

日本軍縮学会研究大会 2013年8月31日

# 日本における 核燃料サイクル政策継続の意義 (特に核不拡散の観点から)

---

2013年8月31日 日本軍縮学会  
東京大学大学院工学系研究科  
久野祐輔

(本資料は発表者の私見に基づくものであり、表記の所属組織を代表するものではありません)

# 内容

- 現状認識
- 革新的エネルギー・環境戦略について
- 核燃料サイクル継続-分離プルトニウムの増加に対する一般的な懸念について
- 核燃料サイクル-プルトニウム利用是非論に当たって
- 日米原子力協定への影響
- 使用済燃料の直接処分および再処理における核不拡散の意味合い
- 使用済燃料処分の保障措置
- プルトニウム蓄積懸念を増大させないための方策
- まとめ-政策継続において今重要と思われること

# 現状認識

- 前政権は、昨年9月「革新的エネルギー・環境戦略」にて、2030年代に原子力稼働ゼロを目指すものの、燃料リサイクル計画の一環として使用済燃料の再処理は支持するという、整合性の乏しい政策を表明→国際社会からの懸念が高まる。
- 政権交代に伴い、「原子力発電稼働ゼロ目標」がゼロベースで見直されることになるが、今後も原子力発電自体の依存の低下が予想されるものの、これまでの本来目的であった再処理-高速増殖炉という、エネルギーセキュリティ上のプルトニウム有効利用を基にした計画の減速は避けられない。軽水炉によるプルトニウムの利用もこれまで説明されてきたようなスケジュールでの推進は困難な可能性。
- 既に大量の使用済燃料が存在すること。
- 六ヶ所再処理工場の本格運転へ向け準備が進んでいること。
- 今後も海外から軽水炉用MOX燃料が返還されてくること。
- エネルギー戦略の見直し開始、しかしエネルギー安全保障上の環境に変わりなし(むしろ悪化)

# 革新的エネルギー・環境戦略

- **原発に依存しない社会の実現に向けた3つの原則**

40年運転制限を厳格に適用

規制委員会の安全確認を得たもののみ、再稼働

原発の新設・増設は行わない

(2030年代に原発稼働ゼロを可能とするよう、政策資源を投入)

- **原発に依存しない社会に向けた5つの政策**

核燃料サイクル政策：国際的責務を果たしつつ再処理事業に取り組む

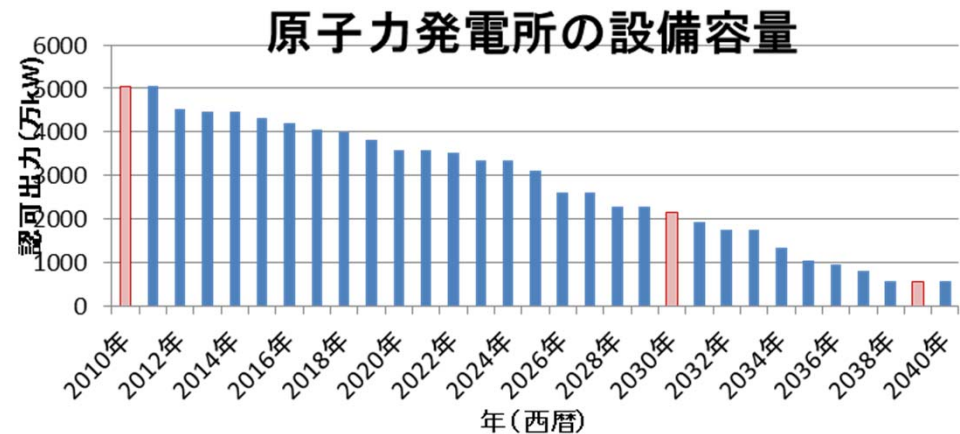
人材や技術の維持・強化

国際社会との連携

立地地域対策の強化

原子力事業体制と原子力

損害賠償制度



# 革新的エネルギー・環境戦略 核燃料サイクル政策

- 直接処分の研究に着手
- 「もんじゅ」は、廃棄物の減容及び有害度の低減等を目指した研究を実施、成果を確認の上、研究を終了
  - 使用済燃料から、Am、Np(代替核物質)等のマイナーアクチノイド核種、発熱性の核分裂生成物(FP)を分離し、燃料として再利用(消滅処理)。残った物質をガラス固化して処分。これらの高発熱の物質の分離により、処分場の利用可能年数の向上を目的。
- 廃棄物の減容及び有害度の低減等を目的とした処理技術、専焼炉(Pu、長半減期の物質の燃焼に特化した炉)等の研究開発を推進
- バックエンドは国も責任を持つ
  - 使用済燃料の直接処分のあり方。
  - 中間貯蔵の体制・手段の問題。
  - 最終処分場の確保に向けた取り組み等

