第１９回評価ワーキンググループ
補足資料－２

核燃料サイクル関連分野に係る
技術に関する施策・事業評価の概要

平成27年3月20日

資源エネルギー庁　電力・ガス事業部
原子力立地・核燃料サイクル産業課

目　次

１．核燃料サイクルに係る施策の概要

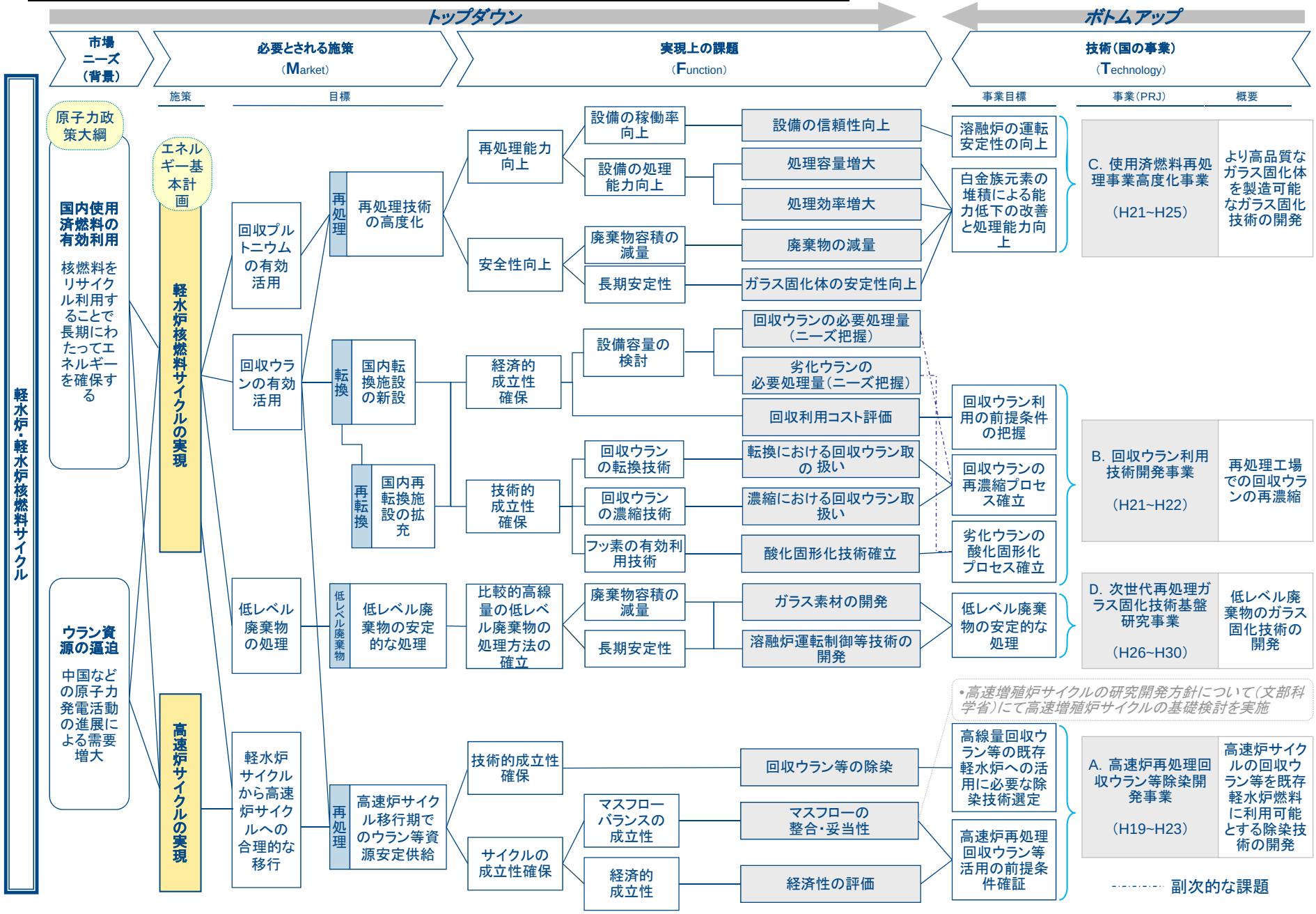
２．目的・政策的位置付け

３．前回評価の結果

４．評価

５．提言及び提言に対する対処方針

1. 核燃料サイクルに係る施策の概要



２．目的･政策的位置付け

・　我が国は、資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減等の観点から、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム等を有効利用する核燃料サイクルの推進を基本的方針としている。

・　例えば、プルサーマル（プルトニウムを軽水炉で利用）を進めることで、

（１）ウラン資源を約１～２割節約することができる。

（２）高レベル放射性廃棄物についても直接処分する場合に比べ体積を約１／４に減らすことができる。

（３）高レベル放射性廃棄物の有害度が天然ウラン並になるまでの期間についても、約８千年と直接処分する場合に比べ１／１０以下にすることができる。

といった効果がある。

・　原子力研究開発は、技術開発から事業化まで相当な期間を要し、多額の費用を要する他、世界的な核不拡散体制等の国際的動向も踏まえた政策対応を図ることが必要であるため、民間のみに取り組みを求めることは困難であり、国が適切に技術開発の推進や事業環境の整備を図ることが必要である。

２．目的･政策的位置付け

原子力政策大綱（抜粋）※平成１７年１０月１４日閣議決定

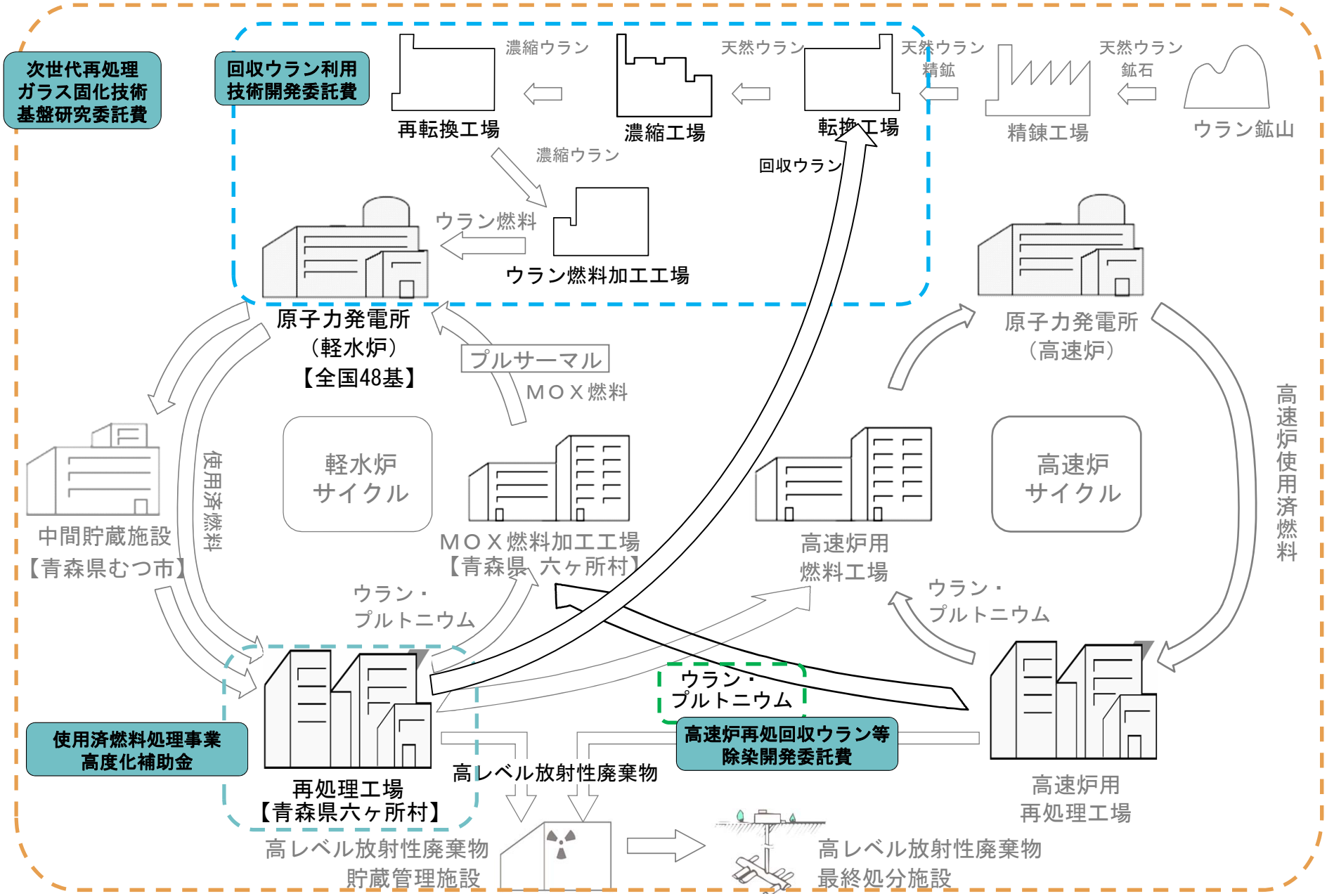
「我が国における原子力発電の推進に当たっては、経済性の確保のみならず、循環型社会の追究、エネルギー安定供給、将来における不確実性への対応能力の確保等を総合的に勘案するべきである。そこで、これら１０項目の視点からの各シナリオの評価に基づいて、我が国においては、核燃料資源を合理的に達成できる限りにおいて有効に利用することを目指して、安全性、核不拡散性、環境適合性を確保するとともに、経済性にも留意しつつ、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用することを基本的方針とする。使用済燃料の再処理は、核燃料サイクルの自主性を確実なものにする観点から、国内で行うことを原則とする。」

エネルギー基本計画（抜粋）※平成２６年４月１１日閣議決定

「我が国は、資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減等の観点から、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム等を有効利用する核燃料サイクルの推進を基本的方針としている。

核燃料サイクルについては、六ヶ所再処理工場の竣工遅延やもんじゅのトラブルなどが続いてきた。このような現状を真摯に受け止め、これら技術的課題やトラブルの克服など直面する問題を一つ一つ解決することが重要である。その上で、使用済燃料の処分に関する課題を解決し、将来世代のリスクや負担を軽減するためにも、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減や、資源の有効利用等に資する核燃料サイクルについて、これまでの経緯等も十分に考慮し、引き続き関係自治体や国際社会の理解を得つつ取り組むこととし、再処理やプルサーマル等を推進する。」

2. 目的・政策的位置付け


次世代再処理
ガラス固化技術
基盤研究委託費
回収ウラン利用
技術開発委託費
濃縮ウラン
天然ウラン
天然ウラン
精鉱
天然ウラン
鉱石
再転換工場
濃縮工場
転換工場
精錬工場
ウラン鉱山
濃縮ウラン
回収ウラン
ウラン燃料
ウラン燃料加工工場
原子力発電所
（軽水炉）
【全国48基】
プルサーマル
ＭＯＸ燃料
原子力発電所
（高速炉）
高速炉使用済燃料
使用済燃料
軽水炉
サイクル
高速炉
サイクル
中間貯蔵施設
【青森県むつ市】
ＭＯＸ燃料加工工場
【青森県 六ヶ所村】
高速炉用
燃料工場
ウラン・
プルトニウム
ウラン・
プルトニウム
ウラン・
プルトニウム
使用済燃料処理事業
高度化補助金
高速炉再処回収ウラン等
除染開発委託費
再処理工場
【青森県六ヶ所村】
高レベル放射性廃棄物
高速炉用
再処理工場
高レベル放射性廃棄物
貯蔵管理施設
高レベル放射性廃棄物
最終処分施設

2. 目的・政策的位置付け

事業名	実施期間	評価区分	事業概要
A. 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発委託費	平成19～23年度	終了時評価	高速炉導入後も、全ての軽水炉が高速炉に置き換わるまでの間、長期にわたって軽水炉と高速炉が共存する。この移行期には高速増殖炉サイクルと軽水炉サイクルで相互にウラン等を受給できることがそれぞれのサイクルの燃料バランスを保つうえで必要となる。そこで、高速炉用再処理工場で回収される高線量のウラン、プルトニウム等を既存の軽水炉用燃料加工工場で取り扱うための除染技術開発を行った。
B. 回収ウラン利用技術開発委託費	平成21～22年度	終了時評価	六ヶ所再処理工場から回収されるウランを再び軽水炉で利用するため、既存のウラン濃縮施設、再転換施設での回収ウラン取扱いへの影響や原子炉の炉心特性に与える影響等を調査した。また、高性能で安全性、経済性に優れた転換プロセス、濃縮プロセス、再転換プロセスを検討し、回収ウラン利用の技術開発の概念検討を行った。
C. 使用済燃料再処理事業高度化補助金	平成21～25年度	終了時評価	再処理施設で用いられるガラス固化技術について、より多くの高レベル廃液を溶融可能な新しい性状のガラスを開発するとともに、これに対応しうる新型のガラス溶融炉を開発する。
D. 次世代再処理ガラス固化技術基盤研究委託費	平成26～30年度	事業開始年度であるため評価対象外	我が国では、原子力発電所等の操業・廃止時の除染等により発生する低レベル廃液等については、そのガラス固化技術の研究開発は手つかずの状況である（米・仏・韓ではすでに実用化済）。そのため、低レベル廃液の組成に合ったガラス固化技術の確立を目指し、低レベル廃液を中心とした様々な廃液組成に対応可能な「ガラス」及び「ガラス溶融炉の運転制御技術」に関する調査・基礎試験等を実施する。

3. 前回評価（平成21年度）の結果

今後の研究開発の方向等に関する提言	提言に対する対処方針
○核燃料サイクル分野の技術開発については、政策大綱等に基づき国として取り組むべき必要な施策であり、今回の評価対象については、適切にそれぞれの事業が行われているものと考える。しかしながら、施策毎に確認していくと、目標設定の明確性、研究開発プロセスの合理性・効率性、抽出された技術的な課題についての評価・検討、目標に対する検証等について、PDCAサイクルが十分に機能していないものも見受けられる。PDCAサイクルを意識して常に回していくことはもとより、ホールドポイントを設けて十分な検証を行った上で次に進む、といったことを開発主体自らが実施することが大切である。今後の核燃料サイクルの技術開発に向けては、国・事業者はこの点を考慮して進めることが肝要である。	○今後、施策を進めていく上では、事業における研究開発目標を具体的なものにすることが重要と認識し、実施しているところではあるが、今後更に、事業の開始時点、中間時点、最終時点での成果の確認、事業評価等をより確実に実施していくことはもとより、社会情勢（国内外の社会における核燃料サイクルの動向等）を踏まえ、事業の見直しを行うことも重要と考える。 ○また、事業者においては、課題、プロセスについて、進捗管理、達成度管理ができるよう具体的なマイルストーンを設定し、適宜、成果についての検証及びそのフィードバックが確実に実施されるようより柔軟性をもって努めていくことが重要であり、国としても、プロジェクトリーダーとの間で意思疎通を図りつつ、事業を進めていくこととしたい。

3. 前回評価（平成21年度）の結果

今後の研究開発の方向等に関する提言	提言に対する対処方針
○加えて、プラントの詳細設計、施工、運転時においては、研究開発段階では予見できなかった種々の課題が発生することも考えられる。事業者においては、今後、プラントの詳細設計等を進めていく上で、技術開発時における技術課題はもとより、実用化に向けた課題も十分に考慮されることを期待する。	○事業化、実用化に向けた課題等については、研究開発の実施と併せ継続的に取組むことが重要と認識している。事業者において、これらの課題等が、プロセス、スケジュールに反映できる体制となっているか等、事業終了後とはいえども、事業の進捗の把握に努め、必要に応じて提案等を行うこととしたい。

3. 前回評価（平成21年度）の結果

今後の研究開発の方向等に関する提言	提言に対する対処方針
○2020年までに90年比で温室効果ガス25%減の約束に向けて、その達成に努めることが求められる。すべてのエネルギー供給形態の中で、原子力は重要な我が国のエネルギー技術であり、今後のエネルギー供給計画の中でどのような定量的な目標を設定するかが緊急の課題である。また、中長期的に見ても、環境課題面、経済戦略面で、原子力は省庁を超えて常時議論が必要な最重要課題のひとつである。何よりも、オールジャパンの議論を盛んにし、エネルギー技術全般のシナリオの中で原子力全体の立ち位置を確認しながら施策を進めるべきである。	○御指摘のとおり、原子力は重要な日本のエネルギー技術と認識しており、今後、原子力委員会における政策大綱、エネルギー基本法に基づくエネルギー基本計画等の策定時において、関係省庁も含めて議論していく。

４．評価

４－１．評価検討会

評価検討会名称	核燃料サイクル関連分野に係る技術に関する施策・評価検討会	
評価検討会委員	座長	高木　直行 東京都市大学　教授
	委員	黒木　敏高 独立行政法人科学技術振興機構　執行役 杉山　一弥 一般社団法人原子力産業協会　企画総務部長 関　哲朗 文教大学情報学部　教授 藤原　啓司 原子力発電環境整備機構　技術部長 （五十音順）

４－２. 施策の目的・政策的位置付けの妥当性

○エネルギー資源の乏しい我が国にとって、原子力エネルギーを安全かつ適切に活用していかざるを得ないと考えられるため、それを支える核燃料サイクルの推進は不可欠である。

○本施策は、準国産かつ持続可能な核エネルギー体系の開発を進める上で、環境適合性や核不拡散性の確保に配慮した技術戦略が追求されており、長期的視点から将来の社会的ニーズに適う計画となっている。

○なお、個々の研究開発プロジェクトにおいては、解決すべき課題と達成すべき目標及びそのために開発対象となる技術が示されているが、核燃料サイクル関連分野全体を俯瞰したとき、それぞれの研究開発事業開始時点で、何故、その時、その技術開発を実施するのかが必ずしも明確でない。

○今後は、過去の研究開発事業や他の今後実施すべき事業と並べて全体としての取組方針や取り組む対象技術及び取り組むべき時期を議論してからすすめるべきである。

○また、原子力政策大綱やエネルギー基本計画に基づく原子力戦略を進める上では、既定戦略に沿った選択肢以外の選択肢についても一定規模の範囲で並列して調査、検討を実施すべきである。

４－３. 施策の構造及び目的実現の見通しの妥当性

〇各事業は、施策を具体化する上で、現時点においても極めて必要性の高いものと判断される。

〇各事業とも、調査、開発の目標を的確に設定するとともに、中間評価の実施により、開発を実施していく上での問題点の洗い出し、進捗管理を実施しており、事業スケジュール、成果も概ね妥当である。

〇福島第一原発事故によって我が国の原子力政策は大きな変革が求められており、今後、施策の構造については見直しが必要である。

４－４．総合評価（コメント）

○技術に関する施策、技術に関する事業共に、事業の進捗と問題点、課題を的確にモニタリングするための中間評価と終了時評価を外部の有識者を交えて実施しており、評価体制は問題ないと考える。

○本施策は国がイニシアチブを持って実施すべき施策であり、評価対象事業の成果、費用対効果についても肯定的評価に値するものであると判断できる。

○得られた成果が次なるステップに有効に活用され、商用利用されることを期待したい。

○これらの事業を推進した結果、課題が解決できた一方で新たな課題も分かったはずであり、その整理も必要ではないかと思われる。

○核燃料サイクル先進国との国際連携については、適切な契約の下で情報交換や共同開発を進めることが、資金的な制約の補完などの観点で必要である。

○施策による確実な成果確保と実施過程の妥当性確保のために、諸外国では一般と考えられるマネジメント手法の導入が期待される。

5. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言	提言に対する対処方針
○エネルギー資源の乏しい我が国にとって、原子力エネルギーを安全かつ適切に活用していかざるを得ないと考えられるため、エネルギー基本計画等を踏まえ、核燃料サイクル推進に資する具体的な施策を再度整理し今後も着実に実施に移していくことが重要である。 国内外の最新研究動向を踏まえつつ、既成概念にとらわれない柔軟な発想で今後の施策を考え、開かれた政策決定プロセスを展開することが、原子力の信頼回復等に必要と考える。 今回の施策に配置された事業の他にもキーコンポーネントが数多くある。事業の設定の際は、核燃料サイクル全体を見た大きな俯瞰図に基づいて計画的に事業を配置する必要がある。	○今後進める研究開発については、エネルギー基本計画等を踏まえ、引き続き核燃料サイクル推進に必要な課題を広く柔軟な発想で抽出し、計画的に事業を配置し、着実に実施していくこととしたい。

５．提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言	提言に対する対処方針
○今回の評価対象事業においては、期待される成果が得られ、成果による費用対効果の適切性が提示されているが、果たして、そのプロセスが適切であったかについては評価できない。この点についてのマネジメントと報告の必要性を示すべきである。	○今後進める研究開発については、課題、プロセスについて、進捗管理、達成度管理ができるよう具体的なマイルストーンを設定し、適宜、成果についての検証及びそのフィードバックが確実に実施されるよう、国としても、事業者との間で意思疎通を図りつつ、事業を進めていくこととしたい。

A. 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発委託費に係る事業の概要

目　次

１. プロジェクトの概要

２. 目的・政策的位置付け

３. 目標

４. 成果、目標の達成度

５. 事業化、波及効果

６. 研究開発マネジメント・体制等

７. 中間評価（平成21年度）の結果

８. 評価

９. 提言及び提言に対する対処方針

A. 1. プロジェクトの概要

概　　要	高速増殖炉サイクルから軽水炉サイクルへのウラン等の供給を行ううえで必要となる高除染化技術を開発する。また、軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの詳細な移行シナリオを検討・策定し、ここから導き出される高速増殖炉サイクルへの移行期における最適なプラントスタイルの検討を実施する。さらに、国内における再処理技術に係る知識、データ等の体系化に関する研究を実施する。
実施期間	平成19年度～平成23年度　（5年間）
予算総額	17.5億円（委託） （平成19年度：2.7億円　平成20年度：4.4億円　平成21年度：5.0億円 平成22年度：2.7億円　平成23年度：2.7億円）
実　施　者	独立行政法人　日本原子力研究開発機構
プロジェクトリーダー	大森 栄一 （原子力機構 次世代原子力ｼｽﾃﾑ研究開発部門 技術主席）

A．２．プロジェクトの目的・政策的位置付け

２－１．目的

平成17年の「原子力政策大綱」では、2050年頃からの商用ベースでの高速増殖炉の導入を目指すことが記されており、この高速増殖炉サイクルを可能とする再処理技術の研究が進められている。軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行期において、高速増殖炉サイクルからも軽水炉サイクルにウラン等を受給できることがそれぞれのサイクルの燃料バランスを保つために必要となる。しかし、高速増殖炉使用済燃料の再処理施設より回収される高線量のウラン等は軽水炉への供給のために既存の軽水炉燃料加工施設で取扱うことが困難であるため、これを可能とする高除染化技術について調査及び基礎試験等を行い、商業的に利用可能な除染技術を開発する。

また、核燃料サイクル全体の軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行シナリオを検討し、ここから導きだされる移行期における最適なプラントスタイルの検討を実施する。

さらに、国内の再処理技術、運転経験等を次世代に引き継ぐための知識の体系化等に関する研究や、技術の知的所有権等に係る整理を実施する。

A. 2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

２－２. 政策的位置付け

〇原子力政策大綱（平成17年10月　閣議決定）（抜粋）

「高速増殖炉については、（中略）、2050年頃から商業ベースでの導入を目指す」

「我が国においては、核燃料資源を合理的に達成できる限りにおいて有効に利用することを目指して、（中略）、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用することを基本的方針とする」

「（前略）軽水炉使用済MOX燃料の処理の方策は、六ヶ所再処理工場の運転実績、高速増殖炉及び再処理技術に関する研究開発の進捗状況、核不拡散を巡る国際的な動向等を踏まえて2010年頃から検討を開始する」

