

「高速増殖炉サイクル技術（国家基幹技術）」の評価に関する
文部科学省追加説明資料

平成 18 年 6 月

研究開発計画におけるマイルストーン及びアクセプタンス・クライテリアについて

- (a) 「高速増殖炉サイクル技術」（以下「当研究開発」という。）全体およびそれを構成する各研究開発課題について、最終的な目標に到達するまでの途中段階で、どの時点において、各々どのような具体的な到達目標を設定しているのか。

高速増殖炉サイクル技術が実用化されるためには、安全性の確保を大前提に、軽水炉サイクルその他の電源と比肩する経済性を達成し得るよう技術開発がなされなければならない。

そのため、高速増殖炉サイクル技術の研究開発は、「安全性」、「経済性」、「資源有効利用性」、「環境負荷低減性」、「核拡散抵抗性」という5つの開発目標を設定し、その具体的な設計要求を定めて推進することとしている【別紙(1)、(2)参照】。（なお、この開発目標については、世界の主要国が参加して次世代炉の実用化を目指して開始された「G I F (第4世代原子力システム国際フォーラム)」プロジェクトにおいても、概ね同一の目標が設定されている。）

また、高速増殖炉サイクルが実用化されるためには、「高速増殖炉システム」だけでなく、「再処理システム」や「燃料製造システム」が技術的整合性をもって成立する必要があり、個々の研究開発課題のみならず、これらを含んだ「高速増殖炉サイクルシステム全体」について、上記5つの開発目標がどのように達成されているかを評価する必要がある。【別紙(3)参照】

昨年10月に原子力委員会により策定された「原子力政策大綱」においては、国は、高速増殖炉サイクルの適切な実用化像と2050年頃からの商業ベースでの導入に至るまでの段階的な研究開発計画を2015年頃から評価・検討することとされている。

したがって、2015年頃に、それまでに得られた「もんじゅ」等の成果、革新技術の研究開発成果、国際的な動向・研究開発成果などを踏まえて、高速増殖炉サイクルシステム全体について5つの開発目標がどの程度達成できる見込が立てられているか等について評価・判断を行うことが、高速増殖炉サイクル実用化という最終的な目標に至る過程での大きな評価・判断の節目である。【別紙(4)参照】

また、原子力政策大綱において、2010年頃から第二再処理工場の検討が開始することとされていることを踏まえ、2010年頃までに国により同様の中間的な評価がなされることが必要だと考えている。

なお、これら5つの研究開発目標を達成すべく実施される個々の研究開発課題についても、それぞれの具体的な判断のポイントにしたがって、2010年頃、2015年頃を区切りとして評価を行う予定である。【別紙(5)～(7)、別添参照】

(b)当研究開発全体およびそれを構成する各研究開発課題について、計画のどの時点において、各々どのような条件を設定して計画の見直し（go / stop、あるいは計画の変更）を判断することとしているのか。

(a)で述べたように、「高速増殖炉サイクルシステム全体」及び「各研究開発課題」ともに、2010年頃及び2015年頃に当面の計画の見直し等を評価・判断していく予定である。

評価の視点としては、「安全性」、「経済性」、「資源有効利用性」、「環境負荷低減性」、「核拡散抵抗性」の5つの研究開発目標についてその時点でどの程度適合し、また、その後の研究開発の継続によりどの程度各技術の実現性が見込め、その結果、どの程度研究開発目標適合性が向上することが見込まれるのか、という「技術的観点」からの評価を行う必要がある。

また、「エネルギー情勢」、「原子力に関する国際的動向」、「我が国の社

会・経済事情」、「技術革新状況」等を踏まえた大局的な見地からの「政策的観点」からの評価も併せて行い、「高速増殖炉サイクルシステム全体」及び「各研究開発課題」に関して計画の見直し等の判断を行うことが適当だと考えている。

(c)上記に係る評価および判断を行う具体的な体制。

高速増殖炉サイクル技術の研究開発に関する評価については、各府省の所掌事務を踏まえ、文部科学省が研究開発推進統括として中心となって実施することが適当である。文部科学省においては、「科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会原子力分野の研究開発に関する委員会」で全体評価及び政策的評価を実施し、技術的評価については、同委員会の下部組織である「原子力研究開発作業部会」において、必要に応じて技術的な専門家・有識者等の意見を柔軟に聴取できる体制の下、別途特に集中的に評価・検討を行う体制としている。

なお、文部科学省が評価を行うにあたっては、総合科学技術会議が策定する科学技術政策の基本的方向性、原子力委員会が策定する原子力政策の基本的方向性、経済産業省（総合資源エネルギー調査会）が策定するエネルギー政策の方向性等を十分に踏まえて行うなど、国全体として諸方針と整合性が保たれるよう、適切に連絡・調整が図られるべきであると考えている。

また、研究開発主体・設計統括である日本原子力研究開発機構においても、電気事業者の参画も得て評価（自己評価）を行っていくとともに、有識者等による外部評価を適時行いながら、電気事業者、メーカー、大学等他の研究開発機関とも連携・協力して研究開発を実施していく体制をとることとしている。（【別紙(8)参照】）

(d)コスト・パフォーマンスおよび安全性に関して、キーとなる技術を明示し、その技術ごとに目標とする技術スペック。

高速増殖炉のコスト・パフォーマンスに関するキー技術は、高温化による熱効率向上（316FR 鋼の開発、550℃）、水平免震（積層ゴムの開発）などの技術に加えて、トップエントリー方式を進化させた配管短縮（逆L字型配管概念の採用及び高クロム鋼の開発）、物量削減のための2ループシステム（大口径・高流速配管システムの開発、口径約1200mm、流速9.3m/s）、炉容器コンパクト化（開放型炉心上部機構及びガス巻き込み防止対策の開発、直径10.7m）、ポンプ組込型中間熱交換器の開発などの革新技术が挙げられる。これらの革新技术の採用によるコスト低減並びに建設工期の短縮（46ヶ月）、スケールメリットの追求（150万kWe）及び標準化・習熟効果により、将来軽水炉に比肩する建設費（20万円/kWe以下）を達成することを目標としている。（【別紙(9)参照】）

燃料サイクルのコスト・パフォーマンスに関するキー技術としては、使用済燃料中のウランを粗取りして後段のプロセスの処理量を大幅に低減する晶析法（キルン式連続晶析装置の開発、ウラン析出率：70%以上、除染係数：100程度）、U/Pu/Npを一括回収するとともに精製工程を削除した単サイクル共抽出（大型遠心抽出器の開発、回収率：99.9%、長期運転：200日）、廃棄物発生が少ないMA回収（抽出クロマトプロセス機器及び抽出材の開発、回収率99.9%）などの革新技术が挙げられる。これらの技術の採用により、従来技術に対してほぼ半分の建設費（13億円/ton）の達成を目標としている。（【別紙(9)参照】）

高速増殖炉の安全性に関するキー技術としては、受動的な特性を用いた炉停止とその後の炉心冷却に係る技術、再臨界の回避と炉心損傷の炉容器内終息に係る技術などが挙げられる。受動的な炉停止については、温度が一定値を超えると急速に磁力を失うキュリー点電磁石の特性を利用した自己作動型炉停止機構の開発、炉心冷却については、冷却材の浮力を利用した自然循環崩壊熱除去システムの開発が目標となる。再臨界の回避と炉心損傷の炉容器内終息については、万一、燃料ピンが大規模に破損し、燃料の溶融が生じたとしても、その溶融燃料を早期に炉心外に排出するダクトを集合体内に備えた、内部ダクト型燃料集合体を開発している。ここでは、種々の炉内及び炉外試験と解析ツールの開発により、このダクトの有効性を確認することが目標となる。

燃料サイクルの安全性に関するキー技術としては、機器形状の工夫、中性子吸収体の設置、容積制限などによる臨界安全の確保が、全てのプロ

セス機器の設計における目標となる。また、放射性物質、可燃性または爆発性の物質（抽出溶媒、試薬など）を取り扱うため、それらの形態、性状及び量に応じて、放射線の遮蔽及び放射能物質の閉じ込め機能、火災や爆発の拡大防止及び終息機能に対して十分な信頼性と余裕を確保する設計としている。すなわち、深層防護の考え方を基本として、大量の放射性物質が制御されずに機器からセルまたは建屋内へ放出あるいは排気系へ移行する事象を仮想したとしても、負圧維持、耐爆性などの放射性物質の閉じ込め能力を確保し、その影響を周辺環境に有意に及ぼさない設計としている。（【別添参照】）

