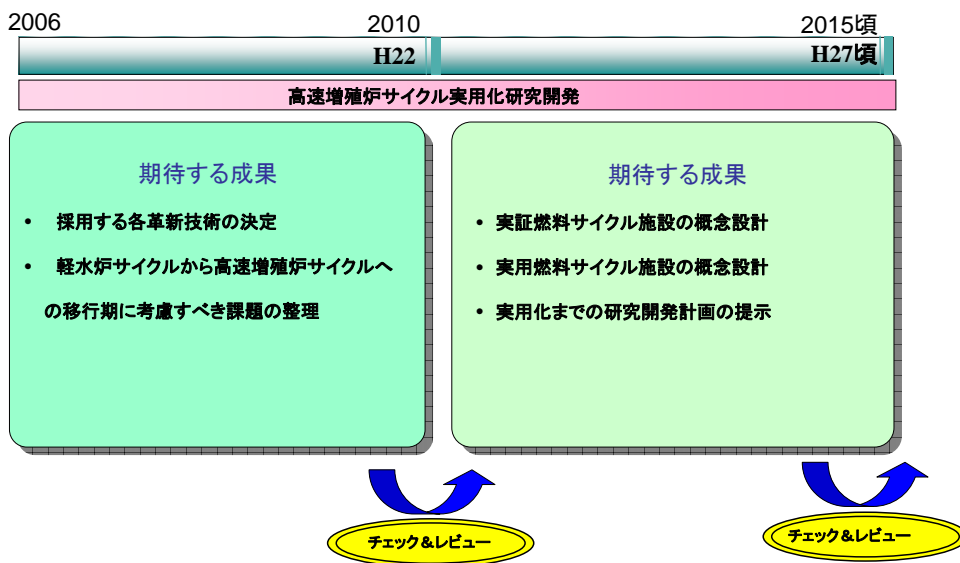


2015年までの研究開発計画

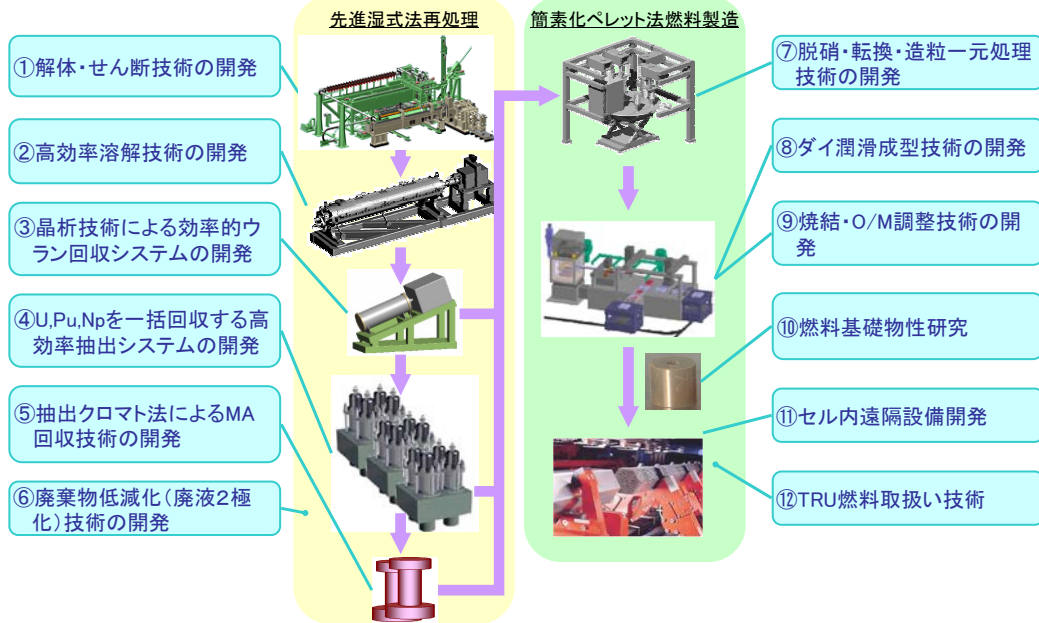
— 主概念: 先進湿式法再処理 + 簡素化ペレット法燃料製造 —

2015年までの燃料サイクルシステム研究開発の進め方



燃料サイクルシステムに関する2015年までの技術開発課題

(先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造)



燃料サイクルシステムの2015年までの研究開発計画(再処理)

項目	2010	2015	評価・判断のポイント	代替技術
設計研究	・実用及び実証施設の概念構築 ・高速増殖炉サイクル導入期の検討	概念設計研究(安全設計、周辺工程の設計) シナリオ解析、プラント概略仕様及び設備検討	最適化設計研究(要素技術開発の進展を考慮したシステムの最適化)	-
	解体・せん断技術の開発	・機械式解体システム及び短尺せん断技術の開発	要素機での基本性能確認、実燃料せん断データ把握 システム試験機の設計・製作・コールド試験・評価、遠隔保守性検討	1 工学規模ホット試験施設(総合システム実証試験設備)の設計へのプロセスデータ反映 1 工学規模ホット試験施設(革新技術試験装置)の設計へのプロセスデータ反映
高効率溶解技術の開発		・高効率溶解プロセスの開発	各種溶解条件の影響評価 溶解計算コード改良	2 工学規模ホット試験施設(総合システム実証試験設備)の設計への機器性能データの反映
	・高効率溶解装置開発	基本構造の検討 部分モックアップ試験機の設計・製作・試験(コールド、ウラン)	3 プロセス開発及び装置システム開発の成果に基づき(革新技術の決定、操業条件提示、実用化見直し判断)	-
晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発	・高DF晶析技術の検討	FP同位体システム解明、結晶洗浄技術の検討(ウラン) ネット 工学規模ホット試験に向けたプロセスデータ拡充整備(操作条件最適化)	4 プロセス開発成果及び装置システム開発成果に基づき(工学規模ホット試験施設の施設整備開始の判断)	従来型Purexベース技術
	・連続晶析装置の開発	基本構造、計測制御システム、遠隔保守構造の検討 工学規模試験機の設計・製作・試験(コールド、ウラン)	5 実用機器の性能(処理速度、除染性能等)の確認、実用化見直し判断	従来型Purexベース技術
U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発	・U,Pu,Np一括回収プロセスの開発	Np(U,Pu)抽出挙動の確認、一括回収プロセス条件の最適化 抽出計算コード改良	6 工学規模ホット試験施設(総合システム実証試験設備)の設計へのプロセスデータ反映	従来型Purexベース技術
	・遠心抽出器システムの開発 ・大容量遠心抽出器	工学規模システム試験(耐久性、インライン計装技術、システム制御性、遠隔保守性検討)(コールド、ウラン) 基本性能確認、システム特性把握、遠隔保守構造検討(コールド、ウラン)	7 革新技術試験及び総合システム実証試験結果に基づき先進型再処理技術の実用化見直し判断	従来型Purexベース技術
抽出クロマト法によるMA回収技術の開発	抽出クロマト法によるMA回収プロセス開発	吸着材(抽出剤)の分離性能比較評価、安全性評価、使用済吸着材処理方法検討 回収フローシート構築、MA、FP元素挙動評価(コールド、ホット)	8 周辺工程でのソルトフリー化検討、濃縮妨害試薬排除・硝酸分解技術検討	従来型Purexベース技術
	抽出クロマトプロセス機器開発	要素試験(カラム内流動性、安全性・耐久性評価)、遠隔操作性及び計装・制御 工学規模プロセス試験用機器の設計・製作・試験(コールド、RI)	9 ソルトフリーオフガス洗浄装置、硝酸分解装置の要素試験、モックアップ装置による試験	-
廃棄物低減化(廃液2種化)技術の開発	・ソルトフリープロセス技術開発	周辺工程でのソルトフリー化検討、濃縮妨害試薬排除・硝酸分解技術検討	10 設計支援データ、試験条件	-
	・ソルトフリー機器開発	ソルトフリーオフガス洗浄装置、硝酸分解装置の要素試験、モックアップ装置による試験	11 基本設計 安全審査、詳細設計、設工認 施設整備 革新技術試験 総合システム実証試験	-
工学規模ホット試験	・設計、許認可 ・施設整備、試験	基本設計 安全審査、詳細設計、設工認 施設整備	12 革新技術試験 総合システム実証試験	-

▼ 革新的な技術の採否の判断

◆ 各課題の主要なチェックポイント

燃料サイクルシステムの2015年までの研究開発計画(燃料製造)

