

## 1. B.回収ウラン利用技術開発委託費に係る事業の概要

|                |                                                                                                                       |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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）<br>（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<br>リーダー | 森 良平 三菱マテリアル(株)原子力プロジェクト部（部長補佐）                                                                                       |

## 2. B.プロジェクトの目的・政策的位置付け

### 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。

## 2. B.プロジェクトの目的・政策的位置付け

政策的位置づけ：

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(抜粋)(平成17年10月)

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。

## 2. B.プロジェクトの目的・政策的位置付け

### 政策的位置づけ(続き)

#### ●原子力立国計画(平成18年8月)

##### 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。

#### ●エネルギー基本計画(平成19年3月)

##### 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。



### 3. B.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)、 $\alpha$ 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UF <sub>6</sub> 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。                   |

### 3. B.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UO <sub>3</sub> に焦点を当てたUF <sub>6</sub> 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UF <sub>6</sub> 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UF <sub>6</sub> 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(UF <sub>6</sub> )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(UF <sub>6</sub> )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UF <sub>6</sub> 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UF <sub>6</sub> 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。                            |

## 4. B.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<br>取扱実績等に関する<br>調査     | 各国の核燃料サイクル施設<br>における回収ウランの取扱<br>い実績、軽水炉における回<br>収ウランの利用実績及び回<br>収ウランの取扱いに関する<br>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<br>ウランの取扱い実績や軽水炉における回<br>収ウランの利用実績について調査・整理<br>した。<br>回収ウランのγ線に起因する事項、回収<br>ウランの高いα放射能によって影響される<br>事項、回収ウランの微量不純物放射能に<br>よって影響される事項など、各国の事例<br>を調査するとともに、回収ウランの特性と<br>関連付けて整理した。                                   | 達成  |
| (2)既存施設における回<br>収ウランの受入条件<br>に関する調査 | 既存の国内外の主要な転換、<br>濃縮、再転換、成型加工、原<br>子炉、各種輸送設備におけ<br>る取扱核種、線量等の受入<br>条件等を調査する。                 | 既存の国内外の主要な転換(人形峠)、<br>濃縮(人形峠)、再転換・成型加工(4施<br>設)、発電用原子炉、回収ウラン酸化物、<br>UF <sub>6</sub> 、回収ウラン燃料集合体の輸送設備<br>における取扱核種、線量などの受入条件<br>及び受入上限値を調査した。同様に、海<br>外の転換(仏、露、英)、濃縮(独、英、蘭)、<br>再転換・成型加工(仏、露、独)等におけ<br>る取扱核種、線量などの受入条件及び受<br>入上限値を調査した。 | 達成  |



## 4. B.成果、目標の達成度

| 要素技術                | 目標・指標                                                                      | 成 果                                                                                                                                                                                                    | 達成度 |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| (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)、 $\alpha$ 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  |
| (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UF <sub>6</sub> 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UF <sub>6</sub> 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  |

## 4. B.成果、目標の達成度

| 要素技術              | 目標・指標                                             | 成 果                                                                                                                                                              | 達成度 |
|-------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| (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。<br>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  |

## 4. B.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。<br>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  |

## 4. B.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。

#### 各国の回収ウラン取扱実績

軽水炉での回収ウラン燃料利用はフランスとドイツで定常的に行なわれている。そのための回収ウラン転換と再濃縮はロシアに委託され、成型加工、組み立てがフランス、ロシア、ドイツで行われている。

また、日本、ベルギー、スイス等の原子炉において、2003年までに各々300～500tU程度の回収ウラン再濃縮燃料が利用された。いずれも安全上の大きな問題は特に報告されていない。

フランスでは、遠心分離法による新ウラン濃縮工場の建設が進んでおり、その一部を回収ウランの再濃縮用とするため、回収ウラン転換プラントの更新増強が検討されている。

## 4. B.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

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<br>(tU)                                                                                                       | 2003年までの軽水炉利用回収<br>ウラン量(tU) | 2004～2010年の軽水炉利用<br>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。                                                                                    |                             |                                  |          |

## 4. B.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

#### 回収ウランの $\gamma$ 線の影響

- 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。

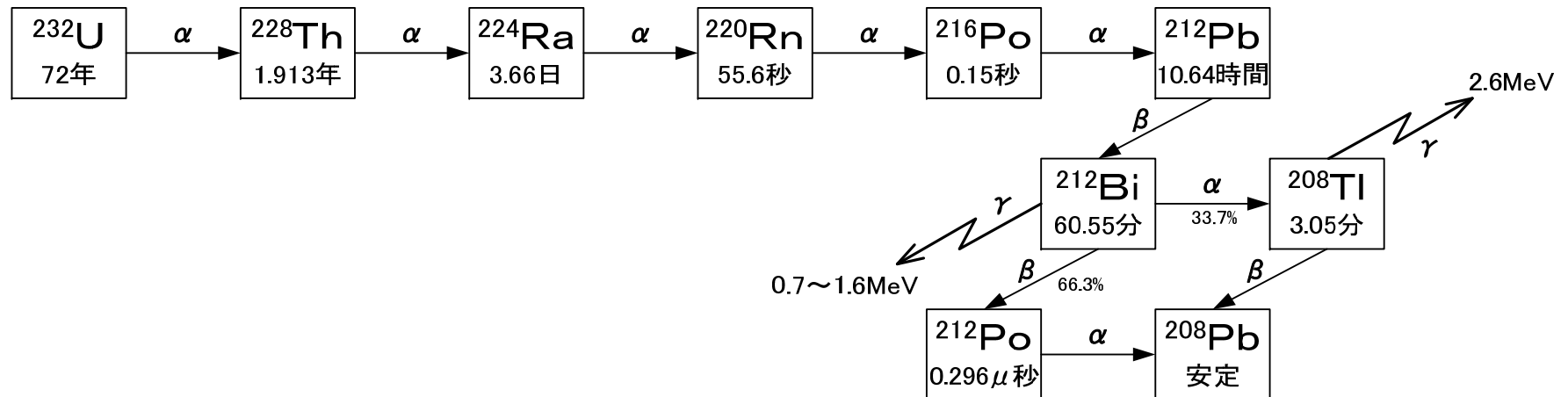


図 U-232の崩壊系列

U232の子孫核種のBi-212とTl-208がエネルギーの高い $\gamma$ 線を放出する。  
 Th-228は、再処理でUから除去される他、 $\text{UF}_6$ のガス化の際にも不揮発性のため除去される。  
 この精製された回収ウランでは、Th-228の濃度は徐々に上昇してU-232の存在量と平衡になるまで約10年間を要する(その後はU-232の半減期に従って減少する)。再処理施設におけるウラン精製直後やウラン濃縮施設、再転換施設での $\text{UF}_6$ 気化直後であれば $\gamma$ 線の影響がないが、精製から時間を経た回収ウランは外部被ばくへの影響が大きくなる。

