

1-3 ウランの有効利用と核燃料サイクル

1. はじめに

ウラン資源の有効利用については、核燃料サイクル政策が議論される際には必ず取り上げられるテーマであり、様々な説明資料が存在する。例えば文献1)-3)などを参照されたい。

2. 原子力の供給安定性

エネルギーの安定な供給の確保は、世界のエネルギー情勢や需給展望の面からも、日本のエネルギー安全保障の面からも重要である。これらの観点から、原子力発電は使用済燃料を直接処分（以下「ワンスルー」）することを想定したとしても以下の特長を有している。

(1) 備蓄性

ウランは、同じ電力を発電するために必要な物量が少なくすみ、備蓄性が高い。この特長は濃縮ウランの状態では更に向上する。また原子力発電では、一度原子炉に装荷した燃料は、使用済燃料として取出すまでの数年の間発電に寄与するほか、発電所炉内の燃料、発電所で保管されている新燃料、また燃料加工関連施設（濃縮、転換、加工等）に存在する原料、仕掛品、製品等が、潜在的な備蓄としての機能を有しており、燃料の不意の供給途絶に対する対応性が高い。

(2) 資源供給国の安定性

ウラン資源は、特定地域への偏在が少なく、またカナダ、オーストラリアなどの政情が比較的安定している国々も供給国となっている。そうした国々からの供給を確保することによって、不測の供給途絶の可能性を減ずることができる。

3. ウランの有限性を踏まえた有効利用の必要性

上記の特長を踏まえても、ウランも枯渇性資源の1つであることから、特に数10年以上利用する視点からは以下のような課題を抱えており、その緩和のため有効利用を進めていく必要がある。

(1) 可採年数の制限

ウランの可採年数（＝確認可採埋蔵量／年間消費量）は約100年程度と評価されている⁴⁾。これは2008年のウラン需要の継続を想定したものであり、世界の原子力発電設備容量が拡大すれば可採年数はより短縮する。

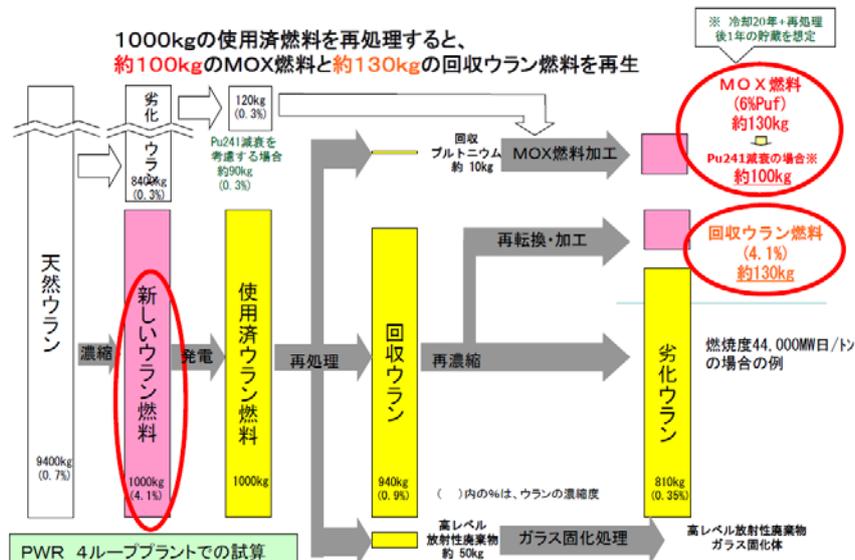
(2) 長期的な安定供給の限界

化石燃料等の資源の枯渇の進捗や中国・インド等における需要の増大に伴う世界的な需要の急増、解体核からの供給途絶等が、長期的な供給安定性を脅かすリスクになりうる。

4. 核燃料サイクルによるウランの利用効率向上

使用済燃料中から再利用可能なウラン、プルトニウム等を回収し、再び燃料に加工して利用する核燃料サイクルは、ウランの利用効率をワンスルーに比べて改善することで、供給安定性に係る原子力の優位性を向上させることができる。このことは、核燃料サイクルの大きな意義の1つに挙げられる。

軽水炉サイクルにおいては、回収したプルトニウムは軽水炉MOX燃料に加工されて利用される（プルサーマル）。回収したウランについては、再濃縮した上でウラン燃料に加工し使用することにより、利用効率をさらに高める



第1図 プルサーマルによるウラン節約の効果⁵⁾

ことができる（第1図）。

高速増殖炉サイクルにおいては、回収されたウラン、プルトニウムは全量を再度新燃料に加工して用いることができるため、利用効率を大幅に高めることができる。

5. 利用率の向上に係る試算例

概念的な利用効率が試算されている。例えば、ワンスルー方式によると利用効率が0.5であるのと比べて、軽水炉サイクルによると0.75（1.5倍）、さらに高速増殖炉サイクルによると利用効率は約60（100倍以上）に大幅に向上するとの評価がある⁶⁾。

