

資料1-5
第4回FaCT評価委員会
平成23年2月22日



今後の燃料製造技術開発の 基本的考え方

平成23年2月22日

日本原子力研究開発機構
次世代原子力システム研究開発部門

1. はじめに

- FaCTフェーズ I の評価、5者協議会で確認された高速増殖炉サイクルの早期実用化に向けた取り組みを踏まえ、実証炉への燃料供給との関係を含む今後の燃料製造技術開発の基本的考え方を検討

2. FaCTフェーズ I のまとめ（目的と実施内容）

- FaCTフェーズ I の目的、概要
 - FBR平衡期のFBRサイクルシステムの技術成立性と性能の評価、判断
 - FBR平衡期の燃料製造システム
 - 要求性能：低除染TRU燃料、高燃焼度大型燃料集合体
 - システム構成：簡素化ペレット法＋セル内遠隔製造＋発熱対策
- FaCTフェーズ I の開発対象とした技術開発項目と開発内容
 - プロセス技術：簡素化ペレット法の実現に必要な革新技術4課題について、小型製造試験設備を整備し、MOX試験（最大約1kgMOX規模）、ウラン試験、コールド試験を実施。（小規模MOX試験については、現在も実施中）
 - 脱硝・転換・造粒一元処理技術（簡素化ペレット法の枢要技術）
 - ダイ潤滑成型技術（簡素化ペレット法の枢要技術）
 - 焼結・O/M調整技術（簡素化ペレット法の枢要技術、高燃焼度仕様対応技術）
 - 基礎基盤技術（簡素化ペレット法の枢要技術）
 - 設備・プラント技術：低除染TRU取扱いに必要な革新技術2課題について、実規模モックアップ試験、部分試作試験等を実施
 - セル内遠隔設備開発（低除染TRUの放射線対策）
 - TRU燃料取扱い技術（低除染TRUの発熱対策）

2. FaCTフェーズ I のまとめ（プロセス技術の評価）

■ プロセス技術の革新技術採否判断及び開発成果評価等

□ 革新技術採否判断結果

- 脱硝・転換・造粒一元処理技術：採用（簡素化ペレット法の原料粉末製造技術として成立性有り）
- ダイ潤滑成型技術：採用（簡素化ペレット法のペレット成型技術として成立性有り）
- 焼結・O/M調整技術：検討継続（簡素化ペレット法の焼結技術として成立性有り、ただし、O/M調整については、高燃焼度炉心・燃料の開発成果を踏まえて、さらなる検討が必要）
- 燃料基礎物性研究：採否判断対象外（簡素化ペレット法実現のために今後も継続必要）

□ 開発成果評価、今後の課題

- 簡素化ペレット法は技術成立性の見通し有りと判断
- 現在進行中の小規模MOX試験により、脱硝、転換から焼結、O/M調整に至るペレット製造各段階の粉末及びペレットの特性並びにこれら特性と製造設備仕様及び処理条件との関係を把握、整理し、簡素化ペレット法の基本的な技術を確立した上で実用化に向けた次の開発段階に進むことが必要
- MA、FPの製造プロセスへの影響確認のため、MA、FPを用いた試験研究の進展が必要
- 簡素化ペレット法の基本的な技術の確立、MA,FP影響確認を支える基礎物性研究の充実が必要
- 高燃焼度燃料対応を合理的に行うためには、ゲッターオプションについても注力するとともに、燃料開発成果を適切に反映した燃料仕様取合いの再設定が必要

2. FaCTフェーズ I のまとめ（設備・プラント技術の評価）

■ 設備・プラント技術の革新技術採否判断及び開発成果評価等

□ 革新技術採否判断結果

- セル内遠隔設備開発：検討継続（実機製造設備の概念を具体化した上で高い信頼性を確認するとともに晶析技術及びMA回収技術の動向を踏まえる必要）
- TRU燃料取扱い技術：採用（燃料集合体組立時の成立性を確認）

□ 開発成果評価、今後の課題

- セル内遠隔設備の代表的な保守作業の遠隔保守概念は成立見通しありと判断
- セル内遠隔製造システムの成立性を判断するためには、簡素化ペレット法の基本的な技術を確立し、実機設備概念を固めた上で、設備信頼性、想定すべき保守作業、遠隔保守性等の総合的な評価が必要
- 燃料集合体組立時の発熱対策技術については、成立性有りと判断
- 簡素化ペレット法の原料保管法の見直し（溶液での保管→粉末での保管）に対応した原料粉末保管時の発熱対策についての検討が必要

3. 研究開発を取り巻く状況

- 高速増殖炉サイクルの早期実用化に向けた取り組みについて
(平成22年7月2日、五者協議会)
 - 2025年実証炉、2050年前の実用炉の実現を目指して着実に研究開発
 - 低除染MAリサイクルに関連する技術については、実現までに比較的長期の基盤的な研究開発が必要
 - 燃料サイクルについては、軽水炉から高速増殖炉への移行期を念頭に置きつつ、段階を踏んだ開発を進める
 - 燃料製造技術開発については、第1ステップとして実証炉燃料を高除染MOX燃料として経済性向上技術の成果を反映した製造プロセスで量産し、第2ステップで低除染MA含有燃料製造プロセスを実現し、適切な時期から実証炉の取替燃料として装荷することを目指すことを基本的な方針として開発計画を策定し、2015年に燃料製造技術の実用化像を提示
 - 高速増殖炉サイクルの実用化を一層円滑に進めていくため、関係五者の役割分担を本年度中に検討して、五者で共有