## 4. B.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

- 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。)

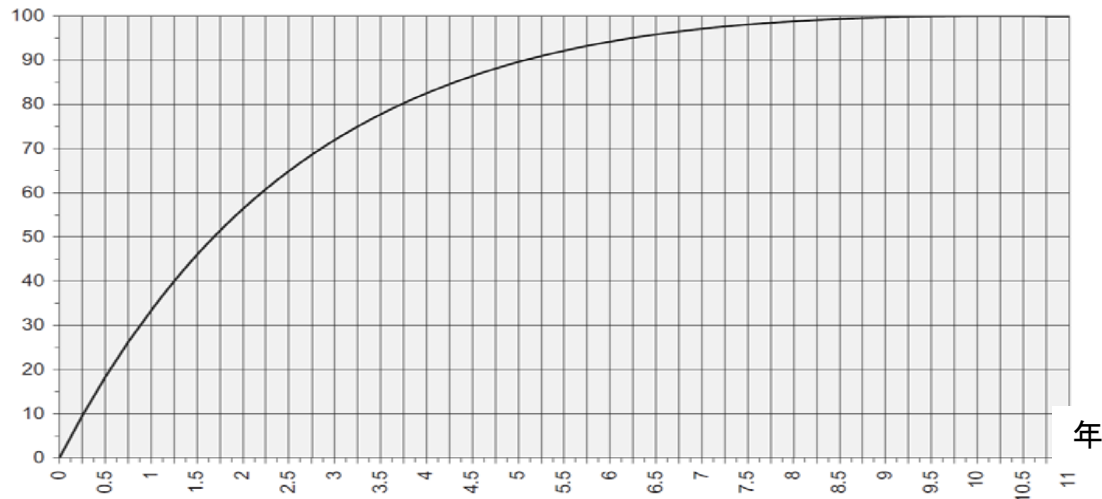


図 Th-228の生成量の経時変化

過去に実施された回収ウランの成型加工において、日本の加工事業者の回収ウランの燃料集合体からのγ線線量率は、天然ウランの場合と比較して有意に高い結果が得られたが、従事者の外部被ばく線量は各事業所とも5mSvを超える被ばくの実績はなかった。これは、回収ウラン転換量が少量だったこと、回収ウランの再転換から入荷までの期間が短く線量の増加が小さかったこと、予め被ばく低減のための設備対策を施すことや作業時間の短縮などの配慮のためと考えられる。

## 4. B.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

- 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ですが、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。

#### 回収ウランの $\alpha$ 比放射能の影響

回収ウランは、U-234の濃度が高いために天然ウランに比べ $\alpha$ 比放射能が高いという特徴を持つ。特にウラン濃縮を経た再転換、成型加工の工程ではU-234の濃度が増加し、加工事業者の受入仕様によれば通常ウランより2倍強の $\alpha$ 比放射能を持つ。しかし、加工事業者が回収ウランを取扱った時期における内部被ばく結果は全て記録レベル未満であり通常ウランを取扱った年度と比較して大差はなかった。これは、回収ウラン取扱いに際しての従業員への教育、ウラン飛散防止の観点からの対策、回収ウラン取扱量が少なかったこと等によると考えられる。

#### 回収ウランの微量不純物放射能の影響

回収ウラン中のTRU, FPは、再処理工程の精製度により存在量が決まるが、転換プロセス内の $F_2$ フッ化工程でウランと概ね分離されることが知られている。人形峠における試験では、元々原料 $UO_3$ 中の存在量が少なく、転換プロセスのフィルタや吸着剤に対し精密な分析を行っても、多くが分析の下限値を下回った。また、回収ウラン取扱時における排気、排水実績も濃度管理目標値を十分に下回る結果であった。



## 4. B.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。

## 4. B.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

表 回収ウラン受入仕様の一例

| 物質区分   |                | 値の種類                          | 実用化試験時の仕様と実績                           |                                 |                                   |                       |                       |
|--------|----------------|-------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 元素種類区分 | 核種             | 製錬転換施設の原料UO <sub>3</sub>      |                                        | ウラン濃縮原型プラントの原料回収UF <sub>6</sub> |                                   | 既存再転換施設での濃縮回収ウラン      |                       |
|        |                | UO <sub>3</sub> 受入仕様<br>(上限値) | 東海再処理施設<br>UO <sub>3</sub> 製品の<br>分析結果 | 受入仕様<br>(上限値)                   | 平成7年度受入れ<br>UF <sub>6</sub> 原料分析値 | 受入仕様<br>(上限値)         | 平成6年から平成<br>18年の仕様実績値 |
| ウラン同位体 | U-232(ppb/U)   | 1.8                           | 0.51～1.0                               | 1.2                             | ≦ 0.8                             | 10                    | ≦ 8                   |
|        | U-234(wt%)     | —                             | 0.01468～1.0183                         | 0.027                           | ≦ 0.018                           | —                     | —                     |
|        | U-235(wt%)     | 1.3                           | 0.7926～1.1649                          | 0.9～1.3                         | 0.937～1.121                       | —                     | —                     |
|        | U-236(wt%)     | —                             | 0.2156～0.3295                          | 0.4                             | ≦ 0.315                           | —                     | —                     |
|        | U(α)           | —                             | —                                      | —                               | —                                 | 3.3 × 10 <sup>5</sup> | 2.1 × 10 <sup>5</sup> |
| 核分裂生成物 | Zr-95 (Bq/gU)  | 37.0                          | < 2                                    | —                               | —                                 | —                     | —                     |
|        | Nb-95(Bq/gU)   | 37.0                          |                                        | 13                              | ≦ 0.089                           | —                     | —                     |
|        | Ru-106(Bq/gU)  | 194                           | < 4                                    | 100                             | ≦ 8.9                             | 10                    | ≦ 4.6                 |
|        | Sb-125 (Bq/gU) | 37.0                          | < 1                                    | —                               | —                                 | 2                     | ≦ 1.2                 |
|        | Cs-137(Bq/gU)  | 37.0                          | < 0.52                                 | —                               | —                                 | —                     | —                     |
|        | Ce-144(Bq/gU)  | 37.0                          | —                                      | —                               | —                                 | —                     | —                     |
|        | Tc-99 (Bq/gU)  | —                             | —                                      | —                               | ≦ 0.15                            | 10                    | ≦ 1.8                 |
| 超ウラン元素 | Np-237 (Bq/gU) | 66.7                          | 0.0048～0.078                           | 0.096                           | ≦ 0.012                           | 0.1                   | ≦ 0.1                 |
|        | Pu(α) (Bq/gU)  | 5.61                          | 0.031～0.048                            | 0.10                            | ≦ 0.0007                          | 0.1                   | ≦ 0.043               |
|        | Pu(β) (Bq/gU)  | —                             | 1～2.4                                  | —                               | ≦ 1.9                             | 3                     | ≦ 2.1                 |
|        | Am(α) (Bq/gU)  | 33.3                          | —                                      | 0.32                            | ≦ 0.038                           | —                     | —                     |
|        | Cm(β) (Bq/gU)  | 33.3                          | —                                      | —                               | —                                 | —                     | —                     |