研究開発に係る体制の詳細な説明

(a)研究開発の実施、管理、評価に係るプレーヤーと、その役割分担。（誰が、どのような役割を担い、どのような権限および責任を有しているのか。）

高速増殖炉サイクルを技術的に確立するための研究開発は、日本原子力研究開発機構が業務として責任を有しているところであり、文部科学省が当該業務について所管^()している責任官庁である。

（（ ）厳密には、現在、経済産業省も共管省庁と位置づけられている。）

したがって、当面の高速増殖炉サイクルに関する研究開発は、文部科学省が研究開発推進統括として総合的な判断責任を有し、日本原子力研究開発機構が高速増殖炉サイクルに関して最も技術的知見・経験を有する研究開発主体・設計統括として、具体的な研究開発の実施・管理に関する権限及び責任を有している。

ただし、高速増殖炉サイクルの研究開発に関しては、実用化（商業化・産業化）されることが目標となっているため、最終的には、経済産業省が責任官庁となり、研究開発主体は、電気事業者、メーカー等となることが想定されている。実際、日本原子力研究開発機構は独立行政法人日本原子力研究開発機構法（第17条第3号イ）において、「高速増殖炉の開発」のうち「実証炉を建設することにより行うもの」については明示的に業務から除かれているところである。

高速増殖炉サイクルの研究開発は、このように責任官庁、研究開発主体が変化する必然性を有していることを踏まえれば、当面の責任官庁及び研究開発主体が文部科学省及び日本原子力研究開発機構であったとしても、最終的な責任主体となる経済産業省、電気事業者、メーカー等と密接な連携を図り、意見等を十分に尊重することが重要である。

また、高速増殖炉サイクル技術の早期・円滑な実証・実用化段階への移行を図るべく、研究開発と並行して文部科学省、経済産業省、日本原子力研究開発機構、電気事業者、メーカーの関係者間で実証プロセスに向けた検討を進める場として「FBRサイクル実用化推進協議会（仮称）」等を設けることとしている。

なお、原子力政策大綱においては、このことに関連して、

- ・原子力利用や広範な科学技術分野に革新をもたらす可能性が大きい革新技術システムを、実用化の候補にまで発展させるための研究開発については、国及び研究開発機関が、産業界とロードマップ等を共有し、大学や産業界の協力・協働を得つつ、主体的に取り組むべきである。
- ・さらに、産業界が実用化の対象として選択できる環境を整えるために、研究開発政策と産業政策を担当する関係行政機関が政策連携を進めることも重要である。

と提言している。

(b)研究開発そのものについて、どの課題に、どのような（分野、所属の）研究者が、何人程度携わっているのか。（または携わることになっているのか。）

高速増殖炉サイクルの研究開発主体・設計統括である日本原子力研究開発機構においては、理事長を本部長とする「高速増殖炉サイクル技術開発本部」（電気事業者も開発体制に参画）を設置し、国内外の研究機関やメーカー等と連携・協力し研究開発を実施することとしている。当該本部は、大きく分けて「プラントの設計統括と革新技術の要素技術研究開発を行う部署」、並びに「燃料照射や設計データの検証等を行う部署」で構成されるが、本部長並びに研究開発全体（予算、研究管理、人事管理、施

設管理、財産管理)の実施統括責任者であるプロジェクトリーダーの下、
一体となって研究開発を実施していく。

「プラントの設計統括と革新技术の要素技術研究開発を行う部署」は、
当該本部の運営やプロジェクト全体の企画調整を行う「企画調整(30
人)」、開発計画策定や設計統括・調整等を行う「設計統括(60人)」、FBR
プラント(機器構造、材料、炉心燃料等)及びサイクルシステム(再処
理技術、燃料製造等)に係る要素技術研究開発を行う「原子炉システム
開発(60人)」、「サイクルシステム開発(35人)」より構成される予定で
ある。

また、「燃料照射や設計データの検証等を行う部署」としては、原型炉「も
んじゅ」を用いてナトリウム取扱技術の確立及び発電プラントとしての
信頼性の実証を行う「FBR 開発センター(180人)」、高速増殖炉用燃料
の高燃焼度化等の実証やナトリウムを用いた要素試験を行う「「常陽」、
技術開発部等(100人)」、「常陽」・「もんじゅ」の燃料製造や再処理プロ
セスの実証等を行う「プルトニウム燃料開発センター等(260人)」によ
り構成される予定である。(【別紙(10)参照】)

(c)特に安全性に関する研究開発については、その実施および評価をど
のような体制で実施するのか。

高速増殖炉サイクルを実用化するに当たっては、「安全性」を満たすこと
が大前提として進められており、「安全性」の具体的な内容については、
【別紙(1)、(2)】に開発目標・設計要求として記載されているもののほか、
現行軽水炉に適用される基準、指針類及び「もんじゅ」の安全審査で適
用された基準、指針類を満たす設計とし、特に、安全設計評価における
「事故時」の判断基準は、現行軽水炉及び「もんじゅ」と同じ基準(例
えば公衆の被ばく線量5 mSv以下)を満たすような安全設計が図られ
ている。

安全性に関する研究開発の実施及び評価については、このような「安全
性」が大前提として研究開発が進められていることを、上記の文部科学
省及び日本原子力研究開発機構を中心とする評価体制において評価・確

認していくとともに、それ以上の安全性についても、必要に応じ評価・確認していく。

なお、高速増殖炉等の具体的な施設の建設・運転を行う段階に至った場合には、原子力安全委員会、原子力安全・保安院等の原子力安全規制当局の審査等を経なければならないことは、当然のことである。

原子力利用分野における様々な新技術開発（次世代型軽水炉、ITER計画等）も含めた長期戦略およびその中におけるFBRサイクル技術の位置付けを、時系列的なリプレース計画。

【別紙(11)参照】。なお、核融合開発その他革新的な技術開発により、エネルギーセキュリティ等の観点からの高速増殖炉サイクルの必要性に明らかに疑問が生じるような場合は、適時、必要な評価・計画の見直しを図るべきだと考えられる。

民間資金も含めたトータルとしての投資計画。

これまでも高速増殖炉サイクルの研究開発において民間資金が投入されてきた実績があるほか、今後、実証炉等の建設段階へ進展していく過程で民間資金による責任負担分が増えていくことが想定されるが、今後の高速増殖炉サイクル実用化に向けての官民役割分担や、実証炉等の技術スペックが定まっていない現時点においては、民間資金も含めた投資計画を見積もることは極めて困難である。

なお、高速増殖炉サイクルの研究開発について、現在も一部民間資金が投入されている部分もあると考えられるが、当面の高速増殖炉サイクル技術の研究開発では、日本原子力研究開発機構が研究開発主体となって進めていくべきものであり、高速増殖炉サイクル技術の研究開発について国家基幹技術として推進していくために必要な資金の概要を把握する観点からすると、基本的には国費部分で必要な資金計画を把握することが重要であると考えられる。（**【別紙(12)参照】**）

高速増殖炉サイクルの開発目標

開発目標

- 安全性 : 社会の既存のリスクに比べて小さいこと
- 経済性 : 将来の軽水炉の発電単価に比肩すること
- 環境負荷低減性 : 放射性廃棄物による負荷を低減すること
- 資源有効利用性 : 持続的に核燃料を生産するとともに、
多様なニーズへ対応できること
- 核拡散抵抗性 : 核物質防護及び保障措置への負荷軽減

高速増殖炉サイクルの開発目標・設計要求

開発目標

安全性

経済性

高速増殖炉サイクル全体としての発電原価 4円/kWh

環境負荷 低減性

資源有効 利用性

核拡散 抵抗性

高速増殖炉の設計要求

炉心損傷の発生頻度 10^{-6} /炉・年未満
炉心損傷に至る代表事象に対する受動安全性の強化
あるいは事故管理方策の具体化
仮想的な炉心損傷時の再臨界発生を回避し、その影響を原子炉容器あるいは格納施設内で確実に終息

