

核燃料サイクル政策の選択肢に関する検討結果について
【参考資料】

- 参考資料1 核燃料サイクルの技術選択肢：第1ステップのまとめ
原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会（第9回）参考資料1
核燃料サイクルの技術選択肢 及び評価軸について（改訂版）
原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会（第9回）参考資料2
- 参考資料2 第2ステップに向けて指摘された重要課題（改訂版）
原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会（第11回）参考資料1
- 参考資料3 各原子力比率におけるステップ3の評価
新大綱策定会議（第19回）資料第1-4号
- 参考資料4 核燃料サイクル政策の「留保」の評価
新大綱策定会議（第19回）資料第1-3号
- 参考資料5 原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会メンバーからの提出資料
原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会（第14回）資料第6号
（各委員のご意見を整理し、委員の確認を得たもの）

Blank Page

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。

核燃料サイクルの技術選択肢 及び評価軸について（改訂版）

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会

平成24年3月1日

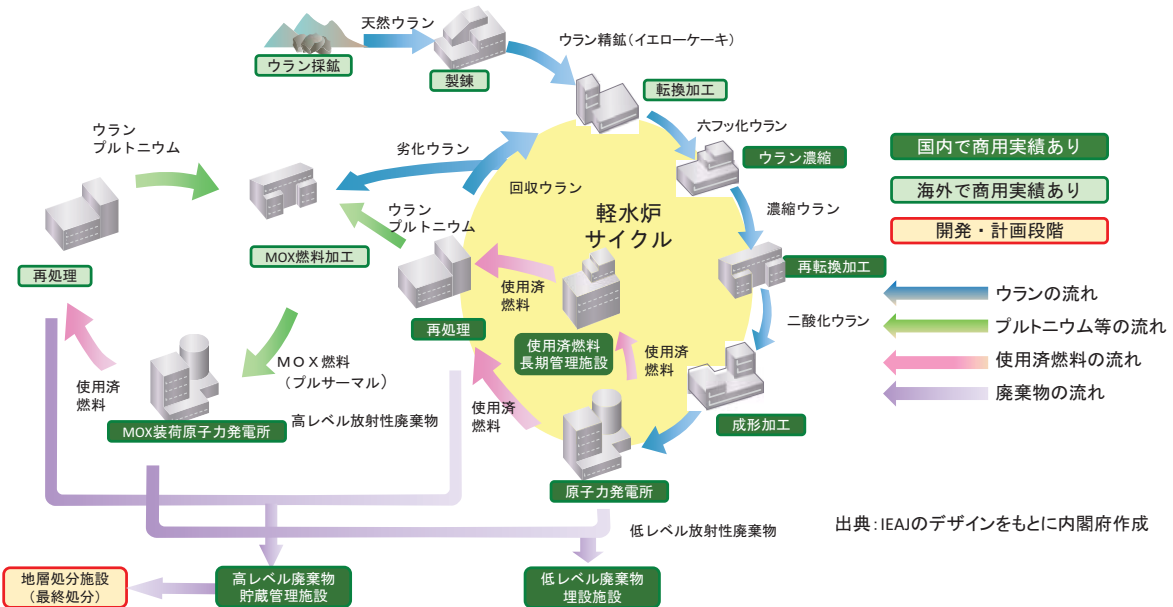
内閣府 原子力政策担当室

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、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。

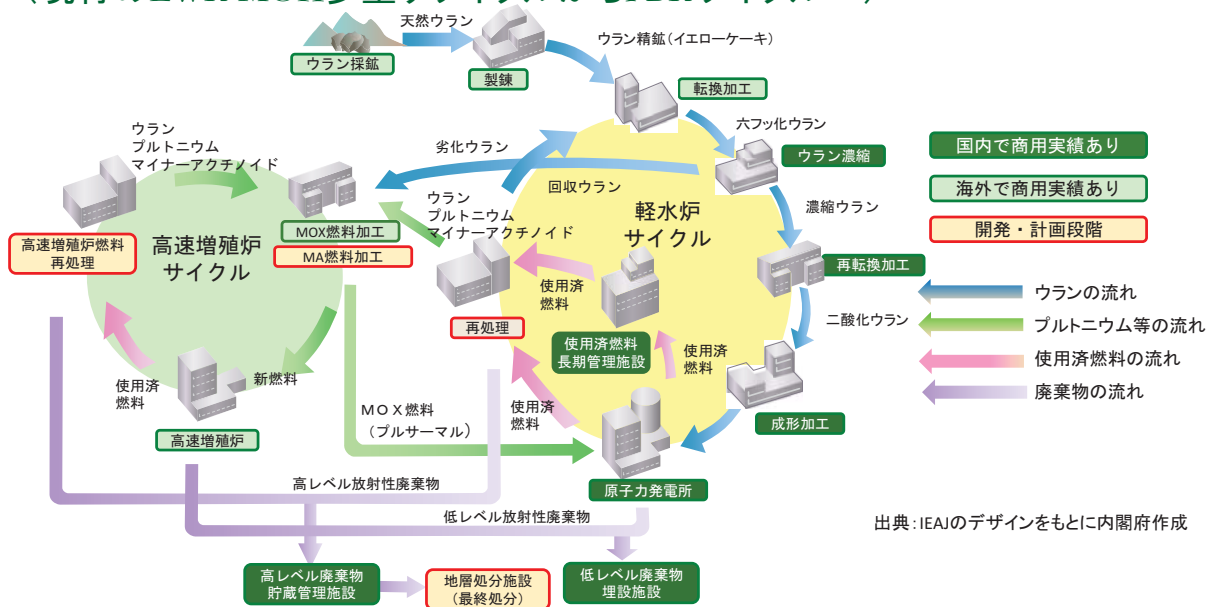
現状の燃料サイクル (LWR-MOX多重リサイクル)



- ・ 軽水炉で発電し、PUREX法により再処理
- ・ 使用済燃料を再処理してU,Puを回収し、PuはMOX燃料として軽水炉で利用。
- ・ 高レベル放射性廃液はガラス固化

現大綱で目指す燃料サイクル (FBR)

(現行のLWR-MOX多重リサイクルからFBRサイクルへ)



- ・ 軽水炉を順次高速増殖炉で代替

現在提案されている主な革新的炉概念の例

- Generation IV International Forum (GIF) -

| システム | 中性子スペクトル | 想定サイクル | 炉出力 (MWe) | 応用分野 | R&Dニーズ |
|---------------|----------|-------------|--------------------------------|------------------|-------------|
| 超高温ガス炉 (VHTR) | 熱 | オープン | 250~300 | 発電・水素製造・熱利用 | 燃料・材料・水素製造 |
| 超臨界水炉 (SCWR) | 熱・高速 | オープン (クローズ) | 300~700 1000~1500 | 発電 | 材料・熱流動 |
| ガス冷却炉 (GFR) | 高速 | クローズ | 1200 | 発電・水素製造・アクチノイド燃焼 | 燃料・材料・熱流動 |
| 鉛冷却炉 (LFR) | 高速 | クローズ | 20~180 300~1200 600~1000 | 発電・水素製造 | 燃料・材料 |
| Na冷却炉 (SFR) | 高速 | クローズ | 50~150 300~1500 600-1500 | 発電・アクチノイド燃焼 | 先進リサイクル・燃料 |
| 熔融塩炉 (MSR) | 熱・高速 | クローズ | 1000 | 発電・水素製造・アクチノイド燃焼 | 燃料取扱・材料・信頼性 |

出典: A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, 2010 GIF Annual Report より事務局にて作成

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

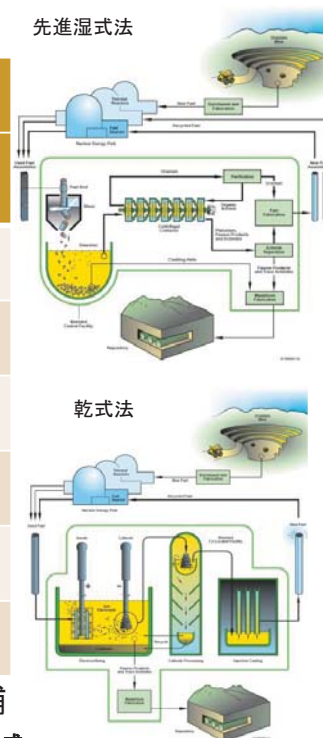
5

GIFで想定した燃料サイクル概念の例

- GIF 燃料サイクル概念 -

| システム | 燃料 | | | | リサイクル | |
|---------------|-----|----|-----|-----|-------|----|
| | 酸化物 | 金属 | 窒化物 | 炭化物 | 先進湿式 | 乾式 |
| 超高温ガス炉 (VHTR) | P | | | | | |
| 超臨界水炉 (SCWR) | P | | | | P | |
| ガス冷却炉 (GFR) | | | S | P | P | P |
| 鉛冷却炉 (LFR) | | S | P | | P | P |
| Na冷却炉 (SFR) | P | P | | | P | P |
| 熔融塩炉 (MSR) | — | — | — | — | — | — |

P:第一候補 S:第二候補



出典: A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems (2002) より事務局にて作成

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

6

米Blue Ribbon委員会で検討された燃料サイクル概念

| サイクル | 定義 |
|---------------|---|
| ワンスルーLWR | 革新的な改良を施した軽水炉(LWR)によりウラン酸化物燃料を燃焼 |
| ワンスルーHTR | 例えば黒鉛母材燃料を使用する冷却材温度600°C超の高温ガス炉(HTR)によるワンスルーサイクル。米エネルギー省の次世代原子力プラントプロジェクトとして検討中 |
| 修正オープンLWRサイクル | 革新的な改良を施したLWRによりウラン酸化物・混合酸化物燃料を燃焼。MOX燃料は一度だけ照射して直接処分 |
| クローズFBRサイクル | アクチノイドを連続的にリサイクル可能な液体金属冷却高速増殖炉 |

※MIT報告では、上記4項目のうちワンスルーHTRを除く3項目を検討

出典: Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future Draft Report to the Secretary of Energyより事務局にて作成

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

7

米ブルーリボン委員会の結論(1/3)

核燃料サイクルのバックエンドの管理に関して、新たに包括的な戦略が必要であり、特に放射性廃棄物の貯蔵施設及び処分施設の立地のための新たなアプローチが必要としている。勧告された戦略には、以下の8つの重要な要素が含まれているとしている。

1. 適応性があり、段階的で、同意に基づき、透明性があり、基準及び科学に基づいて、放射性廃棄物管理及び処分施設を立地し、開発するためのアプローチ
2. 米国での放射性廃棄物の輸送、貯蔵及び処分のため、集中的で、統合されたプログラムを開発し、実施するための新しい、単一目的の組織
3. 放射性廃棄物管理プログラムによる、放射性廃棄物基金の残高と毎年の放射性廃棄物拠出金の利用の保証
4. 使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の安全な処分のための1つまたは複数の恒久的な地層処分施設の開発のための、可能な限り迅速な取組
5. 核燃料サイクルのバックエンドの管理のための統合された包括的な計画の一部として、1つまたは複数の集中中間貯蔵施設の開発のための、可能な限り迅速な取組
6. 現在の利用可能な技術に比較してかなりの利点を提供し、関連した人的ニーズ及びスキル開発の可能性がある、先進的な原子炉及び核燃料サイクル技術に関する研究開発・実証のための安定した長期的なサポート
7. 地球規模の核不拡散に対応し、全世界の原子力施設及び核物質の安全性及びセキュリティを向上させるための国際的なリーダーシップ
8. 集中貯蔵施設や処分場が利用可能となった際に開始される使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の大規模な輸送のための迅速な取組

出典: 原環センターHP

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

8

米ブルーリボン委員会の結論(2/3)

また、ブルーリボン委員会の報告書では、これらの勧告の実現のため、1982年放射性廃棄物政策法及び他の関連法令の改正などの立法措置が必要であるとしている。

- 新たな処分施設のサイト選定プロセスを確立する
- 複数の集中中間貯蔵施設のサイト選定、許認可及び建設を認める
- 新たな廃棄物管理組織を設立する
- 専用の資金の利用を可能とする
- 安全な放射性廃棄物管理をサポートするための国際的な取組の推進

一方、放射性廃棄物管理プログラムを再び軌道に乗せるため、放射性廃棄物管理施設のサイト選定に関して、以下に示す事項については、立法措置を待たずに迅速な行動が可能であるとしている。

- 基本的な初期サイト選定基準を開発すること
- サイト選定の初期において、一般的な基準を開発し、規制要件のサポートとすること
- 潜在的な適性を有するサイトを持つような様々な地域からの関心表明を奨励すること
- サイト選定プログラムの初期のマイルストーンを設定すること

出典: 原環センターHP

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

9

米ブルーリボン委員会の結論(3/3)

11章 革新的原子炉及び燃料サイクル技術 について

- 再処理やリサイクル技術の進展を勘案しても、今後数十年で、放射性廃棄物管理の課題を本質的に変えうる潜在力を有した、実現可能または合理的見通しを立てうる原子炉及び燃料サイクル技術は、見当たらなかった
- 様々な燃料サイクルとテクノロジー・オプションのメリットならびに商業的な実現可能性についての大きな不確実性を鑑み、米国にとって、特定の燃料サイクルに現時点で政策として不可逆的に関与することは時期尚早であると結論した
- むしろ、不確かな将来に直面した際、より効果的に環境変化に適応しうるよう、放射性廃棄物管理プログラムと幅広い原子力エネルギー・システムのオプションを保持して開発を続けることが重要である

出典: BRC Report to the Secretary of Energy - January 2012より事務局にて和訳

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

10

OECD/NEAで検討された燃料サイクル

- ワンスルーサイクル(Once-through cycle)
 - 燃料を一度だけ利用して処分
- 部分リサイクルオプション(Partially recycling option)
 - 使用済燃料を再処理し、未使用のウランとプルトニウムを回収してリサイクル
 - 回収されたウラン・プルトニウムは軽水炉で1回のみ使用
 - 使用済燃料や廃棄物の物量を減らすとともに天然ウランの所要量が低減
- 高速炉利用(Fast reactor)
 - 効率的な燃料の利用のため、核燃料物質及び非核分裂物質を多重リサイクル
 - 燃焼した分以上の核分裂性物質を生産することも可能(燃料増殖)
- 完全クローズサイクル(Fully close fuel cycle)
 - 高速増殖炉を基軸とする、究極的なサイクル概念
 - 全てのアクチノイドが核分裂するまで継続的にリサイクル
 - 再処理時のロスのみが廃棄物に回るため、アクチノイドフリー廃棄物に近くなる

出典: Trends towards Sustainability in the Nuclear Fuel Cycle (OECD/NEA, 2011)より事務局にて和訳

OECD/NEAの結論及び勧告

- 核燃料サイクル政策の選択に当たっては、エネルギー需要の伸びや供給保証の強化等の様々な要因を幅広く考慮しなければならない。
- 過去および近未来までにおいては、資源の持続性(ウラン燃料の有効利用)の強化は必ずしも核燃料サイクルに関する政策または技術の変化の主要因とはなっていない。
- 原子力は、国の政策に影響する地政学的課題(燃料の供給安定性、CO₂排出、経済競争力等)の解決に対して魅力的な特長を有している。
- 原子力の利用継続のためには以下が必要。
 - 核燃料サイクルの持続可能性を簡便に評価するための指標の整備
 - フロントエンド開発に対する政府の手続きの効率化、長期的な原子力利用による資源安定確保のための長期計画、ウラン資源開発への技術投資
 - 廃棄物の長期的な管理を含む核燃料サイクル全体の経済性についての評価手法の開発
 - 原子力導入を希望する国に対し、リスクを産業が管理できるようにするための政府の長期的な支援策
 - 将来の原子力発電の持続可能性確保のための、地層処分場の実現
 - 使用済燃料の中間貯蔵の研究
 - 高速炉システムの導入を目指す国においては、政府による適切な規制枠組と関連資源の確保
 - 長寿命核種を減容するための最も効果的な方法としての先進炉と分離技術に係る国際協力
 - 先進的核燃料サイクル研究の推進とサイクル全体を網羅した評価の実施

出典: Trends towards Sustainability in the Nuclear Fuel Cycle (OECD/NEA, 2011)より事務局にて和訳

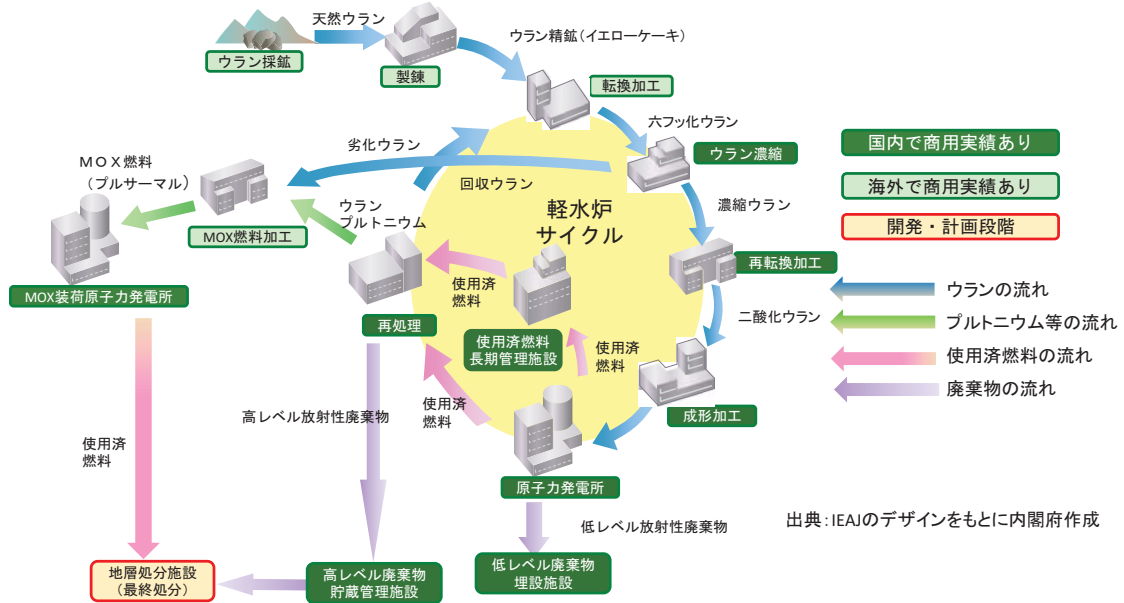
小委員会で評価する技術選択肢について

- 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

評価対象とする技術選択肢

| 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 |

LWR-MOX限定リサイクル



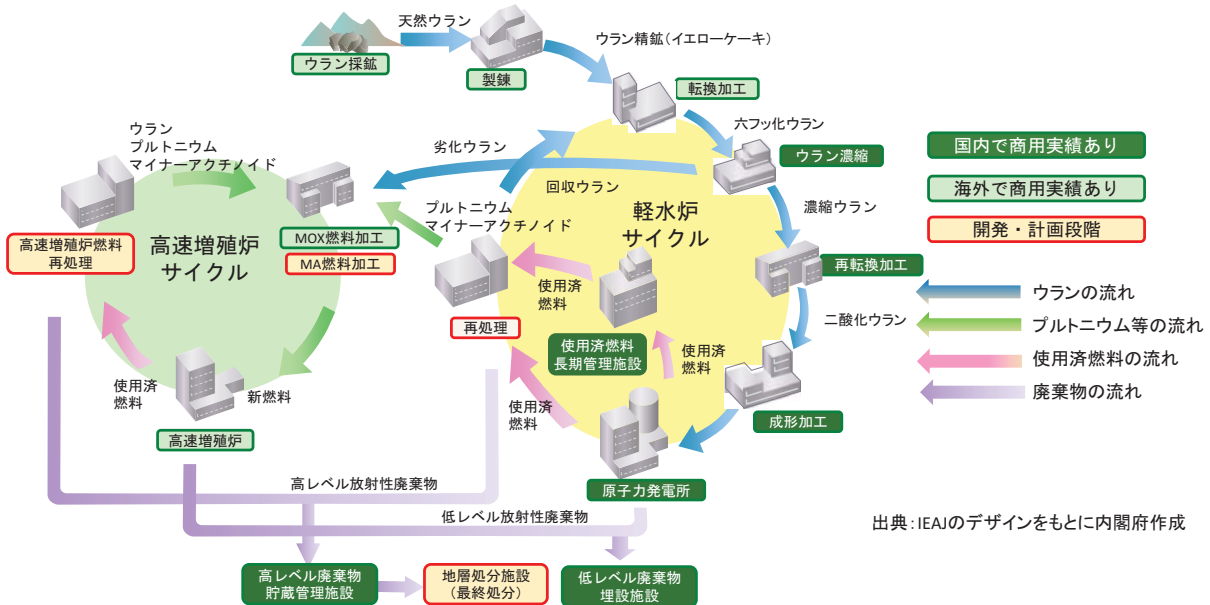
- ・ U、Puをリサイクルする
- ・ 再処理からのPuを軽水炉で1回燃焼する

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

15

FBR (LWRからの移行期)



- ・ U、Puをリサイクルする
- ・ 軽水炉を高速増殖炉で順次代替する

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

16

FBR (移行後)



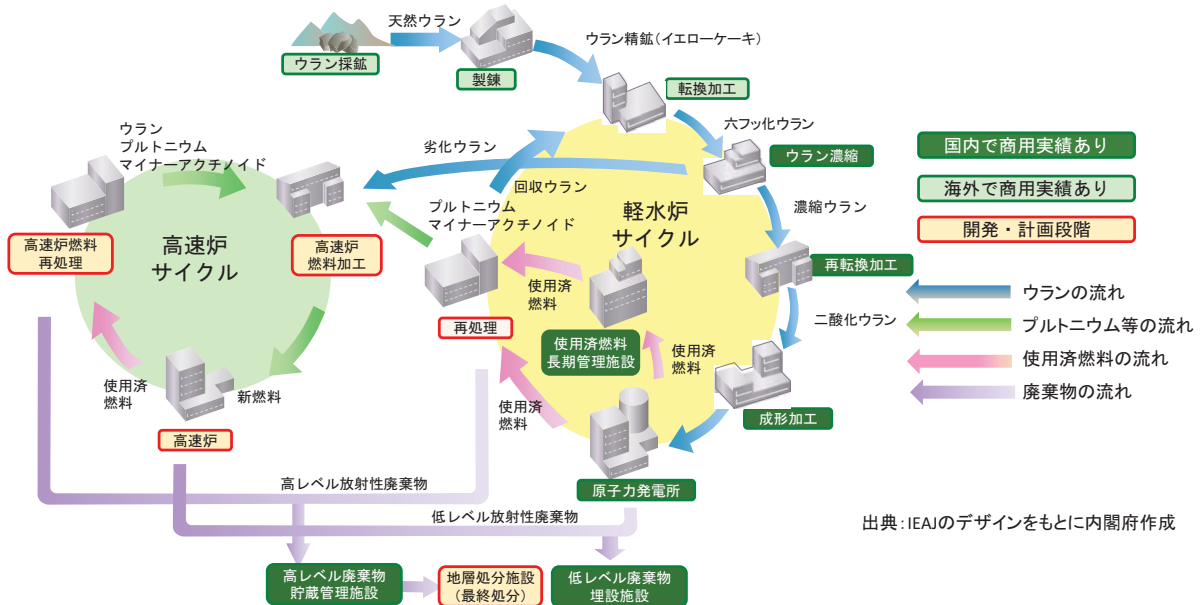
- ・ U、Puをリサイクルする
- ・ 増殖が不要な平衡期には、同じ技術で増殖比を1.0付近まで下げ、自ら使う燃料を自給する

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

17

LWR-FR (アクチノイド専焼)



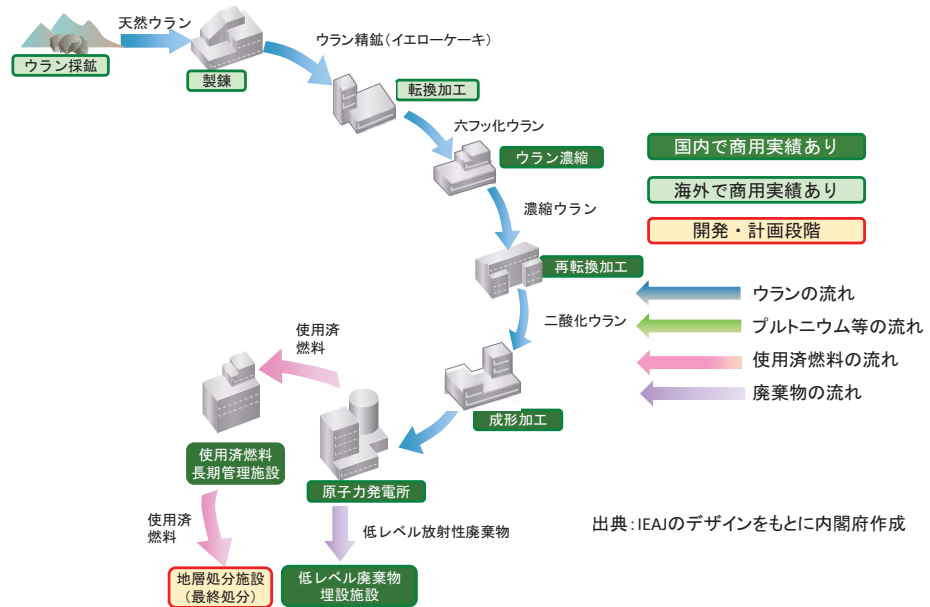
- ・ U、Puをリサイクルし、FR(アクチノイド専焼炉)で使用する
- ・ FRによるアクチノイド燃焼としては、通常の炉心燃料に均質に混ぜる方式(均質装荷)と濃度を高めた特殊な燃料を少数体作り炉心内で燃やす方式(非均質装荷)がある。前者の場合、FRはFBRと同じ原子炉、同じ燃料サイクルで対応が可能。後者の場合も原子炉と多くの燃料はFBRと同様の対応が可能であるが、特殊な燃料については、専用のサイクルで対応する必要がある。

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

18

LWRワンスルー



- U、Puのリサイクルは行わない
- 使用済燃料は(長期管理を経て)直接処分

その他の技術オプションの例

燃料有効利用

- トリウム+Pu燃料、新型転換炉、長寿命炉 などワンスルー利用

ウラン資源確保

- リン酸鉱からの回収、海水ウラン捕集 など

U-Puサイクルの代替

- トリウム-ウランサイクル

アクチノイド専焼

- 加速器駆動システム、新型転換炉などで構成する専焼サイクルシステム

革新概念の技術成熟度

－TRL(Technology Readiness Level)－

| TRL | 開発段階 | 評価のポイント |
|-----|---------------------|---|
| 1 | システム概念の構築 | ・概念提示、・基礎データの調査など |
| 2 | 技術概念の具体化 | ・システム概念検討、・技術オプション評価 |
| 3 | 技術開発の活性化 | ・基礎的、物理的データの蓄積、・実験室規模の物理的試験、 ・システム設計と要素技術の特定、開発目標の具体化 |
| 4 | 要素技術の開発 | ・シミュレーション技術の進展、 ・要素技術の実験室規模の試験、模擬実験施設の設計・建設など |
| 5 | 要素技術の完成 | ・要素の製作技術の確立、・シミュレーション技術の確立、 ・要素技術の工学規模単体試験、 ・実験炉の設計・建設、機器・システム設計の進展など |
| 6 | 技術基盤の確立 (全体システム) | ・要素技術の統合、・大型模擬実験施設による試験、 ・フルスケール相当の臨界実験、・実験炉の試験・運転、 ・プロトタイプ炉(原型炉含む)の設計・建設 |
| 7 | プロトタイプ炉の試験運転 | ・プロトタイプ炉の性能試験・運転、 ・実機の設計、許可取得 |
| 8 | 実機プラントの試験 | ・実機の建設・性能試験 |
| 9 | 実機プラントの運転 | ・実機の運転 |

注:TRLは本来、研究段階から開発段階を経て実用化するまでの研究開発プログラム策定に資するツールであり、異なる技術間の比較を目的とはしていない(例:AREVA, "NGNP Technology Development Road Mapping Report" TDR-3001031-003(2009))

出典:OECD/NEA, Proc. 11th Info. Excg. Mtg. on Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation, 2010をもとに事務局で編集

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

21

革新概念の技術成熟度の例(革新炉)

| カテゴリ | システム | TRL | 主な事例または検討のレベル (※:要素技術実験施設) |
|-----------|------------|-----|-----------------------------------|
| Gen-IV | 超高温ガス炉 | | 概念設計レベル |
| | 超臨界水炉 | | 概念設計レベル |
| | ガス冷却高速炉 | | 概念設計レベル |
| | 鉛冷却高速炉 | | KALLA(独)※等 |
| | ナトリウム冷却高速炉 | | SPX(仏),もんじゅ(日),BN-600(露)等 |
| | 熔融塩炉 | | MSRE(米) |
| 高温ガス炉 | HTR | | HTTR(日)、FSV(米)等 |
| 新型転換炉 | ATR | | ふげん(日) |
| 加速器駆動システム | ADS | | J-PARC(日)※、MEGAPIE(スイス)※など |
| 小型炉・長寿命炉 | TWR | | 概念検討レベル |
| | 4S | | 米でライセンス申請を計画 |
| トリウム燃料 | 軽水炉・ガス炉他 | | FSV(米), Shippingport(米), AVR(独)など |

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

22

革新概念の技術成熟度の例(サイクル)

| カテゴリ | システム | TRL | | 主な事例または 検討のレベル |
|----------|------------|-----|-----|-------------------|
| | | 軽水炉 | 高速炉 | |
| 湿式 | PUREX | | | La Hague再処理工場(仏)等 |
| | 先進湿式 | — | | FaCTの再処理システム(日) |
| | 群分離 | | — | UREX法(米)等 |
| 乾式 | 金属電解法 | — | | IFRの再処理システム(米)など |
| | 酸化物電解法 | | — | 実験室規模試験レベル |
| トリウムサイクル | 固体燃料(酸化物) | | — | 概念検討レベル |
| | 液体燃料(溶融塩炉) | | — | 概念検討レベル |
| 海水ウラン捕集 | | | | JAEA(日) |

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

23

技術選択肢ごとの物質の所在

| 選択肢 | プルトニウム | ウラン | マイナーアクチノイド | 核分裂生成物 | 放射化燃料部材 |
|------------------|-----------------|------------------------|--------------|--------|---------|
| LWRワンスルー | 地層処分 | 地層処分 | 地層処分 | 地層処分 | 地層処分 |
| LWR-MOX限定リサイクル | 一部地層処分 | 一部地層処分 サイクルで 再利用 | 地層処分 | 地層処分 | 地層処分 |
| LWR-MOX多重リサイクル | サイクルで 再利用し保持 | サイクルで 再利用 | 地層処分 | 地層処分 | 地層処分 |
| LWR-FR(アクチノイド専焼) | サイクルで 再利用し保持 | サイクルで 再利用 | サイクル内で 減容 | 地層処分 | 地層処分 |
| FBR | サイクルで 利用して増殖 | サイクルで 再利用 | サイクル内で 減容 | 地層処分 | 地層処分 |

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

24

安全性：安全の確保

LWRワンスルー

LWR、使用済燃料長期管理施設、地層処分場の安全確保が重要

LWR-MOX限定リサイクル

LWR-MOX多重リサイクル

LWR、使用済燃料長期管理施設、地層処分場の安全確保に加え、MOX燃料の加工、再処理工場などの安全確保が重要

LWR-FR(アクチノイド専焼)

FBR

LWR、使用済燃料長期管理施設、地層処分場の安全確保及び、MOX燃料の加工、再処理工場などの安全確保に加え、高速(増殖)炉サイクル利用に係る各施設の安全確保が重要

安全性：ライフサイクルでの被ばくリスク(1/3)

いずれの選択肢でも、被ばく線量は基準値(一般公衆及び職業人の線量限度)を下回る。施設の事故リスクの低減が重要。

LWRワンスルー

ウラン消費量が最大となるため、フロントエンドに関わる被ばく量は最大となるが、バックエンドの被ばく量は最小となる

LWR-MOX限定リサイクル

LWR-MOX多重リサイクル

ウランがリサイクルされる量に応じてフロントエンドに関わる被ばくリスクが低減される可能性があるが、バックエンドの被ばく量は増大する可能性がある

LWR-FR(アクチノイド専焼)

高速炉サイクルの導入量に応じてフロントエンドに関わる被ばくリスクが低減される可能性があるが、バックエンドの被ばく量は増大する可能性がある

FBR

高速増殖炉サイクルの導入量に応じて、フロントエンドをはじめ核燃料サイクル全体の物量が減り、その被ばくリスクが低減される可能性があるが、バックエンドの被ばく量は増大する可能性がある

安全性：ライフサイクルでの被ばくリスク(2/3)

核燃料サイクルの主要工程毎の被ばく量概算値について

| 核燃料サイクル工程 | 操業後500年間にわたるヨーロッパの一般公衆の集団被ばく線量 解析値 (manSv/GWe-year) | | 作業従事者の集団被ばく線量 (manSv/GWe-year) | |
|----------------|---|------------|--------------------------------|------------|
| | ワンスルー | リサイクル | ワンスルー | リサイクル |
| 採掘、精錬 | 1 | 0.79 (1) | 0.7 | 0.55 (1) |
| 転換、濃縮 | 0 (2) | 0 (2) | 0.02 | 0.016 |
| 燃料成形加工 | 0.0009 (4) | 0.0007 (3) | 0.00657 (5) | 0.0941 (3) |
| 発電 | 0.65 (6) | 0.65 (6) | 2.7 (7) | 2.7 (7) |
| 再処理、ガラス固化、中間貯蔵 | 0 | 1.534 (8) | 0 | 0.012 (9) |
| 合計 | 1.65 | 2.97 | 3.43 | 3.37 |

注釈

(1) 天然ウラン必要量に基づいて算出、作業従事者の線量はUNSCEAR88による

(2) 燃料成形加工による影響に合算した

(3) UO₂とMOX燃料の重量(21.1t、5.5t)で重み付けして算出

(4) 一般公衆:解析結果:Romans 3.21×10^{-4} 、Melox 2.51×10^{-3}

(5) 作業従事者: Romans 6.57×10^{-3} 、Melox 4.3×10^{-1} 出典:

(6) 一般公衆:海岸 0.54、内陸 0.65

(7) 作業従事者:フランス 900MW(e)プラントの平均

(8) 一般公衆:サイトを特定しない一般的な評価

(9) 作業従事者:La Hagueにおけるデータ

・OECD/NEA, "Trends in the Nuclear Fuel Cycle: Economic, Environmental and Social Aspects" (2001).

参考文献:

・UNSCEAR88, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation(UNSCEAR): "Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, 1988, Report to the General Assembly, with annexes", United Nations, New York, 1988.

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

27

安全性：ライフサイクルでの被ばくリスク(3/3)

核燃料サイクルの主要工程毎の被ばく量概算値について

- 一般公衆、従事者ともに、集団被ばく線量の総量は、ワンスルー・リサイクルの間で大きな差はない(同オーダーである)。
- 発電工程に起因する被ばく線量は、従事者の集団被ばく線量の大半(約80%)を占める。一方、一般公衆の集団被ばく線量の40%(ワンスルー)～21%(リサイクル)を占める。
- 再処理等工程に起因する一般公衆の集団被ばく線量の大半(1.534manSv/GWe-yearのうちの1.3manSv/GWe-year)は、大気中に広く拡散した放射性物質によるものであり、¹⁴C(75%)及び⁸⁵Kr(17%)が主として寄与している。残りの0.234manSv/GWe-yearは海産物の摂取に由来し、その80%が¹⁴Cの寄与である。
- なお、一般公衆の集団被ばく線量は、500年間にわたり欧州の全人口が被ばくし得る被ばく線量の積算値であり、作業従事者の集団被ばく線量との単純な比較は出来ないことに注意すべきである。

出典:

・OECD/NEA, "Trends in the Nuclear Fuel Cycle: Economic, Environmental and Social Aspects" (2001)より事務局にて編集

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

28

経済性：核燃料サイクルコスト(1/2)

現状でワンスルーは最もコストが安い、ウラン価格上昇に伴う発電コストの上昇の影響を最も受けやすい。MOX燃料のリサイクルは、再処理・MOX燃料加工価格に最も影響を受ける。

LWRワンスルー

1.0円/kWh以上（コスト等検証委員会：直接処分モデル、割引率3%）

LWR-MOX限定リサイクル

1.0+α円/kWh以上（コスト等検証委員会：直接処分モデル+再処理費用分）

LWR-MOX多重リサイクル

2.0円/kWh以上（コスト等検証委員会：再処理モデル、割引率3%）

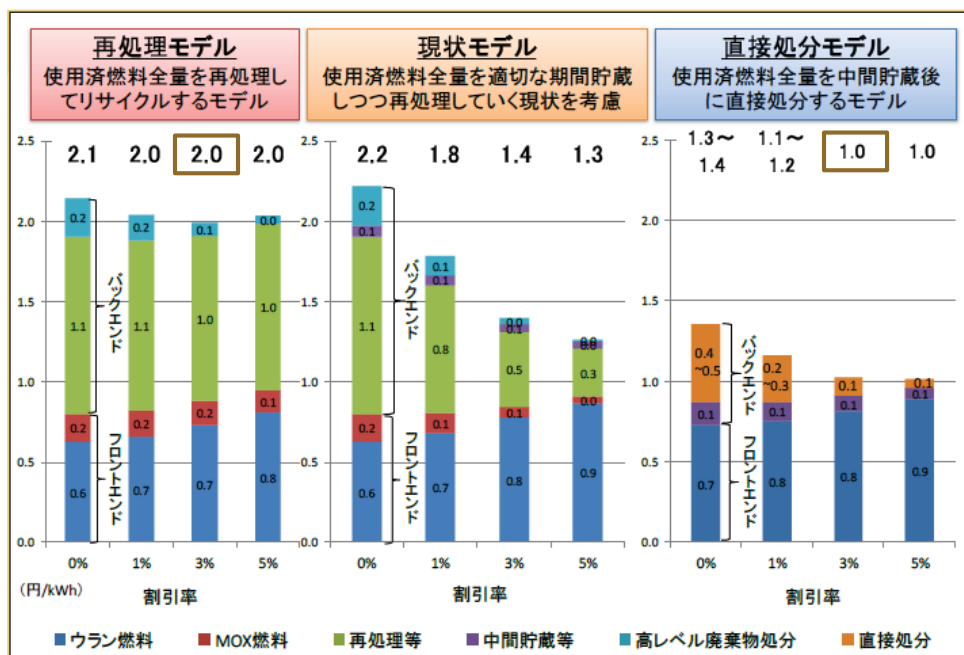
LWR-FR(アクチノイド専焼)

FBR

将来のLWRサイクルと同等以下を目標に設定(注)

(注)核燃料サイクルコストだけを直接の対象とした目標を設定せず、資本費、運転費と合算した発電コストの目標を設定。

経済性：核燃料サイクルコスト(2/2)



出典：エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会報告書(2011)

燃料サイクルコストの感度解析

(技術等検討小委 第2回～第5回で議論)

- 現状モデル(基本ケース)に対し、再処理等及びMOX燃料単価の1.5倍の感度解析(感度解析ケース)を実施し、燃料リサイクルに係るコストへのバックエンド工程の寄与を検証(直接処分ケースはバックエンド工程が無いためコストは不変) P.32
- 再処理、直接処分、現状の各モデル(基本ケース)に対し、ウラン燃料単価におけるウラン精鉱要素について2.0倍の感度解析(感度解析ケース)を実施し、全ての選択肢に共通となるフロントエンド工程のサイクルコストへの寄与を検証 P.33



- 感度解析の結果、核燃料サイクルコストを支配するコスト成分は再処理コストとウラン価格であり、埋設処分コストはそれほど大きな影響力をもたない。
 - 再処理を行う場合では再処理等及びMOX燃料の単価が1.5倍になると、核燃料サイクルコストが約20%上昇する。直接処分を行う場合ではウラン価格が2倍になると、核燃料サイクルコストが約35%上昇する。

出典:原子力委員会「核燃料サイクルコスト、事故リスクコストの試算について(見解)」(平成23年11月10日)

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

31

核燃料サイクルコスト

再掲:第3回資料第1-1号

感度解析結果(1)再処理・MOX単価

(割引率3%)

(円/kWh)

| 項目 | 現状モデル | | |
|-------|-------|---------|------|
| | 基本ケース | 感度解析ケース | コスト比 |
| ウラン燃料 | 0.77 | ← | — |
| MOX燃料 | 0.07 | 0.10 | 1.5 |
| 再処理等 | 0.46 | 0.68 | 1.5 |
| 中間貯蔵 | 0.05 | ← | — |
| HLW処分 | 0.04 | ← | — |
| 計 | 1.39 | 1.64 | 1.2 |

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

32

感度解析結果(2)フロントエンド単価

(円/kWh)

| 項目 | 再処理モデル | | | 直接処分モデル | | | 現行モデル | | |
|-------|--------|---------|-----|-----------|-----------|---------|-------|---------|-----|
| | 基本ケース | 感度解析ケース | 価格比 | 基本ケース | 感度解析ケース | 価格比 | 基本ケース | 感度解析ケース | 価格比 |
| ウラン燃料 | 0.73 | 1.04 | 1.4 | 0.81 | 1.16 | 1.4 | 0.77 | 1.10 | 1.4 |
| MOX燃料 | 0.15 | ← | — | — | — | — | 0.07 | ← | — |
| 再処理等 | 1.03 | ← | — | — | — | — | 0.46 | ← | — |
| 中間貯蔵 | — | — | — | 0.09 | ← | — | 0.05 | ← | — |
| HLW処分 | 0.08 | ← | — | — | — | — | 0.04 | ← | — |
| 直接処分 | — | — | — | 0.10~0.11 | ← | — | — | — | — |
| 計 | 1.98 | 2.29 | 1.2 | 1.00~1.02 | 1.35~1.36 | 1.3~1.4 | 1.39 | 1.72 | 1.2 |

2012/3/1

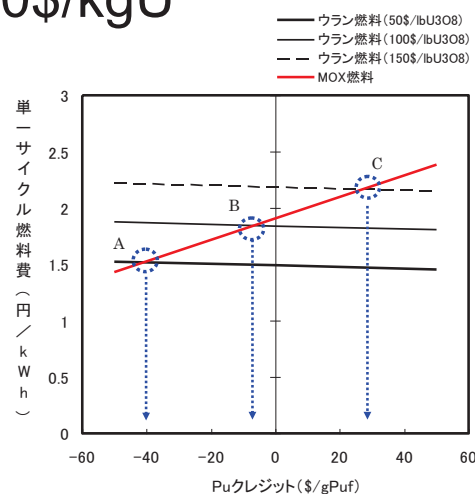
原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

33

参考: 再処理が優位となるウラン価格について

- 日本原燃の試算^[1] 260~390\$/kgU
(再処理価格含まず)
- カナダの試算^[2] 393\$/kgU
(再処理価格: 300\$/kgU)

| Cost of Reprocessing C_R (\$/kg) | Discharge Burnup with Recycle Fuel B_{rec} (MWd/kg) | Breakeven Price of Uranium C_U (\$/kg) |
|------------------------------------|---|--|
| 200 | 40 | 88 |
| 200 | 30 | 137 |
| 300 | 40 | 393 |
| 300 | 30 | 544 |
| 400 | 40 | 699 |
| 400 | 30 | 951 |



現在のウランスポット価格: ~100\$/kgU

[1] 原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第4回)資料第2号(2011)

[2] D.Rozan & D.Lister, "Reprocessing versus Direct Disposal of Spent CANDU Nuclear Fuel: A Possible Application of Fluoride Volatility" (2008)

資源有効利用：資源利用効率(1/2)