項目		2010	2015	評価・判断のポイント	代替技術		
簡素化ペレット法	設計研究	概念設計研究	最適化設計研究		-		
	脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発	原料粉末調整プロセス開発 (Pu富化度調整・転換・造粒)	小規模試験設備整備	製造性評価試験	品質向上試験	条件最適化試験	・従来型ペレット法ベース技術 ・高除染体系でのグローブボックス内製造システム
		遠隔保守対応量産技術開発	プロセス選定試験、遠隔保守対応設備開発				
	ダイ潤滑成型技術の開発	ダイ潤滑型プロセス開発	小規模試験設備整備	製造性評価試験	品質向上試験	条件最適化試験	・従来型ペレット法ベース技術 ・高除染体系でのグローブボックス内製造システム
		遠隔保守対応量産技術開発	プロセス選定試験、遠隔保守対応量産設備開発				
	焼結・O/M調整技術の開発	焼結・O/M調整プロセスの開発	小規模試験設備整備	製造性評価試験	品質向上試験	条件最適化試験	・従来型ペレット法ベース技術 ・高除染体系でのグローブボックス内製造システム
		遠隔保守対応量産技術開発	量産用連続焼結炉の開発				
	燃料基礎物性研究	基礎物性と燃料設計コードの開発	実験的研究(物性データ測定)	理論研究(計算化学による物性データ予測手法の開発)			
			照射データ評価/挙動解析コードの開発				
		基礎物性と燃料製造	初期焼結挙動の速度論的評価、O/M変化の測定・調整技術評価	焼結挙動のモデル化			
セル内遠隔設備開発	セル内遠隔設備開発	遠隔対応設備、遠隔ハンドリンク設備、機器監視異常診断技術、分析、検査迅速化の開発				・高除染体系でのグローブボックス内製造システム	
TRU燃料取扱い技術	原料発熱影響評価	熱流動シミュレータによる計算モデルの開発、コールドモックアップ試験				・高除染体系でのグローブボックス内製造システム	
工学規模ホット試験	設備システムの選択 試験施設の設計・建設	試験施設の検討	設計支援データ、試験条件	セル設備を主体とした工学規模ホット試験施設の設計、許認可	Pu第3開発室を利用した工学規模ホット試験施設の設計、許認可	-	

▼ 革新的な技術の採否の判断

◆ 各課題の主要なチェックポイント

燃料サイクルシステムの設計研究

これまでの設計研究成果

- 主工程の最小化に着目して検討を実施し、開発目標を高いレベルで満足する可能性を有する処理規模200t/yの燃料サイクルプラント概念を構築した。
- 高速増殖炉サイクル導入期に関する想定シナリオ設定と関連する諸量評価を実施し、プラント規模や軽水炉燃料再処理に必要な新たなプロセス、機器などを検討した。



- 軽水炉燃料の処理に必要な機器
 - ・集合体反転機を追加
 - ・グリッドスベータ部を処理する成形機を追加
 - ・エンドピース洗浄槽を追加
 - ・第二晶析設備を追加
- シナリオ整合する設備の変更をさらに検討

移行期プラントの前処理設備セル断面図

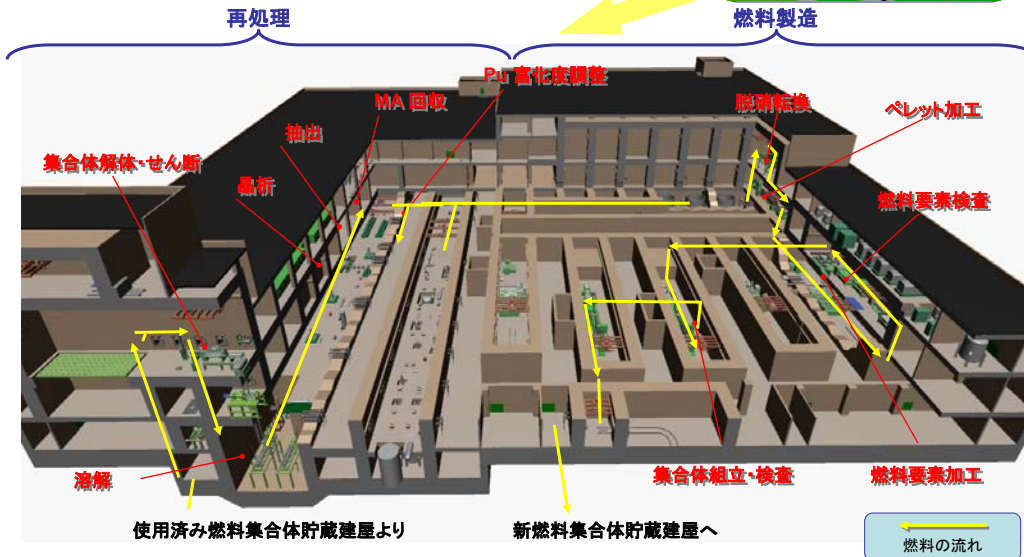
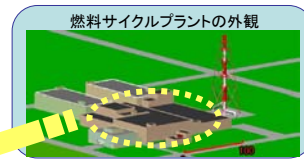
今後の設計研究の課題

- 工学規模ホット試験
 - 燃料サイクル実証施設の設計に反映させる為に、要素技術開発の進捗状況を考慮して再処理及び燃料製造の工学規模のホット試験とその準備をそれぞれ早期に実施
 - その為に、試験施設として安全審査を受けられる内容の基本設計を実施
 - 将来の新たな技術に関する試験も実施可能な、柔軟な対応の取れる施設、設備の構築
- 燃料サイクル実証施設
 - フェーズⅢ以降で実施する基本設計のベースとなるよう、実証に必要なプロセス及びプラントの規模、系統構成などを具体的に定めて施設の基本設計を構築
- 2050年頃の実用化を目指した燃料サイクル実用施設
 - 安全設計、周辺工程の設計、要素技術成果を取り込んだプロセスやシステムの最適化
 - 国内の政策・技術動向を踏まえ、高速増殖炉サイクルへの移行期の適切なシナリオを抽出
 - シナリオ解析を基に、軽水炉、高速炉、プルサーマル燃料を合理的に処理できるプラントの仕様検討
 - 代替技術等の評価とプラントへの適用可能性の検討

燃料サイクルシステムの設計研究計画

分類	2010	2015	設計内容
1.採用する各革新技术の決定 ・要素技術開発に伴う設備設計、評価 ・代替技術等の評価	各革新技术の決定		<ul style="list-style-type: none"> ・要素技術開発の成果を基に設備設計を実施して設計要求値への適合性を評価する。 ・分離技術などに関する代替技術等の比較評価を実施する。
2.工学規模ホット試験 ・再処理試験施設 ・燃料製造試験施設	基本設計	許認可/詳細設計/建設	試験開始
3.高速増殖炉サイクル導入期の検討 ・シナリオ解析 ・プロセス、設備概念検討と評価 ・プラント概略仕様検討(専用、共用) ・研究開発計画ドラフト作成	概念検討	概念設計	基本設計
4.燃料サイクル実証施設 ・再処理施設の概念検討、概念設計 ・燃料製造施設の概念検討、概念設計		第2再処理工場に関する国の議論	実証方策の提示
5.燃料サイクル実用施設(再処理+燃料製造) ・安全設計検討 ・周辺工程設計検討 ・施設の基本設計			実用化像の提示
6.実用化までの研究開発計画の提示			研究開発計画の提示
			<ul style="list-style-type: none"> ・先進湿式法の革新技术及び総合システム試験を2015年に開始できるための設計、建設を実施 ・簡素化バレット法によるTRU燃料製造のシステム試験を2020年頃から開始できるための設計を実施 ・燃料サイクルシナリオを解析し、処理量、導入時期、回収製品の取り扱い等を検討する。 ・最適な除染度などの仕様や処理プロセスの選定する。 ・実現の可能性が高いプラントの概念を抽出、プラント仕様と処理プロセスを決定する。 ・プラント概念成立に必要な新たな技術の研究開発計画を策定する。 ・実証に必要な施設規模、系列数などを確定して施設の基本設計を構築した後、概念設計を実施する。 ・分離回収設備の寸法や基数に影響する核的制限値を定め、これに基づく安全設計を行う。火災・爆発や閉じ込めについても解析、評価を行う。 ・従来、詳細な検討の不足していた換気や電気設備を検討し、建屋の構造も構造強度などを考慮して再検討する。 ・要素技術開発の進展や炉心設計の進捗を考慮して、設計の内容の最適化を図る。

2005年までの設計研究の成果
 ー処理規模200t/yの燃料サイクルプラントの概念図ー



再処理工学規模ホット試験施設

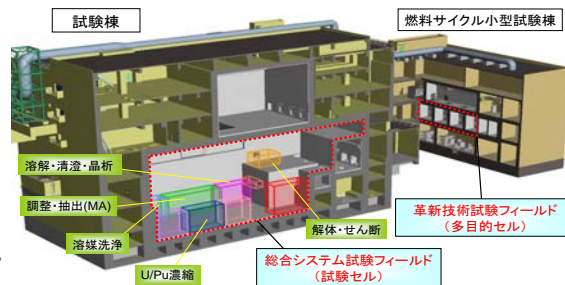
再処理に関して、先進湿式再処理法の革新技術及び総合システムに関する工学規模での試験を2015年から実施する。そのため、試験施設の基本設計、安全審査、詳細設計、建設を実施する。ホット試験では、先進湿式法の革新技術やシステム、プラントに関する性能や運転、保守に関する実証データを順次提示して、実証燃料サイクル施設の設計に反映する。

(役割)

- 実験室規模(～0.1kg/h)より核物質取扱量を増やし、革新技術(晶析、抽出クロマト等)について設備単位でのホット試験(革新技術ホット試験)を行い、装置挙動や製作性を考慮した最小限の工学規模での性能データを把握する。
- 解体・せん断から溶解、抽出等の一連の先進湿式再処理プロセス全体をシステムとして連結したホット試験(総合システムホット実証試験)を行い、実用化に向けた実証データを把握するとともに、技術確立を目指す。

(研究開発実施内容(案))