建設費:20万円/kWe
燃料費:炉心燃料の平均燃焼度 15万MWd/t
運転費:連続運転期間 18カ月以上、稼働率 90%以上

軽水炉の使用済燃料中のMAも経済的に燃焼できるよう、5%程度のMA含有低除染TRU燃料を受入可能
長寿命核分裂生成物の核変換能力

増殖比
低除染TRU燃料を用いて増殖比1.0以上を達成できること
1.1以上が達成できる場合は、移行期での経済性向上のため、炉心全体の燃焼度の増加及び連続運転期間の長期化を図る
基幹電源としての利用に加え、多目的利用・高熱効率を達成できること(目標)

低除染TRU燃料を輸送・取扱い、高線量化により接近性を制限

燃料サイクルの設計要求

同時代の軽水炉燃料サイクルシステムと同等以上(異常の発生要因を極力排除、異常の拡大防止など)
施設内での放射性物質の大規模放出事象の発生頻度を 10^{-6} /プラント・年未満に抑制し、その事象を想定しても、施設の閉じ込め能力を確保して、影響を周辺環境に及ぼさない設計

再処理・燃料製造費 0.8円/kWh
処分費などを含む燃料サイクル費としては 1.1円/kWh

発電量あたりの放射性廃棄物の発生量が軽水炉燃料サイクル施設と同等以下を要求、1/10に削減することを目標
U及びTRUの廃棄物への移行率 0.1%以下(目標)
長寿命核種の分離核変換技術の採用などにより処分負荷低減の可能性を追求

U及びTRU回収率99%以上

核物質防護、保障措置への対応を考慮した設計
プルトニウムが単体の状態で存在しないこと
低除染・TRU燃料の使用に伴う高線量化による接近性の制限

「高速増殖炉サイクルシステム」の開発目標及び評価の要点

別紙(3)

安全性

経済性

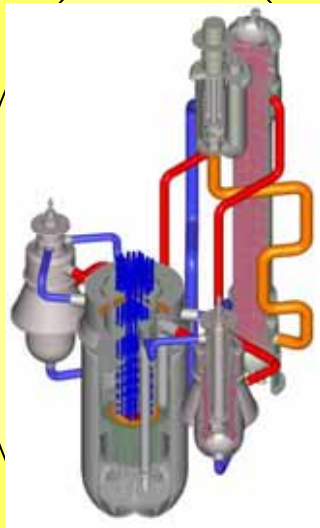
資源有効利用性

環境負荷低減性

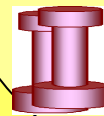
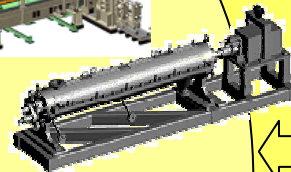
核拡散抵抗性

「高速増殖炉サイクルシステム全体」について、「安全性」、「経済性」、「資源有効利用性」、「環境負荷低減性」、「核拡散抵抗性」の5つの開発目標を中心として、2010年頃及び2015年頃に評価を実施。

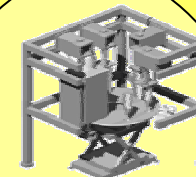
高速増殖炉サイクルシステム(全体)



高速増殖炉システム



再処理システム



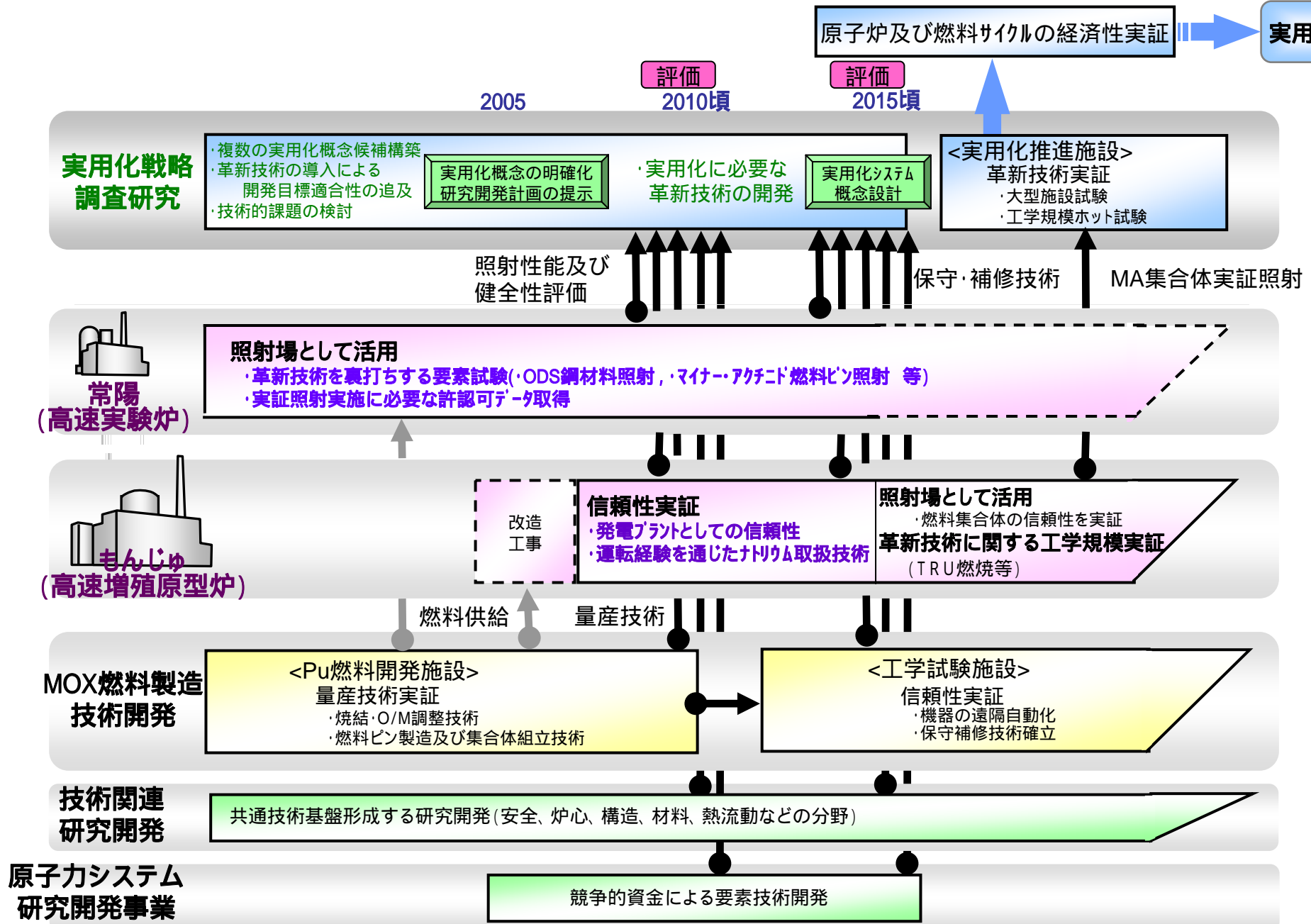
燃料製造システム

技術的整合性

技術的整合性

FBRサイクル技術研究開発の展開

別紙(4)



研究開発課題及び到達目標 〔 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究 フェーズ 最終報告書より 〕

別紙(5)

高速増殖炉システム 主概念(ナトリウム冷却炉)