LWRワンスルー

ウランを一次的に利用するのみで、ウラン利用効率は0.6%^[1]程度

LWR-MOX限定リサイクル

LWR-MOX多重リサイクル

全基がMOX燃料装荷炉心の場合、ウラン利用効率は0.8～1.1%^[1]程度である。ウラン利用効率はLWRワンスルーとLWR-MOX多重リサイクルの間に位置することになり、LWRワンスルーよりも資源の節約効果がある。

LWR-FR(アクチノイド専焼)

高速炉の導入量に応じてウラン利用効率は向上し、資源の節約効果がある

FBR

ウラン利用効率は60%以上^[2]となり、資源の大きな節約効果がある

[1] 山地憲治, 電力経済研究 No.21(1986)

[2] OECD/NEA, Nuclear Energy Outlook 2008

資源有効利用：資源利用効率(2/2)

- 定義：燃料が発生するエネルギー量と、その原料として消費された天然ウランの持つ最大潜在エネルギーに対する比率^[1]

$$\text{ワンスルー効率} E1 = \frac{\text{燃料の燃焼度}}{\text{天然ウランの最大潜在エネルギー量}} \times (1 - \text{濃縮プロセスにおけるウラン損失})$$

$$1 \text{ 回りサイクル効率} E2 = \text{ワンスルー効率} \times \left(1 + \frac{\text{核分裂性物質取出量}}{\text{核分裂性物質装荷量}} \right)$$

$$\text{無限回りサイクル効率} E3 = \frac{\text{ワンスルー効率}}{\left(1 - \frac{\text{核分裂性物質取出量}}{\text{核分裂性物質装荷量}} \right)}$$

最新のデータによる資源利用効率
出典[1]～[3]を基に事務局が試算

| | 平均燃焼度 (MWd/t) | ウラン利用効率 (%) | | | | |
|-----|---------------|-------------|----------------|-------|----------------|-------|
| | | ワンスルー E1 | プルサーマル限定サイクルE2 | | プルサーマル無限サイクルE3 | |
| | | | 5年冷却 | 20年冷却 | 5年冷却 | 20年冷却 |
| BWR | 29,500 | 0.52 | | | | |
| PWR | 31,900 | 0.52 | | | | |
| BWR | 45,000 | 0.62 | 0.80 | 0.79 | 0.87 | 0.86 |
| PWR | 49,000 | 0.67 | 0.94 | 0.93 | 1.11 | 1.09 |

出典

[1] 山地憲治, 電力経済研究 第21号(1986)

[2] 高速増殖炉サイクル実証プロセス研究会、核燃料サイクル分野の今後の展開について(2009)

[3] OECD/NEA, The Economics of the Nuclear Fuel Cycle

資源有効利用：資源量(1/2)

LWRワンスルー

現在のウランの確認資源量は、2008年のウラン需要量を想定すると、世界のウラン可採年数として100年程度であり、今後50年間程度を見れば十分対応可能^[1]
ウラン需給の逼迫が生じた際に原子燃料確保に支障が生じるリスクがある

LWR-MOX限定リサイクル

LWR-MOX多重リサイクル

資源節約効果はLWRワンスルーより30%程度増加^[2](ウラン利用効率0.6%→0.8%)
ウラン需給の逼迫が生じた際に原子燃料確保に支障が生じるリスクがある

LWR-FR(アクチノイド専焼)

高速炉の導入量に応じて、資源節約効果がLWRサイクルより増加する
ウラン需給の逼迫が生じた際に原子燃料確保に支障が生じるリスクがある

FBR

現在のウランの確認資源量が3000年以上^{注)}の可採年数相当に増加^[2]

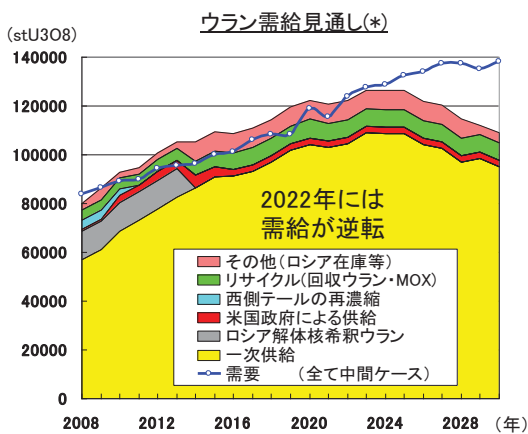
注：日本のウラン需要は世界需要の約12%^[1]であり、日本だけがFBRを導入した場合には少なくなる

出典 [1] OECD/NEA and IAEA, Uranium2009:Resources, Production and Demand (2009)
[2] OECD/NEA, Nuclear Energy Outlook (2008)

資源有効利用：資源量(2/2)

- 需要拡大にともない、短期的な天然ウラン市場の需給は2020年以降ややタイトになるとみられている。
- 資源埋蔵量については原子力発電への期待の拡大に伴ってウラン資源開発の活発化と、既知鉱山の埋蔵量再評価により過去5年間に賦存量が毎年約15%ずつ増加している。
- その結果、天然ウランの可採年数は5年前よりさらに伸び、100年程度とされている。

出典:OECD/NEA Red Book



ウラン資源量の推移

単位：1,000tU

| 資源分類 | 2003年評価 | 2005年評価 | 2007年評価 | 2009年評価 |
|-------------|---------|---------|---------|---------|
| 発見資源(確認+推定) | | | | |
| <260ドル/kgU | — | — | — | >6306 |
| <130ドル/kgU | 4588 | 4743 | 5469 | 5404 |
| <80ドル/kgU | 3537 | 3804 | >4456 | 3742 |
| <40ドル/kgU | >2523 | >2749 | 2970 | >796 |
| 確認資源 | | | | |
| <260ドル/kgU | — | — | — | >4004 |
| <130ドル/kgU | 3169 | 3297 | >3338 | 3525 |
| <80ドル/kgU | 2458 | 2643 | 2598 | >2516 |
| <40ドル/kgU | >1730 | >1947 | >1766 | 570 |
| 推定資源 | | | | |
| <260ドル/kgU | — | — | — | 2302 |
| <130ドル/kgU | 1419 | 1446 | >2130 | >1879 |
| <80ドル/kgU | 1079 | 1161 | >1858 | 1226 |
| <40ドル/kgU | >793 | >799 | 1204 | >226 |

出典：Uranium 2009

st(ショート・トン)：主にアメリカで使われてきた重さの単位で、
1stU₃₀₈とは0.769tUに相当する。

出典：原子力委員会 新大綱策定会議 資料2-1号(2011)

核不拡散・セキュリティ：核不拡散

ワンスルーが最もリスクが少ない。プルトニウムは、原子炉級であっても兵器転用の可能性があるため、MOXリサイクル、FR/FBRでは、より高度な保障措置、セキュリティ対策が必要

LWRワンスルー

核拡散リスクは最小。高レベル廃棄物にウラン・プルトニウムが含まれることになり、処分後数百年から数万年にわたり転用誘引度が継続するため、この間の保障措置の必要性が課題。

LWR-MOX限定リサイクル

LWR-MOX多重リサイクル

再処理によるプルトニウム分離、MOX燃料利用によりワンスルーよりも転用可能性が高くなると考えられるので、適切な保障措置を再処理工場に適用することが必要。MOX燃料加工工場についても適切な保障措置を適用することが必要。プルトニウムの高次化により転用誘因度が低下しても、保障措置、セキュリティ対策の必要性は不変。

LWR-FR(アクチノイド専焼)

高速炉サイクルに関しては、ワンスルーよりも転用可能性の機会は増える。共抽出・低除染燃料など内在的な核拡散抵抗性を高める技術開発も実施されているが、その効果については意見が分かっている

FBR

プラント技術、炉心技術共に基本的にFRと同一の技術。プルトニウムの取扱量の増加に対応した保障措置が必要。ブランケット燃料組成の改変、共抽出・低除染燃料など内在的な核拡散抵抗性を高める技術開発も実施されているが、その効果については意見が分かっている。

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

39

核不拡散・セキュリティ：テロ対策

LWRワンスルー

軽水炉使用済燃料は取出後100年以内は燃料へのアクセスが困難な放射線レベルにあるため、核テロのリスクは少ない。それ以降は徐々にハンドリングが容易となり、核テロの対象となりうるリスクが高まる。

LWR-MOX限定リサイクル

LWR-MOX多重リサイクル

核セキュリティ強化の傾向については軽水炉ワンスルーと比べて高く、施設に対応した防護策が必要。プルトニウム使用や輸送に対して、適切な核セキュリティ対策を達成・維持することが必要。

LWR-FR(アクチノイド専焼)

軽水炉使用済燃料の蓄積は減少する。核セキュリティ強化の傾向についてはLWR-MOXと同様。セキュリティ対策の考え方はLWR-MOXと同様だが、プルトニウム使用量や輸送量は増加する。

FBR

軽水炉使用済燃料の蓄積量は減少する。核セキュリティ強化の傾向については、LWR-MOXと同様。プルトニウム使用量や輸送量が最も多くなることへの対応が必要となるが、セキュリティ対策の考え方はLWR-MOXと同様。

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

40

廃棄物：高レベル放射性廃棄物の潜在的有害度(毒性)(1/2)

LWRワンスルー 【1000年後の有害度(相対値): 1】

使用済燃料が高レベル廃棄物となり、1000年後における潜在的な有害度は最大

LWR-MOX限定リサイクル 【1000年後の有害度(相対値): 8分の1】

ウランとプルトニウムを回収した後の残滓をガラス固化したもの(ガラス固化体)が高レベル廃棄物なり、1000年後における潜在的有害度はワンスルーより1桁低減できる可能性がある。

LWR-MOX多重リサイクル 【1000年後の有害度(相対値): 8分の1】

LWR-MOX限定リサイクルと同じ

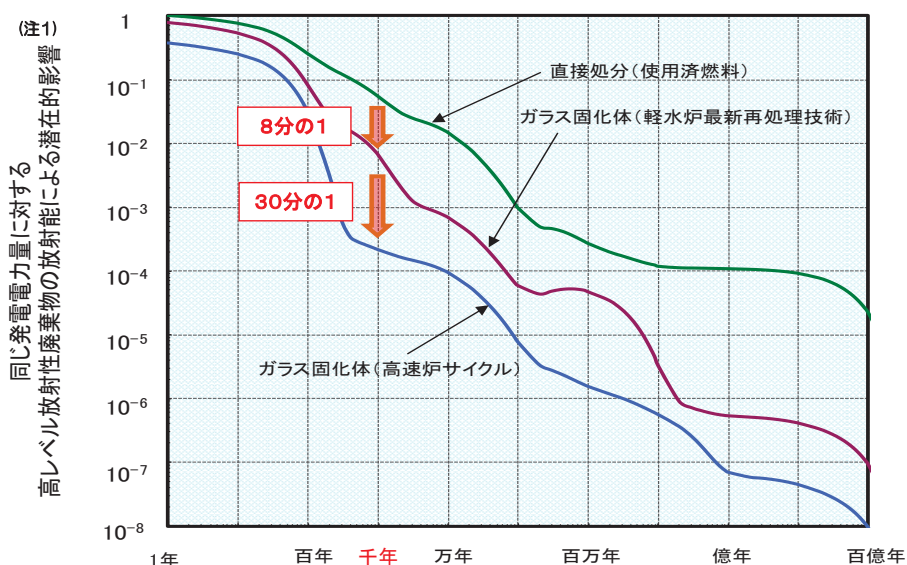
LWR-FR(アクチノイド専焼)

FBR

【1000年後の有害度(相対値): 240分の1】

FRとFBRサイクルは、LWRワンスルーに比べて1000年後の高レベル放射性廃棄物の潜在的有害度を数百分の一に低減できる可能性がある。また、LWR-MOX多重リサイクルの場合に比べても、約1/30に低減できる可能性がある

廃棄物：高レベル放射性廃棄物の潜在的有害度(毒性)(2/2)



(注1)高レベル放射性廃棄物と人間との間の障壁は考慮されておらず、高レベル放射性廃棄物の実際の危険性ではなく、潜在的な有害度(経口摂取による年摂取限度で規格化)を示している。使用済燃料取り出し直後の潜在的影響を1とした相対値。

出典:原子力委員会 原子力政策大綱(平成17年)を基に編集

廃棄物：放射性廃棄物の発生量(1/3)

LWRワンスルー

LWR-MOXリサイクル(限定・多重)と比較して、低レベル放射性廃棄物の発生量は少なくなるが、使用済燃料が高レベル放射性廃棄物となり、その発生量は再処理した場合のガラス固化体より大きくなる。その結果、他より広い廃棄物処分場面積が必要となる。

LWR-MOX限定リサイクル

LWR-MOX多重リサイクル

LWRワンスルーと比較して、再処理を実施することにより低レベル放射性廃棄物の発生量は増加するが、高レベル放射性廃棄物の発生量を低減できる。その結果、単位発電量あたりの低レベル放射性廃棄物の処分場の面積はわずかに増加するが、高レベル放射性廃棄物も含めた全体の処分面積は低減する。

LWR-FR(アクチノイド専焼)

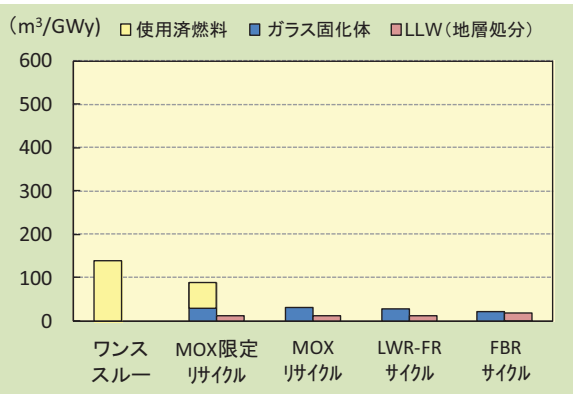
FBR

LWRサイクルと比較して、低レベル放射性廃棄物並びに高レベル放射性廃棄物の発生量を低減できる。その結果、高レベル放射性廃棄物の処分面積を大幅に低減でき、低レベル放射性廃棄物を含めても、処分面積を大きく低減できる。

廃棄物：放射性廃棄物の発生量(2/3)

- 放射性廃棄物の発生量(体積)には、低レベル放射性廃棄物が大きな影響を及ぼす。
- 再処理の実施により、低レベル放射性廃棄物の発生量が増加する一方、高レベル放射性廃棄物の発生量は低減する。
- LWR-FR/FBRサイクルでは、発電所の熱効率の向上や燃料の高燃焼度化を図ることにより、高レベル、低レベル共に放射性廃棄物の発生量を低減できる。

単位発電量あたりのHLW(使用済燃料及びガラス固化体)並びにLLW(地層処分)発生体積



ガラス固化体製造条件

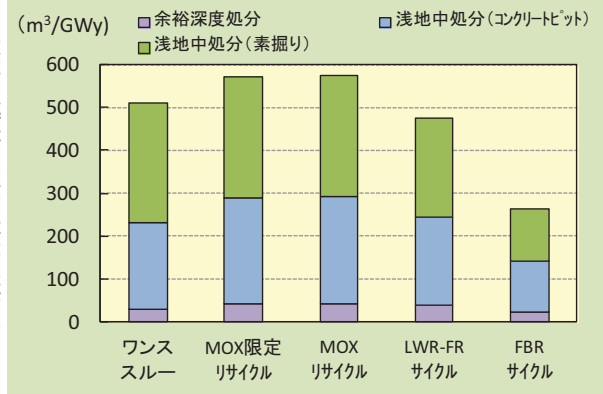
— 発熱量制限: 2.3kW

— FP酸化物含有量制限: 10%

FRケースでは、FRとLWRの比率が1基

対2.7基の割合で存在すると想定した。

単位発電量あたりのLLW(地層処分除く)発生体積の合計



低レベル放射性廃棄物(LLW)は以下を含む。

(地層処分(ガラス固化体等と同様、地下300mより深い地層中への埋設処分: グラフではHLWIに合算して左図に示す))

余裕深度処分(一般的な地下利用に対して、十分余裕を持った深度(例: 地下50~100m)への埋設処分)

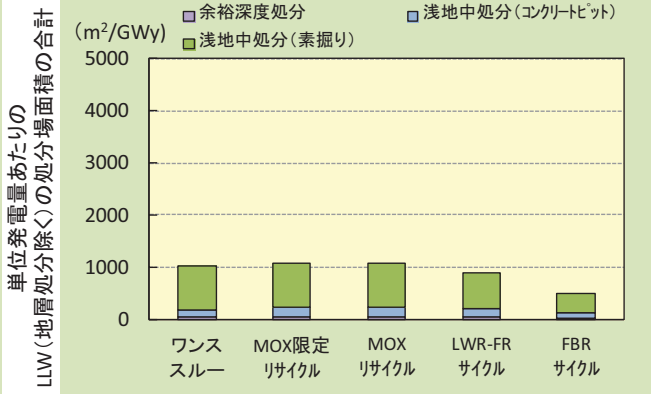
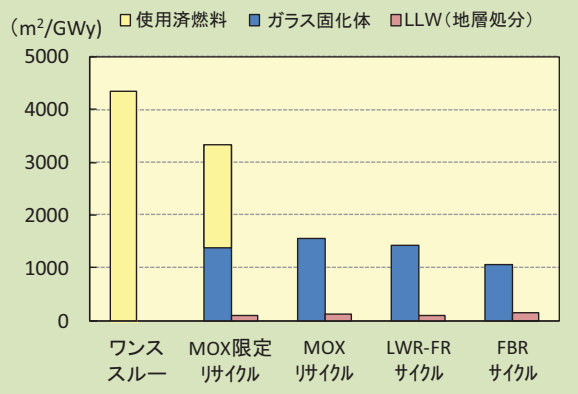
浅地中処分(コンクリートピット)(コンクリートピットを設けた埋設処分(例: 深さ数m))

浅地中処分(素掘り)(人工構築物を設けない浅地中への埋設処分)

廃棄物：放射性廃棄物の発生量(3/3)

- ・廃棄物処分場の面積には、放射能や発熱のレベルが高い高レベル放射性廃棄物が大きな影響を及ぼす。
- ・再処理の実施により、高レベル放射性廃棄物が減少するため処分場の面積は低減する。高速炉サイクルでは、さらに低減する。
- ・再処理の実施により、低レベル放射性廃棄物の処分場面積はわずかに増加するが、高速炉サイクルでは、低減する。

単位発電量あたりのHLW(使用済燃料及びガラス固化体)並びにLLW(地層処分)の処分場面積

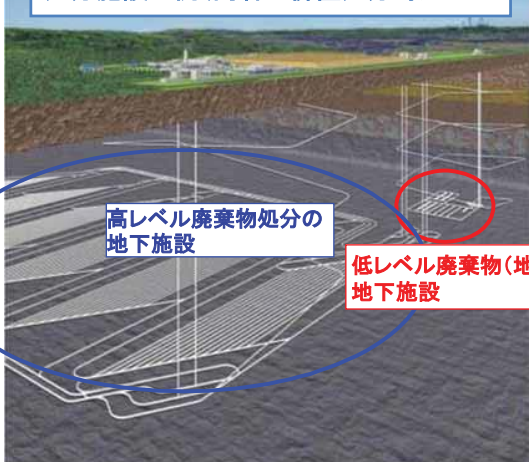


(注) 上記は硬岩設置きのケース。前回の政策大綱の試算と同様に、使用済MOX燃料の直接処分に要する面積は、使用済ウラン燃料を直接処分する場合の4倍程度と想定。ガラス固化体の専有面積についても前回政策大綱と同様に想定。

廃棄物：参考一処分場面積の定義について

高レベル放射性廃棄物と低レベル放射性廃棄物の処分場面積として、地下施設(処分パネル・埋設設備等)に安置される廃棄体で専有される面積を対象とした。

高レベル放射性廃棄物と低レベル放射性廃棄物(地層処分)の処分施設の例(両者の併置処分時)



低レベル放射性廃棄物(浅地中ピット処分)の処分施設の例



※原子力委員会 新計画策定会議 技術検討小委員会「基本シナリオの核燃料サイクルコスト比較に関する報告書」(平成16年11月)

出典：内閣府原子力政策担当室「新大綱策定会議(第5回)資料3-1号」及び電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集2011」から抜粋・編集

廃棄物：高レベル放射性廃棄物の被ばくリスク(1/2)

いずれの選択肢を採用した場合も、人工バリア及び天然バリアにより公衆の被ばく線量は安全基準よりも低く抑えられる。

LWRワンスルー

使用済燃料中のアクチノイドの原子核崩壊に伴う有害核種からの被ばくリスクが後年増大する

LWR-MOX限定リサイクル

使用済MOX燃料中のアクチノイドの原子核崩壊に伴う有害核種からの被ばくリスクが後年増大する。再処理施設から発生する高レベル放射性廃棄物については、使用済MOX燃料よりリスクは小さい

LWR-MOX多重リサイクル

LWR-FR(アクチノイド専焼)

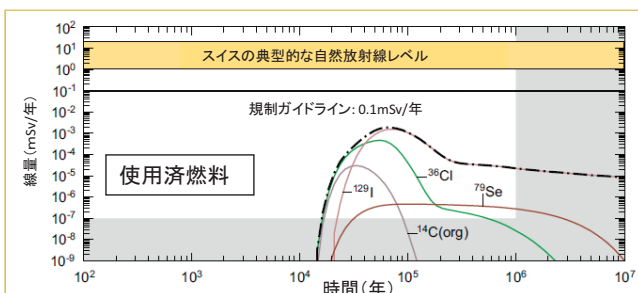
FBR

原子核崩壊に伴う数千年後の被ばくリスクの増加はLWRワンスルーやLWR-MOX限定リサイクルと比較すると十分小さく、無視し得る

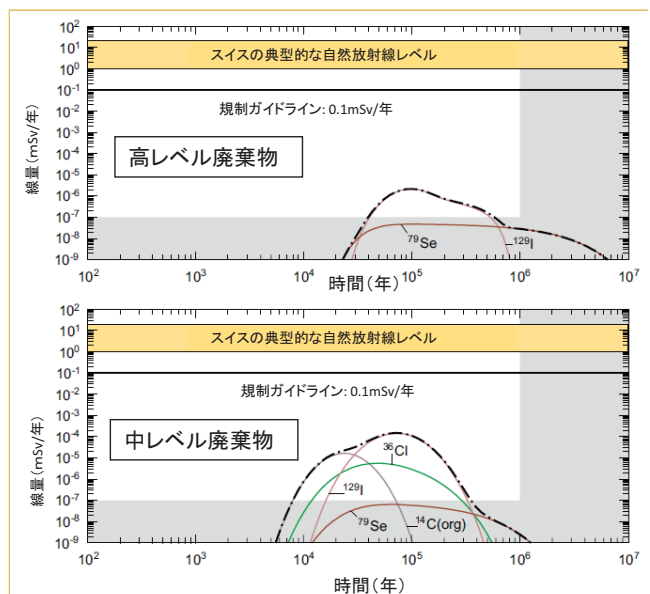
廃棄物：高レベル放射性廃棄物の被ばくリスク(2/2)

スイスの解析例

“what if”ケースとして、地下水の流量をリファレンスケースの100倍と仮定した場合の放射線量



直接処分の場合(左上図)及び再処理を行った場合(右上+右下図)のいずれも、廃棄物からの被ばく線量は、諸外国で提案されている安全基準(0.1~0.3mSv/年)に比べて十分低い



参考資料

GIF炉概念：超高温ガス冷却炉 (VHTR：Very-High-Temperature Reactor System)

【特徴】冷却材：ヘリウム、温度領域：900～1000℃、出力：250～300MWe

○わが国では、原子力機構が熱出力30MWtのHTTRの建設・運転を実施中。

これを基に、電気出力300MWeの高温ガス炉ガスタービン発電システムを設計検討中。

【メリット】

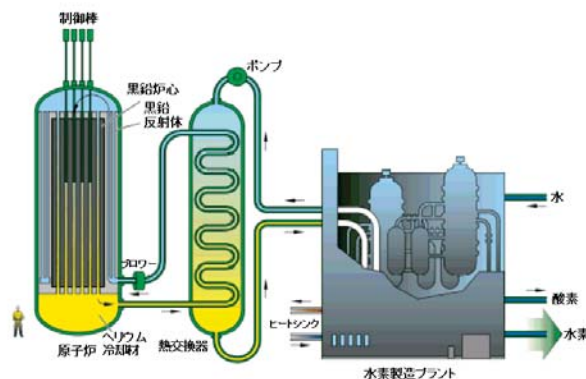
○熱中性子炉で、高温運転が可能のため、高効率発電とともに熱分解による水素製造など可能性がある。

【課題】

○燃料のリサイクルに適さないため、ワンスルー方式での開発を進めている。

○高温に耐える材料開発が課題である。
(開発に長期間要する見通し)

超高温ガス冷却炉は作られていない。



GIF炉概念：超臨界圧水冷却炉

(SCWR : Supercritical Water-Cooled Reactor System)

【特徴】冷却材：水、温度領域：510～625℃、出力：300～1500MWe

○熱中性子炉と高速(中性子)炉との中間に位置する概念。

○わが国では、東大などを中心に研究が行われている。

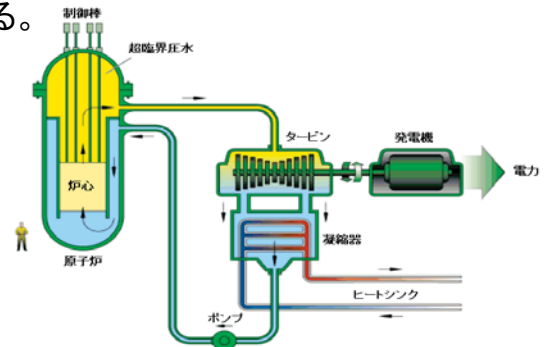
【メリット】

○超臨界圧22.1MPa以上では気水の分離が必要ないため、原子炉で加熱した冷却水で直接タービンを駆動して発電でき、高い熱効率(約45%)が達成できるとともに、機器の簡素化による経済性向上が図れるとされている。

○燃料リサイクルも可能。

【課題】

○超臨界圧水条件での耐腐食性燃料被覆管及び原子炉構造材料開発が課題である。
(開発に長期間要する見通し)



超臨界圧水を用いた原子炉は作られていない。

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

51

GIF炉概念：ガス冷却高速炉

(GFR : Gas-Cooled Fast Reactor System)

【特徴】冷却材：ヘリウム、温度領域：850℃、出力：1200MWe

○炉心はピンまたは板状燃料を用いたブロック型をベースとしている。フランスを中心に検討が進められているが、概念の基本部分については、まだ検討中である。

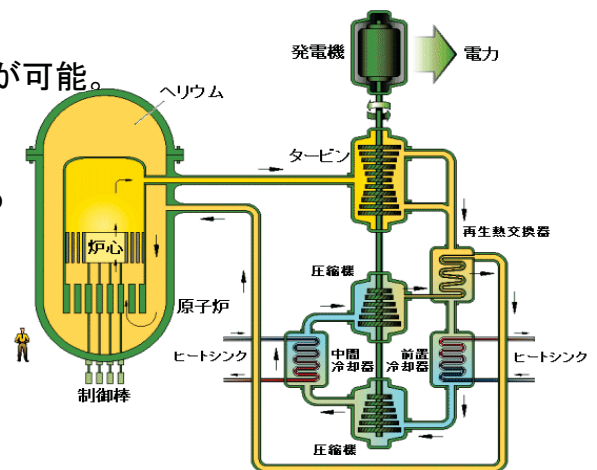
【メリット】

○燃料のリサイクル利用が可能。

○高温運転とエネルギーの持続可能性の両立が可能。

【課題】

○燃料サイクル技術、高速中性子環境に耐える燃料被覆材料等の開発が課題である。
(開発に長期間要する見通し)



ガス冷却高速炉は作られていない。

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

52

GIF炉概念：鉛冷却高速炉

(LFR : Lead-Cooled Fast Reactor System)

【特徴】冷却材：鉛or鉛/Bi、温度領域：480～570℃、出力：20～1200MWe

○鉛冷却大型炉(1200MWe)としてはロシアで開発中のBRESTが参考概念である。
バッテリー炉(120～400MWe)は、15～30年の超長期運転が可能であり、分散電源や水素製造、海水脱塩などを目的としている。

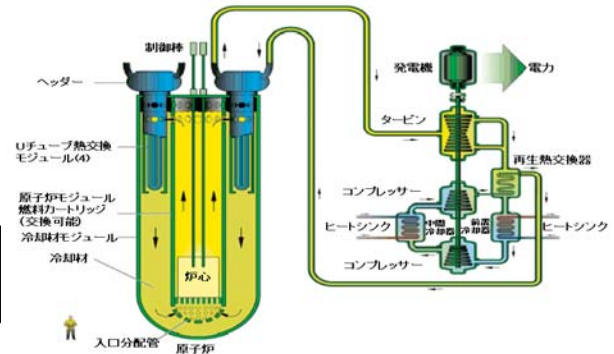
【メリット】

○鉛の沸点が高く、また燃料のリサイクル利用に適する。

【課題】

○Bi(ビスマス)の放射化が課題である。
○腐食の問題があり、
燃料被覆管材料の開発が課題である。
(開発に長期間要する見通し)

ロシアにて鉛/Bi冷却高速実験炉を建設・運転した経験がある。



2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

53

GIF炉概念：ナトリウム冷却高速炉

(SFR : Sodium-Cooled Fast Reactor System)

【特徴】冷却材：ナトリウム、温度領域：500～550℃、出力：50～1500MWe

○酸化物燃料と先進湿式再処理方式を組み合わせた概念(原子力機構のJSFR)と、金属燃料と乾式再処理を組み合わせた概念(韓国)等が選定されている。
○前者は、「常陽」・「もんじゅ」を踏まえて、原子力機構がFaCTプロジェクトで検討中の大型ループ型炉であり、原子炉構造のコンパクト化、ループ数削減、一次系機器の合体等による経済性向上を特長としている。

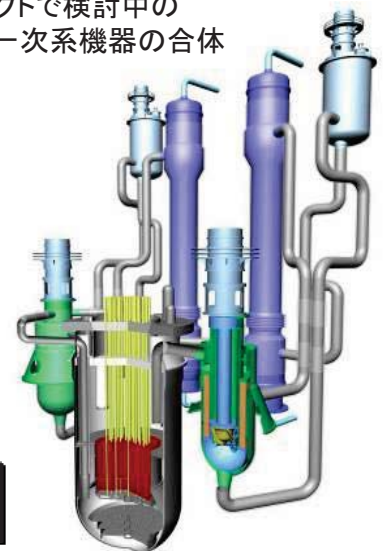
【メリット】

○ナトリウムの沸点が高く、また燃料リサイクルに適しており、エネルギーの持続可能性で特に優れている。
○実用化に最も近い高速炉概念で、国際標準となる安全クライテリアの構築を進めている。
○各国で開発が進められており、国際協力が可能である。

【課題】

○経済性向上が課題である。
○水・空気とNaとの化学反応の防止が課題である

「もんじゅ」等のナトリウム冷却高速原型炉を、各国で建設・運転し、発電した実績がある。



2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

54

GIF炉概念：溶融塩炉

(MSR : Molten Salt Reactor System)

【特徴】冷却材：溶融塩、温度領域：700～800℃、出力：1000MWe

○液体のトリウム及びウランのフッ化物が燃料かつ冷却材として黒鉛炉心チャンネル内を流れる熱中性子炉である。

○炉心で発生した熱は中間熱交換器により外部に取り出す。

【メリット】

○FPは液体燃料から連続的に除去され、燃料はリサイクル利用される。

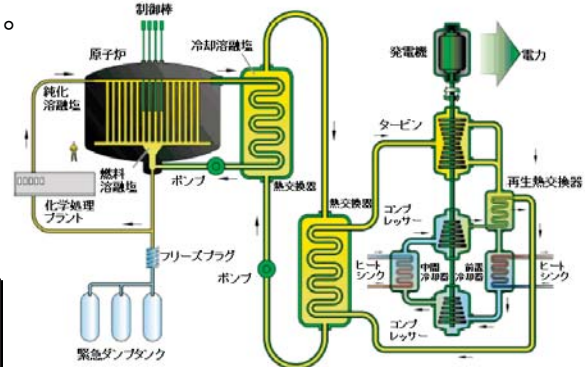
○燃料交換なしで、長時間の運転が可能である。

【課題】

○耐腐食性の構造材料開発等が課題である。
(開発に長期間要する見通し)

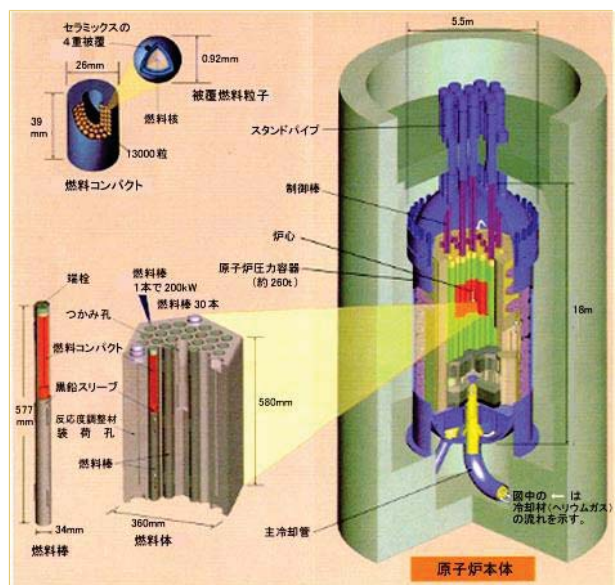
○高放射能環境の1次系のメンテナンス技術が課題である。

アメリカにて溶融塩実験炉を建設・運転した経験がある。



高温ガス炉 (HTR: High Temperature Gas-cooled Reactor)

- 炭化ケイ素等で二酸化ウラン球を被覆した被覆粒子燃料を使い、減速材と炉内構造材に黒鉛、冷却材にはヘリウムガスを用いる原子炉
- 発生した熱を800℃以上の高温で取り出すことができ、水の熱化学分解による水素製造やガスタービンを用いた高効率の発電等に利用することが可能
- 被覆粒子燃料は耐熱性と核分裂生成物の保持能力が高いこと、黒鉛は耐熱性が高く熱容量が大きいこと、ヘリウムガスは化学的に不活性であり燃料や構造材と化学反応を起こさないことなど、安全性に優れる特長を有する
- 日本原子力研究開発機構の高温工学試験研究炉 (HTTR) は、1998年11月の初臨界の後、2004年4月に原子炉出口ガス温度950℃を達成。2010年には50日間の高温連続運転に成功している

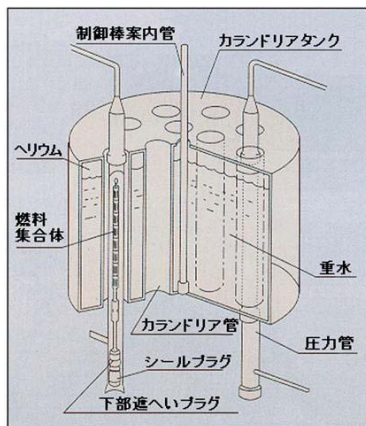


HTTR原子炉概念図

出典：JAEA HP

新型転換炉 (ATR: Advanced Thermal Reactor)

- 重水減速沸騰軽水冷却型圧力管原子炉
- プルトニウム、回収ウラン等を柔軟かつ効率的に利用できるという特徴を持つ原子炉として我が国で自主開発
- 1995年に実証炉計画が中止され、原型炉「ふげん」では廃止措置に係る研究開発及び施設の解体を進めている



ふげん炉心概念図



ふげん全景

出典: 動燃30年史・「ふげん」パンフレット

加速器駆動システム

(ADS : Accelerator-driven System)

【特徴】 核破砕ターゲット及び冷却材: 鉛or鉛ビスマス合金、熱出力: ~800MW

○未臨界状態の原子炉における核分裂の連鎖反応を加速器中性子源で維持する概念。

○マイナーアクチノイドを大量に含む燃料を安全に核変換することが主目的。

【メリット】

○未臨界のため、加速器を停止すれば連鎖反応が即座に停止。

○マイナーアクチノイドの高速中性子による核分裂反応で効果的な核変換を達成。

○核変換で生じる熱で発電し、加速器へ給電するとともに、外部へ売電することも可能

○核変換が主目的なので、冷却系の高温化による高発電効率の追求は不要であり、冷却材による鋼材腐食の影響を緩和できる。

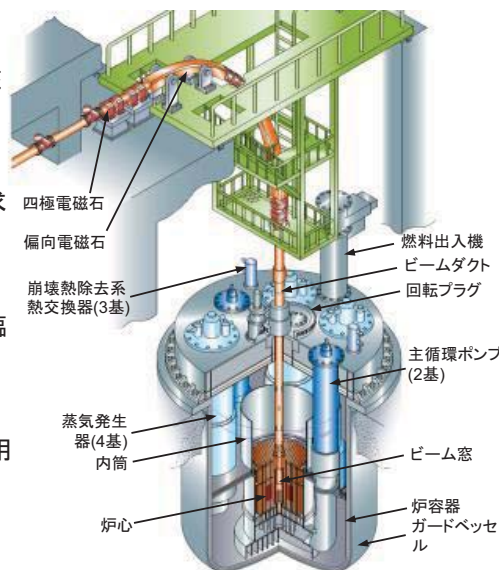
【課題】

○加速器の停止頻度低減、ビーム窓部の工学的成立性の確認、未臨界炉心の運転制御等の固有の技術課題が存在。

○マイナーアクチノイド燃料の製造、照射挙動、照射後処理等に関する研究開発が課題。

○鉛ビスマス合金を用いる場合はビスマスの放射化が課題。純鉛を用いる場合は冷却系の高温化が課題。

日本ではJ-PARCで基礎的な実験の計画があり、ベルギーでは実験炉級施設建設の計画がある。



小型炉・長寿命炉

炉心を長寿命化または連続燃焼可能として、ウラン資源の有効利用を図る概念

TWR

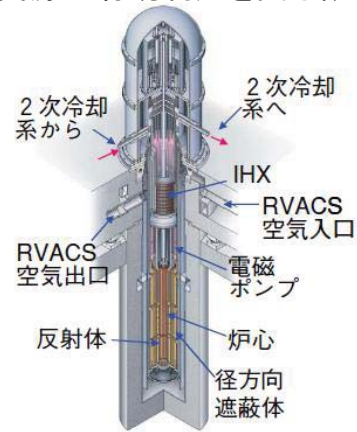


The traveling wave reactor (TWR)はGIFの次の段階の概念である。ワンスルーサイクルを採用し、必要な時に必要な場所の核分裂性物質を燃料として使用する。ひとたび濃縮された燃料を用いてウェーブが開始されれば、核燃料物質は必要とせず、劣化ウランがある限り発電が継続する。炉の燃焼制御方法、大量の燃料を保有する点についての安全確保、長寿命炉心に対応する燃料・材料等が課題である。

基礎的な概念検討レベル

出典: <http://www.terrapower.com> をもとに事務局にて作成

4S

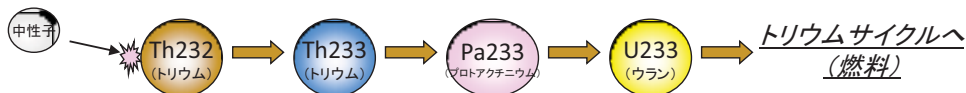


長寿命炉心の実現による核拡散抵抗性とメンテナンスの低減、受動的安全設備の導入による安全性の向上を目指した小型高速炉(4S)。金属燃料を反射体で制御する電気出力1万kWの4S炉心は、30年の炉心寿命を保持。送電インフラのない地域等での電力供給、熱供給、海水淡水化等、地域共生型の原子力多目的利用に貢献可能。大量の燃料を保有することに対する安全確保、長寿命炉心に対応する材料の開発が課題。

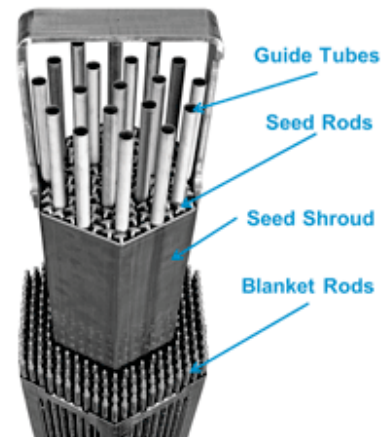
米でライセンス申請を計画中

出典: 電力中央研究所 研究年報(2007)をもとに事務局にて作成

トリウム燃料



- Th-232に中性子を照射することで生成するU-233を燃料とする概念
- 固体燃料(酸化物、炭化物等)のほか、液体燃料(熔融塩)での利用の提案がある
- Thを新たな核燃料の資源として、資源有効利用、燃料増殖、Pu燃焼用の母材兼ドライバ燃料として軽水炉などでの利用が検討されている
- Th・U-233に対応する新たな核燃料サイクル技術(特に再処理が課題)とともに、U-233生成時に生成するU-232の遠隔操作技術が必要
- U-Puサイクルに比べ増殖性能や核変換性能はやや劣る
- Th-Uサイクルの核拡散抵抗性はU-Puサイクルと同程度と評価されている(IAEA INFCE (1980))

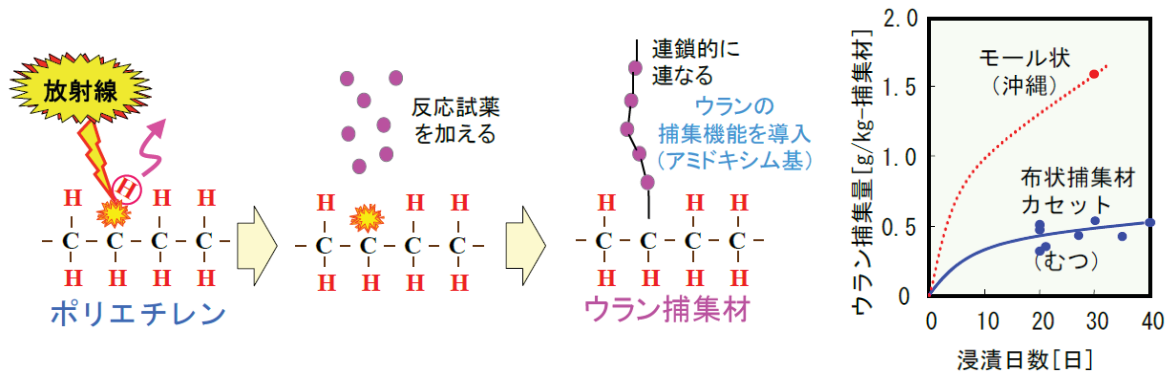


熔融塩実験炉、高温ガス炉などでトリウム含有燃料のワンスルーでの利用実績がある。

米LightBridge社のVVER用Th試験燃料(VVER:ロシア型PWR)

出典: LightBridge社HP

海水ウラン捕集

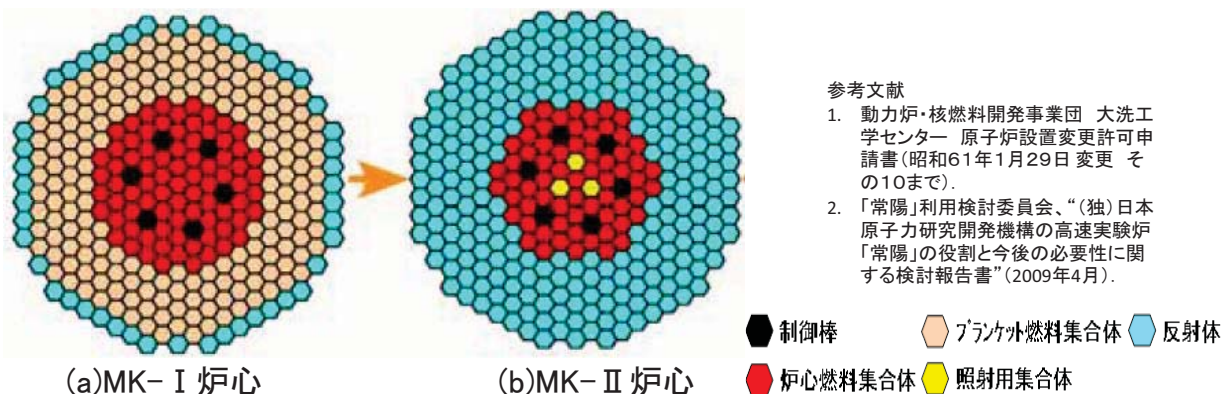


- 海水中のウランを放射線を用いて改良した高分子の捕集材を用いて捕集(技術では日本がトップクラス)
- 海水1t中には3.3mgのウランが溶存し、黒潮が運ぶ資源量の1%未満で国内需要は充足可能だが、温暖地沿岸に1000km²程度の捕集材の係留場所が必要