A. 2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

２－２. 政策的位置付け

〇原子力立国計画（平成18年8月　総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会報告）（抜粋）

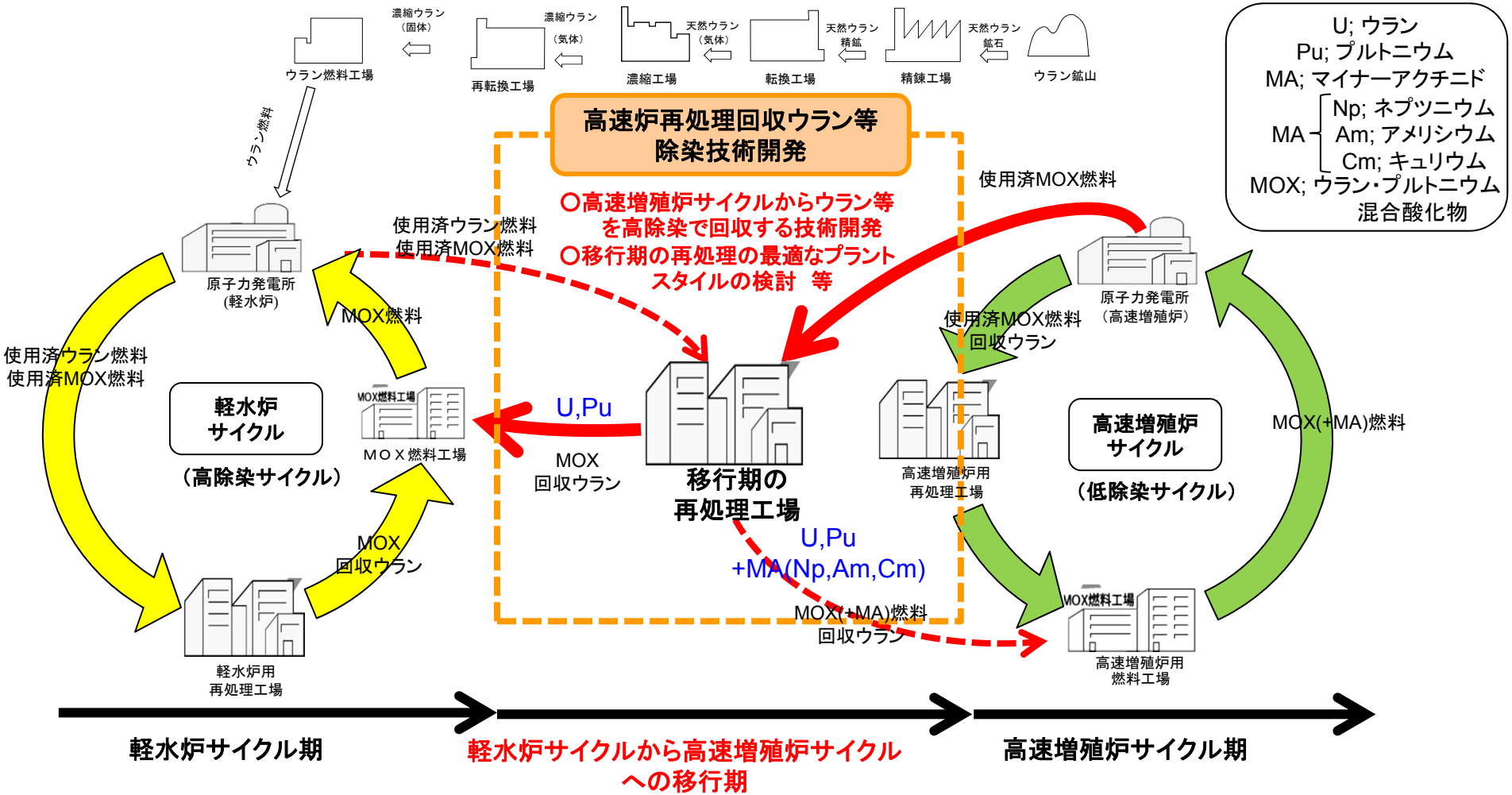
「第二再処理工場については、「原子力政策大綱」において2010年頃からその検討を開始することとされているが、その検討のための準備として、第二再処理工場の目的や求められる機能について、調査研究やデータ蓄積を行うことが必要である」

「再処理工場の建設間隔（約40年）が原子力発電所に比べて長期であることを鑑みると、技術の継承のためには、これに加え、技術等のノウハウを工学的に体系化し、効率的に伝承する手法の研究が必要である」

A. 2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

◆ 高速増殖炉の導入以降、全ての軽水炉を高速増殖炉へ置き換えるには数十年の期間を要する。この間、軽水炉サイクルと高速増殖炉サイクルが共存する(移行期)。

◆ 移行期における両サイクル間の燃料バランスをとるため、移行期の再処理工場(六ヶ所再処理工場に続く第二再処理工場)の在り方について検討を行うことが必要。



高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発事業

A. 3. 目標

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(1)除染技術の調査・開発 ①除染技術の調査	・除染技術としての技術的要件を整理するとともに、有望な除染技術を選定する。	・候補技術は多数あり、有望技術を選定することにより、本事業における研究開発の効率化を図る。
②溶媒抽出法による除染プロセス開発 a.遠心抽出システム　開発	・単段型遠心抽出器の試験機(200トン/年規模)を用いた中性子吸収材内封型遠心抽出器の成立性を評価する。	・中性子吸収材内封型遠心抽出器を適用できれば、臨界安全上の制約が緩和され、更に大型化設計が可能となるため実施する必要がある。
	・単段型遠心抽出器の臨界安全上の最大規模を評価する。	・大型遠心抽出器の基本構造を提示するために、臨界安全上の最大規模を評価する必要がある。
	・除染プロセスに対する多段型遠心抽出器の適用性を評価する。	・単段型と比較するため、多段型遠心抽出器の基本性能の評価、臨界安全上の最大規模の検討等を行い、除染プロセス適用性を評価する必要がある。
	・単段／多段の遠心抽出器両機による異常発生までの時間等の耐スラッジ性を評価する。	・スラッジ流入に対応可能な遠心抽出器システムを構築するため、単段型及び多段型の遠心抽出器を用いたスラッジ試験によりスラッジ堆積挙動を定量的に把握する必要がある。
	・流動解析シミュレーションの実用性を評価する。	・スラッジ挙動を含めた流動性評価に対してコンピュータシミュレーションが有効である。従って、大型化検討及び耐スラッジ構造の検討を効率的に進めるために流動解析シュミュレーション技術を開発する必要がある。

A. 3. 目標

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(1)除染技術の調査・開発 ②溶媒抽出法による除染プロセス開発 b.コプロセッシング法を用いた除染プロセス開発	・移行期における処理対象溶液からウラン、プルトニウムを共回収するプロセスフローシートを抽出計算コードにより設定する。また、設定したフローシートに基づき、ウラン、プルトニウムを共回収するプロセスの確立に向け、ミキサセトラ試験を行いフローシートの成立性を確認する。	・抽出計算コードによるウラン、プルトニウムの挙動は、現状、必ずしも実際と一致するとは限らないため、計算コードと試験の比較により、技術的成立性を確認する必要がある。
	・ウラン/プルトニウム共回収液中でのウラン同伴を監視するためのウラン/プルトニウム混合モニタに係る試験を行う。	・ウラン/プルトニウム共回収液に影響を与えない分析方法（試薬の添加等が不要な方法）を選定し、測定の可否を確認する必要がある。

A. 3. 目標

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(1)除染技術の調査・開発 ②溶媒抽出法による除染プロセス開発 c. モノアミドを用いた除染プロセス開発	・事業化へ向けた研究開発段階へ移行するための判断材料となる分離プロセス基礎データを整備する。	・除染プロセスにおける抽出剤としてのモノアミドに関しては、連続抽出プロセスにおけるウラン及びプルトニウムの移行挙動、溶媒洗浄、並びに溶媒劣化物の影響等に関する基礎データが十分に整備されていない。 ・このため、連続抽出プロセスにおけるウラン及びプルトニウムの移行挙動をシミュレーション解析で把握するとともに、ミキサセトラによる連続抽出試験を実施し、モノアミドを用いた除染プロセスの成立性を評価する必要がある。また、溶媒の劣化物は沈殿生成等の問題を引き起こす可能性があるため、劣化物の洗浄法を検討するとともに、劣化物と金属元素との錯体に関する基礎物性も明らかにする必要がある。

A. 3. 目標

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(1)除染技術の調査・開発 ③フッ化物揮発法を用いた除染プロセス開発	・フッ化物揮発法や同手法にて課題と考えられる粉末ハンドリング技術に関する調査を行う。	・フッ化転換技術として有望なフレーム炉の適用を想定し、その妥当性を検討するため、国内外の類似技術の調査を行う。また、粉末移送等のハンドリング手法が懸念されるため、同技術の実情を調査する必要がある。
	・軽水炉へ供給可能なフッ化転換・高除染プロセスを検討し、ブロックフロー及びプロセスフローを作成し、プロセス概念と物質収支を検討する。	・プロセスの概念を検討するために、調査結果等を基にブロックフローやプロセスフローを作成する必要がある。
	・施設概念設計を行う上での課題摘出及び対策の検討を行う。	・技術の実現性を検討するために、施設概念設計を行う上での課題や対策を整理する必要がある。

A. 3. 目標

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(2)軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行シナリオ等検討	・原子炉を含めた核燃料サイクル全体の軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行シナリオを明らかにする。	・高速増殖炉の円滑な市場導入を図る上で、いつ頃、どの程度の量のウラン等の受給が見込まれるか等、核燃料サイクルの全体像を把握しておく必要がある。
	・上述の核燃料サイクルを実現していく上で、軽水炉から高速増殖炉への移行期に必要となる第二再処理工場のプラントスタイルについて、ブロックフローレベルでの概略検討を行う。	・移行期には、軽水炉（軽水炉MOX含む）や高速増殖炉の使用済燃料の再処理が必要となるが、このための方策としていくつかのプラントスタイルが考えられる。今後の各種研究開発を効率的に進めていくためには、ターゲットプラントのスタイルを明らかにしていく必要がある。このため、複数考えられるプラントスタイルに特徴的な利害得失を把握するために、まずはブロックフローレベルでの概略検討が必要となる。
	・第二再処理工場の主工程に採用される可能性のある複数の再処理プロセス技術を採用した場合のプラントイメージの整理と、種々の観点から相互比較を行う。	・第二再処理工場の主工程に採用する再処理プロセス技術として複数の候補が想定される。このため、いくつかの有力な再処理技術を採用した場合のプラントイメージを整理し、それらの利害得失を明らかにして、有力な再処理技術を絞り込む必要がある。
	・コプロセッシング法の軽水炉/高速増殖炉共用再処理施設として考え得る複数のプラント概念の設備構成パターンを検討し、その特質を明らかにする。	・移行期における再処理施設については、プルトニウム需要への対応、国内技術の育成や産業力維持などの種々の観点から、複数のプラント概念が考えられる。このため、これらのプラント概念のプラントイメージを検討し、その特質を明らかにしておく必要がある。

A. 3. 目標

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(3)再処理工学の枠組み構築	・我が国の再処理技術に関する知的所有権について調査・整理し、技術汚染の可能性を評価するとともに、再処理技術に係る知識、データ等の体系化のための手法の調査・検討を行い、有用な方法を摘出する。	・再処理施設は数十年ごとに建設するため、開発成果や六ヶ所再処理工場の経験等を次世代に引き継ぐための知識の体系化、再処理技術の工学への進化が不可欠である。また、海外からの導入技術に関する技術汚染を防止する必要がある。

A. 4. 成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成　　果	達成度
(1)除染技術の調査・開発 ①除染技術の調査	・除染技術としての技術的要件を整理するとともに、有望な除染技術を選定する。	・技術的要件として除染プロセス技術に求められる除染係数等の検討、設定を行った。 ・有望な除染技術として「溶媒としてTBPを、抽出器として遠心抽出器を用いる溶媒抽出法」を選定した。	達成

A. 4. 成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成　果	達成度
(1)除染技術の調査・開発 ②溶媒抽出法による除染プロセス開発 a. 遠心抽出システム開発（1／2）	・単段型遠心抽出器の試験機(200トン/年規模)を用いた中性子吸収材内封型遠心抽出器の成立性を評価する。	・200tトン/年規模の単段型遠心抽出器試験装置を用いて大型化設計の妥当性を確認した。その後、臨界安全上有利となる中性子吸収材内封型遠心抽出器の適用検討として流動試験を実施し、通常型と同等以上の流動性能を達成可能な中性子吸収材の最大体積を示した。	達成
	・単段型遠心抽出器の臨界安全上の最大規模を評価する。	・形状管理及び中性子吸収材管理を前提とした臨界管理のもと、達成される遠心抽出器の最大処理流量を評価した。その結果、濃縮ボロンの使用等の条件で、約5400L/h（800トン/年規模相当）まで達成できることがわかった。	達成
	・除染プロセスに対する多段型遠心抽出器の適用性を評価する。	・一般産業用多段型遠心抽出器又はその情報を用い、抽出性能(Nd使用)を評価した結果、段効率が0.74程度であり、また、臨界安全上の最大処理流量を評価した結果、600L/hであった。さらに、商用プラントに適用可能な構造検討を行い、構造案を示した。	達成

A. 4. 成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成　　果	達成度
(1)除染技術の調査・開発 ②溶媒抽出法による除染プロセス開発 a. 遠心抽出システム開発（2／2）	・単段／多段の遠心抽出器における運転異常発生までの時間等の耐スラッジ性を評価する。	・単段／多段の遠心抽出器でアルミナを用い、異常発生時間、異常事象の種類等を取得するためにスラッジ試験（加速試験）を実施した。その結果、単段型が約250分に、多段型で約115分に異常が発生し、その異常は両機ともエントレインメント(有機相出口からの水相排出)の発生であった。 ・単段型遠心抽出器を用いてスラッジ粒径に対するロータ内の残留率を試験で取得し、ストークスの式に基づいた理論値と比較した。その結果、運転条件（回転数及び処理流量）も加味した補正係数を設定することで実験結果を計算で再現できることがわかった。	達成
	・流動解析シミュレーションの実用性を評価する。	・実験結果による検証の結果、実際の遠心抽出器の系を反映した混合部及びコレクタ部のフローパターン解析結果を得ることができた。これらの結果から、遠心抽出器用の流動解析シミュレーション技術が適用可能な見通しが得られた。	達成

A. 4. 成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成　　果	達成度
(1)除染技術の調査・開発 ②溶媒抽出法による除染プロセス開発 b. コプロセッシング法を用いた除染プロセス開発	・移行期における処理対象溶液からウラン、プルトニウムを共回収するプロセスフローシートを抽出計算コードにより設定する。また、設定したフローシートに基づき、ウラン、プルトニウムを共回収するプロセスの確立に向け、ミキサセトラ試験を行いフローシートの成立性を確認する。	・軽水炉燃料（Pu/U比：1%）、軽水炉MOX燃料（Pu/U比：3%）、高速増殖炉燃料（Pu/U比：20%）を想定したプロセスフローシートを抽出計算コードにより設定した。分配段を対象としたウラン/プルトニウム共回収試験を実施し、1%、3%及び20%の全ての場合においてウラン/プルトニウム共回収フローシートが成立することを確認した。	達成
	・ウラン/プルトニウム共回収液中のウラン同伴を監視するためのウラン/プルトニウム混合モニタに係る試験を行う。	・ウラン/プルトニウム混合モニタとして、ボルタンメトリー、吸光光度法、超音波計測法及び電気伝導率法により、ウラン、プルトニウム及び酸濃度の定量分析が可能であることを確認した。	達成

A. 4. 成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成　　果	達成度
(1)除染技術の調査・開発 ②溶媒抽出法による除染プロセス開発 c. モノアミドを用いた除染プロセス開発	・事業化へ向けた研究開発段階へ移行するための判断材料となる分離プロセス基礎データを整備する。	・モノアミドのウラン、プルトニウム及び酸に対する分配比計算式を導出した。これを用いて連続抽出プロセスにおけるウラン及びプルトニウムの移行挙動のシミュレーション解析を行い、モノアミドを用いた除染プロセスのフローシートを作成した。 ・ミキサセトラによる連続抽出試験を実施し、プルトニウムの還元剤を使用せずにウランを除染するプロセスの成立性を支持する結果を得た。 ・モノアミド劣化物の一種であるカルボン酸の除去法としてアルカリ洗浄の有効性を示した。 ・X線構造解析等により、モノアミドの劣化物(カルボン酸及び二級アミン)と模擬核分裂生成物との錯体の構造を明らかにした。	達成

A. 4. 成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成　果	達成度
(1)除染技術の調査・開発 ③フッ化物揮発法を用いた除染プロセス開発	・フッ化物揮発法や同手法にて課題と考えられる粉末ハンドリング技術に関する調査を行う。	・フレーム炉を中心としたフッ化物揮発工程及び粉末ハンドリング技術に関して国内外の情報を調査し、プラントの実績や課題を整理した。フレーム炉に関してはロシア、フランス、カナダにおける炉の寸法や稼働実績からフッ化技術として採用可能との結論を得た。また、粉末ハンドリングでは機器の閉塞、固着等が課題として挙げられ、配管等内面のバフ研磨やコーティング等の対策が有効であることを示した。	達成
	・ 軽水炉へ供給可能なフッ化転換・高除染プロセスを検討し、ブロックフロー及びプロセスフローを作成し、プロセス概念と物質収支を検討する。	・調査した情報や文献等を基に高除染を前提としたブロックフロー及びプロセスフローを作成し、機器・設備構成や物質収支などの設備設計が妥当であることを確認した。	達成
	・施設概念設計を行う上での課題摘出及び対策の検討を行う。	・施設概念設計を行う上での課題として、粉末ハンドリング以外にも、フッ化炉の残渣回収技術や計量管理技術等を摘出した。また、フッ化炉の装置構造の工夫による残渣回収機構や、新たな計量管理概念と中性子検出器の併用による計量精度の向上策等の対策案を提示した。	達成

A. 4. 成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成　果	達成度
(2)軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行シナリオ等検討	・原子炉を含めた核燃料サイクル全体の軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行シナリオを明らかにする。	・発電設備容量、高速増殖炉への移行開始年、移行期間（高速増殖炉導入速度）等のパラメータを考慮して、複数のシナリオを比較検討するとともに、代表的な移行シナリオを明らかにした。これにより、第二再処理工場の設備容量及び導入時期を具体化した。	達成
	・軽水炉から高速増殖炉への移行期に必要となる第二再処理工場のプラントスタイルについて、ブロックフローレベルでの概略検討を行う。	・第二再処理工場の主工程にコプロセッシング法を採用する場合について、施設の共用の有無や燃料の処理パターンを考慮した概略物質収支及びブロックフローを検討した。これに基づき、技術的成立性、経済性等の観点で各スタイル間の比較評価を行い、抽出工程以降を共用するスタイルが優位との結果を得た。	達成
	・第二再処理工場の主工程に採用される可能性のある複数の再処理プロセス技術を採用した場合のプラントイメージの整理と、種々の観点から相互比較を行う。	・再処理プロセス技術として、コプロセッシング法、先進湿式法、FLUOREX法、超臨界直接抽出法を採用した場合の、工程系統図、物質収支、必要系列数、機器リストを検討・整理した。これに基づき、経済性、環境負荷等の観点での相互比較を行い、1400トン/年の軽水炉/高速増殖炉共用(LF共用)再処理施設に採用する再処理プロセス技術としてコプロセッシング法が最有力候補との結果を得た。	達成
	・コプロセッシング法の軽水炉/高速増殖炉共用再処理施設として考え得る複数のプラント概念の設備構成パターンを検討し、その特質を明らかにする。	・LF共用再処理施設として考え得る3つのプラント概念について、原子力発電設備容量68GWeを想定したプラント導入パターン、工程系統図、物質収支を検討した上で、3つのプラント概念の設備構成パターンを整理した。これにより、第二再処理工場はプルトニウム処理量の増加に伴いウラン/プルトニウム濃縮設備等の系列数が増加する特徴を有すること（モジュール型が最大）が分かった。	達成

A. 4. 成果、目標の達成度

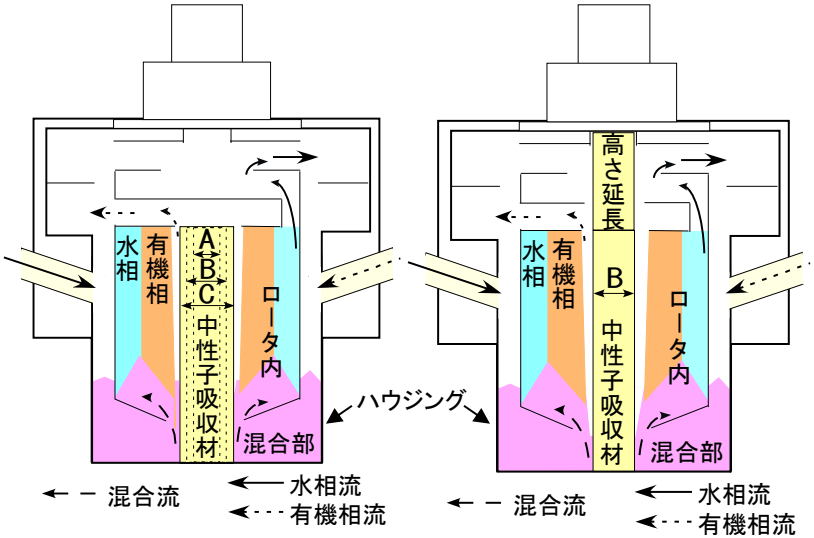
要素技術	目標・指標	成　　果	達成度
(3)再処理工学の枠組み構築	・我が国の再処理技術に関する知的所有権について調査・整理し、技術汚染の可能性を評価する。また、国内再処理技術を次世代に引き継ぐための知識の体系化に関する手法を検討するとともに、再処理技術への適用性を検討する。	・我が国の再処理技術に関する特許及び実用新案について調査・整理し、既存の特許等が第二再処理工場へ採用される技術に影響を与える可能性は小さいと結論した。 ・再処理に係る知識の体系化を念頭に、一般産業界における知識の体系化事例や概念調査を行い、この調査結果も踏まえ、再処理技術に係る知識の体系化に関する手法の概念を提案した。	達成

A. 4. 成果、目標の達成度

(1)除染技術の調査・開発

②溶媒抽出法による除染プロセス開発

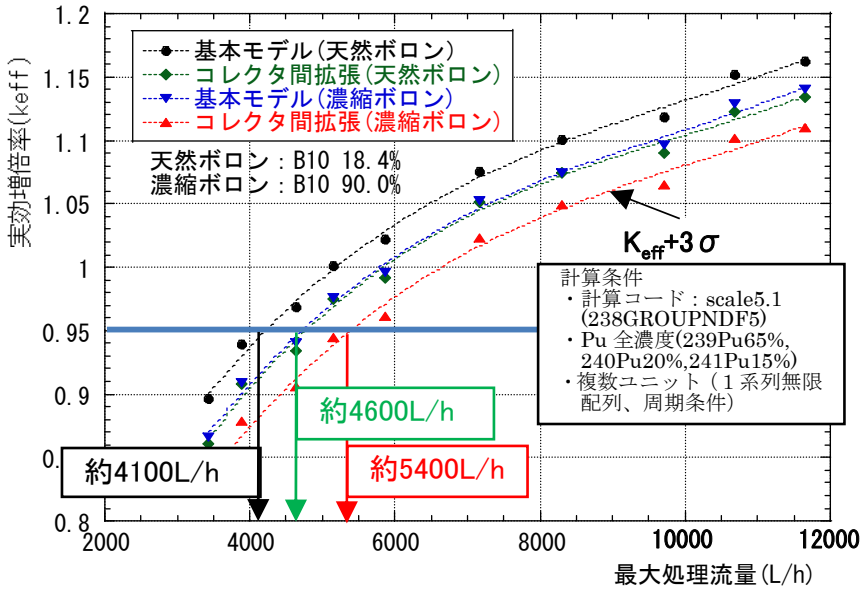
a. 遠心抽出システム開発



円柱短条件(H21実施)

使用する円環ロータはA<B<Cの順でフィード孔径を拡大

円柱長条件(H22実施)



中性子吸収体を内封した遠心抽出器の成立性評価

上記構造の試験装置による流動試験により、成立性を確認

遠心抽出器の臨界安全上の最大規模評価

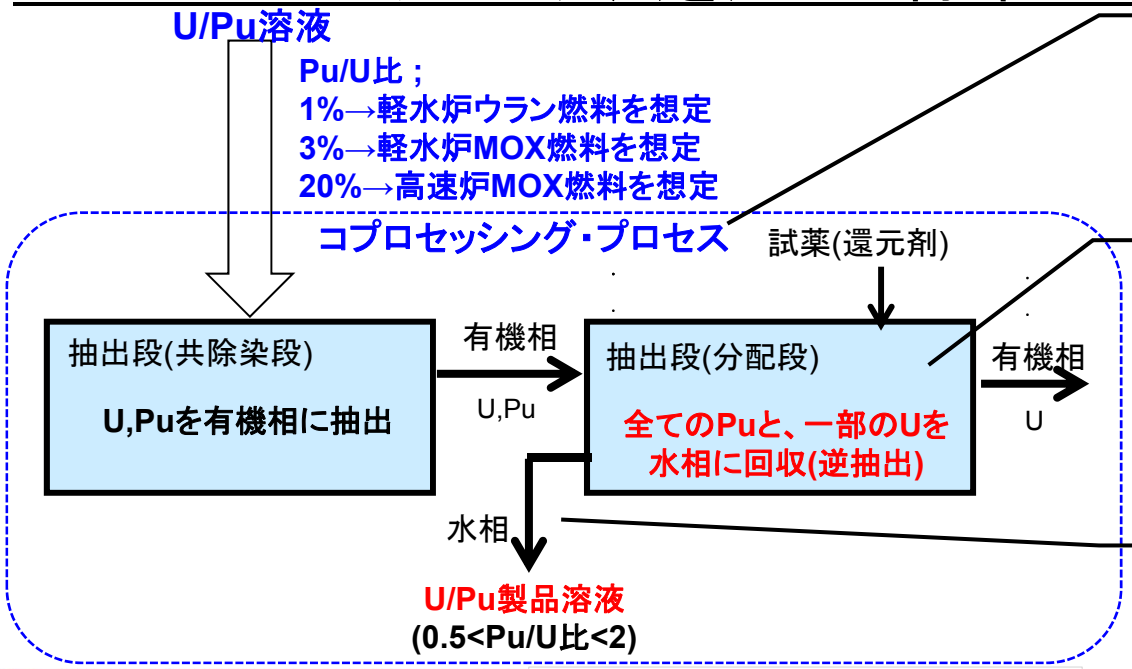
濃縮ボロンの使用等の条件で、約5400L/h(800トン/年規模相当)まで処理可能

A. 4. 成果、目標の達成度

(1)除染技術の調査・開発

②溶媒抽出法による除染プロセス開発

b. コプロセッシング法を用いた除染プロセス開発



ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝによるプロセス構築

全ての燃料を対象に、U/Pu共除染が可能となるプロセスを構築

小型ﾐｷｻｾﾄﾗ、U/Pu溶液を用いたプロセス試験を実施

✓全ての燃料を対象に、U/Pu共除染が可能であることを試験により確認

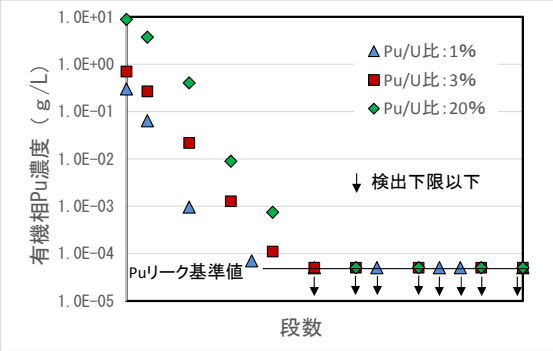
✓燃料種に依らず、MOX燃料製造に適したU/Pu製品溶液(0.5<Pu/U比<2)を得ることが可能であることを確認