## 4. B.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。

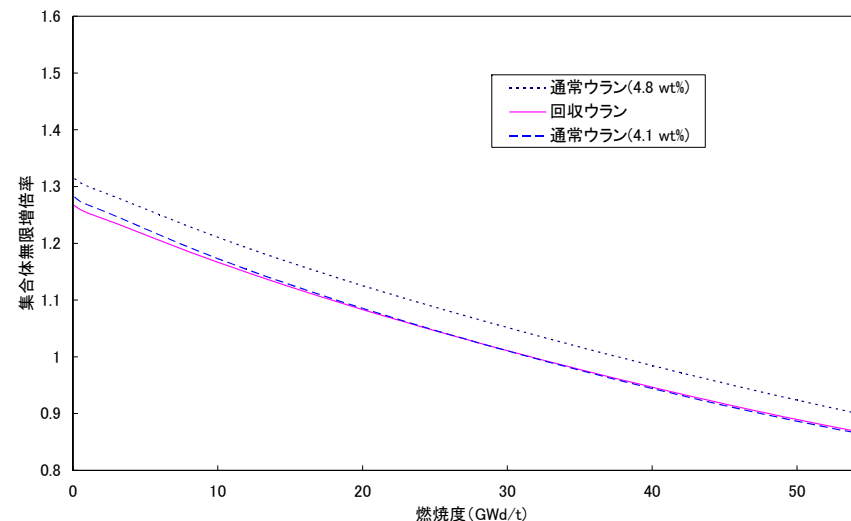


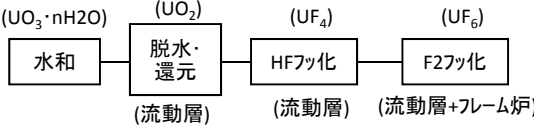
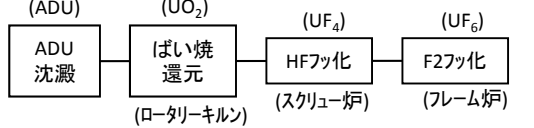
図 燃料集合体無限増倍率(PWR)

# 4. B.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UF<sub>6</sub>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

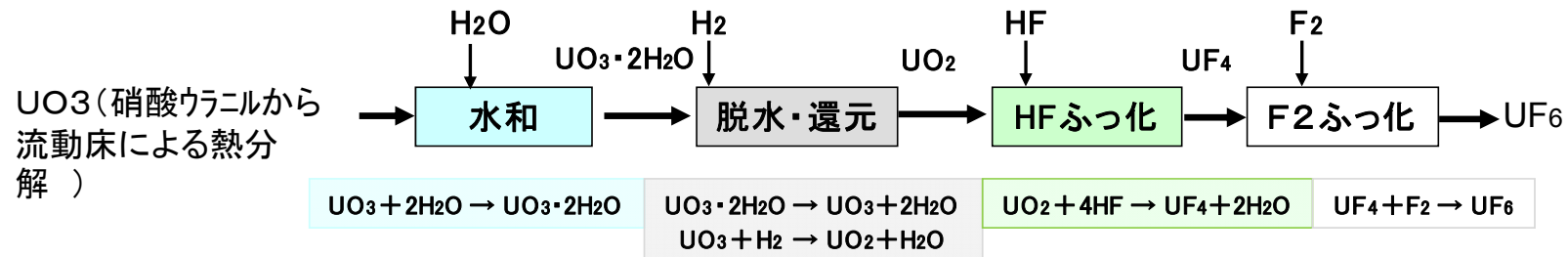
| 国名／機関／規模                                                 | 原料                                                     | 転換プロセス                                                                               | 現況         | プロセスの特徴・課題                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 備考                                   |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 日本／<br>JAEA(旧PNC)人形峠<br>事業所／0.8tU/d                      | UO <sub>3</sub><br>(粉)<br>東海再処理<br>工場より搬入<br>(流動層粉)    |    | 停止、<br>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<br>②HFフッ化を二段とすることにより転換率を高める<br>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<br>・転換率の向上(流動層反応装置)<br>・流動媒体が廃棄物化<br>・稼働率の安定化と向上(水和水和、フッ化等)<br>・プロセス廃棄物の低減<br>・リサイクル設備の増強<br>・高線量の残渣の取扱いに伴う被ばく                                                                                     |                                      |
| フランス／<br>Comurhex Pierrelatte<br>／350tU/y                | UN<br>(溶液)<br>ラアグ再処理<br>工場より搬入                         |   | 停止         | ①湿式粉末製造による活性粉製造<br>・湿式法に伴い廃液発生量が多い<br>・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／<br>TENEX Siberian<br>Chemical Complex／<br>1,500tU/y | U <sub>3</sub> O <sub>8</sub><br>(粉)<br>AREVA社より<br>搬入 |  | 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 <sub>3</sub> O <sub>8</sub> , UO <sub>3</sub> , UN溶液等)<br>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<br>③U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> の直接フッ化<br>④F <sub>2</sub> フッ化を二段(フレーム炉+F <sub>2</sub> 回収炉)とすることにより転換率を高める<br>⑤工程のシンプル化により工程内インベントリ小<br>・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:<br>8USD/kgU                |
| 米国／<br>Oak Ridge Diffusion<br>Plant／～3U/d                | UO <sub>3</sub><br>(粉)<br>サバンナリバー、<br>ハンフォードより<br>搬入   |  | 解体済        | ①F <sub>2</sub> フッ化を二段(フレーム炉+F <sub>2</sub> 回収炉)とすることにより転換率を高める<br>・高線量の残渣の取扱いに伴う被ばく                                                                                                                                                                                                           |                                      |

## 4. B.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 $UF_4$ を経由するプロセスとなっており、 $UF_4$ を生産するまではフッ化水素でふっ化し、 $UF_4$ を $UF_6$ 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 $UF_6$ 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。