出典: 原子力委員会第20回定例会議(2009年)

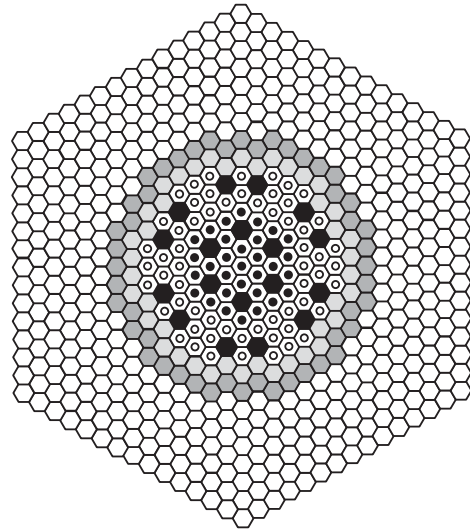
FBRとFRの技術的な観点の差について

- FRは高速炉の総称であり、そのうち増殖比が1を越えるものをFBRと呼ぶ。炉心の増殖比を調整するためにブランケット燃料の追加・削除などを行うが、それ以外は同一のプラント仕様で増殖比を1以上(増殖)にも、1以下(燃焼)にもでき、技術的観点で差はない。
- また、FRをアクチノイド専焼炉として利用する場合、炉心概念として、アクチノイドを通常の炉心燃料に均質に混ぜる方式(均質装荷)と、濃度を高めて特殊な燃料を少数体作り燃やす方式(非均質装荷)がある。
- 前者の場合、原子炉プラントも燃料サイクル施設も、FBRサイクルと同一の仕様で対応可能である。一方、非均質装荷の場合、原子炉プラントと多くの炉心部分はFBRサイクルと同一であるが、特殊な燃料集合体に関しては、前述の燃料サイクルとは異なる燃料サイクル施設が必要となる。
- 「常陽」MK-I炉心、MK-II炉心構成図を示す。MK-Iは増殖を行うFBR炉心であるが、ブランケット燃料集合体を反射体に置き換えることで、集合体の大きさ及び総本数を変えずに、燃料増殖を行わない照射用のFR炉心であるMK-IIIに変更している。



アクチノイド燃焼システムについて

- マイナーアクチノイド(MA)を主成分とするターゲット燃料またはMOX燃料にMAを少量混合した燃料を用いてMAを燃焼
- ターゲット燃料は全炉心装荷する方式と部分装荷する方式がある
- MAは炉心の核的安全特性がウランより劣るため、以下の対応策が提案されている
 - MA装荷量を抑えて、安全性を担保
 - 炉心を未臨界状態で運転する加速器駆動システム(ADS)にMAを集中的に装荷
- MA専焼炉心の基本的な設計はFBRと同様だが、MA燃料に対応した遮へいや燃料取扱い設備等の増強が必要
- ADSも炉心設計の考え方は同様だが、さらに大強度加速器、核破砕ターゲットなどADS固有の技術開発が必要

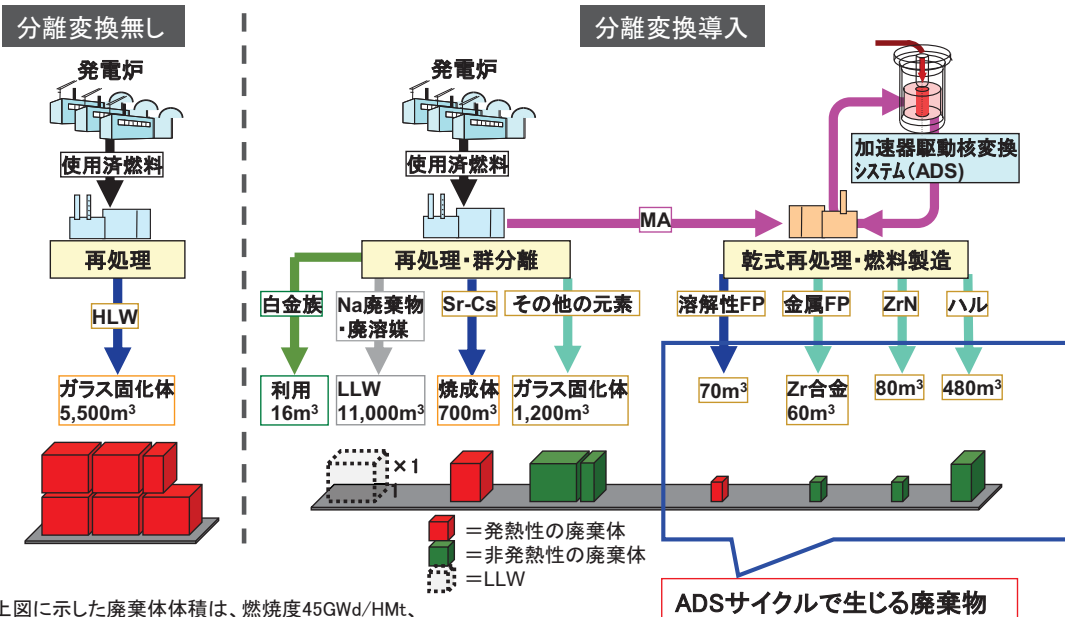


- Np-Pu-Zr燃料 31本
- Np-Pu-Zr燃料 60本
- ◇ AmCm-Pu-Y燃料 42本
- ◐ AmCm-Pu-Y燃料 48本
- 制御棒 18本
- 反射体 432本

MAターゲット燃料専焼炉(M-ABR)の炉心断面図
出典:JAERI-M89-091より事務局編集

参考:分離変換から生じる廃棄物

- 核変換に最適化されたADSシステム(軽水炉10基を核変換システム1基でサポート)の導入により、発熱性の廃棄物の体積を低減できる可能性がある

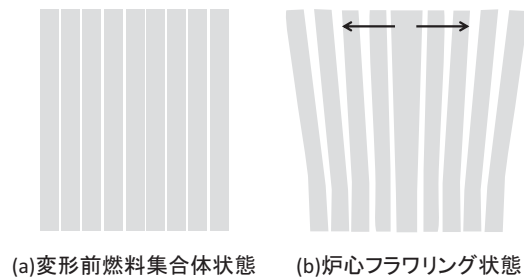
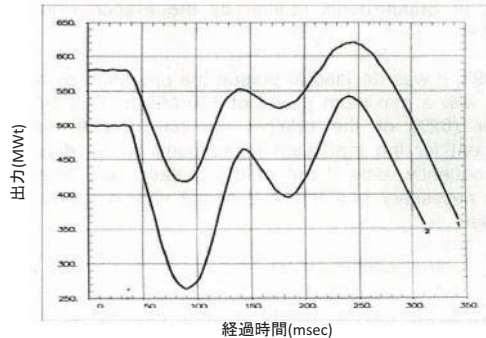


上図に示した廃棄物体積は、燃焼度45GWd/HMt、4年冷却の軽水炉使用済燃料32,000HMtで規格化

出典:原子力委員会 分離変換技術検討会 第1回 資料第1-3-2号(平成20年)をもとに事務局作成

フランスのフェニックスで発生した出力変動について(1/2)

- 1989年8月及び9月に計3回、1990年9月に1回の計4回にわたり、フェニックス炉心の中性子検出器の信号が急激に低下し、その後0.2秒程度の極短時間に数回の信号の振動を経て原子炉が自動停止した(左図)。安全上の問題は無いことを確認し、規制当局の許可を得て運転が再開された。
- 原因について詳細な検討が行われ、炉心を構成する集合体が径方向外側に変形する炉心フラワリングと呼ばれる現象(右図)が原因の一つではないかと考えられているものの、まだ最終的な結論には至っていない。
- フェニックスでは、2009年3月6日の運転停止後、本現象の解明に資するため、炉心フラワリング効果を把握するための試験を行い、試験の分析が継続されている。

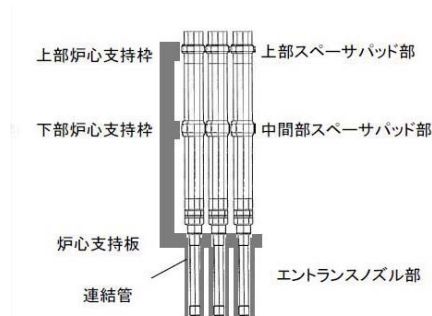


出典 D. DALL'AVA, L. MARTIN and B. VRAY, "35 years of operating experience of PHENIX NPP Sodium cooled Fast Reactor," Proceedings. of the 17th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE17), Brussels, Belgium, July 12-16, 2009.

フランスのフェニックスで発生した出力変動について(2/2)

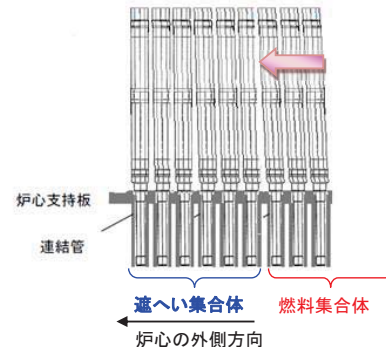
- 本事象は、出力が大きく低下した事象であり、またそれを検知した安全保護系によりスクラムが起動して極短時間で炉が自動停止した事象であることから、安全上の問題とはならないと判断される。
- また、有力原因の一つではないかと考えられているフラワリング現象に関しては、フェニックスの炉心は外周部が構造物により拘束されていない(右図)のに対して、日本の高速炉の炉心は耐震性を考慮して構造物により拘束されている(左図)ことから、炉心フラワリングは抑制されると考えられる。

拘束型炉心(日本)



炉心構成要素の上部及び中間部のスペーサパッドと炉心槽に取付けられた炉心支持棒により、炉心構成要素の半径方向の移動を制限。

非拘束型炉心(仏)



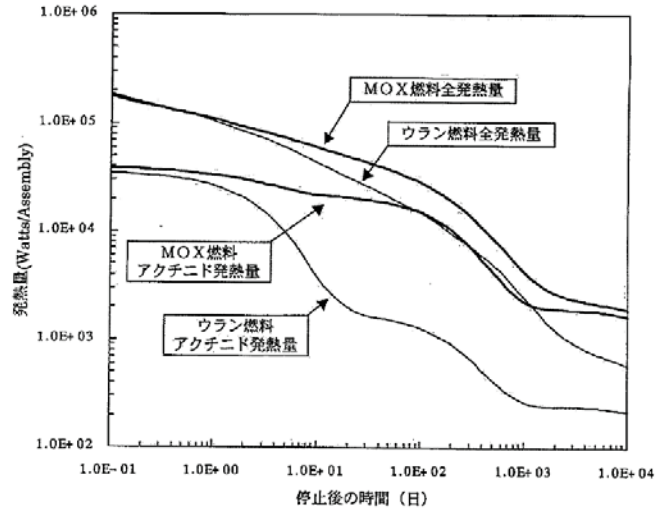
炉心周辺部分に多数存在する遮へい体のスプリング効果により、炉心構成要素の半径方向の移動を制限。

MOX使用済燃料の貯蔵について(1/2)

①崩壊熱(発熱量)

MOX燃料が燃焼すると、Pu同位体の中性子吸収により、一般に核分裂生成物に比べて、長寿命の高次のアクチニド核種が多くなることから、長期冷却時点におけるMOX燃料使用済燃料の崩壊熱は、ウラン燃料よりも大きくなる。

→プール、キャスクでの貯蔵において、崩壊熱を考慮する必要があるが、ウラン使用済燃料との差は小さい。



MOX燃料 (代表組成)
ウラン燃料 (濃縮度 4.1wt%)

図 3-1 MOX燃料とウラン燃料の崩壊熱 (代表例)

三菱重工業株式会社「MOX燃料の取扱及び貯蔵について」
(MHI-NES-1007 改1 平成10年7月)

②核拡散抵抗性

プルトニウムの貯蔵の観点からは、PuO₂粉末、MOX粉末、MOX新燃料の形態での貯蔵に比べて、MOX使用済燃料での貯蔵が核拡散抵抗性が高い。

MOX使用済燃料の貯蔵について(2/2)

③放射線

MOX使用済燃料はウラン使用済燃料と比較して、Pu同位体の中性子吸収により、Am、Cm等の高次のアクチニド核種が多くなることから、中性子線源強度が大きく、核分裂生成物が少ないことからγ線源強度が小さくなる。

→中性子は水中では十分減衰することから、プールでの貯蔵は問題とならない。キャスクでの貯蔵時には、中性子線源を考慮した設計・運用が必要となる。

④臨界性

MOX新燃料において、キャスクでの輸送、プールでの保管に関して実績があり、MOX使用済燃料の臨界が問題になることはない。また、MOX燃料については貯蔵中にPu-241が減衰するため、臨界性はより低下していく。

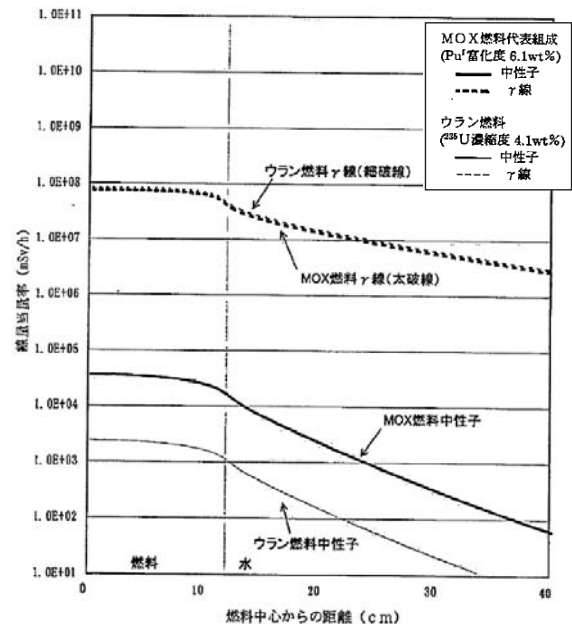
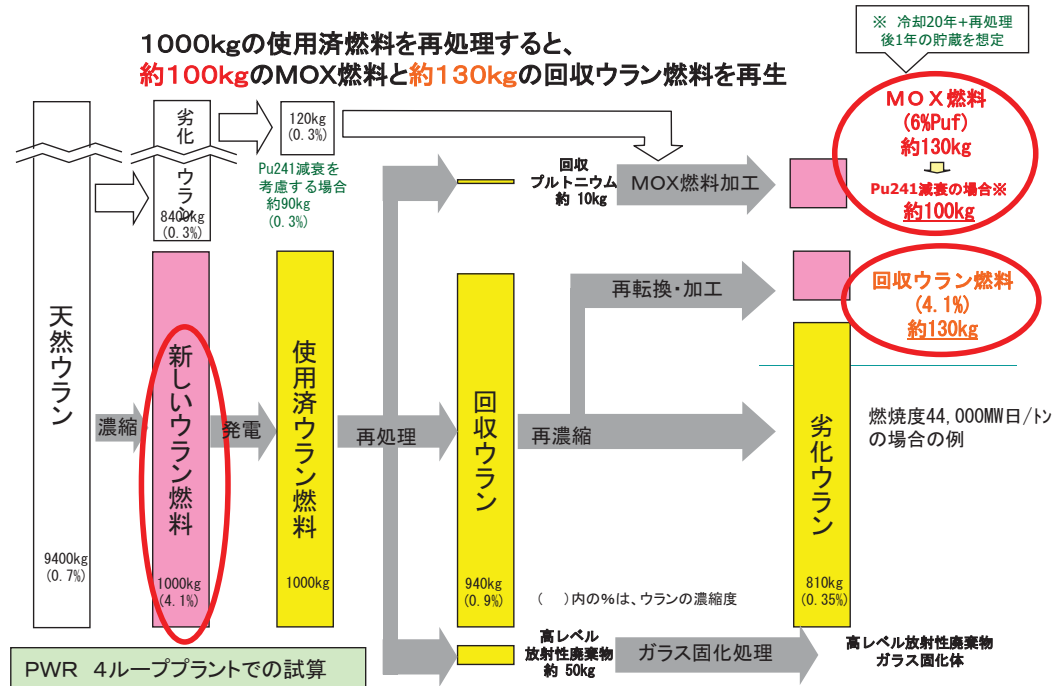


図 4-2 ウラン燃料とMOX燃料の使用済燃料からの線量率
三菱重工業株式会社「MOX燃料の取扱及び貯蔵について」
(MHI-NES-1007 改1 平成10年7月)

ウラン資源節約効果



2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

69

用語解説

- FSV(Fort St. Vrain)炉
 - トリウム-ウラン燃料を用いる米国の発電用高温ガス炉(電気出力33万kW)。1976年から1989年まで全出力運転を実施後閉鎖。
- AVR
 - 独ユーリッヒ研究所に設置された球状燃料を用いる電気出力1.5万kWの発電用実験炉。1988年閉鎖。
- HTTR(高温工学試験研究炉)
 - 黒鉛製の燃料ピンが挿入された黒鉛ブロックを積層した、ピンインブロック型炉心を有する熱出力30MWの実験炉。1998年に初臨界に到達(運転中)。

2012/3/1

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(第9回)

70

用語解説

- KALLA (The Karlsruhe Lead Laboratory)
 - 独Karlsruhe研究所に加速器駆動システムの研究開発のために設置された大型の液体鉛ビスマスループ

- MEGAPIE (MEGAwatt Pilot Experiment)
 - スイスポールシェラー研究所(PSI)で実用に供された世界初の液体鉛ビスマス合金核破砕中性子源。



MEGAPIEターゲット(出典: PSI HP)

用語解説

- SPX (Super Phenix)
 - 世界初の商業規模高速増殖実証炉として1986年に電気出力124万kWに到達。1998年、ジョスパン政権の方針により閉鎖。

- もんじゅ
 - 高速増殖原型炉。電気出力約28万kW、増殖率約1.2。1994年4月臨界を達成、1995年8月に初送電したが、同年12月2次冷却系ナトリウムの漏えい事故が発生。現在は炉心確認試験を実施中。
 - ナトリウム漏えい対策のための改造工事や、長期間稼働を停止した設備の点検、補修等を行い、2010年5月に再稼働。同年7月に炉心確認試験の全ての工程を終了したが、8月に炉内中継装置を落下するトラブルが発生。翌年6月に装置の引抜きを完了した。
 - 現在は、東京電力福島第一原子力発電所の事故を受け、40%出力プラント確認試験の実施を見送り、更なる安全性向上のための取組を行っている。

用語解説

- MSRE (Molten-salt Reactor Experiment)
 - 1965年初臨界。熱出力8MW。U-235, U-233, Pu添加U-233による運転が行われ、様々な核燃料で運転可能な柔軟性を実証。1969年に閉鎖。

- Shippingport炉
 - 世界発の商用発電を目的としたPWRとして米国で1958年より運転開始。電気出力6万kW。トリウム燃料からのウラン増殖の可能性を実証。1982年閉鎖。

用語解説

- La Hague再処理工場
 - フランス・シェルブールにあり、UP2施設とUP3施設から構成
 - UP2施設は、当初ガス炉使用済燃料の処理用であったが、後に前処理設備を付設し軽水炉使用済燃料の再処理も可能とした。800トンU/年の処理能力を有するUP2-800が1994年8月に操業開始。
 - UP3施設は、1990年8月に操業を開始。年間処理能力は800トンU。1970年代にドイツ、日本、ベルギー、スイス、オランダと再処理委託契約を締結
 - 両施設は順調に稼働しており、2011年には、UP2とUP3を合わせて、1,045トンU(2010年は1,048トンU)の使用済燃料を再処理した。

用語解説

■ FaCT (Fast Reactor Cycle System Technology Development Project)

- 高速増殖炉実用化研究開発。次世代のプラントが具備すべき安全性、経済性等の性能目標を達成する高速増殖炉サイクルの実用化像と実用化に至るまでの研究開発計画を2015年に提示することを目標とし、研究開発や実証施設の概念設計を実施。2010年度末までの第一段階の成果(実用施設への適用を目指す革新的な技術の採否判断結果など)を取りまとめ、その評価の途上で、東電福島第一原子力発電所の事故が発生し、現在、研究開発を原則凍結中。

■ J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex)

- 世界最高レベルの陽子ビームを用いて発生させる多彩な二次粒子を用いて研究を行う施設。日本原子力研究開発機構と高エネルギー加速器研究機構が合同で設置。既に建設が完了している物質生命科学実験施設及び原子核・素粒子実験施設に加え、入射用リニアックの陽子ビームを使った長寿命放射性核種の核変換(ADS)のための基礎的実験を行う核変換実験施設を計画。中性子線施設が「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」(共用法)の対象。
- 東日本大震災で甚大な被害を受けた。一部復旧中であるものの、平成24年1月24日に利用運転を再開。

用語解説

■ UREXシリーズ

- 米GNEPの枠組みの下で、PUREX法を基本とした単体Puを分離しないプロセス法。分離変換までを視野に入れた様々な核種の分離方法を更に追加したUREX+シリーズを提案・開発している。

■ IFR計画 (Integral Fast Reactor)

- 米アルゴンヌ国立研究所の金属燃料小型高速炉モジュールプラント開発計画。伝熱特性に優れ、乾式再処理が適用可能な金属燃料を採用。500°C前後の高温での燃料取扱い技術が課題とされた。1994年に議会在議が計画中止を決定。

第2ステップに向けて指摘された 重要課題（改訂版）

平成24年4月12日

内閣府 原子力政策担当室

第2ステップに向けて指摘された重要課題

- ① エネルギー安全保障・ウラン燃料供給
確保問題
- ② 使用済燃料管理・貯蔵問題
- ③ 核燃料サイクルを巡る国際的視点

①エネルギー安全保障・ウラン燃料供給確保問題(1)

- 原子力発電は火力発電にくらべ、(燃料サイクル選択肢の如何にかかわらず)、供給安定性、備蓄効果が高いことなどから、燃料危機への抵抗力は高い。
 - 一方、事故等による長期間停止や集中立地に伴う大規模離脱のリスクが存在する。
- 今後20～30年における重要な課題としては、中進国などの需要の急増に伴う短期的なウラン市場の需給ひっ迫や化石燃料価格と連動した価格急騰である。
 - 天然ウランの供給国は比較的分散しているが、濃縮ウランは相対的に寡占度が高く、我が国は米国依存度が高い。
- ウラン発見資源(確認+推定)は今後50年程度の需要が満たせると考えられるが、その後、原子力発電の伸びによっては資源制約及びコスト増を考慮する必要がある。

①エネルギー安全保障・ウラン燃料供給確保問題(2)

上記の課題に対する対応策:

- 短期的対策:供給先の多様化、輸送ルートが多様化、備蓄などの対応
- 中期的対策:プルトニウム、ウランのリサイクルによる資源の節約、資源開発への投資などによる資源確保
- 長期的には、第1ステップで検討されたような資源制約を緩和する技術の開発

②使用済燃料管理・貯蔵問題(1)

- 世界の動向をみると、使用済燃料の管理・貯蔵問題が最も逼迫した課題として検討されている。
 - 直接処分・リサイクル路線にかかわらず重要
 - プール貯蔵・乾式貯蔵、オンサイト・オフサイトなど、安全な管理・貯蔵方式は多様に存在する。
 - 政策選択に柔軟性を与えることができることも重要。
- 長期的には資源としてリサイクルする選択肢を維持する国が増えているとの調査もあるが、当面は長期(50年から100年)貯蔵の傾向が増加している。
- ただし、世界的にはオンサイト貯蔵が多く、集中貯蔵施設の立地が実現している国は少ない。

②使用済燃料管理・貯蔵問題(2)

- 国内では、六ヶ所再処理工場、並びに各発電所サイトの貯蔵能力が満杯に近づきつつあることが最も逼迫した課題。
 - 発電所においては、過去のようなリラッキングなどによる貯蔵能力の拡大の余地が少なくなりつつある。
 - むつ市におけるリサイクル燃料貯蔵(株)の中間貯蔵施設は、貯蔵する使用済燃料をいずれ再処理することが、使用済燃料の地元受け入れの前提。
- 今後は、オンサイト・オフサイトにかかわらず、貯蔵能力の確保が最大の課題。
 - 再処理施設の稼働状況にかかわらず、いずれにせよ貯蔵能力の拡大が急務。

③核燃料サイクルを巡る国際的視点(1)

- 福島事故以降も、世界では原子力発電がより広く用いられる傾向にあることに変わりはなく、日本への期待は引き続き継続している。
 - 原子力先進国として、3S(safety, security, safeguards)の分野で、日本が果たしてきた役割と責任は引き続き極めて重要。
 - 福島事故の影響として、原子力安全や核セキュリティの分野など、日本への信頼が揺らいだとの見方もある。
 - 一方で、核拡散、核テロへの懸念は継続して国際政治・安全保障上の重要課題である。

③核燃料サイクルを巡る国際的視点(2)

- 日本は、非核兵器国でありながら核燃料サイクル能力(濃縮・再処理を含む)を有する独特の位置づけにある。
 - 平和利用に徹した核燃料サイクルを有する模範国(role model)との見方がある。
 - 技術の拡散防止や保障措置技術の開発、核拡散抵抗性の高い技術の開発等を通じ、透明性を高めている。
 - Pu利用計画(含む高速炉計画)が計画通り進められておらず、プルトニウムの在庫が増えていることに対する懸念や抑止力として潜在的能力をめぐる議論がある。
 - 日本のサイクル政策が他国に再処理等を実施するインセンティブを与えているとの見方があるが、サイクル能力所有を奪い得ない権利と主張する国は、日本の動向にかかわらず開発を推進するとの見方もある。

③核燃料サイクルを巡る国際的視点(3)

- 核燃料サイクル施設や技術の拡散をできるだけ避けようとする「多国間枠組み」の議論がある。
 - 燃料備蓄、ウラン濃縮では一部実現。
 - 使用済燃料貯蔵、処分、再処理といったバックエンド分野ではまだ実現していない。
- 日本の核燃料サイクル政策を議論する際には、世界の核拡散・セキュリティリスクへの低減に積極的に貢献するとの視点が求められる。
 - これまでの「日本は例外」、「一国完結主義」の枠では、国際社会の理解が得られず、限界があるとの見方。
 - 独自の「国力」「外交で勝ちえた権利」としての希少価値やその意義を重視すべきとの見方。

Blank Page

各原子力比率におけるステップ 3 の評価

| | 頁 |
|----------------------|-----|
| ・ 原子力比率 I（35%）のケース | 1 |
| ・ 原子力比率 II（20%）のケース | 43 |
| ・ 原子力比率 III（15%）のケース | 85 |
| ・ 原子力比率 IV（0%）のケース | 129 |
| ・ 使用済燃料の返送リスクについて | 167 |

平成 24 年 5 月 23 日

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会

ステップ3の評価:2030年まで (原子力比率 I のケース)

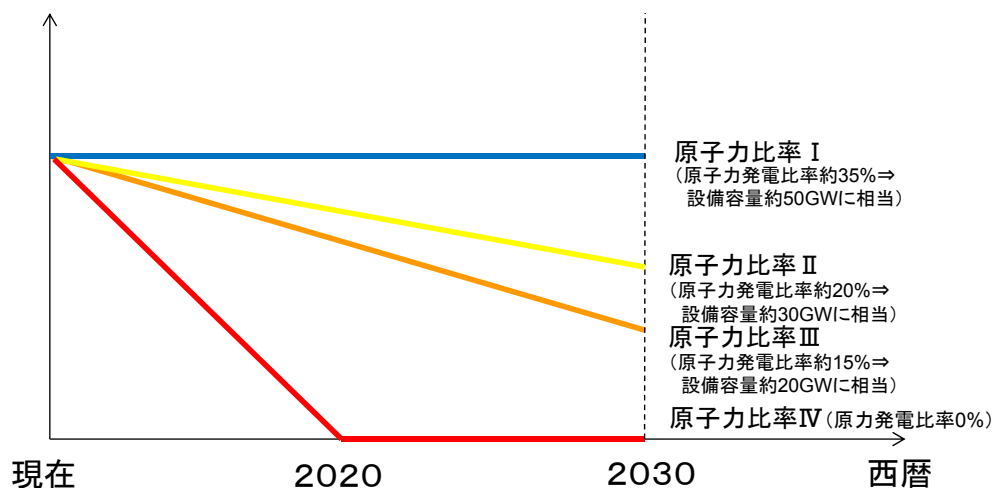
2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

1

各原子力発電比率の設定

総合資源エネルギー調査会基本問題委員会で検討されているエネルギーベストミックスにおける原子力発電比率のうちから、代表的な4つを選定した。



2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

2

各原子力比率における設備容量

原子力比率Ⅰ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率: **35%**
設備利用率: 約80%
(1兆kWh × 35%) / (365日 × 24時間 × 80%) = **約50GW**

原子力比率Ⅱ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率: **20%**
設備利用率: 約80%
(1兆kWh × 20%) / (365日 × 24時間 × 80%) = **約30GW**

原子力比率Ⅲ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率: **15%**
設備利用率: 約80%
(1兆kWh × 15%) / (365日 × 24時間 × 80%) = **約20GW**

原子力比率Ⅳ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率: **0%**

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

3

シナリオ評価における評価項目について

◆短期的に重要な課題

- 使用済燃料管理・貯蔵
 - 使用済燃料貯蔵量、貯蔵容量
- 核燃料サイクルを巡る国際的視点
 - Pu利用(在庫量)、国際貢献
 - 核不拡散、核セキュリティリスクへの影響
 - 日米原子力協定への影響
- 政策変更または政策を実現するための課題(立地困難性を含む)
 - 使用済燃料貯蔵への影響、立地自治体との信頼関係への影響、雇用への影響、技術力への影響(人材、技術基盤・インフラストラクチャの影響)、海外委託再処理に伴う返還廃棄物への影響、政策変更に伴う費用負担のあり方

◆中・長期的に重要な課題

- 経済性
 - シナリオに基づく核燃料サイクルの総費用 など
- エネルギー安全保障、ウラン供給確保
 - 資源節約、燃料危機への抵抗力
- 放射性廃棄物発生量
- 選択肢の確保(柔軟性)
 - 開発の柔軟性、政策変更への柔軟性

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

4

短期的に重要な課題

使用済燃料管理・貯蔵：使用済燃料貯蔵量、貯蔵容量

共通事項

- 2010年末時点の使用済燃料の総量は約1.7万tUである。2030年までに追加で発生する使用済燃料の発生量は、約1.9万tUであり、合計で約3.6万tUとなる。
- サイト内の使用済燃料プールの貯蔵容量は約2万tU(2010年時点)である。
- 六ヶ所再処理施設の貯蔵容量は0.3万tU、現在建設中のむつりサイクル燃料貯蔵施設(以下「むつRFS」という。)は0.5万tUの貯蔵容量※がある。
※東京電力㈱と日本原子力発電㈱の使用済燃料が対象
- 今後は敷地内、敷地外にかかわらず、貯蔵容量の確保が課題。

シナリオ1(全量再処理)

- 再処理を2030年まで運転した場合、使用済燃料の総量は約2.2万tUとなる。
- 再処理工場の稼働状況によっては、使用済燃料貯蔵容量が逼迫する可能性があるため、貯蔵容量の増強は必要である。

シナリオ2(再処理/処分併存)

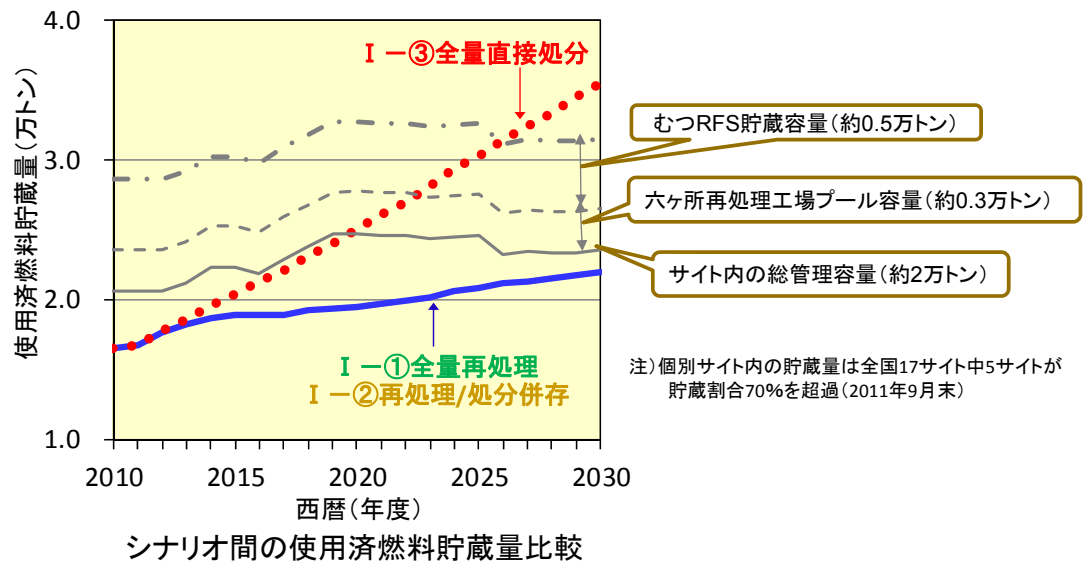
- 貯蔵容量と使用済燃料発生総量はシナリオ1と同じ。
- むつRFSは再処理を前提とした貯蔵施設であるため、再処理を前提とした使用済燃料を貯蔵する。
- 再処理工場の稼働状況によっては、使用済燃料貯蔵容量が逼迫する可能性があるため、貯蔵容量の増強は必要である。

シナリオ3(全量直接処分)

- 2030年まで廃棄物としての使用済燃料は約3.6万tU発生し、現在の貯蔵容量を超えることから、貯蔵容量の増強が喫緊の課題となる。
- むつRFSは再処理を前提とした貯蔵施設であるため、直接処分を前提とした利用に課題がある。また、六ヶ所再処理施設での貯蔵継続に課題がある。

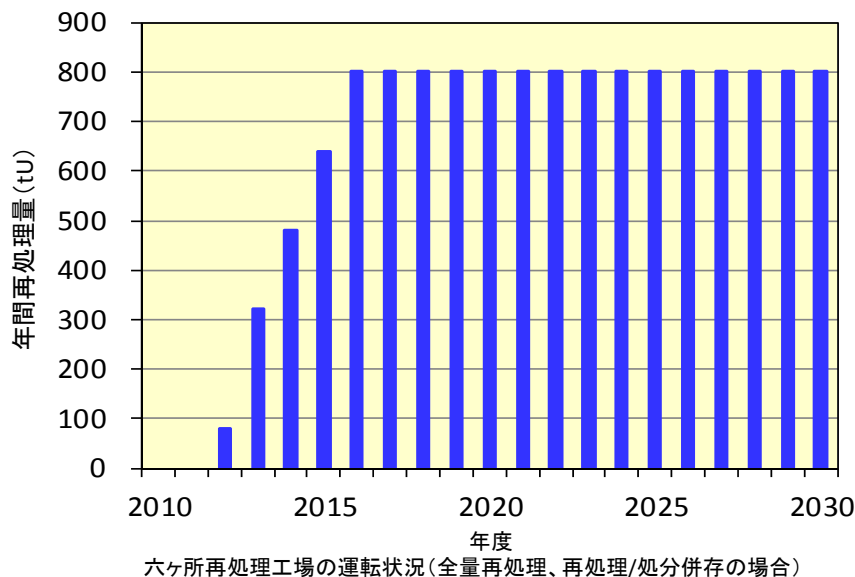
解析結果(使用済燃料貯蔵量)

- 全量直接処分 I-③の場合、使用済燃料貯蔵量は直線的に増加し続けるが、六ヶ所再処理工場を運転する I-①および I-②の場合、使用済燃料はリサイクルするため、その貯蔵量の増加を抑えることができる。



解析結果(六ヶ所再処理工場運転状況)

- プルサーマルで消費されるPu量に応じて、海外のPu利用も考慮しつつ六ヶ所再処理工場で使用済燃料の再処理を行う。
- 六ヶ所再処理工場は800トン/年の処理能力到達以降、一定の処理量となり、2012年から2030年までに約1.4万トンの使用済燃料を処理する。



前提条件:

- プルサーマルを実施する原子炉(以下「プルサーマル炉」という。)で消費されるPu量に応じて再処理を実施
- 全国の16~18基のプルサーマル炉を用い17GW程度で運転するとし、海外のPu及び六ヶ所再処理工場から回収したPuを利用すると想定(福島第一原子力発電所3号機は除く)

核燃料サイクルを巡る国際的視点：Pu利用（在庫量）

共通事項

- 2010年末時点で、海外からの未返還分（約23tPuf）、国内発電所保管分（約1tPuf）及び抽出済み分（約2.3tPuf）が存在するため※、これらを減らすことが必要。
- 海外未返還分と国内発電所保管分は約1700万kW相当の原子炉によるプルサーマル約10年で利用可能。ただし、プルサーマル受け入れに関する地元の理解が必要。
- 再処理に伴い回収される回収Uが現在国内に約1,900tU存在し、その取扱いが課題。

シナリオ1（全量再処理）

- 今後、再処理によってPuが発生（800t/年の場合、4tPuf/年強）するが、プルサーマルを実施する原子炉の規模を約1700万kWと仮定すると、現有Puを削減しつつ、現有Puがなくなった後もPuを増やさずバランスしながらプルサーマルの実施が可能。

シナリオ2（再処理/処分併存）

- 今後、再処理によってPuが発生（800t/年の場合、4tPuf/年強）するが、プルサーマルを実施する原子炉の規模を約1700万kWと仮定すると、現有Puを削減しつつ、現有Puがなくなった後もPuを増やさずバランスしながらプルサーマルの実施が可能。
- シナリオ2においては、使用済MOX燃料の処理処分の方針が不透明となるため、プルサーマル受け入れに関する地元の理解に対し、より一層の努力が必要となる。

シナリオ3（全量直接処分）

- 国内MOX燃料加工工場の建設は中止されるため、国内で抽出済みのPu約2.3tPufをMOX燃料に加工する能力の確保が必要である。

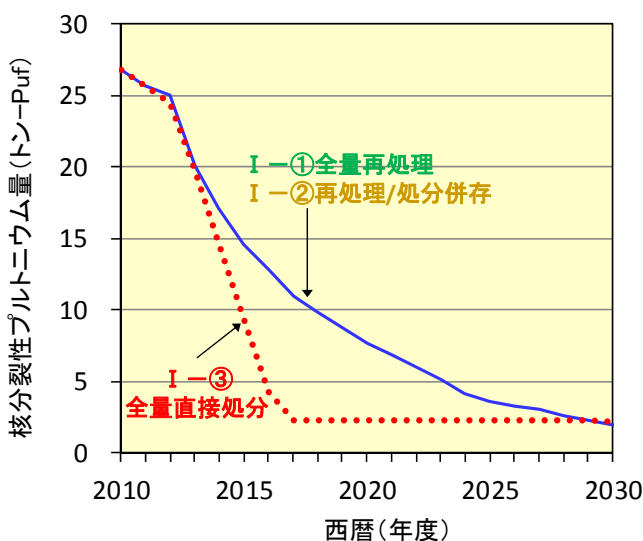
※我が国には、その他研究用として約3.3tPuf存在する。

2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

9

解析結果（Pu貯蔵量）



核分裂性プルトニウム貯蔵量の推移

| シナリオ | 2030年時点で貯蔵されている使用済燃料中に含まれるPu(トン) |
|--------------|----------------------------------|
| I-① 全量再処理 | 約180 |
| I-② 再処理/処分併存 | |
| I-③ 全量直接処分 | 約220 |

2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

10

核燃料サイクルを巡る国際的視点： 国際貢献

共通事項

- ・ アジア、中東等における原子力発電所の利用が拡大していく中で、核不拡散、特に使用済燃料の的確な管理等が避けられない課題。我が国は原子力発電に関する主要な技術保有国・輸出国であり、また、非核兵器保有国でありながら核燃料サイクル能力を有する独特の位置づけにある。

シナリオ1(全量再処理)

シナリオ2(再処理/処分併存)

- ・ 高速炉サイクル技術を含む核燃料サイクル施設で培った安全、保障措置、核セキュリティに関する基盤技術を他の国に技術支援することにより、国際貢献できる。
- ・ 我が国の設備規模、運転状況に依存するが、多国間枠組みに我が国が積極的に関わることができる。

シナリオ3(全量直接処分)

- ・ 核燃料サイクル分野において国際貢献できる範囲はシナリオ1、シナリオ2と比べて狭まる。但し、その範囲において積極的にかかわることができる。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

11

核燃料サイクルを巡る国際的視点：核不拡散、核セキュリティにおけるリスクへの影響

共通事項

- ・ IAEA保障措置や核セキュリティの要求項目を満足させる必要がある。
- ・ 世界の核拡散、核セキュリティにおけるリスクの低減に貢献することが重要である。

シナリオ1(全量再処理)

- ・ 平和利用に限定することについて国際理解の増進が必要。
- ・ 核拡散や核テロの発生に対する国際社会の懸念を招かないよう、Pu取扱量や輸送量が増えることに対して国際社会で合意された厳格な保障措置、核セキュリティ対策を講じることが求められる。
- ・ 我が国の再処理施設の保障措置のため、現状、査察に毎年約1,000人日[※]の人工数を要している(2010年実績で、原子炉等規制法で規制される全ての施設を対象とした査察に毎年約2,500人日を要する)。
- ・ ガラス固化体はIAEAの検認を経て包括的保障措置の適用を終了させ得るが、核セキュリティ上への対応は必要。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- ・ 基本的にはシナリオ1と同様。
- ・ 使用済燃料の直接処分にはPuが含まれるため、処分後の保障措置についての国際的な検討が必要。

シナリオ3(全量直接処分)

- ・ Pu取扱量や輸送量が減るものの、現有再処理施設等にPu等の核物質が存在する限り、核不拡散、核セキュリティの取り組みの維持が必要。
- ・ 使用済燃料の直接処分にはPuが含まれるため、処分後の保障措置についての国際的な検討が必要。

※ 平成23年第29回定例会資料4号『我が国における保障措置活動状況等について』参照

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

12

核燃料サイクルを巡る国際的視点：日米原子力協定への影響

共通事項

- 1974年のインドの核実験を契機としたカーター米大統領による核不拡散政策の強化により、旧動力炉・核燃料開発事業団（現日本原子力研究開発機構）の東海再処理施設（1971年建設開始）における米国から輸入された核物質の再処理について、日米原子力協定（旧協定）に基づく米国の同意取り付けが難航した。核不拡散強化方針を打ち出していた米国との間で10年にわたる交渉の結果、再処理にかかる包括同意等を取り付けた（1988年）。

シナリオ1（全量再処理）

- 再処理を継続する場合でも、福島事故を踏まえ、核セキュリティの強化など、より厳格な不拡散に関する措置が求められる可能性がある。

シナリオ2（再処理/処分併存）

- 再処理を実施する場合はシナリオ1と同じ。
- 再処理能力を超えた使用済燃料の扱いが不明確のままであるため、その取扱いを米国と協議することが必要となる可能性がある。
- 将来再処理するかどうか不明確な場合、米側から再処理についての包括同意の見直しを求められる可能性がある。