4. FaCTフェーズIIにおける燃料製造技術開発の進め方

- 技術開発手順 -

■ 低除染燃料製造システム完成までの技術開発手順

□ 特に留意すべきポイント

- 燃料を安定的に供給するには、高いレベルの製品品質安定性、設備運転信頼性、プラントのトラブル対応性が必要
- 特に低除染燃料製造システムでは、運転信頼性、トラブル対応性の要求レベル高い
- 高除染簡素化ペレット法製造システムでの量産実績を蓄積し、品質安定性、運転信頼性、トラブル対応性を実機により確認した上で、低除染関連技術を組み入れた低除染燃料製造システムへ移行することにより、低除染燃料の安定供給可能

□ 高除染燃料製造システム開発手順

- 燃料製造技術(現行法プロセス技術、GB設備・プラント技術)の高度化と簡素化ペレット法基本技術確立
- 簡素化ペレット法実機設備・プラント概念構築
- 簡素化ペレット法実機設備・プラントでの高除染燃料製造及びプラント運転実績蓄積

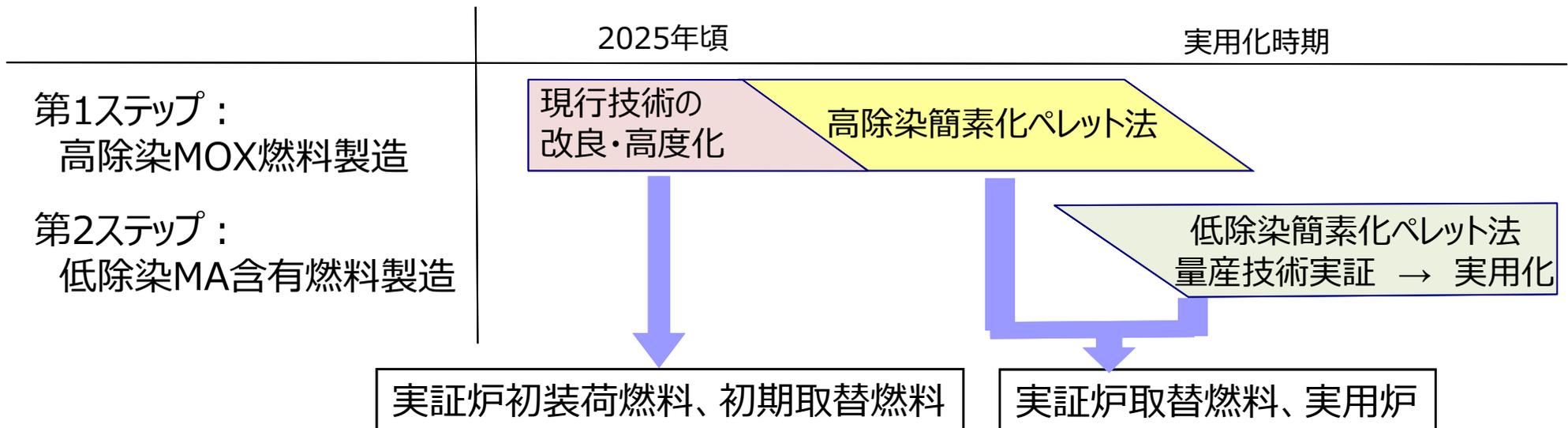
□ 低除染燃料製造システム開発手順

- 製造システム低除染化のための技術開発(低除染TRU燃料リサイクル試験によるプロセス技術開発、遠隔保守・除熱等に関する要素技術開発)
- 実績を蓄積した高除染燃料製造システムに低除染、遠隔技術等を組込んで、低除染製造システムへ移行

4. FaCTフェーズIIにおける燃料製造技術開発の進め方

- 段階的開発 -

- 燃料供給計画(2025年を運転開始目標とする実証炉への燃料供給、実用化時期の燃料供給)と技術開発手順を踏まえて、2ステップで高速炉燃料を実用化
 - 第1ステップ
 - 現行技術の高度化、実用化技術の部分適用による高除染MOX燃料製造 (第1ステップ初期)
 - 高除染簡素化プロセス技術を適用した高除染MOX燃料製造 (第1ステップ後期、第2ステップ技術の実証)
 - 第2ステップ
 - 低除染簡素化プロセス技術を適用した低除染MA含有燃料製造



4. FaCTフェーズⅡにおける燃料製造技術開発の進め方 - 各段階の技術 -

各開発段階に適用する製造プロセス、設備、プラント技術

高速炉燃料製造 開発段階	【現状】 燃料製造基本技術 確立	【第1ステップ初期】 技術高度化、燃料仕 様、原料高次化への 対応	【第1ステップ後期】 簡素化ペレット法適用 (経済性向上等の直接 効果+遠隔製造用製造 技術確立)	【第2ステップ目標】 MA含有燃料製造 技術、遠隔製造技 術確立
実証炉燃料製造 との対応		初装荷燃料、 取替燃料初期	取替燃料	適切な時期の取替 燃料から
燃料製造プロセス	粉末混合法	粉末混合法を高度化	簡素化ペレット法	簡素化ペレット法
燃料製造設備	自動運転だが、 監視、調整必要。 設備寿命は10~15 年。	自動運転の信頼性向 上で監視、調整軽減。 設備寿命20年以上、 又は一部のみを更新 する設計。	自動運転で監視・調整 原則不要。 設備長寿命化追求。	同左。 耐放射線対策必要。
燃料製造プラント 概念	グローブボックス (自動運転、直接保 守)	グローブボックス (自動運転、直接保 守の高度化)	グローブボックス (自動運転、一部遠隔保 守)	セル (完全遠隔保守)

4. FaCTフェーズⅡにおける燃料製造技術開発の進め方

- 開発計画検討における重要なポイント -

■ 十分な工学的信頼性の確保

- 東海MOX施設、海外MOX施設等での経験を十分踏まえ、工学的な信頼性を十分確保するためのR&Dを的確に行うこと。
- 取扱い規模拡大、MA及びFP含有による影響を適切に評価するとともに、燃料製造の基盤的な技術、稼働率向上のための共通設備技術にも注目すること。