#### 2段フッ化プロセスフロー(日本)



#### 直接フッ化プロセスフロー(ロシア)

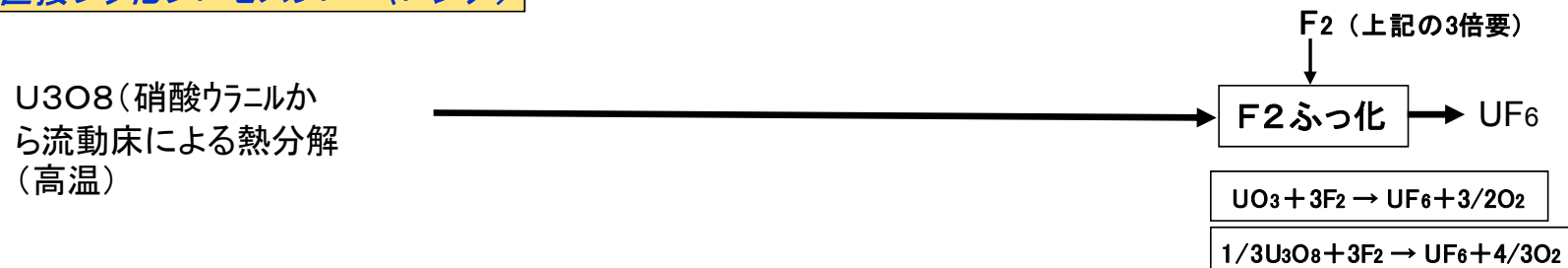


図 2段ふっ化法と直接ふっ化法のプロセスの比較

## 4. B.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 <sub>3</sub> |                                |
|--------|----------------|------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| 元素種類区分 | 核種             |      | UO <sub>3</sub> 受入仕様      | UO <sub>3</sub> 受入仕様（上限値）          | 東海再処理施設UO <sub>3</sub> 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 <sup>4</sup> (*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 <sup>3</sup> (*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



## 4. B.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( $\text{UO}_3$ )は緻密で固い球状粒子であり、粒径も $150\sim 300\mu\text{m}$ 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 $\text{UO}_3$ の特性に適した方式を検討した。

#### 2段ふっ化法

緻密な $\text{UO}_3$ 粒子を原料とする場合、 $\text{UO}_3$ 粒子と反応ガスの反応性を向上させるために、 $\text{UO}_3$ 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 $\text{UO}_3$ 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 $\text{U}_3\text{O}_8$ 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、 $\text{U}_3\text{O}_8$ が活性であり、これをそのままフレイム炉での $\text{F}_2$ 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 $\text{UO}_3$ を原料とする場合には、フレイム炉での処理前に、焙焼及び粉碎によって $\text{UO}_3$ 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 $\text{F}_2$ ガス量が必要となる。

## 4. B.成果、目標の達成度

### (5) 転換プロセスの検討

- 回収ウラン転換プロセスの概念検討では、以下のように双方への対応が可能であるが、国内の技術実績を活用した検討が可能となる2段ふっ化法によるものとした。
- 国内における2段ふっ化法の技術は、最適な運転条件の下での長期間の稼働による実証には至っていないが、国内に2段ふっ化法の技術実績が豊富である。
  - 直接ふっ化法は、日本で経験のない技術的要素の多いことが問題として上げられるが、今後の研究開発による確証で対応が可能と考えられる。

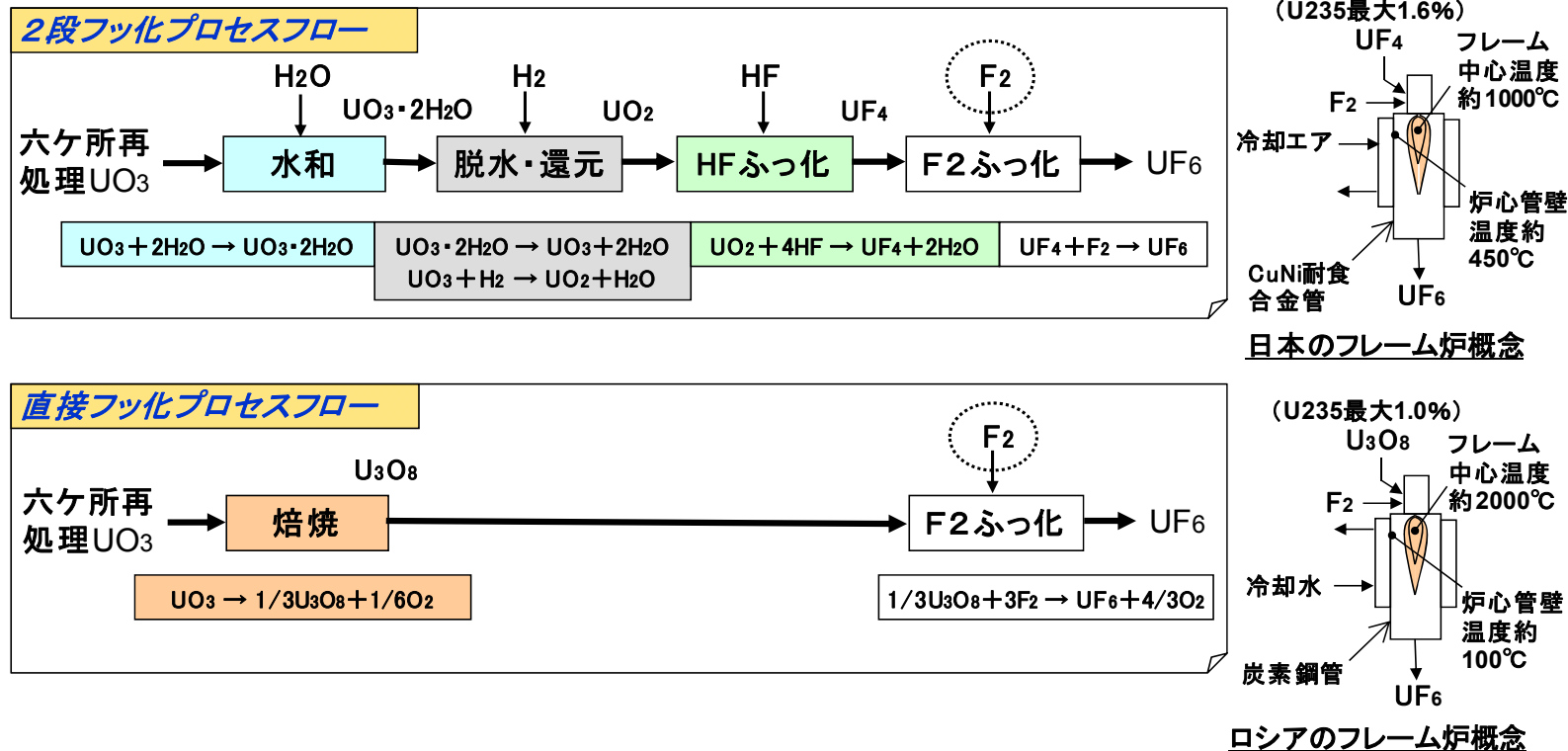


図 2段ふっ化法と直接ふっ化法のプロセスフローの比較  
(六ヶ所再処理工場の回収ウラン( $\text{UO}_3$ )に適用する場合)