U/Pu混合モニタの成立性を確認

✓溶液をモニタし、PuにUが同伴していることをオンラインで確認する分析手法の成立性を確認

Puの単独分離を行わず、U/Puを共回収する核拡散抵抗性に優れたプロセスの成立性の見通しを得た。

ミキサセトラ試験の様子



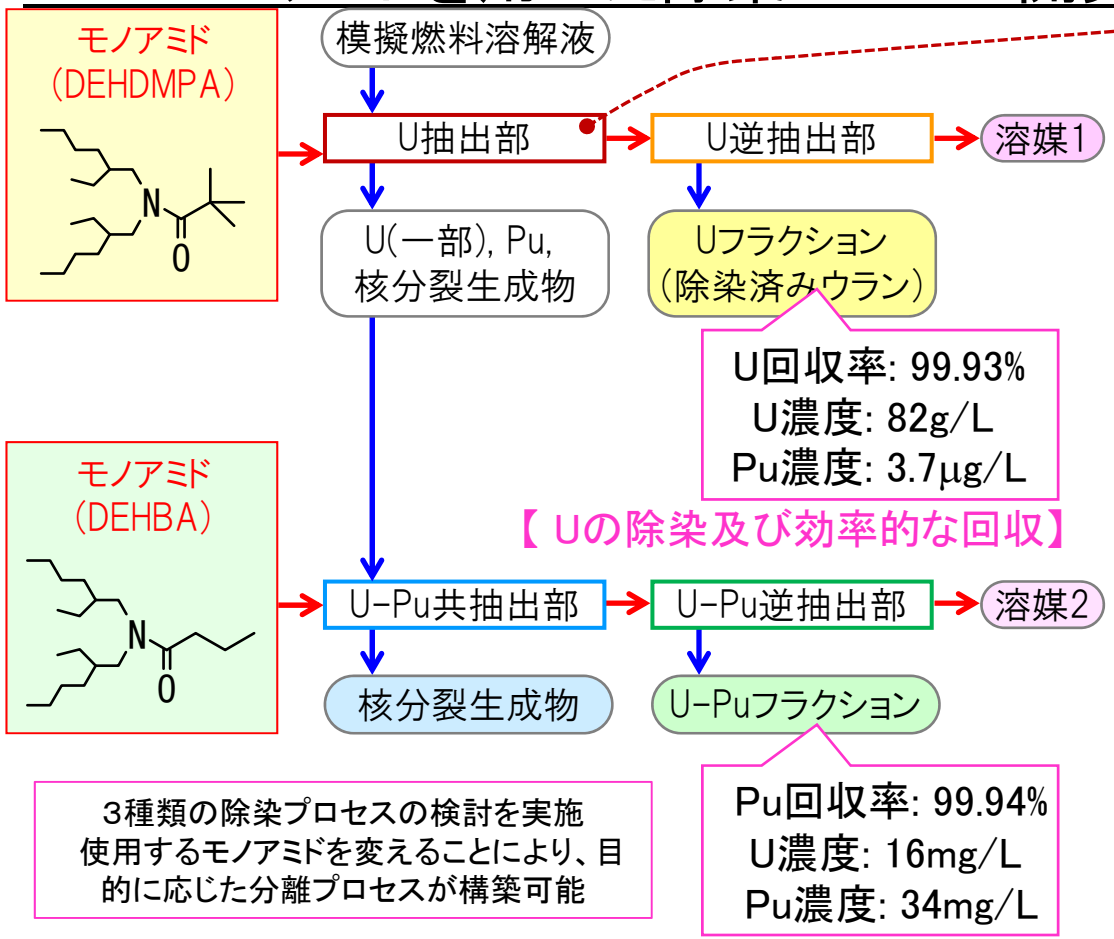
分配段におけるPu逆抽出状況

A. 4. 成果、目標の達成度

(1)除染技術の調査・開発

②溶媒抽出法による除染プロセス開発

c. モノアミドを用いた除染プロセス開発

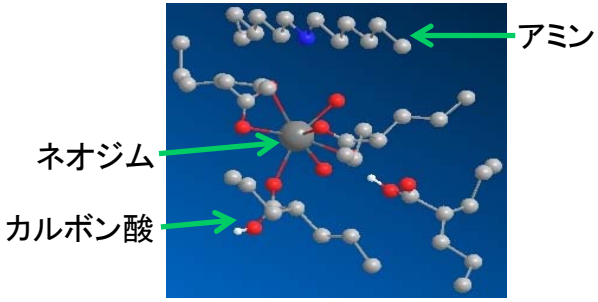


3種類の除染プロセスの検討を実施
使用するモノアミドを変えることにより、目的に応じた分離プロセスが構築可能

除染プロセスの例 (赤矢印:有機相の流れ、青矢印:水相の流れ)
Puの単離を伴わない、U除染プロセスの成立性を実証

抽出されたウランによる黄色

試験時におけるU抽出部の状況
析出物や滞留等は発生せず、
良好に抽出操作が実施可能

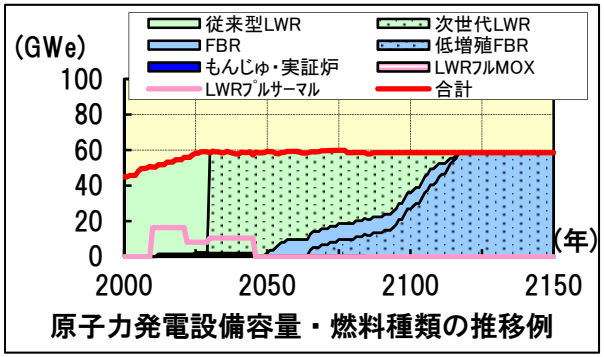


モノアミドの劣化物(アミン及びカルボン酸)と
ネオジムとの錯体構造
沈殿生成因子として二級アミンの可能性を提示

A. 4. 成果、目標の達成度

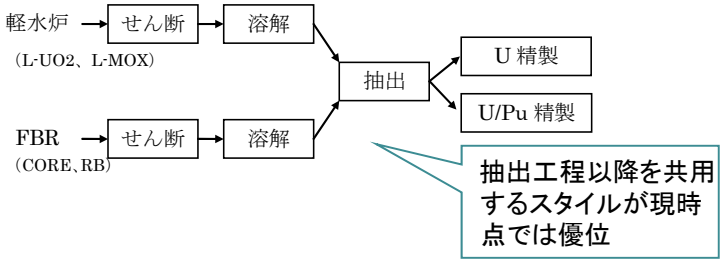
(2)軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行シナリオ等検討

●移行シナリオの明確化



原子力発電設備容量・燃料種類の推移例

●第二再処理工場のプラントスタイルの検討



●再処理プロセス技術相互比較

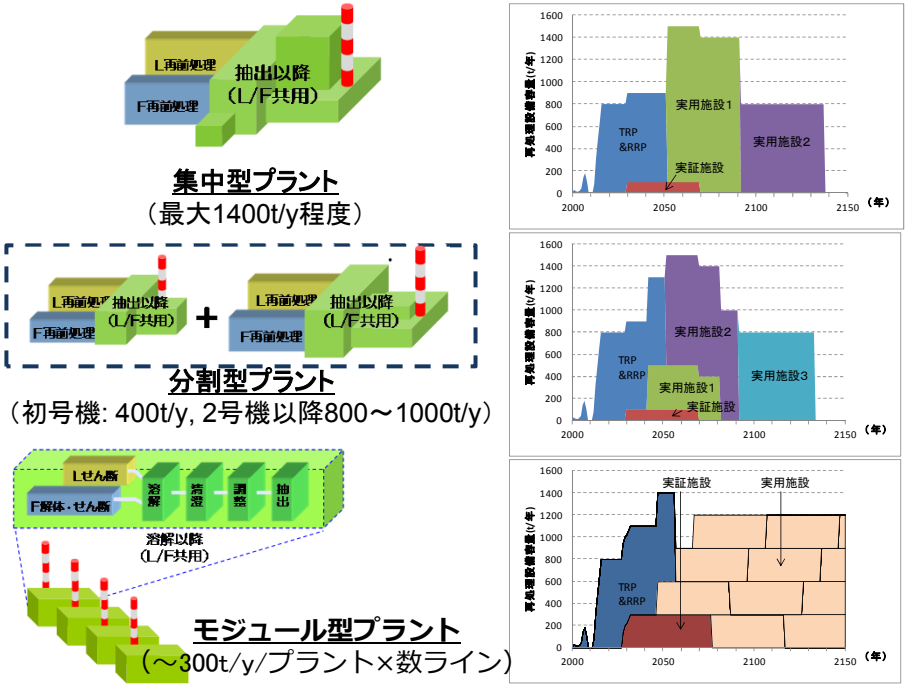
		コプロセッシング法	先進湿式法	FLUOREX法	超臨界直接抽出法
経済合理性	主要機器製作コスト（相対値）	1 ○	1.3 △	1.2 △	1.2 △
環境負荷低減	ガラス固化体発生量（相対値）	1 ○	1 ○	1.7 △	0.8 ○
核拡散抵抗性	制度障壁(計量管理)	○	○	△	△
技術的成立性		◎	○	△	△
現時点での総合比較		◎	△	△	△

コプロセッシング法が優位

●プラント概念の設備構成パターンの検討

LF共用プラント概念イメージ

プラント導入イメージ
（原子力発電容量として68GWeを想定）



3つのプラント概念の設備構成パターンを整理
第二再処理工場はプルトニウム処理量の増加
→ウラン/プルトニウム濃縮設備等の系列数の増加が特徴

A. 5. 事業化、波及効果

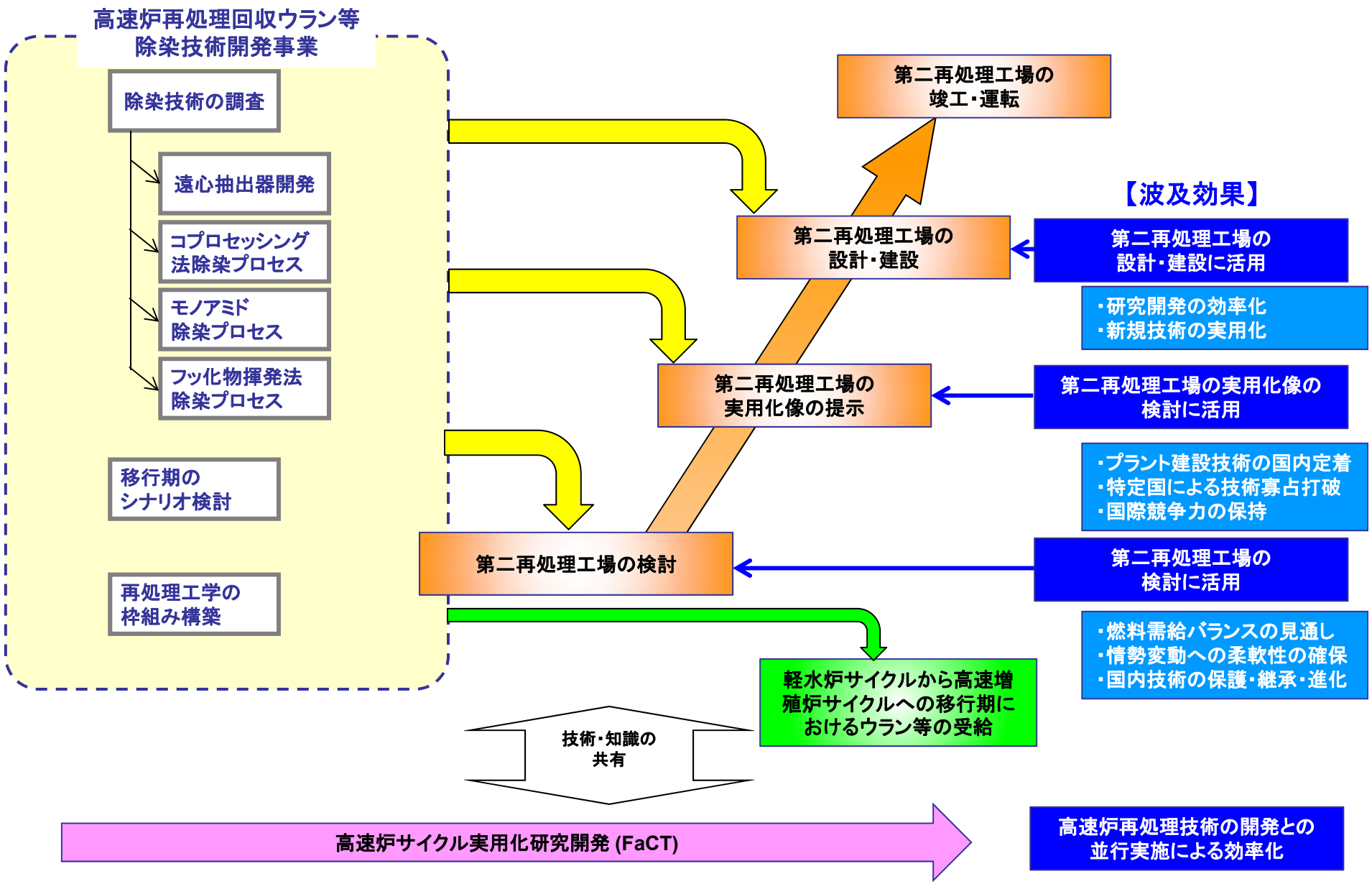
本事業で開発した除染技術は、高速増殖炉サイクルから回収するウラン等を高除染化する技術として、また、別途検討が進められる第二再処理工場の分離技術として利用が見込まれるものである。

これらは、移行シナリオの検討として実施してきた核燃料サイクル全体のプルトニウムやウランのマテリアルバランスの整理結果やプラントイメージの検討結果と合わせて、今後の第二再処理工場に関する検討に資することとなる。

また、軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行期における最適なプラントスタイルの実現に向けた研究開発等の効率的かつ着実な進展により、高速増殖炉再処理技術開発の高度化にも寄与することが期待される。

さらに、再処理施設に係る検討を行うことにより、今後の再処理施設建設技術の国内定着への道筋を開き、本分野における国際競争力を確保することが期待される。

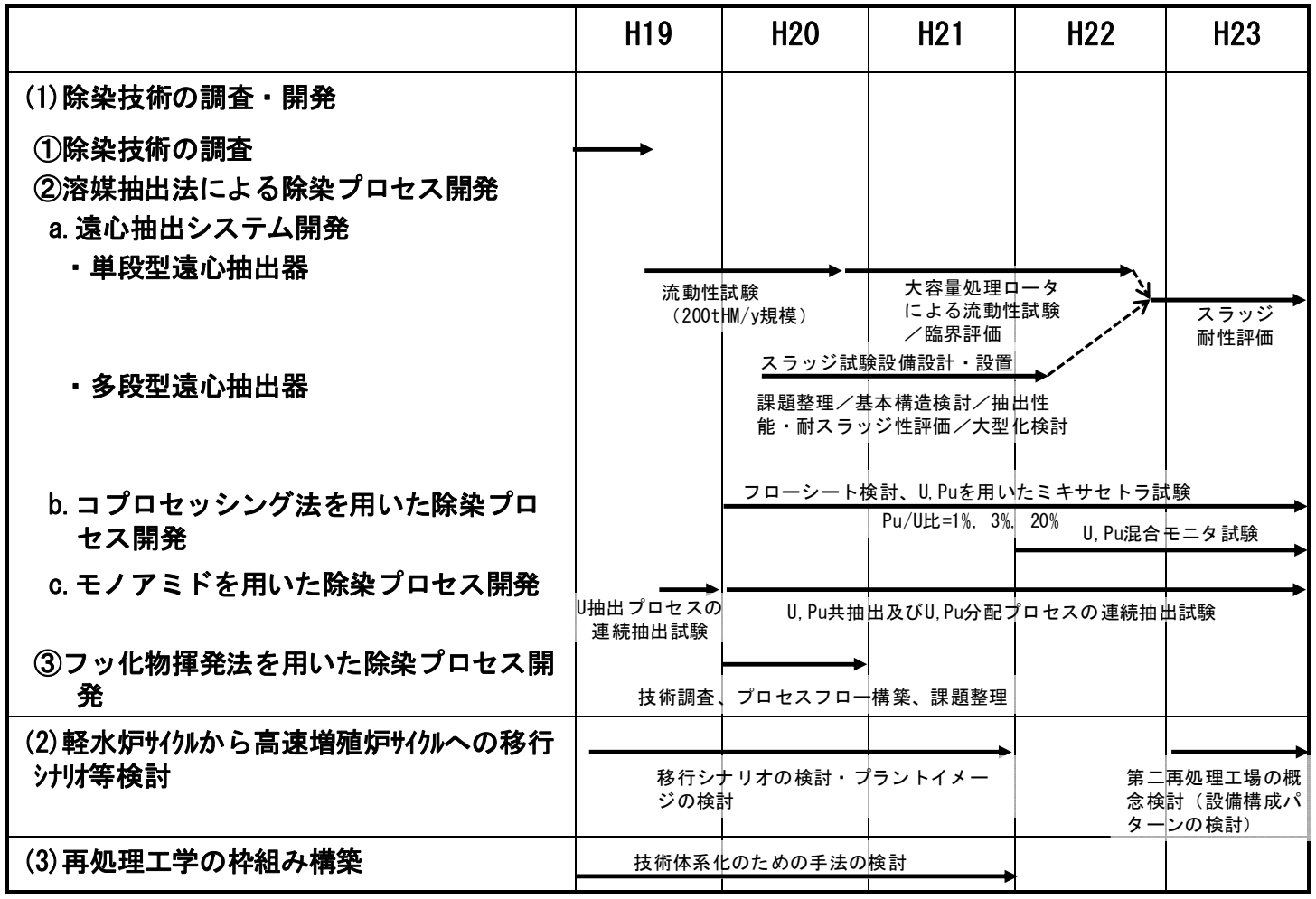
A. 5. 事業化、波及効果


高速炉再処理回収ウラン等
除染技術開発事業
除染技術の調査
遠心抽出器開発
コプロセッシング
法除染プロセス
モノアミド
除染プロセス
フッ化物揮発法
除染プロセス
移行期の
シナリオ検討
再処理工学の
枠組み構築
第二再処理工場の
竣工・運転
第二再処理工場の
設計・建設
第二再処理工場の
実用化像の提示
第二再処理工場の検討
軽水炉サイクルから高速増
殖炉サイクルへの移行期に
おけるウラン等の受給
技術・知識の
共有
【波及効果】
第二再処理工場の
設計・建設に活用
・研究開発の効率化
・新規技術の実用化
第二再処理工場の実用化像の
検討に活用
・プラント建設技術の国内定着
・特定国による技術寡占打破
・国際競争力の保持
第二再処理工場の
検討に活用
・燃料需給バランスの見通し
・情勢変動への柔軟性の確保
・国内技術の保護・継承・進化
高速炉サイクル実用化研究開発 (FaCT)
高速炉再処理技術の開発との
並行実施による効率化

A. 6. 研究開発マネジメント・体制等

(1) 研究開発計画

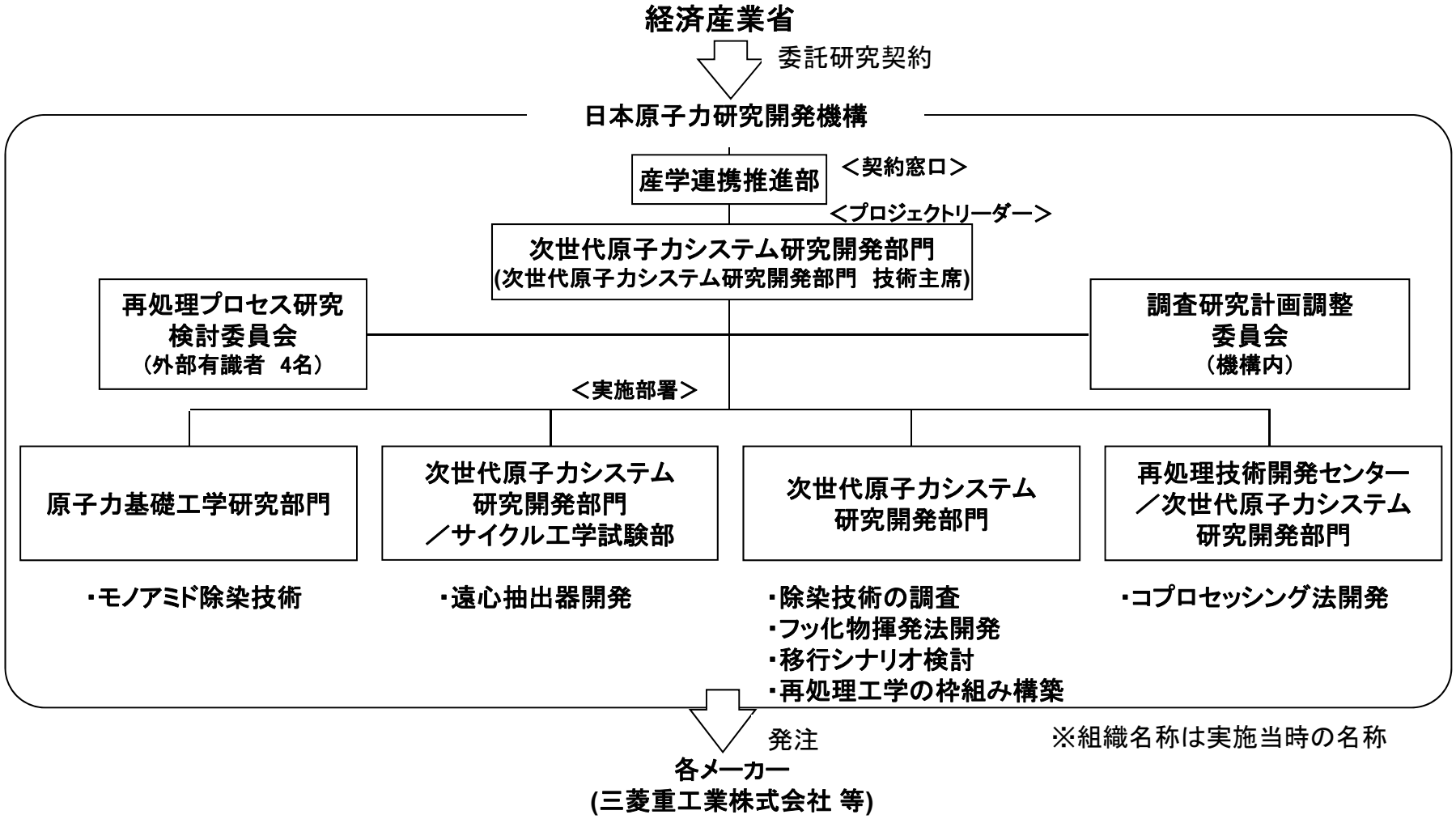
本事業の研究開発計画は、原子力機構で実施する「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」の研究成果等も踏まえつつ、各年度の研究開発成果を段階的に発展させた計画的なスケジュールにより実施しており、研究開発計画は妥当であった。



A. 6. 研究開発マネジメント・体制等

(2) 実施体制・運営

研究開発の実施に当たっては、原子力機構内に調整委員会を設置し、進捗管理及び情報共有を行うとともに、外部有識者を委員とする検討委員会を設置し、実施内容及び成果等の妥当性の確認を行っている。



※組織名称は実施当時の名称

A. 6. 研究開発マネジメント・体制等

(3) 資金配分

研究予算は、各技術開発項目の進捗に合わせ、必要な実施項目と支出予算を精査した上で、適切に配分を行った。

(単位； 百万円)

年度　平成	19	20	21	22	23	合計
(1) 除染技術の調査・開発【①＋②＋③】	228	384	406	266	185	1,469
①除染技術の調査	13	0	0	0	0	13
②溶媒抽出法による除染プロセス開発【a.+b.+c.】	215	334	406	266	185	1,406
a.遠心抽出システム開発	203	223	288	106	47	867
b.コプロセッシング法を用いた除染プロセス開発	0	14	53	118	109	294
c.モノアミドを用いた除染プロセス開発	12	97	65	42	29	245
③フッ化物揮発法を用いた除染プロセス開発	0	50	0	0	0	50
(2) 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行シナリオ検討	33	57	80	0	80	250
(3) 再処理工学の枠組み構築	11	1	15	0	0	27
合　計【(1)+(2)+(3)】	272	442	501	266	265	1,746

A. 6. 研究開発マネジメント・体制等

(4) 費用対効果

本研究開発の実施により、

高速増殖炉サイクルから軽水炉サイクルへのウラン等の供給が可能となり、両サイクルの燃料バランスの融通性が増加する。

高速増殖炉導入ペースの変動に対する柔軟性が確保され、高速増殖炉サイクルへの円滑な移行が可能となる。

今後の第二再処理工場に係る議論を円滑に進める上で必要となる有用な情報が提供可能となる。

核拡散抵抗性の高い除染プロセスの開発により、我が国での核燃料サイクルの実施に係る国際的理解を高める。

我が国での核燃料サイクル関連産業の国際競争力の確保と国内外への関連産業の展開が図られる。

(5) 変化への対応

本研究開発の実施期間中に発生した東北地方太平洋沖地震及び東電福島第一発電所事故が生じたものの、将来にわたる我が国の安定的なエネルギー供給を担う柱となる原子力の利用と核燃料サイクル実現の必要性は変わることはなかった。こうした中で、事故の教訓を踏まえつつ、臨界防止対策等を強化したことにより安全性の高い再処理技術の開発に取り組んだ。

