼度化を目指した10×10燃料（BWR）、J合金被覆管（PWR）の実用化に向けた開発を対象
- ・「民間規格の充実」、「技術基盤の拡充」とともに「燃料高度化ロードマップ」が策定された。

2011年3月 東日本大震災、1F事故発生

2015年～2018年：燃料安全高度化RM

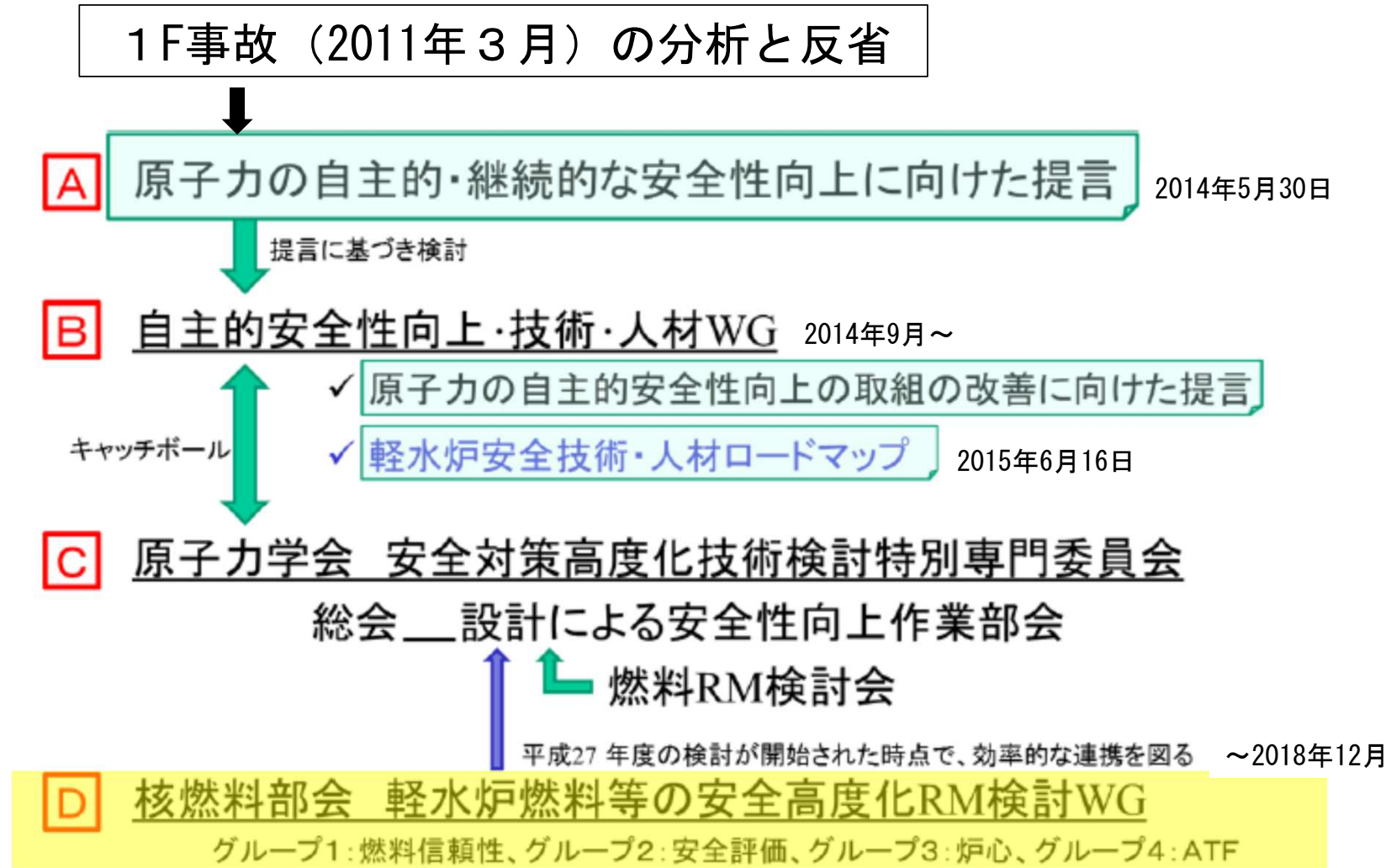
- ・福島第1発電所事故を踏まえ、各運転段階、深層防護のレベルでの安全性を第1に燃料ロードマップ策定
- ・2018年12月「学会 軽水炉燃料等の安全高度化ロードマップ検討ワーキンググループ 活動報告書」として発刊
- ・国内外知見の分析、設計改良、評価手法の適正化、運転管理による安全の担保の広い視点から安全向上のためになすべきことを短期、中期、長期のターゲットごとに割付け。
- ・経済産業省への報告・要望とともに、原子力学会として多様なステークホルダーの共有物としてロードマップとして位置づけ