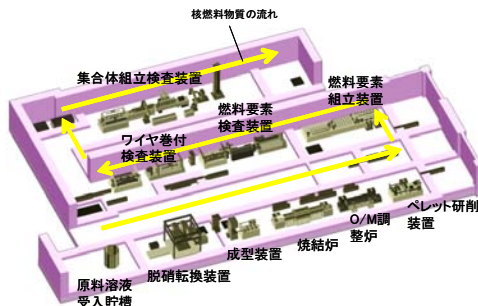
- 革新技術ホット試験(1kg/h程度の機器能力)
 - ー晶析設備のR&D
 - ーMA回収用抽出クロマトグラフィー設備のR&D
 - ーその他革新技術に関するR&D
- 総合システムホット実証試験(10kg/h程度機器能力)
 - ー解体・せん断から抽出等、一連の先進湿式プロセスの工学規模における総合システムを実証。
 - ー機器、設備の運転経験、プロセス制御性等のプラント運用技術に関する知見や開発目標達成を見通すための評価データの取得、および技術の確立。
 - ーMA燃料の原料供給
 - 試験により得られるMA(Np, Am, Cm)を回収し、燃料製造工学規模ホット試験施設へ供給。



【再処理工学規模ホット試験施設の概念】

燃料製造工学規模ホット試験施設

燃料製造に関して、TRU燃料を扱う簡素化ペレット法の自動燃料製造システムや遠隔保守・補修に関して2020年頃から工学規模で試験を実施する。そのために、セル構造を主とした試験施設の概念設計、基本設計を実施する。



(役割)

- 低除染TRU燃料を対象とした製造設備の自動操作性及び遠隔保守補修性の実証
- 低除染TRU試験燃料集合体の製造(1t HM/年程度)

(研究開発実施内容(案))

- 低除染TRU燃料によるセル内遠隔製造の実証
 - 遠隔対応製造設備の実証
 - 保守・補修技術の実証
 - 新たな検査技術を用いた品質管理の実証
 - 発熱影響の確認

ホット工学試験設備(セル構造設備)配置概念の一例

設計研究に関する2010年の成果

1. 採用する各革新技術の決定

要素技術開発において実施するホット試験による原理の確認やコールド試験による工学規模へのスケールアップ見通しの確認などの成果を基に、実用燃料サイクル施設に適用する革新技術の成立性を見極める。具体的には、革新技術を含む設備設計を実施して、設計要求への適合の可否を判断する。なお、代替技術等についても比較評価し、その適用性を検討する。

- 運転管理方法(運転手順、制御などを含む)
- 安全設計(溶媒、試薬の物性データなどを含む)
- 保守、補修方法(遠隔ハンドリング技術の適用などを含む)
- 設計要求への適合と代替技術等との比較評価

2. 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行期の検討

移行期に必要な軽水炉再処理技術に関する検討を実施し、2010年からの国の議論にデータを提供する。

- シナリオ解析、評価
- 軽水炉再処理に関するプロセス候補概念の抽出と評価
- 高速増殖炉燃料再処理との共用の検討
- 次世代軽水炉再処理技術に関する2010年以降の研究開発計画

【革新技術】
(先進湿式再処理法)
✓機械式解体
✓短尺せん断
✓高効率溶解
✓晶析、結晶分離
✓U-Pu-Np共抽出
✓抽出クロマト
(簡素化ペレット燃料製造法)
✓脱硝、転換、造粒
✓ダイ潤滑成型
✓焼結、O/M調整
等

設計研究に関する2015年の成果

1. 実証燃料サイクル施設(再処理+燃料製造)の概念設計

2030年頃から運開する実証燃料サイクル施設のプロセス及びプラント概念について検討する。

再処理に関しては、施設の概念設計で以下の設計情報を整備し、2015年以降に実施する基本設計に反映させる。

- プロセスフロー図(分離などの原理や造粒のプロセス条件確認などの成果を反映)
- 物質収支、放射能収支(分離などの原理や造粒のプロセス条件確認などの成果を反映)
- 主要機器仕様、機器図(機器開発、機器設計の成果を反映)
- 建屋図、機器配置図(機器の仕様、保守・補修方法の検討結果を反映)
- 主要プロセスの制御フロー図(機器の運転管理方法の検討結果を反映)
- 安全評価

など

燃料製造に関しては、プロセス開発は進むものの、主な工学規模の機器開発がそれに続く計画として
いることから、プロセスに関するフロー図や物質収支などに関して設計し、施設概念を構築する。

2. 実用燃料サイクル施設(再処理+燃料製造)の概念設計

革新技術の決定を含めてプラント全体の概念に関して検討し、2050年頃の高速増殖炉サイクル導入時期に必要な実用燃料サイクル施設の主要な設備、建屋の概念を提示する。また、ウラン粗分離技術などに関して海外の技術を含めた代替技術等との比較検討を行い、適用可能性について検討する。

- 主要なプロセス概略フロー図(分離などの原理や造粒のプロセス条件確認などの成果を反映)
- 主要物質の物質収支(分離などの原理や造粒のプロセス条件確認などの成果を反映)
- 主要機器仕様、機器概略図(機器開発の成果を反映)
- 建屋図、機器配置図(機器の仕様、保守・補修方法の検討結果を反映)
- 代替技術等の適用可能性の検討

3. 実用化までの研究開発計画の提示

① 解体・せん断技術の開発 (1/2)

技術の現状

- レーザーを用いた解体方法では、燃料ピン損傷、切断不良等の発生の可能性が高い。一方、機械式切断法の基本要素技術の成立性は見込まれ、解体手順も合理化可能。
- 従来の燃料ピンせん断長(約3cm)では、連続溶解で高効率に高濃度溶解液を得ることは困難。

要求される技術仕様

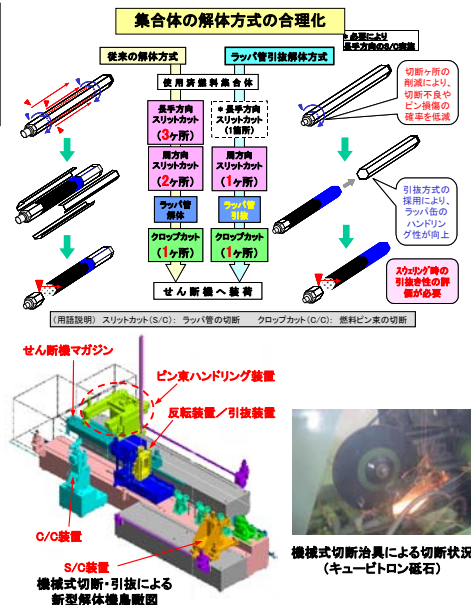
- 解体システムは燃料ピン損傷等の発生が少なく、所定の処理能力を有し、操作性・保守性の点でも優れていること
- せん断システムは所定の高粉化率のせん断片が得られ、処理能力、操作性・保守性の点でも優れていること。
- 両システムを合わせて、機器配置が合理化すること。

技術開発の概要

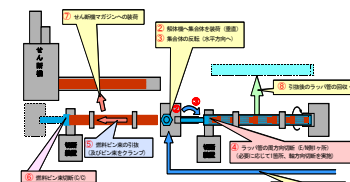
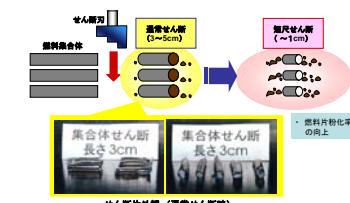
- 要素試験機及びシステム試験機により、機械式切断と燃料ピン引き抜き方式を組合わせた解体システムを実証。
- 要素試験機及びシステム試験機により、所定の高粉化率のせん断片が得られるせん断システムを実証。

主要開発課題

- 解体切断刃の制御・遠隔交換等の実証、高粉化率せん断用の刃・ギャグ等の仕様最適化
- 実使用済燃料のピン束形状、せん断時のピン性状の把握



① 解体・せん断技術の開発 (2/2)

分類	2010	2015	試験内容
機械式解体システムの開発 ・要素機による基本機能確認試験 ・システム試験機 設計 製作 試験(コールド)、評価 試験データの蓄積 ・遠隔保守性検討 ・実機 (工学規模ホット試験用≒実用機) 設計 製作			・要素試験機によるラッパ管切断、燃料ビン引抜等の主要要素部分の機能を確認。 ・システム試験機による燃料集合体ハンドリング、操作性を含めた解体システム性能の実証 ・遠隔保守性の検討、実機設計・製作 
短尺せん断技術の開発 ・要素機による基本機能確認試験 ・実燃料せん断ビンのデータ把握 ・システム試験機 設計 製作 試験(コールド)、評価 試験データの蓄積 ・遠隔保守性検討 ・実機(位置づけは解体機と同じ) 設計 製作			・要素試験機(既存のものを改良し活用)により模擬燃料集合体のせん断試験、せん断刃・ギャグ等の構造の改良 ・システム試験機による燃料集合体ハンドリング、操作性を含めたせん断システム性能の実証 ・遠隔保守設計の見直しを経て、実機設計・製作 

② 高効率溶解技術の開発 (1/2)

技術の現状

- 従来長さのせん断片溶解では、晶析工程供給に対応する高金属濃度溶解液の調製が困難。高粉体化燃料溶解の有効性を確認。
- 回転ドラム型連続溶解槽は工学規模ウラン試験で基本性能確認。

要求される技術仕様

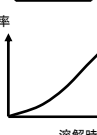
- 所定の高金属濃度溶解液を効率的に(硝酸濃度や溶解温度の運転条件を厳しくせずに、短時間で)得られること。
- 溶解槽は実用プラント規模(200t/y)に対応する処理能力を見込めること。