A. 7. 中間評価（平成21年度）の結果

中間評価コメント	対処方針
○50年を超える移行シナリオは極めて多面的であり、エネルギー受給バランス、エネルギー供給形態のグローバルな推移、外交、経済に依存し不確定性も大きい。（独）日本原子力研究開発機構における高速増殖炉サイクル実用化研究開発（FaCT）の進捗を確認しつつ、軽水炉と高速増殖炉の共存期における合理的サイクルシナリオの具体化と、除染技術として想定される要素技術の目標・指標を明確にし開発に取り組むべき。	○ご指摘の通り、軽水炉から高速増殖炉への移行は、長期かつ極めて多面的であり不確定要素も大きいことから、従前より軽水炉から高速増殖炉サイクルへの円滑な移行を念頭に、五者協議会等を通じて、それぞれの技術開発について情報交換行ってきたところである。引き続き、関係者間の連携を密にし、移行シナリオの具体化の検討を進めるなど、効率的に事業を進めていくことが必要と考える。個別除染技術に関しては、緊急性の高い課題に傾注し、要素技術の目標・指標を明確にして開発に取り組むことが重要と考える。

A. 7. 中間評価（平成21年度）の結果

中間評価コメント	対処方針
○また、技術的な課題は、材料や諸技術について、原子力関係以外のところで共通の、あるいは適用可能な技術が進化しており、原子力技術以外のコミュニティとの連携や融合が課題の解決に当たっては極めて重要である。	○原子力業界のみならず、他業界においても他分野との既存の枠組みを超えた連携、融合等については重要な課題と考えるが、原子力、特に核燃料サイクルに関する技術については、ノウ・ハウや機微情報の取扱いもあり、困難なケースも存在する。 一方、経済産業省としても「専門化する技術、多様化する市場ニーズ・社会ニーズに対応するため、異分野・異業種の連携、技術の融合、関連施策の一体的実施を促進するとともに、産学官の総合力を結集すること」等を目的とした「技術戦略マップ」を策定し、連携、融合等への取り組みも進めているところである。 いただいた御指摘や、これらの状況を踏まえつつ、諸技術における課題の解決の在り方についてより議論を深めていくことが必要と考える。

A. 8. 評価

8－1. 評価検討会

評価検討会名称	核燃料サイクル関連分野に係る技術に関する施策・評価検討会	
評価検討会委員	座長	高木　直行 東京都市大学　教授
	委員	黒木　敏高 独立行政法人科学技術振興機構　執行役 杉山　一弥 一般社団法人原子力産業協会　企画総務部長 関　哲朗 文教大学情報学部　教授 藤原　啓司 原子力発電環境整備機構　技術部長 （五十音順）

８－２．総合評価（コメント）

○適切な技術開発マネジメントのもとで、達成目標が設定され、それに至る検討過程も妥当であり、目標も達成されていると考える。

○今回得られた成果は、将来の再処理施設での実用化が見込めるレベルにあるが、他の候補技術についても、引き続き検討を深めることが、将来の候補技術の絞り込みをより確かなものとする上で有用と考える。

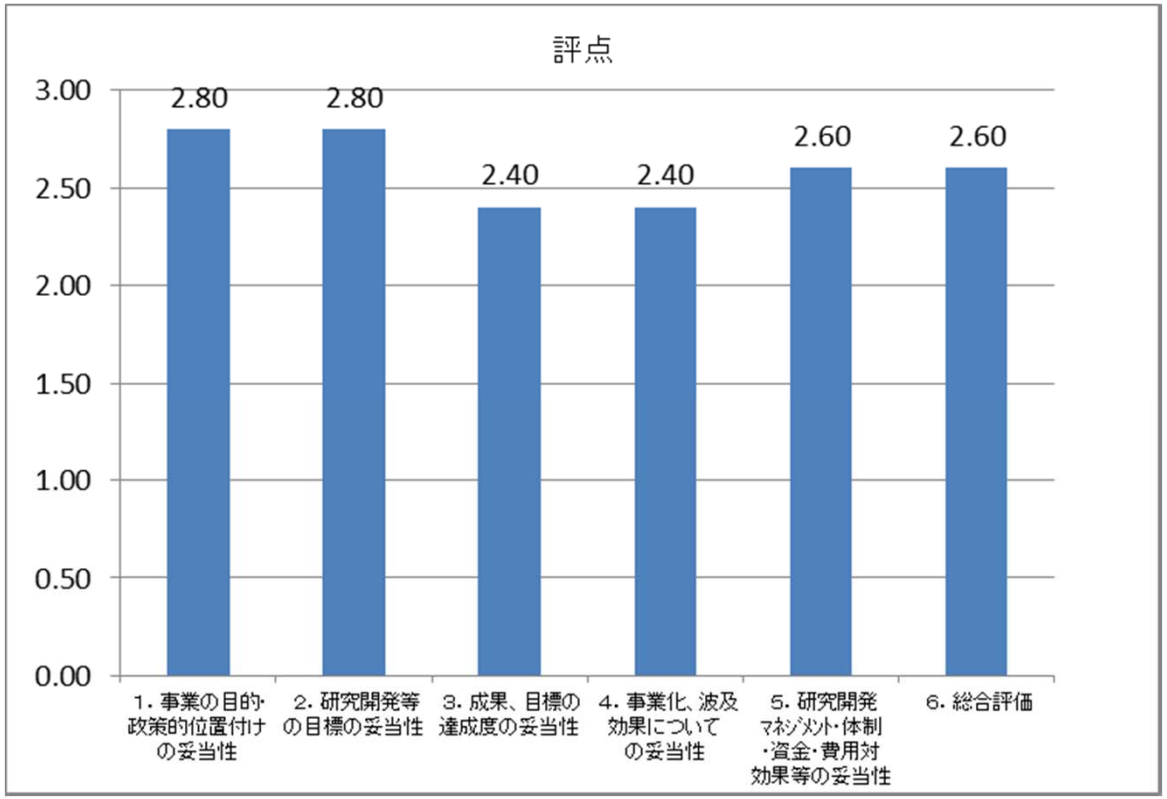
○中間報告の指摘に対しても適切に対処しており、事業完遂に向けた姿勢は高く評価できる。

○再処理工学の枠組み構築は、技術継承のための１ツールとして引き続き整備していくべきである。

○軽水炉から高速炉への移行シナリオについては、事業実施期間や終了時期との兼ね合い、さらに今後の軽水炉再稼働の見通しが不透明なこともあり、十分な検討が行えていない。再稼働が見込める原発の基数や稼働年数、再処理量等について、幅広い想定による検討が必要である。

８－３．評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト事後評価において、評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】
評価項目1.～5.
３点：非常に重要又は非常によい
２点：重要又はよい
１点：概ね妥当
０点：妥当でない

６．総合評価
（事後評価の場合）
３点：実施された事業は、優れていた。
２点：実施された事業は、良かった。
１点：実施された事業は、成果等が今一歩のところがあった。
０点：実施された事業は、成果等が極めて不十分であった。

A. 9. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言	提言に対する対処方針
○概ね適切な成果が得られている。 本事業の成果をさらに発展させ、回収ウラン等の除染技術の実用化に向けて継続的に取り組まれることを期待する。	○将来に渡る安定的なエネルギー供給に向け、高速炉サイクル移行に係る研究開発については、安全性を大前提とし、効率的かつ柔軟に進めていく。

B. 回収ウラン利用技術開発委託費に係る事業の概要

目　次

１．プロジェクトの概要

２．目的・政策的位置付け

３．目標

４．成果、目標の達成度

５．事業化、波及効果

６．研究開発マネジメント・体制等

７．評価

８．提言及び提言に対する対処方針

B．1．プロジェクトの概要

概　　要	六ヶ所再処理工場からの回収ウランを再び軽水炉で利用するにあたり、既存の核燃料サイクル施設への影響を把握し、転換プロセスを中心とした高性能で安全性、経済性に優れた回収ウラン利用技術を開発することを目的とし、その技術開発の概念検討を行う。
実施期間	平成21年度～平成22年度　（2年間）
予算総額	1.81億円（委託） （平成21年度：0.95億円　平成22年度：0.86億円）
実　施　者	三菱マテリアル株式会社
プロジェクトリーダー	森　良平　　三菱マテリアル㈱原子力プロジェクト部（部長補佐）

B．２．プロジェクトの目的・政策的位置付け

２－１．目的

我が国では、核燃料資源の有効利用の観点から、使用済燃料を再処理し、回収されるウラン、プルトニウムを有効利用する核燃料サイクルの推進を基本方針としており、六ヶ所再処理工場の本格操業後には年間800トンの使用済燃料が再処理され、年間700トン以上のウランが回収される。

原子力政策大綱等では、使用済燃料の再処理により回収されるウランは、核分裂性ウランの含有率が天然ウランよりも高く備蓄効果も高いことから、将来のウラン需要に備えた戦略的備蓄と位置付けられているが、国内での回収ウランの利用にあたっては、転換施設（酸化物状態で回収されるウランを濃縮するためにふっ化物に転換するための施設）の導入に要する期間、費用の見積もり、既存のウラン濃縮施設の対応可能性等について検討が必要とされている。

また、回収ウランは、微量の核分裂生成物や超ウラン元素が含まれるとともに、天然ウランと同位体組成が異なることから、ウランの子孫核種等による作業員の被ばくや原子炉の中性子利用効率の低下等の影響についても考慮が必要と考えられている。

本プロジェクトでは、六ヶ所再処理工場から回収されるウランを再び軽水炉で利用するため、既存のウラン濃縮施設、再転換施設、成型加工施設での回収ウラン取扱いへの影響や原子炉の炉心特性に与える影響等を調査した。また、高性能で安全性、経済性に優れた転換プロセス、濃縮プロセス、再転換プロセスを検討し、回収ウラン利用の技術開発の概念検討を実施した。

B．２．プロジェクトの目的・政策的位置付け

２－２．政策的位置付け

回収ウランの利用は、核燃料資源を有効利用する核燃料サイクルの基本方針に従っており、原子力発電による電力供給の安定性を一層改善し、長期にわたる我が国のエネルギー需要構造の安定性に寄与する。

使用済燃料の再処理により回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用する核燃料サイクルの推進については、「原子力政策大綱」（平成17年10月）、「原子力立国計画」（平成18年8月）、「エネルギー基本計画」（平成19年3月）にそれぞれ示されている。

○原子力政策大綱（平成17年10月　閣議決定）（抜粋）

第３章　原子力利用の着実な推進

３－１．エネルギー利用

３－１－３．核燃料サイクル

（１）使用済燃料の取扱い（核燃料サイクルの基本的考え方）

（中略）我が国においては、核燃料資源を合理的に達成できる限りにおいて有効に利用することを目指して、安全性、核不拡散性、環境適合性を確保するとともに、経済性にも留意しつつ、**使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用することを基本的方針とする。**使用済燃料の再処理は、核燃料サイクルの自主性を確実なものにする観点から、国内で行うことを原則とする。

B．２．プロジェクトの目的・政策的位置付け

２－２．政策的位置付け

〇原子力立国計画（平成18年8月　総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会報告）（抜粋）

第３節　戦略的産業分野を支える分野

４．回収ウラン　（抜粋）

国内における再処理の結果得られる回収ウランは、国内利用を第一目標とするが、現在ウラン価格は上昇しているもののウラン調達自身に困難は見出されていないこと、ウラン濃縮度が高く備蓄効果も高いことから、当面は、将来のウラン需要に備えた戦略的備蓄と位置付けることが合理的である。

その一方で、電気事業者及び日本原燃は、回収ウラン利用への機動的な対応可能性を明らかにするため、日本原子力研究開発機構の協力も得つつ、回収ウランの国内利用を想定した転換施設の導入に要する期間、費用の見積もり、 新型遠心分離機の対応可能性等に関する検討を進めることが不可欠である。

〇エネルギー基本計画（平成19年３月　閣議決定）（抜粋）

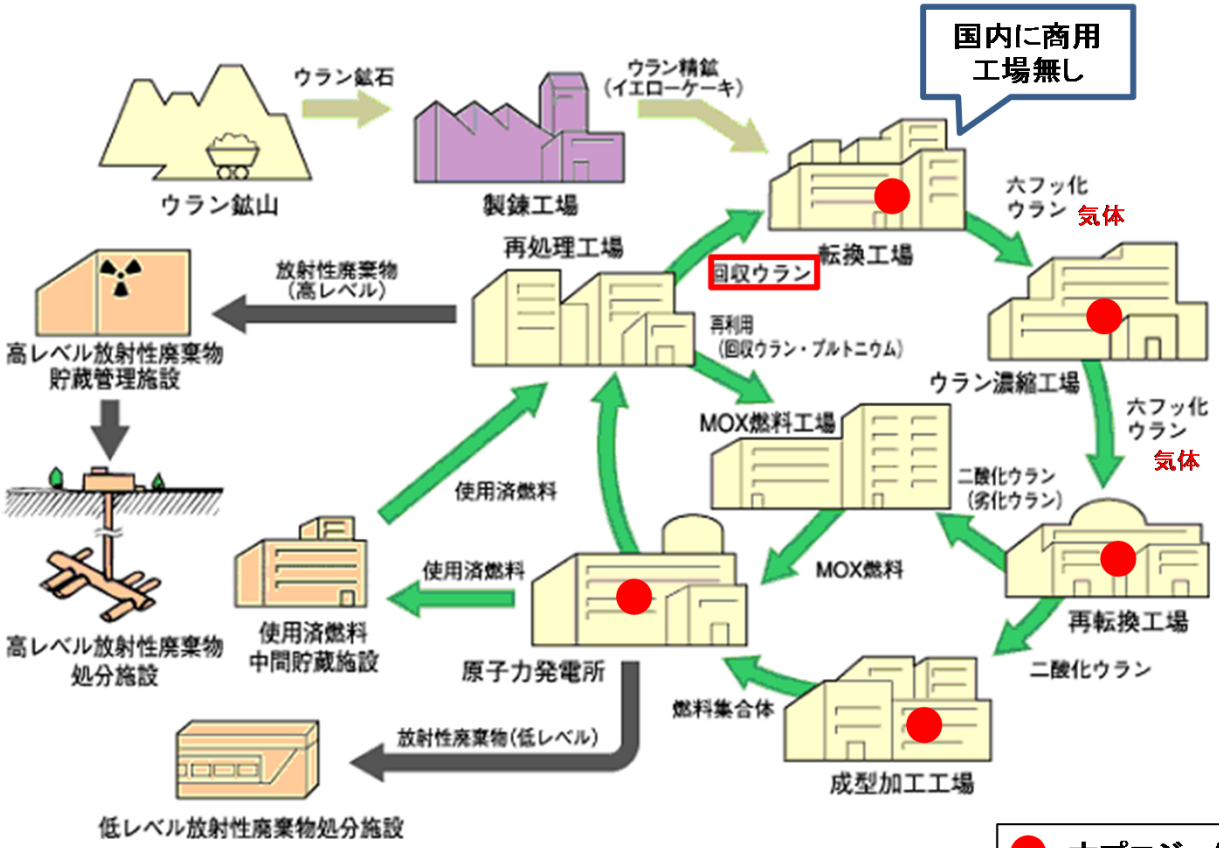
第３節 多様なエネルギーの開発、導入及び利用

１．原子力の開発、導入及び利用

(1) エネルギー政策における原子力の位置付け・考え方

原子力発電については、安全確保を大前提に、今後とも基幹電源として位置付け推進する。その際、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用する核燃料サイクルは、供給安定性に優れる原子力発電の特性を一層向上させるものであり、国の基本的方針として、核燃料サイクルを推進する。

B. 2. プロジェクトの目的・政策的位置付け



●:本プロジェクトの検討対象施設

U同位体	天然ウラン	回収ウラン*	備考
U-232	—	2.14×10^{-7} %	外部被ばくに影響
U-234	0.0053 %	0.02 %	内部被ばくに影響
U-235	0.711 %	1.07 %	臨界管理に影響
U-236	—	0.62 %	原子炉での反応度に影響
U-238	99.3 %	98.3 %	

*:六ヶ所再処理回収ウランの設計用標準燃料条件

左記の他に、回収ウランには、不純物核種として、再処理工場で除染できなかった微量の核分裂生成物(FP)及び超ウラン核種(TRU)が存在する。

B. 3. 目標

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(1) 国内外の回収ウラン取扱実績等に関する調査	・各国の核燃料サイクル施設、原子炉等における回収ウランの取扱実績及び回収ウランの取扱いに関する技術的課題を調査する。	・将来の事業化に備え、既に明らかとなった課題を把握した上で検討を行うため、これまでの国内外の回収ウラン取扱実績等に関して調査を行うことが必要である。
(2)既存施設における回収ウランの受入条件に関する調査	・既存の国内外の主要な転換、濃縮、再転換、成型加工、原子炉、各種輸送設備における取扱核種、線量等の受入条件等を調査する。	・将来の事業化に備え、回収ウラン利用の各段階での施設の安全性担保の条件を検討するため、既存施設における回収ウランの受入条件に関して調査することが必要である。
(3)炉心特性に与える影響に関する調査	・回収ウランに含まれるU-236、核分裂生成物(FP)、マイナーアクチニド(MA)、α線放出核種等が炉心特性に与える影響を調査する。	・将来の事業化に備え、回収ウランを用いた炉心の成立性を確認するため、不純物の核種が炉心特性に与える影響の有無に関して調査することが必要である。
(4)国内外の転換プロセスに関する調査	・回収ウラン酸化物をUF6に転換する国内外のプロセス技術を調査する。	・将来の事業化に備え、最新の技術動向を把握するため、国内外のプロセスに関して調査し、先行事例を把握することが必要である。

B. 3. 目標

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(5)転換プロセスの検討	・現状の調査結果を反映して、六ヶ所再処理工場からの回収ウランを六フッ化ウランに転換するプロセスの検討を行う。	・将来の事業化に備え、最新の調査事項を反映した合理的な転換プロセスを実現するため、六ヶ所再処理工場からのUO3に焦点を当てたUF6へのふっ化転換プロセスの検討を行うことが必要である。
(6)回収ウラン濃縮プロセスの検討	・国内の既存のウラン濃縮施設（六ヶ所ウラン濃縮工場）で回収ウランUF6を取扱う場合の課題を検討する。	・将来の事業化に備え、六ヶ所ウラン濃縮工場で回収ウランを取扱う場合の課題を把握するため、濃縮プロセスを検討することが必要である。
(7)回収ウラン再転換プロセスの検討	・濃縮された回収ウランUF6を国内の既存の再転換施設で取扱う場合の課題を検討する。また、劣化ウラン(UF6)の酸化固形化を新たに実施する場合のプロセスを検討する。	・将来の事業化に備え、国内既存の再転換施設で回収ウランを取扱う場合の課題を把握するため、再転換プロセスを検討することが必要である。また、劣化ウラン転換の課題を把握するため、濃縮施設から発生する劣化ウラン(UF6)の酸化固形化プロセスの検討を行うことが必要である。
(8)転換プロセスの事業化の概念検討	・回収ウラン酸化物をUF6に転換する回収ウラン転換プロセスの事業化に対する概念検討を行う。	・将来の事業化に備え、回収ウラン転換事業の成立性を評価し、我が国の核燃料政策への影響を明確化させるため、回収ウラン酸化物をUF6に転換する回収ウラン転換プロセスの事業化に対する概念検討を行うことが必要である。

B. 4. 成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成　果	達成度
(1)国内外の回収ウラン取扱実績等に関する調査	・各国の核燃料サイクル施設における回収ウランの取扱い実績、軽水炉における回収ウランの利用実績及び回収ウランの取扱いに関する技術的課題を調査する。	・各国の核燃料サイクル施設における回収ウランの取扱い実績や軽水炉における回収ウランの利用実績について調査・整理した。 ・回収ウランのγ線に起因する事項、回収ウランの高いα放射能によって影響される事項、回収ウランの微量不純物放射能によって影響される事項など、各国の事例を調査するとともに、回収ウランの特性と関連付けて整理した。	達成
(2)既存施設における回収ウランの受入条件に関する調査	・既存の国内外の主要な転換、濃縮、再転換、成型加工、原子炉、各種輸送設備における取扱核種、線量等の受入条件等を調査する。	・既存の国内外の主要な転換（人形峠）、濃縮（人形峠）、再転換・成型加工（4施設）、発電用原子炉、回収ウラン酸化物、UF6、回収ウラン燃料集合体の輸送設備における取扱核種、線量などの受入条件及び受入上限値を調査した。 同様に、海外の転換（仏、露、英）、濃縮（独、英、蘭）、再転換・成型加工（仏、露、独）等における取扱核種、線量などの受入条件及び受入上限値を調査した。	達成
(3)炉心特性に与える影響に関する調査	・回収ウランに含まれるU-236、核分裂生成物(FP)、マイナーアクチニド(MA)、α線放出核種等が炉心特性に与える影響を調査する。	・六ヶ所再処理工場からの回収ウラン組成等の条件を考慮し、再濃縮燃料の組成を設定して、回収ウラン燃料を用いた炉心特性に与える影響を複数の許認可コードによる計算で評価し、PWR、BWRとも、濃縮回収ウラン燃料を使用した炉心の成立性に問題ないことを確認した。	達成

B. 4. 成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成　果	達成度
(4)国内外の転換プロセスに関する調査	・回収ウラン酸化物をUF6に転換する国内外のプロセス技術を調査する。	・回収ウラン酸化物をUF6に転換するプロセスについて、日人形峠、仏COMURHEX、露SCC等のプロセスフローと各工程の要素技術、反応機器の特徴等を調査した。また、海外の主要な天然ウラン転換工場（仏COMURHEX、加Cameco、米ConverDyn、英Westinghouse、露SCC等）の情報も調査し、それぞれのプロセスの特徴や課題等に関する情報を整理した。	達成
(5)転換プロセスの検討	・六ヶ所再処理工場からの回収ウランを六フッ化ウランに転換するプロセスの検討を行う。	・六ヶ所再処理工場の使用済燃料受入仕様に基づき、回収ウランの同位体組成の変動等を検討し、転換プロセスで扱う原料回収ウランの受入仕様を検討した。 ・原料の運搬と取出し、転換プロセスへの供給も含めて、六フッ化ウラン(UF6)ガスの形態にふっ化転換するプロセスを検討し、国内の技術実績の活用の観点から2段ふっ化法を選定した。	達成
(6)回収ウラン濃縮プロセスの検討	・国内の既存のウラン濃縮施設（六ヶ所ウラン濃縮工場）で回収ウランUF6を取扱う場合の課題を検討する。	・六ヶ所ウラン濃縮工場において、原料として回収ウランUF6を取扱う上で課題となる事項を処理工程毎に抽出し、外部遮蔽対策、濃縮前後の待機時間の短縮等の対策の必要性を明らかにした。	達成

B. 4. 成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成　果	達成度
(7)回収ウラン再転換プロセスの検討	・濃縮された回収ウランUF6を国内の既存の再転換施設で取扱う場合の課題を検討する。また、劣化ウラン(UF6)の酸化固形化を新たに実施する場合のプロセスを検討する。	・濃縮された回収ウランを国内の既存の再転換施設で再転換する場合の回収ウラン取扱いによる課題について検討し、遮蔽対策、設備の自動化や成型加工時間短縮等の対策の必要性を明らかにした。 ・劣化ウラン酸化固形化プロセスについて、国内の劣化ウラン貯蔵量、今後の発生量想定から、施設の規模、処理プロセスを検討した。	達成
(8)転換プロセスの事業化の概念検討	・回収ウラン酸化物をUF6に転換する回収ウラン転換プロセスの事業化に対する概念検討を行う。	・(5)で選定された転換プロセスによる転換施設の施設規模、機器構成、運転に必要な試薬、人員などの情報を整理し、二段ふっ化法に基づく800tU/年の処理能力を持つ回収ウラン転換施設について概念検討した。 ・回収ウラン利用における転換プロセスの成立性の検討を行うとともに、回収ウランの転換から再濃縮、再転換、成型加工を経て原子炉へ装荷されるまでの全工程について事業化に対する課題を整理した。	達成

B. 4. 成果、目標の達成度

(1)国内外の回収ウラン取扱実績等に関する調査

- 各国の主要な核燃料サイクル施設と原子炉の回収ウラン取扱い実績について調査し、軽水炉における回収ウランの転換、再濃縮、再転換による利用は、フランス、ドイツの他、ベルギー、オランダ、スイスで実績があることがわかった。

表　各国の軽水炉での回収ウラン利用実績

	2003年までに得た回収ウラン量(tU)	2003年までの軽水炉利用回収ウラン量(tU)	2004～2010年の軽水炉利用予定回収ウラン量(tU)	備考
ベルギー	643	525	—	大半が再濃縮利用
	再処理はフランスに委託。回収ウランの利用は1989年に天然ウラン起源の濃縮ウランと混合利用。1994年から軽水炉の再濃縮利用が開始される。再濃縮はウレンコにて実施。ベルギーは現在再処理政策を止めており、今後の利用の予定はない。			
フランス	9600	2900	400～2800	大半が再濃縮利用
	1980年代に再濃縮利用に係る試験が実施され、1994年から商業規模の回収ウラン利用が開始。転換はピエールラット、再濃縮は当初ウレンコにて実施。1992年からは転換、再濃縮の一部がロシアに委託された。現在は全てロシアで実施。新規転換工場建設の予定あり。			
ドイツ	5078	2696	2467	大半が再濃縮利用
	再処理はフランス、イギリスに委託。1970年代にMOX母材として利用され、その後は試験的に軽水炉で再濃縮利用され、現在では定常的に利用されている。当初は、転換はフランスに委託、再濃縮はウレンコで実施。現在は、全てロシアで実施。			
日本	6060	335	未定	再濃縮利用
	海外への再処理委託で得た回収ウランのうち150tUがウレンコで再濃縮され国内で再転換・加工され発電所に装荷された。国内では人形峠の転換施設、濃縮施設を使用して回収ウランが処理され利用された。			
オランダ	270	270	60	混合利用
	再処理はベルギー(現在は廃止)、フランス、イギリスに委託。利用法は、ロシアの高濃縮ウランとの混合で用いられる。			
スイス	565	365	328	混合利用
	再処理はフランスとイギリスに委託。利用法は、ロシアの高濃縮ウランとの混合で用いられる。			

