



# 原子燃料サイクルの コスト計算について (補足説明)

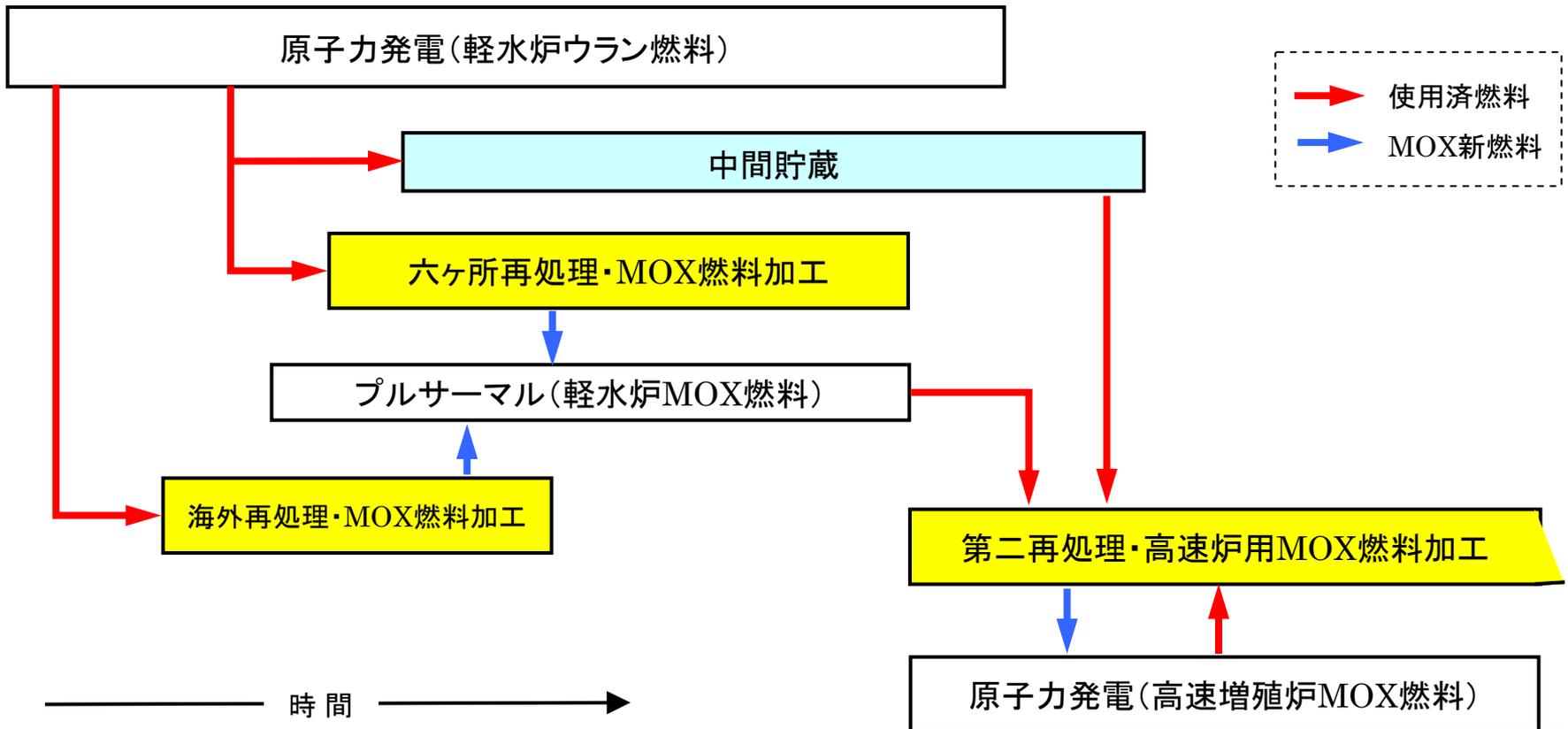
2011年11月8日  
日本原燃株式会社

# 我が国の原子燃料サイクル

## ■ 軽水炉原子燃料サイクルと、そのコスト計算モデル

- ◇ 使用済燃料は、原子炉から取出した後20年後程度で再処理される
- ◇ 一部の使用済燃料は40年程度中間貯蔵され、第二再処理へ行く

## ■ プルサーマルの使用済燃料は、六ヶ所では再処理されず、民間第二再処理に行き、高速炉用燃料に加工され、無限のリサイクルでウラン資源の節約に貢献

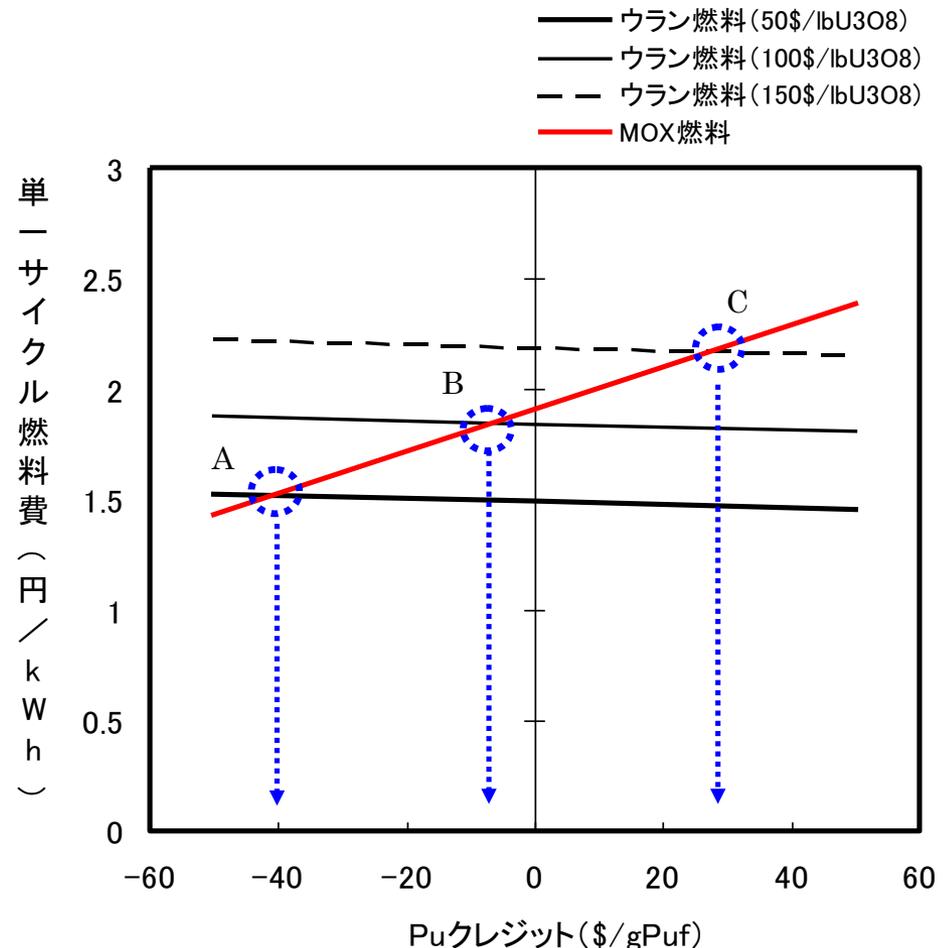


# Puクレジットの取り扱い

- Puクレジットが確定していれば、ウラン燃料として初装荷され炉外へ取出されるまでの1ライフについて、フロントエンド費用(U精鉱、転換、濃縮、加工)とバックエンド費用(再処理、廃棄物処分)の合計からPuクレジットを引き去り、発電量で除すことにより、ウラン燃料サイクルコストを計算
- また、MOX燃料加工費に、Pu購入費用としてPuクレジットを加えて、MOX燃料単独のサイクルコストを計算
- しかし、実際にはPuを取引する市場は存在せず、我が国では、電力会社は自社で保有する原子炉の使用済燃料の再処理から回収したPuは、自社の原子炉で平和利用することが基本原則(Pu利用計画を公表)