第1表 サイクル方式ごとの天然ウランの利用効率⁶⁾

原子炉の種類	ウラン利用効率
軽水炉（ワンスルー方式）	0.5%
軽水炉（プルサーマル方式）	0.75%
高速増殖炉	60%程度

ワンスルーとプルサーマルにおける具体的な試算方法例は文献2)に挙げられている。また、高速増殖炉については、比較的簡単に計算できる。すなわち、1回の利用において燃料が核分裂する割合（＝発電に寄与する割合B%）は、燃焼度B万 MWd/tにほぼ等しい。そこで、使用済燃料を再処理・加工し再度原子炉に装荷する迄に失われる割合をL%とすると、利用率は次式を用いて計算できる。

$$1\text{度目の利用率} = B/100$$

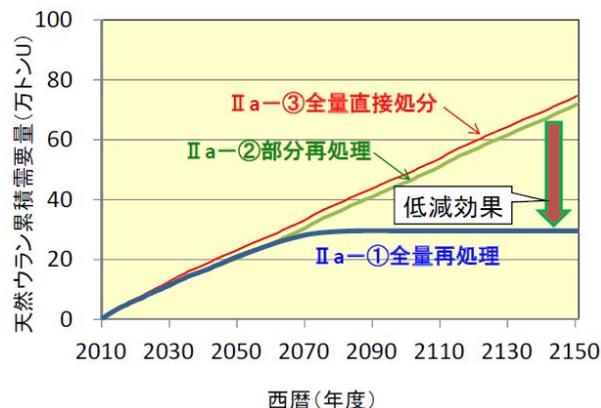
$$2\text{度目の利用率} = B/100 * (1-B/100) (1-L/100)$$

$$n\text{度目の利用率} = B/100 * (1-B/100)^{n-1} (1-L/100)^{n-1}$$

これは初項B/100、公比(1-B/100)(1-L/100)の等比数列であることから、何度も繰り返した際の利用率の合計は $(B/100) / (1 - (1-B/100)(1-L/100)) \approx B / (B+L)$ となる。ここでB = 5万MWd/t、L = 3%とすると利用率は約63%となる。

6. 導入シナリオを仮定した利用率向上の試算例

より現実的な想定の下での利用効率の評価は、上で示



第2図 天然ウラン累積需要量の比較

した概念的な試算結果に比べてより限定的になる。軽水炉サイクルにおいては、資源節約効果はワンスルーより30%程度増加する(ウラン利用効率0.6%→0.8%)との評価がある⁵⁾。

高速増殖炉については、日本において導入した際のウラン利用効率上昇効果の表れ方についても様々な試算例がある。その一例⁷⁾を以下に紹介する。ここでは、(1)将来の原子力発電設備容量は、2030年までに30GWeに減少しその後は一定で推移する(原子力比率II a)、(2)2050年からFBRを導入する等、必要なくつかの仮定において長期にわたるサイクル諸量の分析を行っている。この評価では、FBR実用化以降においてウラン消費量は減少し、2090頃以降はウランの輸入無しで原子力発電が可能になる、と評価している。これは主に、軽水炉利用期間中において劣化ウラン(及び回収ウラン)が蓄積されていくところ、FBR本格導入後はこれを燃料として使用していくことができ、かつ58GWe相当のFBRを想定しても毎年の消費量はわずかであるためである。

7. まとめ

原子力は供給安定性に優れるが、燃料であるウランは枯渇性資源の一種であることから、長期的に利用していくにあたってはその有効利用を図る必要がある。軽水炉サイクルにより、ワンスルーに比してウランの利用効率が改善される。高速増殖炉が実用化され、本格的に導入されれば、その利用効率は大幅に向上し、日本においてはその後の天然ウランの調達が必要になる。

参考文献

- 1) 原子力委員会原子力発電・核燃料サイクル技術検討小委員会(第8回)資料第2号「政策選択肢の重要課題：エネルギー安全保障について」、内閣府原子力政策担当室(2012)。
- 2) 「核燃料サイクルについて」、原子力委員会(2003)。
- 3) 「原子力のすべて」、「原子力のすべて」編集委員会編(2007)。
- 4) OECD/NEA, Nuclear Energy Outlook 2008
- 5) 原子力委員会原子力発電・核燃料サイクル技術検討小委員会(第9回)参考資料2「核燃料サイクルの技術的選択肢及び評価軸について(改訂版)」、内閣府原子力政策担当室(2012)。
- 6) 「プルトニウム」、鈴木篤之の編著、ERC出版(1994/03)。
- 7) 原子力委員会原子力発電・核燃料サイクル技術検討小委員会(第14回)資料第2-2号「原子力比率II'(15%)を対象とした長期のサイクル諸量評価」小野清(2012)。

日本原子力研究開発機構 鍛冶直也
(2012年12月10日)