B. 4. 成果、目標の達成度

(1)国内外の回収ウラン取扱実績等に関する調査

- 回収ウラン転換における特徴的な問題として、天然ウランには含まれないウラン同位体や微量の核分裂生成物(FP)、超ウラン元素(TRU)の影響があげられる。
- 外部被ばくに関しては、U-232の子孫核種のBi-212とTl-208の影響が大きい。
- 過去に実施された国内の加工事業者の従事者の外部被ばく線量は、全て5mSv以下であった。(再転換からの期間が短くU-232の子孫核種の生成量が少なかったこと、各種対策等による。)
- 内部被ばくに関しては、U-234が高濃度になることの影響が大きいが、従事者の内部被ばくは、各種対策等により天然ウランを扱った年度と大差がなかった。
- FP, TRUは再処理、転換で除染されるため、排気、排水への影響はなかった。

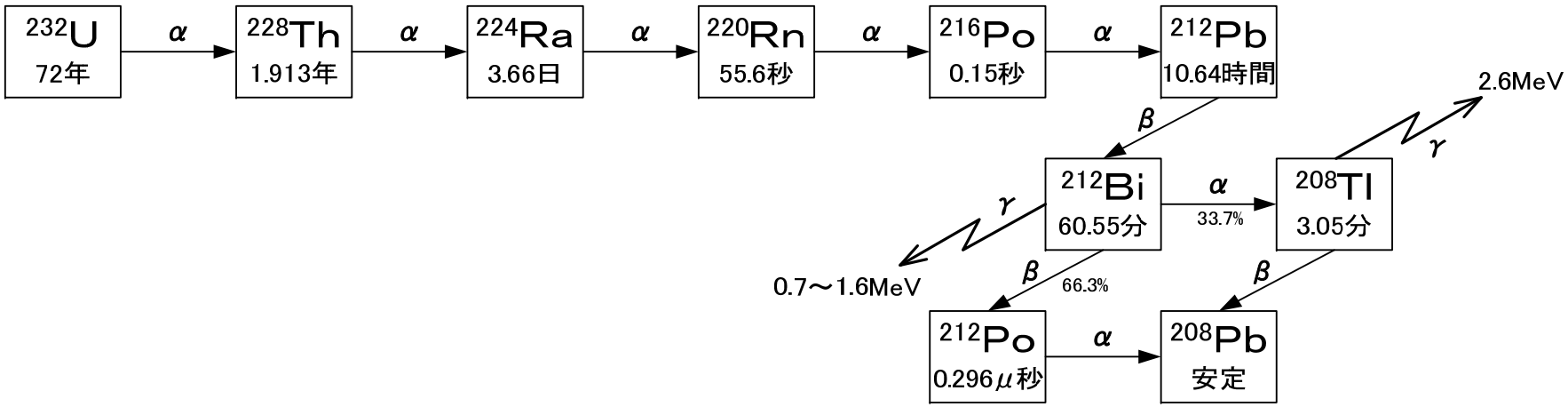


図 U-232の崩壊系列

B. 4. 成果、目標の達成度

(2)既存施設における回収ウランの受入条件に関する調査

- 回収ウランの受入条件は、国内の場合、各施設での被ばく評価が保守的になるように、東海再処理工場の処理対象燃料燃焼条件などを設定して決定された。
- 海外の場合、ASTM規格を基本としている。

国内

既存施設の回収ウランの受入条件は、ウラン同位体組成とTRU濃度、FP濃度、その他の項目について定められている。事前の安全評価で回収ウランを扱う際の放射線安全が確保され環境への影響に問題がないことを確認した際の前提条件であり、その条件に基づいて法令上の取扱許可を得たものである。
次表に一例として、人形峠の製錬転換施設とウラン濃縮原型プラント及び国内の再転換施設で回収ウラン実用化試験が行われた際の受入仕様を示す。
安全評価に用いた各濃度は、東海再処理工場の処理対象燃料の燃焼条件を基に、初期濃縮度、燃焼、冷却、貯蔵条件のパラメータを被ばく評価が保守的となるような条件で設定された。安全評価への影響が大きな事項としては、U-232濃度、U-234濃度、TRU濃度、FP濃度がある。

海外

フランス、ドイツはロシアに回収ウランの転換、再濃縮を委託しており、ロシアとの間の原料となる回収ウランや再濃縮後の回収ウランのやり取りはASTM規格を基本に、施設の特性に応じてASTMを下回る基準値が適用される例が多い。U-232濃度については、今後の軽水炉ウラン燃料の高燃焼度化に合わせて比較的高い濃度を許容する代わりに、子孫核種によるγ線の影響を抑えるため、子孫核種を除去精製する等の対策も導入されている。

B. 4. 成果、目標の達成度

(3)炉心特性に与える影響に関する調査

- **U-236は中性子吸収断面積が大きいため、回収ウランを炉心に装荷した場合に炉心の反応度を低下させるが、炉心の成立性に問題はないことがわかった。**

- 六ヶ所再処理工場からの回収ウラン組成等の条件を考慮し、再濃縮後のウラン燃料の組成を設定して、回収ウラン燃料を用いた炉心特性に与える影響を複数の許認可コードによる計算で評価した。その結果、PWR、BWRとも、再濃縮後の回収ウラン燃料を使用した炉心の成立性に問題はないことが確認できた。
- なお、いずれもU-236のために反応度が低下する結果となった。しかし、実際のBWR燃料集合体では、種々の濃縮度ペレットで濃縮度分布をもたせているので、その調整によりU-236の影響を今回の評価結果よりも抑えることが可能である。PWRの評価では、濃縮度4.8%の回収ウラン燃料はほぼ濃縮度4.1%の通常ウラン燃料と等価であるとの結果だった。
- また、回収ウラン中のFP，TRUの影響は、汎用モンテカルロ計算コードMCNP5を用いて評価した。現行の加工事業者の受入仕様値内の濃度であれば、U-236やU-234による反応度低下の影響に比べて非常に小さいとの結果だった。

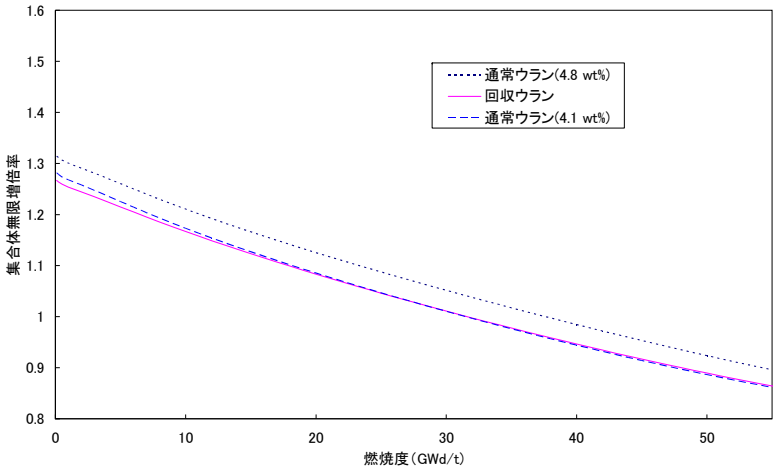


図　燃料集合体無限増倍率(PWR)

B. 4. 成果、目標の達成度

(4)国内外の転換プロセスに関する調査

➢ 回収ウラン酸化物をUF6に転換するプロセスについて調査した。

表　世界の回収ウラン転換工場

国名／機関／規模	原料	転換プロセス	現況	プロセスの特徴・課題	備考
日本／ JAEA（旧PNC）人形峠事業所／0.8tU/d	UO_3 （粉） 東海再処理工場より搬入 （流動層粉）	(UO_3・nH2O) 水和 → (UO_2) 脱水・還元（流動層） → (UF_4) HFﾌｯ化（流動層） → (UF_6) F2ﾌｯ化（流動層+ﾌﾚｰﾑ炉）	停止、解体中	①流動層を多用することで施設のコンパクト化を図る ②HFﾌｯ化を二段とすることにより転換率を高める ③F2ﾌｯ化を二段（ﾌﾚｰﾑ炉+流動層）とすることにより転換率を高める ・転換率の向上（流動層反応装置） ・流動媒体が廃棄物化 ・稼働率の安定化と向上（水和、ﾌｯ化等） ・ﾌﾟﾛｾｽ廃棄物の低減 ・ﾘｻｲｸﾙ設備の増強 ・高線量の残渣の取扱いに伴う被ばく	
フランス／ Comurhex Pierrelatte／350tU/y	UN （溶液） ﾗｱｰｸﾞ再処理工場より搬入	(ADU) ADU沈澱 → (UO_2) ばい焼還元（ﾛｰﾀﾘｰｷﾙﾝ） → (UF_4) HFﾌｯ化（ｽｸﾘｭｰ炉） → (UF_6) F2ﾌｯ化（ﾌﾚｰﾑ炉）	停止	①湿式粉末製造による活性粉製造 ・湿式法に伴い廃液発生量が多い ・高線量の残渣の取扱いに伴う被ばく	Pierrelatteにて、1,500t/y規模の施設が検討されている。
ロシア／ TENEX Siberian Chemical Complex／1,500tU/y	U_3O_8 （粉） AREVA社より搬入	溶解 → (UN) 精製 → (U_3O_8) 脱硝（流動層） → (UF_6) F2ﾌｯ化（ﾌﾚｰﾑ炉+F_2回収炉）	運転中	①溶解・精製工程の導入に伴い、受入れ原料形態が広い（YC, U_3O_8, UO_3, UN溶液等） ②精製を行うことにより、FP, Uの子孫核種の放射線問題を軽減 ③U_3O_8の直接ﾌｯ化 ④F_2ﾌｯ化を二段（ﾌﾚｰﾑ炉+F_2回収炉）とすることにより転換率を高める ⑤工程のシンプル化により工程内インベントリ小 ・直接ﾌｯ化によりﾌｯ素の使用量が多く、電解設備能力大	転換コスト試算例： 8USD/kgU
米国／ Oak Ridge Diffusion Plant／～3U/d	UO_3 （粉） ｻﾊﾞﾝﾅﾘﾊﾞｰ、ﾊﾝﾌｫｰﾄﾞより搬入	(UO_2) 還元 → (UF_4) HFﾌｯ化 → (UF_6) F2ﾌｯ化（ﾌﾚｰﾑ炉+F_2回収炉）	解体済	①F_2ﾌｯ化を二段（ﾌﾚｰﾑ炉+F_2回収炉）とすることにより転換率を高める ・高線量の残渣の取扱いに伴う被ばく	

B．4．成果、目標の達成度

(4)国内外の転換プロセスに関する調査

- 天然ウランと回収ウラン転換を調査した結果、商業転換施設は多くがUF4を経由するプロセスとなっており、UF4を生産するまではフッ化水素でふっ化し、UF4をUF6に転換する工程のみで高価なフッ素ガスを使用する（2段ふっ化法）ことがわかった。
- 一方、ロシアではウラン酸化物とフッ素ガスとを直接反応させてUF6に転換する技術（直接ふっ化法）が実用化されており、反応装置はフレーム炉が使われていることがわかった。

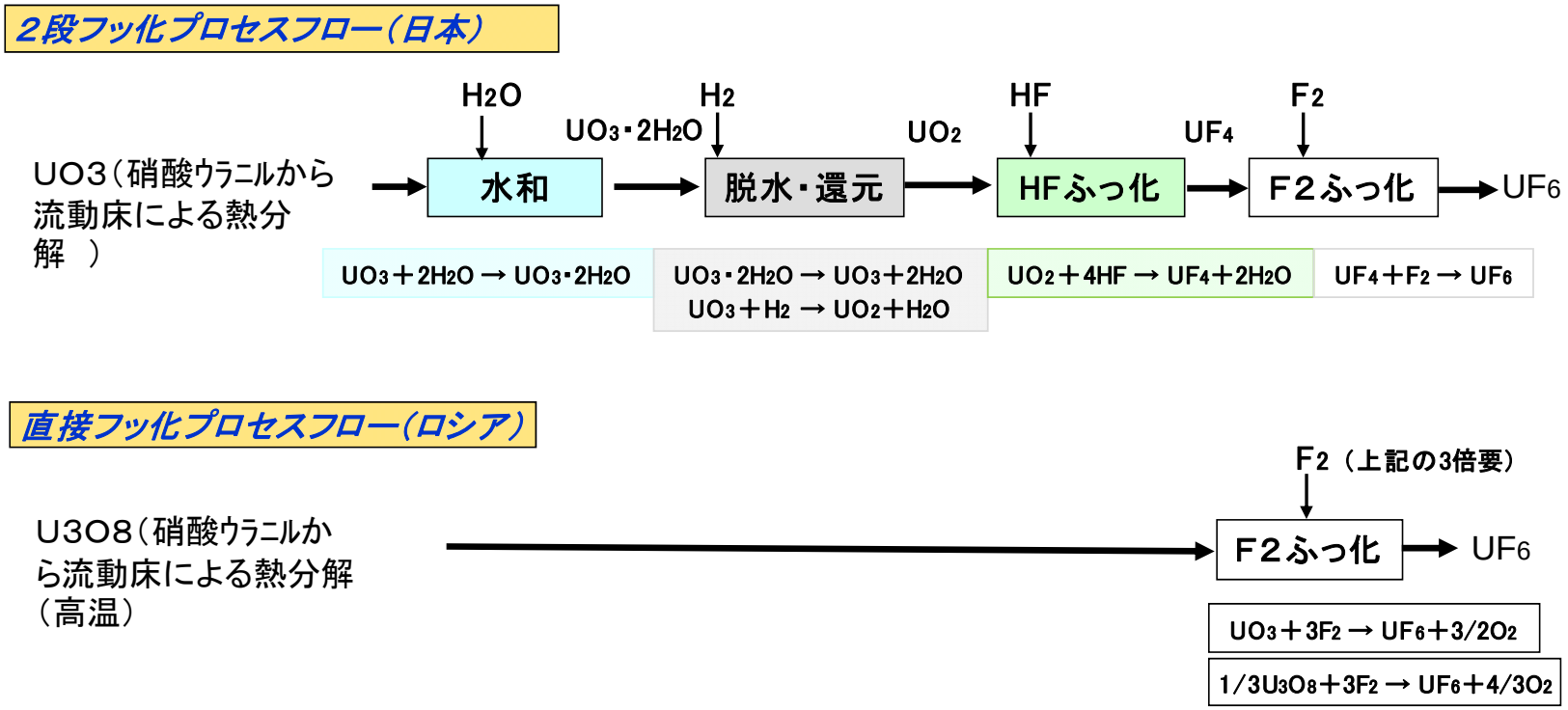


図　2段ふっ化法と直接ふっ化法のプロセスの比較

B. 4. 成果、目標の達成度

(5)転換プロセスの検討

- 六ヶ所再処理工場の使用済燃料受入仕様に基づき、回収ウランの同位体組成の変動等を検討し、転換プロセスで扱う原料回収ウランの受入仕様を検討した。特に、外部被ばくへの影響が大きいU-232の生成量に着目して設定した。
- 過去の技術開発時の燃料より燃焼度が高いこと等により、U-232濃度は約3ppb/Uと高い数値となり、その後の回収ウラン燃料の製造過程における従事者の外部被ばくへ大きな影響を与えることが明らかになった。

表　回収ウランの受入仕様の検討

物質区分 ＼ 値の種類		転換プロセス（検討案）	実用化試験時の人形峠製錬転換施設の原料UO_3	
元素種類区分	核種	UO_3受入仕様	UO_3受入仕様（上限値）	東海再処理施設UO_3製品の分析結果
ウラン同位体	U-232(ppb/U)	3.13（*1）	1.8	0.51～1.0
	U-234(wt%)	特に規定せず	－	0.01468～1.0183
	U-235(wt%)	1.6 （*2）	1.3	0.7926～1.1649
	U-236(wt%)	特に規定せず	―	0.2156～0.3295
	U(α)	特に規定せず	－	―
核分裂生成物	Zr-95 (Bq/gU)	≒0 （*3）	37.0	＜ 2
	Nb-95(Bq/gU)	≒0 （*3）	37.0	
	Ru-106(Bq/gU)	1.04×10^4 （*3）	194	＜ 4
	Sb-125 (Bq/gU)	3.06 （*3）	37.0	＜ 1
	Cs-137(Bq/gU)	104 （*3）	37.0	＜ 0.52
	Ce-144(Bq/gU)	30.8 （*3）	37.0	―
	Tc-99 (Bq/gU)	208 （*3）	－	―
超ウラン元素	Np-237 (Bq/gU)	128 （*3）	66.7	0.0048～0.078
	Pu(α) (Bq/gU)	128 （*3）	5.61	0.031～0.048
	Pu(β) (Bq/gU)	3.52×10^3 (*3)	－	1～2.4
	Am(α) (Bq/gU)	0 （*3）	33.3	―
	Cm(α) (Bq/gU)	0 （*3）	33.3	―

（*1）ウラン同位体組成の変化の検討結果による （*2）六ヶ所再処理工場の仕様 （*3）六ヶ所再処理工場の脱硝工程のFP･TRU移行率による計算結果

B. 4. 成果、目標の達成度

(5)転換プロセスの検討

- 六ヶ所再処理工場では、ウラン脱硝工程（最終工程）で流動層式反応装置を用いた熱分解反応方式を用いているため、回収ウラン（UO3）は緻密で固い球状粒子であり、粒径も150～300μmの比較的粒の大きいものであることがわかった。
- 回収ウラン転換プロセスに関し、直接ふっ化法と2段ふっ化法の2つの方法について、六ヶ所再処理工場からのUO3の特性に適した方式を検討した。

2段ふっ化法

緻密なUO3粒子を原料とする場合、UO3粒子と反応ガスの反応性を向上させるために、UO3の水和前処理を行う必要がある。水和反応により結晶水を付加することでUO3粒子にクラックを生じさせ比表面積を増加させることで反応性を上げる。

直接ふっ化法

ロシアでは原料のU3O8を硝酸ウラニル溶液から高温で熱分解して得ているため、U3O8が活性であり、これをそのままフレーム炉でのF2ふっ化反応に供給している。六ヶ所再処理工場の緻密で粒径の大きいUO3を原料とする場合には、フレーム炉での処理前に、焙焼及び粉砕によってUO3を微粉化することが必要である。なお、直接ふっ化法では、2段ふっ化法に比べて3倍のF2ガス量が必要となる。

B. 4. 成果、目標の達成度

(6)回収ウラン濃縮プロセスの検討

- **既存の六ヶ所ウラン濃縮工場にて回収ウランを取扱う場合、最も留意すべきはU-232子孫核種に起因する放射線の影響に伴う種々の課題であることがわかった。**
  - 作業頻度の高いUF6シリンダ類の取扱いにおける従事者被ばく線量は約1桁増加する。被ばく線量低減のためにU-232の子孫核種の生成期間短縮や廃棄物の保管場所、設備の遮蔽等の対策を行う必要がある。
  - 一般公衆の線量も増加するため、線源となるウランや廃棄物の保管場所への考慮、貯蔵中のUF6シリンダ類に遮へい等を講じる必要がある。

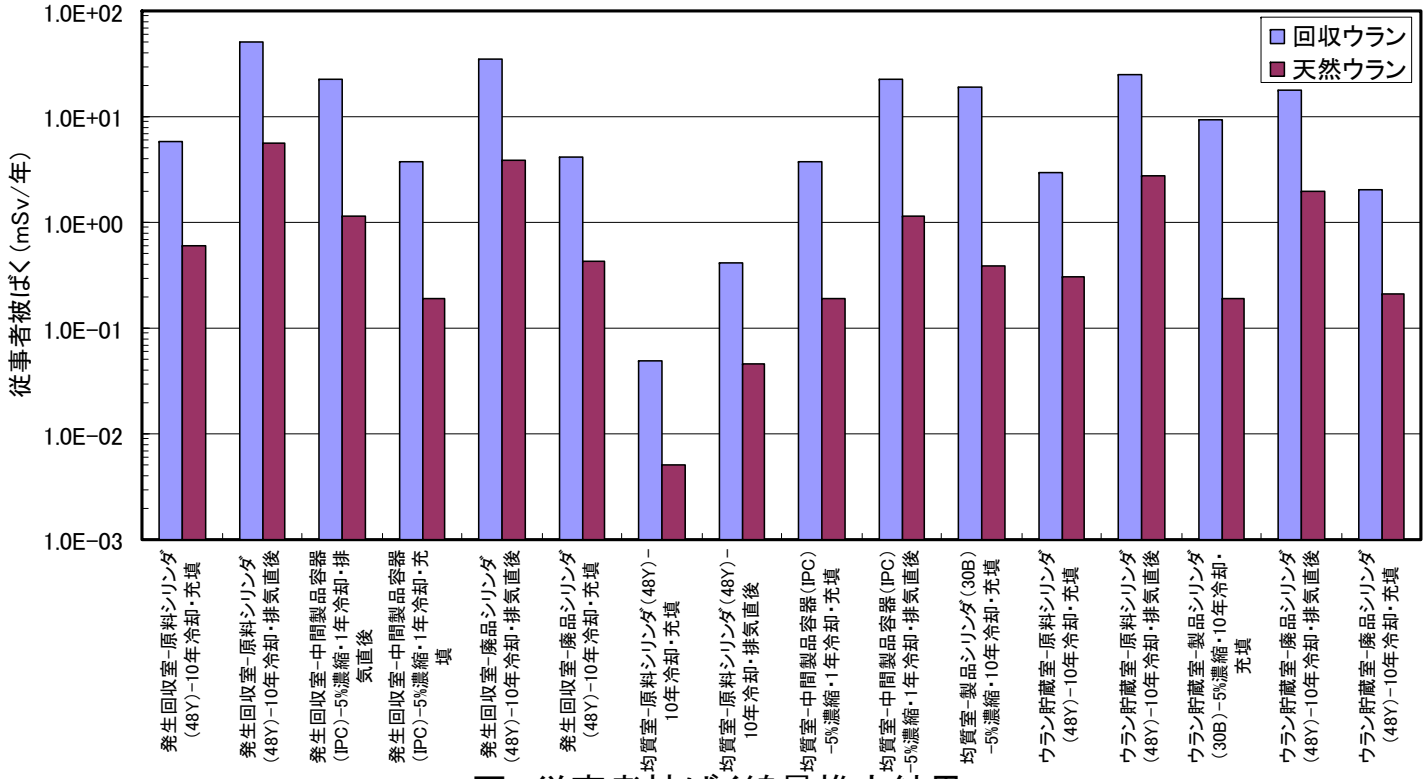


図　従事者被ばく線量推定結果

B．4．成果、目標の達成度

(7)回収ウラン再転換プロセスの検討

回収ウラン再転換プロセス

- 既存の再転換工場にて回収ウランを取扱う場合、処理能力は現行許可量の7.5倍、U-232濃度は現行の受入仕様値の約2倍（20ppb/U）となる。
- これに対し、現行の敷地境界外の放射線量は管理目標値（50μSv/y）に対して余裕がないため、抜本的な外部放射線対策が不可欠であり、既存再転換施設での回収ウラン取扱いは困難であることがわかった。

劣化ウランの酸化固形化プロセス

- 劣化ウランの酸化固形化プロセスに関し、採用し得る3つの乾式プロセスについて、技術的な観点、U_3O_8製品の純度、フッ素分回収の容易性などを検討・整理した。
- 国内での実績や経験等を踏まえ、日本方式を採用し施設の検討を行った。
- 処理規模の設定として、より確実な施設運転を目指し、運転開始から20年間は1,000tU/y(5tU/d)、その後2,200tU/y(11tU/d)に増強することが適当と判断された。
  - ・国内で実施された確証試験の5倍のスケールアップ規模

B. 4. 成果、目標の達成度

(8)転換プロセスの事業化の概念検討

- 六ヶ所再処理工場で生成するUO_3をUF_6に転換する回収ウラン転換施設について概念検討するとともに、建設費と運転費を試算した。
- プロセスは2段ふっ化法とし、処理量は六ヶ所再処理工場を考慮し800tU/yとした。
- 処理単価は約1万円/kgU（天然ウランUF_6価格は約200＄/kgU）であるが、回収ウランの原子力発電コストへの影響は限定的であることがわかった。

経済性の検討

建設費及び操業費は以下のように見積もられた。
- 設備費　約330億円
- 建屋建設費　約150億円
- 操業費　約45億円（各原価要素を集計）

表　回収ウラン転換プロセスの経済性検討の条件

事項	内容
機器配置	ウランふっ化施設とF_2製造施設の延べ床面積はそれぞれ、1,670m^2, 1,220m^2
ユーティリティ	運転に必要な試薬、ユーティリティ及び物品を集計
運転人員	運転に必要な人員を検討 ➢運転グループ　90名（5班3交代） ➢管理グループ　11名 ➢安全管理グループ　15名 ➢工務グループ　11名
廃棄物発生量	操業廃棄物を検討

B. 5. 事業化、波及効果

事業化の見通し

- 回収ウランは、当面「戦略的備蓄」として位置付けているが、国内利用にあたって、導入に関する諸課題を整理し、課題解決を図っておくことで、今後の回収ウラン利用への機動的な対応可能性を明らかにしておくことが重要である。