■ 十分なロバスト性の確保

- 工程条件の変動、性能の変化に対して対応可能であること。

■ 技術的な盲点の排除

- 産業界、大学、研究機関等の関係者のご意見、関連する最新技術開発動向に常に注意を払い参考とすること。

■ 国際動向の注視

- 各国の特色、事情を十分踏まえたうえで、フランス等諸外国の開発動向に常に注意を払い参考とすること。

■ 核燃料サイクル全体の最適化

- 炉、燃料、再処理等サイクル全体にわたり、トレードオフ関係を踏まえた最適化を行い、これに基づく技術選択、目標の設定を行うこと。
- 廃棄物に対しては、MAリサイクルや低除染化等に伴う種々の得失を評価し、総合的な視点から取り組み方を決めること。

4. FaCTフェーズⅡにおける燃料製造技術開発の進め方 - 2015年時点の成果イメージ -

■ プラント概念検討

- 燃料製造施設実用化像 (低除染簡素化ペレット技術・遠隔保守技術の具体化を踏まえたプラント概念と概略コスト評価)の提示

■ 個別の技術開発

- 現状技術の改良・高度化
 - 燃料仕様の最適化、造粒プロセスの改良、自動運転などについて、実証炉初装荷燃料製造施設準備に必要な技術情報を整備
- 簡素化ペレット法技術
 - 脱硝・転換・造粒一元処理技術、ダイ潤滑成型技術、焼結・O/M調整技術、ペレット検査技術など簡素化ペレット法の基本技術を確立
- 低除染MA含有燃料対応技術
 - ペレット規模の低除染リサイクル試験などにより、プラント概念絞り込みに必要なデータを取得

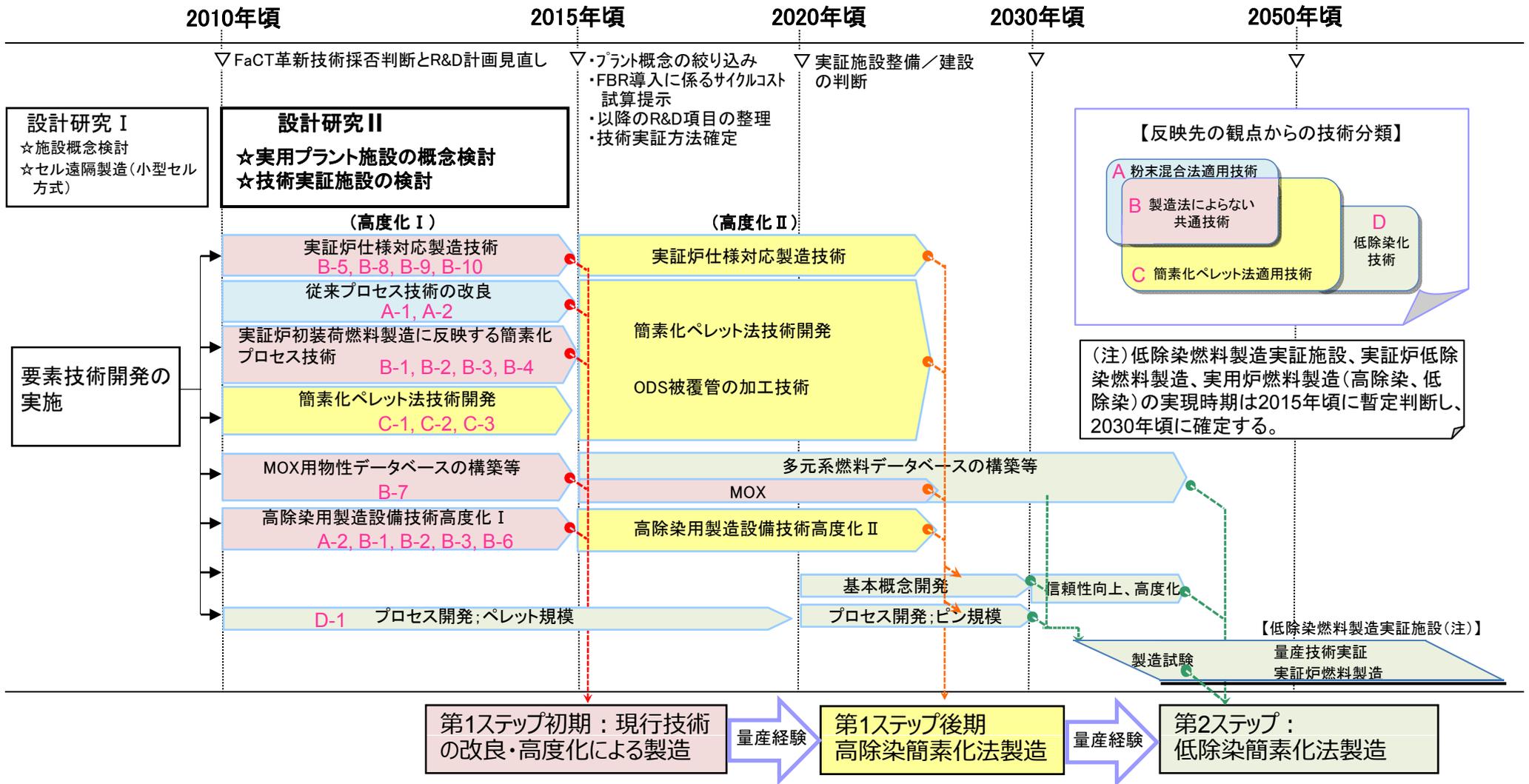
■ 2015年以降の技術開発、技術実証計画の提示

- 実証炉初装荷燃料製造に適用する技術開発成果に基づく設備整備を含めた燃料製造計画を整理
- 上述に加えて簡素化ペレット法・低除染MA含有燃料の製造に適用するプロセスの基本技術開発成果などを踏まえ、技術実証の進め方を含めた以降の技術開発計画を整理