技術開発の概要

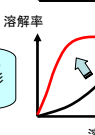
- 高粉化燃料の装荷に対応し、高金属濃度溶解液が得られる溶解プロセスについて、燃料粉化率や粒径等をパラメータとしたプロセス試験を実施し、溶解条件を最適化。
- 高粉化燃料のハンドリング性に優れ、処理容量の増大が図れる連続溶解槽の基本構造を構築、部分モックアップ機にて性能を実証。

主要開発課題

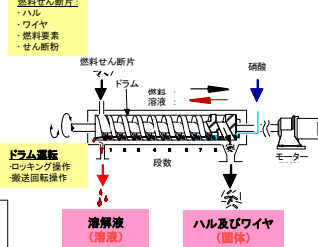
- ホット試験による溶解プロセスデータ拡充。解析コード改良。
- 大型化と運転安定性、攪拌性が両立する溶解槽内部構造の確立。



燃料せん断片



短尺せん断片+粉体燃料



連続溶解槽構造図

連続溶解槽の改良点

- ・粉体化燃料対応:
ドラム内における溶液攪拌性の向上
- ・処理能力の向上:
ドラム径、ドラム長さの拡大

② 高効率溶解技術の開発 (2/2)

分類	2010	2015	試験内容
高効率溶解プロセス開発 <ul style="list-style-type: none"> 各種溶解条件の影響評価 工学規模ホット試験に向けたデータ整備拡充 溶解計算コードの改良 試験結果の反映、溶解条件最適化 工学規模ホット試験に向けた拡張 			短尺せん断片 粉体燃料 ・せん断片長さ ・粉化率 ・粒度 ・溶解温度 ・硝酸濃度 ・溶解槽形状 溶解率 ・不溶解残渣発生量及び成分 ・計算コード改良・拡張 高金属濃度溶解条件における ・せん断、粉碎条件の影響評価 ・温度(低温下)及び硝酸濃度(低温下)の影響評価 ・不溶解残渣発生量及び残渣成分評価 ・溶解計算コード改良と拡張
高効率溶解装置開発 <ul style="list-style-type: none"> 基本構造の検討 部分モックアップ試験機 設計 製作 試験(コールド→ウラン) 実用機の基本設計 実機(工学規模ホット試験用) 設計 製作 			従来ドラム構造(10kg/h) → 大型溶解槽ドラム構造(40kg/h) ・要素試験機により高粉体化燃料装置に対応した高攪拌性ドラム構造を検討 ・部分モックアップ試験機により大型溶解槽の基本構造(臨界安全性等)及び基本性能を実証(せん断燃料片の攪拌・移送性、溶液の流動等) ・実機設計・製作

③ 晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発 (1/2)

技術の現状

○晶析方法の化学的成立性及び連続晶析装置の基本的成立性を確認。

要求される技術仕様

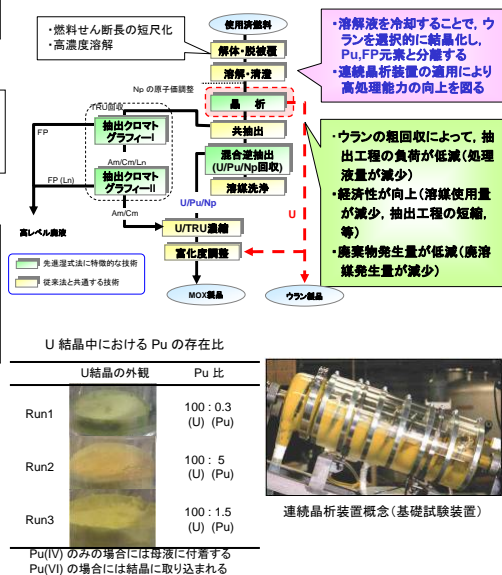
○所定のDFと回収率にて回収ウランを安定して得られること。
○晶析装置は実用プラント規模(200t/y)に対応する処理能力を見込めること。

技術開発の概要

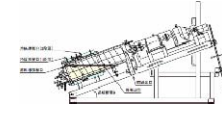
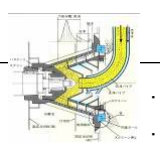
○FP等のウラン結晶への同伴核種の挙動評価及びこれを踏まえた晶析・結晶洗浄精製手法及び操作条件最適化。
○工学規模試験機による高処理能力、安定性、操作性に優れた連続晶析装置の実証。高濃度溶液・ウラン結晶のハンドリング技術等の実証。

主要開発課題

○OCs等、低除染元素に対するDFの向上方策の確立。
○晶析装置の運転制御方策(計装制御技術等)、溶液及び結晶の安定的移送方策等の確立。
○大型化を見通した内部構造、安全性検討(臨界安全等)。



③ 晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発(2/2)

分類	2010	2015	試験内容																							
高DF晶析技術の検討 ・FP同伴メカニズムの解明 ・結晶洗浄技術の検討 ・工学規模ホット試験に向けた晶析プロセスデータ拡充整備 (操作条件最適化)			・FP核種 (Cs等) の析出 (U結晶への同伴)メカニズムの解明、移行抑制方策の確立 ・回収U結晶の洗浄技術の確立																							
			<table border="1"> <caption>結晶中Uに対するPu, FPの除染係数(DF)</caption> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>Pu</th> <th>¹³⁷Cs</th> <th>¹⁵²Eu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Run1 (急冷)</td> <td>洗浄前</td> <td>5.6</td> <td>1.2</td> <td>4.2</td> </tr> <tr> <td>洗浄後</td> <td>25</td> <td>0.8</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Run2 (緩冷)</td> <td>洗浄前</td> <td>4.6</td> <td>0.9</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>洗浄後</td> <td>19</td> <td>0.9</td> <td>19</td> </tr> </tbody> </table>			Pu	¹³⁷ Cs	¹⁵² Eu	Run1 (急冷)	洗浄前	5.6	1.2	4.2	洗浄後	25	0.8	27	Run2 (緩冷)	洗浄前	4.6	0.9	3.5	洗浄後	19	0.9	19
		Pu	¹³⁷ Cs	¹⁵² Eu																						
Run1 (急冷)	洗浄前	5.6	1.2	4.2																						
	洗浄後	25	0.8	27																						
Run2 (緩冷)	洗浄前	4.6	0.9	3.5																						
	洗浄後	19	0.9	19																						
連続晶析装置の開発 ・基本構造の検討 ・計装制御システムの検討 ・遠隔保守構造の検討 ・工学規模試験機(+)設計 製作 試験(ロールドウラン) ウラン試験データの拡充 ・実用機の基本設計 ・実機(工学規模ホット試験用)設計 製作			・要素試験機による冷却性能、結晶スラリー排出等の基本構造の成立性を確認 ・計装制御システム、遠隔保守構造を検討、工学規模試験機により晶析システムの成立性を検証 ・大型機を見込んだ臨界安全形状の検討評価																							
			 <p>連続晶析装置外観図</p>																							
晶析関連技術の開発 ・結晶分離機の成立性評価 ウランデータの拡充 ・高濃度溶液の移送技術の確立 ウランデータの拡充			・臨界安全性、閉じ込め性などに合致した装置構造の実証 ・閉塞等検知・解除機構の確立																							
			 <p>結晶分離機概念構造図</p>																							

④ U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発 (1/2)

技術の現状

- ホットラボスケール試験にてU-Pu-Np一括回収フローシートの有効性を確認。
- 工学規模遠心抽出器システム試験により基本性能を確認

要求される技術仕様

- 所定の回収率及び精製度を満足するU-Pu-Np一括回収フローシートの最適化。
- 大容量化・高耐久性遠心抽出器による、安定した抽出システムの実証

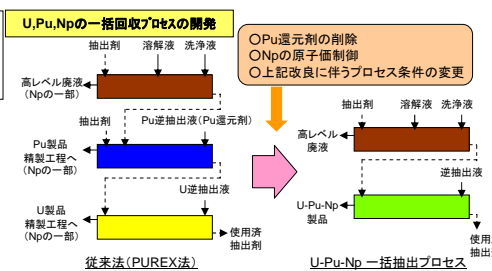
技術開発の概要

- プロセス試験によるU-Pu-Np一括回収フローシートの最適化 (Np抽出挙動への亜硝酸濃度等の影響評価、各元素の低濃度領域におけるプロファイルデータ取得等)。
- 大容量遠心抽出器(40kg/h)の基本性能、新型駆動機構の高耐久性実証、工学規模ウラン試験によるシステムの成立性の確認(遠隔保守性、インライン計装技術等)。

主要開発課題

- ホット試験による抽出プロセスデータ拡充。解析コード改良。
- 円環型ローターの攪拌・分離機能の実証、新型駆動機構の各要素の信頼性確立
- 高速の分離システムに対応するインライン計装技術の確立

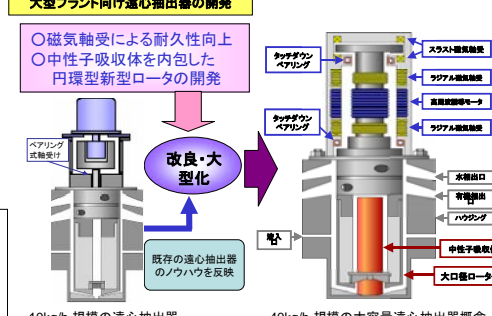
U,Pu,Npの一括回収プロセスの開発



従来法(PUREX法)とU-Pu-Np一括抽出プロセスの比較。従来法はPu逆抽出液(Pu還元剤)とU逆抽出液を別々に処理するが、一括プロセスでは高レベル廃液(高レベル廃液(Npの一部))を抽出剤、溶解液、洗浄液で処理し、Pu逆抽出液(Pu還元剤)とU逆抽出液を別々に抽出する。U-Pu-Np製品は精製工程へ(Npの一部)供給される。