事業化に対する課題の抽出

事項	内容
転換	年間800tの回収ウランをUF6に転換できる能力を持つ新転換工場が必要である。国内の技術開発経験から3倍程度のスケールアップとなり特に困難なものではないが、これまでの国内の技術開発経験などを最大限活用すべきである。
濃縮	800tの回収ウランを全て用いた場合、六ヶ所ウラン濃縮工場のフル稼働時（年間1,500tSWU）の濃縮能力の35%程度を占める。貯蔵中のUF_6シリンダ類に遮蔽対策等を施すことが重要であり、現在のウラン濃縮工場を大幅に変更することなく回収ウランの再濃縮は可能である。
再転換	再転換の部分は、既存施設に対し、6～8倍の処理能力アップに対する抜本的な外部放射線の遮蔽対策が不可欠である。新たな再転換・成型加工施設を構築する方が有利である。
その他	回収ウランを取扱うプロセスで、回収ウランの滞留時間が必要以上に長くなると、U-232の子孫核種の生成でγ線の影響が大きくなる。転換から濃縮を経て成型加工に至る一連の生産システムを回収ウラン燃料装荷計画に合わせて最短で稼働させる体制の構築が必要である。

B. 5. 事業化、波及効果

波及効果

- 軽水炉サイクルの早期確立に必要な技術課題、既存施設への影響が明確となり、今後の回収ウラン利用のあり方を方向付けることで、施策の目標達成に大きく寄与する。さらにその中で、回収ウラン利用技術開発の推進によって、我が国において自立性のある核燃料サイクルを確立し、エネルギーの安定供給及びエネルギー・セキュリティの確保に資する。

B．6．研究開発マネジメント・体制等

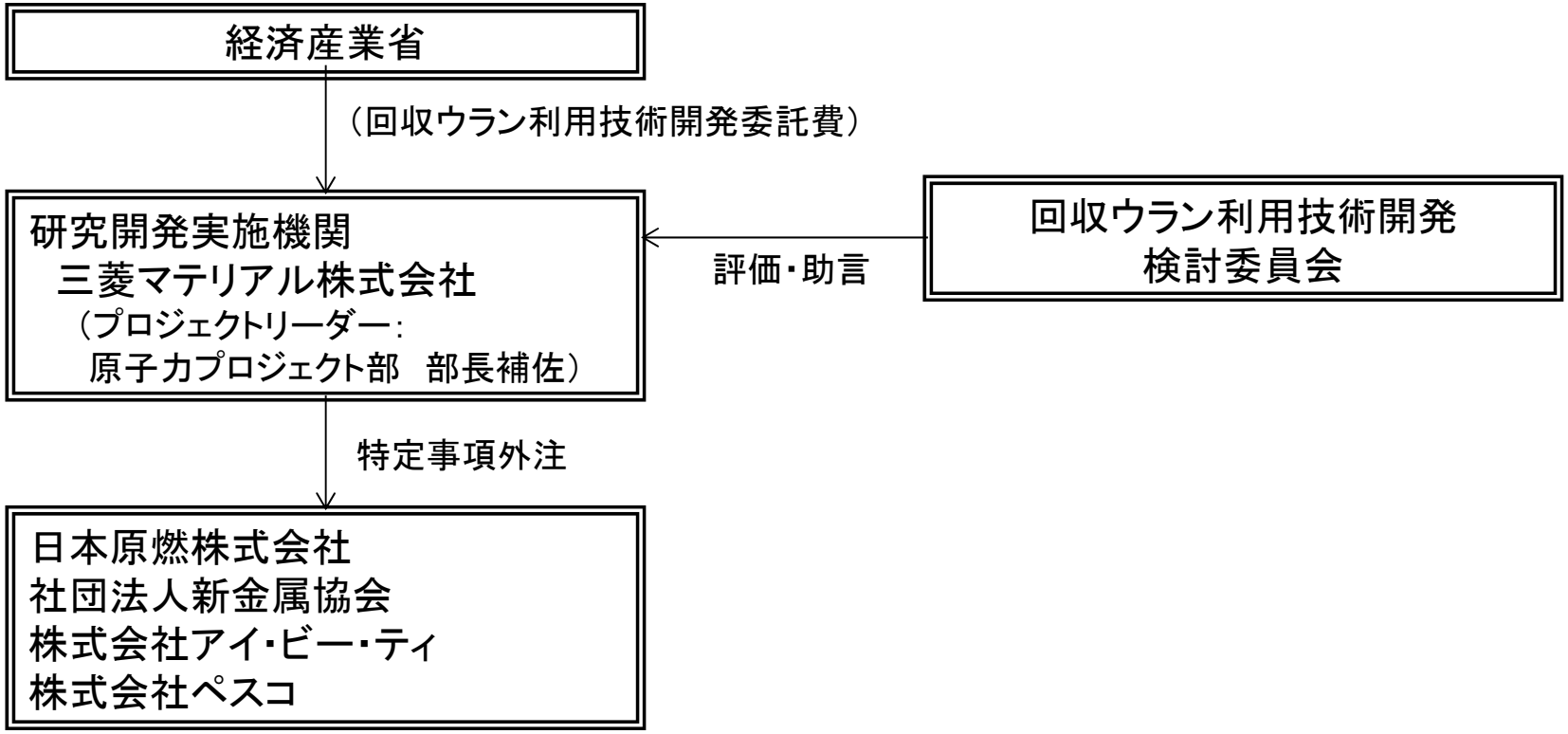
(1) 研究開発計画

実施項目／年度	H21	H22
(1) 国内外の回収ウラン取扱実績等に関する調査		
(2) 既存施設における回収ウラン受入条件に関する調査		
(3) 炉心特性に与える影響に関する調査		
(4) 国内外の転換プロセスに関する調査		
(5) 転換プロセスの検討		
(6) 回収ウラン濃縮プロセスの検討		
(7) 回収ウラン再転換プロセスの検討		
(8) 転換プロセスの事業化の概念検討		

B．6．研究開発マネジメント・体制等

(2) 実施体制・運営

- 研究開発の実施にあたっては、試験計画の策定、実施、評価等において適宜確認、アドバイスを受けるため、学識経験者、電気事業者、加工メーカ等からなる評価委員会を設置した。



B．6．研究開発マネジメント・体制等

(3) 資金配分

（百万円）

年度	H21	H22
回収ウラン取り扱い実績等に関する調査	95	－
プロセスの検討	－	86

(4) 費用対効果

本研究開発は、転換プロセスを中心とした回収ウラン利用技術を開発することで、六ヶ所再処理工場で回収されるウランを再び軽水炉で利用することを目的としており、我が国の既存の核燃料サイクル施設への影響等を把握することで、既存施設の活用が図られ、もって我が国の核燃料サイクルの着実な推進が期待される。

(5) 変化への対応

本研究開発は平成21年度から22年度の2年計画で実施された。技術動向・社会情勢・市場ニーズの変化など、事業に影響を与える情勢変化は特になく、当初計画通りの内容で開発を行った。

B．７．評価

７－１．評価検討会

評価検討会名称	核燃料サイクル関連分野に係る技術に関する施策・評価検討会	
評価検討会委員	座長	高木　直行 東京都市大学　教授
	委員	黒木　敏高 独立行政法人科学技術振興機構　執行役 杉山　一弥 一般社団法人原子力産業協会　企画総務部長 関　哲朗 文教大学情報学部　教授 藤原　啓司 原子力発電環境整備機構　技術部長 （五十音順）

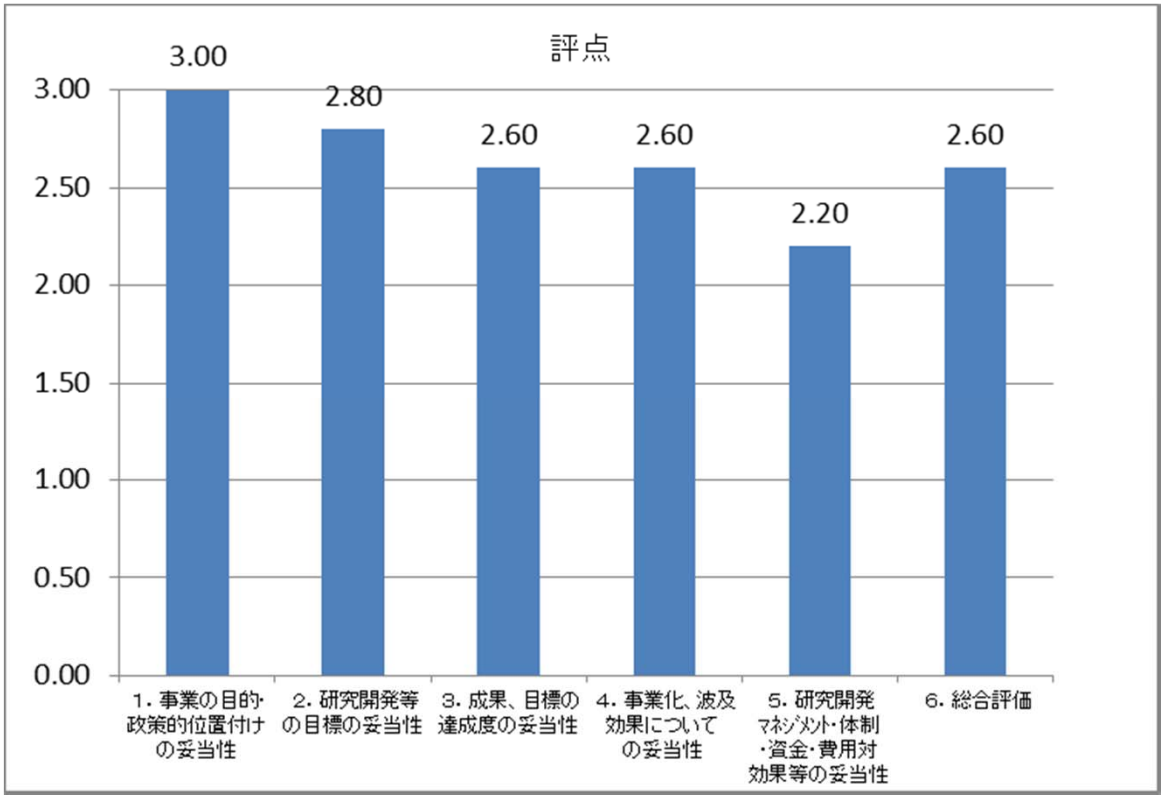
７－２．総合評価（コメント）

○今後、再処理施設の稼働により回収ウランが蓄積することは明らかであり、近い将来での事業化が見込め、その効果も大きな事業である。また、目標の設定・根拠・成果が明確に示されており、事業完遂に向けた姿勢は高く評価できる。

○全体として調査報告で終わっている傾向にあり、技術課題の洗い出しが甘く、もう少し深く掘り下げて次の研究開発アクションにつなげるべきではないか。特に、「（３）炉心特性に与える影響」について、「濃縮回収ウラン燃料を使用した炉心の成立性に問題ないことを確認」とあるが、今後、実用化を検討するにあたって、原子炉の運転管理を行う電気事業者の判断材料を得るためにはさらなる検討が必要である。

７－３．評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト事後評価において、評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】
評価項目１.～５.
３点：非常に重要又は非常によい
２点：重要又はよい
１点：概ね妥当
０点：妥当でない

６．総合評価
（事後評価の場合）
３点：実施された事業は、優れていた。
２点：実施された事業は、良かった。
１点：実施された事業は、成果等が今一歩のところがあった。
０点：実施された事業は、成果等が極めて不十分であった。

B．8．提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言	提言に対する対処方針
○概ね適切な成果が得られているが、「（3）炉心特性に与える影響」については、原子炉の運転管理を行う電気事業者の判断材料を得るためにはさらなる検討が必要である。	○概念設計、基本設計などの段階では、代表的な炉心で具体的な評価を実施し、課題の有無などについても確認していきたい。
○本事業の成果をさらに発展させ、実用化に向けて継続的に取り組まれることを期待する。	○回収ウランの利用においては、同時に再濃縮、劣化ウランの再転換・安定化など、実用化に向けた課題が残っているため、必要な技術開発等を進めていく。

C. 使用済燃料再処理事業高度化補助金に係る事業の概要

目　次

１．プロジェクトの概要

２．目的・政策的位置付け

３．目標

４．成果、目標の達成度

５．事業化、波及効果

６．研究開発マネジメント・体制等

７．評価

８．提言及び提言に対する対処方針

C．1．プロジェクトの概要

概　　要	再処理施設で用いられるガラス固化技術についてより多くの白金族元素等を含む高レベル廃液を溶融可能な新しい性状のガラスを開発するとともに、これに対応しうる新型のガラス溶融炉を開発することにより、我が国の使用済燃料再処理技術の高度化を図る。新型ガラス溶融炉の開発に際しては、六ヶ所再処理工場の運転経験を反映する研究もあわせて行う。
実施期間	平成21年度～平成25 年度 （5年間）
予算総額	57．2億円（補助（補助率：1／2）） （平成21年度：15．2億円、平成22年度：15．5億円　平成23年度：6．7億円 平成24年度：9．5億円、平成25年度：10．3億円）
実 施 者	日本原燃株式会社
プロジェクトリーダー	平成21年度～平成24年12月11日　中村 裕行（日本原燃㈱ 再処理事業部 再処理計画部長） 平成24年12月12日～平成25年度　越智 英治（日本原燃㈱ 再処理事業部 ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞｾﾝﾀｰ長）

C．２．プロジェクトの目的・政策的位置付け

２－１．目的

本プロジェクトは、再処理施設で用いられているガラス固化技術についてより多くの白金族元素等を含む高レベル廃液を溶融可能な新しい性状のガラスを開発するとともに、これに対応しうる新型のガラス溶融炉を六ヶ所再処理工場の運転経験を反映しながら開発することにより、使用済燃料再処理技術の高度化を図る。

２－２．政策的位置付け

ガラス固化技術は、使用済燃料の再処理により発生した高レベル廃液をガラスとともに固化するものであり、再処理工場を円滑に運転していく上で重要な技術である。

したがって、ガラス固化技術を高度化することは再処理工場の安定運転につながるとともに、最終的には安定的な核燃料サイクルの推進に寄与するものである。

「原子力政策大綱」（平成17年10月）では核燃料サイクルの基本的考え方、「エネルギー基本計画」（平成26年4月）では核燃料サイクルの推進についてそれぞれ示されている。

C．２．プロジェクトの目的・政策的位置付け

２－２．政策的位置付け

○原子力政策大綱（平成17年10月　閣議決定）（抜粋）

第3章　原子力利用の着実な推進

３－１．エネルギー利用

３－１－３．核燃料サイクル

（1）使用済燃料の取扱い（核燃料サイクルの基本的考え方）

（中略）我が国においては、核燃料資源を合理的に達成できる限りにおいて有効に利用することを目指して、安全性、核不拡散性、環境適合性を確保するとともに、経済性にも留意しつつ、**使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用することを基本的方針とする。**使用済燃料の再処理は、核燃料サイクルの自主性を確実なものにする観点から、国内で行うことを原則とする。

○エネルギー基本計画（抜粋）（平成19年3月閣議決定）（抜粋）

第2章 エネルギーの需給に関し、長期的、総合的かつ計画的に講ずべき施策

第3節 多様なエネルギーの開発、導入及び利用

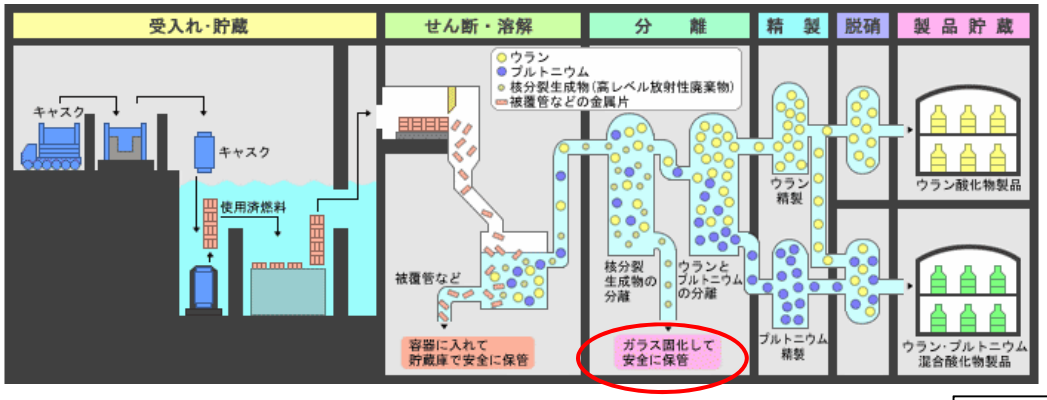
１．原子力の開発、導入及び利用

（1）エネルギー政策における原子力の位置付け・考え方

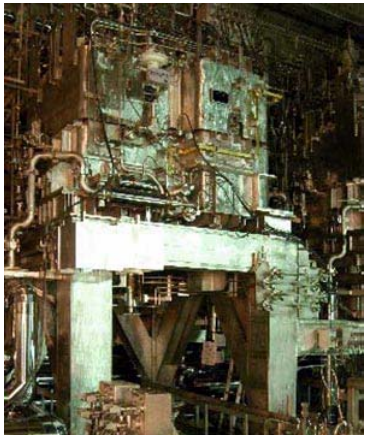
原子力発電については、安全確保を大前提に、今後とも基幹電力として位置付け推進する。その際、**使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用する核燃料サイクルは、供給安定性に優れる原子力発電の特性を一層向上させるものであり、国の基本的方針として、核燃料サイクルを推進する**。

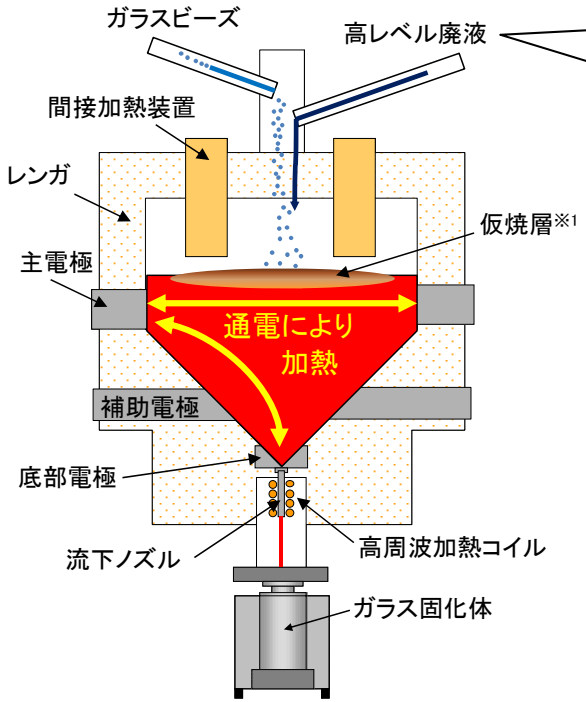
C. 2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

六ヶ所再処理工場ガラス溶融炉の概要



ガラス溶融炉（写真）



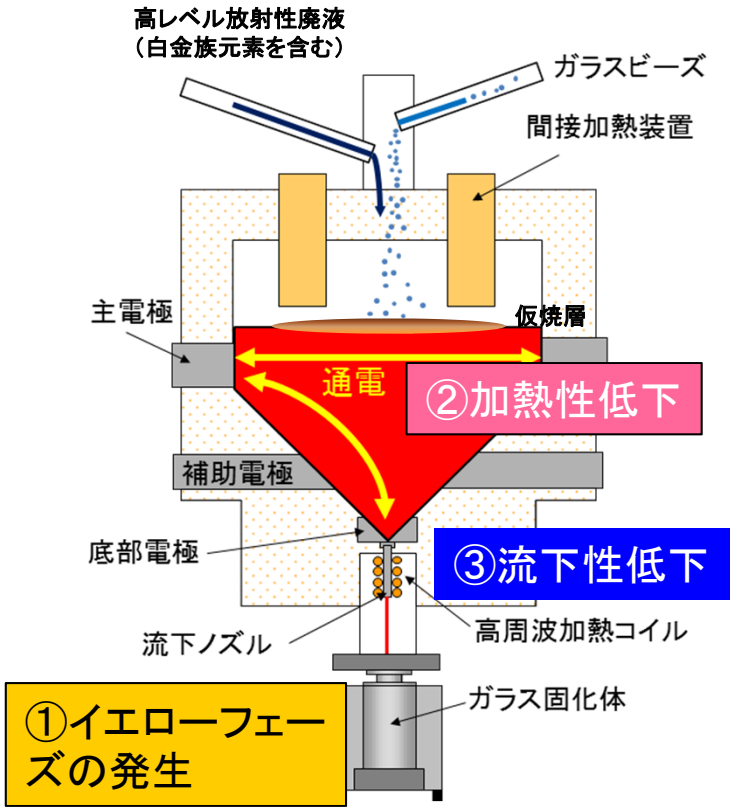


- 高レベル濃縮廃液（白金族元素、モリブデン（Mo）等を含んでいる）
- アルカリ濃縮廃液
- 不溶解残渣（FINE）※2廃液

元素	性質
Ru、Rh、Pd（白金族元素）	• ガラスへの溶解性が低い • 濃度の増加によりガラスの粘性が増加 • 導電性が高い
Mo	• ガラスへの溶解性が低い • イエローフェーズ※3の主成分

※1　ガラスと廃棄物成分が混ざり合う過程で形成される層
※2　使用済燃料の溶解工程において硝酸で溶けずに残るもの。白金族元素等からなる合金および燃料被覆管の粉末が主な成分
※3　通常の流下ガラスよりも粘性の低い、モリブデン（Mo）を主成分とする流体

C．2．プロジェクトの目的・政策的位置付け



【全体目標】

より多くの白金族元素等を含む高レベル廃液をガラスに溶融

【要素技術】

①イエローフェーズ（YP）が発生

YPの発生を抑制し、より多くの高レベル廃液を取り込める**新ガラス素材の開発**

白金族元素が炉底部に堆積し、

②堆積した白金族元素に電流が流れ、炉底ガラスの加熱性が低下

③炉底ガラスの粘性が上昇し、流下性が低下

白金族元素の堆積抑制および抜き出し性の向上を目的とした**新型ガラス溶融炉の開発**

【参考】六ヶ所再処理工場ガラス溶融炉の対応

廃液に調整液を添加し、YP形成成分の濃度を低減

等

・ガラス温度、炉底温度等の温度管理目標値を設定

・定期的な洗浄運転の実施（廃液供給10バッチに対して模擬廃液による洗浄運転3バッチ）

等

C. 3. 目標

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(1)新ガラス素材の開発 ①イエローフェーズ（YP）の発生抑制ガラス素材の開発	・イエローフェーズ（YP）の発生を可能な限り抑制する新ガラス素材を開発する。 ・開発したガラスの性能については、るつぼ試験、小型・中型溶融炉試験、新型ガラス溶融炉実規模モックアップ試験において確認する。	・YP発生を抑制できるガラス素材を開発する必要があるため。 ・ガラス素材の試験を段階的にスケールアップして新ガラス素材の性能を確認することで、YP発生の抑制効果およびスケールアップによる影響を評価しながら開発を進める必要があるため。
②高減容ガラス素材の開発	・より多くの高レベル廃液を取り込める新ガラス素材を開発する。 ・開発したガラスの性能については、るつぼ試験、小型溶融炉試験において確認する。	・より多くの高レベル廃液をガラスに充填できるガラス素材を開発する必要があるため。 ・ガラス素材の試験を段階的にスケールアップして新ガラス素材の性能を確認することで、廃棄物含有率およびスケールアップによる影響を評価しながら開発を進める必要があるため。

C. 3. 目標

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(2)新型ガラス溶融炉の開発 ①新型ガラス溶融炉構成技術の開発	・白金族元素の堆積抑制および抜き出し性の向上を目的として、新型ガラス溶融炉を構成する技術（炉底部技術等）を開発する。 ・開発した各構成技術については新型ガラス溶融炉の実規模モックアップ試験において検証を行う。	・より多くの白金族元素等を含む高レベル廃液を溶融可能とするために、白金族元素の堆積抑制および抜き出し性の向上を図る必要があるため。 ・白金族元素の堆積抑制および抜き出し性の向上を図るために必要となる構成技術を個別に開発・検証した後、実規模のモックアップ試験で総合的な検証を行う必要があるため。
②ガラス溶融炉解析コードの高度化	・ガラス溶融炉内の温度および白金族元素分布等の挙動を模擬できる解析コードを開発する。	・新型ガラス溶融炉のモックアップ試験において事前に運転条件を設定するために、炉内挙動を模擬できる解析コードを開発する必要があるため。
③ガラス物性等の基礎試験	・白金族元素および模擬廃液成分を含有したガラスの物性等の基礎データを取得する。	・ガラス溶融炉解析コードに使用するガラス物性等の基礎データを取得する必要があるため。

C. 4. 成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成　　果	達成度
(1)新ガラス素材の開発 ① イエローフェーズ（YP）発生抑制ガラス素材の開発	・イエローフェーズ（YP）の発生を可能な限り抑制する新ガラス素材を開発する。 ・開発したガラスの性能については、るつぼ試験、小型・中型溶融炉試験、新型ガラス溶融炉実規模モックアップ試験において確認する。	・るつぼ試験により、YP発生抑制ガラス素材の組成（従来ガラス素材中のアルミニウム（Al）とケイ素（Si）の一部を廃液側に分配）を選定した。 ・小型および中型溶融炉試験において、調整液を添加しない条件でYP発生抑制効果を確認することができた。 ・実規模モックアップ試験炉において、調整液を添加しない条件で新ガラス素材を使用して、適切な温度管理ができ、安定した運転が可能であった。また、YP発生抑制効果については、運転条件の最適化を図る等の課題を確認することができた。	概ね達成（新型ガラス溶融炉により運転が可能なことを確認し、今後は、運転条件の最適化を自主事業の中で進める。）
②高減容ガラス素材の開発	・より多くの高レベル廃液を取り込める新ガラス素材を開発する。 ・開発したガラスの性能については、るつぼ試験、小型溶融炉試験において確認する。	・るつぼ試験により、高減容ガラス素材の組成（従来ガラス素材中のアルミニウム（Al）とホウ素（B）の一部を廃液側に分配、バナジウム（V）の添加）を選定した。 ・小型溶融炉試験において、廃棄物含有率34wt%（現状は20.8wt%）を達成できることを確認できた。	達成