- また、ウラン資源価格の変動が激しく、MOX燃料加工コストの不確実性も否定できない中では、Puクレジットを確定することが難しく、**仮定の置き方によって、Puクレジットは正にも負にもなり得る**
- そこで、従来から燃料サイクルコスト計算では、PuクレジットをExplicitに扱う必要が無いよう、発生したPuを自ら使うサイクルを無限に繰り返す手法を採用
- リサイクルを無限に繰り返しても、費用と発生エネルギーの積算は、いずれも時間遅れに伴う割引と、軽水炉の使用済燃料再処理からMOX燃料を再生できる比率が1より小さいことの2点から、無限級数は必ず収束

# Puクレジットの計算例

- 下図は、ウラン燃料サイクルコストとMOX燃料サイクルコストを等しくするPuクレジット (Indifference value) を計算した例
- ウラン価格 50 \$/lbU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>と、現在のMOX燃料加工単価では、Puクレジットは負だが、過去に実績のあるウラン価格の高騰時には、Puクレジットは正
- ウラン燃料再処理単価の増加、MOX燃料加工単価の増加などの条件の変化でも、Puクレジットは正にも負にもなり得る
- ボストン・コンサルティング・グループ (BCG) 報告に載る160 \$/kgU (24 \$/gPuf に相当)、マサチューセッツ工科大学 (MIT) 報告の - 15,743 \$/kgPu ( - 24 \$/gPuf に相当) は、本計算結果の範囲にある