4. FaCTフェーズIIにおける燃料製造技術開発の進め方

- 燃料製造技術開発ロードマップ -



4. FaCTフェーズIIにおける燃料製造技術開発の進め方

- 2015年までの開発計画案：粉末混合法適用技術 -

開発要素	目的	現状	開発内容	目標
造粒プロセスの改良 A-1	造粒プロセスを改良することにより、粉末混合法ペレット製造の合理化を図り、実証炉初装荷燃料製造に反映する。	現在、FBR用MOX燃料製造にはタブレット造粒法が採用されているが、造粒設備の処理能力が上らず製造ラインのボトルネックとなっており、ホールドアップ、高次化Puの熱対策、被ばく管理上の課題にもなっている。	<p>(1)半乾燥系工程用転動造粒法の開発 簡素化ペレット法用の造粒法として開発中の転動造粒法(臨界管理上は減速系)を臨界管理上は半乾燥系の粉末取扱い工程に組み入れることについての実現性を見通す。</p> <p>(2)タブレット造粒の改良 タブレット造粒改良の予察試験を行い、改良効果について評価する。</p> <p>(3)造粒法の選定及び試験 上記(1)、(2)の結果をもとに実証炉初装荷燃料製造に適用する造粒法を選定し、ウラン試験、MOX試験によりその有効性を確認する。</p>	実証炉初装荷燃料製造に適用する造粒設備の設計に必要な情報を整備する。
混合プロセスの合理化 A-2	粉末混合プロセスを改良することにより、粉末混合法ペレット製造の合理化を図り、実証炉初装荷燃料製造に反映する。	<p>【ボールミル規模】FBR用MOXボールミルの規模拡大で当該設備の処理能力増加の直接的効果の他、製品分析数削減等の間接的合理化効果が期待できる。</p> <p>【規格外品のリサイクル】現在、規格外品は粉化処理後粉碎・混合工程にリサイクルされているが、造粒工程/成型工程間にリサイクルすることで、造粒工程までの粉末取扱い量の低減が可能となる。</p>	<p>(1)ボールミルの処理規模増加 大容量ボールミルを開発し、試作機と模擬粉末を用いた試験で性能を確認する。</p> <p>(2)乾式リサイクル混合技術開発 乾式回収粉と造粒粉(原料粉をボールミル後造粒)の混合に適用可能な混合機を選定し、試作機と模擬粉末を用いた試験で性能を確認する。</p> <p>(3)工学規模試験機整備 工学規模試験機を設計、製作し、模擬粉末を用いた工場試験で設計通りの性能が得られることを確認する。開発に際し、将来の合理的な設備更新に配慮した設計とするなど、廃棄物低減を目指した設備開発のモデルケースとする。</p>	実証炉初装荷燃料製造に適用する混合設備の設計に必要な情報を整備する。 燃料サイクル実証施設、実用施設の乾式リサイクル法の基本技術確立に反映する。

4. FaCTフェーズIIにおける燃料製造技術開発の進め方

- 2015年までの開発計画案：両製造法に共通の技術（1 / 4） -

開発要素	目的	現状	開発内容	目標
ダイ潤滑成型技術 B-1	添加剤を使用しないダイ潤滑成型法を開発することにより、簡素化ペレット法の成型技術を確立し、燃料サイクル実証施設、実用施設に反映するとともに、粉末混合法の成型技術を改良し、実証炉初装荷燃料製造に反映する。	<p>【レシプロ式成型機】FaCTフェーズ I でレシプロ式ダイ潤滑成型技術についての開発を行い、実用化のための革新技術として採用と判断し、今後、簡素化ペレット法実用施設の成型技術として開発を継続することとした。</p> <p>【ロータリー式成型機】一方、実証炉用高除染燃料製造においては、グローブボックス用成型機のプレス圧の制約から、レシプロ式成型機では処理能力が現行設備より低下するため、ロータリー式成型機が利用できれば、合理化効果が大きい。</p>	<p>(1)レシプロ式成型機の小規模MOX試験 脱硝・転換・造粒一元処理により得られたMOX粉末を用いた小規模MOX試験を行い、原料粉末特性、成型条件、成型体特性及び製品ペレット品質の間の関係を把握、整理し、原料粉末特性に関する要求事項、成型条件を評価する。</p> <p>(2)ロータリー式成型機の開発 ロータリー式成型機用のダイ潤滑機構を選定し、試験機を製作し、成型試験及びメンテナンス性試験を行い、実証炉初装荷燃料への適用について、レシプロ式との比較評価を行う。</p>	燃料サイクル実証施設、実用施設に適用する成型工程の基本技術を確立する。 実証炉初装荷燃料製造に適用する成型設備の設計に必要な情報を整備する。
焼結・O/M調整技術 B-2	簡素化ペレット法の焼結技術及び高燃焼度燃料用のO/M調整技術を確立し、燃料サイクル実証施設、実用施設に反映するとともに、粉末混合法の焼結技術を改良し、実証炉初装荷燃料製造に反映する。	FaCTフェーズ I の結果、焼結技術については実用化技術としての見通しが見られたが、O/M調整技術については、O/M比仕様が1.97以下の場合、必要な熱処理時間が長く、燃料製造コストへの影響が大きいことから、採用の判断には至っていない。	<p>小規模のバッチ炉及び連続炉模擬横型炉を用いた数kgオーダーの焼結・O/M調整試験を実施する。試験結果をもとに、焼結体密度又はO/M比のバラツキの評価、熱処理条件の最適化、炉の管理技術の評価を通して熱処理時間と焼結体密度又はO/M比の関係を整理する。また、炉内の温度、ガス流及び酸素分圧の空間分布を評価するガス流動解析技術を開発し、量産規模の設備の設計手法を開発する。</p> <p>高燃焼度燃料については、酸素ゲッター等の開発も行い、高燃焼度燃料製造時の耐腐食方策の対応可能範囲と燃料製造への影響を評価し、O/M比仕様設定に反映するとともに革新技術(焼結・O/M調整技術)の採否判断を行う。</p>	燃料サイクル実証施設、実用施設に適用する焼結・O/M調整工程の基本技術を確立する。また、高燃焼度燃料のO/M仕様設定に反映する燃料製造上の影響をとりまとめる。 実証炉初装荷燃料製造に適用する焼結設備の設計に必要な情報を整備する。