- Pu還元剤の削除
- Npの原子価制御
- 上記改良に伴うプロセス条件の変更


大型プラント向け遠心抽出器の開発



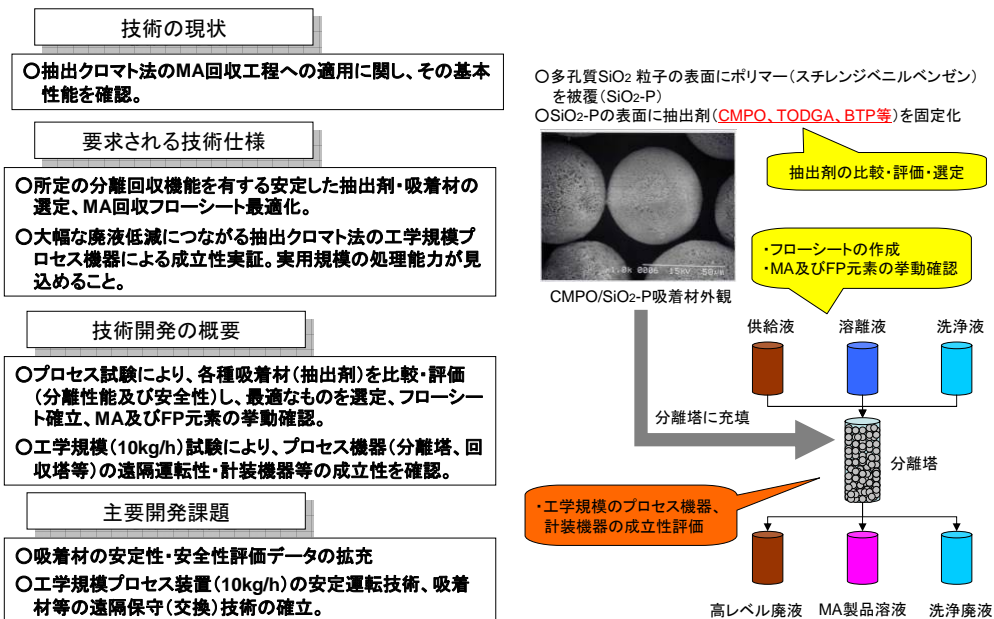
改良・大型化された40kg/h規模の大容量遠心抽出器概念図。既存の遠心抽出器のノウハウを反映し、磁気軸受による耐久性向上、中性子吸収体を内包した円環型新型ローターの開発が行われた。

- 磁気軸受による耐久性向上
- 中性子吸収体を内包した円環型新型ローターの開発

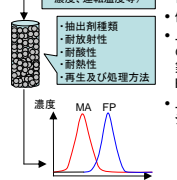
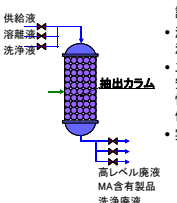
④ U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発 (2/2)

分類	2010	2015	試験内容
U,Pu, Np一括回収プロセスの開発 <ul style="list-style-type: none"> • Np (U,Pu)抽出挙動の確認 • 一括回収プロセス条件の最適化 • 工学規模ホット試験に向けたデータ整備 • 抽出計算コードの改良 試験結果の反映、抽出条件最適化 工学規模ホット試験に向けた拡張 			<ul style="list-style-type: none"> • 溶解液や洗浄液中の硝酸濃度や亜硝酸濃度がNpの抽出挙動に及ぼす影響を評価 • 抽出器内の濃度プロファイルデータの蓄積及び上記評価と併せたプロセス条件の最適化 • 各供給液の流量変動が及ぼす影響評価(マルオベ条件下への対応)によるホット工学規模試験に向けたデータ整備
遠心抽出器システムの開発 <ul style="list-style-type: none"> • 工学規模システム試験 等 • 耐久性の確認 • インライン計装技術の開発 • システム制御性の確認 • 遠隔保守性の検討 • 大容量遠心抽出器(実用機) 基本性能確認 システム特性把握 遠隔保守構造検討 • 実機(工学規模ホット試験用) 設計 製作 			工学規模システム試験機によりシステム成立性を把握 <ul style="list-style-type: none"> • 遠心抽出システムの抽出・逆抽出・溶媒洗浄システムの特性データの取得 • 抽出システムにおけるインライン計測システムを確立 • 異常時の抽出システム挙動の把握と対策の確立 大容量遠心抽出器の開発 <ul style="list-style-type: none"> • 円環型ロータ構造+中性子吸収材により、臨界安全性を確保した新型ロータの抽出性能を評価 • 磁気軸受け駆動部の耐久性・耐放射線性能評価 • 多段システム性能を確認 • 遠隔保守構造を検討 実機の基本設計を実施  <p>工学規模システム試験機抽出ステージの外観</p>

⑤ 抽出クロマト法によるMA回収技術の開発 (1/2)



⑤ 抽出クロマト法によるMA回収技術の開発 (2/2)

分類	2010	2015	試験内容
抽出クロマト法によるMA回収プロセス開発 <ul style="list-style-type: none"> 吸着材(抽出剤)分離性能比較評価 吸着材(抽出剤)安全性評価 使用済吸着材処理方法検討 回収フローシート構築 MA, FP元素挙動評価 回収フローシート改良 			 <ul style="list-style-type: none"> 各種吸着材(抽出剤)の性能比較・評価 各種吸着材(抽出剤)の耐放射線性等、安全性評価 使用済吸着材の処理方法評価 上記各試験結果を基にした抽出剤の選定及びMA回収フローシート構築、高レベル廃液等を用いたMA、FP元素挙動評価 上記試験結果等を基にしたフローシート改良
抽出クロマトプロセス機器開発 <ul style="list-style-type: none"> 要素試験 <ul style="list-style-type: none"> カラム内流動性把握 安全性評価 耐久性評価 遠隔操作性検討 計装・制御法検討 工学規模プロセス機器試験(+) 設計 製作 試験(コールド→R) R試験データの拡充 実機(工学規模ホット試験用)設計、製作 			 <ul style="list-style-type: none"> 種々の条件におけるカラム内流動性、熱的安全性、耐久性評価 吸着材交換等の遠隔操作性の確認 溶出液区画のための計装・制御方法評価 工学規模プロセス機器による各種安全性(臨界、熱的等)評価、運転確認、異常時における発熱、気体発生等の挙動評価 実機の設計製作

⑥ 廃棄物低減化(廃液2極化)技術の開発 (1/2)

技術の現状

○オフガス処理工程等における金属イオン(主にNa)を含む試薬の使用に伴い、塩廃棄物が発生。

要求される技術仕様

- 塩廃棄物の大幅削減。
- 廃液を高レベルと極低レベルに限定することによる廃液処理・処分の合理化。

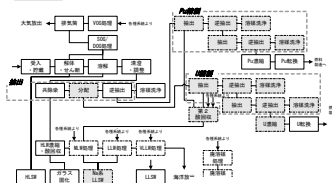
技術開発の概要

- オフガス処理工程等におけるソルトフリー化(濃縮妨害試薬の排除を含む)を、種々の試薬を対象にプロセス試験にて実証。
- 触媒等を利用した硝酸の分解技術について、その適用性を確認。
- ソルトフリープロセス条件に対応した工学規模装置の実証。

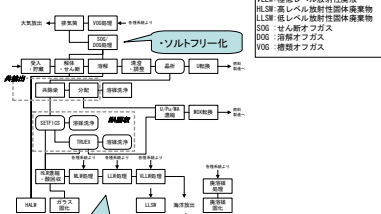
主要開発課題

- ソルトフリー化に伴う濃縮処理高効率化に向けた濃縮操作条件最適化及び機器開発。

従来方式



先進方式リファレンスシステム

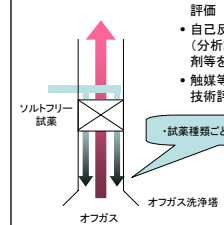
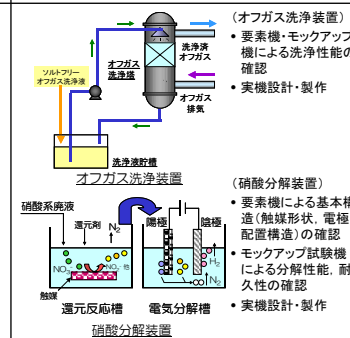


HLW: 高レベル放射性廃液
 LLW: 低レベル放射性廃液
 LLRW: 低レベル放射性廃液
 LLRW: 低レベル放射性廃液
 LLRW: 高レベル放射性固体廃棄物
 SOG: 固体放射性ガス
 BOG: 溶解オフガス
 WOG: 有機オフガス