2024年～：ローリング：燃料安全高度化RM改訂

- ・原子力学会にて自主的な定期見直しを現在実施中。

民間規格類
の充実・整備

燃料安全高度化ロードマップ策定（2018年12月）までの流れ



2018年度発刊 ローリング の特徴

- ・ 2007年度の高燃焼度限定の「燃料高度化ロードマップ」から、1F事故での反省を踏まえて「燃料**安全**高度化ロードマップ」として実質的に新規の策定となった。
- ・ 安全性向上に向けて、以下の視点から多様な課題/項目を列挙；
(第2階層における技術マップで深層防護の階層ごとの課題取り組み事項を列挙・整理)
【安全設計評価】
 - ・ 国内外情報の知見の分析・懸案となる事項への取り組み
 - ・ 設計改良による安全性の向上（中長期的にATF実用化取込み）
 - ・ 評価手法の適正化によるバランスのより安全性評価【安全管理】
 - ・ 運転段階での必要な管理の充実・高度化
- ・ ターゲット：短期(2020年度)：規制側への早期実用化折衝
中期(2030年度)：産業界（電力/メカ）の開発候補の多様なオプション提示
長期(2050年度)：国（経産省）の協力も仰ぐATF等の開発・実用化
- ・ ステークホルダーの分担は明確にせず。（多様なステークホルダーの共通課題も多い）