C．4．成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成　　果	達成度
(2)新型ガラス溶融炉の開発 ①新型ガラス溶融炉構成技術の開発	・白金族元素の堆積抑制および抜き出し性の向上を目的として、新型ガラス溶融炉を構成する技術（炉底部技術等）を開発する。 ・開発した各構成技術については新型ガラス溶融炉の実規模モックアップ試験において検証を行う。	・炉底部形状を円すい、傾斜角度を60°に変更し、炉底部の加熱手段を追加した炉底部のモックアップ試験等により、現行ガラス溶融炉と比べ、白金族元素の堆積抑制および抜き出し性、ならびにガラスの流下性が向上することを確認した。また、通常の約5倍の白金族元素濃度のガラスにおいても、良好に流下することができた。 ・新型ガラス溶融炉の実規模モックアップ試験により安定した温度管理が可能であり、白金族元素の堆積抑制、抜き出し性およびガラスの流下性が向上することを確認した。	達成
②ガラス溶融炉解析コードの高度化	・ガラス溶融炉内の温度および白金族元素分布等の挙動を模擬できる解析コードを開発する。	・解析コードに仮焼層のモデルやガラス物性値の反映等をすることで、従来の解析コードと比べ、ガラス溶融炉内のガラス温度および白金族元素分布の再現性が向上した。 ・解析コードを用いて、新型ガラス溶融炉の実規模モックアップ試験の運転条件の事前検討を行うことができた。	達成
③ガラス物性等の基礎試験	・白金族元素および模擬廃液成分を含有したガラスの物性等の基礎データを取得する。	白金族元素を含有したガラスの物性値、炉内の白金族元素の挙動、仮焼層の構造等のデータを取得し、ガラス溶融炉解析コードの高度化等に利用した。	達成

C．4．成果、目標の達成度

(1)新ガラス素材の開発

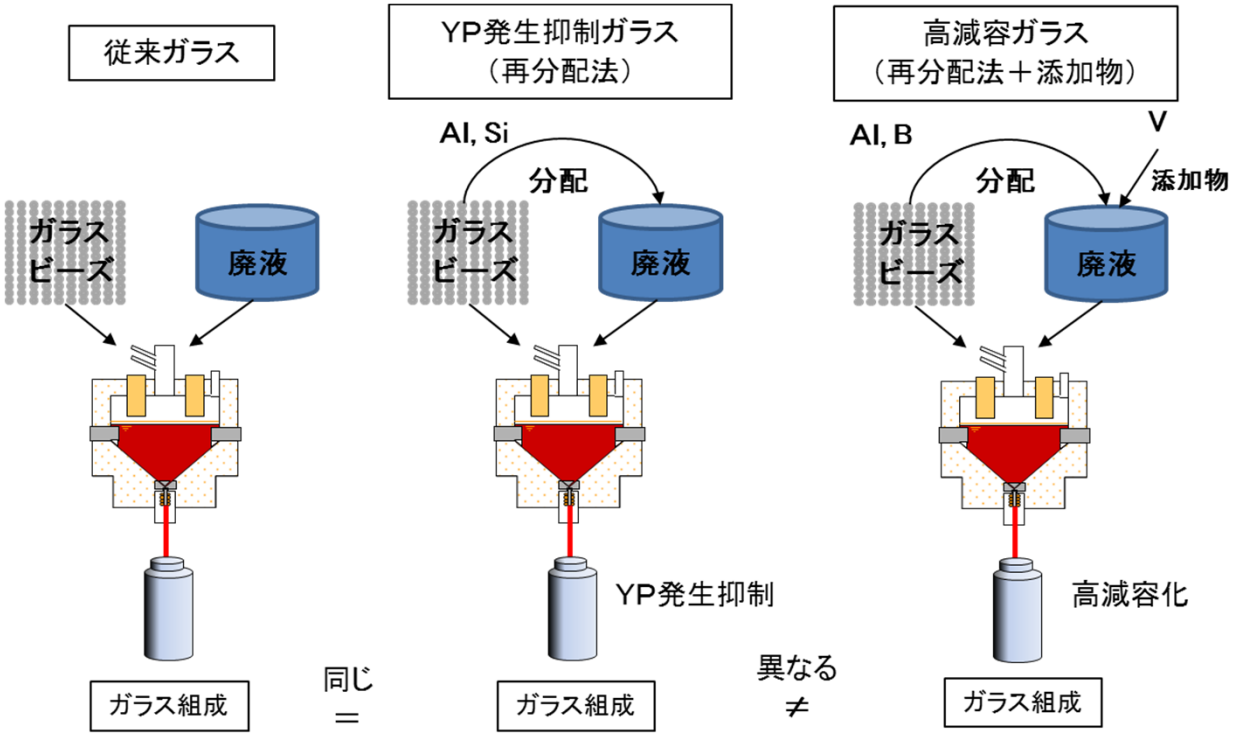
新ガラス素材の設計概念

①イエローフェーズ（YP）発生抑制ガラス素材の開発：

ガラス成分の一部を廃液側に分配（再分配法）することでガラスの溶融性を高め、YP形成成分をガラスへ溶解しやすくすることで、YPの発生を抑制する。

②高減容ガラス素材の開発：

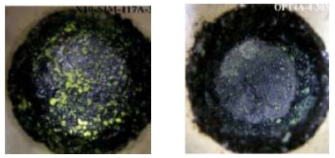
再分配法＋添加物の効果により、廃液成分のガラスへの充填率を向上させる。



C．4．成果、目標の達成度

(1)新ガラス素材の開発

新ガラス素材の開発の成果

試験 / ガラス素材	るつぼ試験	小型溶融炉試験	中型溶融炉試験	新型ガラス溶融炉 実規模モックアップ試験
	 従来ガラス素材　新ガラス素材 YPが発生　YPが抑制	 回収したガラス	 回収したガラス	
YP発生抑制ガラス素材	ガラス組成の選定（従来ガラス素材中のアルミニウム（Al）とケイ素（Si）の一部を廃液側に分配）	調整液を添加しない条件でYP発生抑制効果を確認	調整液を添加しない条件でYP発生抑制効果を確認	調整液を添加しない条件で新ガラス素材を使用して、ガラス温度および気相温度を目標温度に制御 YP発生抑制効果については、運転条件の最適化を図る等の課題を確認
高減容ガラス素材	ガラス組成の選定（従来ガラス素材中のアルミニウム（Al）とホウ素（B）の一部を廃液側に分配、バナジウム（V）の添加）	廃棄物含有率34wt%（現状20.8wt%※）を達成できることを確認		

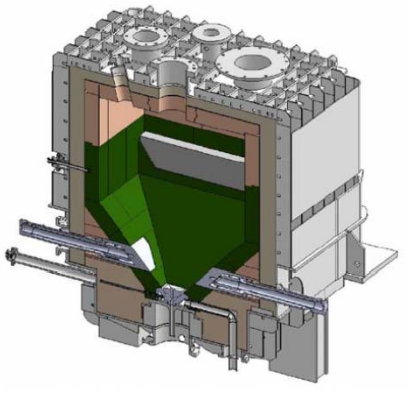
※ガラスビーズからのNa量を除いて計算した値

C．4．成果、目標の達成度

(2)新型ガラス溶融炉の開発

新型ガラス溶融炉の改良点

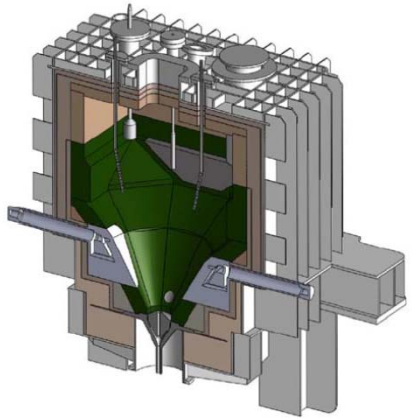
現行ガラス溶融炉



白金族元素の堆積抑制

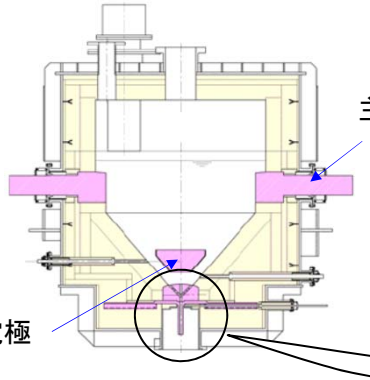
・炉底形状の変更（四角すい⇒円すい）
・傾斜角度の変更（45°⇒60°）

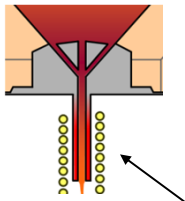
新型ガラス溶融炉

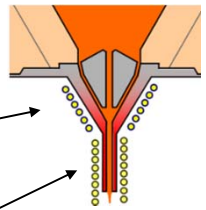


炉底部ガラスの加熱手段の追加

・補助電極の追加（加熱手段の多様化）
・底部電極用高周波加熱コイルの追加
（通電以外の加熱手段の追加）

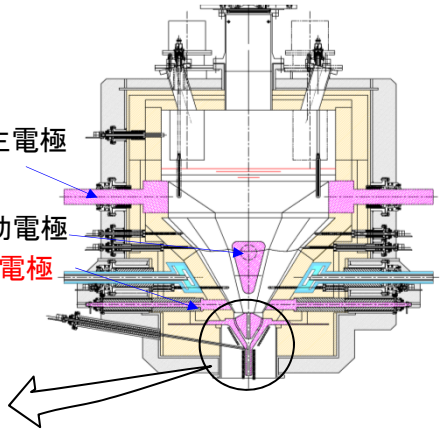






底部電極用高周波
加熱コイル

流下ノズル用高周波
加熱コイル



C．4．成果、目標の達成度

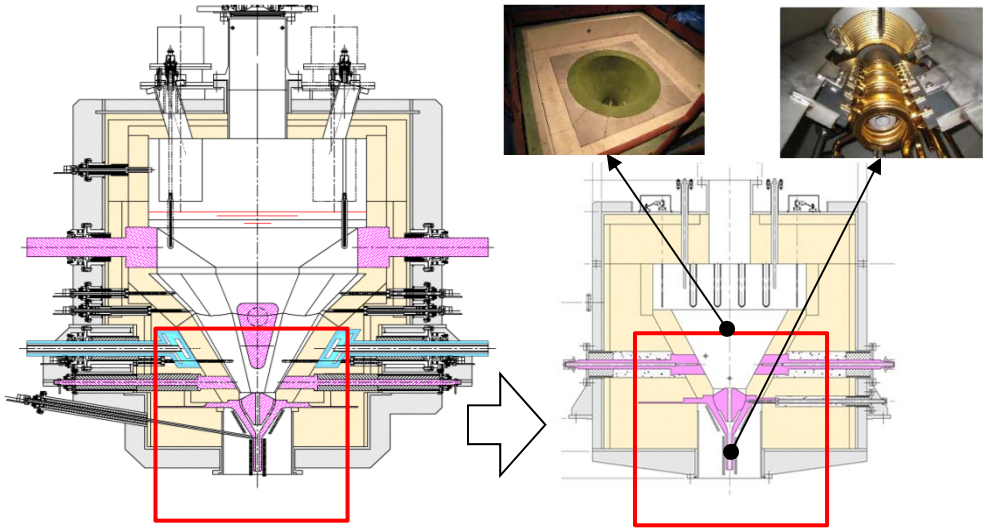
(2)新型ガラス溶融炉の開発

炉底部モックアップ試験

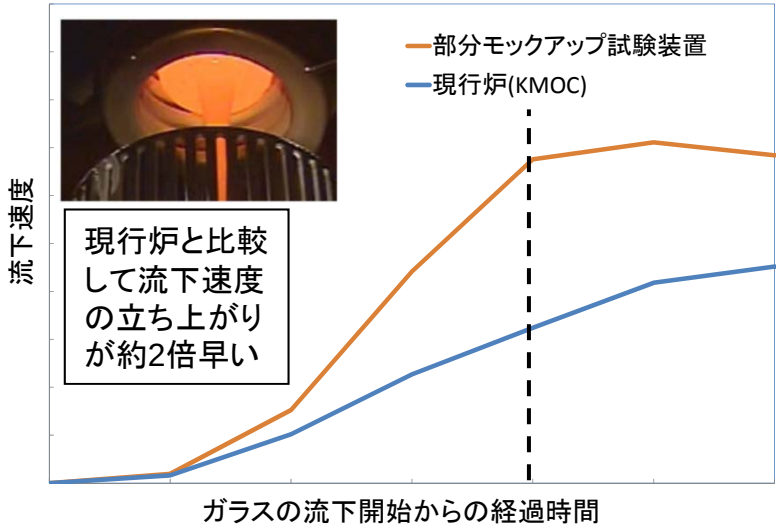
・新型ガラス溶融炉の炉底部に適用される技術を炉底部モックアップ試験装置で検証した。

・ガラス流下開始直後からの流下速度の立ち上がりが現行のガラス溶融炉と比較して早く、さらに安定した。

・通常の約5倍の白金族濃度のガラスでも流下性は良好であった。



新型ガラス溶融炉　　炉底部モックアップ試験装置



炉底部モックアップ試験装置と現行炉（KMOC※）の流下速度の比較

※現行ガラス溶融炉に係る機能の確証を目的とした各種試験を行うための実規模大のガラス溶融炉

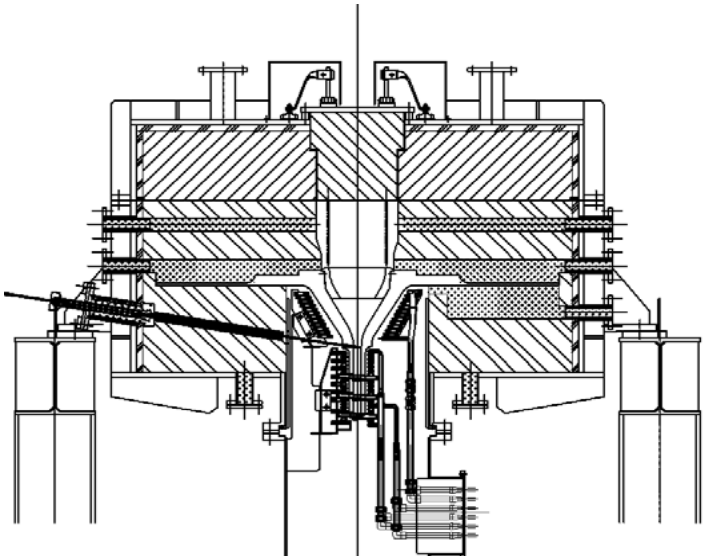
C．4．成果、目標の達成度

(2)新型ガラス溶融炉の開発

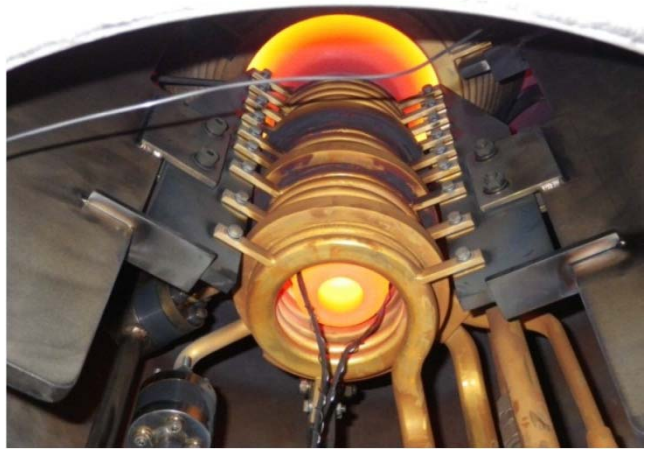
流下ノズル寿命評価試験

・底部電極・流下ノズルの構造健全性を評価するため、実規模形状・寸法を模擬した試験装置を用いた加速試験※による寿命評価試験を実施した。

・結果、運転期間5年に相当する加速試験では、底部電極・流下ノズルにき裂や変形が確認されず、健全性が確認できた。（2014年度も継続して実施中）



流下ノズル寿命評価試験装置



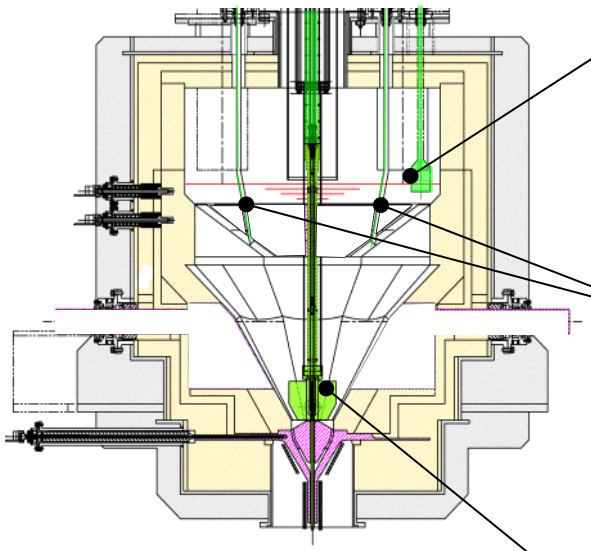
加速試験中の流下ノズル

※対象をより過酷な条件に置くことで、長期間に起こる負荷が短期間に進むとみなして、現実的な時間の試験で長期の負荷に代えて評価を行う試験

C．4．成果、目標の達成度

(2)新型ガラス溶融炉の開発

炉内要素技術の開発



エアパージ式液位計（ドイツより技術導入）

・接点式の電気抵抗式液位計と比べ、液位の連続測定が可能であり、炉内のガラス量をより正確に把握できた。

バブリング装置（ドイツより技術導入）

・仮焼層下面に挿入したノズルから空気を吹き込み溶融ガラスの流動性を向上させることにより、イエローフェーズの溶解性向上や処理能力の向上が期待できる（今後の開発で更に成熟を図る予定）。

かくはん装置（国内技術を改良）

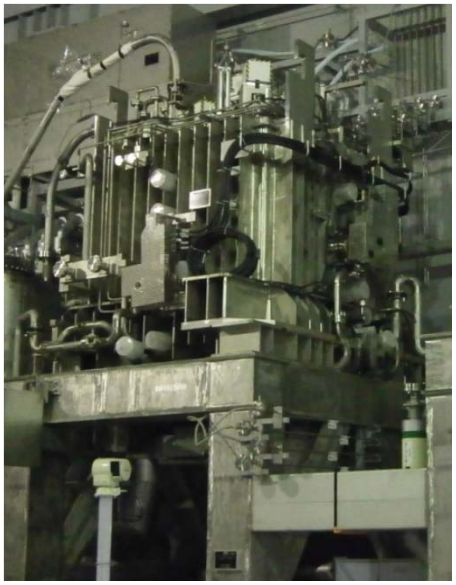
・白金族元素が堆積した場合に、早期にかつ効率的に炉底のかくはん操作（堆積した白金族元素の除去操作）が実施でき、レンガ片により流下ノズルが閉塞した場合に、閉塞解除が可能な構造とした。

C．4．成果、目標の達成度

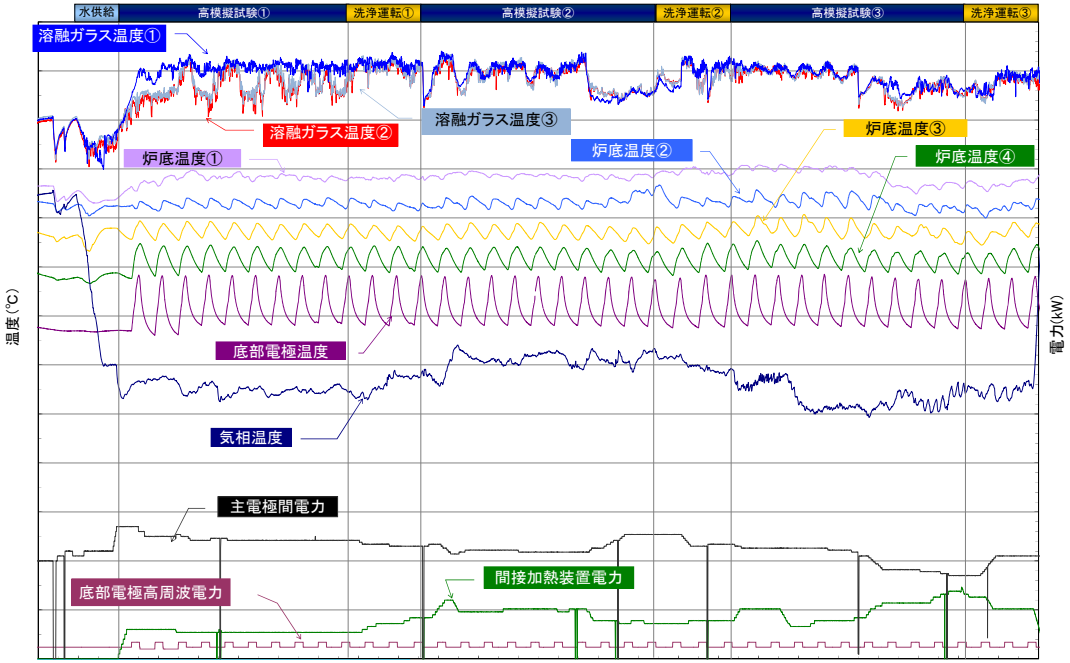
(2)新型ガラス溶融炉の開発

新型ガラス溶融炉モックアップ試験（温度特性の把握）

- 現行ガラス溶融炉との比較評価のため、現行ガラス溶融炉がこれまで実施してきた炉底低温運転※をモックアップ試験でも踏襲した。
- 試験は、模擬ビーズ、低模擬廃液（白金族元素を含まない廃液）、高模擬廃液（白金族元素を含む廃液）と段階的に実施した。
- 新型ガラス溶融炉の熱特性を把握した上で、現行ガラス溶融炉と同じ温度分布を再現できた。また、追加した加熱手段により容易に温度制御できることも確認した。



新型ガラス溶融炉モックアップ試験炉



新型ガラス溶融炉モックアップ試験の温度および電力の推移

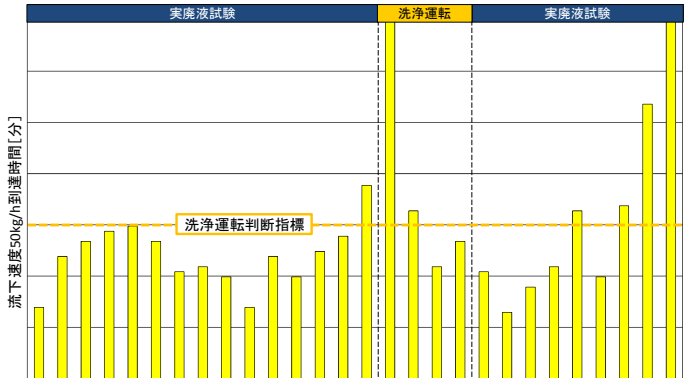
※ガラス流下終了後に炉底部の温度を低下させ、流下後の白金族元素の炉底部への沈降を抑制する運転

C．4．成果、目標の達成度

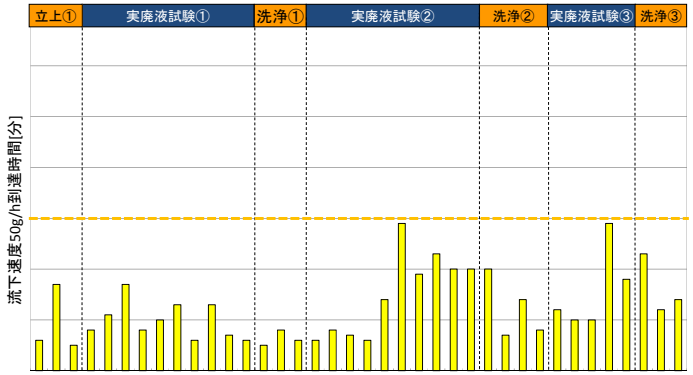
(2)新型ガラス溶融炉の開発

新型ガラス溶融炉モックアップ試験（白金族元素の抜き出し性）

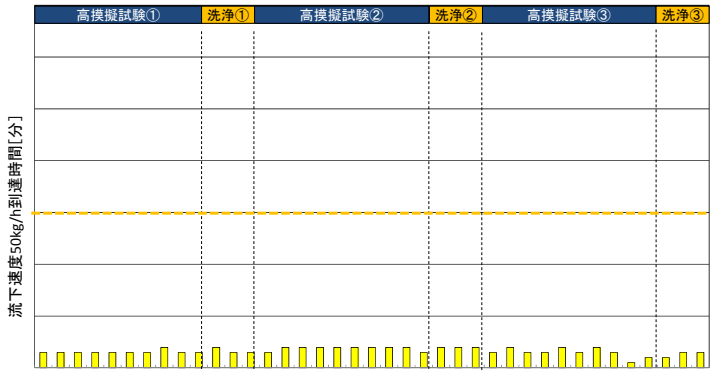
流下性判断指標：■流下速度50kg/h到達時間



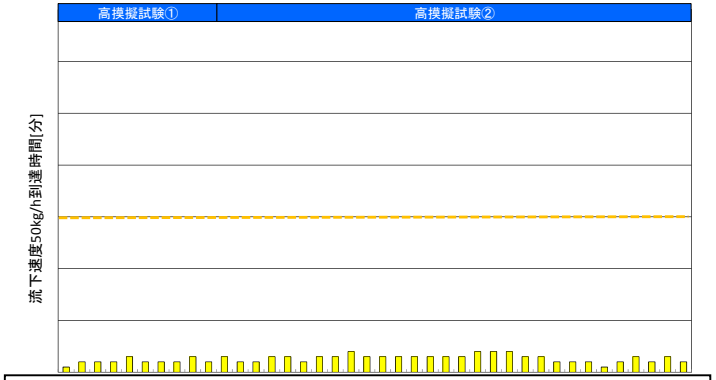
【参考】再処理工場A系列アクティブ試験第5ステップ（2008年10月）



【参考】再処理工場A系列ガラス固化試験（2013年5月）



新型ガラス溶融炉実規模モックアップ試験（2013年11月～2014年2月）



【参考】新型ガラス溶融炉実規模モックアップ試験（2014年11月～）

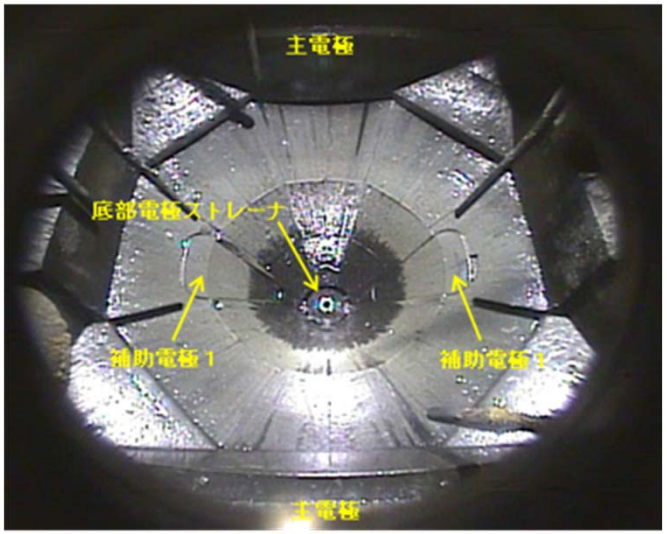
流下回数を重ねても流下性は良好であり、白金族元素が炉底部に堆積した傾向は確認されなかった。