・主工程及び周辺工程のソルトフリー化(金属イオンを含む試薬の排除)及び濃縮妨害試薬の排除による濃縮処理の高効率化

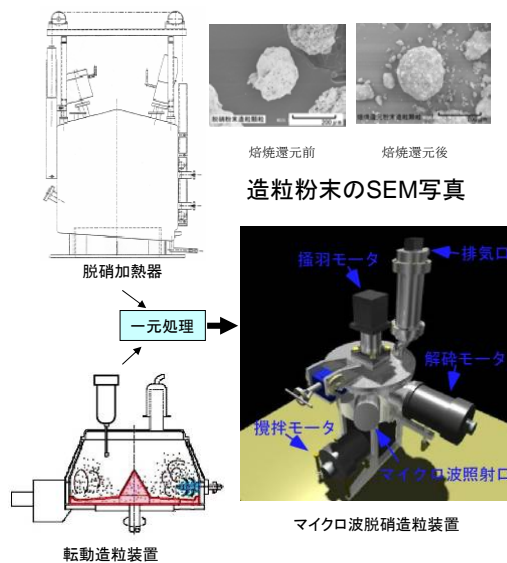
・余剰硝酸の低減・分解

⑥ 廃棄物低減化(廃液2極化)技術の開発(2/2)

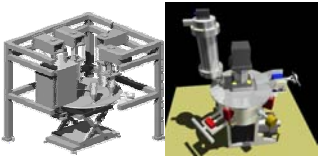
分類	2010	2015	試験内容
ソルトフリープロセス技術開発 ・周辺工程におけるソルトフリー化検討 ・濃縮妨害試薬排除検討 ・硝酸分解技術検討			 <ul style="list-style-type: none"> ・水スクラブ等による洗浄効率評価 ・自己反応性物質の代替検討(分析試薬、除染試薬、消泡剤等を対象) ・触媒等を利用した硝酸分解技術評価 ・試薬種類ごとの洗浄効率評価
ソルトフリー機器開発 1) ソルトフリーオフガス洗浄装置 ・要素試験 ・モックアップ装置 ・実機設計・製作 2) 硝酸分解装置 ・要素試験 ・モックアップ装置 ・実機設計・製作			 <ul style="list-style-type: none"> (オフガス洗浄装置) <ul style="list-style-type: none"> ・要素機・モックアップ機による洗浄性能の確認 ・実機設計・製作 (硝酸分解装置) <ul style="list-style-type: none"> ・要素機による基本構造(触媒形状、電極配置構造)の確認 ・モックアップ試験機による分解性能、耐久性の確認 ・実機設計・製作

⑦ 脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発(1/2)

技術の現状 ○所定のPu富化度調整精度の達成見通しを得た。 ○MOXへの転換工程において、ビーカスケールでの転動造粒試験を行い、流動性を改質してペレット成型ダイスへ円滑に充てんできることを確認した。
要求される技術仕様 ○流動性の良い造粒粉末を安定して調製できること。 ○転換工程で得られる粉末の流動性を成型ダイスへ直接充てんできるものとし、従来実施していた転換工程後の粉末混合工程、造粒工程を削減
技術開発の概要 ○脱硝加熱器などの転換装置に造粒機能を組み込み、転換工程で流動性の良い顆粒粉末を直接得られる技術を開発する。
今後の課題 ○プロセスの工学規模成立性評価 ○遠隔保守型脱硝転換造粒装置(量産型)の開発。



⑦ 脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発(2/2)

分類	2010	2015	実施内容
原料粉末調整プロセスの開発 (1)Pu富化度調整・転換・造粒プロセスの開発 (2)プロセスの最適化	小規模試験設備整備 製造性評価試験 品質向上試験 条件最適化試験		<ul style="list-style-type: none"> 再処理製品硝酸溶液を酸化物に転換する工程において、ペレット成型に適した流動性を有する粉末を得るプロセス試験 溶液混合段階でPuの濃度をに所定の濃度範囲に調整する技術の確認 得られる原料粉末を評価し、本プロセスの工学規模での成立性に見通しを得る。 造粒ステップの最適化 製造性評価(品質、処理時間など) MA/FPの影響評価 ・原料粉末調整工程一連のプロセスの最適化を図る。
遠隔保守量産技術開発 (1)量産設備採用プロセスの選定 (2)遠隔保守対応設備開発	プロセス選定試験 選定 遠隔保守対応装置開発	工学規模ホット試験設備製作の一部として、遠隔対応量産設備の設計製作	<ul style="list-style-type: none"> 量産用円筒型脱硝容器が有する課題解決及び流車型脱硝容器の大型化のための開発試験を実施する。 上記プロセス開発試験成果を含め、脱硝転換培焼還元及び造粒プロセスの組合せに最適な方式を選定する。 装置のモジュール化を図ることにより、遠隔保守可能な脱硝転換・造粒装置及びPu富化度調整装置を開発する。  左図：円筒型脱硝容器採用脱硝転換培焼還元装置 右図：転動造粒一体型脱硝転換装置(小規模試験機)

⑧ ダイ潤滑成型技術の開発(1/2)

技術の現状

- ダイ潤滑機構を組み込んだ6連パンチレシプロプレス機を用いた模擬粉末(Mo)の成型試験を行い、現行法(潤滑剤添加混合法)と同等の品質のペレットを成型できることを確認したが、MOX粉末による確認が必要である。
- 手作業でのダイ潤滑により、流動性を改良したMOX粉末を用いた成型試験を行い、現行法(潤滑剤添加混合法)と同等の品質のペレットを成型できることを確認した。

要求される技術仕様

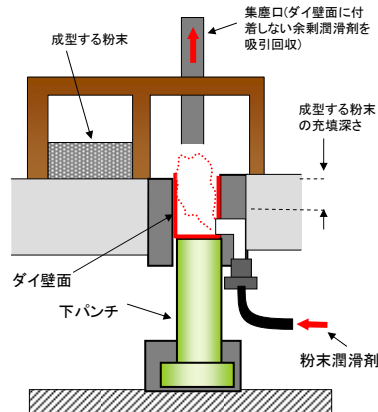
- 保守性に配慮したMOX用ダイ潤滑成型機的设计・製作。
- 潤滑剤添加混合工程、予備焼結工程、脱ガス工程の3つが削減できること。

技術開発の概要

- 小規模のMOX用ダイ潤滑成型機(レシプロプレス)を設計・製作し、MOX粉末、MA含有MOX粉末でのダイ潤滑成型の最適運転条件の把握と安定運転できることを確認する。

今後の課題

- プロセスの工学規模成立性評価
- 遠隔保守対応型ダイ潤滑成型装置(量産型)の開発



粉末潤滑剤(エアソル状)をダイ下方から噴霧してダイ壁面に塗布する

実証していくダイ潤滑機構

⑧ ダイ潤滑成型技術の開発(2/2)

分類	2010	2015	実施内容
ダイ潤滑成型プロセスの開発 ・流動性を改良した原料粉末を用い、ダイ潤滑成型機を用いてペレット成型試験を実施し、潤滑剤添加混合工程、予備焼結工程、脱ガス工程の3つが削減できることを確認する。 ・成型体の品質評価 ・製造時間の評価 ・成型条件の最適化を図る。	小規模試験設備整備 製造性評価試験 品質向上試験 条件最適化試験 選定	条件最適化試験	<ul style="list-style-type: none"> ・軸封の気密維持性の調定 ・摩耗に全交換できる軸封の開発 ・消耗品であるダイセット部の交換方法の開発 ・前工程である造粒の運転負荷低減のための粉末充填機構の開発 ・ダイ潤滑機構のコンパクト化、潤滑剤の高精度の供給 小規模 MOX 用ダイ潤滑成型設備の概念
遠隔保守量産技術開発 ・遠隔保守対応量産設備開発	一開発したダイ潤滑機構を含めた全体システムとよみとめ	ホット工学試験設備製作の一部として、遠隔対応量産設備の設計製作	・設備のモジュール化による遠隔保守可能な量産対応のダイ潤滑成型装置の開発

⑨ 焼結・O/M調整技術の開発(1/2)

技術の現状

- 1700°C以下の焼結温度で高密度ペレットを得るために雰囲気ガス中の酸素分圧を高めて焼結しているが、ヒータ材、リフレクタ材の酸化による劣化の加速が懸念される。
- 将来的な最適化技術開発課題として、焼結炉・O/M調整炉の一体化及び低O/M調整に際し最高温度から室温までの急冷処理等の開発が必要である。



焼結した中空ペレット

要求される技術仕様

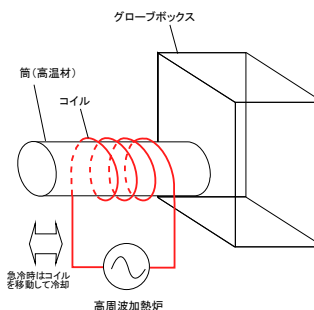
- 高燃焼度用MA燃料ペレット(低O/M、高密度)の実証。
- 保守性に配慮したO/M調整・焼結炉の設計・製作。
- ペレット密度、O/M値がリアルタイムに測定できる炉。

技術開発の概要

- MOXペレット、MA/FP含有MOXペレットの小規模焼結試験を実施し、品質を評価する。
- 保守性を配慮したO/M調整・焼結炉の熱処理方式などの調査を行い、選定した方式に基づき設計・製作し、ペレットの製造試験及び量産型の炉の開発を行う。

今後の課題

- 熱処理条件の最適化
- 遠隔保守型O/M調整・焼結炉(量産型)の開発。



O/M 調整・焼結炉の概念

⑨ 焼結・O/M調整技術の開発(2/2)