【参考】2018年度ロードマップ

2階層

技術マップの概要：深層防護階層での課題等

	通常運転時：Lvl1	異常な過渡変化：Lvl2	事故時：Lvl3	DBA(溶融前)	SA(炉心溶融後)：Lvl4
設計改良（ハード）による安全性向上（限界性能向上）	<ul style="list-style-type: none"> ・リーク低減・防止の集合体 ・照射変形（曲り・伸び等）低減集合体 ・通常時材料劣化(水素脆化等)抑制被覆管 ・線出力低減燃料棒（細径等） ・通常時FPガス放出抑制ペレット/温度低減ペレット(熱伝導度増加)、他 	<ul style="list-style-type: none"> ・PCI/PCMI軽減の被覆管・ペレット ・過渡時FPガス追加放出抑制ペレット ・過渡時温度上昇抑制ペレット ・延性/強度増加の被覆管 ・熱水力特性向上燃料(低圧損、DNB/CHF性能向上) 上記はいずれもレベル3まで 	<ul style="list-style-type: none"> ■Non LOCA（含、RIA）：レベル2と同じ。 ■LOCA： <ul style="list-style-type: none"> ・高温酸化による脆化を抑制する被覆管及び集合体部材(→レベル4) ・高温膨れ量を軽減する被覆管 ・破裂/デイスパースル軽減の燃料棒 ・クウェンチ時熱衝撃荷重を軽減する集合体、他 	<p>基本的にレベル3と同じ</p> <p>ATF(事故耐性燃料)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・炉心損傷・溶融を抑制・生じない燃料・制御材 ・高温酸化による脆化を抑制・生じない被覆管 ・水素発生を抑制・生じさせない被覆管 ・溶融しにくいペレット(高融点/高熱伝導率)
設計手法（ソフト）による評価精度向上：評価値	<ul style="list-style-type: none"> ■通常時の燃料挙動予測技術の維持/向上 ■炉心（核熱）解析技術の維持/向上 	<ul style="list-style-type: none"> ■異常過渡時の燃料挙動予測技術の維持/向上 ・燃料棒機械設計コード（過渡時）の改良/高度化（含、開発済コードの早期実用化） ・早い過渡変化でのPCMI挙動/機械的破損の詳細評価する非定常燃料棒コード ■炉心熱流動解析の信頼性向上 ・DNB（CHF）相関式精度向上/適用範囲拡大 ・座屈グリッドの熱水力特性（異常過渡変化&地震 重畳時） 	<ul style="list-style-type: none"> ■一般 ・BEPU安全解析手法 ・安全解析コードの高度化 ■LOCA ・MCOBRA等のBEシステムコードの安全解析への適用 ■Non LOCA ・TRAC等のBEシステムコードの安全解析への適用、 ・3D核熱結合によるポイド反応度帰還及び局所ドップラ帰還を扱うコード ・数値シミュレーション 	<ul style="list-style-type: none"> ■多重故障/多機能喪失事象の評価の充実： ・B-DBAの燃料挙動の把握、予測技術の維持向上 ・DEC（SA未満）評価手法の確立（評価事象等の充実） ・被覆管温度/高温酸化量がDBAを超える領域でのLOCA時挙動データの取得/拡充 	<ul style="list-style-type: none"> ・過酷事故解析/汎用熱流動解析コード ・溶融炉心の挙動の不確かさを低減する詳細補完コード・モデル ・溶融炉心からのFP核種/エアロゾル放出挙動/性状及びCV内挙動 ・崩壊熱データ拡充（長期アクチド）及び不確かさ低減 ・不定形体系（溶融炉心等未臨界性等）の解析手法・技術
設計手法（ソフト）による評価精度向上：基準値、限界値		<ul style="list-style-type: none"> ・PCI破損しきい値見直し ・機械的破損1%歪基準の妥当性 ・DHCしきい値 ・早い過渡変化時での被覆管の(熱)機械的破損の動的効果を取り込んだ評価による基準(CSED)（→レベル3まで） 	<ul style="list-style-type: none"> ・RIA/LOCA時の高燃焼燃料の破損限界 ・Post-DNB/Post-BT(被覆管温度-持続時間)による炉心冷却形状維持基準（特にECR<15%） ・LOCA後長期炉心冷却性維持の具体的判断基準 	<ul style="list-style-type: none"> ・DEC（SA未満）評価の判断基準明確化 ・被覆管温度/高温酸化量がDBAを超える領域でのECCS基準への影響 ・Post-DNB試験、Post-BT試験（炉心冷却形状維持の限界基準） 	
運用段階の管理の体系化・高度化等による設計の担保	<ul style="list-style-type: none"> ・民間規格の策定(炉心管理) ・炉心監視機能(運転余裕)の向上状態監視技術の高度化 ・運転余裕の明示化(取替炉心毎の安全性確認) 		<ul style="list-style-type: none"> ・事故時運転手順高度化 	<ul style="list-style-type: none"> ・SA時運転手順高度化 	

燃料安全高度化 ロードマップ（2018年末版）：技術マップでの課題等を時間軸に展開

ロードマップで包括的・俯瞰的に示された安全性向上及び炉心燃料の運用高度化において、技術レポート、ATF・LUAの活動は大きな役割を担っている。ただし2007RMのような特定の開発対象(J合金、10×10)の導入・実用化まで細かく展開したロードマップ作成には至らず。

			短期 ~2020	中期 ~2030	長期 ~2050
安全性 向上	新知見の収集・分析 懸案・課題の特定と解決		LOCA長期冷却性 被覆管機械的破損 FFRD、他	(⇒ 活動継続)	
	設計による 安全性向上	改良設計 (ハード)	開発済み早期導入 ・ 10×10 ・ MMDA管、等	ATF (Crコーティング) 新材料以外の改良 (電共研開発レベル)	ATF (SiC等)
		手法・モデル 高度化 (ソフト)	開発済み手法・制 度の実用化 ・ BEPU ・ PCIしきい値 ・ DC、TR制度	BEPU安全解析 手法の本格導入	
	運用管理による安全確保		俯瞰的民間規格 (JEAC4001)策定	新検査制度本格化 取替炉心安全性確認 拡張	
炉心運用 高度化	長サイクル、出力Up、 高燃焼度化、出力調整、等		(課題検討等)	本格運用開始 高度化対応燃料・炉心設計、手法	