# プルトニウム保有量の見通し

- 分離プルトニウムの保管状況 (平成23年末現在、原子力委員会資料)
  - 国内に保管中の分離Pu量 6.3トン(核分裂性Pu)
  - 英国に保管中の分離Pu量 11.6トン(核分裂性Pu)
  - 仏国に保管中の分離Pu量 11.7トン(核分裂性Pu)
- プルトニウムの利用の見通し
  - 六ヶ所再処理工場(最大800トン/年の処理能力)
    - 年間約4トン生産 ⇒ MOX加工工場(青森県六ヶ所村、H28年操業開始(地震前の計画))
    - 国内の発電所の使用済燃料所蔵量:約14000トン(2011年9月現在、原子力委員会資料)
  - 軽水炉プルサーマル
    - 16基から18基の原子炉で、プルサーマルを実施予定。
    - 年間5.5トンから6.5トンのPuを消費、大間原子力発電所1基で年間約1.1トンを消費
  - 高速増殖炉
    - もんじゅ(約0.5トン/年)、常陽(約0.1トン/年)
- 利用目的のないプルトニウムを持たないとの方針の下、原子炉の再稼働が課題？
- 日米協定への影響は？

} 合計  
約30トン

# 核燃料サイクル継続-分離プルトニウムの増加に対する一般的な懸念について

—再処理施設の保障措置は問題ないか ⇒ 保障措置上の問題はほとんどない  
(保障措置の概念・手法の進化)

—プルトニウムの盗難やプルトニウム利用テロは現実的な懸念 ⇒ 核セキュリティの必要性において非核兵器国・核兵器国に差はない ⇒ 強化へ

—核不拡散政策、国家安全保障の観点から日本国内でのプルトニウムの蓄積は問題 ⇒ 世界最高水準の核不拡散対策の実施(保障措置等)による透明性の確保、明確なPu利用計画の提示

—米核不拡散政策における、日本の核燃料サイクル是認とイラン・北朝鮮に対する政策の差別化(不整合)の説明 ⇒ 保障措置に代表される国際社会が要求する最高レベルの核不拡散対策を採る日本と、そうでない国との差は明確

—プルトニウム利用・消費の方策が不透明

⇒ 目的・方向性を明確に示す

—再処理は採算がとれない、ワンスルー  
と比べてもコストの差が非常に大きい

—日米原子力協定への影響

⇒ 次ページ以降の議論参照

# 核燃料サイクル-Pu利用の是非論に当たって

1. プルトニウム (Pu)有効利用(米国等とは異なる我が国特有の状況)
  - 日本のエネルギーは将来にわたって保証されているか？(長期的エネルギーセキュリティ)
  - ひと度 Pu利用を諦めれば、将来の「再度トライ」は極めて困難。
2. 廃棄物への貢献と核不拡散性
  - 大量のPuを含む使用済み燃料(SF)をどうするつもりなのか？
  - 直接処分の安全性、核不拡散性はどこまで議論されているのか？：  
長期的には、燃料サイクル原子力終焉時代に大量のPuが地中に残される；燃料サイクルオプションではPuは質・量ともかなり消費された状況に至る。
3. コストパフォーマンス
  - 軽水炉MOXはPu利用のつなぎ、本来目的は高速炉(研究段階)  
Pu利用の経済評価として、MOXのコストパフォーマンスを上げることは適切でない：再処理+MOX製造=コスト高
  - 仮に、使用済み燃料再処理について、廃棄物最適化の観点を第1に議論した場合、即ち、再処理コストを次世代のための環境負荷・核拡散性低減のための措置を第1に捉えれたとすれば、副産物のPuについて軽水炉MOX等によるPu利用(または消費)についても、経済的受容性が見出せるのでは？