# 4. B.成果、目標の達成度

## (5) 転換プロセスの検討

表 直接ふっ化法と2段ふっ化法の概略比較

|                            | 直接ふっ化 (改良)                                                                                                                                                                                 | 2 段ふっ化                                                                                                             |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| プロセスフロー                    | 焙焼、粉碎 →F <sub>2</sub> ふっ化<br>・六ヶ所再処理工場のUO <sub>3</sub> に対応するため原料の微粉化が必要 (改良)<br>・フッ素分は全量F <sub>2</sub> 形態で供給                                                                               | 水和→脱水還元→HFふっ化→F <sub>2</sub> ふっ化<br>・フッ素分は2/3をHF形態、1/3をF <sub>2</sub> 形態で供給                                        |
| 技術的な観点                     | ・F <sub>2</sub> ふっ化工程での微粉の取扱いは国内技術は無い<br>・ロシア等の設計、運転関連の情報が少                                                                                                                                | ・国内で開発された方法<br>・各工程での反応効率の向上が基本となるが、最適運転条件による長期運転の確証データは少                                                          |
| 設備・(建屋)<br>+は負荷の程度を半定量的に示す | ・焙焼工程 (粉碎) ++                                                                                                                                                                              | ・水和工程 +++                                                                                                          |
|                            | ・F <sub>2</sub> ふっ化工程 (UF <sub>6</sub> 捕集) + *1                                                                                                                                            | ・F <sub>2</sub> ふっ化工程 (UF <sub>6</sub> 捕集) +                                                                       |
|                            | ・電解工程 +++++                                                                                                                                                                                | ・電解工程 ++                                                                                                           |
| 運転<br>+は負荷の程度を半定量的に示す      | 運転員 (保守含) ++                                                                                                                                                                               | 運転員 (保守含) +++                                                                                                      |
|                            | 副原料<br>無水HFガス*2 ++                                                                                                                                                                         | 副原料<br>水素ガス(H <sub>2</sub> ) +<br>無水HFガス*2 ++                                                                      |
|                            | 電力・ユーティリティ +++++                                                                                                                                                                           | 電力・ユーティリティ +++                                                                                                     |
|                            | 廃棄物<br>未反応F <sub>2</sub> 固定化 +<br>排気中UF <sub>6</sub> 固定化 +<br>不純物吸着剤 +<br>使用済流動媒体 +                                                                                                        | 廃棄物<br>水素ガス(H <sub>2</sub> ) 燃焼し排気<br>未反応F <sub>2</sub> 固定化 +<br>排気中UF <sub>6</sub> 固定化 +<br>不純物吸着剤 +<br>使用済流動媒体 + |
|                            | ・粉碎後は微粉末 (装置への供給) 又はF <sub>2</sub> ふっ化反応残渣のハンドリング性に問題あり。<br>・F <sub>2</sub> ふっ化工程のフレームタワーが高温化するため耐久性に問題あり。<br>ロシアは以下の方策により保守時の外部被ばくを減少させている。<br>① 転換直前に脱硝しU-232子孫核種の影響を排除<br>② 天然ウランとの混合処理 | ・UO <sub>3</sub> の流れ性は良好であるが、UF <sub>4</sub> 生成までは原料UO <sub>3</sub> の粒径を維持すると考えられる。                                |

\*1: 臨界管理上、第1コールドトラップの基数は直接ふっ化法の方が多い。

\*2: HF使用量は両法でF<sub>2</sub>電解を含めほぼ同量を使用するため差異はほとんどない。

## 4. B.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UF<sub>6</sub>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UF<sub>6</sub>シリンダ類に遮へい等を講じる必要がある。