シナリオ3（全量直接処分）

- 再処理を中止するため、日米協定にその内容を反映することが必要。
- 一旦再処理政策を取りやめ、再び再処理政策を選択しようとする場合、改定交渉が難航し、長期に亘って再処理ができない可能性がある。

2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

13

政策変更または政策を実現するための課題

社会受容性：立地困難性（使用済燃料貯蔵施設）

共通事項

- 政策選択肢の柔軟性の確保のため、使用済燃料の貯蔵容量の増強が必要である。
- 使用済燃料貯蔵容量の増強に関して、地元の理解、同意に時間を要する。（敷地内：使用済燃料プールの増強、貯蔵施設の追設、敷地外：貯蔵施設の建設）
- 敷地外の使用済燃料貯蔵施設に関しては地元の了解を得ているのはむつRFS一箇所のみである。むつRFSは、使用済燃料を再処理するまで50年間貯蔵することで地元了解と国からの事業許可を得ている。
- いずれのシナリオでも、地元からは使用済燃料を搬出すること（特に時期）を求められる。

シナリオ1（全量再処理）

- 貯蔵する使用済燃料の量は、他のシナリオと比較して相対的に少ない。
- 地元に対し、使用済燃料は再処理するまで貯蔵することで申し入れる。

シナリオ2（再処理/処分併存）

- 2030年まででは、貯蔵する使用済燃料の量はシナリオ1と同じ。
- 地元に対して、従来説明し理解を得ている内容に修正を加え、使用済燃料は再処理するまで貯蔵するか廃棄物として貯蔵するか、不明確な位置付けで申し入れることになる。
- 申し入れに当たり、使用済燃料の扱いの将来像が不明確な場合には、搬出先についても求められる可能性がある。

シナリオ3（全量直接処分）

- 貯蔵する使用済燃料の量は、他のシナリオと比較して相対的に多い。
- 地元に対して、従来説明し理解を得ている内容に修正を加え、使用済燃料は廃棄物として貯蔵することで申し入れる。
- 申し入れに当たり、搬出先についても求められる可能性がある。

2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

14

社会受容性：立地困難性（最終処分施設）

共通事項

- ・ 現時点で、貯蔵されている使用済燃料が約1.7万tU、ガラス固化体が約2,600本ある。放射性廃棄物の処分対策は将来世代に先送りすべきでない。
- ・ 最終処分施設の立地はいずれのシナリオでも容易ではない。

シナリオ1(全量再処理)

- ・ 最終処分施設の面積は他のシナリオと比較して小さくなる。
- ・ ガラス固化体を前提とした地層処分については、ガラス固化の安定性等の知見が得られており、それを踏まえた立地活動が行われてきている。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- ・ 直接処分も行う場合には、最終処分施設の面積はシナリオ1と3の中間となる。（直接処分を行う使用済燃料の量に応じて変化する。）
- ・ 直接処分も行う場合には、直接処分に関する十分な知見が得られるまで本格的な立地活動開始が困難なため、選定作業が遅れる可能性がある。また、プルトニウム等の核物質を埋設することに住民の理解の獲得が必要である。

シナリオ3(全量直接処分)

- ・ 最終処分施設の面積は他のシナリオと比較して大きくなる。
- ・ 直接処分に関する十分な知見が得られるまで本格的な立地活動開始が困難なため、選定作業が遅れる可能性がある。
- ・ プルトニウム等の核物質を埋設することに住民の理解の獲得が必要である。

雇用への影響

シナリオ3(全量直接処分)

- 再処理事業を中止した場合には、今後のサイクル事業全体(40年分の再処理工場の運転と廃止措置)のうち、40年分の再処理工場の運転にかかる雇用が失われることとなる。(サイクル事業に関連して働く人数は約5,000人(県内出身約7割)、一方、再処理施設の廃止措置に当たっては、年間約1300人の雇用が約30年間分残ると見込まれる。*)

| ■ 日本原燃株及び関連社員数 (人) | | | |
|--------------------|-------|-------|---------------------------------------|
| 会社名 | 社員数 | 県内雇用数 | 備考 |
| 日本原燃株 | 2,442 | 1,374 | 昭和61年度以降の新規採用者数は1,718人で、うち地元採用は1,345人 |
| (株)ジェイテック | 295 | 259 | |
| 原燃輸送株六ヶ所輸送事業所 | 31 | 25 | |
| むつ小川原原燃興産株 | 203 | 201 | |
| 六ヶ所原燃警備株 | 165 | 165 | |
| 関連会社※ | 1,902 | 1,594 | |
| 合計 | 5,038 | 3,618 | |

* 総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 第8回コスト等検討小委員会資料 第1-2「再処理施設の廃止措置費用について」に基づいて算出

※サイクル施設及び付帯施設の関連業務(メンテナンス等)を行う会社 合計51社

H23.4.1現在

経済面、技術基盤面への影響

- 我が国が培ってきた核燃料サイクルの技術力への影響(人材、技術基盤、インフラストラクチャーへの影響)

シナリオ1(全量再処理)

- 軽水炉サイクル及びFBRサイクル技術は現計画のままであり、今後開発を進めることで更なる発展が期待される。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- 軽水炉サイクル技術については、現計画のままであり、今後開発を進めることで更なる発展が期待される。
- 直接処分技術について実用化に向けた研究開発を行うため、直接処分に関する人材、技術基盤、インフラが蓄積される。但し、ガラス固化体処分と技術的に重なる部分が多く、その研究開発成果を流用できる。
- FBRサイクル技術については、実用化に向けた研究開発から、その実施の判断に必要な研究レベルに変わること、FBRに対する民間の投資意欲が減退する可能性がある。

経済面、技術基盤面への影響

- 我が国が培ってきた核燃料サイクルの技術力への影響(人材、技術基盤、インフラストラクチャーへの影響)

シナリオ3(全量直接処分)

- 直接処分技術について実用化に向けた研究開発を行うため、直接処分に関する人材、技術基盤、インフラが蓄積される。但し、ガラス固化体処分と技術的に重なる部分が多く、その研究開発成果を流用できる。
- 発電炉に比べて建設機会が非常に少ない再処理事業は、現在の施設の運転や改良工事を通じて知見の蓄積と改良を図りながら独自に技術力を維持・向上させる必要があり、事業が中止されれば、現時点で民間に蓄積されている建設・運転・保守の知見や人材は失われるため、再び再処理政策を選択したとしても、失われた技術を取り戻すために、長い期間や多大な費用が必要となる。
- FBRサイクルの実用化に向けた研究開発を中止した場合、関連の研究開発については、基本的に規模の縮小／中止(予算減、人員減、関連研究施設の廃止)となり、これまで培ってきた技術を長期間維持することは困難になる。また、これまで、常陽、もんじゅ等の建設・運転や、FBR実用化に向けて進めてきた研究開発によって民間に蓄積された技術・人材は失われることとなり、再びFBR実用化を目指したとしても、失われた技術を取り戻すために、長い期間や多大な費用が必要となる。

(参考)○高速増殖炉サイクル開発に関わる人材規模

【JAEA】

(核燃料サイクル工学研究所:約730名、高速増殖炉研究開発センター(もんじゅ):約210名、大洗研究開発センター(常陽など):約530名、次世代原子力システム研究開発部門:約180名)

【メーカー】約900人(FBRサイクル開発業務に従事するエンジニア数)

○再処理事業に関わる人材規模

【日本原燃】約 2400人

海外再処理に伴う返還放射性廃棄物

共通事項

- 仏国からの低レベル廃棄物、英国からの高レベル廃棄物が返還される予定。
- 返還放射性廃棄物は、青森県の協力のもとに、ガラス固化体に関する廃棄物管理施設へ一時的に受け入れ、管理期間終了後に搬出することとなっている。

シナリオ1(全量再処理)

- ガラス固化体に関する廃棄物管理施設の位置付けは変わらず、返還放射性廃棄物を現行の廃棄物管理施設に受け入れる現計画に変更なし。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- ガラス固化体に関する廃棄物管理施設の位置付けは変わらず、返還放射性廃棄物を現行の廃棄物管理施設に受け入れる現計画に変更なし。

シナリオ3(全量直接処分)

- 再処理を中止するため、六ヶ所再処理工場のガラス固化体に関する廃棄物管理施設への返還放射性廃棄物を受け入れることができなくなる可能性がある。
- 上記の場合、返還放射性廃棄物を受け入れるための施設を準備する必要があるが、受け入れ先の選定や建設等に時間を要する場合、仏国で「放射性廃棄物管理の研究に関する法律※」に抵触する等、国際問題となる可能性がある。

※放射性廃棄物管理の研究に関する法律 第3条—外国からの放射性廃棄物は、仮にその廃棄物が再処理委託によって発生した場合でも、再処理上、技術的に必要とされる期間を越えて貯蔵してはならない。

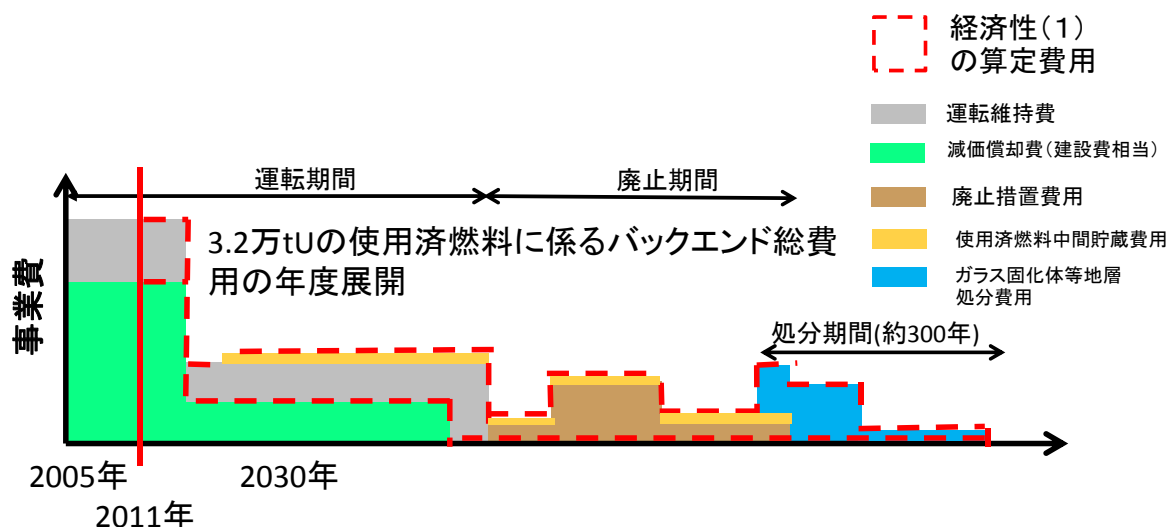
中・長期的に重要な課題

経済性(1)の評価方法

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用から、2011年以前に支出した費用、六ヶ所再処理工場の初期建設費の減価償却費を引いた総額を算出

経済性(1)の評価方法

—算定のイメージ(全量再処理)—

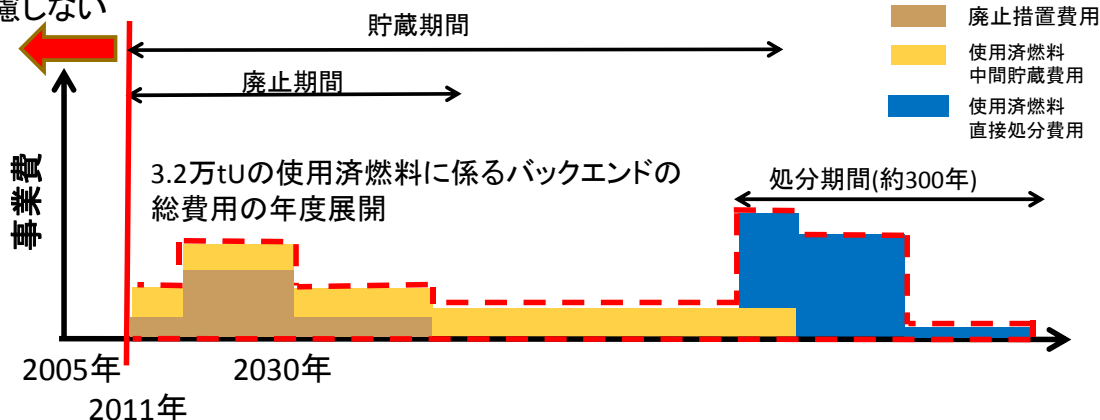


※なお、六ヶ所再処理工場の容量(3.2万tU)を超える使用済燃料分のバックエンド費用が生じる場合は、経済性(2)の評価と同じ方法とする。

経済性(1)の評価方法

—算定のイメージ(全量直接処分)—

2011年以前の費用は考慮しない



- 2030年までに発生する使用済燃料を直接処分する場合に発生する費用に加え、六ヶ所再処理工場の廃止措置を2012年より開始するとして費用を加える。

経済性(1)：将来を見通して発生する費用ベースの核燃料サイクルの総費用

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用から、2011年以前に支出した費用、六ヶ所再処理工場の初期建設費の減価償却費を引いて算出(第13回技術等小委員会、資料第1-5号参照)。なお、割引率は0%とした。単位：兆円

| 兆円, 割引率0% | シナリオ1 (全量再処理) | シナリオ2 (再処理/処分併存) | | シナリオ3 (全量直接処分) |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--|--|
| | | 中間貯蔵分を再処理 | 中間貯蔵分を直接処分 | |
| ウラン燃料 MOX燃料 (フロントエンド計) | 4.56 0.75 (5.31) | 4.56 0.75 (5.31) | 4.56 0.75 (5.31) | 4.94 0.16 (5.10) |
| 再処理等 中間貯蔵 高レベル廃棄物処分 直接処分 (バックエンド計) | 9.94 0.18 2.97 (13.1) | 9.94 0.18 2.97 (13.1) | 8.58 0.18 2.68 0.52~0.61 (12.0~12.0) | 1.78 1.82 0.04 5.19~6.07 (8.83~9.71) |
| 合計 | 18.4 | 18.4 | 17.3~17.4 | 13.9~14.8 |

上記の他に立地自治体との条件の変更に伴い追加の費用※が発生する可能性がある。

※：詳細は30ページ参照。

経済性(2)の評価方法

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用のうち、2010年から2030年までの間に積立しておくべき費用を算出

○ 費用算出の考え方

2010年から2030年で発生する使用済燃料の再処理や最終処分は主に2030年以降に行われる。このため、1kWh当たりのサイクルコスト^{注1}を用い、これに2010年から2030年で発生する原子力発電による電力量を乗じて総費用を算出(次頁参照)

$$\text{シナリオに基づく核燃料サイクルの総費用} = \text{サイクルコスト}^{\text{注1}}(\text{円/kWh}) \times \text{2010~2030年の総発電電力量(kWh)}$$

注1: 本小委員会にて実施した試算を元に、各シナリオ毎のサイクルコストを試算。(単位: 円/kWh)

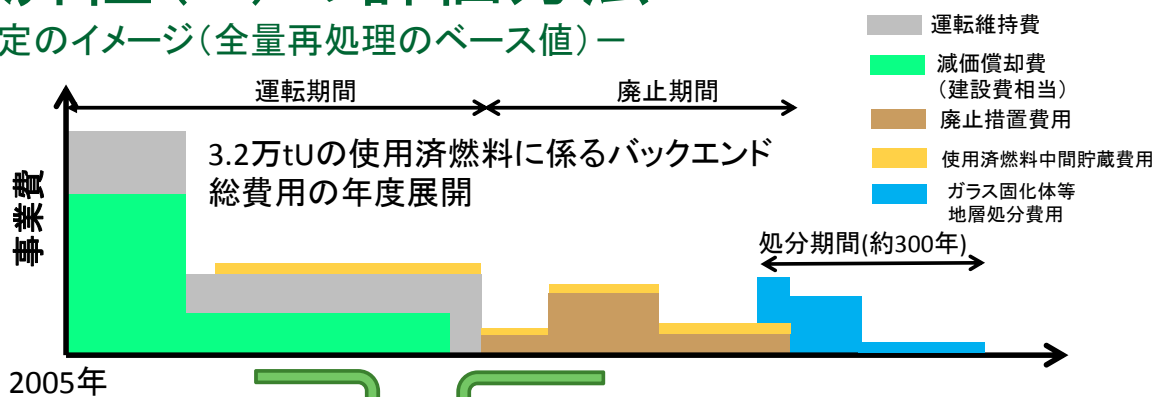
○ シナリオ3については下記の費用を追加で算出

- ✓ 六ヶ所再処理工場の埋没費用^{注2}(未償却資産に見合う費用)
- ✓ 廃止措置費用、既に存在するガラス固化体等の処分費用等
- ✓ 過去に発生した使用済燃料1.7万tUを直接処分に変更する場合に不足となる費用

注2: 埋没費用とは、投資評価を行う時点ですでに支出されてしまっている費用のこと。いずれの案を選択しても同様に発生する費用。会計上の簿価(帳簿価値)などが該当する。

経済性(2)の評価方法

— 算定のイメージ(全量再処理のベース値) —



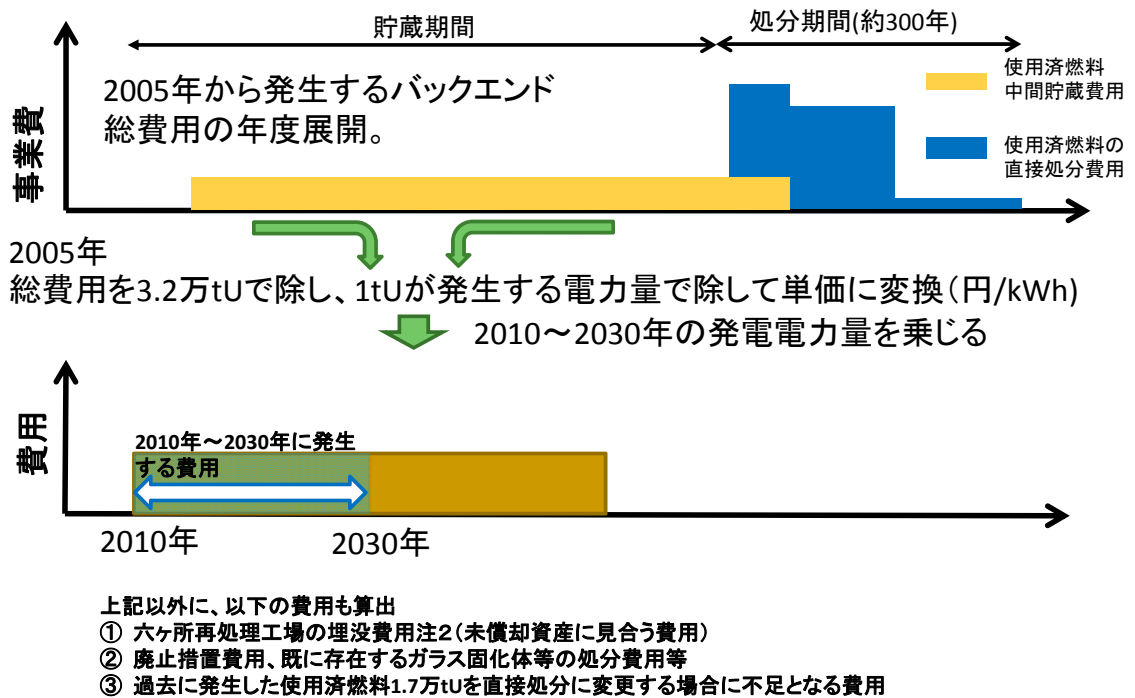
総費用を3.2万tUで除し、1tUが発生する電力量で除して単価に変換(円/kWh)

↓ 2010~2030年の発電電力量を乗じる



経済性(2)の評価方法

—算定のイメージ(全量直接処分のベース値)—



2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

27

経済性(2)：発電時点で発生し得る費用ベースの核燃料サイクルの総費用

| | シナリオ1 (全量再処理) | シナリオ2 (再処理/処分併存) | | シナリオ3 (全量直接処分) |
|----------------------|------------------|---------------------|----------------|--------------------------|
| 単位:円/kWh, 割引率3% | | 中間貯蔵分を再処理 | 中間貯蔵分を直接処分 | |
| ウラン燃料 | 0.77 | 0.77 | 0.78 | 0.81 |
| MOX燃料注 (フロントエンド計) | 0.07 (0.85) | 0.07 (0.85) | 0.06 (0.84) | --- (0.81) |
| 再処理等 | 0.51 | 0.51 | 0.39 | --- |
| 中間貯蔵 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.09 |
| 高レベル廃棄物処分 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | --- |
| 直接処分 (バックエンド計) | 0.04 (0.58) | 0.04 (0.58) | 0.04 (0.50) | 0.10~0.11 (0.19~0.21) |
| 合計 | 1.43 | 1.43 | 1.34 | 1.00~1.02 |

× 6.8兆kWh (2010～2030年の総発電電力量)

| | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-----------|
| シナリオに基づく総費用 | 9.7兆円 | 9.7兆円 | 9.1兆円 | 6.8～6.9兆円 |
|-------------|-------|-------|-------|-----------|

上記の費用の他、シナリオによって追加の費用^{※1}が発生する。
また、上記の他に立地自治体との条件の変更に伴い追加の費用^{※2}が発生する可能性がある。

注 海外からの返還Puの利用費用及び返還放射性廃棄物処分費用は全シナリオとも含めていない。
ただし、海外Pu利用は全てのシナリオで同等に扱っているため、各シナリオで費用の差は無い。

※1: 詳細は29ページ参照。
※2: 詳細は30ページ参照。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

28

経済性：シナリオ毎に考慮する必要がある費用

記号の説明

- ：経済性(1)(2)の総費用に含まれておらず、考慮する必要がある費用
- △：経済性(2)の総費用に一部含まれている費用
- ×：経済性(1)の費用に既に含まれている費用
- －：考慮する必要がない費用

| I. いずれのシナリオにおいても将来発生することが決まっている費用 | | 経済性(1) | | 経済性(2) | | |
|---|--|---------|-------|---------|-------|---|
| | | シナリオ1,2 | シナリオ3 | シナリオ1,2 | シナリオ3 | |
| 六ヶ所再処理事業に伴う費用 | ①再処理工場及び既存工済MOX工場の建物・設備の未償却資産見合いの費用 | 1.78 兆円 | 評価対象外 | | △ | ○ |
| | ②廃止に必要な廃棄物処理設備等*の建設費及び既存施設も含めた工場全体の廃止までの操業費 *：現在未建設だが操業中と廃止中に使用する設備 | 0.27 兆円 | × | × | △ | ○ |
| | ③上記①及び②の建物・設備の廃止措置費用 | 1.51 兆円 | × | × | △ | ○ |
| | ④発生済廃棄物(ガラス固化体及びTRU廃棄物)の輸送・処分費 | 0.04 兆円 | × | × | △ | ○ |
| | ⑤回収済Pu(2.3tPuf)の貯蔵管理・処分関係費 | α | × | ○ | △ | ○ |
| II. シナリオ3で発生する固有の費用 | | | | | | |
| 既発生分の使用済燃料の直接処分とガラス固化体の費用差(1.7万トン×(14,500万円/tU－8,500万円/tU)) | | 1.02 兆円 | － | － | － | ○ |

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

29

経済性：その他考慮すべき費用

－立地自治体との条件の変更に伴い追加の可能性のある費用注－

1. 六ヶ所再処理工場から国内各発電所に返送する可能性* 0.05兆円
 - ◆ 上記に伴う使用済燃料輸送費用
 - * その他、使用済燃料の返送に伴い、原子力発電所停止とそれを代替電源でカバーする時の費用発生(約22～32兆円)のリスクもある。(第15回資料第1-5号参照)
2. 海外からの返還廃棄物の受入れが滞って行き場を失う可能性 0.25兆円
 - ◆ 既存の海外返還廃棄物貯蔵施設(高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター)の未償却資産見合いの費用
 - ◆ 海外返還廃棄物の移送費用
 - ◆ 新規海外返還廃棄物貯蔵施設と将来の廃止費用
 - ※上記に加え、今後予定される海外返還予定廃棄物の返還時期延期による貯蔵費用の追加も発生し得る
3. 六ヶ所低レベル放射性廃棄物処分施設の受入れが延滞する可能性 0.06兆円
 - ◆ 新規低レベル放射性廃棄物処分施設のうち港湾、敷地費用
4. むつRFS建設計画中止の可能性(搬入予定の燃料が再処理されない場合) 0.03兆円
 - ◆ 現在までの建設投資額(キャスク除く)

注：本費用は割引率0%の数字である。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

30

エネルギー安全保障：資源節約、燃料危機への抵抗力

共通事項

- シナリオ1～3の如何にかかわらず、原子力発電の特徴である燃料危機（価格高騰化、供給途絶）に対する抵抗性を確保できるので、エネルギーの安定供給に貢献する。
- FBRが実用化される迄の間は、天然ウラン・濃縮ウラン市場の逼迫への対応が必要。

シナリオ1(全量再処理)

- 六ヶ所再処理工場で再処理されたPuをプルサーマルで利用することで、我が国のウラン消費量は年間約10%節約される。
- FBRが実用化された場合、ウラン資源制約から開放され、ウランの輸入なしに原子力発電が可能となる選択肢が確保される。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- 六ヶ所再処理工場で再処理されたPuをプルサーマルで利用することで、我が国のウラン消費量は年間約10%節約される。
- FBRの実用化を目指す政策判断を先送りするため、燃料確保に関する将来の確実性が高まらない。

シナリオ3(全量直接処分)

- 直接処分にはエネルギー安全保障上の追加的な価値がなく、共通事項と同じ。

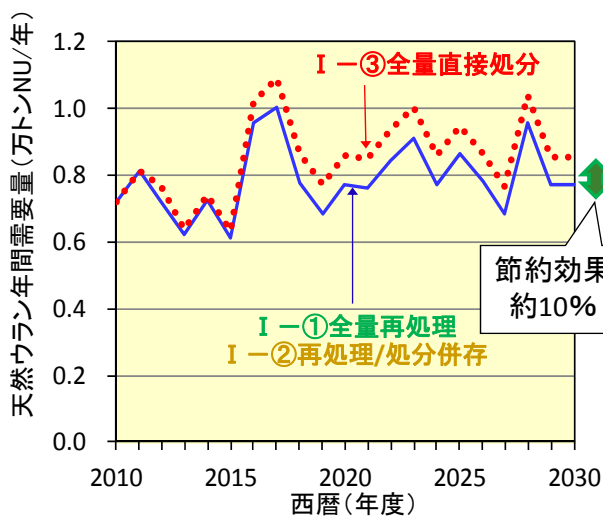
2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

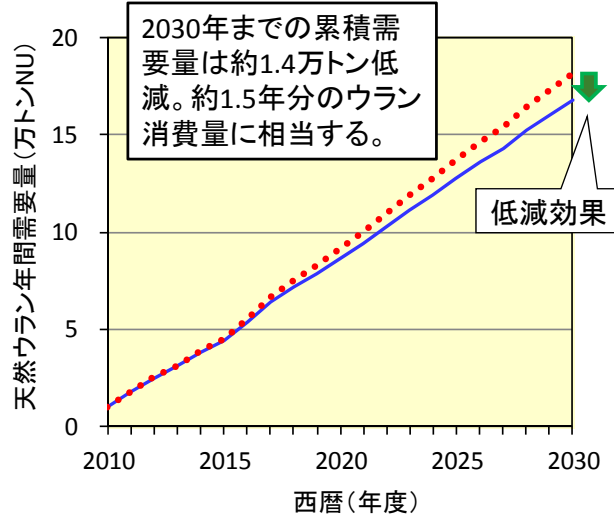
31

解析結果(天然ウラン需要量)

- 六ヶ所再処理工場で回収されるPuをプルサーマルで利用することにより、六ヶ所再処理が現行計画通りに運用を開始した場合(I-①、I-②)、直接処分シナリオ(I-③)に比べ、天然ウラン、濃縮ウランの年間需要の最大10%程度が節約される。さらに累積需要量は2030年時点で約1.4万トン少なくなることが見込まれる。



シナリオ間の天然ウラン年間需要量



シナリオ間の天然ウラン累積需要量

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

32

放射性廃棄物発生量：放射性廃棄物発生量（地層処分）

共通事項

- どのシナリオにおいても、最終処分施設の立地・建設が不可欠。

| シナリオ | 2030年までの発生量 | | | 埋設する場合の廃棄物としての合計体積(換算) | 廃棄物処分施設の合計面積(換算) |
|-----------------|---------------------|--------------------|----------|------------------------|--------------------|
| | 高レベル放射性廃棄物がガラス固化体※8 | 低レベル放射性廃棄物(地層処分) | 使用済燃料 | | |
| シナリオ1(全量再処理) | 0.3万m ³ | 0.7万m ³ | 2.2万tU※1 | 6万m ³ ※2 | 236万m ² |
| シナリオ2(再処理/処分併存) | 0.3万m ³ | 0.7万m ³ | 2.2万tU※3 | 6万m ³ ※4 | 236万m ² |
| | | | | 16.6万m ³ ※5 | 546万m ² |
| シナリオ3(全量直接処分) | 0.04万m ³ | 0.2万m ³ | 3.6万tU※6 | 20万m ³ ※7 | 621万m ² |

※1 3.6 2030年時点で貯蔵されている使用済燃料。

※2 2030年時点で発生しているガラス固化体と低レベル放射性廃棄物(地層処分)及び※1を再処理した場合に発生する放射性廃棄物の合計体積

※4 2030年時点で発生しているガラス固化体と低レベル放射性廃棄物(地層処分)及び※3を再処理した場合に発生する放射性廃棄物の合計体積

※5 2030年時点で発生しているガラス固化体と低レベル放射性廃棄物(地層処分)及び※3を直接処分した場合に発生する放射性廃棄物の合計体積

※7 2030年時点で発生しているガラス固化体と低レベル放射性廃棄物(地層処分)及び※6を直接処分した場合に発生する放射性廃棄物の合計体積

※8 キャニスター体積(埋設する場合の体積はオーバーバック込みで計算)

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

33

放射性廃棄物発生量：低レベル放射性廃棄物（地層処分以外）

共通事項

- 低レベル放射性廃棄物は、原子力発電所の通常運転時及び廃止措置時に生じるものが大部分を占めており、シナリオによる廃棄物発生量の差は大きくない。

| シナリオ | 2030年までの発生量 余裕深度処分、浅地中ビット処分及び浅地中トレンチ処分廃棄物の合計 | | | 埋設する場合の廃棄物量の合計体積(換算) | 廃棄物処分施設の合計面積(換算) |
|-----------------|---|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| | 原子炉からの廃棄物 | 再処理施設からの廃棄物 | その他の廃棄物 | | |
| シナリオ1(全量再処理) | 39万m ³ | 1.9万m ³ | 1.4万m ³ | 47万m ³ ※1 | 69万m ² ※1 |
| シナリオ2(再処理/処分併存) | | | | | |
| シナリオ3(全量直接処分) | 39万m ³ | 4.7万m ³ | 1.4万m ³ | 45万m ³ | 68万m ² |

※1 将来発生する再処理施設及びMOX燃料加工施設の廃止措置に伴う廃棄物を含めた値。

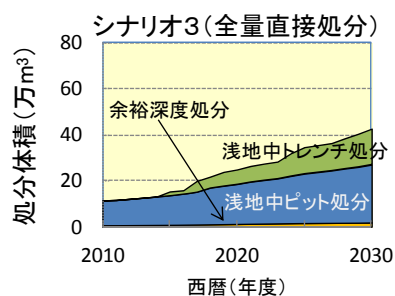
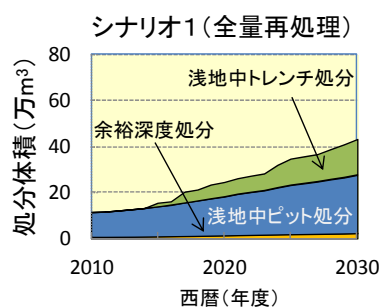
2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

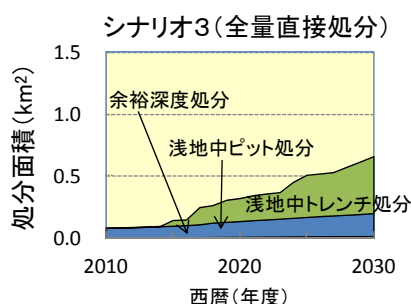
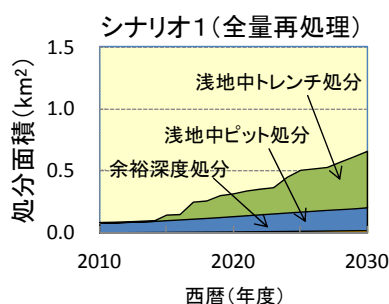
34

解析結果(低レベル放射性廃棄物(地層処分以外))

低レベル放射性廃棄物(地層処分以外)の処分体積



低レベル放射性廃棄物(地層処分以外)の処分場面積



2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

35

選択肢の確保：開発の柔軟性、政策変更への柔軟性

シナリオ1(全量再処理)

- 政策選択肢が全量再処理に固定されているため、政策変更の柔軟性は限定される(政策課題が大きくなる)。
- 使用済燃料は全て再処理すると固定される。
- 長期に用いる再処理技術、高速炉技術の実用化を目指すため、投資を集中できる。ただし、実用化の成否について不確かさがある。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- 再処理もしくは直接処分のいずれかを選択できるので、他シナリオより柔軟性がある。
- 使用済燃料は再処理されるのか、直接処分されるのか扱いが不明瞭となり、現行政策からの一貫性に懸念を生じさせる。
- 再処理技術、高速炉技術、直接処分技術の実用化を全て目指す。特定の技術に集中投資せず、進捗を確認しながら各技術の開発を進めるため、柔軟性がある。

シナリオ3(全量直接処分)

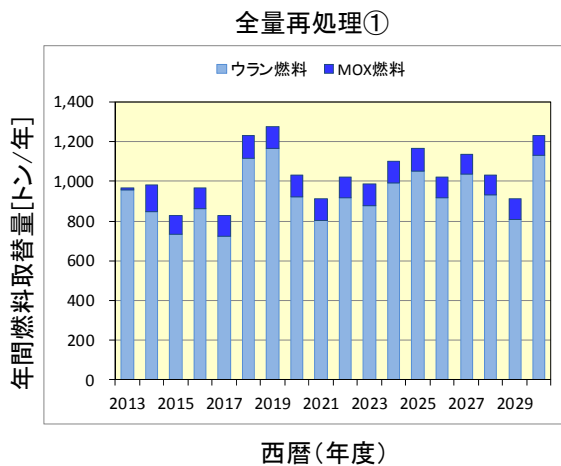
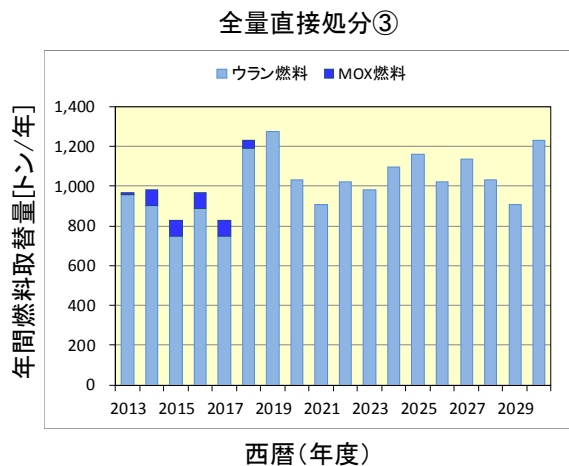
- 政策選択肢が全量直接処分に固定されているため、政策変更の柔軟性は限定される(政策課題が大きくなる)。
- 使用済燃料は全て直接処分すると固定される。
- 直接処分技術のみ実用化を目指すこととなるため、投資を集中できる。将来再処理が必要となった場合、技術基盤の再構築が必要となり、新たな投資と時間が必要である。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

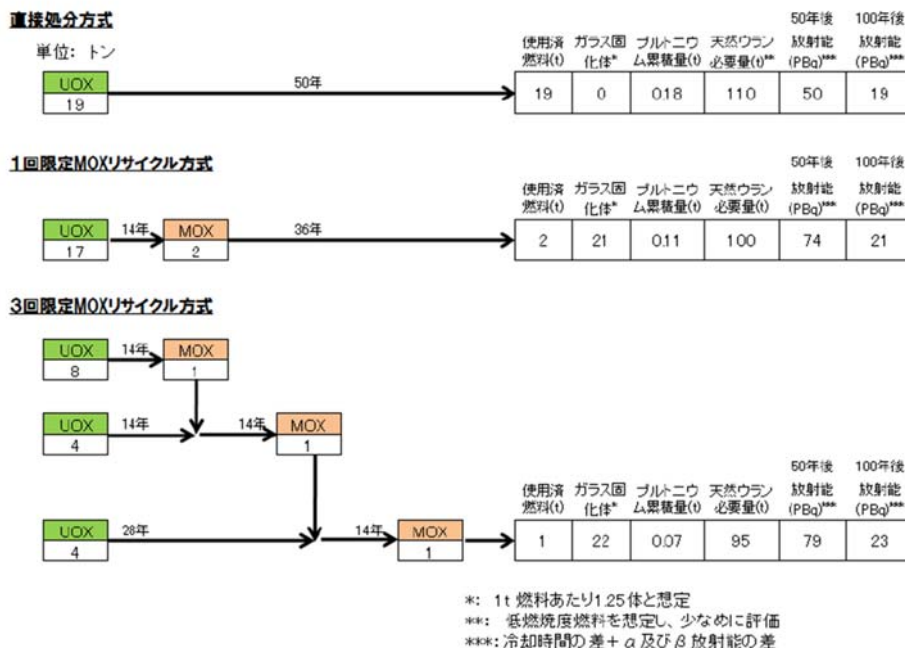
36

参考：天然ウランの節約効果の推移



注)ウラン燃料には初装荷分を含む

参考：直接処分とMOXリサイクルの比較

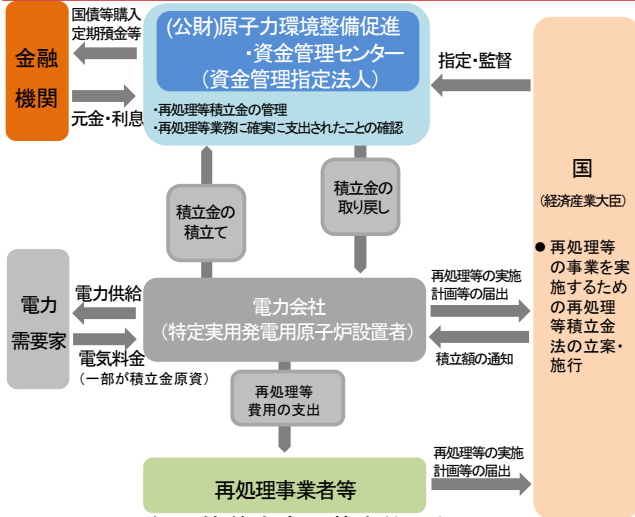


出典: 第11回新大綱策定会議(平成24年3月29日)、資料第5号、山名委員からの提出意見より

参考:再処理等積立金

- 原子力発電所の使用済燃料を再処理する事業は、その費用が巨額であり、事業が長期にわたるため、世代間の公平性の観点から、必要な資金を透明性・安全性が担保された形で確保する必要がある。
- このため、法※に基づき、各電力会社は再処理等に必要な費用を積み立てることが定められており、その用途は再処理の実施に限られている。
- 再処理等積立金は、再処理事業者や各電力会社の内部積立とはせず、透明性・安全性の観点から、法※に基づき、外部の資金管理人に積み立て、管理・運用することとなっている。

※原子力発電における使用済燃料の再処理等のための積立金の積立て及び管理に関する法律



再処理等積立金の積立て状況

(単位:億円)

| | 平成17年度 | 平成18年度 | 平成19年度 | 平成20年度 | 平成21年度 | 平成22年度 | 平成23年度 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 総見積額 | 126,850 | 126,873 | 127,038 | 118,958 | 121,308 | 122,516 | 122,237 |
| 積立金残高 | 10,384 | 12,479 | 15,682 | 18,389 | 21,443 | 24,416 | 26,572 |

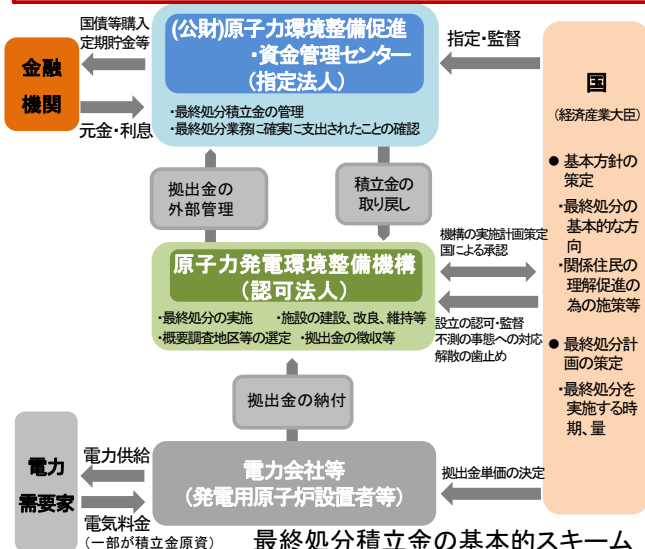
※総見積額は法に基づき算定

- 総見積額は六ヶ所再処理工場で再処理される使用済燃料(32,000tU)に係る再処理等の金額。

参考:最終処分積立金

- 原子力発電所の使用済燃料から生じる高レベル放射性廃棄物等の最終処分事業は、その費用が巨額であり、事業が長期間にわたるため、世代間の公平性の観点から、必要な資金を透明性・安全性が担保された形で確保する必要がある。
- このため、法※に基づき、各電力会社等は最終処分に必要な費用を、毎年度、高レベル放射性廃棄物等の発生量に応じて、実施主体である原子力発電環境整備機構(NUMO)に拠出することが定められており、その用途はNUMOが実施する最終処分事業に限られている。
- 最終処分拠出金は、NUMOの内部積立とせず、透明性・安全性の観点から、法※に基づき、外部の資金管理人に積み立て、管理・運用することとなっている。

※特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律



最終処分積立金の積立て状況

(単位:億円)

最終処分業務に必要な最終処分費(総見積額)

| | 平成17年度算定 | 平成18年度算定 | 平成19年度算定 | 平成20年度算定 | 平成21年度算定 | 平成22年度算定 | 平成23年度算定 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 高レベル放射性廃棄物分(ガラス固化体分) | 27,652 | 27,728 | 27,879 | 27,582 | 27,922 | 27,769 | 27,183 |
| T R U 廃棄物分 | — | — | 7,439 | 7,506 | 7,637 | 7,548 | 7,404 |
| 合計 | 27,652 | 27,728 | 35,318 | 35,088 | 35,559 | 35,317 | 34,587 |

※総見積額は法に基づき算定

※TRU廃棄物分については、平成19年の特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律の改正により制度化され、平成20年度から拠出を開始。

最終処分積立金運用残高

(単位:億円)

| | 平成17年度末 | 平成18年度末 | 平成19年度末 | 平成20年度末 | 平成21年度末 | 平成22年度末 | 平成23年度末 |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 高レベル放射性廃棄物分(ガラス固化体分) | 4,236 | 4,999 | 5,763 | 6,498 | 7,394 | 8,201 | 8,798 |
| T R U 廃棄物分 | — | — | — | 95 | 137 | 175 | 216 |
| 合計 | 4,236 | 4,999 | 5,763 | 6,592 | 7,530 | 8,375 | 9,014 |