4. FaCTフェーズIIにおける燃料製造技術開発の進め方

- 2015年までの開発計画案：両製造法に共通の技術（2 / 4） -

開発要素	目的	現状	開発内容	目標
乾式リサイクル技術 B-3	簡素化ペレット法製造施設の核燃料物質管理の柔軟性向上の観点から規格外品の乾式リサイクル法を確立するとともに、本技術を実証炉初装荷燃料製造の合理化に反映する。	【簡素化ペレット法】規格外品の湿式リサイクルを前提としており、乾式リサイクルの開発は行っていない。 【粉末混合法】現在、規格外品は粉化処理後粉碎・混合工程にリサイクルされているが、造粒工程/成型工程間にリサイクルすることで、造粒工程までの粉末取扱い量の低減が可能となる。	粒度調整機能を有するペレット粉碎設備を整備し、MOX試験を行って、乾式回収粉を乾式リサイクル混合に適した粒度に調整する技術を開発する。	燃料サイクル実証施設、実用施設に適用可能な乾式リサイクル法の基本技術を確立する。実証炉初装荷燃料製造に適用するペレット粉碎設備の設計に必要な情報を整備する。
焼結体外径制御 B-4	遠隔燃料製造の大きな課題であるペレット研削工程を不要にする技術を確立し、燃料サイクル実証施設、実用施設及び実証炉初装荷燃料製造施設に反映する。	現状、ペレット外径を精密に制御できないため、焼結体外径目標値を燃料仕様中央値より大きめに設定し、検査仕様を満足しないペレットに外周研削を施している。微細な研削粉は、再利用が困難で、ホールドアップの原因にもなり、燃料製造上の大きな負担となっている。	マイクロフォーカスCTスキャンによる成型体の外径分布、密度分布等の評価、簡素化ペレット法の小規模MOX試験やMOX製造プロセスのシミュレーション技術開発(B-7)の成果に基づき、造粒粉末の粒度や破壊強度などの特性、成型パターンと成型体の外径分布の関係、さらに焼結における収縮を考慮した外径変化を評価する手法を確立する。これを用いて実証炉燃料ペレット焼結体の外径分布の管理可能範囲を評価し、燃料仕様検討(B-5)に反映する。	燃料サイクル実証施設、実用施設及び実証炉初装荷燃料製造施設のペレット研削工程削除に関する判断に必要な燃料製造側の情報を整備する。
燃料仕様の最適化検討 B-5	炉内性能と製造性の取合いを最適化した実証炉燃料仕様を定め、燃料サイクル実証施設、実用施設及び実証炉初装荷燃料製造施設に反映する。	FBR用MOXペレットにおいては、ペレットの密度及び外径に関する仕様がペレット製造・検査工程に大きな影響を与える。特に、低除染燃料、中空燃料においては、燃料仕様の最適化による燃料製造での負担軽減効果が大きい。	燃料仕様のうち、特に最適化の効果が大きいと考えられる線密度仕様の導入可能性について検討するとともに、ペレット研削削除を可能にするペレット外径仕様を対象として、燃料設計上の要求と燃料製造上の影響を整理する。	製造合理化のための燃料仕様、検査基準の案を提示し、実証炉燃料の基本設計に反映する。基本設計結果を燃料サイクル実証施設、実用施設及び実証炉初装荷燃料製造施設の設計条件とする。