分類	2010	2015	実施内容
焼結・O/M調整プロセスの開発 <small>小規模試験設備整備</small> <small>製造性評価試験</small> <small>品質向上試験</small> <small>条件最適化試験</small>			<ul style="list-style-type: none"> 原料粉末やペレット成型を評価するための焼結・O/M調整試験を実施する。 小規模の焼結・O/M調整設備を整備し、ペレットの焼結・O/M調整条件の最適化を図る。 焼結体の品質評価 製造時間の評価 MA/FPPの影響評価 <ul style="list-style-type: none"> 成型条件の最適化を図る。
遠隔保守量産技術開発 <small>遠隔保守対応設備開発</small> <small>量産用連続焼結炉の開発</small> <small>選定</small> <small>工学規模ホット試験設備製作の一部として、遠隔対応量産設備の設計製作</small>			<ul style="list-style-type: none"> 基本構成モジュール化による遠隔保守可能な遠隔対応の炉の開発 上記、焼結・O/M一体型炉技術開発成果を評価し、方式を選定し、設備の最適化を図る。

⑩ 燃料基礎物性研究(1/3)

技術の現状

○基礎物性データが十分に整備されていないため、燃料設計上のマイナーアクチノイド元素の影響が精度良く評価できない。

要求される技術仕様

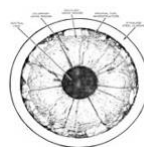
○マイナーアクチノイド元素を含むMOX燃料の照射挙動を精度良く評価でき、合理的、経済的な燃料設計が可能なこと。

技術開発の概要

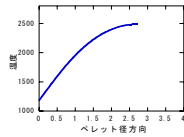
○燃料設計に必要とする基礎物性データについて実験及び理論的に整備し、モデル化を行う。得られた物性モデルを用いて挙動解析コードを開発する。

今後の課題

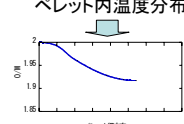
○照射実績が無い広範囲の燃料組成、照射条件でも評価可能となるよう、理論的に裏づけのある挙動解析コードを開発する。



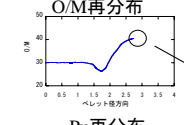
照射済燃料の断面




熱伝導率



ペレット内温度分布



酸素ポテンシャル
熱拡散



O/M再分布
Pu再分布

中心部の組成の融点
許容線出力の決定

⑩ 燃料基礎物性研究 (2/3)

技術の現状

○製造条件からO/M、密度、寸法などの燃料仕様をシミュレーションできる技術は無く、経験的な手法により製造条件を決定している。

要求される技術仕様

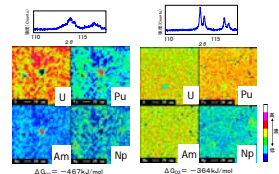
○グリーンペレット特性及び焼結条件と製造したペレットの微細組織、O/M、密度、寸法、均質性を評価することによって効率的、経済的な燃料製造技術を開発する。

技術開発の概要

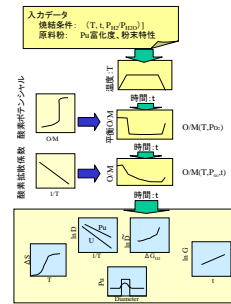
○熱処理中のペレット内の様々な変化を温度、時間、雰囲気を開数として速度論的の評価を可能とするため、基礎物性データを幅広く取得する。

今後の課題

○グリーンペレットから焼結が進む過程と焼結が進んだ過程の挙動を分けてデータ取得及びモデル化を行い、基礎物性データと合わせて体系化する。



熱処理条件によって均質性が大きく異なる

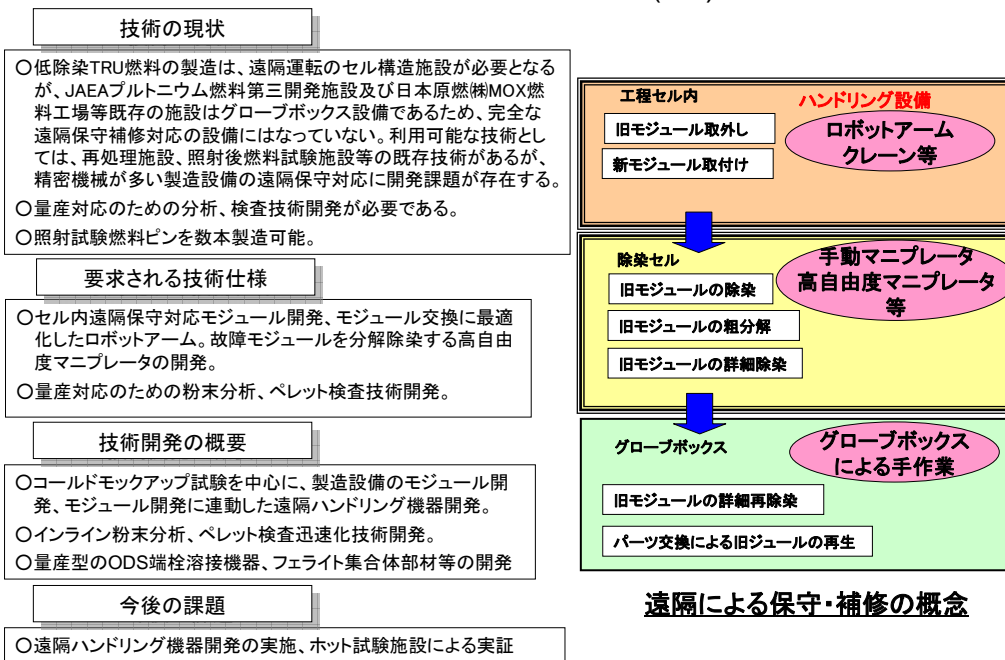


焼結挙動解析手法の概念図

⑩ 燃料基礎物性研究 (3/3)

分類	2010	2015	実施内容
基礎物性と燃料設計コードの開発 ・実験的研究 ・理論研究 ・設計・挙動コードの開発	物性データ測定 装置製作 計算化学による物性データ予測手法の開発	照射データ評価/挙動解析コードの開発	・融点、熱伝導率、拡散係数などの物性値を評価する。 ・蒸気圧測定装置を整備し、蒸気圧の測定を行う。 ・計算化学に基づく物性データ評価技術を確立する。 ・MAを含有したMOX燃料の挙動解析コードを、取得したデータを用いて取得する。
基礎物性と燃料製造 ・初期焼結挙動の評価 ・O/M調整技術の評価 ・焼結挙動のモデル化	速度論的評価 装置製作 O/M変化の測定	焼結挙動モデルの作成	・様々な挙動が混在する初期の焼結メカニズムについて、焼結速度を測定し、焼結挙動の速度論的評価を行う。 ・熱膨張計(ディラトメータ)を整備し、様々な雰囲気での焼結挙動を評価する。 ・熱処理中のO/M変化挙動、組織変化を評価する。 ・得られたデータをもとに焼結挙動解析コードを開発する。

⑪ セル内遠隔設備開発 (1/2)



⑪ セル内遠隔設備開発 (2/2)

項目	2010	2015	実施内容
1. 遠隔対応設備開発 ・成型設備	[Progress bar from 2010 to mid-2011]		・成型設備を代表例としたモジュール化設備の開発、遠隔保守補修の共通のシステムの開発
・その他設備、全体システムとりまとめ	[Progress bar from 2010 to mid-2011]		・燃料要素加工設備、燃料要素検査設備、集合体組立設備のモジュール化設備の開発、全体システムとりまとめ
2. 遠隔ハンドリング設備開発	[Progress bar from 2010 to mid-2011]		・遠隔ハンドリング設備開発、モジュール化設備との最適化、全体システムとりまとめ
3. 機器監視異常診断技術の開発	[Progress bar from 2010 to mid-2011]		・音響センシング等による機器運転状況監視、異常診断技術を開発する。
4. 分析、検査迅速化技術開発	[Progress bar from 2010 to mid-2011]		・ペレット検査の迅速化技術、粉末のインライン分析を開発する。その他工程における検査分析設備のシステム開発を行う。
5. ODS被覆管燃料ピン集合体の量産技術開発	[Progress bar from 2010 to mid-2011]		・量産型のODS燃料ピン端栓溶接技術・機器を開発するとともに、自動組立工程に適合するフェライト集合体の組部材等を開発する。

・各種センサーで故障を検知する。
・ロボットアームにより故障したモジュールを交換する。

・所定位置まで自動的に移動し、モジュール交換作業の所定動作を半自動で実施する。

遠隔保守概念(ペレット成型設備の例)

⑫ TRU燃料取扱い技術 (1/2)

評価の現状

- F燃料集合体の温度評価についてはこれまでに、もんじゅ燃料でのモックアップ試験からの外挿、計算コードを用いた熱流動解析を行った。
- 2百数十本の被覆管と螺旋状に巻かれたラッピングワイヤで仕切られた流路は形状が複雑で、詳細なモデル化が難しく、今後の詳細評価が必要である。

要求される技術仕様

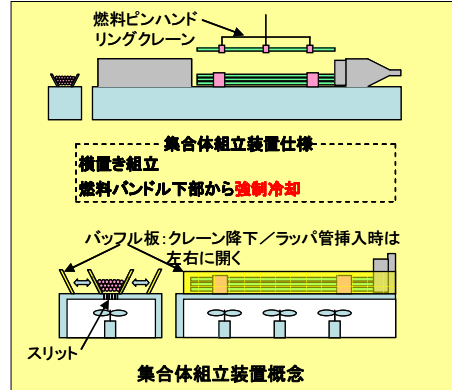
- 擬似体系での実測データによる計算モデルの構築。
- モックアップによる除熱機能の確認。