# Long term radio-toxicity of standard PWR spent fuel vs cooling time

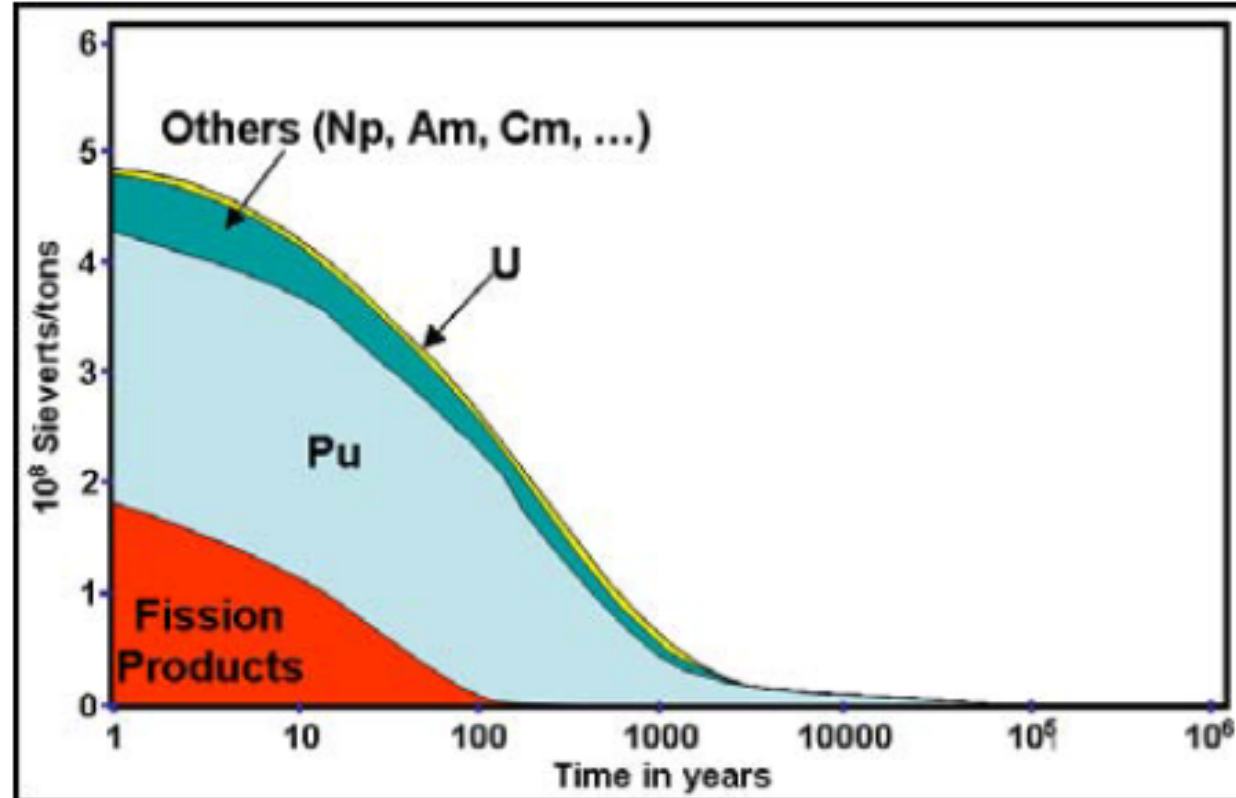


Figure 4. Potential radiotoxicity vs. cooling time.

Spent Fuel Reprocessing Options, IAEA-TECDOC-1587, August 2008

直接処分では、Pu等アクチニド元素による毒性および核拡散面での物質的リスクを含んだ形での埋設となる

# 燃料サイクル継続の日米原子力協定への影響

再処理＝プルトニウム蓄積問題が日米原子力協定(有効期限が2018年に終了)に影響するか？

- 米国は、日本が回収プルトニウムを軽水炉等で利用するという前提で、日本に対して再処理を認めてきた経緯 ⇒ 六ヶ所再処理工場の操業による日本の分離プルトニウムの増加 ⇒ 米国が危機感を募らせれば、米国が日米協定の対象である核物質を再処理することへの同意を一時停止するということも理論的には可。
- 実際は米国がそうした極端な措置をとる可能性は低い:「拡散のリスクや米国の国家安全保障への脅威の増大を防止するため(第3条)」に該当するのは、国家安全保障の観点で深刻な懸念が生じる場合、すなわち、日本のNPTの重要な違反、NPT脱退、NPT保障措置協定や日米協定実施取極の重要な違反など。(モニツ長官2013.06:日本の核燃料再処理施設計画について「日本が核燃料サイクルをどう運営するかに係る主権国家の選択だ」)