C．4．成果、目標の達成度

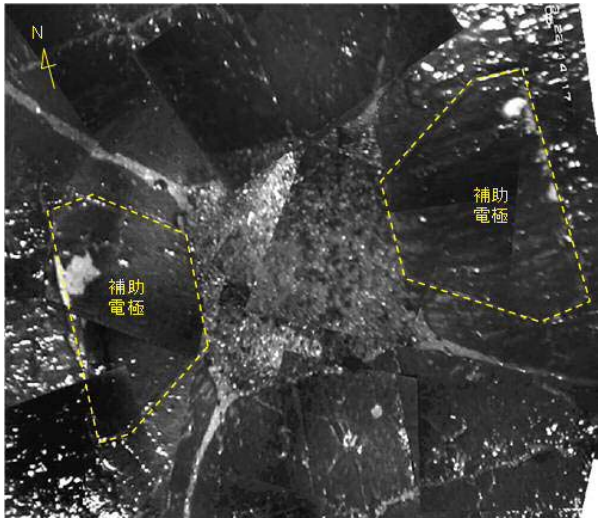
(2)新型ガラス溶融炉の開発

新型ガラス溶融炉モックアップ試験（試験後の炉内状態）

・ドレンアウト試験後に炉内を観察した結果、炉内のガラスは全て排出されており、残留物も確認されなかった。



新型ガラス溶融炉実規模モックアップ
試験後の炉内観察結果



【参考】六ヶ所再処理工場B系列
ガラス固化試験後の炉内観察結果

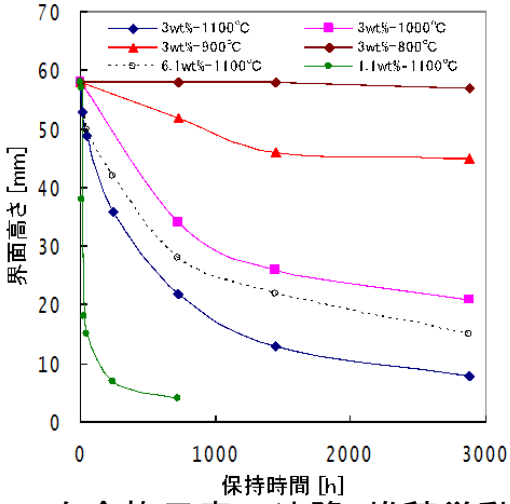
C．4．成果、目標の達成度

(2)新型ガラス溶融炉の開発

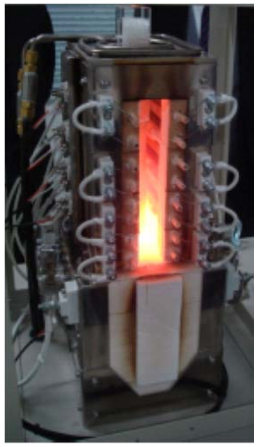
ガラス物性等の基礎試験

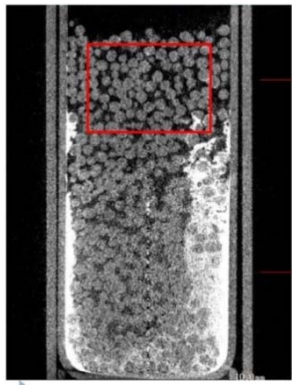
ガラスの基礎データを取得し、ガラス溶融炉解析コードの高度化等に利用した。

- ガラス物性関連：白金族元素および模擬廃棄物成分を含有したガラスの高温物性（粘度、密度、比熱、熱伝導率等）を測定し、定式化
- 炉内白金族元素関連：ガラス温度および白金族元素濃度を変化させて白金族元素の沈降形態・堆積挙動等を評価
- 仮焼層関連：微量成分（FINE、DBP※）有無による仮焼層の構造（空隙率）変化等を評価



白金族元素の沈降・堆積挙動





仮焼層観察装置（左）により観察した仮焼層の構造（右）

※ 使用済燃料を硝酸で溶解した溶解液からウランとプルトニウムを抽出するための溶媒抽出に用いるリン酸三ブチル（TBP）が放射線分解（劣化）して生成される。これが溶媒再生工程でアルカリ廃液へ移行し、高レベル廃液に含まれる。

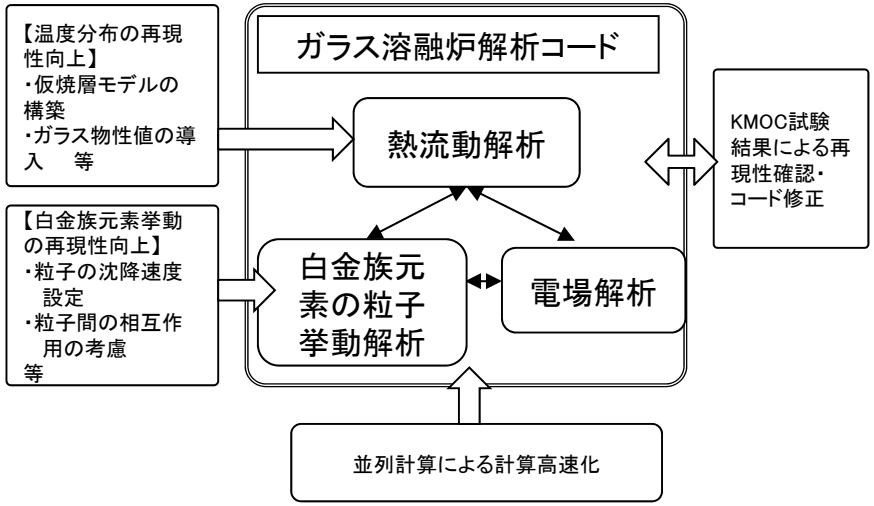
C．4．成果、目標の達成度

(2)新型ガラス溶融炉の開発

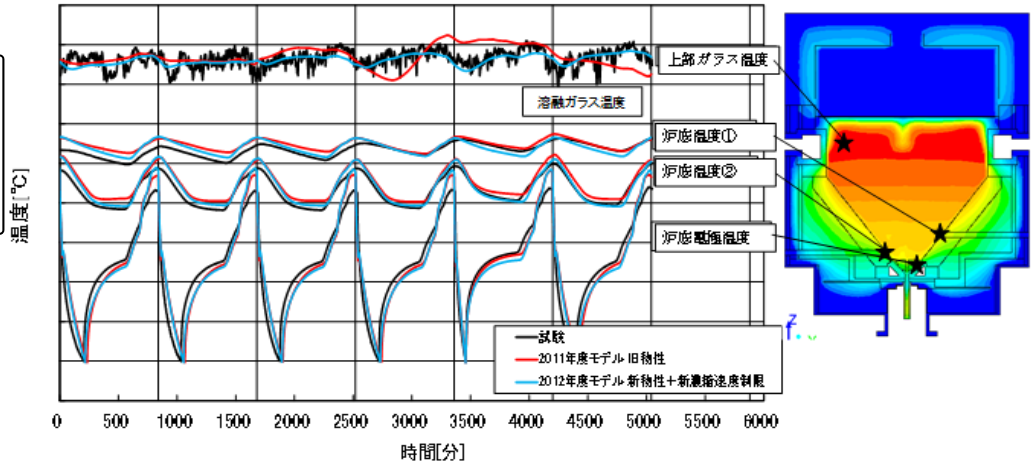
ガラス溶融炉解析コードの高度化

・解析コードに仮焼層のモデルやガラス物性値の反映等をすることで、現行のガラス溶融炉のガラス温度および白金族元素分布を再現することができた。

・高度化した解析コードを用いて、実規模モックアップ試験の運転条件の事前検討を行うことができ、合理的に試験を進めることができた。



ガラス溶融炉解析コードの
機能構成、改良・検証項目



解析コードによるガラス溶融炉の
炉内温度シミュレーション

C. 5. 事業化、波及効果

事業化:

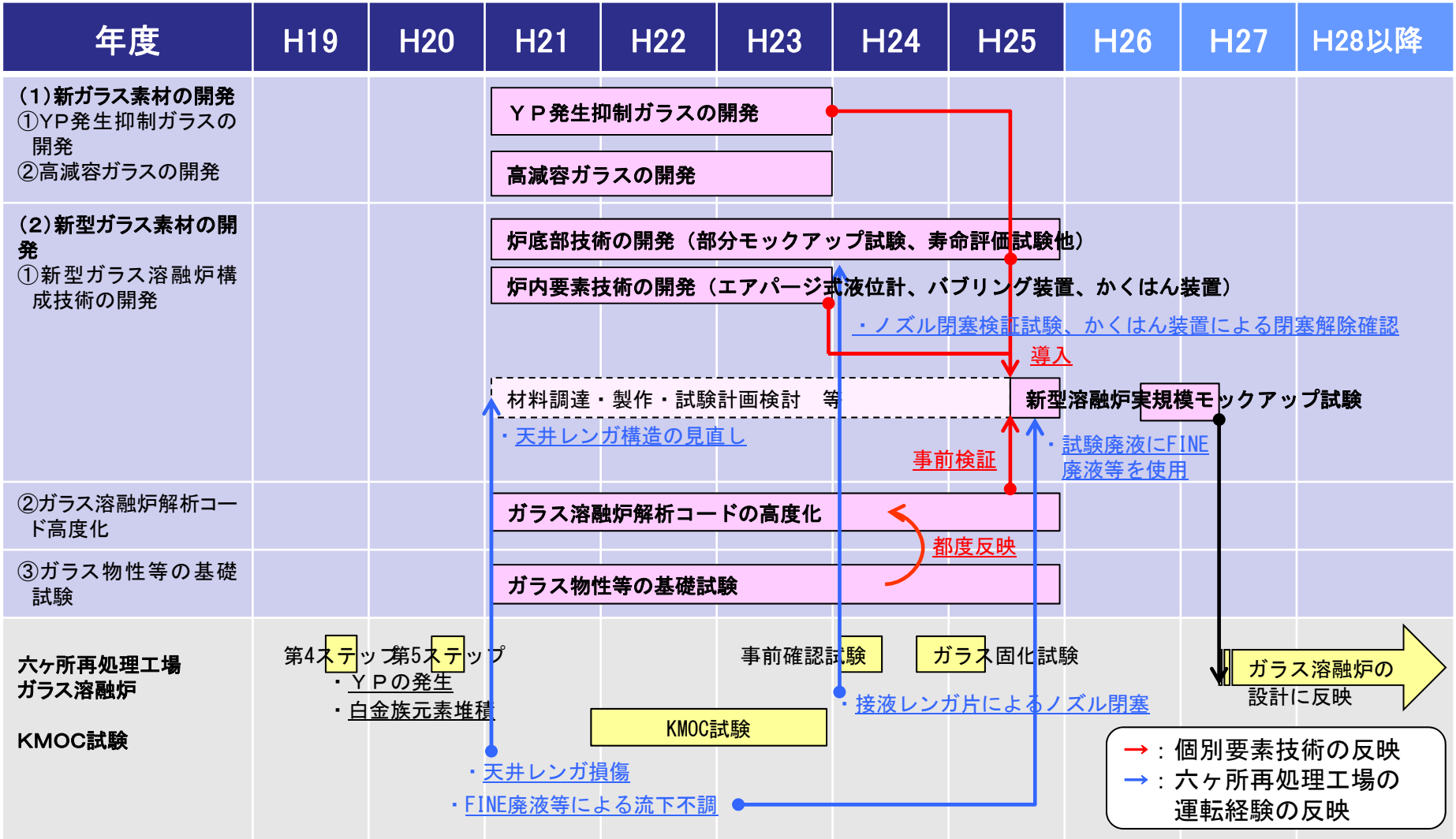
- 本事業により開発されたガラス固化技術は、実用化に向けた更なる技術検証を進めたうえで、5年程度で更新が計画されている六ヶ所再処理工場のガラス溶融炉の設計に反映することができる。
- 本事業により開発されたガラス固化技術を六ヶ所再処理工場に適用することにより、ガラス溶融炉の運転で行っている定期的な洗浄運転（廃液供給10バッチに対して模擬廃液による洗浄運転3バッチ）を低減または不要とすることによるガラス固化体の発生本数の低減も期待できる。

波及効果:

- 本事業により開発されたガラス固化技術により、ウランおよびプルトニウムを準国産エネルギーとして利用する我が国の核燃料サイクルの要である再処理および高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）処分の効率化、処分に際しての安全裕度の一層の向上に資することが期待できる。

C．6．研究開発マネジメント・体制等

(1) 研究開発計画

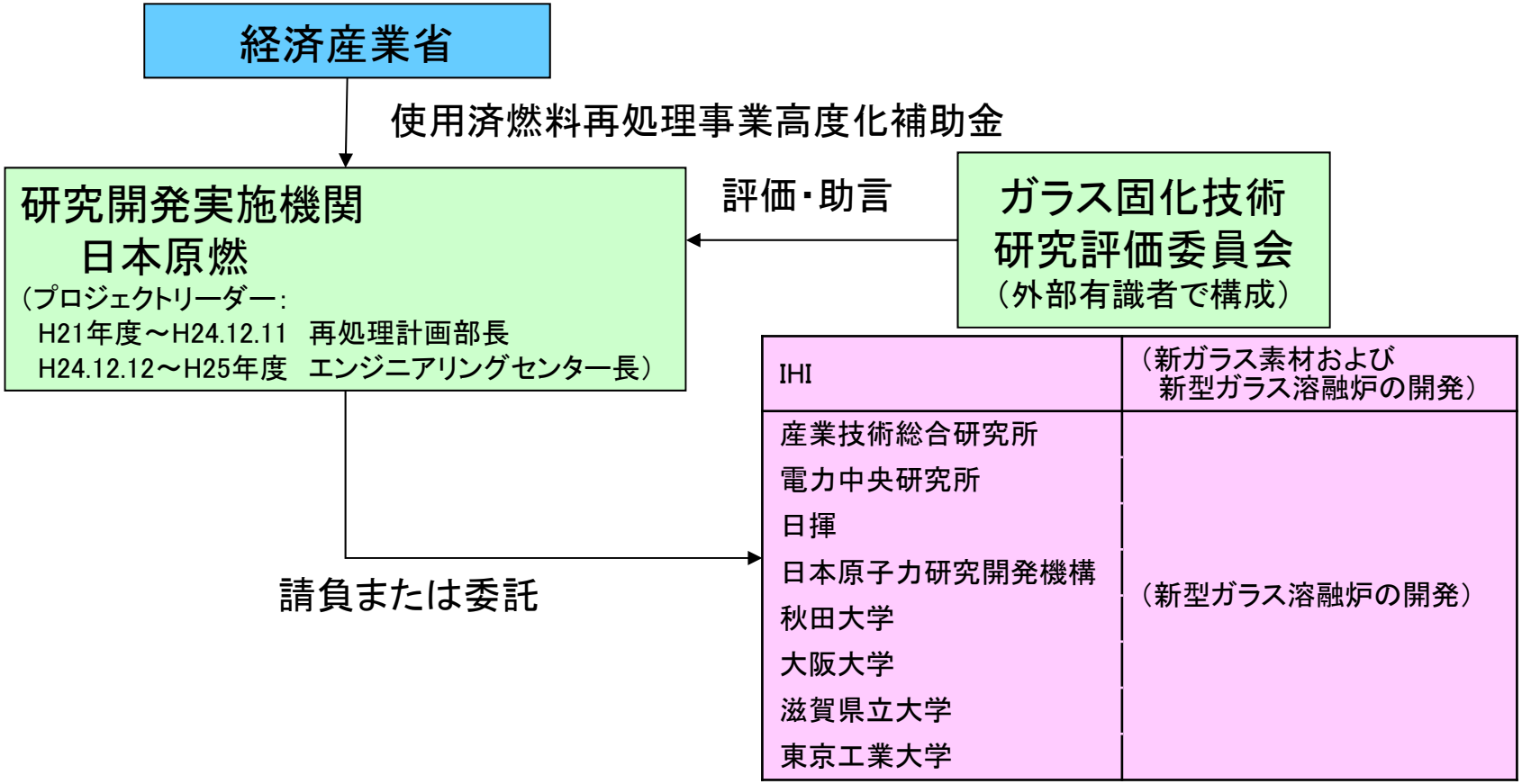


C．6．研究開発マネジメント・体制等

(2) 実施体制・運営

・日本原燃は、試験計画の策定、実施、評価等について総括的に管理を行っており、開発に係る試験等をメーカ・大学・研究機関に請負または委託した。

・日本原燃は、ガラス・製鉄溶鉱炉・原子力専門家等の外部有識者から構成されるガラス固化技術研究評価委員会から試験の計画策定、実施等において評価・助言を受けた。



C．6．研究開発マネジメント・体制等

(3) 資金配分

資金配分　（単位：百万円）

年度　平成		21※1	22	23※2	24	25	合計※3
労務費		34	30	10	7	7	89
諸経費		10	6	3	3	1	23
試験費	新ガラス素材の開発	101	165	126	―	―	393
	新型ガラス溶融炉の開発	1,376	1,346	528	941	1,021	5,211
合計※1		1,522	1,547	667	952	1,029	5,717

※1　平成21年度の資金は、平成22年度に繰り越した。

※2　東北地方太平洋沖地震（平成23年3月11日）の影響により平成23年度に試験を行うための資機材の準備等が困難になったことから、当初平成23年度分までの資金配分を、平成25年度までの資金配分に変更した。

※3　四捨五入しているため、各費用と合計は一致しない。

C．６．研究開発マネジメント・体制等

(4) 費用対効果

開発されたガラス固化技術は、5年程度で更新が計画されている六ヶ所再処理工場のガラス溶融炉に反映される。

その結果、六ヶ所再処理工場の安定運転が可能となり、ひいては我が国の核燃料サイクルの着実な推進に寄与することが期待される。

（現行のガラス溶融炉の運転で行っている洗浄運転が不要となった場合、ガラス固化体の発生本数を2割程度低減できる。）

(5) 変化への対応

本プロジェクトの実施期間中に六ヶ所再処理工場におけるガラス溶融炉の試験運転で得られた課題について、適宜、新型ガラス溶融炉の開発に反映した。

C．７．評価

７－１．評価検討会

評価検討会名称	核燃料サイクル関連分野に係る技術に関する施策・評価検討会	
評価検討会委員	座長	高木　直行 東京都市大学　教授
	委員	黒木　敏高 独立行政法人科学技術振興機構　執行役 杉山　一弥 一般社団法人原子力産業協会　企画総務部長 関　哲朗 文教大学情報学部　教授 藤原　啓司 原子力発電環境整備機構　技術部長 （五十音順）

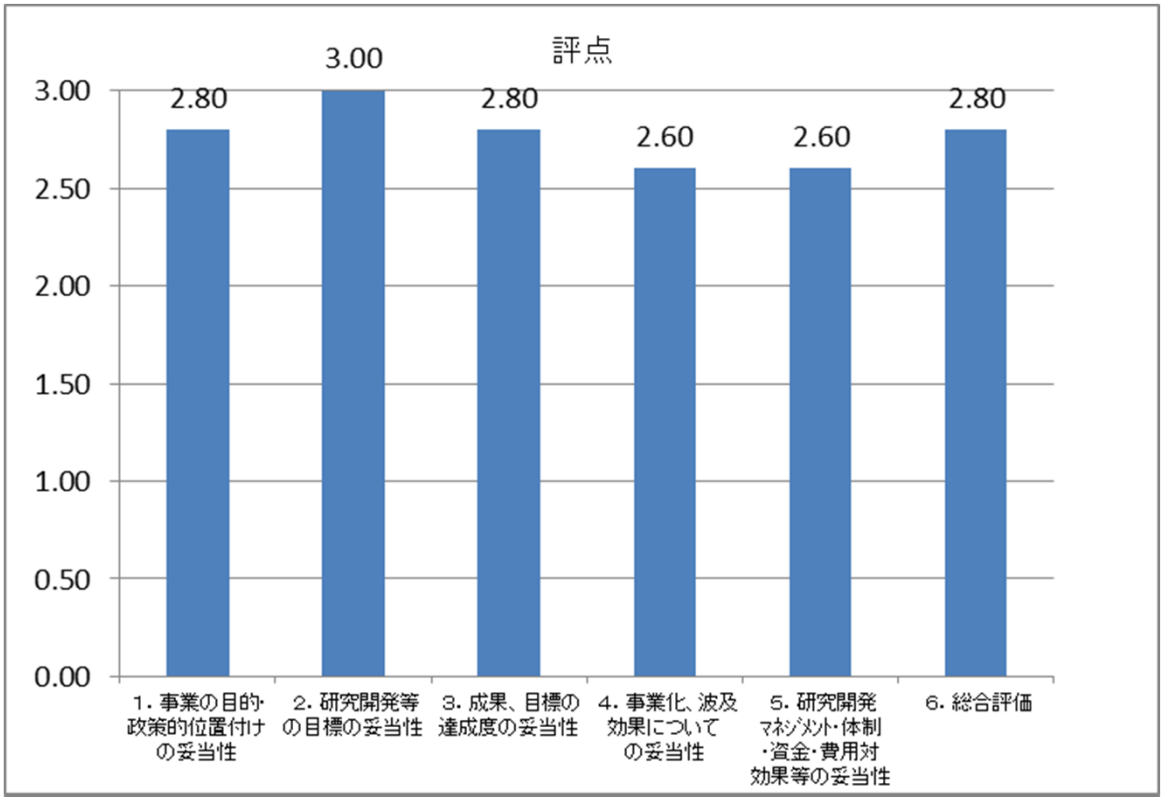
７－２．総合評価（コメント）

○再処理工場の安定運転だけでなく、処分の観点から、ガラス固化体の安定性向上、発生量抑制に寄与するものとして評価できる。特に、高減容ガラスや溶融炉（洗浄頻度低減、固化体発生数削減）の開発では、その部分の課題（イエローフェーズ、白金族挙動など）をビーカー試験から大型モックアップ試験まで緻密な実証試験で課題解決しており、事業を展開する上で大きな成果が得られた。また、中間報告の状況を勘案すると、明確かつ適切な成果が得られた。

○なお、課題が解決できた一方で新たな課題も分かったはずで、その整理も必要で、それら全体を俯瞰した研究計画があっても良いように思われる。本施策の分野においてどのように国際的なイニシアチブを持つべきかについては難しい問題である。一方で、本分野における技術の国産化は様々な面で必要になることが考えられる。どのような手段をもって、事業の成功を得るかということは、マネジメントの基本的な課題である。

７－３．評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト事後評価において、評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】
評価項目１.～５.
３点：非常に重要又は非常によい
２点：重要又はよい
１点：概ね妥当
０点：妥当でない

６．総合評価
（事後評価の場合）
３点：実施された事業は、優れていた。
２点：実施された事業は、良かった。
１点：実施された事業は、成果等が今一歩のところがあった。
０点：実施された事業は、成果等が極めて不十分であった。

C．８．提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言	提言に対する対処方針
○国策を推進していく上で、根幹となる事業であり、将来この技術が採用されたときに、先の六ヶ所再処理工場のガラス固化のトラブルのような問題が発生しないように、徹底した実規模レベルの実証試験が必要である。	○補助金事業の終了後も、事業者において、新型ガラス溶融炉の実規模モックアップ試験が継続されており、実用化に向けた更なる技術検証が進められている。５年程度で更新が計画されている六ヶ所再処理工場のガラス溶融炉の設計に反映される予定である。
○また、高レベル放射性廃棄物処分の問題は、最大の問題であり、この問題に対処していくためにも、高速炉を活用した放射性廃棄物の減容、有害度減少などの研究開発に、より一層の力点が置かれるべきである。	○高速炉サイクルを構築する上で、高速炉を活用した放射性廃棄物の減容化、有害度低減等を考慮することは重要であり、必要な研究開発等を進めていく。