【参考】2018年末発刊 燃料安全高度化ロードマップ：詳細

原子力 ミッション (1階層目)	ミッションに対する炉心・燃料分野での対応	→ 短期 2020	(2025)	→ 中期 2030	(2040)	→ 長期 2050
安全性の 向上	設計による 安全性向上	① 至近の具体的課題の把握と解決 ・現状分析→余裕少項目重点対応 ・国内外ギャップ分析 →未評価項目/未考慮条件等対応 ・新知見反映/再評価	至近の課題の解決、現象説明等： 例：FFRD、LOCA 後長期冷却、漏えい燃料の安全性、	中期以降も、国内外ギャップの分析、新知見の収集・分析については、継続して必要な事項を評価へ反映していく。		
		② 設計(材料/構造)改良による 安全性向上 (ハード対応)	開発済み設計の早期実用化(設置変更許可不要条件を含む) 例・耐食性改良/水素吸収低減被覆管(PWR/BWR) →通常時～事故時の安全機能維持の限界性能向上 ・10×10型燃料 (BWR) →線出力密度軽減による通常時～事故時の熱的負荷軽減 →型式認証、取安等の柔軟な許認可制度による早期実用化	安全性向上のための設計改良(制御棒設計改良を含む)：可能な短期前倒し ・材料改良：通常時材料劣化低減被覆管、延性増加/強度増加被覆管(含、耐震性)、 FP 放出低減/温度上昇抑制等ベレット、PCM/PCI 低減ベレット 事故時(LOCA、Post-DNB/BT)高温酸化/酸化抑制部材(被覆管/集合体) ・構造改良：通常時漏えい防止設計(振動摩擦抑制、異物捕捉向上)、通常時変形 抑制(曲り等)構造(&材料)、熱的余裕向上設計(DNB/CHF 性能向上)、 地震時/事故時の変形抑制/強度増加構造、(チャンネルボックスも同様) 安全性向上につながる炉心設計(装荷パターン、核的燃料仕様変更、等)	安全性向上のための設計改良： ・中期の設計改良の継続及び新知見等反映 ・抜本的材料/構造変更燃料(含、次世代炉燃料) 例：SiC 管、Th/U ベレット、被覆粒子燃料、 →改良 SS (FeCrAl) 管、Cr コーティング管、等	
	③ 安全評価の信頼性向上 (評価の不確かさ低減及び新知見 等の取り込み) (ソフト対応)	開発済みのコード類の早期実用化： 改良安全設計/安全解析コード 例：TRAC、MCOBRA、等(含、BEPU 法) → トピカルレポート等の柔軟な許認可制度の活用 適用待ちの見直し基準類の早期適用： 例：PCI 破損しきい値、等 → トピカルレポート等の柔軟な許認可制度の活用 → 民間規格(レベル4)の合理的な策定	解析コード類の開発・適用： ・現行の安全設計(燃料・炉心)/安全解析(DBA、SA)コードの改良/高度化 ・設計/解析コードの補充：詳細燃料挙動評価手法、CFD(炉内熱流動、等)、 マルチフィジクス炉内事故時シミュレーション、 SA 評価コードの不確かさ低減：溶融デブリ等の知見の深化、1F 解明の反映、等 DEC の評価手法(事象、判断基準)充実 具体的判断基準類の体系的な策定(含、優先度の高い基準値の見直し/具体化) 例：1%歪基準、PCT 1200℃(@ ECR ゼロ)、地震時応力基準、長期冷却基準、等 基礎データ・知見の拡充と評価への反映： 崩壊熱、ソースターム、燃料 PIE データ、核データ	評価手法の信頼性向上 ・中期の継続及び新知見等反映 ・次世代炉評価手法確立		