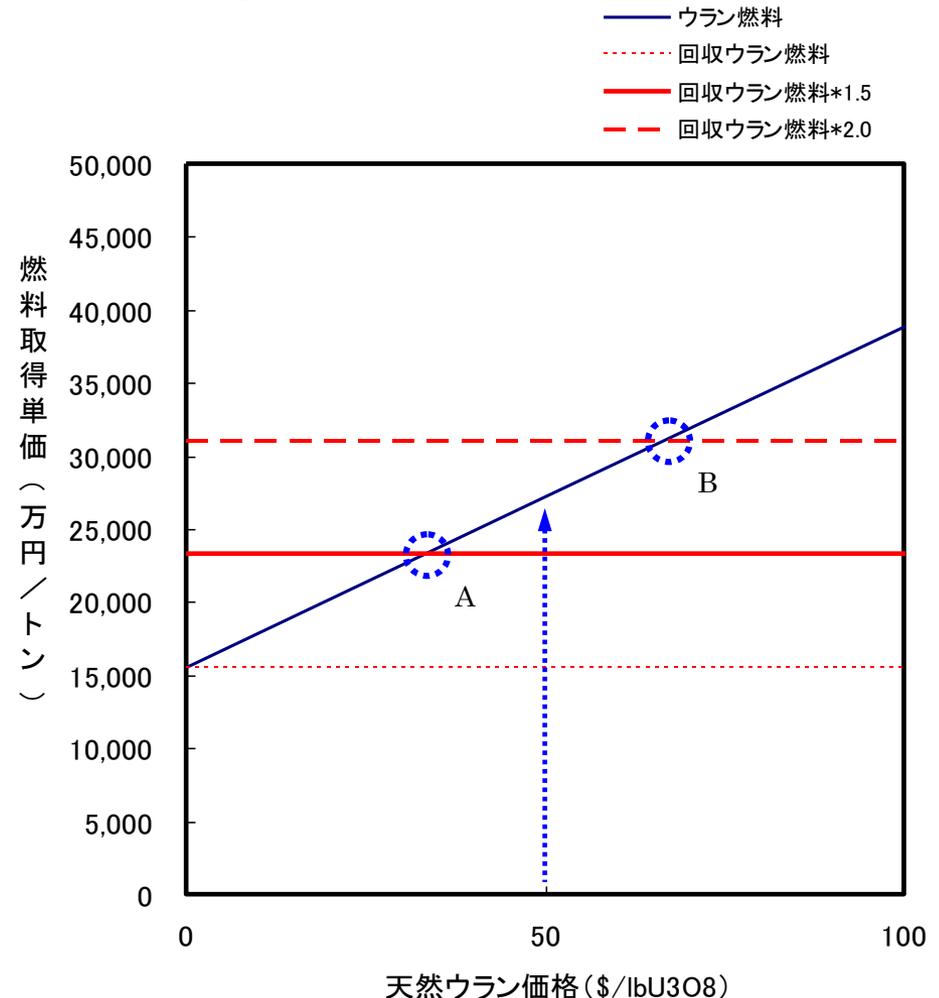


# 回収ウランクレジットの取り扱い

- 回収ウランを転換、再濃縮、加工すれば、ウラン精鉱の購入費用を節約してメリットの出る可能性あり(回収ウラン価値)
- 近年の高燃焼度化で回収ウランの残留濃縮度は下がり、天然ウランと比べ有意に高いとは言えなくなりつつある
- 燃焼中に生成する $^{236}\text{U}$ は中性子吸収して反応度損失を発生するため、分離作業量(SWU所要量)を増やす方向
- やはり使用済燃料に含まれる $^{232}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ の娘核種はガンマ線が強く、転換、濃縮、燃料加工などの工程で遮蔽が必要となり、これらの工程費用を増加
- しかし、六ヶ所再処理工場の後工程となる回収ウラン利用プロセスは、未だ設計が無く、費用を算定できる段階には無い
- **ウラン精鉱の価格が上昇して回収ウラン利用にメリット**が現れ、再処理工場の運転実績も出て回収ウランが有意に蓄積すれば、再濃縮・利用を行うので、必ず燃料サイクルコストは下がることになる
- 現在の燃料サイクルコスト計算では、回収ウラン貯蔵による費用増加のみを算入し、回収ウランクレジットの減算は考慮していない