参考; サイクルコスト試算条件(変更点)

| 項目 | 2011年10月技術小委 | | 今回 |
|------------|---|----------|---------------------------|
| ウラン燃料濃縮度 | 再処理モデル | BWR 3.7% | ← |
| | 現状モデル | PWR 4.6% | |
| | 直接処分モデル | PWR 4.5% | ← |
| 平均取出燃焼度 | UO ₂ 燃料: 45,000 MWd/t MOX燃料: 40,000 MWd/t | | ← |
| 炉内滞在時間 | 5年 | | ← |
| 熱効率 | 34.5% | | ← |
| 為替レート | 85.74 円/\$ | | ← |
| 割引率 | 0, 1, 3, 5 % | | 3% |
| 再処理:中間貯蔵比率 | 50:50 | | 62:38 (使用済燃料発生量の減少に伴う) |
| 次世代生成率 | 15% | | ← |
| 所内率 | 3.5% | | 4.0% (コスト等検証委員会に併せる) |

※ 上表以外は変更なし。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

41

参考: 経済性(1): 将来を見通して発生する費用ベースの核燃料サイクルの総費用

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用から、2011年以前に支出した費用、六ヶ所再処理工場の初期建設費の減価償却費を引いて算出(第13回技術等小委員会、資料第1-5号参照)。なお、割引率は3%とした。単位: 兆円

| | シナリオ1 (全量再処理) | シナリオ2 (再処理/処分併存) | | シナリオ3 (全量直接処分) |
|------------|------------------|---------------------|-------------|-------------------|
| 兆円, 割引率3% | | 中間貯蔵分を再処理 | 中間貯蔵分を直接処分 | |
| ウラン燃料 | 3.57 | 3.57 | 3.57 | 3.85 |
| MOX燃料 | 0.57 | 0.57 | 0.57 | 0.14 |
| (フロントエンド計) | (4.14) | (4.14) | (4.14) | (3.99) |
| 再処理等 | 4.45 | 4.45 | 4.22 | 1.19 |
| 中間貯蔵 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 1.40 |
| 高レベル廃棄物処分 | 0.88 | 0.88 | 0.86 | 0.02 |
| 直接処分 | | | 0.08~0.09 | 1.16~1.33 |
| (バックエンド計) | (5.41) | (5.41) | (5.23~5.24) | (3.78~3.94) |
| 合計 | 9.5 | 9.5 | 9.4 | 7.8~7.9 |

上記の他に立地自治体との条件の変更に伴い追加の費用※が発生する可能性がある。

※: 詳細は30ページ参照。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

42

ステップ3の評価:2030年まで (原子力比率Ⅱのケース)

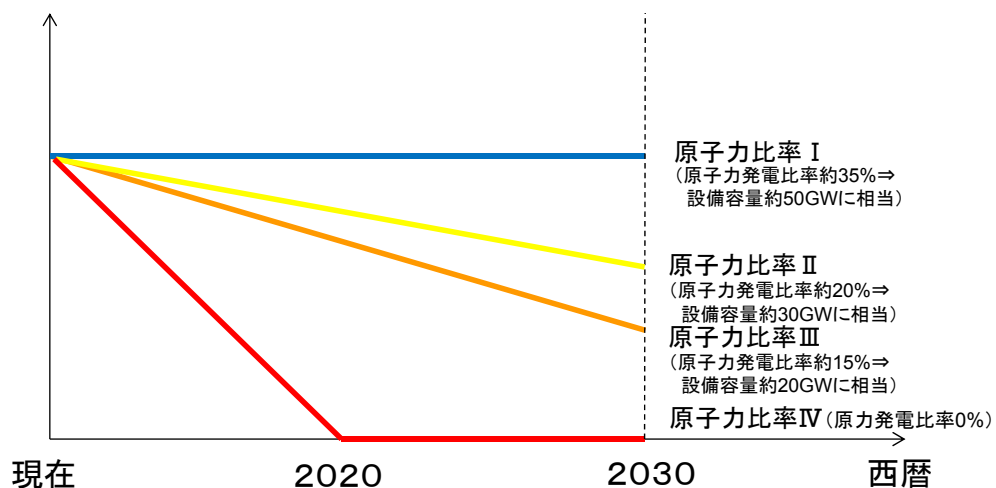
2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

43

各原子力発電比率の設定

総合資源エネルギー調査会基本問題委員会で検討されているエネルギーベストミックスにおける原子力発電比率のうちから、代表的な4つを選定した。



2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

44

各原子力比率における設備容量

原子力比率Ⅰ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率 : **35%**
設備利用率 : 約80%
(1兆kWh × 35%) / (365日 × 24時間 × 80%) = **約50GW**

原子力比率Ⅱ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率 : **20%**
設備利用率 : 約80%
(1兆kWh × 20%) / (365日 × 24時間 × 80%) = **約30GW**

原子力比率Ⅲ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率 : **15%**
設備利用率 : 約80%
(1兆kWh × 15%) / (365日 × 24時間 × 80%) = **約20GW**

原子力比率Ⅳ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率 : **0%**

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

45

シナリオ評価における評価項目について

◆短期的に重要な課題

- 使用済燃料管理・貯蔵
 - 使用済燃料貯蔵量、貯蔵容量
- 核燃料サイクルを巡る国際的視点
 - Pu利用(在庫量)、国際貢献
 - 核不拡散、核セキュリティリスクへの影響
 - 日米原子力協定への影響
- 政策変更または政策を実現するための課題(立地困難性を含む)
 - 使用済燃料貯蔵への影響、立地自治体との信頼関係への影響、雇用への影響、技術力への影響(人材、技術基盤・インフラストラクチャの影響)、海外委託再処理に伴う返還廃棄物への影響、政策変更に伴う費用負担のあり方

◆中・長期的に重要な課題

- 経済性
 - シナリオに基づく核燃料サイクルの総費用 など
- エネルギー安全保障、ウラン供給確保
 - 資源節約、燃料危機への抵抗力
- 放射性廃棄物発生量
- 選択肢の確保(柔軟性)
 - 開発の柔軟性、政策変更への柔軟性

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

46

短期的に重要な課題

使用済燃料管理・貯蔵：使用済燃料貯蔵量、貯蔵容量

共通事項

- 2010年末時点の使用済燃料の総量は約1.7万tUである。2030年までに追加で発生する使用済燃料の発生量は、約1.6万tUであり、合計で約3.2万tUとなる。
- サイト内の使用済燃料プールの貯蔵容量は約2万tU(2010年時点)である。また、原子力比率Ⅱの場合、設備容量が3000万kWまで減るため、使用済燃料プールの管理容量が徐々に減少する。
- 六ヶ所再処理施設の貯蔵容量は0.3万tU、現在建設中のむつりサイクル燃料貯蔵施設(以下「むつRFS」という。)は0.5万tUの貯蔵容量※がある。※東京電力㈱と日本原子力発電㈱の使用済燃料が対象
- 今後は敷地内、敷地外にかかわらず、貯蔵容量の確保が課題。

シナリオ1(全量再処理)

- 再処理を2030年まで運転した場合、使用済燃料の総量は約1.9万tUとなる。
- 再処理工場の稼働状況によっては、使用済燃料貯蔵容量が逼迫する可能性があるため、貯蔵容量の増強は必要である。

シナリオ2(再処理/処分併存)

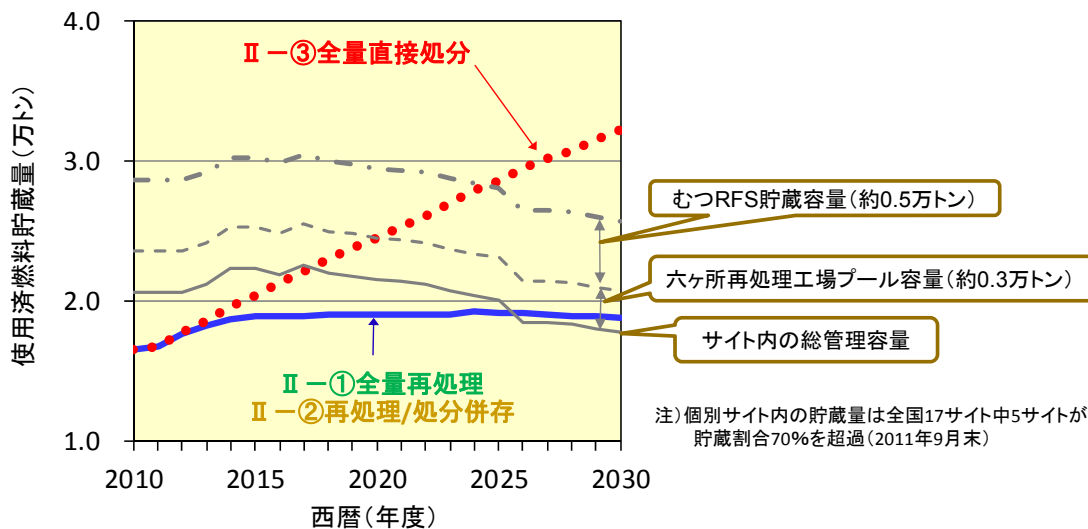
- 貯蔵容量と使用済燃料発生総量はシナリオ1と同じ。
- むつRFSは再処理を前提とした貯蔵施設であるため、再処理を前提とした使用済燃料を貯蔵する。
- 再処理工場の稼働状況によっては、使用済燃料貯蔵容量が逼迫する可能性があるため、貯蔵容量の増強は必要である。

シナリオ3(全量直接処分)

- 2030年まで廃棄物としての使用済燃料は約3.2万tU発生し、現在の貯蔵容量を超えることから、貯蔵容量の増強が喫緊の課題となる。
- むつRFSは再処理を前提とした貯蔵施設であるため、直接処分を前提とした利用に課題がある。また、六ヶ所再処理施設での貯蔵継続に課題がある。

解析結果(使用済燃料貯蔵量)

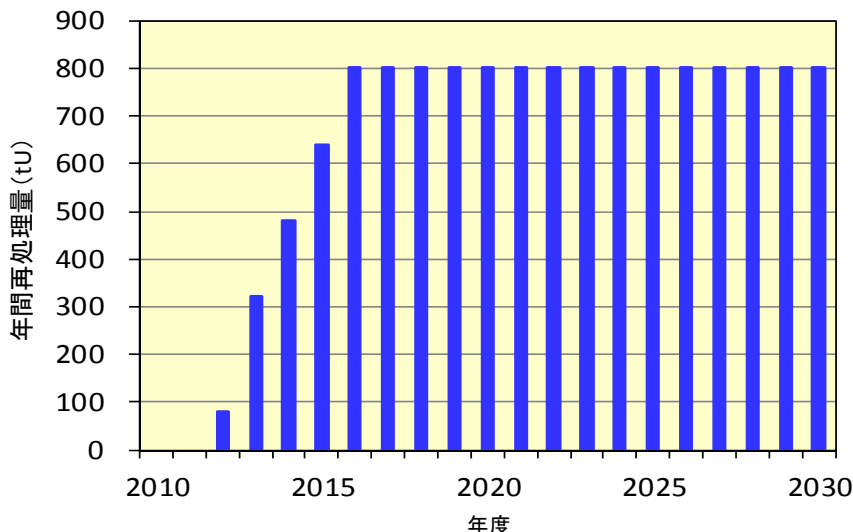
- 全量直接処分Ⅱ-③の場合、使用済燃料貯蔵量は直線的に増加し続けるが、六ヶ所再処理工場を運転するⅡ-①およびⅡ-②の場合、使用済燃料はリサイクルするため、その貯蔵量の増加を抑えることができる。



シナリオ間の使用済燃料貯蔵量比較

解析結果(六ヶ所再処理工場運転状況)

- プルサーマルで消費されるPu量に応じて、海外のPu利用も考慮しつつ六ヶ所再処理工場で使用済燃料の再処理を行う。
- 六ヶ所再処理工場は800トン/年の処理能力到達以降、一定の処理量となり、2012年から2030年までに約1.4万吨の使用済燃料を処理する。



六ヶ所再処理工場の運転状況(全量再処理、再処理/処分併存の場合)

前提条件:

- プルサーマルを実施する原子炉(以下「プルサーマル炉」という。)で消費されるPu量に応じて再処理を実施
- 全国の16~18基のプルサーマル炉を用い17GW程度で運転するとし、海外のPu及び六ヶ所再処理工場から回収したPuを利用すると想定(福島第一原子力発電所3号機は除く)

核燃料サイクルを巡る国際的視点：Pu利用（在庫量）

共通事項

- 2010年末時点で、海外からの未返還分（約23tPuf）、国内発電所保管分（約1tPuf）及び抽出済み分（約2.3tPuf）が存在するため※、これらを減らすことが必要。
- 海外未返還分と国内発電所保管分は約1700万kW相当の原子炉によるプルサーマル約10年で利用可能。ただし、プルサーマル受け入れに関する地元の理解が必要。
- 再処理に伴い回収される回収Uが現在国内に約1,900tU存在し、その取扱いが課題。

シナリオ1（全量再処理）

- 今後、再処理によってPuが発生（800t/年の場合、4tPuf/年強）するが、プルサーマルを実施する原子炉の規模を約1700万kWと仮定すると、現有Puを削減しつつ、現有Puがなくなった後もPuを増やさずバランスしながらプルサーマルの実施が可能。

シナリオ2（再処理/処分併存）

- 今後、再処理によってPuが発生（800t/年の場合、4tPuf/年強）するが、プルサーマルを実施する原子炉の規模を約1700万kWと仮定すると、現有Puを削減しつつ、現有Puがなくなった後もPuを増やさずバランスしながらプルサーマルの実施が可能。
- シナリオ2においては、使用済MOX燃料の処理処分の方針が不透明となるため、プルサーマル受け入れに関する地元の理解に対し、より一層の努力が必要となる。

シナリオ3（全量直接処分）

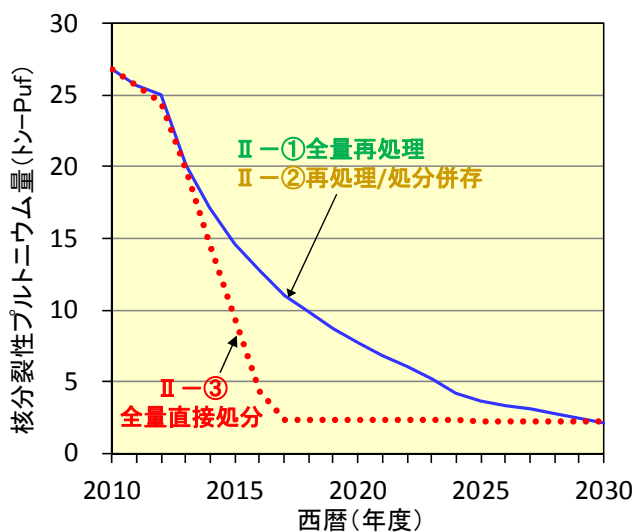
- 国内MOX燃料加工工場の建設は中止されるため、国内で抽出済みのPu約2.3tPufをMOX燃料に加工する能力の確保が必要である。
※我が国には、その他研究用として約3.3tPuf存在する。

2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

51

解析結果（Pu貯蔵量）



核分裂性プルトニウム貯蔵量の推移

| シナリオ | 2030年時点で貯蔵されている使用済燃料中に含まれるPu(トン) |
|------------------|----------------------------------|
| II-① 全量再処理 | 約150 |
| II-② 再処理/処分併存 | |
| II-③ 全量直接処分 | 約200 |

2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

52

核燃料サイクルを巡る国際的視点： 国際貢献

共通事項

- アジア、中東等における原子力発電所の利用が拡大していく中で、核不拡散、特に使用済燃料の的確な管理等が避けられない課題。我が国は原子力発電に関する主要な技術保有国・輸出国であり、また、非核兵器保有国でありながら核燃料サイクル能力を有する独特の位置づけにある。

シナリオ1(全量再処理)

シナリオ2(再処理/処分併存)

- 高速炉サイクル技術を含む核燃料サイクル施設で培った安全、保障措置、核セキュリティに関する基盤技術を他の国に技術支援することにより、国際貢献できる。
- 我が国の設備規模、運転状況に依存するが、多国間枠組みに我が国が積極的に関わることができる。

シナリオ3(全量直接処分)

- 核燃料サイクル分野において国際貢献できる範囲はシナリオ1、シナリオ2と比べて狭まる。但し、その範囲において積極的にかかわることができる。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

53

核燃料サイクルを巡る国際的視点：核不拡散、核セキュリティにおけるリスクへの影響

共通事項

- IAEA保障措置や核セキュリティの要求項目を満足させる必要がある。
- 世界の核拡散、核セキュリティにおけるリスクの低減に貢献することが重要である。

シナリオ1(全量再処理)

- 平和利用に限定することについて国際理解の増進が必要。
- 核拡散や核テロの発生に対する国際社会の懸念を招かないよう、Pu取扱量や輸送量が増えることに対して国際社会で合意された厳格な保障措置、核セキュリティ対策を講じることが求められる。
- 我が国の再処理施設の保障措置のため、現状、査察に毎年約1,000人日[※]の人工数を要している(2010年実績で、原子炉等規制法で規制される全ての施設を対象とした査察に毎年約2,500人日を要する)。
- ガラス固化体はIAEAの検認を経て包括的保障措置の適用を終了させ得るが、核セキュリティ上への対応は必要。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- 基本的にはシナリオ1と同様。
- 使用済燃料の直接処分にはPuが含まれるため、処分後の保障措置についての国際的な検討が必要。

シナリオ3(全量直接処分)

- Pu取扱量や輸送量が減るものの、現有再処理施設等にPu等の核物質が存在する限り、核不拡散、核セキュリティの取り組みの維持が必要。
- 使用済燃料の直接処分にはPuが含まれるため、処分後の保障措置についての国際的な検討が必要。

[※] 平成23年第29回定例会資料4号『我が国における保障措置活動状況等について』参照

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

54

核燃料サイクルを巡る国際的視点：日米原子力協定への影響

共通事項

- 1974年のインドの核実験を契機としたカーター米大統領による核不拡散政策の強化により、旧動力炉・核燃料開発事業団（現日本原子力研究開発機構）の東海再処理施設（1971年建設開始）における米国から輸入された核物質の再処理について、日米原子力協定（旧協定）に基づく米国の同意取り付けが難航した。核不拡散強化方針を打ち出していた米国との間で10年にわたる交渉の結果、再処理にかかる包括同意等を取り付けた（1988年）。

シナリオ1（全量再処理）

- 再処理を継続する場合でも、福島事故を踏まえ、核セキュリティの強化など、より厳格な不拡散に関する措置が求められる可能性がある。

シナリオ2（再処理/処分併存）

- 再処理を実施する場合はシナリオ1と同じ。
- 再処理能力を超えた使用済燃料の扱いが不明確のままであるため、その取扱いを米国と協議することが必要となる可能性がある。
- 将来再処理するかどうか不明確な場合、米側から再処理についての包括同意の見直しを求められる可能性がある。

シナリオ3（全量直接処分）

- 再処理を中止するため、日米協定にその内容を反映することが必要。
- 一旦再処理政策を取りやめ、再び再処理政策を選択しようとする場合、改定交渉が難航し、長期に亘って再処理ができない可能性がある。

2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

55

政策変更または政策を実現するための課題

社会受容性：立地困難性（使用済燃料貯蔵施設）

共通事項

- 政策選択肢の柔軟性の確保のため、使用済燃料の貯蔵容量の増強が必要である。
- 使用済燃料貯蔵容量の増強に関して、地元の理解、同意に時間を要する。（敷地内：使用済燃料プールの増強、貯蔵施設の追設、敷地外：貯蔵施設の建設）
- 敷地外の使用済燃料貯蔵施設に関しては地元の了解を得ているのはむつRFS一箇所のみである。むつRFSは、使用済燃料を再処理するまで50年間貯蔵することで地元了解と国からの事業許可を得ている。
- いずれのシナリオでも、地元からは使用済燃料を搬出すること（特に時期）を求められる。

シナリオ1（全量再処理）

- 貯蔵する使用済燃料の量は、他のシナリオと比較して相対的に少ない。
- 地元に対し、使用済燃料は再処理するまで貯蔵することで申し入れる。

シナリオ2（再処理/処分併存）

- 2030年まででは、貯蔵する使用済燃料の量はシナリオ1と同じ。
- 地元に対して、従来説明し理解を得ている内容に修正を加え、使用済燃料は再処理するまで貯蔵するか廃棄物として貯蔵するか、不明確な位置付けで申し入れることになる。
- 申し入れに当たり、使用済燃料の扱いの将来像が不明確な場合には、搬出先についても求められる可能性がある。

シナリオ3（全量直接処分）

- 貯蔵する使用済燃料の量は、他のシナリオと比較して相対的に多い。
- 地元に対して、従来説明し理解を得ている内容に修正を加え、使用済燃料は廃棄物として貯蔵することで申し入れる。
- 申し入れに当たり、搬出先についても求められる可能性がある。

2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

56

社会受容性：立地困難性（最終処分施設）

共通事項

- ・ 現時点で、貯蔵されている使用済燃料が約1.7万tU、ガラス固化体が約2,600本ある。放射性廃棄物の処分対策は将来世代に先送りすべきでない。
- ・ 最終処分施設の立地はいずれのシナリオでも容易ではない。

シナリオ1(全量再処理)

- ・ 最終処分施設の面積は他のシナリオと比較して小さくなる。
- ・ ガラス固化体を前提とした地層処分については、ガラス固化の安定性等の知見が得られており、それを踏まえた立地活動が行われてきている。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- ・ 直接処分も行う場合には、最終処分施設の面積はシナリオ1と3の中間となる。（直接処分を行う使用済燃料の量に応じて変化する。）
- ・ 直接処分も行う場合には、直接処分に関する十分な知見が得られるまで本格的な立地活動開始が困難なため、選定作業が遅れる可能性がある。また、プルトニウム等の核物質を埋設することに住民の理解の獲得が必要である。

シナリオ3(全量直接処分)

- ・ 最終処分施設の面積は他のシナリオと比較して大きくなる。
- ・ 直接処分に関する十分な知見が得られるまで本格的な立地活動開始が困難なため、選定作業が遅れる可能性がある。
- ・ プルトニウム等の核物質を埋設することに住民の理解の獲得が必要である。

雇用への影響

シナリオ3(全量直接処分)

- 再処理事業を中止した場合には、今後のサイクル事業全体(40年分の再処理工場の運転と廃止措置)のうち、40年分の再処理工場の運転にかかる雇用が失われることとなる。(サイクル事業に関連して働く人数は約5,000人(県内出身約7割)、一方、再処理施設の廃止措置に当たっては、年間約1300人の雇用が約30年間分残ると見込まれる。*)

| 会社名 | 社員数 | 県内雇用数 | 備考 |
|-----------------|-------|-------|---------------------------------------|
| 日本原燃(株) | 2,442 | 1,374 | 昭和61年度以降の新規採用者数は1,718人で、うち地元採用は1,345人 |
| (株)ジェイテック | 295 | 259 | |
| 原燃輸送(株)六ヶ所輸送事業所 | 31 | 25 | |
| むつ小川原原燃興産(株) | 203 | 201 | |
| 六ヶ所原燃警備(株) | 165 | 165 | |
| 関連会社※ | 1,902 | 1,594 | |
| 合計 | 5,038 | 3,618 | |

H23.4.1現在

*総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 第8回コスト等検討小委員会資料 第1-2「再処理施設の廃止措置費用について」に基づいて算出

※サイクル施設及び付帯施設の関連業務(メンテナンス等)を行う会社 合計51社

経済面、技術基盤面への影響

- 我が国が培ってきた核燃料サイクルの技術力への影響(人材、技術基盤、インフラストラクチャーへの影響)

シナリオ1(全量再処理)

- 軽水炉サイクル及びFBRサイクル技術は現計画のままであり、今後開発を進めることで更なる発展が期待される。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- 軽水炉サイクル技術については、現計画のままであり、今後開発を進めることで更なる発展が期待される。
- 直接処分技術について実用化に向けた研究開発を行うため、直接処分に関する人材、技術基盤、インフラが蓄積される。但し、ガラス固化体処分と技術的に重なる部分が多く、その研究開発成果を流用できる。
- FBRサイクル技術については、実用化に向けた研究開発から、その実施の判断に必要な研究レベルに変わること、FBRに対する民間の投資意欲が減退する可能性がある。

経済面、技術基盤面への影響

- 我が国が培ってきた核燃料サイクルの技術力への影響(人材、技術基盤、インフラストラクチャーへの影響)

シナリオ3(全量直接処分)

- 直接処分技術について実用化に向けた研究開発を行うため、直接処分に関する人材、技術基盤、インフラが蓄積される。但し、ガラス固化体処分と技術的に重なる部分が多く、その研究開発成果を流用できる。
- 発電炉に比べて建設機会が非常に少ない再処理事業は、現在の施設の運転や改良工事を通じて知見の蓄積と改良を図りながら独自に技術力を維持・向上させる必要があり、事業が中止されれば、現時点で民間に蓄積されている建設・運転・保守の知見や人材は失われるため、再び再処理政策を選択したとしても、失われた技術を取り戻すために、長い期間や多大な費用が必要となる。
- FBRサイクルの実用化に向けた研究開発を中止した場合、関連の研究開発については、基本的に規模の縮小／中止(予算減、人員減、関連研究施設の廃止)となり、これまで培ってきた技術を長期間維持することは困難になる。また、これまで、常陽、もんじゅ等の建設・運転や、FBR実用化に向けて進めてきた研究開発によって民間に蓄積された技術・人材は失われることとなり、再びFBR実用化を目指したとしても、失われた技術を取り戻すために、長い期間や多大な費用が必要となる。

(参考)○高速増殖炉サイクル開発に関わる人材規模

【JAEA】

(核燃料サイクル工学研究所:約730名、高速増殖炉研究開発センター(もんじゅ):約210名、大洗研究開発センター(常陽など):約530名、次世代原子力システム研究開発部門:約180名)

【メーカー】約900人(FBRサイクル開発業務に従事するエンジニア数)

○再処理事業に関わる人材規模

【日本原燃】約2400人

海外再処理に伴う返還放射性廃棄物

共通事項

- 仏国からの低レベル廃棄物、英国からの高レベル廃棄物が返還される予定。
- 返還放射性廃棄物は、青森県の協力のもとに、ガラス固化体に関する廃棄物管理施設へ一時的に受け入れ、管理期間終了後に搬出することとなっている。

シナリオ1(全量再処理)

- ガラス固化体に関する廃棄物管理施設の位置付けは変わらず、返還放射性廃棄物を現行の廃棄物管理施設に受け入れる現計画に変更なし。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- ガラス固化体に関する廃棄物管理施設の位置付けは変わらず、返還放射性廃棄物を現行の廃棄物管理施設に受け入れる現計画に変更なし。

シナリオ3(全量直接処分)

- 再処理を中止するため、六ヶ所再処理工場のガラス固化体に関する廃棄物管理施設への返還放射性廃棄物を受け入れることができなくなる可能性がある。
- 上記の場合、返還放射性廃棄物を受け入れるための施設を準備する必要があるが、受け入れ先の選定や建設等に時間を要する場合、仏国で「放射性廃棄物管理の研究に関する法律※」に抵触する等、国際問題となる可能性がある。

※放射性廃棄物管理の研究に関する法律 第3条—外国からの放射性廃棄物は、仮にその廃棄物が再処理委託によって発生した場合でも、再処理上、技術的に必要とされる期間を越えて貯蔵してはならない。

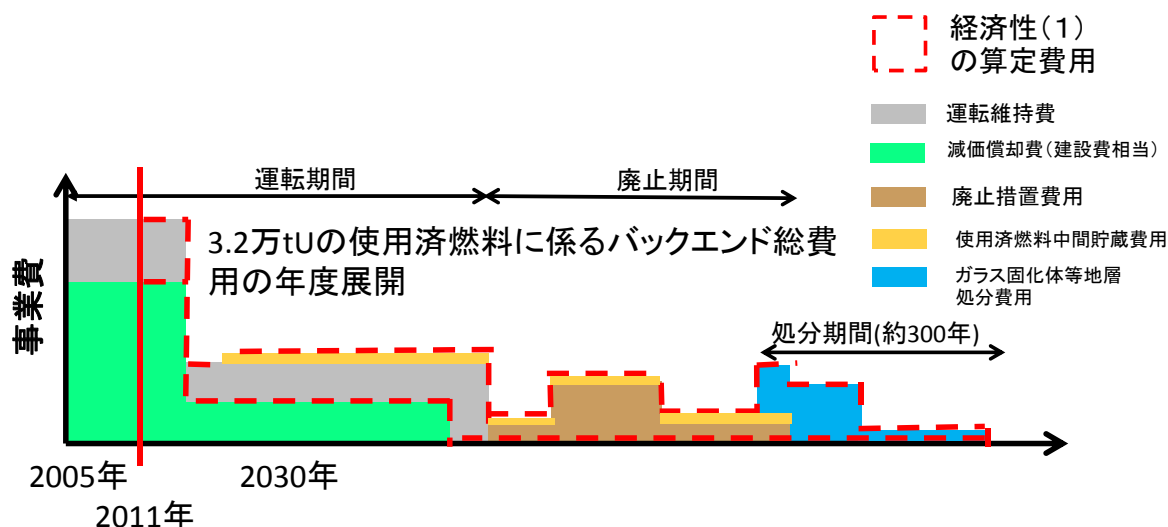
中・長期的に重要な課題

経済性(1)の評価方法

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用から、2011年以前に支出した費用、六ヶ所再処理工場の初期建設費の減価償却費を引いた総額を算出

経済性(1)の評価方法

—算定のイメージ(全量再処理)—

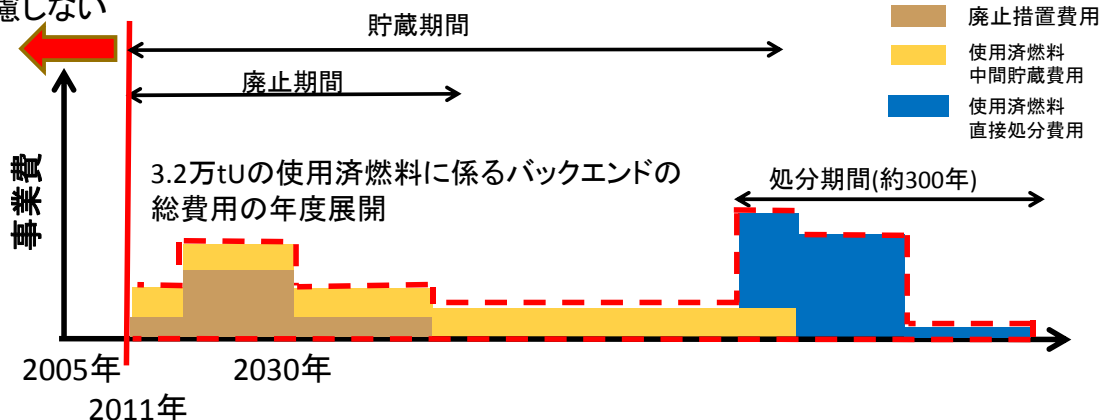


※なお、六ヶ所再処理工場の容量(3.2万tU)を超える使用済燃料分のバックエンド費用が生じる場合は、経済性(2)の評価と同じ方法とする。

経済性(1)の評価方法

—算定のイメージ(全量直接処分)—

2011年以前の費用は考慮しない



- 2030年までに発生する使用済燃料を直接処分する場合に発生する費用に加え、六ヶ所再処理工場の廃止措置を2012年より開始するとして費用を加える。

経済性(1)：将来を見通して発生する費用ベースの核燃料サイクルの総費用

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用から、2011年以前に支出した費用、六ヶ所再処理工場の初期建設費の減価償却費を引いて算出(第13回技術等小委員会、資料第1-5号参照)。なお、割引率は0%とした。単位：兆円

| 兆円, 割引率0% | シナリオ1 (全量再処理) | シナリオ2 (再処理/処分併存) | | シナリオ3 (全量直接処分) |
|--|--------------------------------|--------------------------------|---|--|
| | | 中間貯蔵分を再処理 | 中間貯蔵分を直接処分 | |
| ウラン燃料 MOX燃料 (フロントエンド計) | 3.29 0.75 (4.04) | 3.29 0.75 (4.04) | 3.29 0.75 (4.04) | 3.66 0.16 (3.82) |
| 再処理等 中間貯蔵 高レベル廃棄物処分 直接処分 (バックエンド計) | 8.67 0.01 2.69 (11.4) | 8.67 0.01 2.69 (11.4) | 8.58 0.01 2.68 0.03~0.04 (11.3) | 1.78 1.65 0.04 4.71~5.50 (8.18~8.97) |
| 合計 | 15.4 | 15.4 | 15.3 | 12.0~12.8 |

上記の他に立地自治体との条件の変更に伴い追加の費用※が発生する可能性がある。

※：詳細は72ページ参照。

経済性(2)の評価方法

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用のうち、2010年から2030年までの間に積立しておくべき費用を算出

○ 費用算出の考え方

2010年から2030年で発生する使用済燃料の再処理や最終処分は主に2030年以降に行われる。このため、1kWh当たりのサイクルコスト^{注1}を用い、これに2010年から2030年で発生する原子力発電による電力量を乗じて総費用を算出(次頁参照)

$$\text{シナリオに基づく核燃料サイクルの総費用} = \text{サイクルコスト}^{\text{注1}}(\text{円/kWh}) \times \text{2010~2030年の総発電電力量(kWh)}$$

注1: 本小委員会にて実施した試算を元に、各シナリオ毎のサイクルコストを試算。(単位: 円/kWh)

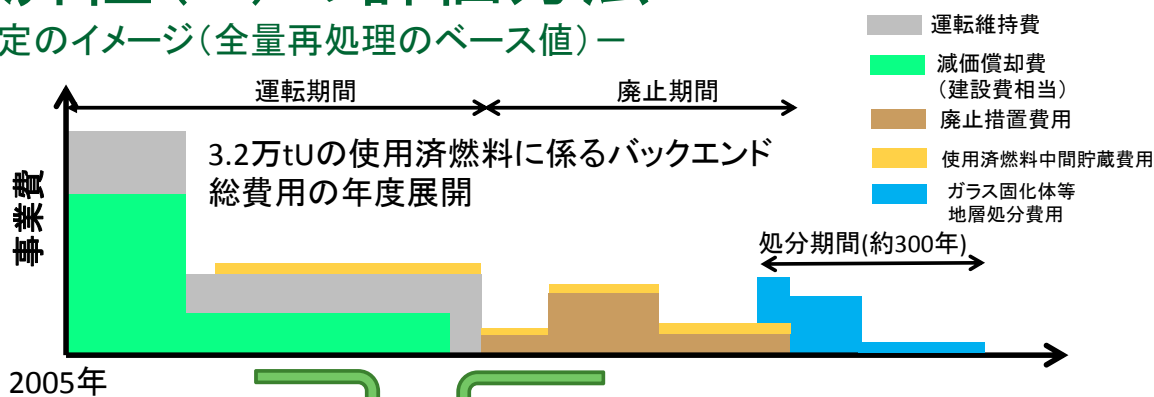
○ シナリオ3については下記の費用を追加で算出

- ✓ 六ヶ所再処理工場の埋没費用^{注2}(未償却資産に見合う費用)
- ✓ 廃止措置費用、既に存在するガラス固化体等の処分費用等
- ✓ 過去に発生した使用済燃料1.7万tUを直接処分に変更する場合に不足となる費用

注2: 埋没費用とは、投資評価を行う時点ですでに支出されてしまっている費用のこと。いずれの案を選択しても同様に発生する費用。会計上の簿価(帳簿価値)などが該当する。

経済性(2)の評価方法

— 算定のイメージ(全量再処理のベース値) —



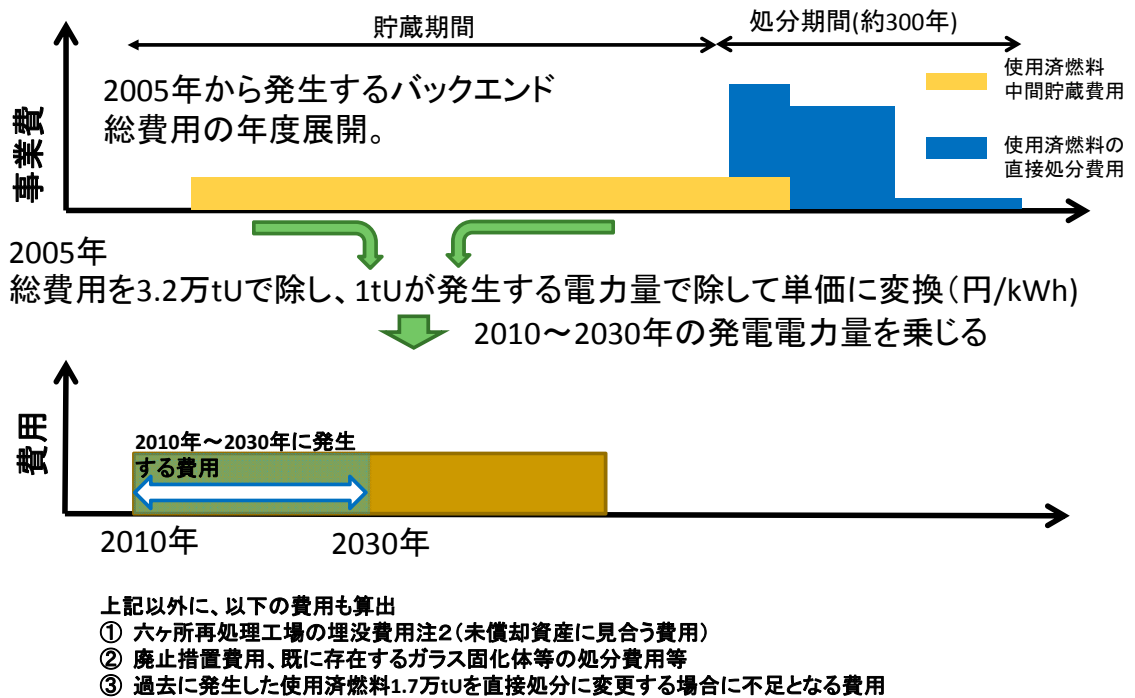
総費用を3.2万tUで除し、1tUが発生する電力量で除して単価に変換(円/kWh)

↓ 2010~2030年の発電電力量を乗じる



経済性(2)の評価方法

—算定のイメージ(全量直接処分のベース値)—



2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

69

経済性(2)：発電時点で発生し得る費用ベースの核燃料サイクルの総費用

| | シナリオ1 (全量再処理) | シナリオ2 (再処理/処分併存) | | シナリオ3 (全量直接処分) |
|----------------------|------------------|---------------------|----------------|--------------------------|
| 単位: 円/kWh, 割引率3% | | 中間貯蔵分を再処理 | 中間貯蔵分を直接処分 | |
| ウラン燃料 | 0.77 | 0.77 | 0.77 | 0.81 |
| MOX燃料注 (フロントエンド計) | 0.07 (0.85) | 0.07 (0.85) | 0.07 (0.85) | --- (0.81) |
| 再処理等 | 0.57 | 0.57 | 0.51 | --- |
| 中間貯蔵 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.09 |
| 高レベル廃棄物処分 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | --- |
| 直接処分 (バックエンド計) | 0.02 (0.63) | 0.02 (0.63) | 0.02 (0.59) | 0.10~0.11 (0.19~0.21) |
| 合計 | 1.48 | 1.48 | 1.44 | 1.00~1.02 |

× 5.6兆kWh (2010~2030年の総発電電力量)

| | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-----------|
| シナリオに基づく総費用 | 8.3兆円 | 8.3兆円 | 8.1兆円 | 5.6~5.7兆円 |
|-------------|-------|-------|-------|-----------|

上記の費用の他、シナリオによって追加の費用^{※1}が発生する。
また、上記の他に立地自治体との条件の変更に伴い追加の費用^{※2}が発生する可能性がある。

注 海外からの返還Puの利用費用及び返還放射性廃棄物処分費用は全シナリオとも含めていない。
ただし、海外Pu利用は全てのシナリオで同等に扱っているため、各シナリオで費用の差は無い。

※1: 詳細は71ページ参照。
※2: 詳細は72ページ参照。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

70

経済性：シナリオ毎に考慮する必要がある費用

記号の説明

- ：経済性(1)(2)の総費用に含まれておらず、考慮する必要がある費用
- △：経済性(2)の総費用に一部含まれている費用
- ×：経済性(1)の費用に既に含まれている費用
- －：考慮する必要がない費用

| I. いずれのシナリオにおいても将来発生することが決まっている費用 | | 経済性(1) | | 経済性(2) | | |
|--|--|---------|-------|---------|-------|---|
| | | シナリオ1,2 | シナリオ3 | シナリオ1,2 | シナリオ3 | |
| 六ヶ所再処理事業に伴う費用 | ①再処理工場及び既存工済MOX工場の建物・設備の未償却資産見合いの費用 | 1.78 兆円 | 評価対象外 | △ | ○ | |
| | ②廃止に必要な廃棄物処理設備等*の建設費及び既存施設も含めた工場全体の廃止までの操業費 *：現在未建設だが操業中と廃止中に使用する設備 | 0.27 兆円 | × | × | △ | ○ |
| | ③上記①及び②の建物・設備の廃止措置費用 | 1.51 兆円 | × | × | △ | ○ |
| | ④発生済廃棄物(ガラス固化体及びTRU廃棄物)の輸送・処分費 | 0.04 兆円 | × | × | △ | ○ |
| | ⑤回収済Pu(2.3tPuf)の貯蔵管理・処分関係費 | α | × | ○ | △ | ○ |
| II. シナリオ3で発生する固有の費用 | | | | | | |
| 既発生分の使用済燃料の直接処分とガラス固化体の費用差(1.7万トン×(14,500万円/tU－8,500万円/tU) | 1.02 兆円 | － | － | － | ○ | |

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

71

経済性：その他考慮すべき費用

－立地自治体との条件の変更に伴い追加の可能性のある費用注－

1. 六ヶ所再処理工場から国内各発電所に返送する可能性* 0.05兆円
 - ◆ 上記に伴う使用済燃料輸送費用
 - * その他、使用済燃料の返送に伴い、原子力発電所停止とそれを代替電源でカバーする時の費用発生(約22～31兆円)のリスクもある。(第15回資料第1-5号参照)
2. 海外からの返還廃棄物の受入れが滞って行き場を失う可能性 0.25兆円
 - ◆ 既存の海外返還廃棄物貯蔵施設(高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター)の未償却資産見合いの費用
 - ◆ 海外返還廃棄物の移送費用
 - ◆ 新規海外返還廃棄物貯蔵施設と将来の廃止費用
 - ※上記に加え、今後予定される海外返還予定廃棄物の返還時期延期による貯蔵費用の追加も発生し得る
3. 六ヶ所低レベル放射性廃棄物処分施設の受入れが延滞する可能性 0.06兆円
 - ◆ 新規低レベル放射性廃棄物処分施設のうち港湾、敷地費用
4. むつRFS建設計画中止の可能性(搬入予定の燃料が再処理されない場合) 0.03兆円
 - ◆ 現在までの建設投資額(キャスク除く)

注：本費用は割引率0%の数字である。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

72

エネルギー安全保障：資源節約、燃料危機への抵抗力

共通事項

- シナリオ1～3の如何にかかわらず、原子力発電の特徴である燃料危機（価格高騰化、供給途絶）に対する抵抗性を確保できるので、エネルギーの安定供給に貢献する。
- FBRが実用化される迄の間は、天然ウラン・濃縮ウラン市場の逼迫への対応が必要。

シナリオ1（全量再処理）

- 六ヶ所再処理工場で再処理されたPuをプルサーマルで利用することで、我が国のウラン消費量は年間約15%節約される。
- FBRが実用化された場合、ウラン資源制約から開放され、ウランの輸入なしに原子力発電が可能となる選択肢が確保される。