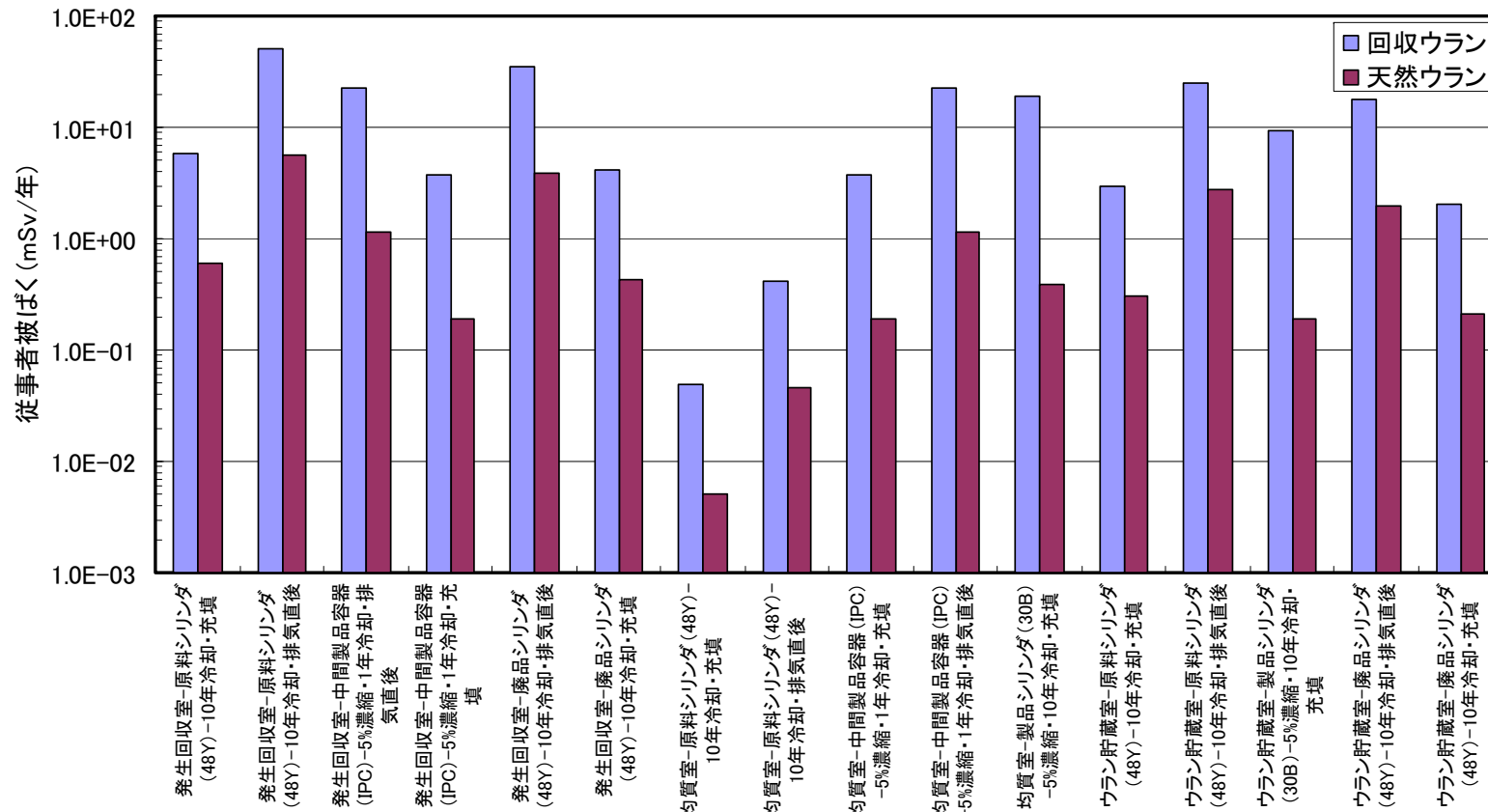


図 従事者被ばく線量推定結果

## 4. B.成果、目標の達成度

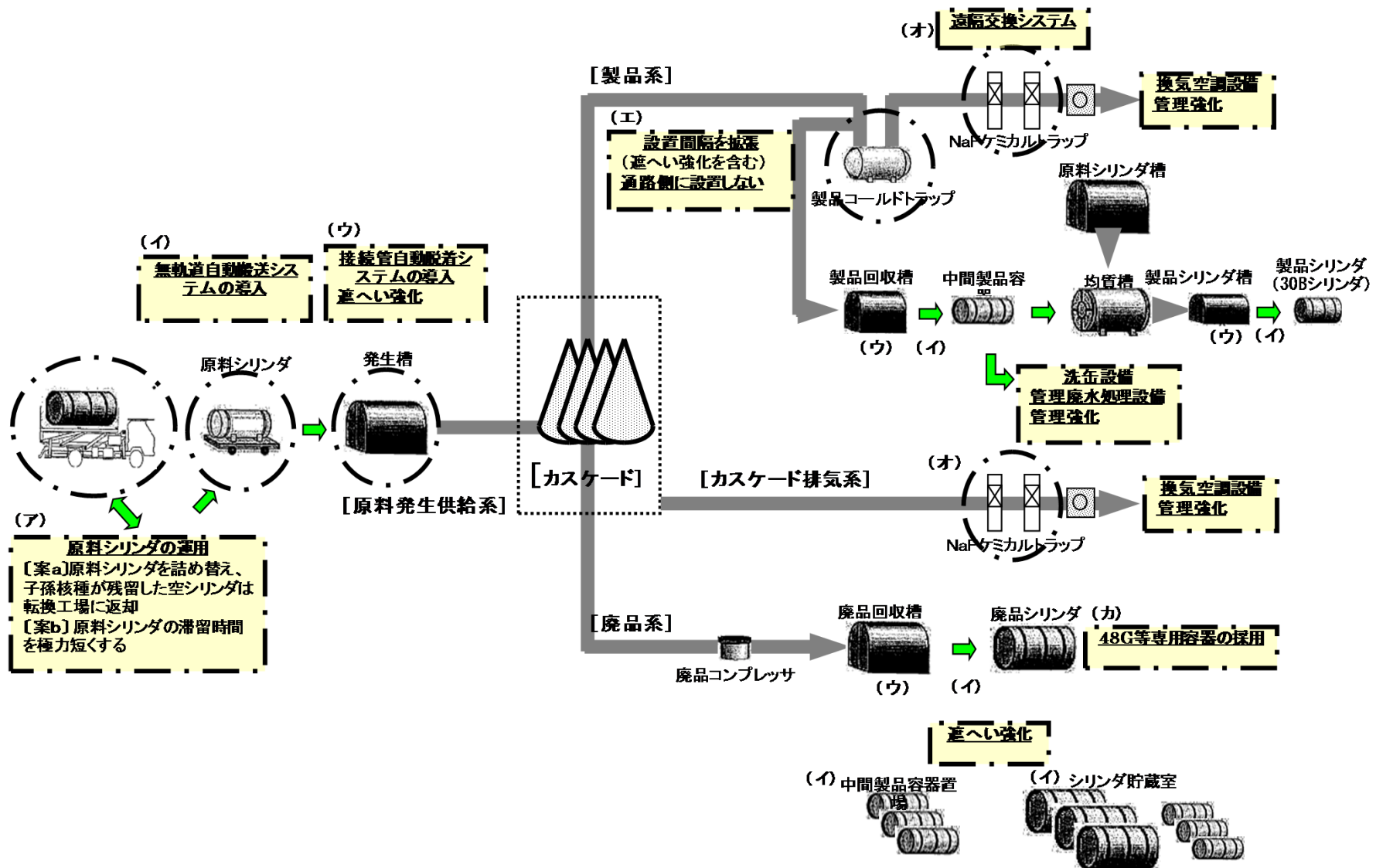
### (6) 回収ウラン濃縮プロセスの検討

➤ ウラン濃縮工場での従事者被ばく低減措置案は以下のとおり。

- U-232子孫核種の多くは不揮発性で、濃縮工場で回収ウランの原料UF<sub>6</sub>を発生させた後にはシリンドに残留する。このため、空となった原料シリンドに残留する子孫核種の影響を最小限にする措置が必要である。原料シリンドの詰め替え(空シリンドは転換工程への返却)及び転換工場から短期間で濃縮工場へ運び、短時間で濃縮することで子孫核種の生成を極力抑える運転計画が考えられる。
- UF<sub>6</sub>シリンド類搬送設備の遠隔自動化、UF<sub>6</sub>シリンドの配管接続時の自動脱着化、排気処理のNaFトラップの充填物の遠隔交換システム化などが必要である。
- 濃縮UF<sub>6</sub>を冷却捕集する製品コールドトラップ内には、次第に不揮発性のU-232子孫核種が蓄積していくため、装置回りに遮蔽措置を講じられるよう、設置間隔を離したりする等の配置設計が必要である。
- 廃品UF<sub>6</sub>シリンドは、保管中のU-232子孫核種の生成を極力抑制するため、原料UF<sub>6</sub>の空シリンド(子孫核種が残留)を転用せずに、廃品専用シリンドを使用する必要がある。
- 濃縮UF<sub>6</sub>を充填した履歴のある中間貯蔵容器を洗浄した洗浄廃液には、U-232子孫核種が多く含まれているためその取扱に注意する必要がある。

## 4. B.成果、目標の達成度

### (6) 回収ウラン濃縮プロセスの検討



## 4. B.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(50 $\mu$ Sv/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。