4. FaCTフェーズIIにおける燃料製造技術開発の進め方

- 2015年までの開発計画案：両製造法に共通の技術（3 / 4） -

開発要素	目的	現状	開発内容	目標
ペレット 検査技術 B-6	実証炉燃料仕様に対応するとともに、自動化、運転保守性を高めたペレット検査設備概念を構築し、燃料サイクル実証施設、実用施設及び実証炉初装荷燃料製造施設に反映する。	現行の「常陽」及び「もんじゅ」用のペレット仕上検査設備は自動化されているが、ペレット取扱い異常、データ測定異常等のトラブル発生頻度を減少する等、自動運転技術の信頼性向上が必要である。また、中空ペレット採用等の実証炉燃料仕様への対応が必要である。	燃料仕様最適化検討(B-5)の結果に対応したペレット検査方法を検討するとともに、最新のロボット及びセンシング技術を取り入れ、自動運転の信頼性を向上させたペレット検査設備概念を構築する。 自動化技術についての要素技術開発及び試作試験を経て、量産設備の試作及びモックアップ試験を行い、性能を確認する。	燃料サイクル実証施設、実用施設に適用するペレット検査工程の基本技術を確立する。 実証炉初装荷燃料製造に適用するペレット検査設備の設計に必要な情報を整備する。
基盤技術開発 (MOX用物性 データベース 構築) B-7(1)	MOX燃料の物性データの取得、データベース化、理論的に説明可能な物性式の作成を行い、MOX燃料の製造、設計及び照射挙動評価の基礎物性データを提供する。	格子定数、酸素ポテンシャル、融点、熱伝導率、酸素化学拡散係数などの測定を実施し、測定データのデータベースを作成した。また、製造技術及び燃料設計に反映するために物性式を作成し、MA含有MOX燃料の照射燃料設計や低O/M-MOX燃料製造技術へ反映した。	製造技術及び燃料設計に反映するために、拡散係数、弾性定数、熱膨張率、融点、熱伝導率、比熱などのデータ測定を進めるとともに、蒸気圧測定装置の整備を行い、測定に着手する。また、照射挙動モデルの開発を目指して、温度勾配下における物質移動に関する基礎特性を取得する。さらに、計算科学による物性値予測手法を開発する。	簡素化ペレット法技術開発(B-1~4)の考察、評価に用いる物性データ等を整備するとともに、実証炉燃料基本設計及び許認可データに使用する物性データ等を提供する。
基盤技術開発 (MOX製造プロセスのシミュレーション技術) B-7(2)	適切な製造条件を効率的に見出すために、原料粉、造粒粉、焼結及びO/M調整にかかわる基礎データを取得し、燃料製造の各工程における挙動を予測・評価する技術及び最適製造条件の評価手法を開発する。	MOX燃料の熱処理中のO/M変化及び焼結特性に関する基礎特性を把握した。また、模擬粉末を用いた粒子充填挙動シミュレーション技術の開発を進めている。	粒度分布、破壊強度、摩擦係数などを測定するための粉末特性評価装置を整備し、造粒粉の製造条件をパラメータとして測定を実施する。測定データをもとに、DEM法(離散要素法)による粒子挙動シミュレーション技術の開発を行う。また、焼結・O/M挙動では、熱処理中のO/M、密度、結晶粒径、外径などの変化速度を評価と高温X線回折装置を整備しプルトニウムとウランの均質化学挙動の評価を行うことによって、それらを予測・評価する手法の開発を行う。	粉末挙動シミュレーション技術及び焼結・O/M変化予測技術を開発し、実証炉初装荷燃料の製造条件設定に反映するとともに、簡素化ペレット法技術開発(B-1~4)の考察、評価に用いる。

4. FaCTフェーズIIにおける燃料製造技術開発の進め方

- 2015年までの開発計画案：両製造法に共通の技術（4 / 4） -

開発要素	目的	現状	開発内容	目標
仕様・構造の最適化検討 B-8	炉内性能、製造性、再処理性等の取合いを最適化した実証炉燃料集合体の構造及び仕様を定め、燃料サイクル実証施設、実用施設及び実証炉燃料初装荷燃料製造施設に反映する。	従来の「もんじゅ」燃料等の燃料集合体及び燃料ピンの設計実績をベースに、内部ダクト、集合体の大型化等の実証炉燃料に特徴的な構造、仕様に関する設計・試作を中心に実施している。 燃料製造、再処理との取合いに関する本格的な検討を本年度着手した。	実証炉の設計要求を満たしつつ、安価で製造しやすく解体しやすい集合体構造を実現するため、ラッパ管形状、内部ダクト、燃料ピン固定方式、端栓形状等について構造検討を行い、試作試験、組立試験、機能試験を実施する。	取合いを最適化した燃料集合体構造及び燃料仕様の案を提示し、実証炉燃料の基本設計に反映する。基本設計結果を燃料サイクル実証施設、実用施設及び実証炉初装荷燃料製造施設の設計条件とする。
ピン加工・集合体組立技術 B-9	実証炉燃料集合体構造及び燃料仕様に対応するとともに、自動化、運転保守性を高めたピン加工、集合体組立設備概念を構築し、燃料サイクル実証施設、実用施設及び実証炉初装荷燃料製造施設に反映する。	現行の「常陽」及び「もんじゅ」用の加工組立設備で自動化加工組立技術は確立しているが、実証炉燃料に適用するには、集合体の大型化、ラッパ管肉厚増加、集合体構造の複雑化等の構造、仕様の変更に対応するとともに、発熱、線源強度の増加を考慮する必要がある。	実証炉燃料集合体構造及び燃料仕様の最適化検討(B-8)と連携して、馬乗り型燃料ピン支持構造、内部ダクト付ラッパ管構造、厚肉ラッパ管等の実証炉燃料に特徴的な構造に対応した遠隔自動組立技術の開発を行うとともに、高発熱バンドルのラッパ管挿入技術開発、集合体組立設備と検査設備の合体合理化等を行う。	燃料サイクル実証施設、実用施設に適用する加工組立工程の基本技術を確立する。 実証炉初装荷燃料製造に適用する加工組立設備の設計に必要な情報を整備する。
高燃焼度 ODS被覆管溶接技術 B-10	ODS被覆管の抵抗溶接技術及び非破壊検査技術を開発し、実証炉高燃焼度燃料の燃料ピン加工に反映する。	開発途上のODS被覆管材を用いた小規模試験により、抵抗溶接技術及び超音波検査技術の開発を行い、要求条件を満足する溶接・検査が可能であることを確認した。今後のODS被覆管材の開発とリンクして、溶接・検査技術開発を継続するとともに、量産化への対応、溶接部強度評価が必要である。	(1)溶接・検査技術開発 今後のODS被覆管材の開発成果にもとづき、抵抗溶接及び超音波検査の方法、条件の改良、見直しを行う。また現在、検査法として選定している超音波検査法に代わる水を使用しない非破壊検査法についての調査、検討を行う。 (2)溶接部強度評価 溶接部の強度試験を実施し、燃料設計に用いる溶接部強度データを整備する。	ODS被覆管の溶接、検査方法を選定し、燃料サイクル実証施設、実用施設及び実証炉高燃焼度燃料製造施設の設計に反映する。 溶接部強度基準を整備し、実証炉高燃焼度燃料設計で用いる。