技術開発の概要

- 燃料集合体内流路の典型的な形状に対し詳細な流速分布や温度分布を計測できる試験機を製作し、試験結果から詳細なモデルを構築する。
- 集合体組立装置および燃料バンドルを模したコールドモックアップ試験装置を作成し、除熱効果を確認する。

今後の課題

- 燃料サイクルシナリオに応じて多様な発熱の燃料に対する、改良モデルによる温度分布評価。
- 高発熱燃料に対応した集合体組立装置の設計への反映。



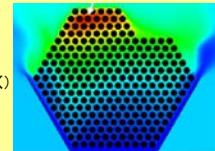
集合体組立時温度解析例

強制冷却、セル内気温:25℃

集合体設計:フェーズ2最終設計

HM重量:127.9kgHM(軸ブラ除く)

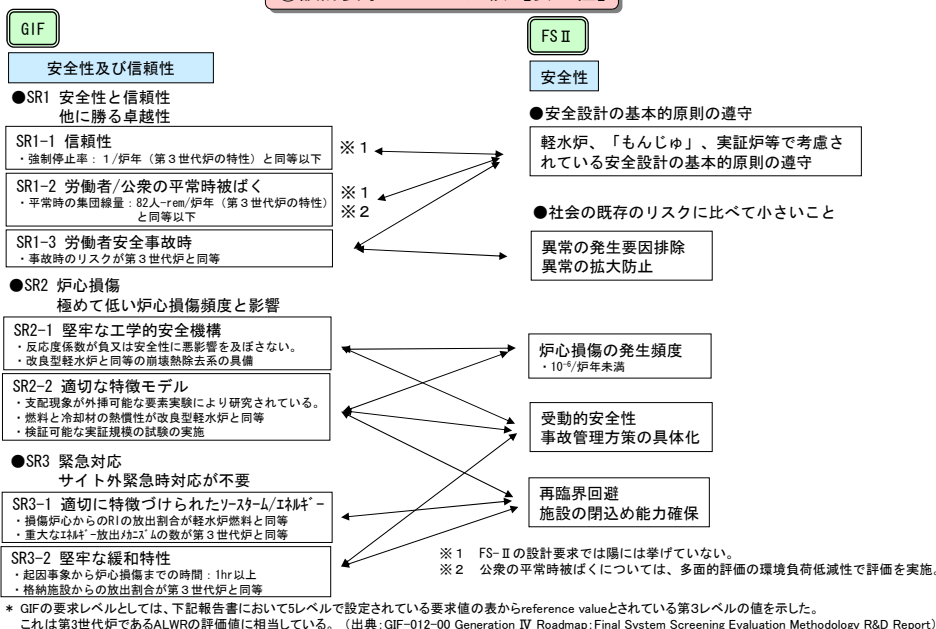
三次元熱流動解析コード
AQUA および Fluent 使用



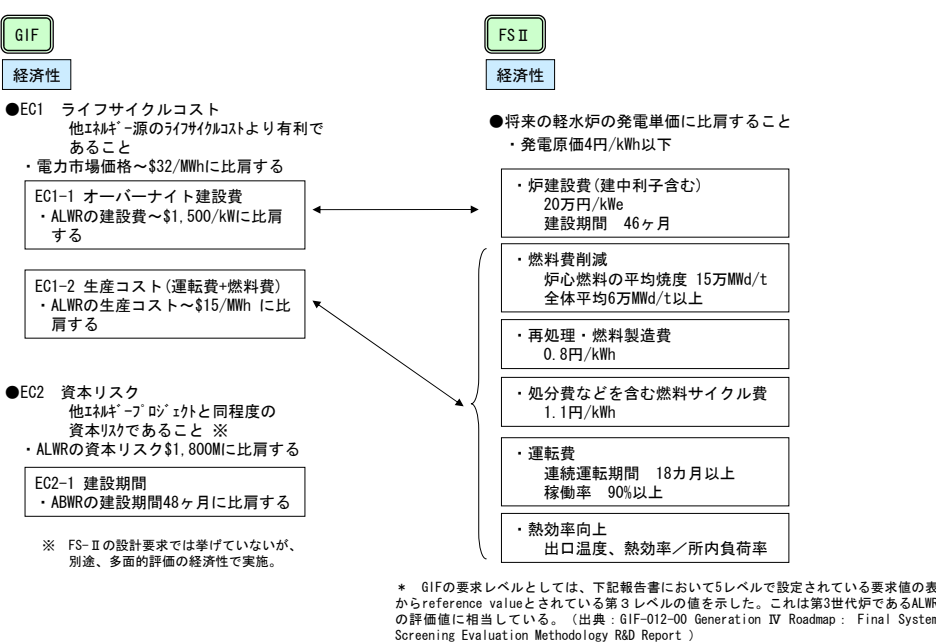
⑫ TRU燃料取扱い技術 (2/2)

分類	2010	2015	実施内容
・熱流動シミュレータによる計算モデル開発			<ul style="list-style-type: none"> ・燃料集合体内流路の典型的な形状に対し詳細な流速分布や温度分布を計測できる試験機を製作し、試験結果から詳細なモデルを構築する。 ・集合体組立装置および燃料バンドルを模したコールドモックアップ試験装置を作成し、除熱効果を確認する。
・コールドモックアップ試験			

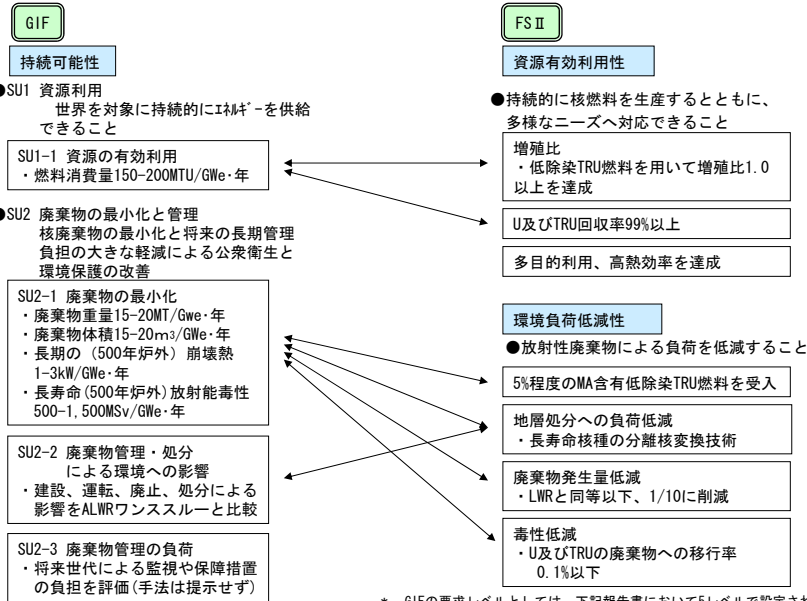
①設計要求レベルの比較【安全性】



②設計要求レベルの比較【経済性】

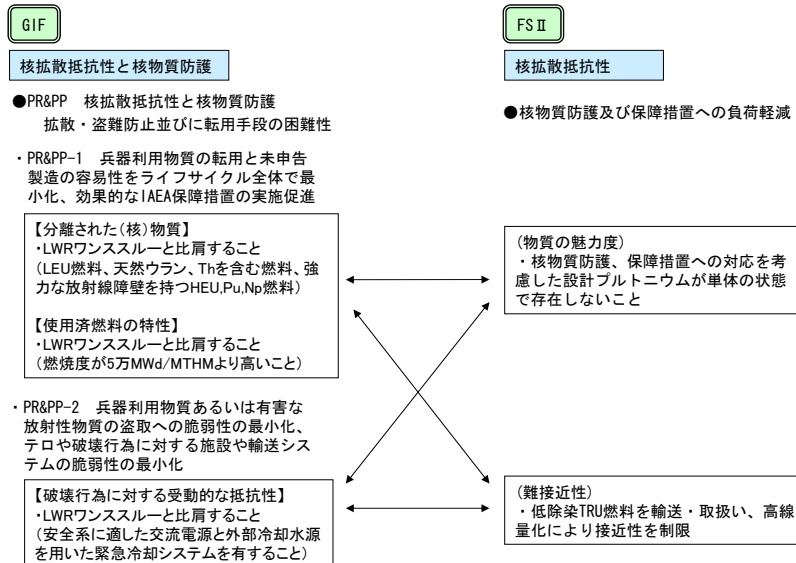


③設計要求レベルの比較【資源有効利用性・環境負荷低減性】



* GIFの要求レベルとしては、下記報告書において5レベルで設定されている要求値の表からreference valueとされている第3レベルの値を示した。これは第3世代炉であるALWRの評価値に相当している。(出典: GIF-012-00 Generation IV Roadmap: Final System Screening Evaluation Methodology R&D Report)

④設計要求レベルの比較【核拡散抵抗性】



* GIFの要求レベルとしては、下記報告書において5レベルで設定されている要求値の表からreference valueとされている第3レベルの値を示した。これは第3世代炉であるALWRの評価値に相当している。(出典: GIF-012-00 Generation IV Roadmap: Final System Screening Evaluation Methodology R&D Report)