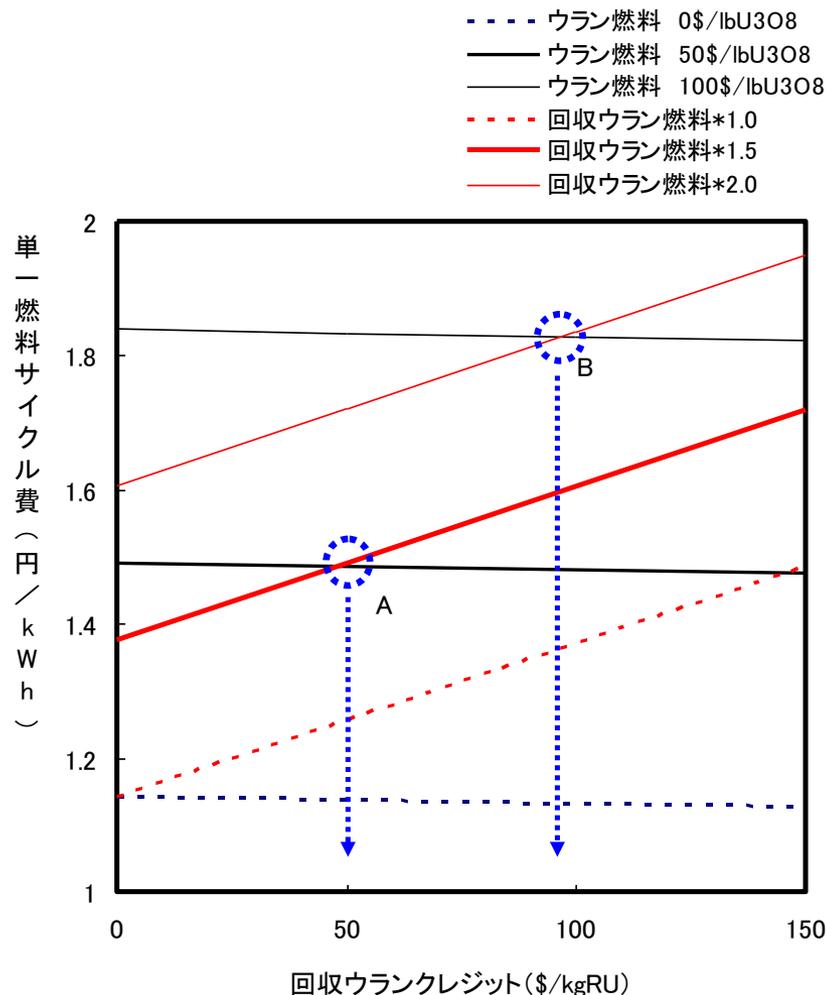
# 回収ウラン再濃縮の燃料取得費

- 下図は、天然ウラン濃縮による燃料取得原価と、回収ウランを再濃縮する場合の燃料取得原価とを比較（それぞれ炉心装荷時点換算）
- 回収ウランの転換、濃縮、加工単価が、天然ウランの場合の1.5倍としても、現在のウラン価格 50  $\$/\text{lbU}_3\text{O}_8$  で既にメリットが出ている
- 回収ウランのフロント処理単価を天然ウランの場合の2倍としても、精鉱代が 70  $\$/\text{lbU}_3\text{O}_8$  で等価
- 即ち、回収ウランの再濃縮利用は、メリットの出る可能性が高い