		2005	2010	2015	判断のポイント	代替技術
設計研究	実用炉の概念構築		概念設計研究	概念最適化		
	実証試験施設概念構築		実証方策の検討	概念設計研究		
ナトリウム冷却炉 技術開発	配管短縮のための高クロム鋼の開発		1	2	1. クリープ疲労強度、長時間延性・靱性、溶接施工性の確認 2. 長時間データの成立見通し	改良9Cr鋼
	システム簡素化のための冷却系2ループ化	3	4	5	3. 流力振動問題の成立性確認 4. 高速流配管の耐エロージョン性の成立見通し 5. 高速流配管の耐エロージョン性成立性の確認	ループ数増加
	1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発		6	7	6. 振動抑制対策及び寿命中の伝熱管磨耗量の確認 7. 同機器の流動成立性の確認	従来型(分離配置)
	原子炉容器のコンパクト化		8	9	8. 実機熱流動条件での材料・構造の健全性確認 9. モデル試験と高温構造設計方針との整合見通し 10. 高温構造設計方針の策定と設計の整合性確認	原子炉容器拡大
	システム簡素化のための燃料取扱系の開発		11	12	11. 大型燃料集合体の落下試験による健全性確認 12. 燃料交換設備の操作性や冷却設備の有効性確認	従来型
	物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化		13	14	13. SC造格納容器成立性の見通し 14. 設計基準との整合性確認	RC造
	高燃焼度化に対応した燃料被覆管の開発		15	16	15. 実用燃料への適用性見通し 16. 設計基準整備	既存材料(低温化)
	配管2重化によるナトリウム漏洩対策強化		17	18	17. 漏洩検出器成立性見通し 18. 2重配管の保守	従来型
	直管2重伝熱管蒸気発生器の開発		19	20	19. 2重伝熱管の製作性や大型球形管板の成立見通し 20. 総合的な機能確認による成立性の確認	ヘリカルコイル型SG
	保守、補修性を考慮したプラント設計		21	22	21. 目視センサー、体積検査機器の実用性見通し 22. 同機器の分解能、処理能力と実機への適合性確認	従来型
	受動的炉停止と自然循環による炉心冷却		23	24	23. 受動的炉停止装置の機能確認 24. 自然循環による炉心冷却システムの成立性確認	-
	炉心損傷時の再臨界回避技術		25	26	25. S-FAIDUSの熔融燃料排出能力の実証 26. 炉心損傷影響を炉内終息できる概略見通し 27. 炉心損傷影響を炉内終息できることの実証	-
	建屋の3次元免震技術		28	29	28. 技術成立性の見通し 29. 設計基準整備	水平免震
	発電プラントとしての信頼性実証/ナトリウム取扱技術の確立		30	31	30. 設計手法の妥当性検証 31. 発電プラントとしての信頼性実証(稼働率60~70%)Na取扱技術の確立	

▼ 革新技術の採否判断 ◆ 各課題の主要なチェックポイント

高速増殖炉システム 主概念(炉心燃料)

主概念・MOX燃料	2005	2010	2015	判断のポイント	代替技術
	高燃焼度燃料・材料研究開発		<ul style="list-style-type: none"> 1 ODS燃料ピンの75dpa,15万MWd/t()までの健全性確認 2 ODS燃料ピンの250dpa,25万MWd/t()相当までの健全性確認 3 ODS被覆管の90dpaまでの材料照射特性評価 4 ODS被覆管の250dpaまでの材料照射特性評価 5 ODSバンドルの15万MWd/t程度までの健全性確認および25万MWd/tまでの健全性外挿評価 6 ODSバンドルの25万MWd/tまでの性能実証 	被覆管材料: PNC-FMS鋼	
	低除染TRU酸化物燃料の照射健全性		<ul style="list-style-type: none"> 7 TRU酸化物燃料の430W/cmまでの熱的挙動評価 8 TRU酸化物燃料ピンの10万MWd/tまでの健全性確認 9 TRU酸化物燃料ピンの25万MWd/tまでの健全性確認 10 ショートプロセス中空燃料ピンの5万MWd/tまでの健全性確認および溶融限界線出力評価 11 ショートプロセス中空燃料ピンの25万MWd/tまでの健全性確認 12 低除染TRU酸化物燃料の25万MWd/tまでの燃料ピン健全性確認 13 低除染TRU酸化物燃料バンドルの25万MWd/tまでの性能実証 		
	再臨界回避集合体研究開発		<ul style="list-style-type: none"> 14 再臨界回避集合体の詳細構造決定と成立性見通し 15 再臨界回避集合体ダクトの照射健全性確認 16 再臨界回避集合体の7万MWd/t程度までの健全性確認および25万MWd/tまでの健全性外挿評価 		

注) LLFP変換技術開発については、LLFPの変換性能、技術的実現性、経済合理性等を評価すると共に、I、Tcなどのターゲット化合物の照射試験を行い、2015年頃までにはその後の進め方を判断する。

() 燃焼度、照射量はピーク値。取出平均燃焼度: 15万MWd/tは、25万MWd/t, 250dpaのピーク値と対応する。







▼ 革新技术の採否判断

◆ 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 主概念(先進湿式法 + 簡素化ペレット法)

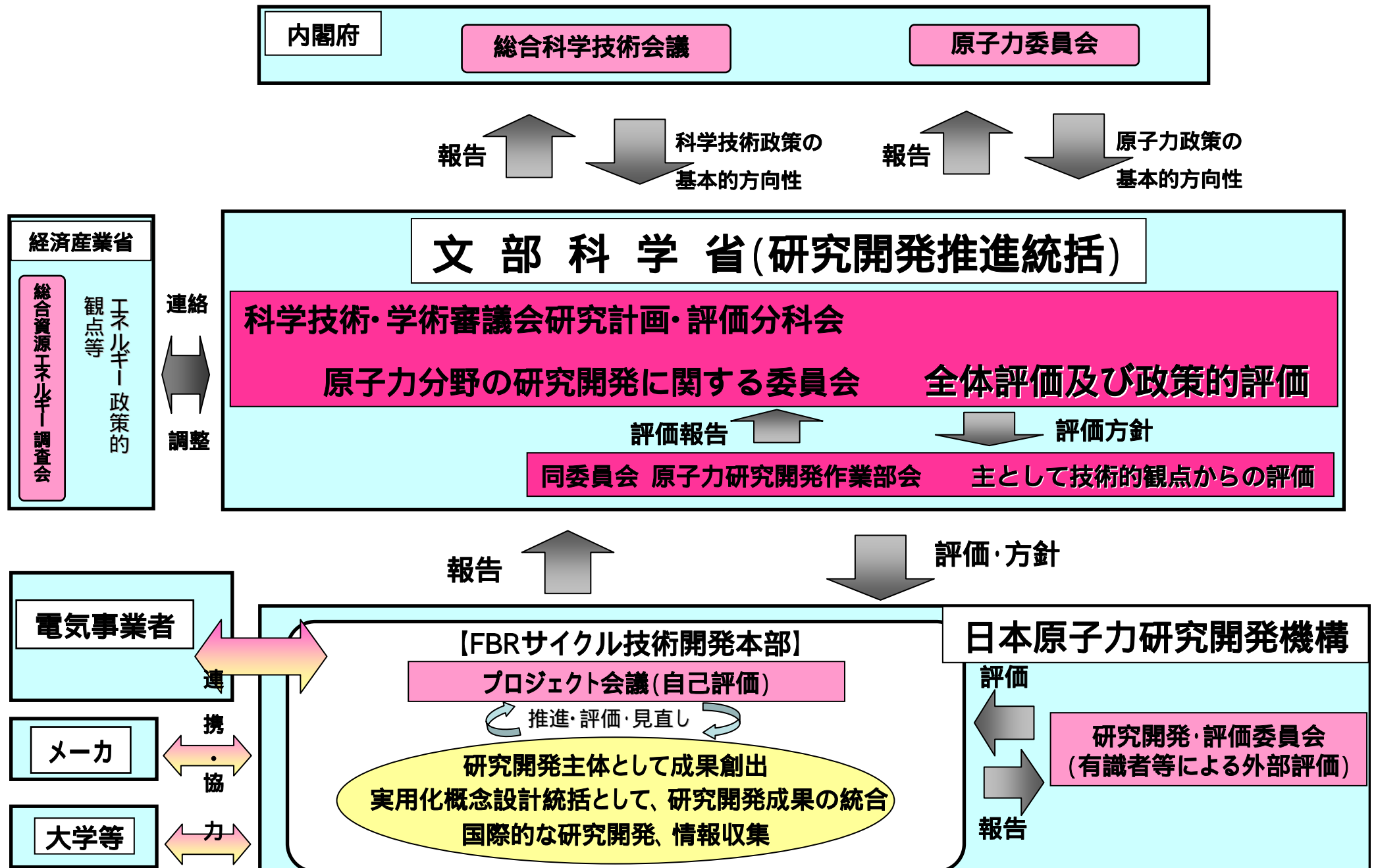
項目		目的	2010	2015	評価・判断のポイント	代替技術
主概念	設計研究	<ul style="list-style-type: none"> ・実用サイクル施設の概念構築 ・技術の総合実証 (実証試験: ~10kg/h = 50t/y相当) 	概念設計研究	最適化設計研究 実用化プラントの仕様および目標性能 計案の提示	-	-
	プロセス開発	<ul style="list-style-type: none"> ・操業条件最適化のための小規模ホット試験 (CPF) 	<ul style="list-style-type: none"> ・せん断や晶析の条件(粉体化率、温度、等)と整合した溶解速度の確認 ・晶析工程の除染係数確認および結晶洗浄効果の確認 ・晶析条件と整合した共除染/逆抽出データ拡充 ・MA回収工程の原理確認 ・超臨界直接抽出法の抽出性能の確認 	試験条件 晶析、共除染・逆抽出、MA回収に関する概要プロセス試験 (~1kg/h)	1 晶析技術の実用化の見通し評価 概要プロセス試験装置の設計への反映 2 小規模ホット試験結果に基づく溶解・晶析・共除染・逆抽出の操業条件提示、実用化の見通し判断 3 小規模ホット試験結果等を踏まえた概要プロセス試験の施設整備開始の判断 4 概要プロセス試験結果に基づく溶解・晶析・共除染・逆抽出の実用化の見通し判断	従来型 Purex ベース技術
	機器開発	<ul style="list-style-type: none"> ・スケールアップの影響等確認のための概要プロセス試験 (小規模ホット試験の10~100倍程度の規模: ~1kg/h = 5t/y相当) 	概念検討 → 詳細設計 → 許認可 設計支援データ、試験条件 必要に応じて許認可支援	施設整備	5 実用機器の性能(処理速度、除染性能等)の確認、実用化の見通し判断	従来型 Purex ベース技術
	機器開発	<ul style="list-style-type: none"> ・処理速度や除染性能など機器性能を確認するための機器概念の構築 (実用化が見通せる規模の機器の設計・製作・試験) 	解体、せん断、溶解、晶析、共除染・逆抽出、MA回収等主要工程の試験用機器設計(試作・試験も含む)	主要工程の機器の製作、機器性能試験	6 簡素化ペレット法の原理的成立性の確認、実用化の見通し判断 7 簡素化ペレット法製造システムの技術確認、実用化の見通し判断	従来型ペレット法ベース技術
簡素化ペレット	<ul style="list-style-type: none"> ・低除染MA含有MOXペレット製造実証 ・製造プロセス開発 	簡素化ペレット法の小規模実証 脱硝転換・ダイ潤滑成型・焼結等、簡素化ペレット製造小規模システムの設計・製作 簡素化ペレット試作試験	簡素化ペレット法による照射燃料製造(技術確認)	8 実用機器の性能(量産性、遠隔保守等)の確認、実用化の見通し判断	高除染体系でのグループボックス内製造システム	
機器開発	<ul style="list-style-type: none"> ・実用化が見通せる規模の遠隔保守補修、量産性確認 	遠隔保守補修概念検討/詳細設計	機器製作 遠隔製造・量産試験			