懸念は何か？

- 懸念1:米国では、一部の議員による扇動などにより、日本の再処理への同意を法的に撤回する措置を要求する可能性があること。
- 懸念2:事実上、使用済み燃料の再処理を認めていない米韓原子力協定の交渉(2年延長)で、米国のダブルスタンダード(米韓協定と日米協定の違い)についての韓国側の批判に米国が抗しきれなくなる結果、我が国に認めていた包括的事前同意の撤回を求める可能性有り。その理由に余剰プルトニウムの蓄積という材料が使われる可能性。

# 使用済燃料の直接処分および再処理における 核不拡散の意味合い(I)

共通認識：SFの当面の「貯蔵」は重要：特に乾式で安全性の確保できた貯蔵場の確保は、最優先課題：短期的には、SF特有の高い放射線という環境下では、核不拡散性や核セキュリティ上効果の高い方法。その先のビジョンの提示が重要（Wait and Seeは、日本では不明瞭な原子力政策）

1) 「直接処分 (once-through)」：廃棄物問題だけでなく余剰Pu問題の解決策として1つの有力オプションとして議論 ⇒ 技術開発を開始、但し：

- ◆ 仮に全量直接処分した場合、21世紀末までの地中に埋設されるPu量は、全世界では8,000～10,000トン、日本でも、約1,000トンにもなりかねず、その後も増加し続けることになる。
- ◆ SFは原子炉から取出し後100年を経過すれば放射線及び発熱は徐々に減衰し、300年後には、放射線レベルが十分下がり廃棄体への直接アクセスが可能になるため、核拡散および核セキュリティ上のリスクが増加する。すなわち、長期的観点からすれば、核拡散、核セキュリティ上の問題は時間経過とともに深刻化することになる（日本だけの問題ではない：いかなる国家であっても、将来核兵器保有の政策に転換する可能性は排除できない）。
- ◆ ひと度、SFを埋設開始すれば、将来問題ではなく「現在」の判断による長期的懸念となる（処分スタンバイのオプションは除く）。
- ◆ より「核拡散抵抗性」を高めることが必要

# 使用済燃料の直接処分および再処理における核不拡散等の意味合い(II)

2) 再処理：廃棄物の減容や毒性軽減、核不拡散的にも長期的観点では利点（再処理オプションでも、最終的に使用済み燃料は発生）

- ◆ 処理される燃料に含まれるPuが、何らかの形で分離回収されるため再処理の時点においては核拡散のリスクは増大する。しかしPuは燃焼され消費されていくため、核燃料サイクルを伴う原子力利用が終焉する時代には、最終的に廃棄物として残るPuは、少ない量となる。また核兵器としては使用困難な質の低いPu（核爆発の元となるPu-239等の割合が少ないPu）になる。
- ◆ 再処理は、主目的である使用済み燃料の中の有用資源等の回収とともに廃棄物からU,Puや長半減期核種を除去することによる廃棄物の減容や有害度低減という大きな意味をもつ（長半減期核種除去は今後の課題）
- ◆ 再処理により回収されるPuを、「消費(短中期)」+「回収Puの利用(長期)」を適用することにより、Once ThroughオプションにおけるPu拡散問題の解決が可能

再処理オプションは、当面、Puを消費(燃焼)していくことが大前提となる。

# 使用済燃料処分の保障措置

- どの程度の保障措置を適用する必要があるか (safeguards significance) についての議論が必要。
- IAEAでは現在、国レベルの保障措置概念 (State level concept) の開発を進めているが、使用済み燃料の処理・処分の保障措置を検討する場合には、その国が選択する処理・処分オプションを含めて、国全体のアプローチを開発し、その一部として、処分場の保障措置アプローチを含める予定。
- ある国が、当面、再処理、乾式貯蔵、直接処分等のオプションを採ると仮定した場合、それぞれのケースで、いかにして核不拡散を確保するかといった議論も必要になる。
- いずれにしても、Puが存在する以上、それが自然消失するまで長期(数十万年)にわたり何らかの形で監視やモニタリング等管理を続けなければならないことが推定される。(なお、再処理における高レベル廃棄物(ガラス固化体)は、保障措置の適用外となる)
- 原子力利用を、仮に100-200年とすれば、再処理のように拡散リスクの高いものであっても、人類が作り上げた現在の制度である「保障措置」によりカバーできることは十分想像できる。しかし制度的管理により、数十万年にわたり拡散リスクを回避することは困難。