U-232の子孫核種の影響を排除するためには、以下の方策が考えられる。

- ウラン濃縮工場で充填された原料濃縮回収ウランシリンダは1年以内に再転換施設に搬入させるよう輸送
- 再転換施設に搬入後、1年以内に再転換、成型加工を終えて出荷
- 設備の遮へい対策、設備の自動化、成型加工期間短縮のための綿密な工程管理

## 4. B.成果、目標の達成度

### (7) 回収ウラン再転換プロセスの検討

#### 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

表 劣化ウラン酸化固形化プロセスの特徴

| 方法                  | プロセス概要                                                                                                                               | 粉末形状                                                          | 特徴                                                                                                                                          | 実績                                                                                                                                                               |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| フランス<br>AREVA<br>NC | <p>UF6ガス → 加水分解槽 → (UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>) → 脱フッ素 → U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> → 圧縮 → 専用容器充填</p> <p>スチーム、H<sub>2</sub>、希HF</p> | かさ密度<br>1g/cm <sup>3</sup><br>圧縮後<br>3g/cm <sup>3</sup><br>程度 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料用プロセスの応用</li> <li>・加水分解反応が高温</li> <li>・粉末が微粉で低密度</li> <li>・フランス法: 圧縮要</li> <li>・水素の利用※</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・1984年より処理</li> <li>・約320,000tUF<sub>6</sub>処理(2009年まで)</li> <li>・ロシアに技術提供(2009年末に竣工)</li> <li>・イギリスにも導入される見通し</li> </ul> |
| アメリカ<br>UDS         | <p>UF6ガス → 加水分解・脱フッ素流動層 → U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> → 空シリンダ充填</p> <p>スチーム、H<sub>2</sub>、希HF</p>                                     | かさ密度<br>2~3<br>g/cm <sup>3</sup>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・水素の利用※</li> </ul>                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・約22,000tU/y処理(2施設合計)</li> <li>・ポーツマス: 2009年9月運転開始</li> <li>・パデューカ: 試運転</li> </ul>                                        |
| 日本<br>MMC           | <p>UF6ガス → 加水分解流動層 → UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> → 脱フッ素流動層 Or (キルン) → U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> → 空シリンダ充填</p> <p>スチーム、希HF</p>       | かさ密度<br>4g/cm <sup>3</sup>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・貯蔵効率、取出性を考慮し、高密度、高流動性の粉末製造をターゲットに開発</li> <li>・加水分解反応が低温</li> <li>・副原料はスチームのみ</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・パイロットプラント開発のみ</li> </ul>                                                                                                 |

## 4. B.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 $\text{UO}_3$ を $\text{UF}_6$ 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 $\text{UF}_6$ 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。

#### プロセス設計条件

- 原料: 六ヶ所再処理工場で生成する三酸化ウラン( $\text{UO}_3$ )
- 製品: 六ふっ化ウラン( $\text{UF}_6$ )
- 処理能力: 4t/日
- 年間処理量: 800t/年
- 採用技術: 2段ふっ化法

#### 回収ウラン転換施設の構成

- ウランふっ化施設: 原料 $\text{UO}_3$ を $\text{UF}_6$ に転換する主工程設備と廃ガス処理設備、廃液処理設備及び試薬・ユーティリティ設備を設置
- $\text{F}_2$ ガス製造設備:  $\text{F}_2$ ふっ化に必要な $\text{F}_2$ ガスを製造する電解設備等を設置
- ふっ化ウラン貯蔵設備:  $\text{UF}_6$ が充填されたシリンダを貯蔵する設備
- ウランふっ化施設付属管理棟: プラント内各設備の制御設備等を設置