シナリオ2（再処理/処分併存）

- 六ヶ所再処理工場で再処理されたPuをプルサーマルで利用することで、我が国のウラン消費量は年間約15%節約される。
- FBRの実用化を目指す政策判断を先送りするため、燃料確保に関する将来の確実性が高まらない。

シナリオ3（全量直接処分）

- 直接処分にはエネルギー安全保障上の追加的な価値がなく、共通事項と同じ。

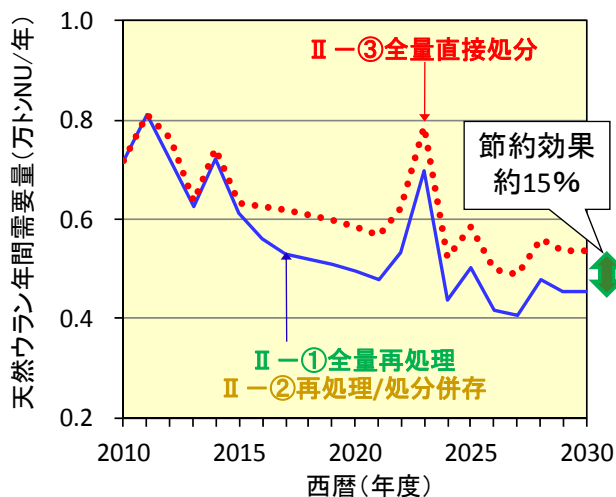
2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

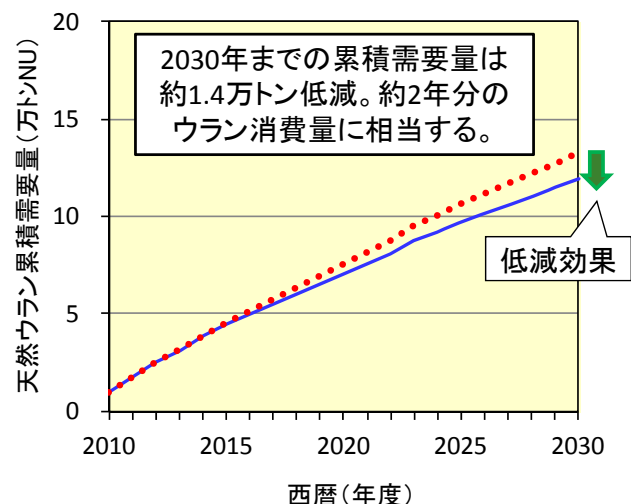
73

解析結果（天然ウラン需要量）

- 六ヶ所再処理工場で回収されるPuをプルサーマルで利用することにより、六ヶ所再処理が現行計画通りに運用を開始した場合（Ⅱ-①、Ⅱ-②）、全量直接処分シナリオに比べ、天然ウラン、濃縮ウランの年間需要の最大15%程度が節約される。さらに累積需要量は2030年時点で最大約1.4万トン少なくなることが見込まれる。



シナリオ間の天然ウラン年間需要量比較



シナリオ間の天然ウラン累積需要量比較

2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

74

放射性廃棄物発生量：放射性廃棄物発生量（地層処分）

共通事項

- どのシナリオにおいても、最終処分施設の立地・建設が不可欠。

| シナリオ | 2030年までの発生量 | | | 埋設する場合の廃棄物としての合計体積(換算) | 廃棄物処分施設の合計面積(換算) |
|-----------------|---------------------|--------------------|----------|------------------------|--------------------|
| | 高レベル放射性廃棄物がガラス固化体※8 | 低レベル放射性廃棄物(地層処分) | 使用済燃料 | | |
| シナリオ1(全量再処理) | 0.3万m ³ | 0.7万m ³ | 1.9万tU※1 | 5万m ³ ※2 | 215万m ² |
| シナリオ2(再処理/処分併存) | 0.3万m ³ | 0.7万m ³ | 1.9万tU※3 | 5万m ³ ※4 | 215万m ² |
| | | | | 15万m ³ ※5 | 493万m ² |
| シナリオ3(全量直接処分) | 0.04万m ³ | 0.2万m ³ | 3.2万tU※6 | 18万m ³ ※7 | 567万m ² |

※1, 3, 6 2030年時点で貯蔵されている使用済燃料。

※2 2030年時点で発生しているガラス固化体と低レベル放射性廃棄物(地層処分)及び※1を再処理した場合に発生する放射性廃棄物の合計体積

※4 2030年時点で発生しているガラス固化体と低レベル放射性廃棄物(地層処分)及び※3を再処理した場合に発生する放射性廃棄物の合計体積

※5 2030年時点で発生しているガラス固化体と低レベル放射性廃棄物(地層処分)及び※3を直接処分した場合に発生する放射性廃棄物の合計体積

※7 2030年時点で発生しているガラス固化体と低レベル放射性廃棄物(地層処分)及び※6を直接処分した場合に発生する放射性廃棄物の合計体積

※8 キャニスター体積(埋設する場合の体積はオーバーパック込みで計算)

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

75

放射性廃棄物発生量：低レベル放射性廃棄物（地層処分以外）

共通事項

- 低レベル放射性廃棄物は、原子力発電所の通常運転時及び廃止措置時に生じるものが大部分を占めており、シナリオによる廃棄物発生量の差は大きくない。

| シナリオ | 2030年までの発生量 余裕深度処分、浅地中ピット処分及び浅地中トレンチ処分廃棄物の合計 | | | 埋設する場合の廃棄物量の合計体積(換算) | 廃棄物処分施設の合計面積(換算) |
|-----------------|---|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| | 原子炉からの廃棄物 | 再処理施設からの廃棄物 | その他の廃棄物 | | |
| シナリオ1(全量再処理) | 37万m ³ | 1.9万m ³ | 1.3万m ³ | 45万m ³ ※1 | 68万m ² ※1 |
| シナリオ2(再処理/処分併存) | | | | | |
| シナリオ3(全量直接処分) | 37万m ³ | 4.7万m ³ | 1.3万m ³ | 43万m ³ | 67万m ² |

※1 将来発生する再処理施設及びMOX燃料加工施設の廃止措置に伴う廃棄物を含めた値。

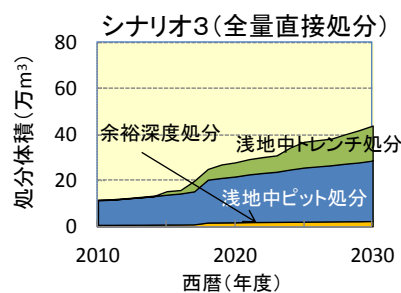
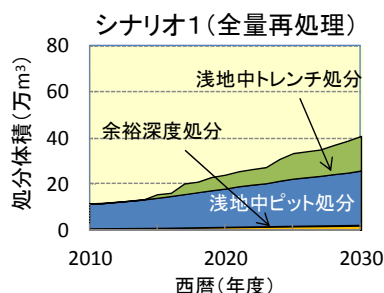
2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

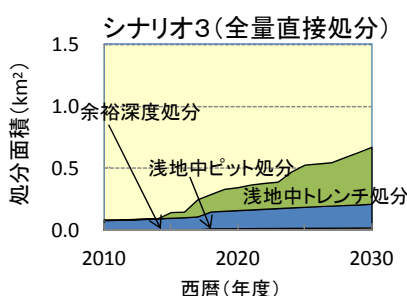
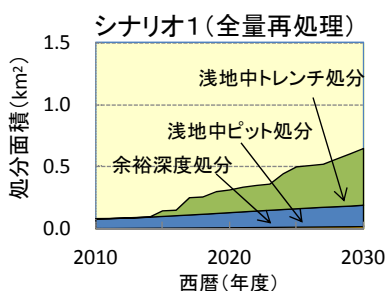
76

解析結果(低レベル放射性廃棄物(地層処分以外))

低レベル放射性廃棄物(地層処分以外)の処分体積



低レベル放射性廃棄物(地層処分以外)の処分場面積



2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

77

選択肢の確保: 開発の柔軟性、政策変更への柔軟性

シナリオ1(全量再処理)

- 政策選択肢が全量再処理に固定されているため、政策変更の柔軟性は限定される(政策課題が大きくなる)。
- 使用済燃料は全て再処理すると固定される。
- 長期に用いる再処理技術、高速炉技術の実用化を目指すため、投資を集中できる。ただし、実用化の成否について不確かさがある。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- 再処理もしくは直接処分のいずれかを選択できるので、他シナリオより柔軟性がある。
- 使用済燃料は再処理されるのか、直接処分されるのか扱いが不明瞭となり、現行政策からの一貫性に懸念を生じさせる。
- 再処理技術、高速炉技術、直接処分技術の実用化を全て目指す。特定の技術に集中投資せず、進捗を確認しながら各技術の開発を進めるため、柔軟性がある。

シナリオ3(全量直接処分)

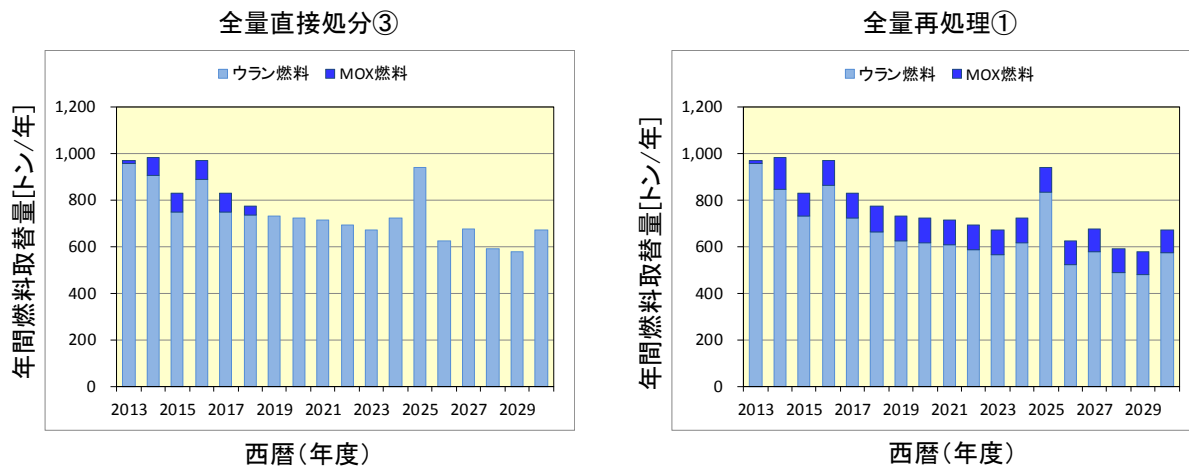
- 政策選択肢が全量直接処分に固定されているため、政策変更の柔軟性は限定される(政策課題が大きくなる)。
- 使用済燃料は全て直接処分すると固定される。
- 直接処分技術のみ実用化を目指すこととなるため、投資を集中できる。将来再処理が必要となった場合、技術基盤の再構築が必要となり、新たな投資と時間が必要である。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

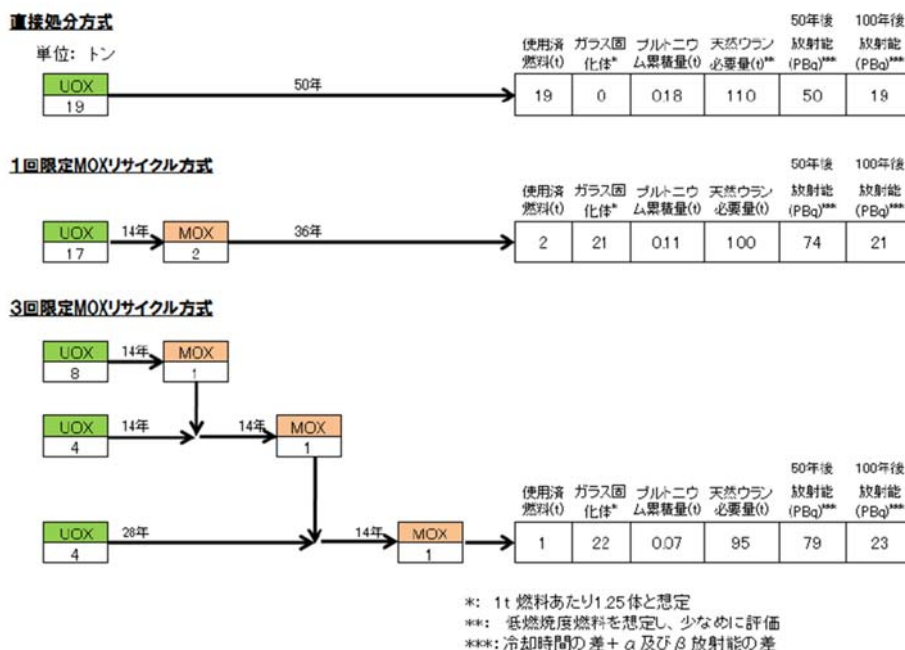
78

参考：天然ウランの節約効果の推移



注)ウラン燃料には初装荷分を含む

参考：直接処分とMOXリサイクルの比較

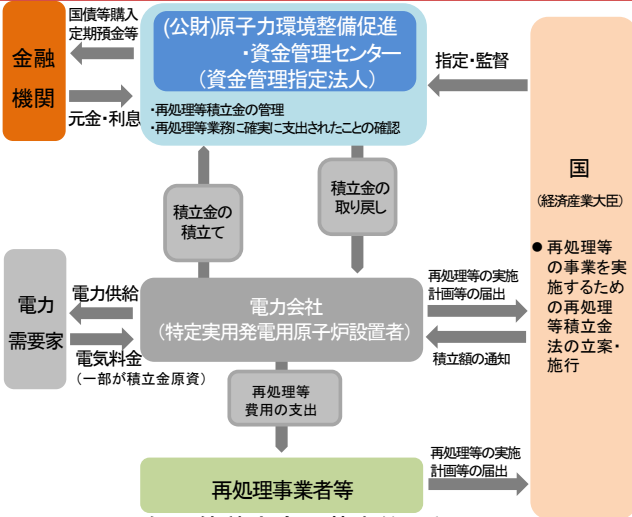


出典: 第11回新大綱策定会議(平成24年3月29日)、資料第5号、山名委員からの提出意見より

参考:再処理等積立金

- 原子力発電所の使用済燃料を再処理する事業は、その費用が巨額であり、事業が長期にわたるため、世代間の公平性の観点から、必要な資金を透明性・安全性が担保された形で確保する必要がある。
- このため、法※に基づき、各電力会社は再処理等に必要な費用を積み立てることが定められており、その用途は再処理の実施に限られている。
- 再処理等積立金は、再処理事業者や各電力会社の内部積立とはせず、透明性・安全性の観点から、法※に基づき、外部の資金管理人に積み立て、管理・運用することとなっている。

※原子力発電における使用済燃料の再処理等のための積立金の積立て及び管理に関する法律



再処理等積立金の積立て状況

(単位:億円)

| | 平成17年度 | 平成18年度 | 平成19年度 | 平成20年度 | 平成21年度 | 平成22年度 | 平成23年度 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 総見積額 | 126,850 | 126,873 | 127,038 | 118,958 | 121,308 | 122,516 | 122,237 |
| 積立金残高 | 10,384 | 12,479 | 15,682 | 18,389 | 21,443 | 24,416 | 26,572 |

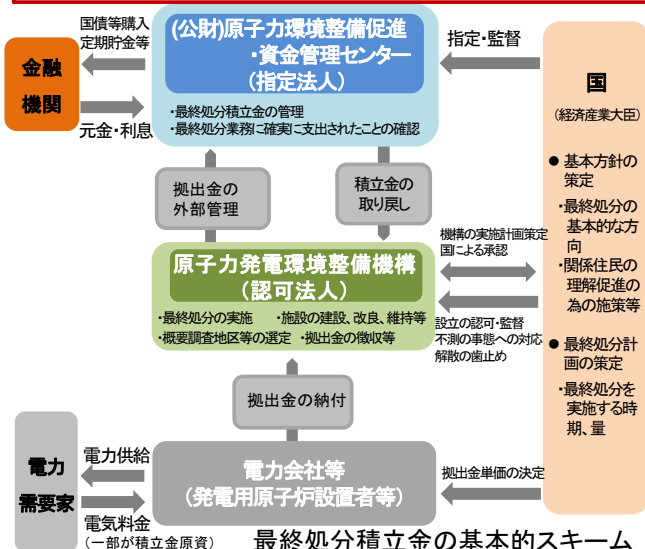
※総見積額は法に基づき算定

- 総見積額は六ヶ所再処理工場で再処理される使用済燃料(32,000tU)に係る再処理等の金額。

参考:最終処分積立金

- 原子力発電所の使用済燃料から生じる高レベル放射性廃棄物等の最終処分事業は、その費用が巨額であり、事業が長期間にわたるため、世代間の公平性の観点から、必要な資金を透明性・安全性が担保された形で確保する必要がある。
- このため、法※に基づき、各電力会社等は最終処分に必要な費用を、毎年度、高レベル放射性廃棄物等の発生量に応じて、実施主体である原子力発電環境整備機構(NUMO)に拠出することが定められており、その用途はNUMOが実施する最終処分事業に限られている。
- 最終処分拠出金は、NUMOの内部積立とせず、透明性・安全性の観点から、法※に基づき、外部の資金管理人に積み立て、管理・運用することとなっている。

※特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律



最終処分積立金の積立て状況

(単位:億円)

最終処分業務に必要な最終処分費(総見積額)

| | 平成17年度算定 | 平成18年度算定 | 平成19年度算定 | 平成20年度算定 | 平成21年度算定 | 平成22年度算定 | 平成23年度算定 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 高レベル放射性廃棄物分(ガラス固化体分) | 27,652 | 27,728 | 27,879 | 27,582 | 27,922 | 27,769 | 27,183 |
| T R U 廃棄物分 | — | — | 7,439 | 7,506 | 7,637 | 7,548 | 7,404 |
| 合計 | 27,652 | 27,728 | 35,318 | 35,088 | 35,559 | 35,317 | 34,587 |

※総見積額は法に基づき算定

※TRU廃棄物分については、平成19年の特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律の改正により制度化され、平成20年度から拠出を開始。

最終処分積立金運用残高

(単位:億円)

| | 平成17年度末 | 平成18年度末 | 平成19年度末 | 平成20年度末 | 平成21年度末 | 平成22年度末 | 平成23年度末 |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 高レベル放射性廃棄物分(ガラス固化体分) | 4,236 | 4,999 | 5,763 | 6,498 | 7,394 | 8,201 | 8,798 |
| T R U 廃棄物分 | — | — | — | 95 | 137 | 175 | 216 |
| 合計 | 4,236 | 4,999 | 5,763 | 6,592 | 7,530 | 8,375 | 9,014 |

参考; サイクルコスト試算条件(変更点)

| 項目 | 2011年10月技術小委 | | 今回 |
|------------|---|----------|---------------------------|
| ウラン燃料濃縮度 | 再処理モデル | BWR 3.7% | ← |
| | 現状モデル | PWR 4.6% | |
| | 直接処分モデル | PWR 4.5% | ← |
| 平均取出燃焼度 | UO ₂ 燃料: 45,000 MWd/t MOX燃料: 40,000 MWd/t | | ← |
| 炉内滞在時間 | 5年 | | ← |
| 熱効率 | 34.5% | | ← |
| 為替レート | 85.74 円/\$ | | ← |
| 割引率 | 0, 1, 3, 5 % | | 3% |
| 再処理:中間貯蔵比率 | 50:50 | | 80:20 (使用済燃料発生量の減少に伴う) |
| 次世代生成率 | 15% | | ← |
| 所内率 | 3.5% | | 4.0% (コスト等検証委員会に併せる) |

※ 上表以外は変更なし。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

83

参考: 経済性(1) : 将来を見通して発生する費用ベースの核燃料サイクルの総費用

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用から、2011年以前に支出した費用、六ヶ所再処理工場の初期建設費の減価償却費を引いて算出(第13回技術等小委員会、資料第1-5号参照)。なお、割引率は3%とした。単位:兆円

| 兆円, 割引率3% | シナリオ1 (全量再処理) | シナリオ2 (再処理/処分併存) | | シナリオ3 (全量直接処分) |
|--|--------------------------------|--------------------------------|---|--|
| | | 中間貯蔵分を再処理 | 中間貯蔵分を直接処分 | |
| ウラン燃料 MOX燃料 (フロントエンド計) | 2.66 0.57 (3.23) | 2.66 0.57 (3.23) | 2.66 0.57 (3.23) | 2.94 0.14 (3.08) |
| 再処理等 中間貯蔵 高レベル廃棄物処分 直接処分 (バックエンド計) | 4.23 0.00 0.86 (5.09) | 4.23 0.00 0.86 (5.09) | 4.21 0.00 0.85 0.00~0.01 (5.08) | 1.19 1.31 0.02 1.08~1.23 (3.60~3.75) |
| 合計 | 8.3 | 8.3 | 8.3 | 6.7~6.8 |

上記の他に立地自治体との条件の変更に伴い追加の費用*が発生する可能性がある。

※: 詳細は72ページ参照。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

84

ステップ3の評価:2030年まで (原子力比率Ⅲのケース)

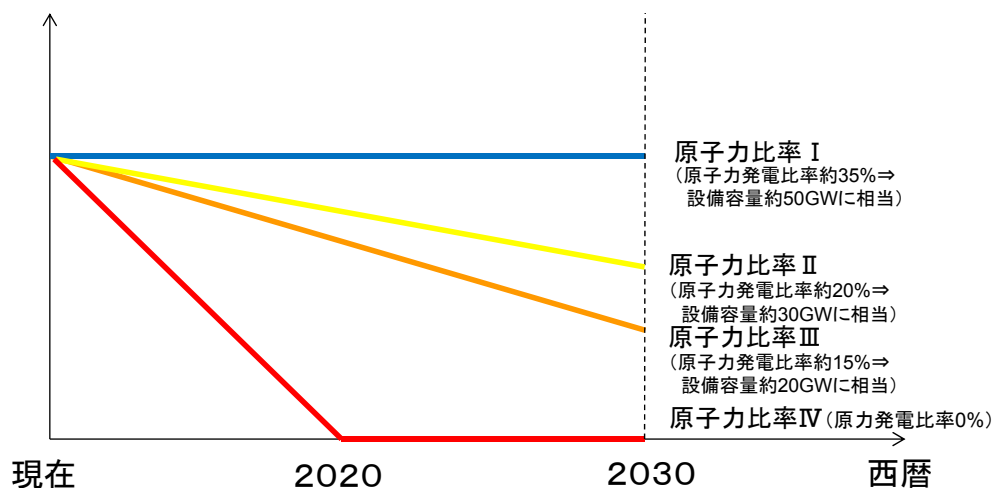
2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

85

各原子力発電比率の設定

総合資源エネルギー調査会基本問題委員会で検討されているエネルギーベストミックスにおける原子力発電比率のうちから、代表的な4つを選定した。



2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

86

各原子力比率における設備容量

原子力比率Ⅰ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率 : **35%**
設備利用率 : 約80%
(1兆kWh × 35%) / (365日 × 24時間 × 80%) = **約50GW**

原子力比率Ⅱ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率 : **20%**
設備利用率 : 約80%
(1兆kWh × 20%) / (365日 × 24時間 × 80%) = **約30GW**

原子力比率Ⅲ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率 : **15%**
設備利用率 : 約80%
(1兆kWh × 15%) / (365日 × 24時間 × 80%) = **約20GW**

原子力比率Ⅳ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率 : **0%**

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

87

シナリオ評価における評価項目について

◆短期的に重要な課題

- 使用済燃料管理・貯蔵
 - 使用済燃料貯蔵量、貯蔵容量
- 核燃料サイクルを巡る国際的視点
 - Pu利用(在庫量)、国際貢献
 - 核不拡散、核セキュリティリスクへの影響
 - 日米原子力協定への影響
- 政策変更または政策を実現するための課題(立地困難性を含む)
 - 使用済燃料貯蔵への影響、立地自治体との信頼関係への影響、雇用への影響、技術力への影響(人材、技術基盤・インフラストラクチャの影響)、海外委託再処理に伴う返還廃棄物への影響、政策変更に伴う費用負担のあり方

◆中・長期的に重要な課題

- 経済性
 - シナリオに基づく核燃料サイクルの総費用 など
- エネルギー安全保障、ウラン供給確保
 - 資源節約、燃料危機への抵抗力
- 放射性廃棄物発生量
- 選択肢の確保(柔軟性)
 - 開発の柔軟性、政策変更への柔軟性

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

88

短期的に重要な課題

使用済燃料管理・貯蔵：使用済燃料貯蔵量、貯蔵容量

共通事項

- 2010年末時点の使用済燃料の総量は約1.7万tUである。2030年までに追加で発生する使用済燃料の発生量は、約1.4万tUであり、合計で約3.0万tUとなる。
- サイト内の使用済燃料プールの貯蔵容量は約2万tU(2010年時点)である。また、原子力比率Ⅲの場合、設備容量が2000万kWまで減るため、使用済燃料プールの管理容量が減少する。
- 六ヶ所再処理施設の貯蔵容量は0.3万tU、現在建設中のむつりサイクル燃料貯蔵施設(以下「むつRFS」という。)は0.5万tUの貯蔵容量※がある。
※東京電力㈱と日本原子力発電㈱の使用済燃料が対象
- 今後は敷地内、敷地外にかかわらず、貯蔵容量の確保が課題。

シナリオ1(全量再処理)

- 再処理を2030年まで運転する間、稼働率がある程度低下する。使用済燃料の総量は約1.9万tUとなる。
- むつRFSを期待しても、国内の全貯蔵容量に対して0.2万tUの貯蔵容量が不足するため、それ以上の貯蔵容量の増強を行わないと一部の発電所は運転できない。

シナリオ2(再処理/処分併存)

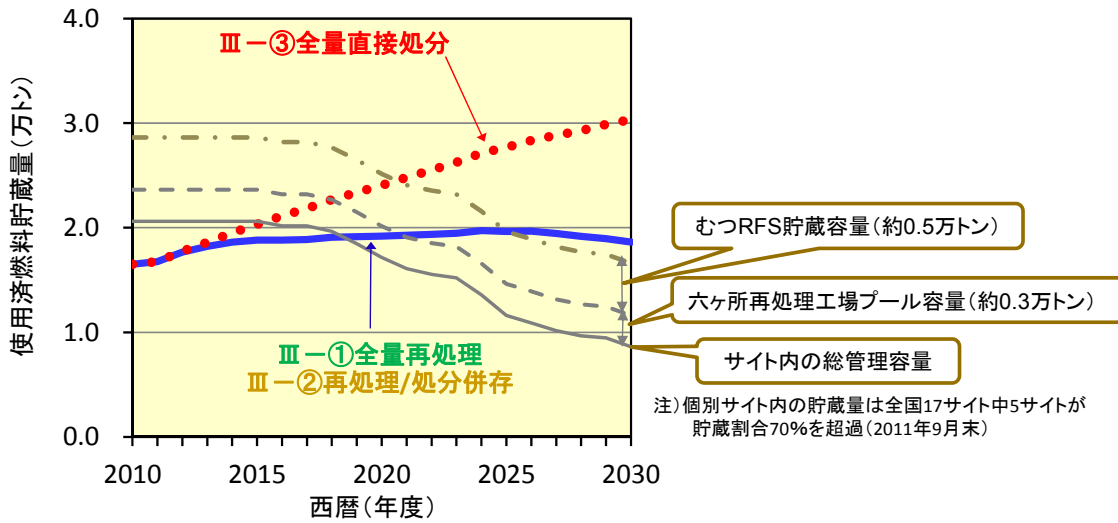
- 貯蔵容量と使用済燃料発生総量はシナリオ1と同じ。
- むつRFSは再処理を前提とした貯蔵施設であるため、再処理を前提とした使用済燃料を貯蔵する。むつRFSを期待できない場合には、0.7万tU以上の中間貯蔵施設を含め貯蔵容量の増強が喫緊の課題となる。

シナリオ3(全量直接処分)

- 2030年まで廃棄物としての使用済燃料は約3.0万tU発生し、現在の貯蔵容量を超えることから、貯蔵容量の増強が喫緊の課題となる。
- むつRFSは再処理を前提とした貯蔵施設であるため、直接処分を前提とした利用に課題がある。また、六ヶ所再処理施設での貯蔵継続に課題がある。

解析結果(使用済燃料貯蔵量)

- 全量直接処分Ⅲ-③の場合、使用済燃料貯蔵量は直線的に増加し続けるが、六ヶ所再処理工場を運転するⅢ-①およびⅢ-②の場合、使用済燃料はリサイクルするため、その貯蔵量の増加を抑えることができる。

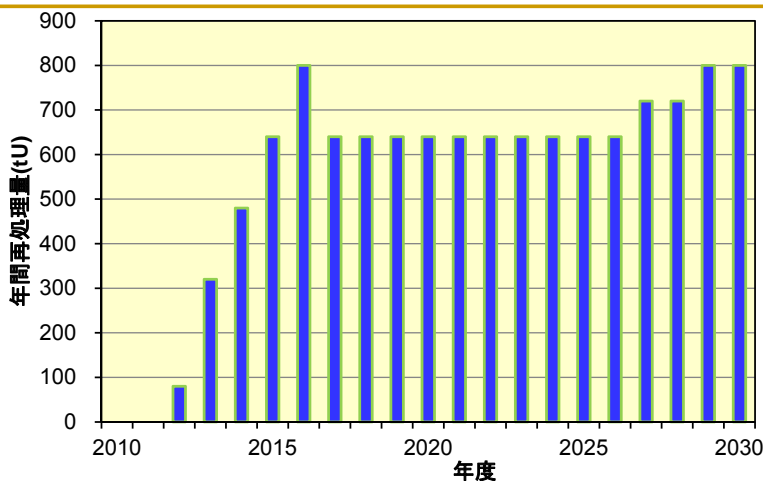


シナリオ間の使用済燃料貯蔵量比較

解析結果(六ヶ所再処理工場運転状況)

- プルサーマルで消費されるPu量に応じて、海外のPu利用も考慮しつつ六ヶ所再処理工場で使用済燃料の再処理を行う。
- 2016年までは当初の計画に沿って立ち上げ、その後はPu消費量に応じて稼働率80%※で運転を行う。海外Pu利用がほぼ終了しプルサーマルが増加する2027年以降は、徐々に800トン/年まで増加させ、Puの需給バランスを取る。

※プルサーマルを実施する原子炉基数を増やすことで、稼働率100%(800トン/年)の再処理を行うことも可能。



六ヶ所再処理工場の運転状況(全量再処理、再処理/処分併存の場合)

前提条件:

- プルサーマルを実施する原子炉(以下「プルサーマル炉」という。)で消費されるPu量に応じて再処理を実施
- 2023年までは、プルサーマル炉を16基約16GWで運転するとし、海外のPu及び六ヶ所再処理工場から回収したPuを利用すると想定
- 2024年度以降は、40年を迎えたプルサーマル炉の運転停止に伴い、比較的新しい炉をプルサーマル炉とする。16基は変えないが、プルサーマル炉の変更により、容量が約17~18GWに増加すると想定。

核燃料サイクルを巡る国際的視点：Pu利用（在庫量）

共通事項

- 2010年末時点で、海外からの未返還分（約23tPuf）、国内発電所保管分（約1tPuf）及び抽出済み分（約2.3tPuf）が存在するため※、これらを減らすことが必要。
- 海外未返還分と国内発電所保管分は約1700万kW相当の原子炉によるプルサーマル約10年で利用可能。ただし、プルサーマル受け入れに関する地元の理解が必要。
- 再処理に伴い回収される回収Uが現在国内に約1,900tU存在し、その取扱いが課題。

シナリオ1（全量再処理）

- 今後、再処理によってPuが発生（4tPuf/年強（800t/年の場合）以下）するが、プルサーマルを実施する原子炉の規模を約1600～1800万kWと仮定すると、現有Puを削減しつつ、現有Puがなくなった後もPuを増やさずバランスしながらプルサーマルの実施が可能。

シナリオ2（再処理/処分併存）

- 今後、再処理によってPuが発生（4tPuf/年強（800t/年の場合）以下）するが、プルサーマルを実施する原子炉の規模を約1600～1800万kWと仮定すると、現有Puを削減しつつ、現有Puがなくなった後もPuを増やさずバランスしながらプルサーマルの実施が可能。
- シナリオ2においては、使用済MOX燃料の処理処分の方針が不透明となるため、プルサーマル受け入れに関する地元の理解に対し、より一層の努力が必要となる。

シナリオ3（全量直接処分）

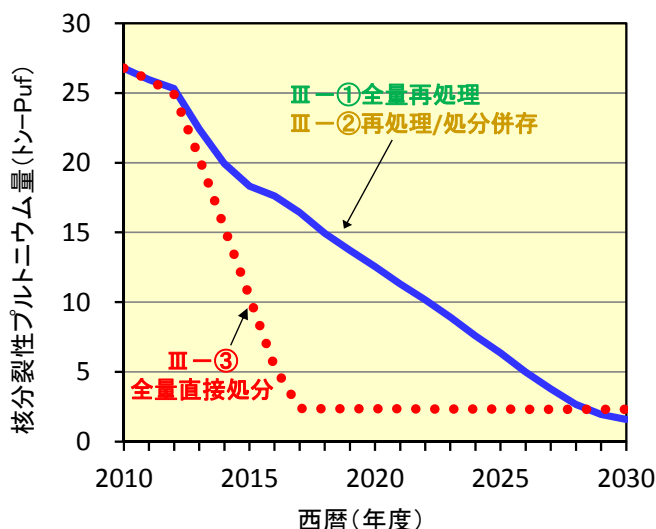
- 国内MOX燃料加工工場の建設は中止されるため、国内で抽出済みのPu約2.3tPufをMOX燃料に加工する能力の確保が必要である。
※我が国には、その他研究用として約3.3tPuf存在する。

2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

93

解析結果（Pu貯蔵量）



核分裂性プルトニウム貯蔵量の推移

| シナリオ | 2030年時点で貯蔵されている使用済燃料中に含まれるPu(トン) |
|-----------------|----------------------------------|
| Ⅲ-① 全量再処理 | 約150 |
| Ⅲ-② 再処理/処分併存 | |
| Ⅲ-③ 全量直接処分 | 約190 |

2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

94

核燃料サイクルを巡る国際的視点： 国際貢献

共通事項

- ・ アジア、中東等における原子力発電所の利用が拡大していく中で、核不拡散、特に使用済燃料の的確な管理等が避けられない課題。我が国は原子力発電に関する主要な技術保有国・輸出国であり、また、非核兵器保有国でありながら核燃料サイクル能力を有する独特の位置づけにある。

シナリオ1(全量再処理)

シナリオ2(再処理/処分併存)

- ・ 高速炉サイクル技術を含む核燃料サイクル施設で培った安全、保障措置、核セキュリティに関する基盤技術を他の国に技術支援することにより、国際貢献できる。
- ・ 我が国の設備規模、運転状況に依存するが、多国間枠組みに我が国が積極的に関わることができる。

シナリオ3(全量直接処分)

- ・ 核燃料サイクル分野において国際貢献できる範囲はシナリオ1、シナリオ2と比べて狭まる。但し、その範囲において積極的にかかわることができる。

核燃料サイクルを巡る国際的視点：核不拡散、核セキュリティにおけるリスクへの影響

共通事項

- ・ IAEA保障措置や核セキュリティの要求項目を満足させる必要がある。
- ・ 世界の核拡散、核セキュリティにおけるリスクの低減に貢献することが重要である。

シナリオ1(全量再処理)

- ・ 平和利用に限定することについて国際理解の増進が必要。
- ・ 核拡散や核テロの発生に対する国際社会の懸念を招かないよう、Pu取扱量や輸送量が増えることに対して国際社会で合意された厳格な保障措置、核セキュリティ対策を講じることが求められる。
- ・ 我が国の再処理施設の保障措置のため、現状、査察に毎年約1,000人日[※]の人工数を要している(2010年実績で、原子炉等規制法で規制される全ての施設を対象とした査察に毎年約2,500人日を要する)。
- ・ ガラス固化体はIAEAの検認を経て包括的保障措置の適用を終了させ得るが、核セキュリティ上への対応は必要。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- ・ 基本的にはシナリオ1と同様。
- ・ 使用済燃料の直接処分にはPuが含まれるため、処分後の保障措置についての国際的な検討が必要。

シナリオ3(全量直接処分)

- ・ Pu取扱量や輸送量が減るものの、現有再処理施設等にPu等の核物質が存在する限り、核不拡散、核セキュリティの取り組みの維持が必要。
- ・ 使用済燃料の直接処分にはPuが含まれるため、処分後の保障措置についての国際的な検討が必要。

[※] 平成23年第29回定例会資料4号『我が国における保障措置活動状況等について』参照

核燃料サイクルを巡る国際的視点：日米原子力協定への影響

共通事項

- 1974年のインドの核実験を契機としたカーター米大統領による核不拡散政策の強化により、旧動力炉・核燃料開発事業団（現日本原子力研究開発機構）の東海再処理施設（1971年建設開始）における米国から輸入された核物質の再処理について、日米原子力協定（旧協定）に基づく米国の同意取り付けが難航した。核不拡散強化方針を打ち出していた米国との間で10年にわたる交渉の結果、再処理にかかる包括同意等を取り付けた（1988年）。

シナリオ1（全量再処理）

- 再処理を継続する場合でも、福島事故を踏まえ、核セキュリティの強化など、より厳格な不拡散に関する措置が求められる可能性がある。

シナリオ2（再処理/処分併存）

- 再処理を実施する場合はシナリオ1と同じ。
- 再処理能力を超えた使用済燃料の扱いが不明確のままであるため、その取扱いを米国と協議することが必要となる可能性がある。
- 将来再処理するかどうか不明確な場合、米側から再処理についての包括同意の見直しを求められる可能性がある。

シナリオ3（全量直接処分）

- 再処理を中止するため、日米協定にその内容を反映することが必要。
- 一旦再処理政策を取りやめ、再び再処理政策を選択しようとする場合、改定交渉が難航し、長期に亘って再処理ができない可能性がある。

2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

97

政策変更または政策を実現するための課題

社会受容性：立地困難性（使用済燃料貯蔵施設）

共通事項

- 政策選択枝の柔軟性の確保のため、使用済燃料の貯蔵容量の増強が必要である。
- 使用済燃料貯蔵容量の増強に関して、地元の理解、同意に時間を要する。（敷地内：使用済燃料プールの増強、貯蔵施設の追設、敷地外：貯蔵施設の建設）
- 敷地外の使用済燃料貯蔵施設に関しては地元の了解を得ているのはむつRFS一箇所のみである。むつRFSは、使用済燃料を再処理するまで50年間貯蔵することで地元了解と国からの事業許可を得ている。
- いずれのシナリオでも、地元からは使用済燃料を搬出すること（特に時期）を求められる。

シナリオ1（全量再処理）

- 貯蔵する使用済燃料の量は、他のシナリオと比較して相対的に少ない。
- 地元に対し、使用済燃料は再処理するまで貯蔵することで申し入れる。

シナリオ2（再処理/処分併存）

- 2030年まででは、貯蔵する使用済燃料の量はシナリオ1と同じ。
- 地元に対して、従来説明し理解を得ている内容に修正を加え、使用済燃料は再処理するまで貯蔵するか廃棄物として貯蔵するか、不明確な位置付けで申し入れることになる。
- 申し入れに当たり、使用済燃料の扱いの将来像が不明確な場合には、搬出先についても求められる可能性がある。

シナリオ3（全量直接処分）

- 貯蔵する使用済燃料の量は、他のシナリオと比較して相対的に多い。
- 地元に対して、従来説明し理解を得ている内容に修正を加え、使用済燃料は廃棄物として貯蔵することで申し入れる。
- 申し入れに当たり、搬出先についても求められる可能性がある。

2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

98

社会受容性：立地困難性（最終処分施設）

共通事項

- 現時点で、貯蔵されている使用済燃料が約1.7万tU、ガラス固化体が約2,600本ある。放射性廃棄物の処分対策は将来世代に先送りすべきでない。
- 最終処分施設の立地はいずれのシナリオでも容易ではない。

シナリオ1(全量再処理)

- 最終処分施設の面積は他のシナリオと比較して小さくなる。
- ガラス固化体を前提とした地層処分については、ガラス固化の安定性等の知見が得られており、それを踏まえた立地活動が行われてきている。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- 直接処分も行う場合には、最終処分施設の面積はシナリオ1と3の中間となる。（直接処分を行う使用済燃料の量に応じて変化する。）
- 直接処分も行う場合には、直接処分に関する十分な知見が得られるまで本格的な立地活動開始が困難なため、選定作業が遅れる可能性がある。また、プルトニウム等の核物質を埋設することに住民の理解の獲得が必要である。

シナリオ3(全量直接処分)

- 最終処分施設の面積は他のシナリオと比較して大きくなる。
- 直接処分に関する十分な知見が得られるまで本格的な立地活動開始が困難なため、選定作業が遅れる可能性がある。
- プルトニウム等の核物質を埋設することに住民の理解の獲得が必要である。

雇用への影響

シナリオ3(全量直接処分)

- 再処理事業を中止した場合には、今後のサイクル事業全体(40年分の再処理工場の運転と廃止措置)のうち、40年分の再処理工場の運転にかかる雇用が失われることとなる。(サイクル事業に関連して働く人数は約5,000人(県内出身約7割)、一方、再処理施設の廃止措置に当たっては、年間約1300人の雇用が約30年間分残ると見込まれる。*)

| 会社名 | 社員数 | 県内雇用数 | 備考 |
|-----------------|-------|-------|---------------------------------------|
| 日本原燃(株) | 2,442 | 1,374 | 昭和61年度以降の新規採用者数は1,718人で、うち地元採用は1,345人 |
| (株)ジェイテック | 295 | 259 | |
| 原燃輸送(株)六ヶ所輸送事業所 | 31 | 25 | |
| むつ小川原原燃興産(株) | 203 | 201 | |
| 六ヶ所原燃警備(株) | 165 | 165 | |
| 関連会社※ | 1,902 | 1,594 | |
| 合計 | 5,038 | 3,618 | |

H23.4.1現在

*総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 第8回コスト等検討小委員会資料 第1-2「再処理施設の廃止措置費用について」に基づいて算出

※サイクル施設及び付帯施設の関連業務(メンテナンス等)を行う会社 合計51社

経済面、技術基盤面への影響

- 我が国が培ってきた核燃料サイクルの技術力への影響(人材、技術基盤、インフラストラクチャーへの影響)

シナリオ1(全量再処理)

- 軽水炉サイクル及びFBRサイクル技術は現計画のままであり、今後開発を進めることで更なる発展が期待される。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- 軽水炉サイクル技術については、現計画のままであり、今後開発を進めることで更なる発展が期待される。
- 直接処分技術について実用化に向けた研究開発を行うため、直接処分に関する人材、技術基盤、インフラが蓄積される。但し、ガラス固化体処分と技術的に重なる部分が多く、その研究開発成果を流用できる。
- FBRサイクル技術については、実用化に向けた研究開発から、その実施の判断に必要な研究レベルに変わること、FBRに対する民間の投資意欲が減退する可能性がある。

経済面、技術基盤面への影響

- 我が国が培ってきた核燃料サイクルの技術力への影響(人材、技術基盤、インフラストラクチャーへの影響)

シナリオ3(全量直接処分)

