

核燃料サイクルの技術選択肢： 第1ステップのまとめ

平成24年3月1日

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会

第1ステップ 議論の目的

—政策選択肢の議論をする前に—

- 第2ステップにて政策選択肢の議論をするうえで、必要と思われる「技術の特性」について、我が国のみならず世界における研究開発・実用化等の最新情報の共有と理解を深めること。
- 現在我が国が進めている核燃料サイクル・高速増殖炉路線に加え、検討するにふさわしい代替サイクル路線(技術選択肢)を整理すること。
- 不確実性が高い炉型やサイクル技術については、将来の検討に資するよう情報の整理を行うこと。
- 既存路線と代替路線について、それらの得失について整理し、その評価の視点(評価軸)を整理すること。
- 以上について合意できる点、そうでない点を整理すること。

小委員会で評価する技術選択肢について

- 日本の現行政策、諸外国（米国ブルーリボン委員会及びOECD/NEAを代表例として紹介）の状況及び後述の革新概念の技術成熟度に鑑み、本評価ではウラン-プルトニウム体系を中心に核燃料サイクルオプションを検討
- なお、本評価対象以外にも、後述の革新概念に挙げるような様々な概念が提案されている。本評価はそれらの技術開発や実現可能性を否定するものではない

評価対象とした技術選択肢

軽水炉	再処理	高速炉		選択肢
		アクチノイド燃焼	燃料増殖	
○				LWRワンスルー
○	○ (ウラン燃料のみ)			LWR-MOX限定リサイクル
○	○ (全量)			LWR-MOX多重リサイクル
○	○	○		LWR-FR(アクチノイド専焼)
○	○	○	○	FBR

まとめ(1)

- **技術成立性**: ワンススルー、MOXリサイクルは、地層処分を除き、事業者により実施された実績があるが、それ以外は研究開発段階であり、経済実証の運転等を経て、実用化に至るには20～30年以上かかる。
 - 今後20～30年を考えた場合、軽水炉(次世代を含む)発電によるワンススルーとMOXリサイクル(限定、多重にかかわらず)が成立しうる選択肢である。MOXリサイクル(限定)は英米でプルトニウム燃焼用として計画されている。
 - また、今後30年以降を考えた場合、革新炉の中ではFBR(ナトリウム冷却)と高温ガス炉が最も実現可能性が高い。ただし、FBRは過去50年の研究開発を経てきて、一部では実証炉まで完成したものの、社会経済情勢の変化などもあり、実用化されていない。他の革新炉は概念設計段階。
 - 次世代再処理技術では、先進湿式、乾式再処理が工学試験規模で開発されている。海水ウラン、トリウム燃料は要素技術開発段階。

まとめ(2)

- **資源利用効率**: ワンススルーはウラン資源利用効率が最も低い。資源制約解放をもたらすのはFBRのみ。
 - MOXリサイクルはワンススルーより効率的。ただし、その効果はFBRに比べ限定的。FRもLWRより資源利用効率は高い。
 - ウラン資源確認埋蔵量はワンススルーでも今後50年程度の需要を満たせると考えられる。さらに、究極資源量まで考慮すればワンススルーでも100年程度の需要を満たせると考えられる。ウラン需給ひっ迫に対してはワンススルーが最も脆弱だが、FBRが実用化されるまではどの技術選択肢でもウラン需給ひっ迫への対応が必要。
 - FBRが実用化されれば、ウラン資源利用効率は数十倍となり、事実上資源制約から解放される。資源制約を緩和できる技術(ウラン資源利用効率が数倍程度向上する)として、トリウムサイクルや、ワンススルーでも海水ウラン、燃料交換を必要としない長寿命燃料を用いた高速炉(燃焼度向上)がありうる。

まとめ(3)

- **経済性**: ワンススルーが最も経済的。MOXリサイクルは今後ウラン価格、再処理費・MOX加工費の動向により経済性は向上しうる。FBR・FRの経済性は研究開発の成否に依存する。
 - ワンススルーはウラン価格の影響を受けやすく、MOXリサイクルは再処理費・MOX加工費の影響を受けやすい。
 - 現在の見通しでは、ワンススルーの経済性優位が今後20～30年程度続く可能性が高い*。
 - *ウラン価格高騰の可能性はあるので、それへの対応は必要との指摘が一部の委員からあった。

まとめ(4)

- **安全性**: 福島事故を踏まえての安全性向上が必要。通常時の被ばくリスクは、ワンスルー、リサイクルともほぼ同程度と推定されている。
 - MOXリサイクル、FR/FBRは施設数が増加するので、リスクを限定するためにはそれぞれの安全確保対策の向上が必要。
 - ワンスルーでは、フロントエンドの被ばく量が高くなるが、リサイクルではバックエンドの被ばく量が高くなる。ただ、その差は誤差範囲に近く、総合的な安全性に決定的な差異をもたらすほどのものではない。
 - 5つの技術選択肢に含まれない革新炉では安全性を飛躍的に高める概念も提案されているが、今後の研究開発が必要。

まとめ(5)

- **廃棄物処理・処分**：総合的には、どの選択肢においてもその技術的困難度やリスクに大きな差はない。地層処分はどの選択肢においても必要であり、また安全に処分可能である。
 - ワンスルーは、低レベル廃棄物の量が最も少ないが、高レベル廃棄物(使用済燃料)の量が最も多い。また、高レベル廃棄物の潜在的有害度が最も高い。
 - FBR・FR(アクチノイド専焼)は、高レベル廃棄物の潜在的有害度が最も低い。また、処分場面積を最も低くすることができる可能性がある。アクチノイド専焼技術としてはADSも研究段階にある。
 - 地層処分の被ばくリスクは、どの選択肢においても自然放射線によるリスクに比べ十分に低く抑えることが可能。

まとめ(6)

- **核不拡散**: ワンススルーが最もリスクが低く、MOXリサイクル、FR/FBRの順でリスクが高くなるため、より高度な保障措置が必要となる。
 - ワンススルーでは使用済燃料中にプルトニウムが含まれるため、地層処分後も長期的な保障措置の必要性が指摘されている。
 - リサイクルオプションでは、分離プルトニウムが生成され、在庫量管理が重要。純度の低いプルトニウムでも軍事転用は可能だが、FBRでは特に純度の高いプルトニウムが生成されることが課題。核拡散抵抗性を高めたりサイクル技術が開発されているが、その効果については意見が分かれている。

まとめ(7)

- 核セキュリティ: ワンススルーが最もリスクが低い。リサイクル、FBR・FRと分離プルトニウムを取り扱うため、より高度な核セキュリティ対策が必要。
 - ワンススルーでは、使用済燃料に100年近くアクセスが困難であるので、相対的にリスクは低い。
 - MOXリサイクル、FR・FBRでは分離プルトニウムの利用・在庫量、プルトニウム燃料輸送量などの増加により、テロリズムのリスクが高くなるので、より強固なセキュリティ対策が必要。

まとめ(8)

- 今後20～30年を見通した場合、MOXリサイクルとワンススルーのみが実用化する技術選択肢である。両者の相違点は、資源効率、経済性・核拡散・セキュリティリスクである。
 - 資源効率でリサイクル、経済性・核拡散・セキュリティリスクでワンススルーが優位。安全面、廃棄物面では決定的差異はない。
- 長期的(30年後以降)な選択肢としては、資源効率や廃棄物面でFBRが最も優れた特徴を有する。一方で、核拡散リスク・セキュリティ面で課題がある。
 - 他の革新的技術については不確実性が極めて高いが、ウラン資源制約の緩和案を含め、代替案となりうる可能性がある。