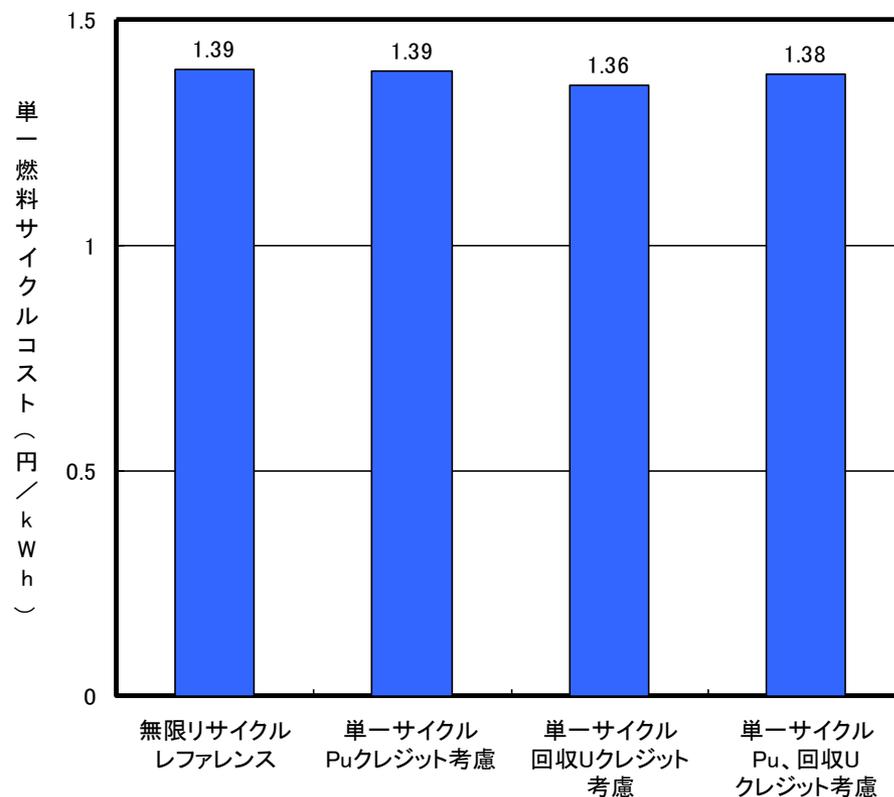
# 回収ウランクレジットの計算例

- 下図は、天然ウラン濃縮燃料と回収ウラン再濃縮燃料との間で燃料サイクルコストを等しくする回収ウランクレジット (Indifference value) を計算した例
- 回収ウラン燃料の転換、濃縮、加工単価を1.5倍と仮定した場合、天然ウラン価格 50 \$/lbU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>と等価になる回収ウランクレジットは 50 \$/kgRU
- 天然ウラン価格が 100 \$/lbU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>の場合、回収ウラン燃料のフロント処理単価が2倍でも、回収ウランクレジット 100 \$/kgRU弱を得られる
- BCG報告の30 \$/kgSF (32\$/kgRUに相当)、MIT報告の108.3 \$/kgRUは、この計算の範囲内にある



# Pu、回収Uクレジットの算入

- Puクレジット(-40 \$/gPuf)、および回収Uクレジット(50 \$/kgRU)を考慮して単一サイクルの燃料サイクルコストを試算し、その影響を評価
  - ◇ 無限リサイクル計算の場合、Puクレジットが相殺されるが、一方、MOX燃料に係わる処理単価がExplicitに考慮されるため、両者の計算結果は殆ど同じ
  - ◇ 従って、軽水炉の燃料費評価では、MOXの計算を省いてPuクレジット(=0)で扱うことも簡便で、結果は大差無し
  - ◇ 回収Uの利用は、現在の燃料サイクルコスト計算(無限リサイクル)で考慮されていないため、回収Uクレジット有無による差は明確に出現
  - ◇ なお、本計算では、使用済燃料の半分は中間貯蔵に行くことを考慮