- 直接処分技術について実用化に向けた研究開発を行うため、直接処分に関する人材、技術基盤、インフラが蓄積される。但し、ガラス固化体処分と技術的に重なる部分が多く、その研究開発成果を流用できる。
- 発電炉に比べて建設機会が非常に少ない再処理事業は、現在の施設の運転や改良工事を通じて知見の蓄積と改良を図りながら独自に技術力を維持・向上させる必要があり、事業が中止されれば、現時点で民間に蓄積されている建設・運転・保守の知見や人材は失われるため、再び再処理政策を選択したとしても、失われた技術を取り戻すために、長い期間や多大な費用が必要となる。
- FBRサイクルの実用化に向けた研究開発を中止した場合、関連の研究開発については、基本的に規模の縮小／中止(予算減、人員減、関連研究施設の廃止)となり、これまで培ってきた技術を長期間維持することは困難になる。また、これまで、常陽、もんじゅ等の建設・運転や、FBR実用化に向けて進めてきた研究開発によって民間に蓄積された技術・人材は失われることとなり、再びFBR実用化を目指したとしても、失われた技術を取り戻すために、長い期間や多大な費用が必要となる。

(参考)○高速増殖炉サイクル開発に関わる人材規模

【JAEA】

(核燃料サイクル工学研究所:約730名、高速増殖炉研究開発センター(もんじゅ):約210名、大洗研究開発センター(常陽など):約530名、次世代原子力システム研究開発部門:約180名)

【メーカー】約900人(FBRサイクル開発業務に従事するエンジニア数)

○再処理事業に関わる人材規模

【日本原燃】約2400人

海外再処理に伴う返還放射性廃棄物

共通事項

- 仏国からの低レベル廃棄物、英国からの高レベル廃棄物が返還される予定。
- 返還放射性廃棄物は、青森県の協力のもとに、ガラス固化体に関する廃棄物管理施設へ一時的に受け入れ、管理期間終了後に搬出することとなっている。

シナリオ1(全量再処理)

- ガラス固化体に関する廃棄物管理施設の位置付けは変わらず、返還放射性廃棄物を現行の廃棄物管理施設に受け入れる現計画に変更なし。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- ガラス固化体に関する廃棄物管理施設の位置付けは変わらず、返還放射性廃棄物を現行の廃棄物管理施設に受け入れる現計画に変更なし。

シナリオ3(全量直接処分)

- 再処理を中止するため、六ヶ所再処理工場のガラス固化体に関する廃棄物管理施設への返還放射性廃棄物を受け入れることができなくなる可能性がある。
- 上記の場合、返還放射性廃棄物を受け入れるための施設を準備する必要があるが、受け入れ先の選定や建設等に時間を要する場合、仏国で「放射性廃棄物管理の研究に関する法律※」に抵触する等、国際問題となる可能性がある。

※放射性廃棄物管理の研究に関する法律 第3条—外国からの放射性廃棄物は、仮にその廃棄物が再処理委託によって発生した場合でも、再処理上、技術的に必要とされる期間を越えて貯蔵してはならない。

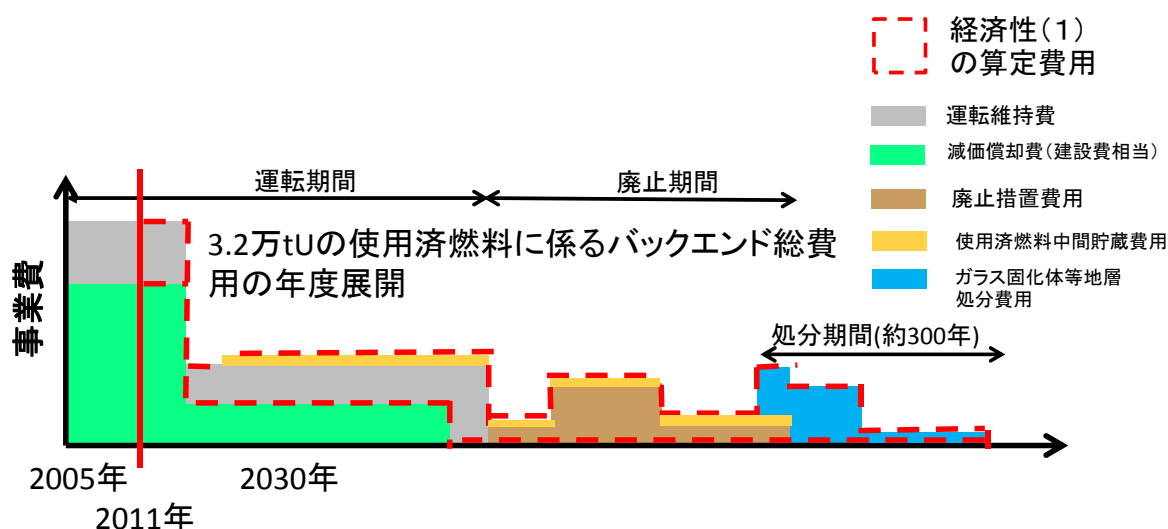
中・長期的に重要な課題

経済性(1)の評価方法

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用から、2011年以前に支出した費用、六ヶ所再処理工場の初期建設費の減価償却費を引いた総額を算出

経済性(1)の評価方法

—算定のイメージ(全量再処理)—

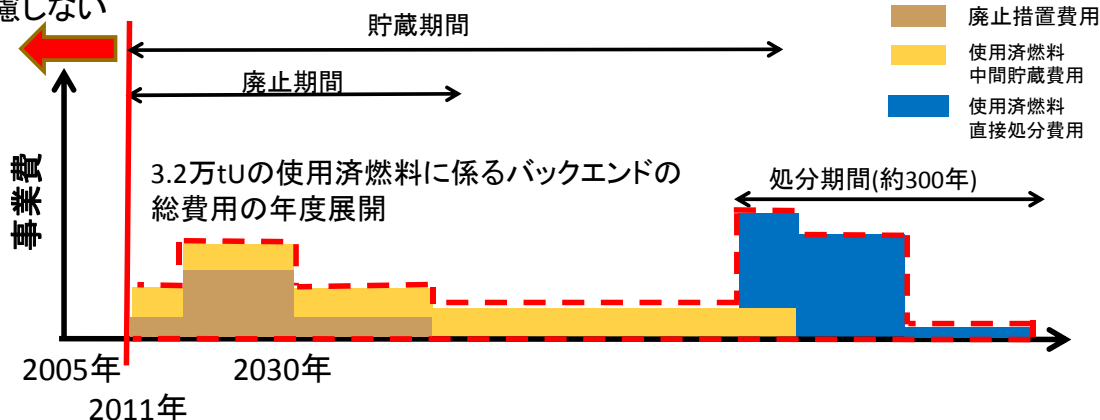


※なお、六ヶ所再処理工場の容量(3.2万tU)を超える使用済燃料分のバックエンド費用が生じる場合は、経済性(2)の評価と同じ方法とする。

経済性(1)の評価方法

—算定のイメージ(全量直接処分)—

2011年以前の費用は考慮しない



- 2030年までに発生する使用済燃料を直接処分する場合に発生する費用に加え、六ヶ所再処理工場の廃止措置を2012年より開始するとして費用を加える。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

107

経済性(1)：将来を見通して発生する費用ベースの核燃料サイクルの総費用

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用から、2011年以前に支出した費用、六ヶ所再処理工場の初期建設費の減価償却費を引いて算出(第13回技術等小委員会、資料第1-5号参照)。なお、割引率は0%とした。単位：兆円

| | シナリオ1 (全量再処理) | シナリオ2 (再処理/処分併存) | シナリオ3 (全量直接処分) |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--|
| 兆円, 割引率0% | | | |
| ウラン燃料 MOX燃料 (フロントエンド計) | 2.61 0.64 (3.25) | 2.61 0.64 (3.25) | 2.91 0.17 (3.08) |
| 再処理等 中間貯蔵 高レベル廃棄物処分 直接処分 (バックエンド計) | 8.26 0.36 2.53 (11.2) | 8.26 0.36 2.53 (11.2) | 1.78 1.56 0.04 4.43~5.18 (7.80~8.55) |
| 合計 | 14.4 | 14.4 | 10.9~11.6 |

上記の他に立地自治体との条件の変更に伴い追加の費用※が発生する可能性がある。

※: 詳細は114ページ参照。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

108

経済性(2)の評価方法

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用のうち、2010年から2030年までの間に積立しておくべき費用を算出

○ 費用算出の考え方

2010年から2030年で発生する使用済燃料の再処理や最終処分は主に2030年以降に行われる。このため、1kWh当たりのサイクルコスト^{注1}を用い、これに2010年から2030年で発生する原子力発電による電力量を乗じて総費用を算出(次頁参照)

$$\text{シナリオに基づく核燃料サイクルの総費用} = \text{サイクルコスト}^{\text{注1}}(\text{円/kWh}) \times \text{2010~2030年の総発電電力量(kWh)}$$

注1: 本小委員会にて実施した試算を元に、各シナリオ毎のサイクルコストを試算。(単位: 円/kWh)

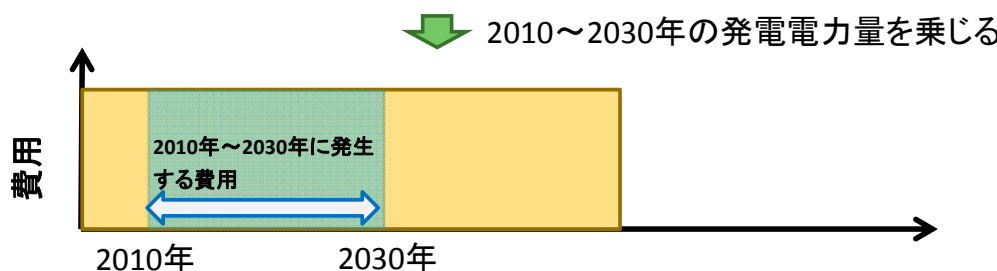
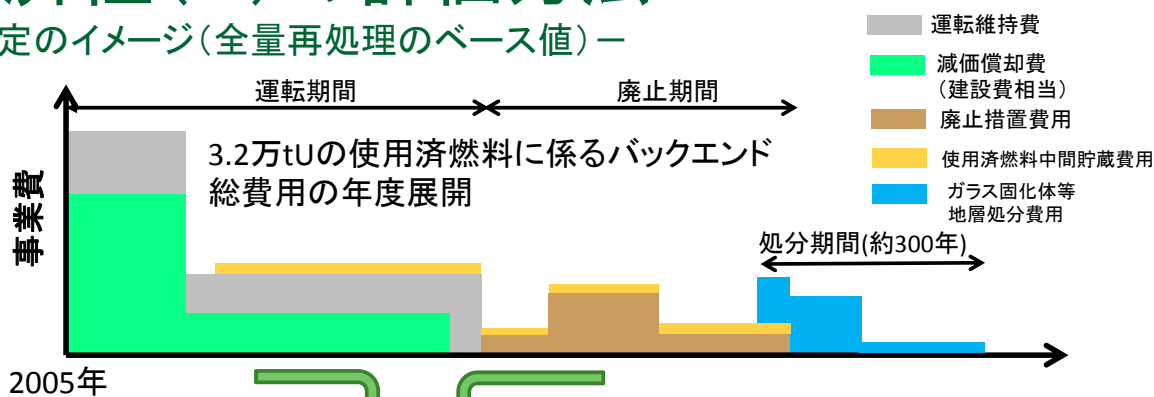
○ シナリオ3については下記の費用を追加で算出

- ✓ 六ヶ所再処理工場の埋没費用^{注2}(未償却資産に見合う費用)
- ✓ 廃止措置費用、既に存在するガラス固化体等の処分費用等
- ✓ 過去に発生した使用済燃料1.7万tUを直接処分に変更する場合に不足となる費用

注2: 埋没費用とは、投資評価を行う時点ですでに支出されてしまっている費用のこと。いずれの案を選択しても同様に発生する費用。会計上の簿価(帳簿価値)などが該当する。

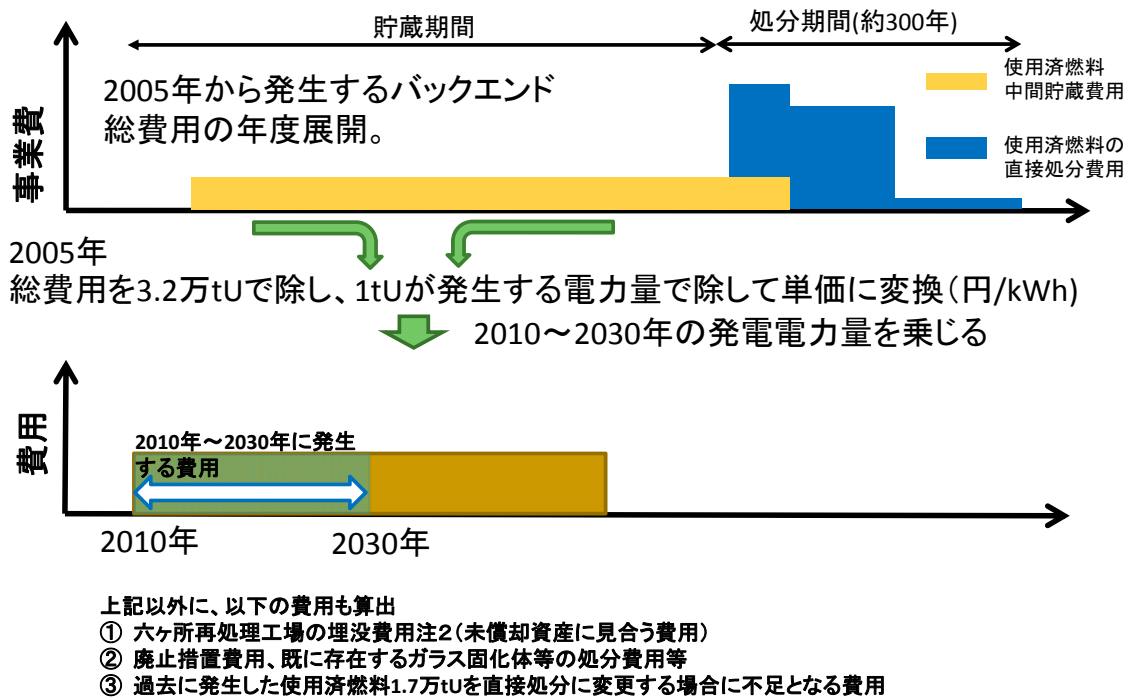
経済性(2)の評価方法

— 算定のイメージ(全量再処理のベース値) —



経済性(2)の評価方法

—算定のイメージ(全量直接処分のベース値)—



2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

111

経済性(2)：発電時点で発生し得る費用ベースの核燃料サイクルの総費用

| | シナリオ1 (全量再処理) | シナリオ2 (再処理/処分併存) | シナリオ3 (全量直接処分) |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--|
| 単位: 円/kWh, 割引率3% | | | |
| ウラン燃料 MOX燃料注 (フロントエンド計) | 0.76 0.09 (0.85) | 0.76 0.09 (0.85) | 0.81 --- (0.81) |
| 再処理等 中間貯蔵 高レベル廃棄物処分 直接処分 (バックエンド計) | 0.74 0.03 0.05 (0.81) | 0.74 0.03 0.05 (0.81) | --- 0.09 --- 0.10~0.11 (0.19~0.21) |
| 合計 | 1.67 | 1.67 | 1.00~1.02 |

× 4.8兆kWh (2010~2030年の総発電電力量)

| | | | |
|-------------|-------|-------|-----------|
| シナリオに基づく総費用 | 8.1兆円 | 8.1兆円 | 4.8~4.9兆円 |
|-------------|-------|-------|-----------|

上記の費用の他、シナリオによって追加の費用^{※1}が発生する。
また、上記の他に立地自治体との条件の変更に伴い追加の費用^{※2}が発生する可能性がある。

注 海外からの返還Puの利用費用及び返還放射性廃棄物処分費用は全シナリオとも含めていない。
ただし、海外Pu利用は全てのシナリオで同等に扱っているため、各シナリオで費用の差は無い。

※1: 詳細は113ページ参照。
※2: 詳細は114ページ参照。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

112

経済性：シナリオ毎に考慮する必要がある費用

記号の説明

- ：経済性(1)(2)の総費用に含まれておらず、考慮する必要がある費用
- △：経済性(2)の総費用に一部含まれている費用
- ×：経済性(1)の費用に既に含まれている費用
- －：考慮する必要がない費用

| I. いずれのシナリオにおいても将来発生することが決まっている費用 | | 経済性(1) | | 経済性(2) | | |
|--|--|---------|-------|---------|-------|---|
| | | シナリオ1,2 | シナリオ3 | シナリオ1,2 | シナリオ3 | |
| 六ヶ所再処理事業に伴う費用 | ①再処理工場及び既存工済MOX工場の建物・設備の未償却資産見合いの費用 | 1.78 兆円 | 評価対象外 | △ | ○ | |
| | ②廃止に必要な廃棄物処理設備等*の建設費及び既存施設も含めた工場全体の廃止までの操業費 *：現在未建設だが操業中と廃止中に使用する設備 | 0.27 兆円 | × | × | △ | ○ |
| | ③上記①及び②の建物・設備の廃止措置費用 | 1.51 兆円 | × | × | △ | ○ |
| | ④発生済廃棄物(ガラス固化体及びTRU廃棄物)の輸送・処分費 | 0.04 兆円 | × | × | △ | ○ |
| | ⑤回収済Pu(2.3tPuf)の貯蔵管理・処分関係費 | α | × | ○ | △ | ○ |
| II. シナリオ3で発生する固有の費用 | | | | | | |
| 既発生分の使用済燃料の直接処分とガラス固化体の費用差(1.7万トン×(14,500万円/tU－8,500万円/tU) | 1.02 兆円 | － | － | － | ○ | |

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

113

経済性：その他考慮すべき費用

－立地自治体との条件の変更に伴い追加の可能性のある費用注－

1. 六ヶ所再処理工場から国内各発電所に返送する可能性* 0.05兆円
 - ◆ 上記に伴う使用済燃料輸送費用
 - * その他、使用済燃料の返送に伴い、原子力発電所停止とそれを代替電源でカバーする時の費用発生(約20～30兆円)のリスクもある。(第15回資料第1-5号参照)
2. 海外からの返還廃棄物の受入れが滞って行き場を失う可能性 0.25兆円
 - ◆ 既存の海外返還廃棄物貯蔵施設(高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター)の未償却資産見合いの費用
 - ◆ 海外返還廃棄物の移送費用
 - ◆ 新規海外返還廃棄物貯蔵施設と将来の廃止費用
 - ※上記に加え、今後予定される海外返還予定廃棄物の返還時期延期による貯蔵費用の追加も発生し得る
3. 六ヶ所低レベル放射性廃棄物処分施設の受入れが延滞する可能性 0.06兆円
 - ◆ 新規低レベル放射性廃棄物処分施設のうち港湾、敷地費用
4. むつRFS建設計画中止の可能性(搬入予定の燃料が再処理されない場合) 0.03兆円
 - ◆ 現在までの建設投資額(キャスク除く)

注：本費用は割引率0%の数字である。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

114

エネルギー安全保障：資源節約、燃料危機への抵抗力

共通事項

- シナリオ1～3の如何にかかわらず、原子力発電の特徴である燃料危機（価格高騰化、供給途絶）に対する抵抗力を確保できるので、エネルギーの安定供給に貢献する。
- FBRが実用化される迄の間は、天然ウラン・濃縮ウラン市場の逼迫への対応が必要。

シナリオ1（全量再処理）

- 六ヶ所再処理工場で再処理されたPuをプルサーマルで利用することで、我が国のウラン消費量は年間約16%節約される。
- FBRが実用化された場合、ウラン資源制約から開放され、ウランの輸入なしに原子力発電が可能となる選択肢が確保される。

シナリオ2（再処理/処分併存）

- 六ヶ所再処理工場で再処理されたPuをプルサーマルで利用することで、我が国のウラン消費量は年間約16%節約される。
- FBRの実用化を目指す政策判断を先送りするため、燃料確保に関する将来の確実性が高まらない。

シナリオ3（全量直接処分）

- 直接処分にはエネルギー安全保障上の追加的な価値がなく、共通事項と同じ。

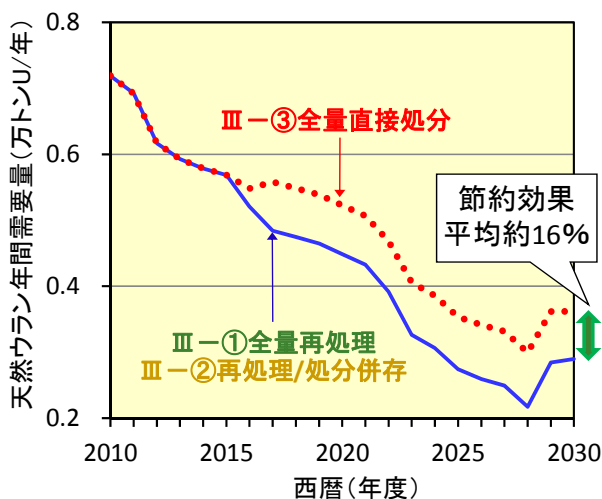
2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

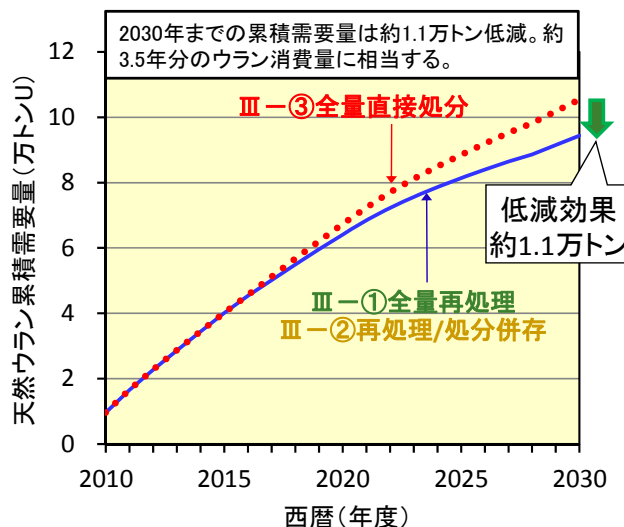
115

解析結果（天然ウラン需要量）

- 六ヶ所再処理工場で回収されるPuをプルサーマルで利用することにより、六ヶ所再処理が現行計画通りに運用を開始した場合（Ⅲ-①、Ⅲ-②）、全量直接処分シナリオに比べ、天然ウラン、濃縮ウランの年間需要の最大27%程度（平均で約16%）が節約される。さらに累積需要量は2030年時点で約1.1万トン少なくなることが見込まれる。



シナリオ間の天然ウラン年間需要量比較



シナリオ間の天然ウラン累積需要量比較

2012/5/23

新大綱策定会議（第19回）

116

放射性廃棄物発生量：放射性廃棄物発生量（地層処分）

共通事項

- どのシナリオにおいても、最終処分施設の立地・建設が不可欠。

| シナリオ | 2030年までの発生量 | | | 埋設する場合の廃棄物としての合計体積(換算) | 廃棄物処分施設の合計面積(換算) |
|-----------------|---------------------|--------------------|----------|------------------------|--------------------|
| | 高レベル放射性廃棄物がガラス固化体※8 | 低レベル放射性廃棄物(地層処分) | 使用済燃料 | | |
| シナリオ1(全量再処理) | 0.3万m ³ | 0.6万m ³ | 1.9万tU※1 | 5万m ³ ※2 | 204万m ² |
| シナリオ2(再処理/処分併存) | 0.3万m ³ | 0.6万m ³ | 1.9万tU※3 | 5万m ³ ※4 | 204万m ² |
| | | | | 14万m ³ ※5 | 455万m ² |
| シナリオ3(全量直接処分) | 0.04万m ³ | 0.2万m ³ | 3万tU※6 | 17万m ³ ※7 | 535万m ² |

※1, 3, 6 2030年時点で貯蔵されている使用済燃料。

※2 2030年時点で発生しているガラス固化体と低レベル放射性廃棄物(地層処分)及び※1を再処理した場合に発生する放射性廃棄物の合計体積

※4 2030年時点で発生しているガラス固化体と低レベル放射性廃棄物(地層処分)及び※3を再処理した場合に発生する放射性廃棄物の合計体積

※5 2030年時点で発生しているガラス固化体と低レベル放射性廃棄物(地層処分)及び※3を直接処分した場合に発生する放射性廃棄物の合計体積

※7 2030年時点で発生しているガラス固化体と低レベル放射性廃棄物(地層処分)及び※6を直接処分した場合に発生する放射性廃棄物の合計体積

※8 キャニスター体積(埋設する場合の体積はオーバーパック込みで計算)

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

117

放射性廃棄物発生量：低レベル放射性廃棄物（地層処分以外）

共通事項

- 低レベル放射性廃棄物は、原子力発電所の通常運転時及び廃止措置時に生じるものが大部分を占めており、シナリオによる廃棄物発生量の差は大きくない。

| シナリオ | 2030年までの発生量 余裕深度処分、浅地中ピット処分及び浅地中トレンチ処分廃棄物の合計 | | | 埋設する場合の廃棄物量の合計体積(換算) | 廃棄物処分施設の合計面積(換算) |
|-----------------|---|------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| | 原子炉からの廃棄物 | 再処理施設からの廃棄物 | その他の廃棄物 | | |
| シナリオ1(全量再処理) | 36万m ³ | 2万m ³ | 1万m ³ | 44万m ³ ※1 | 67万m ² ※1 |
| シナリオ2(再処理/処分併存) | | | | | |
| シナリオ3(全量直接処分) | 36万m ³ | 5万m ³ | 1万m ³ | 42万m ³ | 66万m ² |

※1 将来発生する再処理施設及びMOX燃料加工施設の廃止措置に伴う廃棄物を含めた値。

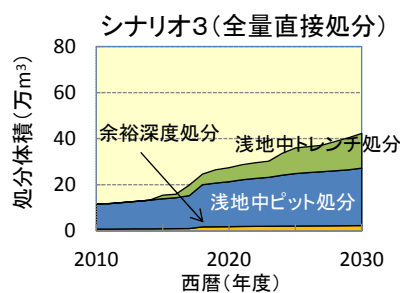
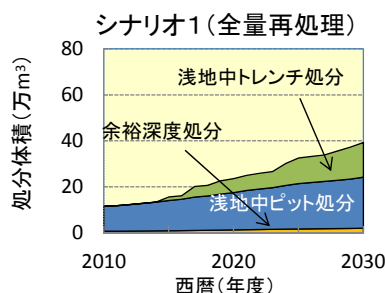
2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

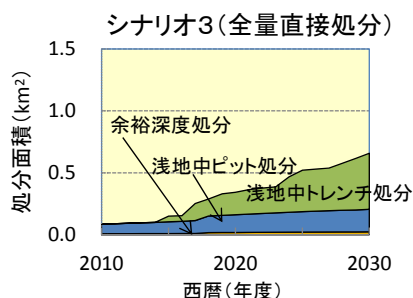
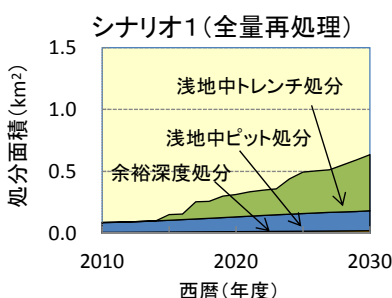
118

解析結果(低レベル放射性廃棄物(地層処分以外))

低レベル放射性廃棄物(地層処分以外)の処分体積



低レベル放射性廃棄物(地層処分以外)の処分場面積



2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

119

選択肢の確保: 開発の柔軟性、政策変更への柔軟性

シナリオ1(全量再処理)

- 政策選択肢が全量再処理に固定されているため、政策変更の柔軟性は限定される(政策課題が大きくなる)。
- 使用済燃料は全て再処理すると固定される。
- 長年に用いる再処理技術、高速炉技術の実用化を目指すため、投資を集中できる。ただし、実用化の成否について不確かさがある。

シナリオ2(再処理/処分併存)

- 再処理もしくは直接処分のいずれかを選択できるので、他シナリオより柔軟性がある。
- 使用済燃料は再処理されるのか、直接処分されるのか扱いが不明瞭となり、現行政策からの一貫性に懸念を生じさせる。
- 再処理技術、高速炉技術、直接処分技術の実用化を全て目指す。特定の技術に集中投資せず、進捗を確認しながら各技術の開発を進めるため、柔軟性がある。

シナリオ3(全量直接処分)

- 政策選択肢が全量直接処分に固定されているため、政策変更の柔軟性は限定される(政策課題が大きくなる)。
- 使用済燃料は全て直接処分すると固定される。
- 直接処分技術のみ実用化を目指すこととなるため、投資を集中できる。将来再処理が必要となった場合、技術基盤の再構築が必要となり、新たな投資と時間が必要である。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

120

参考：原子力比率Ⅲについて

原子力発電比率について

| 2030年断面 | | 稼働年数 | | | | | |
|-----------|--------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| | | 40年 | | 50年 | | 60年 | |
| | | 発電電力量 (億kWh) | 割合(%) | 発電電力量 (億kWh) | 割合(%) | 発電電力量 (億kWh) | 割合(%) |
| (1) 新增設無し | 稼働率70% | 1,302 | 13% | 2,180 | 22% | 2,830 | 28% |
| | 稼働率80% | 1,488 | 15% | 2,492 | 25% | 3,234 | 32% |
| (2) 新增設1基 | 稼働率70% | 1,394 | 14% | 2,222 | 23% | 2,922 | 29% |
| | 稼働率80% | 1,593 | 16% | 2,522 | 26% | 3,272 | 32% |
| (3) 新增設2基 | 稼働率70% | 1,486 | 15% | 2,322 | 24% | 3,022 | 30% |
| | 稼働率80% | 1,698 | 17% | 2,702 | 27% | 3,444 | 34% |

本小委員会では定量評価の前提として40年稼働、稼働率80%としているため、ここでは新增設なしのケースを原子力比率Ⅲで参照した

(注1) 表中の割合(%)は、総発電電力量(1.0兆kWh/慎重シナリオ(実質GDP成長率の想定:2010年代年率1.1%、2020年代年率0.8%)における2030年度の見通し(資料5参照))に占める割合を表す。

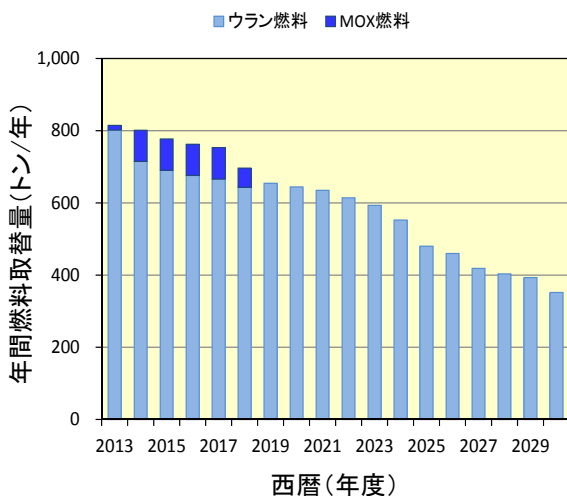
(注2) 発電所の出力に関して、既設炉については、2030年断面における稼働年数が上記場合分けに応じてそれぞれ40年以下、50年以下、60年以下のものを機械的に足し上げて算出。新增設炉については、仮に1基当たり150万kWと想定して試算。

(注3) 発電電力量=2030年断面の発電所の出力×24時間×365日×想定稼働率

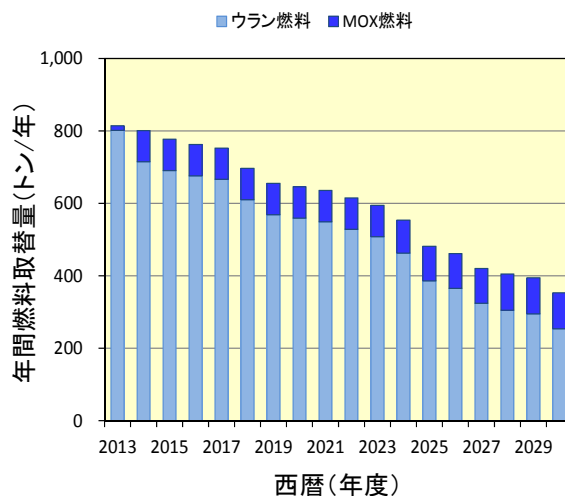
出典：第20回基本問題委員会(2012年4月26日)、資料2『原子力発電比率について(これまでの議論を受けて)』より

参考：天然ウランの節約効果の推移

全量直接処分③

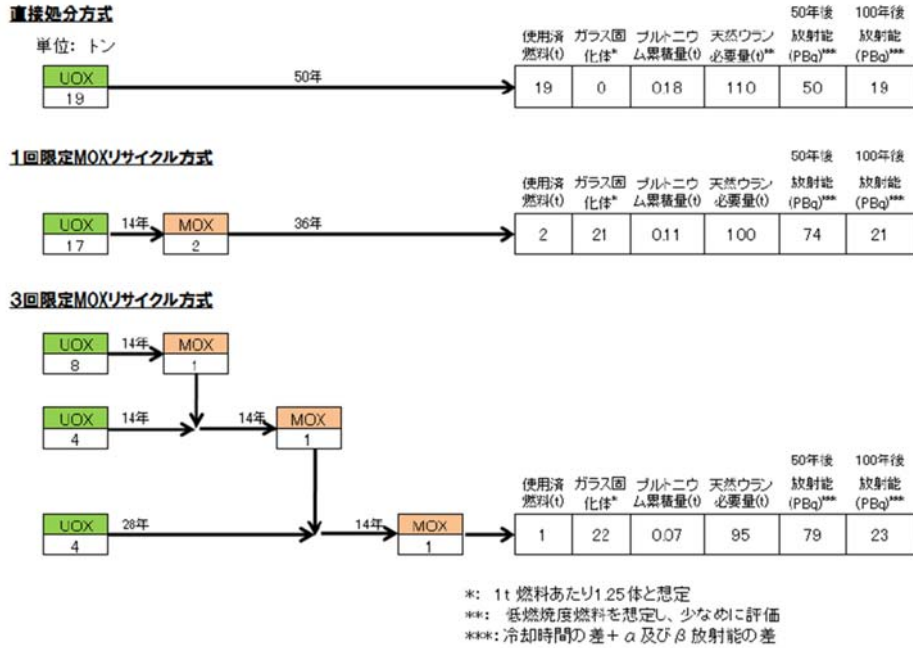


全量再処理①



注) ウラン燃料には初装荷燃料分を含む

参考：直接処分とMOXリサイクルの比較

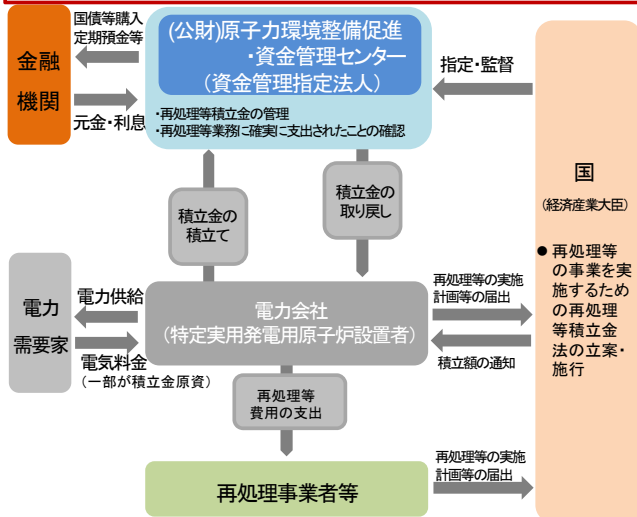


出典：第11回新大綱策定会議（平成24年3月29日）、資料第5号、山名委員からの提出意見より

参考：再処理等積立金

- 原子力発電所の使用済燃料を再処理する事業は、その費用が巨額であり、事業が長期にわたるため、世代間の公平性の観点から、必要な資金を透明性・安全性が担保された形で確保する必要がある。
- このため、法※に基づき、各電力会社は再処理等に必要な費用を積み立てることが定められており、その用途は再処理の実施に限られている。
- 再処理等積立金は、再処理事業者や各電力会社の内部積立とはせず、透明性・安全性の観点から、法※に基づき、外部の資金管理法に積み立て、管理・運用することとなっている。

※原子力発電における使用済燃料の再処理等のための積立金の積立て及び管理に関する法律



再処理等積立金の積立て状況

(単位：億円)

| | 平成17年度 | 平成18年度 | 平成19年度 | 平成20年度 | 平成21年度 | 平成22年度 | 平成23年度 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 総見積額 | 126,850 | 126,873 | 127,038 | 118,958 | 121,308 | 122,516 | 122,237 |
| 積立金残高 | 10,384 | 12,479 | 15,682 | 18,389 | 21,443 | 24,416 | 26,572 |

※総見積額は法に基づき算定

- 総見積額は六ヶ所再処理工場で再処理される使用済燃料(32,000tU)に係る再処理等の金額。

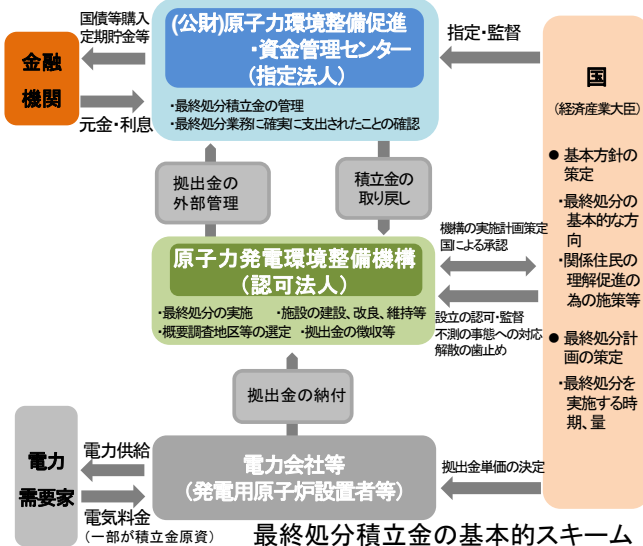
再処理等積立金の基本的スキーム

出典：(公財)原子力環境整備促進・資金管理センターHP

参考:最終処分積立金

- 原子力発電所の使用済燃料から生じる高レベル放射性廃棄物等の最終処分事業は、その費用が巨額であり、事業が長期間にわたるため、世代間の公平性の観点から、必要な資金を透明性・安全性が担保された形で確保する必要がある。
- このため、法※に基づき、各電力会社等は最終処分に必要な費用を、毎年度、高レベル放射性廃棄物等の発生量に応じて、実施主体である原子力発電環境整備機構(NUMO)に拠出することが定められており、その用途はNUMOが実施する最終処分事業に限られている。
- 最終処分拠出金は、NUMOの内部積立とせず、透明性・安全性の観点から、法※に基づき、外部の資金管理法人に積み立て、管理・運用することとなっている。

※特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律



最終処分積立金の積立て状況

最終処分業務に必要な最終処分費(総見積額) (単位:億円)

| | 平成17年算定 | 平成18年算定 | 平成19年算定 | 平成20年算定 | 平成21年算定 | 平成22年算定 | 平成23年算定 |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 高レベル放射性廃棄物分(ガラス固化体分) | 27,652 | 27,728 | 27,879 | 27,582 | 27,922 | 27,769 | 27,183 |
| T R U 廃棄物分 | — | — | 7,439 | 7,506 | 7,637 | 7,548 | 7,404 |
| 合計 | 27,652 | 27,728 | 35,318 | 35,088 | 35,559 | 35,317 | 34,587 |

※総見積額は法に基づき算定
 ※TRU廃棄物分については、平成19年の特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律の改正により制度化され、平成20年度から拠出を開始。

最終処分積立金運用残高 (単位:億円)

| | 平成17年度末 | 平成18年度末 | 平成19年度末 | 平成20年度末 | 平成21年度末 | 平成22年度末 | 平成23年度末 |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 高レベル放射性廃棄物分(ガラス固化体分) | 4,236 | 4,999 | 5,763 | 6,498 | 7,394 | 8,201 | 8,798 |
| T R U 廃棄物分 | — | — | — | 95 | 137 | 175 | 216 |
| 合計 | 4,236 | 4,999 | 5,763 | 6,592 | 7,530 | 8,375 | 9,014 |

最終処分積立金の基本的スキーム 出典:(公財)原子力環境整備促進・資金管理センターHP

参考;サイクルコスト試算条件(変更点)

| 項目 | 2011年10月技術小委 | | 今回 |
|------------|---|----------|--|
| ウラン燃料濃縮度 | 再処理モデル | BWR 3.7% | ← |
| | 現状モデル | PWR 4.6% | |
| | 直接処分モデル | PWR 4.5% | ← |
| 平均取出燃焼度 | UO ₂ 燃料:45,000 MWd/t MOX燃料:40,000 MWd/t | | ← |
| 炉内滞在時間 | 5年 | | ← |
| 熱効率 | 34.5% | | ← |
| 為替レート | 85.74 円/\$ | | ← |
| 割引率 | 0, 1, 3, 5 % | | 3% |
| 再処理:中間貯蔵比率 | 50:50 | | ・使用済燃料の貯蔵量が2030年時点で32,000tU未満であるため、全て再処理を行う。 ・1tUあたりの再処理単価は再処理工場の稼働率を8割と仮定して算定。 ・六ヶ所再処理工場へ再処理するまでの間、7007tUが中間貯蔵を行うものとして設定。 |
| 次世代生成率 | 15% | | ← |
| 所内率 | 3.5% | | 4.0% (コスト等検証委員会に併せる) |

※ 上表以外は変更なし。

参考：経済性（1）：将来を見通して発生する費用ベースの核燃料サイクルの総費用

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用から、2011年以前に支出した費用、六ヶ所再処理工場の初期建設費の減価償却費を引いて算出（第13回技術等小委員会、資料第1-5号参照）。なお、割引率は3%とした。単位：兆円

| | シナリオ1 (全量再処理) | シナリオ2 (再処理/処分併存) | シナリオ3 (全量直接処分) |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--|
| 兆円, 割引率3% | | | |
| ウラン燃料 MOX燃料 (フロントエンド計) | 2.17 0.47 (2.64) | 2.17 0.47 (2.64) | 2.37 0.15 (2.53) |
| 再処理等 中間貯蔵 高レベル廃棄物処分 直接処分 (バックエンド計) | 4.13 0.25 0.82 (5.20) | 4.13 0.25 0.82 (5.20) | 1.19 1.25 0.02 1.03~1.18 (3.49~3.64) |
| 合計 | 7.8 | 7.8 | 6.0~6.2 |

上記の他に立地自治体との条件の変更に伴い追加の費用※が発生する可能性がある。

※：詳細は114ページ参照。

ステップ3の評価:2030年まで (原子力比率IVのケース)

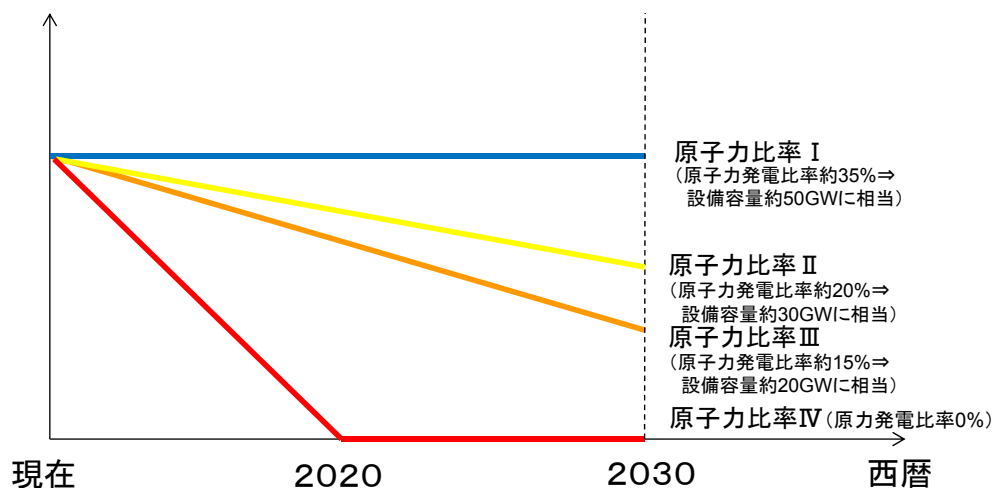
2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