# プルトニウム蓄積懸念を増大させないための方策

- 再処理後のPu: 国内の原子炉(発電炉、専焼炉)で燃焼
  - MOX燃料を装荷できる軽水炉でのプルトニウムの燃焼(軽水炉(大間含む))
  - 高速炉、高温ガス炉(TRISO型被服燃料によるディープバーン)、加速器駆動型炉、岩石型燃料の適用によるPu燃焼(核不拡散・核セキュリティ上の効果と廃棄物の減容の効果)
- プルトニウムの処分方法(高い核拡散抵抗性が要)
  - プルトニウムのガラス固化・セラミック化(FP混合を含む)
  - 深地層処分
  - 海外(核兵器国)での処分
- プルトニウムの売却(譲渡)・スワップ(英仏からのPu、回収Uの返還)
  - 既にMOX利用を行っている国へのウラン燃料へのスワッピングを関係国との議論で解決
  - プルトニウム売却(譲渡)政策
- MOXを国際監視下で貯蔵

## 高温ガス炉での TRISO 燃料によるDeep-Burn (90 ~ 120 GWD/MT)



初期Pu239が50%以上の  
プルトニウムの燃焼:最終的にPu239  
<10%まで燃焼可

C. Rodriguez, et al.: Nuclear Engineering and Design 222 (2003)

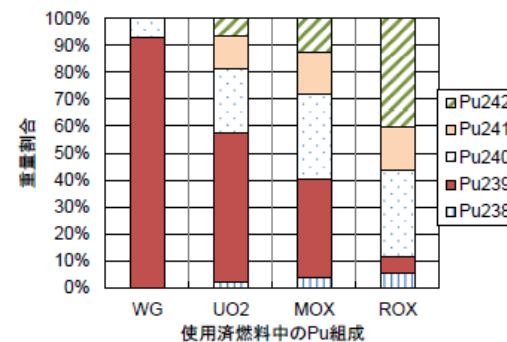
## 岩石型Pu燃料の軽水炉による燃焼

燃料:PuO<sub>2</sub>+UO<sub>2</sub> (1:2) +YSZ(イットリア安定化ジルコニア)に固溶したもの。

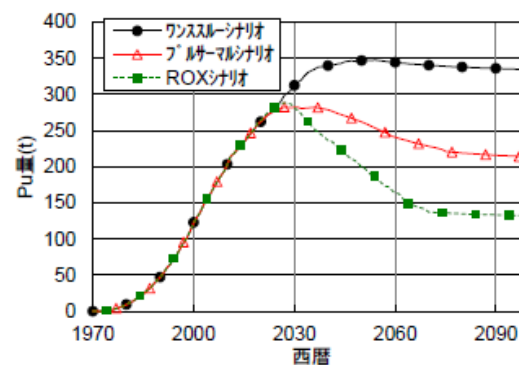
ウラン系燃料と組み合わせて軽水炉で燃焼



YSZペレット



Pu 組成の比較(WG=兵器級)



Pu 総量の比較

JAEA西原健司他  
日本原子力学会「2012年秋の大会」(2012年9月19~21日, 広島大学 東広島キャンパス)

# まとめ-核燃料サイクル政策議論において 今、重要と思われること

- 「利用目的のない余剰Puを持たない」との公約下での再処理の稼働について、実現時期の違いはあっても、これまでと同様のエネルギー安全保障、すなわち、将来の高速増殖炉等によるプルトニウム平和利用のリーダーシップの継続を改めて国際社会に表明することが重要：**長期的観点での FBR-Puリサイクル路線の堅持（放棄しない）**
- 同時に、当面Puについては、これまでの軽水炉MOX利用だけでなく、先に示したPu消費オプション等について、具体的な取り組みを開始することが必要：日本政府がこの問題に真摯に対処する姿勢を示すことが重要：**短中期的観点で、1-Closed-Cycle with LWR & 1-Open-Cycle with Pu(Ac)-Burner (LWR-MOX含) [1C1OFC]**
- プルトニウム利用についての更なる透明性の向上（保障措置技術向上、多国間協力）、セキュリティの向上が重要



ご静聴ありがとうございました