# 事故リスクのコスト換算値

- 再処理では、シビアアクシデント(炉心の重大な損傷など)が定義されていない
  - ◇ 再処理工場には、原子力発電所のような核分裂連鎖反応を高出力で維持しメルトダウンの潜在リスクを持つ炉心が無く、短時間に大量の水素を発生させる水・ジルカロイ反応も考えられない
  - ◇ 再処理工場で貯蔵する使用済燃料の崩壊熱は減衰しており、また、原子力発電所のように冷却材をブローダウンさせるポテンシャルを持つ高温・高圧のシステムも無い
  - ◇ 科技庁の調査報告によれば、トムスクの事故は、濃硝酸と多量の有機物(反応性の高い芳香族炭化水素を含む)が高温接触したことが原因で、一方、六ヶ所工場では、不純物が少なく安定な脂肪族飽和炭化水素を使用し、また加熱プロセスの前で有機溶媒を分離・洗浄し、更に加圧しないよう温度高で加熱蒸気を止めるインタロックを設ける等により、同様の事象は発生しない
- しかしながら、設計基準事故を超える想定外のリスクを評価するため、敢えて事故の発生頻度や損害費用を原子炉と同等と仮定し、発電コストへの影響を計算
  - ◇ 発生確率は、原子炉と同じく、IAEAの安全目標(既設炉)を使用;  $1.0 \times 10^{-5}$ /年
  - ◇ 損害費用は原子炉事故リスクの感度解析を参考に設定; 10兆円
  - ◇ 発電原価に換算のため、800トン/年に相当する電力量を使用; 約2,880億kWh/年
$$10 \text{兆円} \times 1.0 \times 10^{-5} \div 2,880 \text{億kWh} = 0.0003 \text{円/kWh}$$
- 商業用大規模再処理工場では、原子炉数十基分の使用済燃料を扱うことから、事故リスクを発電原価に換算しても、**原子炉の場合と比べ一桁以上小さくなり**、原子力発電の将来リスクを考慮する上では有意な値とならない
  - ◇ 事業者間の相互扶助制度に参加するならば、原子炉1基分として扱うことが一案