注) LLFP分離技術開発は当面基礎基盤の位置づけとして、環境負荷低減性に寄与するFP核種の分離技術、分離スキームの調査・検討を進め、2015年頃までには技術的実現性の見通し、経済合理性等を評価してその後の進め方を判断する。

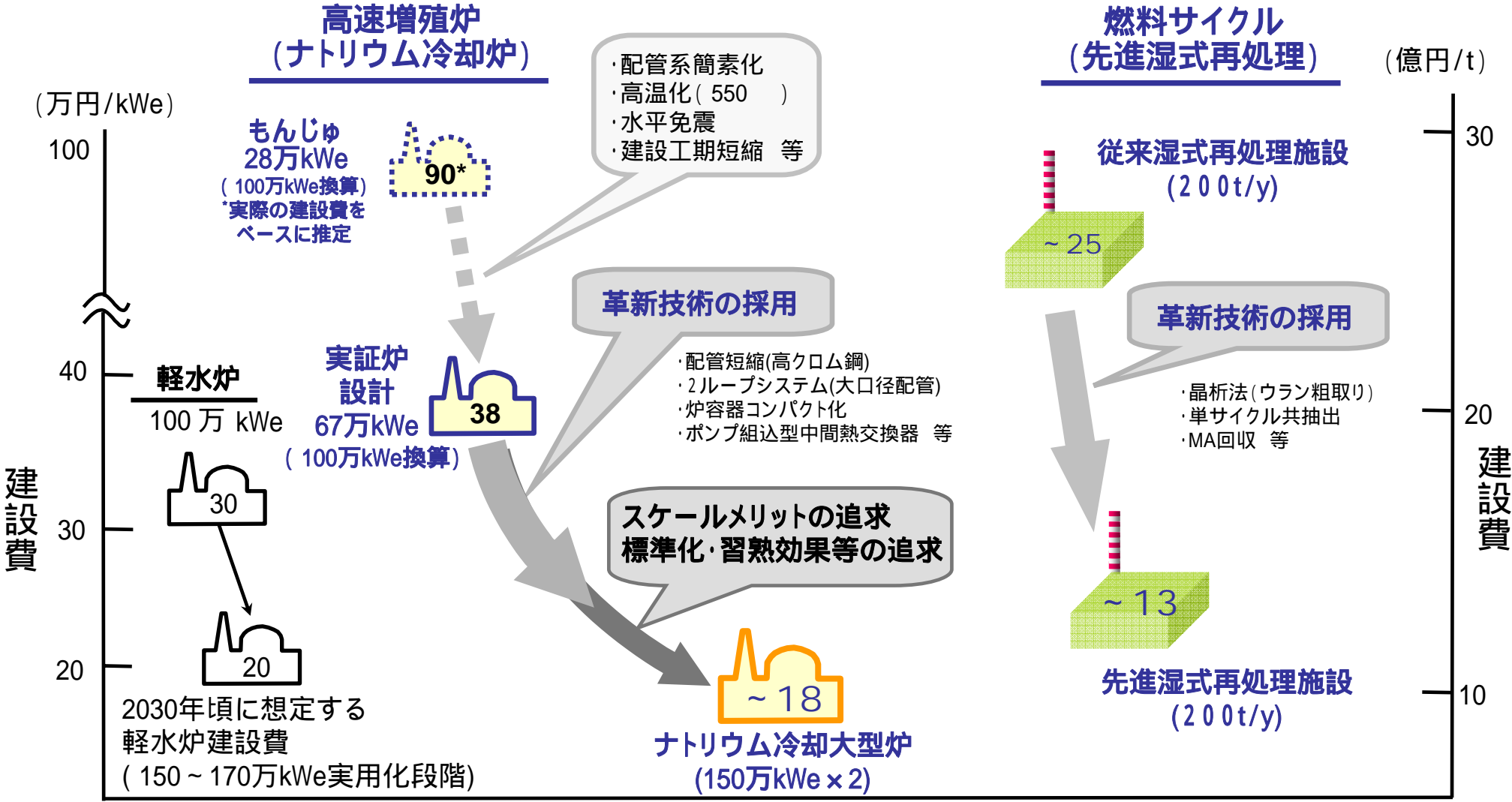
	コールド試験		革新技術の採否の判断
	ホット試験		各課題の主要なチェックポイント
	ウラン試験		
	MOX試験		

FBRサイクル技術の研究開発に係る評価体制

別紙(8)