	検査/運用等 による 安全性向上	・安全評価の前提/初期条件確認 ・設計評価と合わせての通常時の 安全確認	ROP 制度の導入と浸透(2020/4 開始) 民間規格の体系化：燃料体の安全確保のための上位規程策定	ROP：炉心燃料の安全性確保のための検査の見直し(新知見を踏まえ継続) 炉心管理/炉心監視手法の高度化、代替炉心の安全性確認の柔軟/拡大適用、		
環境負荷の 低減 ・使用済燃料 の削減 ・資源の有効 利用 ・安定供給 (&安全向上)	プラント/炉心運用の高度化： →柔軟サイクル長、ロードフォロー、高燃焼度、 スペクトルシフト、出力向上、高度化 MOX、等 プラント/炉心運用高度化への燃料の対応(濃縮度増加等) ・高度化燃料の設計改良/開発、 ・高度化燃料の炉心設計/安全評価 (含、設計・評価手法の高度化)	高度化 MOX 燃料、高燃焼度燃料の検討・課題抽出 柔軟サイクル長、ロードフォロー炉心の検討	運用高度化に適用する燃料/炉心設計(短中期の安全性向上策を反映) 安全解析(含、短中期の安全性向上方策に追加の安全余裕増加の要否の検討) 高度化燃料に対応する炉心設計・安全解析手法(高度化手法適用+α?)		更なる高度化運用への対応： 例：更なる長サイクル、高燃焼度化、等 →5%超濃縮/インフラ影響 次世代炉への高度化燃料の適用	
基礎/基盤/要素データベースの取得/拡充		燃料挙動素過程研究、燃料照射挙動(オンサイト、ホットラボ PIE)、ベレット基礎データ、核データベース、水化学影響、崩壊熱、被ばく評価ソースターム、SA 時燃料崩壊・溶融物/FP 挙動知見、等				
ミッション を達成する ために必要 と考えられ る試験 (例)	未解決/新知見現象把握の試験 【産、官、学】【官(規)】 燃料開発(安全向上/高度化)の試験 【産】 評価手法構築の試験【産、官、学】、 限界性能把握(基準値策定)の試験【産、官、学】【官(規)】 基礎的データ/知見類拡充の試験【学】【産、官、学】【官(規)】	RIA/LOCA 時の燃料破損がもたらす影響(含、FFRD) LOCA 再循環時デブリ閉塞挙動・性状確認試験、 高燃焼度燃料の RIA/LOCA 燃料破損限界、高度化燃料に向けた熱水力試験、 炉心設計手法高度化のための 3D ボイド率実証熱水力試験、SA モデル高度化試験 Post-DNB 炉心冷却維持限界把握、DEC 事象時の限界性能、 データ拡充：集合体 PIE、崩壊熱、FP ソースターム、核データ、ベレット照射特性、他	燃料の DBA(RIA/LOCA)総合試験、 高燃焼度燃料の RIA/LOCA 燃料破損限界、高度化燃料に向けた熱水力試験、 炉心設計手法高度化のための 3D ボイド率実証熱水力試験、SA モデル高度化試験 Post-DNB 炉心冷却維持限界把握、DEC 事象時の限界性能、 データ拡充：集合体 PIE、崩壊熱、FP ソースターム、核データ、ベレット照射特性、他			
対象プラント (工程は未確定)	既設炉 次期炉(増設) 次世代炉	既設炉への成果反映：主に短期、中期までの成果を順次反映	次期炉への成果反映：最初の増設には、主に短期、中期までの成果(炉心運用高度化を含む)を反映。その後、長期成果を順次反映			次世代炉への成果反映：初号炉に長期の成果を反映