4. FaCTフェーズIIにおける燃料製造技術開発の進め方

- 2015年までの開発計画案：簡素化ペレット法適用技術 -

開発要素	目的	現状	開発内容	目標
Pu富化度調整技術 C-1	簡素化ペレット法の溶液混合によるPu富化度調整技術を確立し、燃料サイクル実証施設、実用施設に反映する。	現時点までに、工学規模の装置における模擬溶液によるコールド試験により、必要な精度のPu富化度調整ができる見通しを得ている。	工学規模の装置において、硝酸ウラニルと硝酸プルトニウムの混合溶液を用いてPu富化度調整試験を実施し、Pu富化度調整精度評価及び調整精度向上手法の検討を行う。	燃料サイクル実証施設、実用施設に適用するPu富化度調整工程の基本技術を確立する。
脱硝・転換・造粒一元処理技術 (脱硝・転換技術) C-2(1)	簡素化ペレット法の脱硝・転換・造粒一元処理技術を確立し、燃料サイクル実証施設、実用施設に反映する。	東海転換施設や六ヶ所再処理工場で2kgHM/バッチの脱硝・転換処理実績が蓄積されている。FaCTフェーズIでは、計算やコールド試験により、バッチサイズを5kgHMに拡大できる見通しを得た。	5kgHM/バッチに対応した実規模試験装置を整備し、硝酸ウラニル溶液の脱硝・転換試験を実施し、マイクロ波脱硝・転換工程のスケールアップ効果を評価する。MOXを処理する場合との差異を考慮した上で、MOX燃料用システムとしての成立性を確認するとともに、今後の設備設計に反映すべき開発課題を抽出する。 5kgHMの大規模バッチの加熱、脱硝、転換プロセスの効率化のための調査、試験を行う。	燃料サイクル実証施設、実用施設に適用する脱硝・転換・造粒工程の基本技術を確立する。
脱硝・転換・造粒一元処理技術 (造粒、一元処理技術) C-2(2)		FaCTフェーズIで行った小規模MOX試験、実規模コールド試験等において、転動造粒法により流動性の良好な顆粒が得られ、適切な設備設計、運転条件設定により短時間で高収率の造粒が可能であるとの見通しを得た。	小規模MOX試験により、転動造粒法の造粒挙動データを蓄積し、得られる粉末をペレット製造試験(B-1~3)で使用する。容器共用化一元処理概念を本格導入し、小規模MOX試験と実規模ウラン試験で粉末特性、運転性等を確認する。 実規模造粒装置に乾燥装置等を付加して造粒設備システムを整備し、コールド試験により、造粒設備システム全体(自動運転を含む)としての性能を確認する。	
湿式リサイクル技術 C-3	簡素化ペレット法の規格外品の湿式リサイクル技術の改良法の可能性を検討し、燃料サイクル実証施設、実用施設に反映する。	FaCTフェーズI設計において規格外品は銀触媒による硝酸溶解後に再利用するとしているが、銀触媒溶解設備の建設費負荷が大きい。	硝酸溶解性が劣る未焼結の原料粉の溶解性向上策の検討を行う。	リワーク技術改良の可能性を判断する。

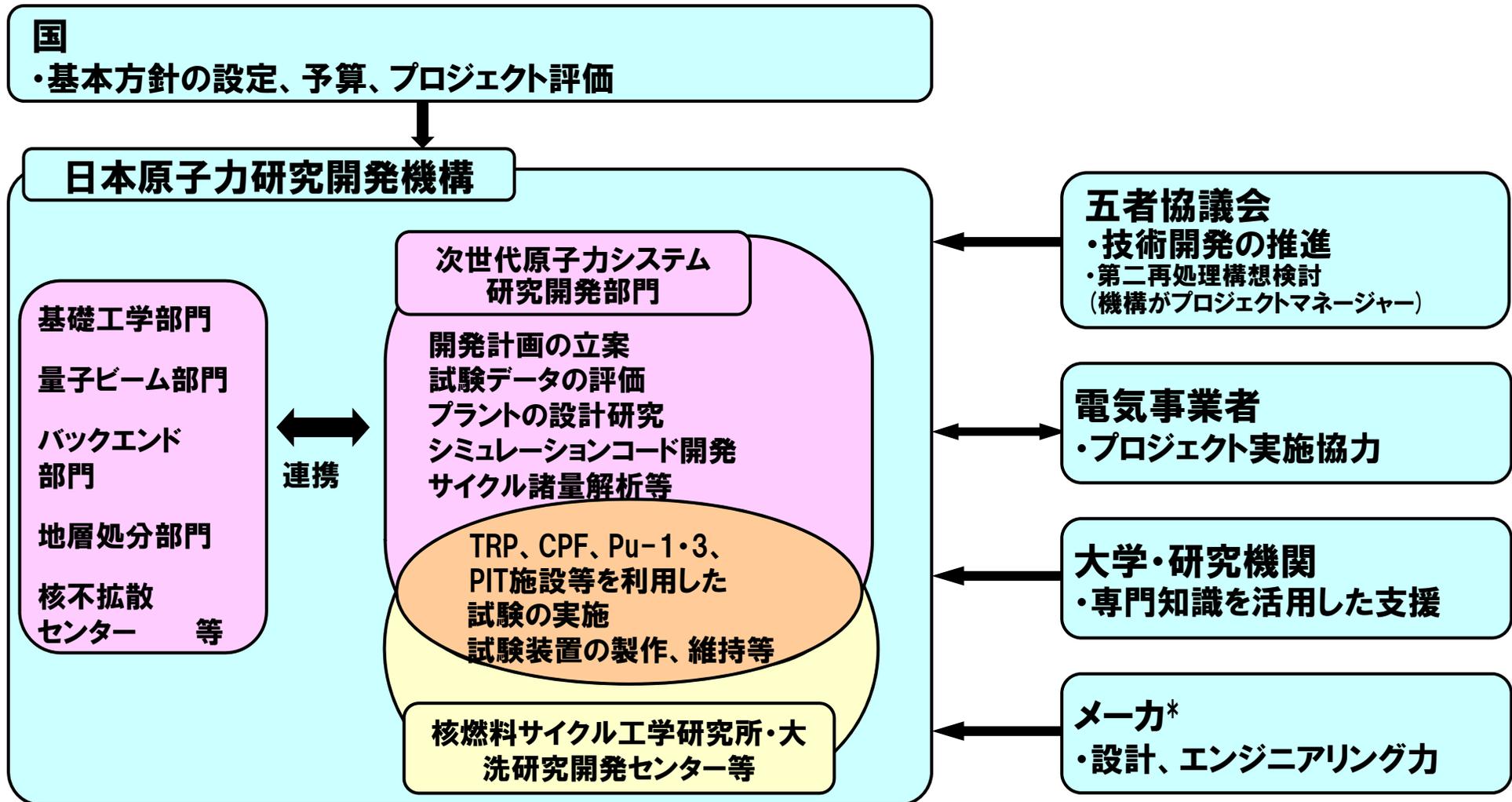
4. FaCTフェーズIIにおける燃料製造技術開発の進め方 - 2015年までの開発計画案：低除染化技術 -