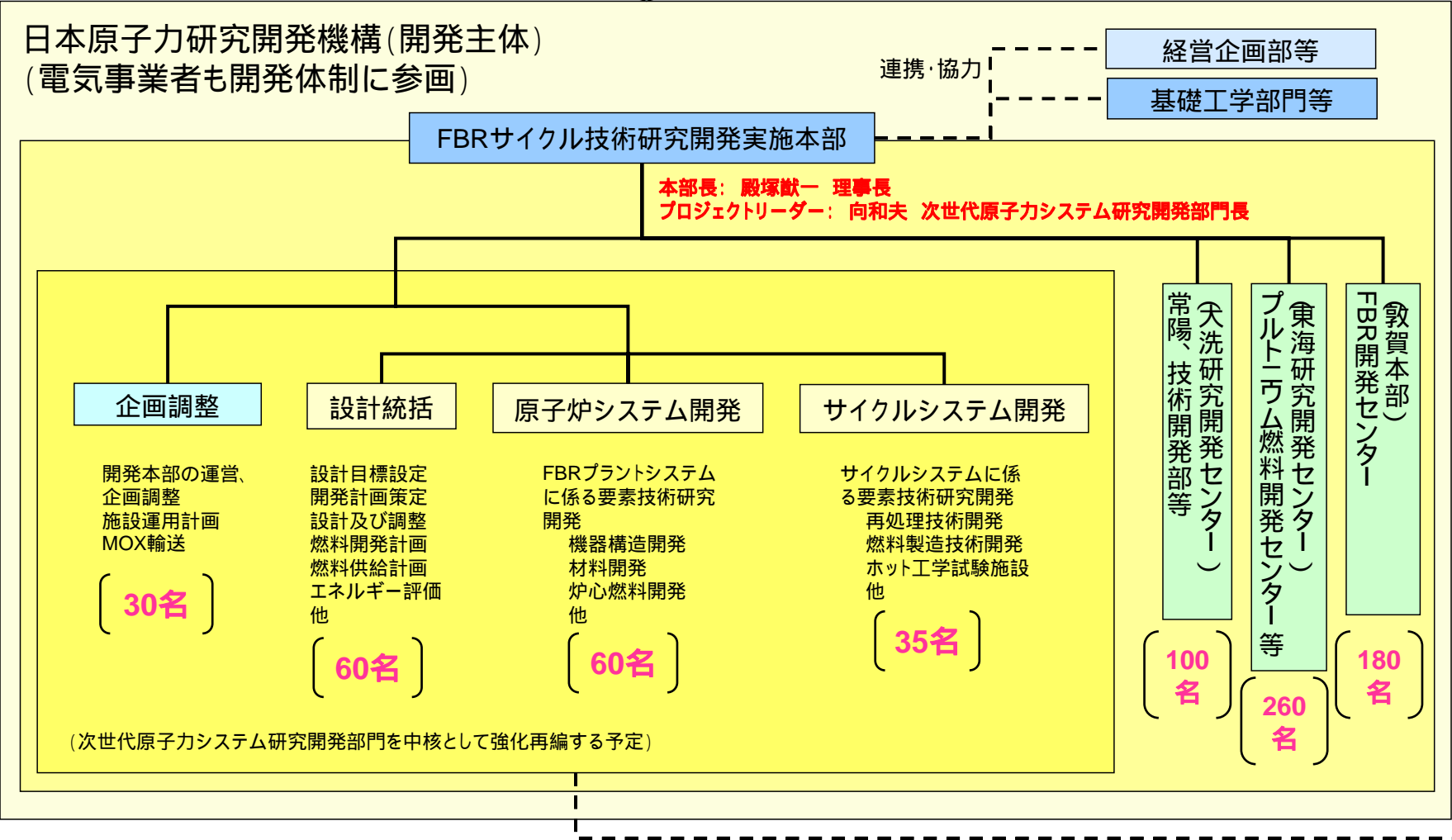
高速増殖炉サイクルのコストパフォーマンスに関するキー技術



原子力機構のFBRサイクル技術研究開発推進体制

文部科学省
(研究開発推進総括)

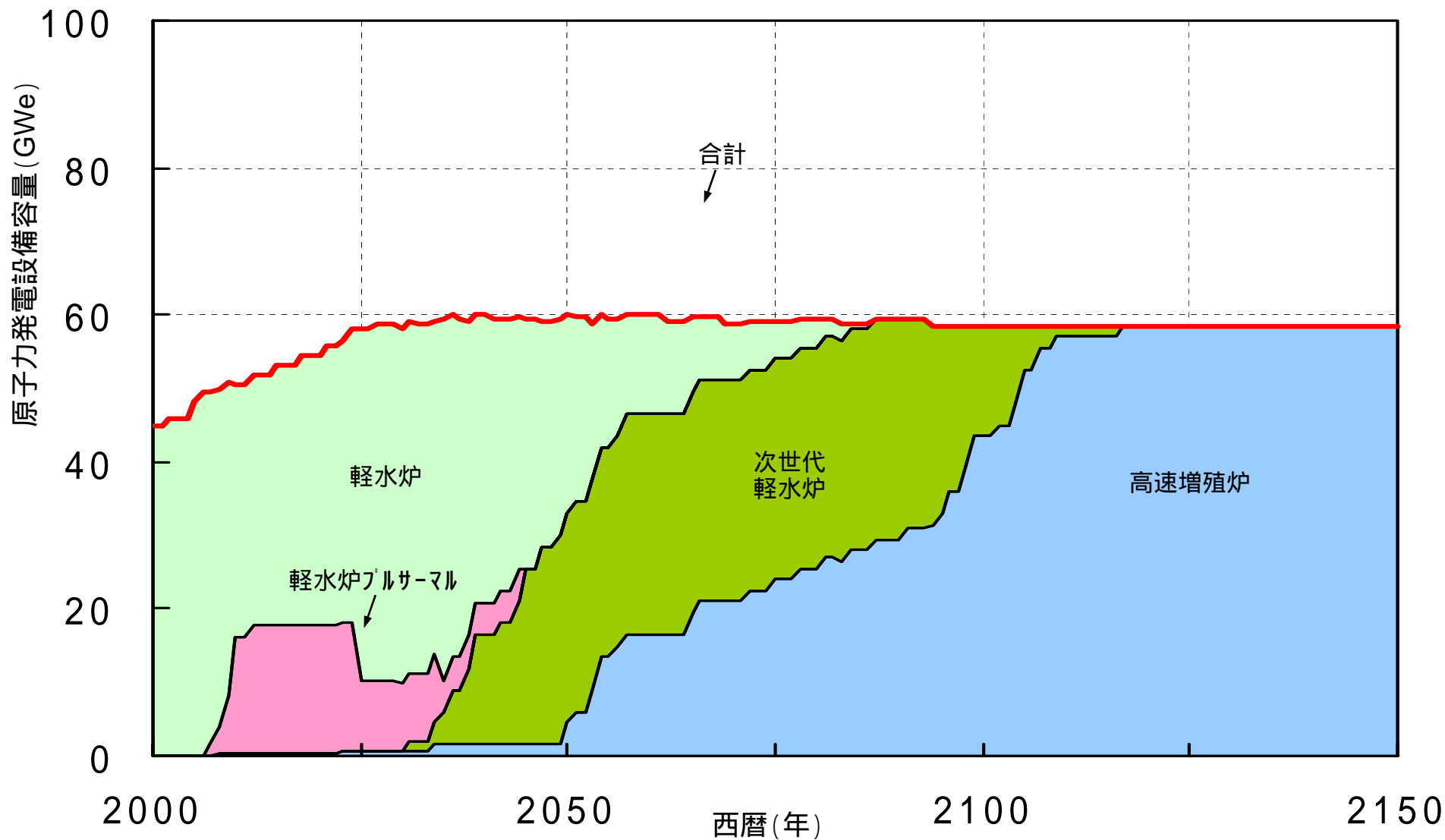
評価・方針・予算



外部評価委員会
評価

委託研究、
共同研究等
メーカー等
研究機関(国内外)等

次世代軽水炉及び高速増殖炉の導入シナリオ (原子力による発電設備容量58GWeの場合)



高速増殖炉サイクル技術研究開発の今後の資金計画

別紙(12)

事項	年度					計
	2006	2007	2008	2009	2010	
炉システム	22	59	74	68	52	275
再処理	10	18	10	9	8	55
燃料製造	2	16	16	22	30	86
大型ナトリウム試験施設	0	0	0	0	0	0
再処理工学規模試験施設	2	18	15	17	15	67
燃料製造工学規模試験施設	0	0	0	1	1	2
燃料製造量産試験	0	0	0	1	6	7
高速実験炉「常陽」	29	50	59	59	55	250
高速増殖炉「もんじゅ」	84	107	157	199	200	747
MOX燃料製造技術開発	46	71	72	70	73	332
CPF等	18	18	20	21	17	94
その他	29	29	40	57	62	218
小計	242	387	464	524	518	2,134

高速増殖炉サイクルの研究開発には、これまでに民間(電力会社等)も資金を投入

例)「もんじゅ」の資金分担 日本原子力研究開発機構: 7,075億円
民間(電力会社等) : 1,382億円

実証・実用化に向けた研究開発の進捗状況や国の評価等を踏まえ、2010年頃に所要の資金の見直しを行う。
高速増殖炉サイクルの実証プロセスへの円滑な移行を実現するため、経済産業省電気事業分科会原子力部会
においても、調査審議を開始。

高速増殖炉サイクルを研究開発段階から実証・実用化段階に早期・円滑に移行するため、文部科学省、経済産業省、日本原子力研究開発機構、電気事業者、メーカーの5者間で連携・協力

高速増殖炉システムの技術開発(経済性向上に係るもの)