注：短期/中期/長期でひかれたラインは、開始～終了ではなく、成果が得られる(終了する)ターゲットの時期をそれぞれの時期の範囲内で幅を持たせて示したものの。(開始は短中長期とも短期中に開始が基本)

目次

2007年 策定：燃料高度化RM

- ・2007年3月特別専門部会報告書「軽水炉燃料の高度化に必要な技術検討」の内容の一部として発刊
- ・将来の高燃焼度化を目指した10×10燃料（BWR）、J合金被覆管（PWR）の実用化に向けた開発を対象
- ・「民間規格の充実」、「技術基盤の拡充」の必要性とともに「燃料高度化ロードマップ」が策定された。

2011年3月 東日本大震災、1F事故発生

2015年～2018年：燃料安全高度化RM

- ・福島第1発電所事故を踏まえ、各運転段階、深層防護のレベルでの安全性を第1に燃料ロードマップ策定
- ・2018年12月「学会 軽水炉燃料等の安全高度化ロードマップ検討ワーキンググループ 活動報告書」として発刊
- ・国内外知見の分析、設計改良、評価手法の適正化、運転管理による安全の担保の広い視点から安全向上のためになすべきことを短期、中期、長期のターゲットごとに割付け。
- ・経済産業省への報告・要望とともに、原子力学会として多様なステークホルダーの共有物としてロードマップとして位置づけ

2024年～：ローリング：燃料安全高度化RM改訂

- ・原子力学会にて自主的な定期見直しを現在実施中。

民間規格類 の充実・整備

2007年のRMで必要が提起されて以降、以下の通り、充実されてきた。

【学会】

- ・炉心燃料の安全設計技術レポート

- ・先行照射実施基準

【電気協会】

- ・燃料管理関連の各種の規程

- ・炉心管理指針

2021年度 前回ローリング後の検証： 2021/12~2025/8

ロードマップを拠り所に、安全性向上については
バランス良く活動が推進されてきている。

PWR LOCA後長期冷却課題に取り組む
LOCAデブリ解決、
LOCA後燃料耐震、FFRD：継続

BWR 10×10燃料導入審査中（TR制度活用）

		短期 ~2020	中期 ~2030	長期 ~2050	
安全性向上	新知見の収集・分析 懸案・課題の特定と解決	LOCA長期冷却性 FFRD、 被覆管機械的破損他	(⇒ 活動継続)		
	設計による 安全性向上	改良設計 (ハード)	開発済み早期導入 ・10×10 ・MMDA管、等	ATF (Crコーティング) 新材料以外の改良 (電共研開発レベル)	ATF (SiC等)
		手法・モデル 高度化 (ソフト)	開発済み手法・制度 の実用化 ・BEPU ・PCIしきい値 ・DC、TR制度	BEPU安全解析 手法の本格導入	
	運用管理による安全確保	俯瞰的民間規格 (JEAC4001)策定	新検査制度本格化 取替炉心安全性確認 拡張		
炉心 運用 高度化	長サイクル、出力Up、 高燃焼度化、出力調整、等	(課題検討等の 洗い出し)	本格運用開始 高度化対応燃料・炉心設計、手法		

ATF各種燃料について
エネ庁プロジェクト推進中
: Crコート、FeCrAl、SiC

BEPU DBE安全解析コード
・BWR TRACコード 審査中、
・PWR MCOBRA RELAP5
実用化計画推進

電気協会にて
炉心管理指針策定中

第2回ロードマップローリング活動の主な内容/方向（現在活動中）

- ・ 2024年度から開始。2018年末発刊のRMをベースに以下を考慮。
- ・ ターゲット見直し：
 - 短期（2020年度→）2030年度
 - 中期（2030年度→）2040年度
 - 長期 2050年度（カーボンニュートラル目標時期と対応）
- ・ 主要な課題の見直し（含む、アクションの具体化）：今後も継続検討
 - ・ 炉心運用高度化（長サイクル、出力Up、高燃焼度化、負荷追従）
 - プラント寿命延長、一方で新增設計画の遅れ気味、を踏まえ、着手。
 - ・ ATFの実用化の具体化（海外での先行照射実績も踏まえ）
 - SA目的のみにとどまらず、炉心運用高度化目的と絡めての、通常時及びDBEでの導入メリットを明確にしていく。
 - ・ その他諸々：例)国内外知見の継続的追求(FFRD、LOCA後燃料耐震、等)