図 ウランふっ化施設及びF<sub>2</sub>ガス製造設備の概略フロー



## 4. B.成果、目標の達成度

32

### (8) 転換プロセスの事業化の概念検討

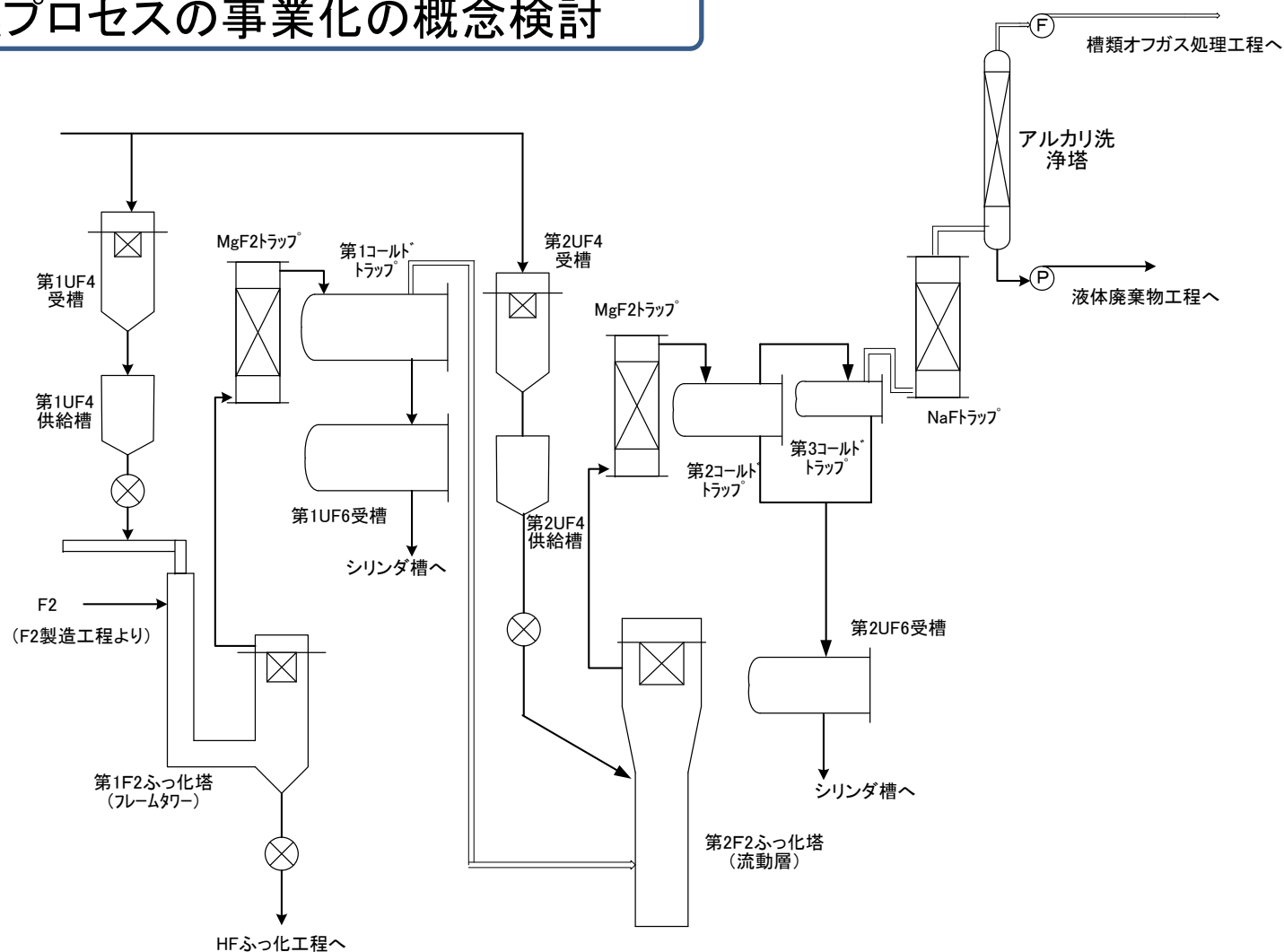


図 回収ウラン転換プロセスの工程概略図(一例:  $F_2$ ふっ化工程)

## 4. B.成果、目標の達成度

### (8) 転換プロセスの事業化の概念検討

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 <sub>2</sub> 製造施設の延べ床面積はそれぞれ、1,670m <sup>2</sup> , 1,220m <sup>2</sup> |
| 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<br>➤運転グループ 90名(5班3交代)<br>➤管理グループ 11名<br>➤安全管理グループ 15名<br>➤工務グループ 11名  |
| 廃棄物発生量  | 操業廃棄物を検討                                                                          |

## 4. B.成果、目標の達成度

### (8) 転換プロセスの事業化の概念検討

#### 経済性の検討

建設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

操業費は以下のように見積もられた。

- 操業費            約45億円(各原価要素を集計)

上記結果より、単位ウラン処理量当りの単価を計算(年間処理量は800t)すると、約10百万円/tU(約10,000円/kgU)となった。

これに対し、天然ウランUF<sub>6</sub>価格は約200 \$/kgUである。

なお、原子力発電原価5.9円/kwhのうち、燃料サイクルに関する内訳(UF<sub>6</sub>、濃縮、再転換・成型加工の割合)は、各々、3%、5%、5%と小さく、回収ウラン利用の原子力発電コストへの影響は限定的である。

## 4. B.成果、目標の達成度

### (8) 転換プロセスの事業化の概念検討

回収ウラン再濃縮利用の  
全体物質収支

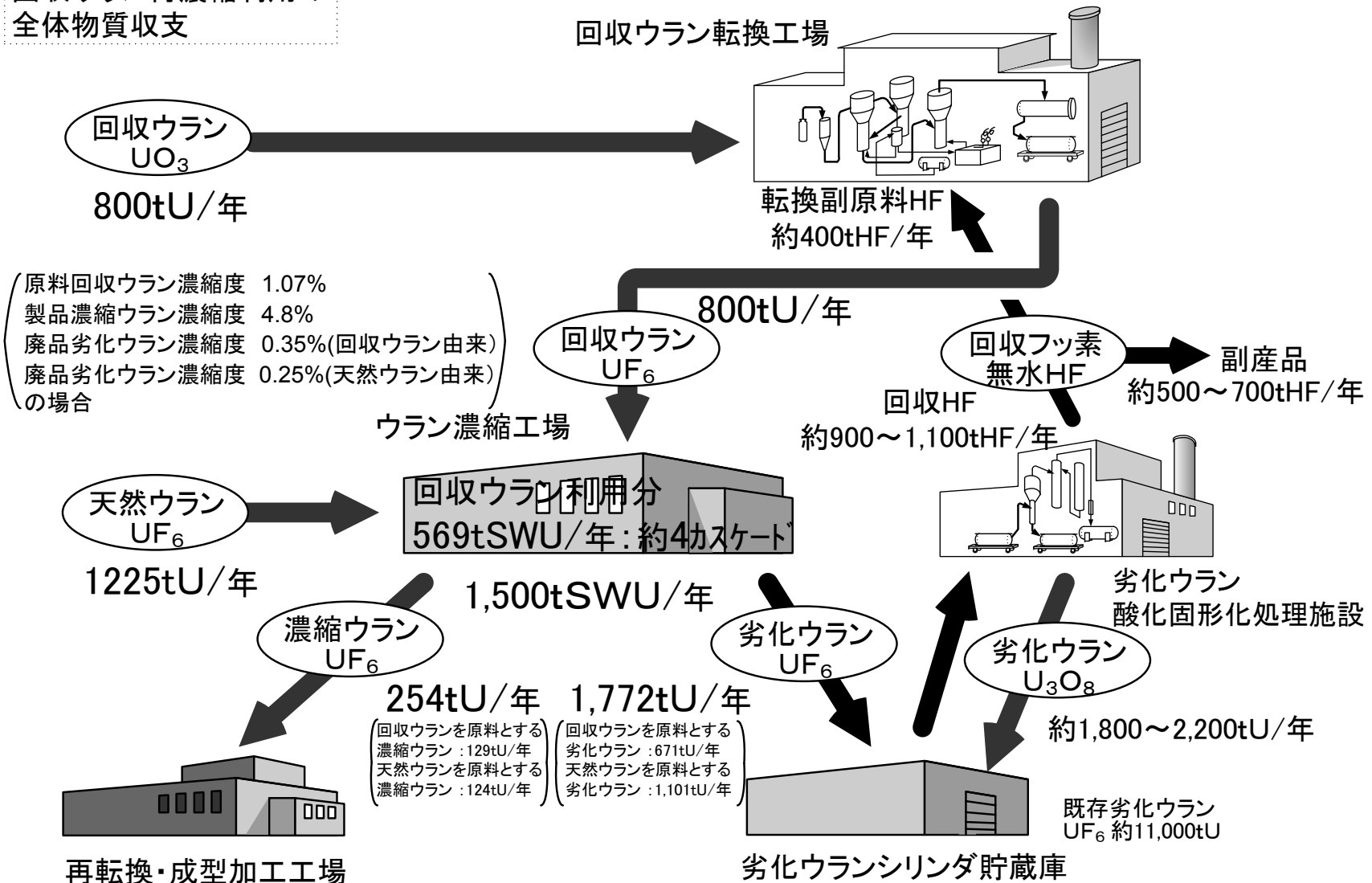


図 回収ウラン転換に関連するサイクル施設の処理規模の一例

## 5. B.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」として位置付けており、喫緊の課題として事業化への見通しはないが、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UF <sub>6</sub> 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 <sub>6</sub> 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。                     |

## 5. B.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。

## 6. B.研究開発マネジメント・体制等

### ●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         |     |     |

### ●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  |

## 6. B.研究開発マネジメント・体制等

- 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。