	技術開発課題	要求される技術仕様	達成目標	
			2010年	2015年
1	配管短縮のための高クロム鋼の開発	蒸気発生器管板及び伝熱管:高熱伝導・低熱膨張・高温強度に優れる高クロム鋼(12クロム系鋼) 冷却配管系:ステンレス鋼より熱膨張率が小さく、一気に大きな破断に至らないよう適度な延性を有する高クロム鋼(9クロム系鋼)	材料の試作、各種強度試験、溶接手法の開発試験を実施し、物性・強度などのデータを取得する。 それらのデータにより高クロム鋼材料が構造材料に適用可能であることを確認する。	長時間の耐久性評価に必要なデータを取得し、強度基準の整備、強度評価法の整備を行った上、ASME(米国機械学会)、JSME(日本機械学会)等で材料を規格化する。
2	システム簡素化のための冷却系2ループ化	配管大径化と冷却材流速の増加に対し、配管系の破損につながる振動・材料損耗が発生しないこと	水を用いた流動試験により流体励振力データを取得し、振動応答評価手法を確立する。 その検証した手法により実機配管の技術的成立性を確認する。	ナトリウムを用いたエロージョン試験を実施し、エロージョンの発生条件を明らかにすることによって、長期間、材料損耗が発生しないことを確認する。
3	1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発	ポンプ振動による伝熱管の磨耗量が規定値内に収まること 原子炉からの冷却材が伝熱部に均等に流入すること	水を用いた振動伝達試験により、振動解析モデルを検証する。 伝熱管群の水中での振動特性の把握、及び伝熱管の磨耗量の測定試験を実施する。 長軸ポンプの回転安定性試験を実施する。	ポンプ組込型中間熱交換器入口プレナム水流動試験を行い、プレナム内の流況を測定し、流動成立性の確認を行う。 長軸ナトリウムポンプの技術を確認する。
4	原子炉容器のコンパクト化	燃料棒交換用機器の小型化 ナトリウム流速の大きくなる原子炉上部において、気体巻き込みが防止できること (繰り返し熱応力による変形と疲労の増加に対する評価手法の確立)	水及びナトリウムを用いた温度揺らぎ試験及びガス巻き込み試験により、構造物の熱疲労への影響評価及びガス巻き込み現象の制限条件を把握する。 炉容器液面近傍における基礎試験データなどを用いて非弾性解析手法の検証を実施する。	新型の炉上部構造の開発、炉内流量配分の検証を行う。 適用性の確認を含めた高温構造設計方針案の策定を行う。

高速増殖炉システムの技術開発(経済性向上に係るもの)

	技術開発課題	要求される技術仕様	達成目標	
			2010年	2015年
5	システム簡素化のための燃料取扱系の開発	燃料交換システムの動作高速化 切込付UIS(炉心上部機構)に整合するスリム型燃料交換機開発 収納方式を合理化したEVST(炉外燃料貯蔵槽)の成立性 洗浄・缶詰設備の合理化 高発熱新燃料輸送方法の確立	スリム型燃料交換機の開発試験、燃料移送システムの除熱試験、ナトリウムが付着した模擬燃料体の洗浄試験、新燃料輸送時の除熱試験などを実施し、燃料取扱系の主要部分の概念成立性を確認する。	燃料出入機の開発を行う。 EVST(炉外燃料貯蔵槽)内作動性確認を行う。
6	物量削減と工期短縮のための格納容器のSC(鋼板コンクリート)造化	短工期、高強度・低漏洩率(壁-壁接合部、壁-脚部接合部、開口部、ライナ部など)SCCV(鋼板コンクリート格納容器)の技術確立	SC(鋼板コンクリート)構造の試作・開発試験を行い、強度・漏えい率などのデータを取得し、構造の基本的な成立性を確認する。	解析手法を構築し、格納容器としての設計基準を整備する。
7	高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発	耐スエリング性、高温強度の両立(ODS(酸化物分散強化型フェライト鋼)被覆管) 照射性能(低除染TRU(超ウラン元素)燃料・簡素化プロセス中空燃料) 再臨界回避(改良型内部ダクト付燃料集合体)	技術課題毎に取得する試験データに基づき、目標達成見通しを評価する。	主要な成立性確認データを取得し、成立性を評価する。

高速増殖炉システムの技術開発(安全性向上に係るもの)

	技術開発課題	要求される技術仕様	達成目標	
			2010年	2015年
1	配管2重化によるナトリウム漏洩対策強化	不活性ガス雰囲気での微小ナトリウム漏洩の検出性 2重配管の検査性、補修性	微小ナトリウム漏洩検出計のセンサー部の開発を完了し、システム成立性を確認する。 高クロム鋼に対するLBB(破断前漏えい)評価手法を整備する。	微小検出ナトリウム漏洩検出計システムの性能確認試験を実施する。 2重配管の補修方法の開発試験を実施する。
2	直管2重伝熱管蒸気発生器の開発	製作性(2重管の密着性、溶接方法、大型球形管板) 水リークの検出性	実寸長の伝熱管試作試験、管-管板溶接方法開発と健全性評価試験、球形管板試作と健全性評価試験、高温ラプチャー破損モデルを構築する。 ナトリウム中固体電解質水素計開発試験を実施し、機器の成立性を確認する。	2重伝熱管材料の適正化を行う。 水リーク事故時の伝熱管破損モデルの構築・高度化を行う。
3	保守、補修性を考慮したプラント設計	検査性 (保守・補修しやすいプラント設計については、設計上の問題であり、技術開発要素なし)	ナトリウム中目視検査装置の開発試験により、分解能や応答性などの基本的性能の把握、2重伝熱管の超音波検査装置のセンサー開発を実施する。	ナトリウム中検査装置の開発を行う。 ナトリウム中での補修技術(ナトリウム除去、溶接等)の開発を行う。
4	受動的炉心停止と自然循環による炉心冷却	動的機器が関与しない確実な動作性	受動的炉停止装置の要素照射試験を実施し、技術的成立性を確認する。 自然循環崩壊熱除去の評価技術について、水及びナトリウムを用いた縮尺モデル試験のデータを取得し、評価手法を検証する。	実機仕様の受動的炉停止装置を開発し、機能確認試験を実施する。 自然循環崩壊熱除去評価手法について、「もんじゅ」の試験データを用いて検証し、解析手法の検証整備を行う。
5	炉心損傷時の再臨界回避技術	炉心損傷時における溶融燃料の炉心外への排出	溶融燃料の流出を促進する内部ダクトの有効性をカザフスタンIGR研究炉(黒鉛減速パルス出力炉)で確認する。 概略PSA評価(確立論的安全評価)を行う。	炉心外に流出した溶融燃料の冷却性を確認する試験により、炉内終息できることを確認する。 フルスコープPSA評価(確立論的安全評価)を行う。
6	建屋の3次元免震技術	想定地震波に対する建屋の健全性	要素試験・特性試験を行い、評価手法の整備を行う。	実規模免震装置を用いた振動試験により技術確認を行い、実機設計方針を策定する。

先進湿式法再処理システムの技術開発

	技術開発課題	要求される技術仕様	達成目標	
			2010年	2015年
1	機械式解体・短尺せん断技術の開発	<p>所定の処理能力(200tHM/y程度を想定)でラッパ管を除去でき、操作性・保守性に優れていること</p> <p>所定の処理能力(200tHM/y程度を想定)で燃料ピンを短尺にせん断でき、操作性・保守性に優れていること。</p>	要素機を用いたコールド試験による基本性能の確認	工学規模の一体型解体・せん断機のコールド試験、ホット試験により性能を確認し、実用燃料サイクル施設の概念設計に反映させる。
2	高効率溶解技術の開発	<p>所定の処理能力(200tHM/y程度を想定)で高金属濃度溶解液を効率的に得られ、操作性・保守性に優れていること。</p> <p>臨界安全性が担保できること</p>	<p>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、溶解計算コードを改良し、溶解条件を適正化。</p> <p>臨界安全性を考慮した大型溶解槽の設備概念を構築</p> <p>大型溶解槽の部分モックアップ試験機を設計・製作し、コールド試験及びウラン試験により、その基本構造及び基本性能(せん断燃料片の攪拌・移送性、溶液の流動等)を実証</p>	工学規模の連続溶解槽のコールド試験、ホット試験により性能を確認し、実用燃料サイクル施設の概念設計に反映させる。
3	晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発	<p>所定の処理能力(200tHM/y程度を想定)で所定の除染係数と回収率にてウランを安定に回収でき、操作性・保守性に優れていること。</p> <p>臨界安全性が担保できること</p>	<p>核分裂生成物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・結晶洗浄精製技術の確立</p> <p>臨界安全性、高処理能力、安定性、操作性に優れた晶析設備概念を構築</p> <p>工学規模の晶析試験機を設計・製作し、コールド試験にて実証。</p> <p>高濃度溶液・ウラン結晶のハンドリング技術等の確立。</p>	工学規模の晶析装置のウラン試験、ホット試験により、連続晶析装置の高処理能力、安定性、操作性を実証し、実用燃料サイクル施設の概念設計に反映させる。 <p>高濃度溶液・ウラン結晶のハンドリング技術等の実証。</p>