2025年度 第2回ローリング活動の主要な対象

LOCA後燃料耐震、FFRDを中心に継続検討（PWR）

ターゲットの見直し

短期：2030年、中期：2040年、長期：2050年

ATF及び炉心運用高度化の代表的な開発対象については、2007年RMのようなさらなる国内導入に向けた具体的なロードマップの策定も考えられる。

		短期 ~2020	中期 ~2030	長期 ~2050	
安全性向上	新知見の収集・分析 懸案・課題の特定と解決	LOCA長期冷却性 FFRD、 被覆管機械的破損	(⇒ 活動継続)		
	設計による安全性向上	改良設計 (ハード)	開発済み早期導入 ・10×10 ・MMDA管、等	ATF (Crコーティング) 新材料以外の改良 (電共研開発レベル)	ATF (SiC等)
		手法・モデル 高度化 (ソフト)	開発済み手法・制度 の実用化 ・BEPU ・PCIしきい値 ・DC、TR制度	BEPU安全解析 手法の本格導入	
	運用管理による安全確保	俯瞰的民間規格 (JEAC4001)策定	新検査制度本格化 取替炉心安全性確認 拡張		
炉心 運用 高度化	長サイクル、出力Up、 高燃焼度化、出力調整、等	(課題検討等)	本格運用開始 高度化対応燃料・炉心設計、手法		

ATF各種燃料の
開発のより具体化
導入ターゲットの明確化

BEPU安全解析手法
の本格実用化

炉心運用高度化に
対応する炉心・燃料の
設計(手法)、管理の高度化

燃料安全高度化ロードマップ：もうひとつの検討事項の柱

- ・ 燃料を開発していくのに欠かせないもの：開発インフラと人材
- ・ 開発インフラ：次ページに検討事例を示す。
- ・ 人材：どのような開発・研究テーマが 大学(学生)~産業界(電力・メカ・民間研究所)、国研、規制側にとって、関心が高くかつ一定期間の持続性があるか？
 - ・ ATF、次世代炉燃料
 - ・ 基盤技術、等

燃料開発のための各種インフラの維持・利活用の検討事例

ロードマップに基づく燃料開発を促進するための施設を、国内施設での活用（新規を含む）と既存海外施設での活用と、効果的・合理的に役割分担していけないか、検討中。

開発の段階 (主に照射関連)	開発に必要な施設	施設の活用：国内施設？ 海外施設？	
		国内 (要検討事項)	海外
材料・寸法変化の照射影響	材料試験炉 (PIEを含む)	○	JMTRの代替施設が望まれる
通常照射特性 & モデル策定 & データ拡充	定常照射試験炉 (& PIE)	○ (実機照射 LTA活用)	国内PIE施設の活用機会の増加と人材維持
異常時：PCMI, PCI特性	出力ランプ試験炉 (& PIE)		国内でのランプ試験炉新設は現実的でない
異常時：PCM時限界特性	DNB試験 (未照射試験施設) 照射影響は基本的になし		○ 加：スターン研究施設、等
異常時：RIA, LOCA時限界特性他	RIE, LOCA試験 (& PIE) (未照射 & 照射サンプルを使用)	○ NSRR	国際協力活用も視野に施設の維持を図る
照射データベースの拡充 (主に実機の通常照射後)	ホットラボPIE施設	○	人材も含め仕事確保 (短期は燃料棒単位、中長期的には集合体単位)

まとめ

- 燃料ロードマップは、これまで以下の変遷を辿ってきている。
 - 2007年 炉心運用高度化のための燃料高度化ロードマップ
 - 2018年 1F事故の反省と教訓を生かすべく安全性向上を最優先とした燃料安全高度化ロードマップ
 - 2024年～ 燃料安全高度化ロードマップのローリング（進捗中）
- この間に、安全設計及び安全管理の両面において、学協会における民間規格（標準、規程）や技術レポート類が飛躍的かつ体系的な整備がなされてきている。
- 以上を踏まえ、2024年度からのローリングでは、安全性の継続的な向上とともに、炉心運用の高度化へ向けての必要な事項を盛り込むべく検討を進めている。
- またATFについては、さらなる具体的な導入計画に資するロードマップとして策定していく予定である。

【参考】技術レポート更新、ATF燃料WG、LUA WGの体系的・有機的活動