開発要素	目的	現状	開発内容	目標
低除染燃料製造対応技術 D-1	高除染燃料製造施設を低除染化するために必要となる製造プロセス技術及び設備・プラント技術の開発を行い、燃料サイクル実証施設、実用施設に反映する。	Np、Am及び模擬FPを用いた実験室規模のMOX試験の結果、FaCTサイクルの燃料組成範囲では、MA及びFPの含有によるMOXペレット製造プロセス技術への影響は小さいと判断した。遠隔燃料製造については、モックアップ試験、高除染燃料製造設備保守経験者による机上検討、Pu-3での保守作業に関する試験等により、代表的な保守作業の成立性を確認したが、設備運転信頼性、保守頻度、トラブル対応性等の評価は簡素化ペレット法の製造設備概念を固めた上で評価する必要がある。	(1)小規模リサイクル試験 照射済の実燃料を用い、ペレット規模で再処理、燃料製造を実施し、燃料製造各工程におけるMA,FPのふるまいに関するデータを取得する。 (2)遠隔燃料製造概念検討 簡素化ペレット法に関する技術開発(C-2、B-1~3、等)に基づき製造設備概念を固める。これを用いて実用施設概念設計研究でセル内遠隔保守、TRU取扱い等を考慮した網羅的な設計検討を実施し、革新技術課題(セル内遠隔設備)の採否判断を行う。 (3)低除染TRUサイクルについての評価 低除染TRUシステム概念絞り込みのため、低除染TRUサイクルに関する燃料開発、燃料製造上の得失を評価、整理する。	燃料サイクル実証施設、実用施設に適用する低除染化技術を整備するとともに、FaCTの低除染TRUシステムの絞り込み、開発ロードマップ検討に反映する。

4. FaCTフェーズIIにおける燃料製造技術開発の進め方 - 2015年までの開発計画案：設計研究 -

開発要素	目的	現状	開発内容	目標
<p>実用燃料施設 概念検討</p>	<p>要素技術の開発成果をもとにして、燃料サイクル実用施設のプラント概念を提示する。</p>	<p>FaCTフェーズ I において、200tHM/y規模の実用燃料製造施設の概念検討を実施した。当初は経済性のポテンシャルが最も高い大型セル方式を検討したが、燃料供給を高い信頼性で担保するため、トラブル対応の柔軟性、システムの冗長性等に優れる小型セル方式を選定した。 FaCTフェーズ I の段階では、簡素化ペレット法を構成する各工程の製造設備概念が固まっておらず、今後の開発で得られる製造設備概念をもとに、遠隔製造の基本的な考え方を定め、システム・プラント概念検討を行う必要がある。</p>	<p>簡素化ペレット法に関する技術開発(C-2、B-1～3、等)による製造設備概念をもとにセル内遠隔保守、TRU取扱い、設備保守、想定外故障に対する対応等についての基本的考え方を定め、200tHM/y規模の実用燃料製造施設の概念検討を行う。 概念検討の結果をもとに燃料製造コストの概略評価を行うとともに、今後必要な研究開発計画を整理する。</p>	<p>FaCTの低除染TRUシステムの絞り込み、実用システム概念の提示、開発ロードマップ検討に反映する。</p>
<p>実証炉初装荷 燃料製造 事前検討</p>	<p>要素技術の開発成果をもとにして、実証炉初装荷燃料製造に適用可能な技術を選定し、製造施設設計に反映する。</p>	<p>2025年頃に実証炉を運転開始するには、2020年過ぎに実証炉初装荷燃料の製造を開始する必要がある。 五者協議会において、複数の初装荷燃料供給オプションを上げ、それらの実現可能性を検討している。供給オプションの選択、実施主体決定等についての進め方は、今後、五者協議会で調整、確認する予定である。</p>	<p>供給オプションの検討を進めるとともに、要素技術開発(A-1、2及びB-1～9)の成果を反映して、実証炉初装荷燃料製造に適用できる技術を選定する。 仏国との協力による実証炉燃料供給合理化の可能性について検討する。</p>	<p>実証炉初装荷燃料製造に適用する技術を選定し、製造計画に反映する。</p>

5. 燃料サイクル技術開発の体制



* : メーカーのエンジニアリング力が期待されるR&Dや設計検討等をメーカーに発注しながら、サイクルの枢要技術を機構に集約。