4	U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発	<p>所定の処理能力(200tHM/y程度を想定)で、所定の回収率及び精製度を満足するU-Pu-Npを一括回収でき、操作性・保守性に優れていること。 臨界安全性が担保できること</p>	<p>Np(U,Pu)抽出挙動の確認、抽出計算コードの改良及び一括回収プロセス条件の適正化 工学規模のウラン試験による抽出システム成立性の確認 大容量遠心抽出器の臨界安全設計 大容量遠心抽出器の基本性能、新型駆動機構の高耐久性実証</p>	<p>工学規模の抽出システムのホット試験により、遠心抽出器複数段で構成されるシステムの性能を確認し、実用燃料サイクル施設の概念設計に反映させる。</p>
5	抽出クロマト法によるMA回収技術の開発	<p>Am,Cmに関する所定の分離回収機能を有する安定した抽出剤・吸着材を用いてAm,Cmの回収ができ、操作性・保守性に優れていること。</p>	<p>プロセス試験により、各種吸着材(抽出剤)を比較・評価(分離性能及び安全性)し、適正なものを選定し、フローシートを構築。 小規模ホット試験によるMA(マイナーアクチニド)及びFP(核分裂性生物)元素の挙動評価。 要素試験や遠隔運転性・計装機器等の検討を踏まえ、工学規模プロセス機器試験装置の開発</p>	<p>MA(マイナーアクチニド)回収フローシートの改良 工学規模のホット試験により、プロセス機器(分離塔、回収塔等)の遠隔運転性・計装機器等の成立性を実証し、実用燃料サイクル施設の概念設計に反映させる。</p>
6	廃棄物低減化(廃液二極化)技術の開発	<p>ナトリウム等の金属イオンを含まないソルトフリープロセス開発による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(廃液二極化)することによる処理・処分の合理化</p>	<p>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 ソルトフリープロセス条件に対応した工学規模装置の設計・製作</p>	<p>ソルトフリープロセス条件に対応した工学規模装置のコールド試験による実証</p>
7	次世代再処理プラント	<p>高速炉サイクルの実用期における再処理プラントの概念設計 軽水炉、高速炉、プルサーマル燃料を合理的に処理できる移行期プラントの仕様を提示</p>	<p>実用再処理プラント概念の構築 移行期プラントの概略仕様の提示</p>	<p>要素技術開発の進展を踏まえた実用再処理プラントの概念設計の適正化 移行期プラントの技術仕様の適正化</p>

8	<p>先進湿式法再処理技術の 工学規模ホット試験</p>	<p>最小工学規模での革新技術の性能 データ取得 総合システム実証が可能な施設の 設計・整備 工学規模ホット試験施設の設計、製 作、施工に係る技術基盤を整え、この 試験施設を用いて取得した試験データ と合わせて再処理技術体系を整備</p>	<p>工学規模ホット試験施設の概念検討・詳 細設計 工学規模ホット試験施設の許認可(安全 審査、設工認等)の取得</p>	<p>工学規模ホット試験施設を整備し、最小 規模での革新技術の性能実証データを得 る。 全ての設備を連結した総合システム実証 試験に着手する。</p>
---	----------------------------------	---	--	---

経済性向上に係るもの、

安全性向上に係るもの

簡素化ペレット法燃料製造システムの技術開発

	技術開発課題	要求される技術仕様	達成目標	
			2010年	2015年
1	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技術 遠隔保守量産技術開発	脱硝加熱器などの転換装置に造粒機能を組み込み、所定の処理能力で、転換工程で流動性の良い造粒粉末を直接得られる技術を開発する。 所定の処理能力(200tHM/y程度を想定)を有する遠隔保守対応量産設備を開発する。 臨界安全性が担保できること	技術開発成果を踏まえ、採用プロセスを選定する。 脱硝・転換・造粒一元処理設備の臨界安全設計 遠隔保守対応量産設備の基本技術を開発する。	プロセス条件を適正化し、運転条件を把握する。 工学規模試験施設の設備設計・製作に反映するとともに、実用燃料サイクル施設の概念設計に反映する。
2	ダイ潤滑成型技術の開発 ダイ潤滑成型プロセス 遠隔保守量産技術	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予備焼結工程、脱ガス工程なしで良好なペレットを製作する。 所定の処理能力(200tHM/y程度を想定)を有する遠隔保守対応量産設備を開発する。 臨界安全性が担保できること	技術開発成果を踏まえ、採用プロセスを確定する。 ダイ潤滑成型設備の臨界安全設計 遠隔保守対応量産設備の基本技術を開発する。	プロセス条件の適正化し、運転条件を把握する。 工学規模試験施設の設備設計・製作に反映するとともに、実用燃料サイクル施設の概念設計に反映する。
3	焼結・O/M(酸素(Oxygen)原子数と重金属(Metal)原子数の比)調整技術の開発 焼結・O/M調整プロセス 遠隔保守量産技術	高燃焼度用燃料ペレットの(低O/M、高密度)製造実証。 所定の処理能力(200tHM/y程度を想定)を有する遠隔保守対応量産設備を開発する。 臨界安全性が担保できること	技術開発成果を踏まえ、採用方式を選定する。 焼結・O/M調整設備の臨界安全設計 遠隔保守対応量産設備の基本技術を開発する。	プロセス条件を適正化し、運転条件を把握する。 工学規模試験施設の設備設計・製作に反映するとともに、実用燃料サイクル施設の概念設計に反映する。

4	セル内遠隔設備開発	セル内遠隔保守対応の燃料製造設備及び遠隔ハンドリング設備を開発する。 量産対応のための粉末分析、ペレット検査技術を開発する。	セル内での遠隔燃料製造対応の基本的な保守補修技術を構築する。 セル内量産対応の粉末分析、ペレット検査の基本技術を開発する。	セル内遠隔燃料製造設備に適正な保守補修システムを構築し、工学規模ホット試験施設の設備設計、製作及び実用燃料サイクル施設の設計に反映する。 セル内量産対応に適正な粉末分析、ペレット検査技術を開発し、工学規模ホット試験施設の設備設計、製作及び実用燃料サイクル施設の設計に反映する。
5	TRU(超ウラン元素)燃料 取扱い技術 原料発熱影響評価	高発熱原料粉の燃料製造への影響を把握し、除熱対策を確立する。	高発熱原料粉の燃料製造への影響を把握し、除熱対策を確立する。	工学規模ホット試験施設の設備設計・製作に反映するとともに、実用燃料サイクル施設の設計に反映する。
6	燃料ピン・集合体量産技術 の開発	燃料ピン・集合体の遠隔操作による量産技術を確立する。 臨界安全性が担保できること(既存設備であり達成済み)	グローブボックスシステムでの燃料ピン量産技術蓄積により遠隔製造システムの基本技術を確立する。	工学規模ホット試験施設の設備設計・製作に反映するとともに、実用燃料サイクル施設の設計に反映する。
7	燃料製造技術の工学規模 ホット試験	量産設備開発、遠隔保守補修性の確認試験に適合した構造、設備規模の工学規模ホット試験施設の詳細設計 工学規模ホット試験施設の許認可(安全審査、設工認等)の取得	工学規模ホット試験施設概念を構築する。	工学規模ホット試験施設の詳細設計を行い、許認可(安全審査、設工認等)を取得する。 工学規模ホット工学試験施設の建設に着手すると共に、許認可データを実用燃料サイクル施設の概念設計に反映させる。

経済性向上に係るもの 安全性向上に係るもの