129

各原子力発電比率の設定

総合資源エネルギー調査会基本問題委員会で検討されているエネルギーベストミックスにおける原子力発電比率のうちから、代表的な4つを選定した。



2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

130

各原子力比率における設備容量

原子力比率Ⅰ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率 : **35%**
設備利用率 : 約80%
(1兆kWh × 35%) / (365日 × 24時間 × 80%) = **約50GW**

原子力比率Ⅱ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率 : **20%**
設備利用率 : 約80%
(1兆kWh × 20%) / (365日 × 24時間 × 80%) = **約30GW**

原子力比率Ⅲ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率 : **15%**
設備利用率 : 約80%
(1兆kWh × 15%) / (365日 × 24時間 × 80%) = **約20GW**

原子力比率Ⅳ

総需要 : 約1兆kWh
原子力比率 : **0%**

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

131

原子力比率Ⅳのケースにおける 評価シナリオについて

- 原子力比率Ⅳの場合には、2020年までに原子力発電比率がゼロとなることから、再処理路線を採るシナリオを想定することは困難である。
- よって、原子力比率Ⅳのケースにおいては、シナリオ3(全量直接処分)のみを評価する。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

132

シナリオ評価における評価項目について

◆短期的に重要な課題

- 使用済燃料管理・貯蔵
 - 使用済燃料貯蔵量、貯蔵容量
- 核燃料サイクルを巡る国際的視点
 - Pu利用(在庫量)、国際貢献
 - 核不拡散、核セキュリティリスクへの影響
 - 日米原子力協定への影響
- 政策変更または政策を実現するための課題(立地困難性を含む)
 - 使用済燃料貯蔵への影響、立地自治体との信頼関係への影響、雇用への影響、技術力への影響(人材、技術基盤・インフラストラクチャの影響)、海外委託再処理に伴う返還廃棄物への影響、政策変更に伴う費用負担のあり方

◆中・長期的に重要な課題

- 経済性
 - シナリオに基づく核燃料サイクルの総費用 など
- エネルギー安全保障、ウラン供給確保
 - 資源節約、燃料危機への抵抗力
- 放射性廃棄物発生量
- 選択肢の確保(柔軟性)
 - 開発の柔軟性、政策変更への柔軟性

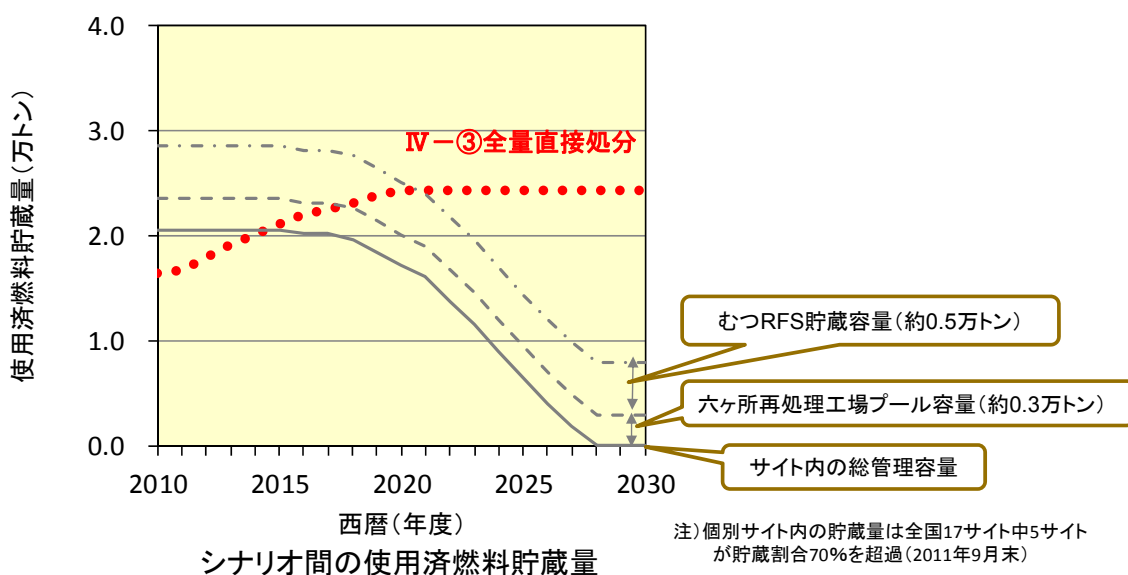
短期的に重要な課題

使用済燃料管理・貯蔵：使用済燃料貯蔵量、貯蔵容量

シナリオ3(全量直接処分)

- 2010年末時点の使用済燃料の総量は約1.7万tUである。2020年までに追加で発生する使用済燃料の発生量は、約0.8万tUであり、合計で約2.4万tUとなる。
- サイト内の使用済燃料プールの貯蔵容量は約2万tU(2010年時点)である。
- 2020年まで廃棄物としての使用済燃料は約2.4万tU発生し、2015年頃、サイト内の使用済燃料プールの貯蔵容量を超える。
- また、2020年までに原子力比率がゼロとなるため、全ての原子力発電所の廃止措置が必要である。
- 原子力発電所の廃止措置のためにはサイト内の使用済燃料プールから使用済燃料を搬出する必要がある。
- 今後は新たな貯蔵施設の早期の確保が必須。
むつRFSは再処理を前提とした貯蔵施設であるため、直接処分を前提とした利用に課題がある。
また、六ヶ所再処理施設での貯蔵継続に課題がある。

解析結果(使用済燃料貯蔵量)



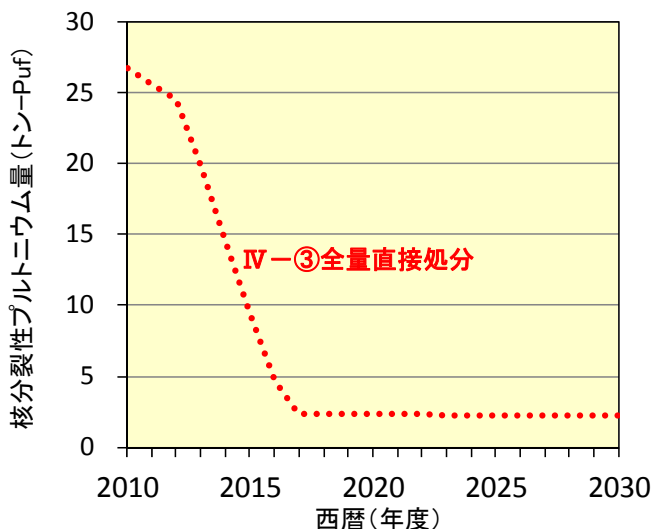
核燃料サイクルを巡る国際的視点：Pu利用（在庫量）

シナリオ3(全量直接処分)

- 2010年末時点で、海外からの未返還分(約23tPuf)、国内発電所保管分(約1tPuf)及び抽出済み分(約2.3tPuf)が存在するため※、これらを減らすことが必要。
- 海外未返還分と国内発電所保管分は約1600万kW相当の原子炉によるプルサーマル約10年で利用可能。ただし、プルサーマル受け入れに関する地元の理解が必要。
- 海外におけるMOX燃料製造スケジュールによっては、2020年までに燃焼しきれない可能性がある。
- 国内MOX燃料加工工場の建設は中止されるため、国内で抽出済みのPu約2.3tPufをMOX燃料に加工する能力の確保が必要である。
- 過去を含めPu回収(再処理)に伴う回収Uが現在国内に約1,900tU存在し、その取扱いが課題。

※我が国には、その他研究用として約3.3tPuf存在する。

解析結果(Pu貯蔵量)



核分裂性プルトニウム貯蔵量の推移

| シナリオ | 2030年時点で貯蔵されている使用済燃料中に含まれるPuf(トン) |
|----------------|-----------------------------------|
| IV-③ 全量直接処分 | 約150 |

核燃料サイクルを巡る国際的視点： 国際貢献

シナリオ3(全量直接処分)

- 原子力発電比率が0となるが核燃料サイクル分野のうちで実施可能な範囲において積極的に国際貢献にかかわることができる。

核燃料サイクルを巡る国際的視点：核不拡散、核セキュリティにおけるリスクへの影響

シナリオ3(全量直接処分)

- IAEA保障措置や核セキュリティの要求項目を満足させる必要がある。
- 世界の核拡散、核セキュリティにおけるリスクの低減に貢献することが重要である。
- Pu取扱量や輸送量が減るものの、現有再処理施設等にPu等の核物質が存在する限り、核不拡散、核セキュリティの取り組みの維持が必要。
- 使用済燃料の直接処分にはPuが含まれるため、処分後の保障措置についての国際的な検討が必要。

核燃料サイクルを巡る国際的視点：日米原子力協定への影響

シナリオ3(全量直接処分)

- 再処理事業が中止になるため、日米協定にその内容を反映することが必要。
- 一旦再処理政策を取りやめ、再び再処理政策を選択しようとする場合、改定交渉が難航し、長期に亘って再処理ができない可能性がある。
- 原子力発電比率が0となることにもない、濃縮事業も中止となる可能性があるため、日米協定にその内容を反映することが必要。
- 一旦再処理政策を取りやめ、再び濃縮事業を再開しようとする場合、改定交渉が難航し、長期に亘って濃縮ができない可能性がある。

政策変更または政策を実現するための課題

社会受容性：立地困難性(使用済燃料貯蔵施設)

シナリオ3(全量直接処分)

- 2020年までに原子力比率がゼロとなるため、全ての原子力発電所の廃止措置が必要である。
- 原子力発電所の廃止措置のためには、サイト内の使用済燃料プールから使用済燃料を搬出する必要がある。
- 使用済燃料貯蔵容量の増強に関して、地元の理解、同意に時間を要する。(敷地内：使用済燃料プールの増強、貯蔵施設の追設、敷地外：貯蔵施設の建設)
- 敷地外の使用済燃料貯蔵施設に関しては地元の了解を得ているのはむつRFS一箇所のみである。むつRFSは、使用済燃料を再処理するまで50年間貯蔵することで地元了解と国からの事業許可を得ている。
- 地元に対して、従來說明し理解を得ている内容に修正を加え、使用済燃料は廃棄物として貯蔵することで申し入れる。
- 申し入れに当たり、地元からは使用済燃料を搬出すること(特に時期)を求められるほか、搬出先についても求められる可能性がある。

社会受容性：立地困難性（最終処分施設）

シナリオ3（全量直接処分）

- 現時点で、貯蔵されている使用済燃料が約1.7万tU、ガラス固化体が約2,600本ある。放射性廃棄物の処分対策は将来世代に先送りすべきでない。
- 最終処分施設の立地は容易ではない。
- 直接処分に関する十分な知見が得られるまで本格的な立地活動開始が困難なため、選定作業が遅れる可能性がある。
- プルトニウム等の核物質を埋設することに住民の理解の獲得が必要である。

雇用への影響

シナリオ3（全量直接処分）

- 再処理事業を中止した場合には、今後のサイクル事業全体（40年分の再処理工場の運転と廃止措置）のうち、40年分の再処理工場の運転にかかる雇用が失われることとなる。（サイクル事業に関連して働く人数は約5,000人（県内出身約7割）、一方、再処理施設の廃止措置に当たっては、年間約1300人の雇用が約30年間分残ると見込まれる。*）

| ■ 日本原燃株及び関連社員数 (人) | | | |
|--------------------|-------|-------|---------------------------------------|
| 会社名 | 社員数 | 県内雇用数 | 備考 |
| 日本原燃株 | 2,442 | 1,374 | 昭和61年度以降の新規採用者数は1,718人で、うち地元採用は1,345人 |
| (株)ジェイテック | 295 | 259 | |
| 原燃輸送株六ヶ所輸送事業所 | 31 | 25 | |
| むつ小川原原燃興産株 | 203 | 201 | |
| 六ヶ所原燃警備株 | 165 | 165 | |
| 関連会社※ | 1,902 | 1,594 | |
| 合計 | 5,038 | 3,618 | |

* 総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 第8回コスト等検討小委員会資料 第1-2「再処理施設の廃止措置費用について」に基づいて算出

※サイクル施設及び付帯施設の関連業務（メンテナンス等）を行う会社 合計51社

出典：「豊かで活力ある地域づくりをめざして～原子燃料サイクル施設等の立地に伴う地域振興」より抜粋

政策変更または政策を実現するための課題

経済面、技術基盤面への影響

- 我が国が培ってきた核燃料サイクルの技術力への影響(人材、技術基盤、インフラストラクチャーへの影響)

シナリオ3(全量直接処分)

- 直接処分技術について実用化に向けた研究開発を行うため、直接処分に関する人材、技術基盤、インフラが蓄積される。但し、ガラス固化体処分と技術的に重なる部分が多く、その研究開発成果を流用できる。
- 発電炉に比べて建設機会が非常に少ない再処理事業は、現在の施設の運転や改良工事を通じて知見の蓄積と改良を図りながら独自に技術力を維持・向上させる必要があり、事業が中止されれば、現時点で民間に蓄積されている建設・運転・保守の知見や人材は失われるため、再び再処理政策を選択したとしても、失われた技術を取り戻すために、長い期間や多大な費用が必要となる。
- FBRサイクルの実用化に向けた研究開発を中止した場合、関連の研究開発については、基本的に規模の縮小／中止(予算減、人員減、関連研究施設の廃止)となり、これまで培ってきた技術を長期間維持することは困難になる。また、これまで、常陽、もんじゅ等の建設・運転や、FBR実用化に向けて進めてきた研究開発によって民間に蓄積された技術・人材は失われることとなり、再びFBR実用化を目指したとしても、失われた技術を取り戻すために、長い期間や多大な費用が必要となる。

(参考)○高速増殖炉サイクル開発に関わる人材規模

【JAEA】

(核燃料サイクル工学研究所:約730名、高速増殖炉研究開発センター(もんじゅ):約210名、大洗研究開発センター(常陽など):約530名、次世代原子力システム研究開発部門:約180名)

【メーカー】約900人(FBRサイクル開発業務に従事するエンジニア数)

○再処理事業に関わる人材規模

【日本原燃】約 2400人

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

145

政策変更または政策を実現するための課題

海外再処理に伴う返還放射性廃棄物

シナリオ3(全量直接処分)

- 再処理を中止するため、六ヶ所再処理工場のガラス固化体に関する廃棄物管理施設への返還放射性廃棄物を受け入れることができなくなる可能性がある。
- 上記の場合、返還放射性廃棄物を受け入れるための施設を準備する必要があるが、受け入れ先の選定や建設等に時間を要する場合、仏国で「放射性廃棄物管理の研究に関する法律※」に抵触する等、国際問題となる可能性がある。

※放射性廃棄物管理の研究に関する法律 第3条—外国からの放射性廃棄物は、仮にその廃棄物が再処理委託によって発生した場合でも、再処理上、技術的に必要とされる期間を越えて貯蔵してはならない。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

146

中・長期的に重要な課題

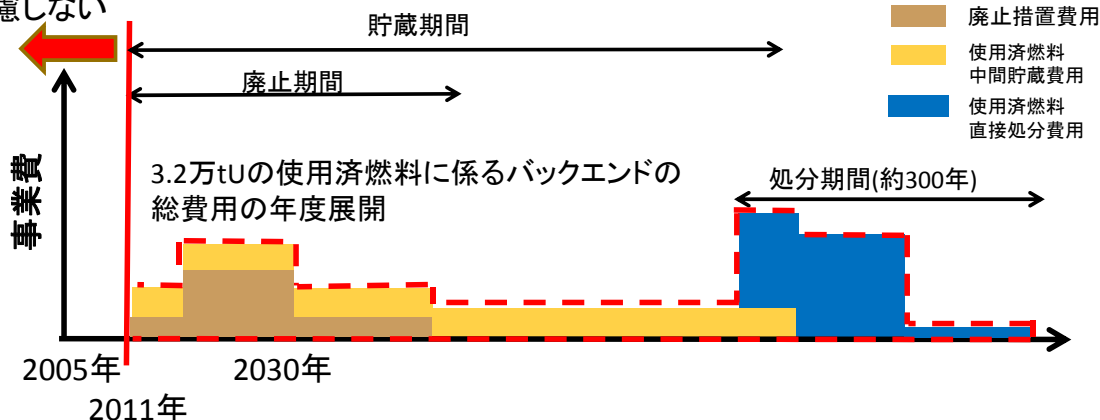
経済性(1)の評価方法

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用から、2011年以前に支出した費用、六ヶ所再処理工場の初期建設費の減価償却費を引いた総額を算出

経済性(1)の評価方法

—算定のイメージ(全量直接処分)—

2011年以前の費用は考慮しない



- 2030年までに発生する使用済燃料を直接処分する場合に発生する費用に加え、六ヶ所再処理工場の廃止措置を2012年より開始するとして費用を加える。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

149

経済性(1)：将来を見通して発生する費用ベースの核燃料サイクルの総費用

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用から、2011年以前に支出した費用、六ヶ所再処理工場の初期建設費の減価償却費を引いて算出(第13回技術等小委員会、資料第1-5号参照)。なお、割引率は0%とした。単位:兆円

| | シナリオ3 (全量直接処分) |
|--|--|
| 兆円, 割引率0% | |
| ウラン燃料 MOX燃料 (フロントエンド計) | 1.00 0.16 (1.16) |
| 再処理等 中間貯蔵 高レベル廃棄物処分 直接処分 (バックエンド計) | 1.78 1.24 0.04 3.86~4.51 (6.92~7.58) |
| 合計 | 8.1~8.7 |

上記の他に立地自治体との条件の変更に伴い追加の費用※が発生する可能性がある。

※: 詳細は155ページ参照。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

150

経済性(2)の評価方法

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用のうち、2010年から2030年までの間に積立しておくべき費用を算出

○ 費用算出の考え方

2010年から2030年で発生する使用済燃料の再処理や最終処分は主に2030年以降に行われる。このため、1kWh当たりのサイクルコスト^{注1}を用い、これに2010年から2030年で発生する原子力発電による電力量を乗じて総費用を算出(次頁参照)

シナリオに基づく核燃料サイクルの総費用
= サイクルコスト^{注1}(円/kWh) × 2010～2030年の総発電電力量(kWh)

注1: 本小委員会にて実施した試算を元に、各シナリオ毎のサイクルコストを試算。(単位: 円/kWh)

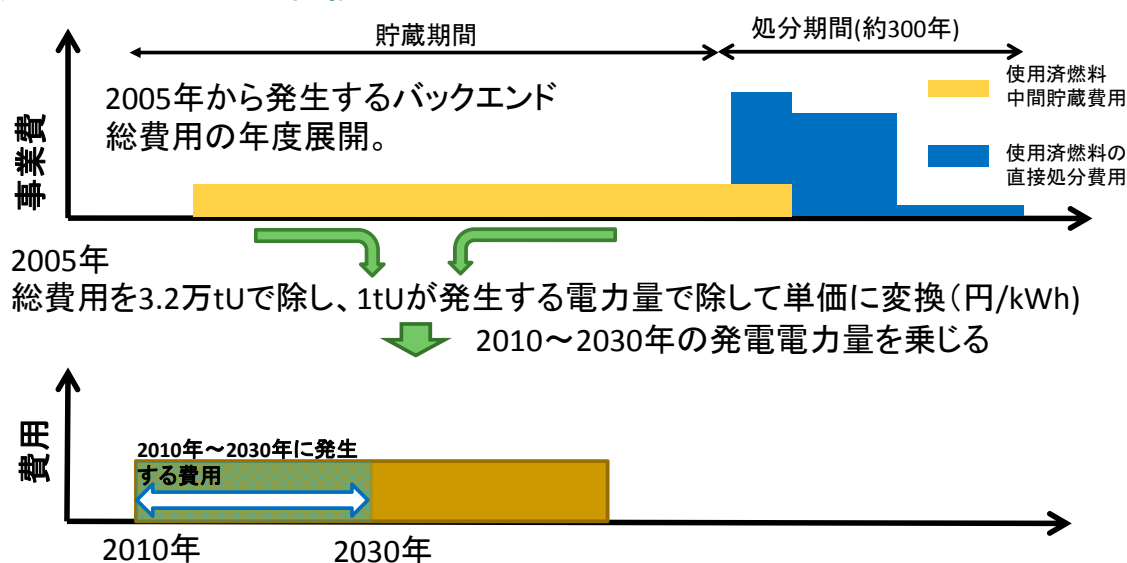
○ シナリオ3については下記の費用を追加で算出

- ✓ 六ヶ所再処理工場の埋没費用^{注2}(未償却資産に見合う費用)
- ✓ 廃止措置費用、既に存在するガラス固化体等の処分費用等
- ✓ 過去に発生した使用済燃料1.7万tUを直接処分に変更する場合に不足となる費用

注2: 埋没費用とは、投資評価を行う時点ですでに支出されてしまっている費用のこと。いずれの案を選択しても同様に発生する費用。会計上の簿価(帳簿価値)などが該当する。

経済性(2)の評価方法

— 算定のイメージ(全量直接処分のベース値) —



上記以外に、以下の費用も算出

- ① 六ヶ所再処理工場の埋没費用^{注2}(未償却資産に見合う費用)
- ② 廃止措置費用、既に存在するガラス固化体等の処分費用等
- ③ 過去に発生した使用済燃料1.7万tUを直接処分に変更する場合に不足となる費用

経済性(2)：発電時点で発生し得る費用ベースの核燃料サイクルの総費用

| | シナリオ3 (全量直接処分) |
|--|--|
| 単位：円/kWh, 割引率3% | |
| ウラン燃料 MOX燃料 ^{注1} (フロントエンド計) | 0.81 --- (0.81) |
| 再処理等 中間貯蔵 高レベル廃棄物処分 直接処分 ^{注2} (バックエンド計) | --- 0.09 --- 0.11~0.12 (0.20~0.22) |
| 合計 | 1.02~1.03 |
| × 2.0兆kWh (2010~2030年の総発電電力量) | |
| シナリオに基づく総費用 | 2.0~2.1兆円 |

上記の費用の他、シナリオによって追加の費用^{※1}が発生する。
また、上記の他に立地自治体との条件の変更に伴い追加の費用^{※2}が発生する可能性がある。

注1 海外からの返還Puの利用費用及び返還放射性廃棄物処分費用は含まれていない。

注2 原子力比率Ⅳの場合は2030年までに発生する使用済燃料は2.2万tU。処分施設のスケール効果を考慮し、直接処分単価を1.1倍とした。

※1: 詳細は154ページ参照。

※2: 詳細は155ページ参照。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

153

経済性：シナリオ毎に考慮する必要がある費用

記号の説明

○：経済性(1)(2)の総費用に含まれておらず、考慮する必要がある費用

△：経済性(2)の総費用に一部含まれている費用

×：経済性(1)の費用に既に含まれている費用

－：考慮する必要がない費用

| I. いずれのシナリオにおいても将来発生することが決まっている費用 | | 経済性(1) | 経済性(2) |
|---|---|--------|--------|
| | | シナリオ3 | シナリオ3 |
| 六ヶ所再処理事業に伴う費用 | ①再処理工場及び既着工済MOX工場の建物・設備の未償却資産見合いの費用 | 1.78兆円 | 評価対象外 |
| | ②廃止に必要な廃棄物処理設備等*の建設費及び既存施設も含めた工場全体の廃止までの操業費 *: 現在未建設だが操業中と廃止中に使用する設備 | 0.27兆円 | × |
| | ③上記①及び②の建物・設備の廃止措置費用 | 1.51兆円 | × |
| | ④発生済廃棄物(ガラス固化体及びTRU廃棄物)の輸送・処分費 | 0.04兆円 | × |
| | ⑤回収済Pu(2.3tPu _f)の貯蔵管理・処分関係費 | α | ○ |
| II. シナリオ3で発生する固有の費用 | | | |
| 既発生分の使用済燃料の直接処分とガラス固化体の費用差 (1.7万トン×(14,500万円/tU－8,500万円/tU)) | 1.02兆円 | － | ○ |

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

154

経済性：その他考慮すべき費用

－立地自治体との条件の変更に伴い追加の可能性のある費用注－

1. 六ヶ所再処理工場から国内各発電所に返送する可能性* 0.05兆円
◆ 上記に伴う使用済燃料輸送費用
* その他、使用済燃料の返送に伴い、原子力発電所停止とそれを代替電源でカバーする時の費用発生(約6兆円)のリスクもある。(第15回資料第1-5号参照)
2. 海外からの返還廃棄物の受入れが滞って行き場を失う可能性 0.25兆円
◆ 既存の海外返還廃棄物貯蔵施設(高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター)の未償却資産見合いの費用
◆ 海外返還廃棄物の移送費用
◆ 新規海外返還廃棄物貯蔵施設と将来の廃止費用
※上記に加え、今後予定される海外返還予定廃棄物の返還時期延期による貯蔵費用の追加も発生し得る
3. 六ヶ所低レベル放射性廃棄物処分施設の受入れが延滞する可能性 0.06兆円
◆ 新規低レベル放射性廃棄物処分施設のうち港湾、敷地費用
4. むつRFS建設計画中止の可能性(搬入予定の燃料が再処理されない場合) 0.03兆円
◆ 現在までの建設投資額(キャスク除く)

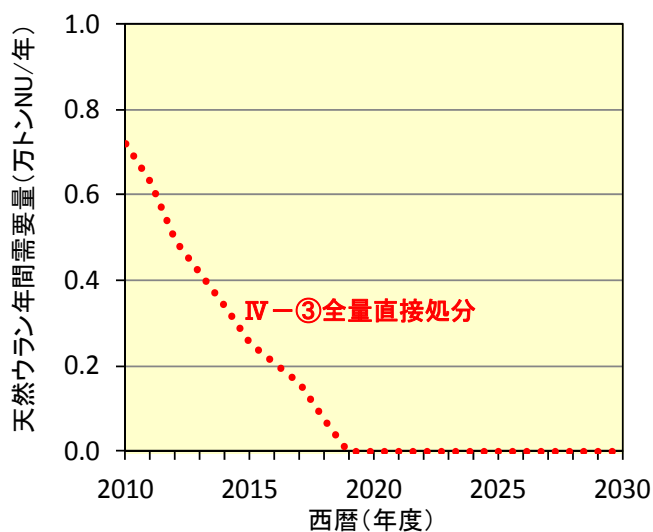
注：本費用は割引率0%の数字である。

エネルギー安全保障：資源節約、燃料危機への抵抗力

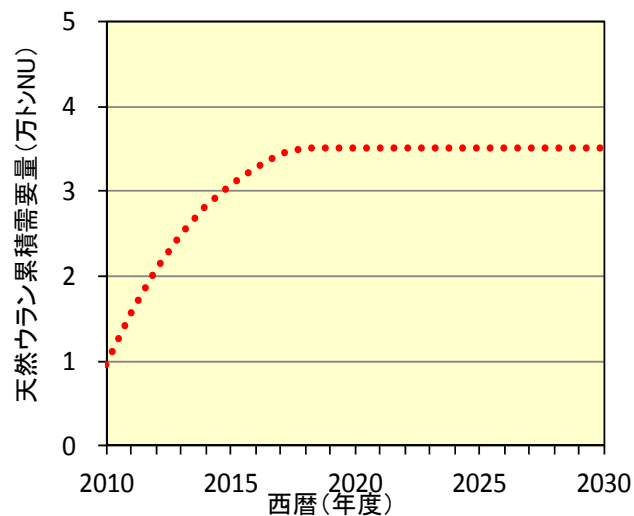
シナリオ3(全量直接処分)

- 原子力発電の特徴である燃料危機(価格高騰化、供給途絶)に対する抵抗性を確保できるので、エネルギーの安定供給に貢献するが、原子力比率が低くなるにつれてその効果は小さくなる。
- 直接処分にはエネルギー安全保障上の追加的な価値がない。

解析結果(天然ウラン需要量)



シナリオ間の天然ウラン年間需要量



シナリオ間の天然ウラン累積需要量比較

放射性廃棄物発生量：放射性廃棄物発生量(地層処分)

シナリオ3(全量直接処分)

- 最終処分施設の立地・建設が不可欠。
- 再処理を行わないため、ガラス固化体は新たに発生しないが、現在保有する約1.7万tUの使用済燃料及び2020年までの発電により発生する約0.8万tUの使用済燃料を地層処分する必要がある。
- しかしその結果、深い地層に埋設する場合の廃棄物としての合計体積は10万m²を超え、処分施設の合計面積も400万m²を超える。

| シナリオ | 2030年までの発生量 | | | 埋設する場合の廃棄物としての合計体積(換算) | 廃棄物処分施設の合計面積(換算) |
|---------------|---------------------|-------------------|----------|------------------------|--------------------|
| | 高レベル放射性廃棄物がガラス固化体※3 | 低レベル放射性廃棄物(地層処分) | 使用済燃料 | | |
| シナリオ3(全量直接処分) | 0.04m ³ | 0.2m ³ | 2.4万tU※1 | 14万m ³ ※2 | 437万m ² |

※1 2030年時点で貯蔵されている使用済燃料。

※2 2030年時点で発生しているガラス固化体と低レベル放射性廃棄物(地層処分)及び※1を直接処分した場合に発生する放射性廃棄物の合計体積

※3 キャニスター体積(埋設する場合の体積はオーバーパック込みで計算)

放射性廃棄物発生量：低レベル放射性廃棄物（地層処分以外）

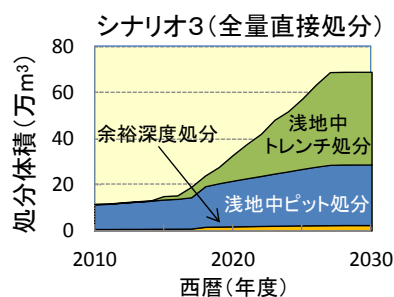
シナリオ3(全量直接処分)

- 低レベル放射性廃棄物は、原子力発電所の通常運転時及び廃止措置時に生じるものが大部分を占めている。
- 2030年までに原子力発電所をはじめとする廃止措置が集中するため、放射性廃棄物の発生量が短期的に増加する。

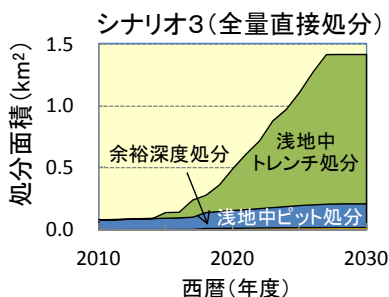
| シナリオ | 2030年までの発生量 余裕深度処分、浅地中ピット処分及び浅地中トレンチ処分廃棄物の合計 | | | 埋設する場合の廃棄物量の合計体積（換算） | 廃棄物処分施設の合計面積（換算） |
|---------------|---|---------------------|-------------------|----------------------|---------------------|
| | 原子炉からの廃棄物 | 再処理施設からの廃棄物 | その他の廃棄物 | | |
| シナリオ3(全量直接処分) | 63万 m ³ | 4.7万 m ³ | 1万 m ³ | 68万 m ³ | 142万 m ² |

解析結果（低レベル放射性廃棄物（地層処分以外））

低レベル放射性廃棄物（地層処分以外）の処分体積



低レベル放射性廃棄物（地層処分以外）の処分場面積



選択肢の確保：開発の柔軟性、政策変更への柔軟性

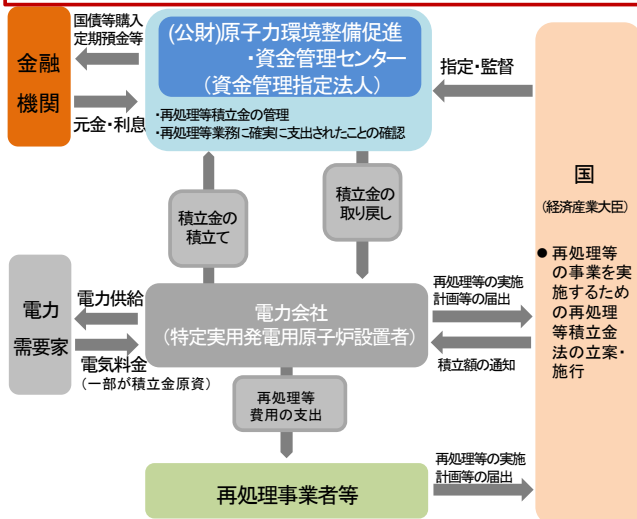
シナリオ3(全量直接処分)

- 政策選択肢が全量直接処分に固定されているため、政策変更の柔軟性は限定される(政策課題が大きくなる)。
- 使用済燃料は全て直接処分すると固定される。
- 直接処分技術のみ実用化を目指すこととなるため、投資を集中できる。将来再処理が必要となった場合、技術基盤の再構築が必要となり、新たな投資と時間が必要である。

参考：再処理等積立金

- 原子力発電所の使用済燃料を再処理する事業は、その費用が巨額であり、事業が長期にわたるため、世代間の公平性の観点から、必要な資金を透明性・安全性が担保された形で確保する必要がある。
- このため、法※に基づき、各電力会社は再処理等に必要な費用を積み立てることが定められており、その用途は再処理の実施に限られている。
- 再処理等積立金は、再処理事業者や各電力会社の内部積立とはせず、透明性・安全性の観点から、法※に基づき、外部の資金管理法人に積み立て、管理・運用することとなっている。

※原子力発電における使用済燃料の再処理等のための積立金の積立て及び管理に関する法律



再処理等積立金の基本的スキーム

出典：(公財)原子力環境整備促進・資金管理センターHP

再処理等積立金の積立て状況

(単位：億円)

| | 平成17年度 | 平成18年度 | 平成19年度 | 平成20年度 | 平成21年度 | 平成22年度 | 平成23年度 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 総見積額 | 126,850 | 126,873 | 127,038 | 118,958 | 121,308 | 122,516 | 122,237 |
| 積立金残高 | 10,384 | 12,479 | 15,682 | 18,389 | 21,443 | 24,416 | 26,572 |

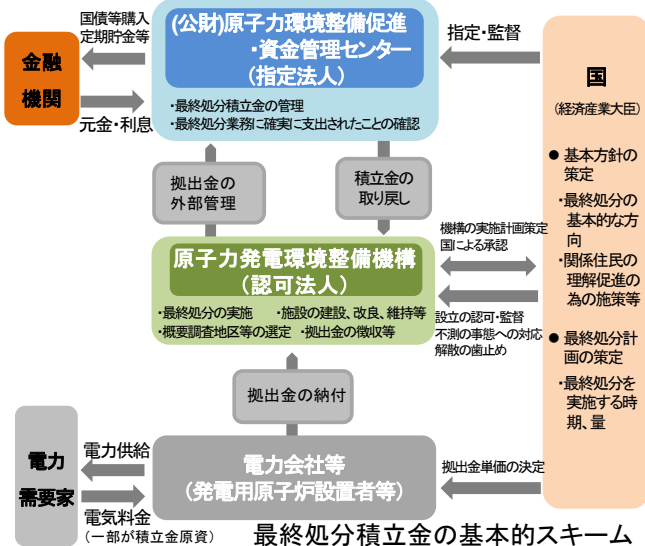
※総見積額は法に基づき算定

- 総見積額は六ヶ所再処理工場で再処理される使用済燃料(32,000tU)に係る再処理等の金額。

参考:最終処分積立金

- 原子力発電所の使用済燃料から生じる高レベル放射性廃棄物等の最終処分事業は、その費用が巨額であり、事業が長期間にわたるため、世代間の公平性の観点から、必要な資金を透明性・安全性が担保された形で確保する必要がある。
- このため、法※に基づき、各電力会社等は最終処分に必要な費用を、毎年度、高レベル放射性廃棄物等の発生量に応じて、実施主体である原子力発電環境整備機構(NUMO)に拠出することが定められており、その用途はNUMOが実施する最終処分事業に限られている。
- 最終処分拠出金は、NUMOの内部積立とせず、透明性・安全性の観点から、法※に基づき、外部の資金管理法人に積み立て、管理・運用することとなっている。

※特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律



最終処分積立金の積立て状況

最終処分業務に必要な最終処分費(総見積額) (単位:億円)

| | 平成17年度 | 平成18年度 | 平成19年度 | 平成20年度 | 平成21年度 | 平成22年度 | 平成23年度 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 高レベル放射性廃棄物分(ガラス固化体分) | 27,652 | 27,728 | 27,879 | 27,582 | 27,922 | 27,769 | 27,183 |
| T R U 廃棄物分 | — | — | 7,439 | 7,506 | 7,637 | 7,548 | 7,404 |
| 合計 | 27,652 | 27,728 | 35,318 | 35,088 | 35,559 | 35,317 | 34,587 |

※総見積額は法に基づき算定
 ※TRU廃棄物分については、平成19年の特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律の改正により制度化され、平成20年度から拠出を開始。

最終処分積立金運用残高

| | 平成17年度末 | 平成18年度末 | 平成19年度末 | 平成20年度末 | 平成21年度末 | 平成22年度末 | 平成23年度末 |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 高レベル放射性廃棄物分(ガラス固化体分) | 4,236 | 4,999 | 5,763 | 6,498 | 7,394 | 8,201 | 8,798 |
| T R U 廃棄物分 | — | — | — | 95 | 137 | 175 | 216 |
| 合計 | 4,236 | 4,999 | 5,763 | 6,592 | 7,530 | 8,375 | 9,014 |

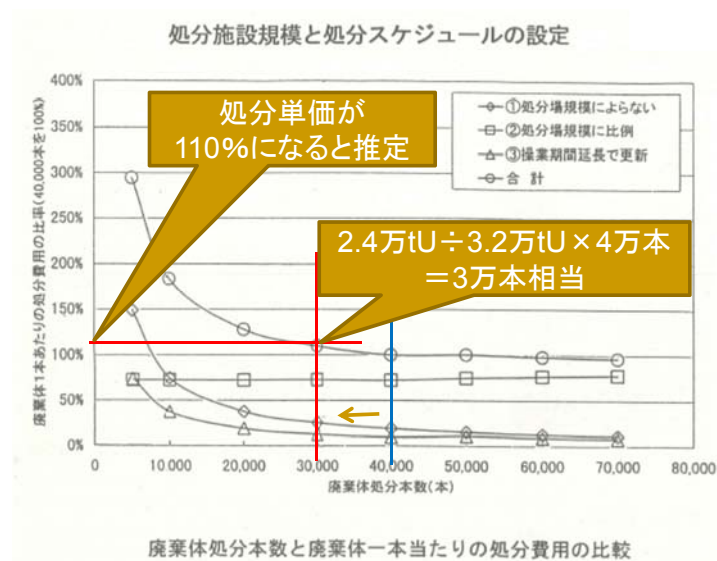
出典: (公財)原子力環境整備促進・資金管理センターHP

参考;サイクルコスト試算条件(変更点)

| 項目 | 2011年10月技術小委 | | 今回 |
|----------|---|----------|---|
| ウラン燃料濃縮度 | 再処理モデル | BWR 3.7% | ← |
| | 現状モデル | PWR 4.6% | |
| | 直接処分モデル | PWR 4.5% | |
| 平均取出燃焼度 | UO ₂ 燃料: 45,000 MWd/t MOX燃料: 40,000 MWd/t | | ← |
| 炉内滞在時間 | 5年 | | ← |
| 熱効率 | 34.5% | | ← |
| 為替レート | 85.74 円/\$ | | ← |
| 割引率 | 0, 1, 3, 5 % | | 3% |
| 次世代生成率 | 15% | | ← |
| 所内率 | 3.5% | | 4.0% (コスト等検証委員会に併せる) |
| 直接処分単価 | 17,400~20,100万円/tU (3.2万tUの直接処分場で使用済燃料を処分する場合の単価) | | 19,100~22,100万円/tU (2.4万tUの直接処分場で使用済燃料を処分する場合の単価;次頁参照) |

※ 上表以外は変更なし。

参考：直接処分施設のスケール効果



- 左図はガラス固化体の処分単価に関するスケール効果の評価結果(平成11年原子力部会資料より)。ガラス固化体の最終処分単価は4万本(SFが3.2万tU相当)以下では、スケールデメリットの効果で大きく上昇する。
- 直接処分事業は深地下に坑道を掘削し、廃棄体を定置、埋設することから、**ガラス固化体の処分事業と同様のスケール効果が適用できるとして推定した。**
- 原子力比率Ⅳの場合では、2.4万tUの使用済燃料が発生することから、発生量は3/4となり、左記図を元に、3.2万tUの処分単価の1.1倍と推定。

参考：経済性(1)：将来を見通して発生する費用ベースの核燃料サイクルの総費用

使用済燃料を再処理し、最終処分するとともに、再処理施設の廃止措置等に必要な費用から、2011年以前に支出した費用、六ヶ所再処理工場の初期建設費の減価償却費を引いて算出(第13回技術等小委員会、資料第1-5号参照)。なお、割引率は3%とした。単位：兆円

| | シナリオ3 (全量直接処分) |
|--|--|
| 兆円, 割引率3% | |
| ウラン燃料 MOX燃料 (フロントエンド計) | 0.94 0.14 (1.08) |
| 再処理等 中間貯蔵 高レベル廃棄物処分 直接処分 (バックエンド計) | 1.19 1.07 0.02 0.97~1.11 (3.25~3.39) |
| 合計 | 4.3~4.5 |

上記の他に立地自治体との条件の変更に伴い追加の費用※が発生する可能性がある。

※: 詳細は155ページ参照。

使用済燃料の返送リスクについて

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

167

使用済燃料の現状と懸念されるリスク

- 現状
 - 国内では、六ヶ所再処理工場、並びに各発電所サイトの貯蔵能力が満杯に近づきつつある。
 - 青森県と事業者との覚書(H10.7.29)では、再処理事業の確実な実施が著しく困難となった場合には、協議の上、使用済燃料の施設外への搬出を含め、速やかに必要な措置を講ずることとなっている。
- 懸念されるリスク
 - 六ヶ所再処理工場に貯蔵している使用済燃料が、搬出元の発電所に返送されるとした場合に、いくつかの発電所において使用済燃料プールの管理容量を超過し、順次、発電所の運転を停止せざるを得なくなるのではないかと懸念されている。



原子力発電所運転停止による発電電力量の損失分を定量的に評価

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

168

六ヶ所貯蔵燃料返送による発電所管理容量の超過時期

| 電力会社 | 発電所 | 発電出力 (MW) | 貯蔵容量超過年度 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|-------|-----------|-----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 北海道電力 | 泊 (3基) | 2,070 | 2025 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 東北電力 | 女川 (3基) | 2,174 | 2017 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 東通 (1基) | 1,100 | 2027 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 東京電力 | 福島第一 (2基) | 1,884 | 2012 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 福島第二 (4基) | 4,400 | 2012 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 柏崎刈羽 (7基) | 8,212 | 2014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 中部電力 | 浜岡 (3基) | 3,617 | 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 北陸電力 | 志賀 (2基) | 1,898 | 2026 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 関西電力 | 美浜 (3基) | 1,666 | 2015 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 高浜 (4基) | 3,392 | 2015 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 大飯 (4基) | 4,710 | 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 中国電力 | 島根 (2基) | 1,280 | 2014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 四国電力 | 伊方 (3基) | 2,022 | 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 九州電力 | 玄海 (4基) | 3,478 | 2012 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 川内 (2基) | 1,780 | 2022 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 日本原電 | 敦賀 (2基) | 1,517 | 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 東海第二 (1基) | 1,100 | 2013 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

既設発電所における
運転可能期間

※使用済燃料の管理容量を超過した発電所は、運転できない。
 (今年度中に六ヶ所再処理工場から搬出元の発電所に使用済燃料が返送された場合を仮定し試算)
 (今年度から運転を再開し、再処理操業なしと仮定し試算)

使用済燃料が返送された場合に懸念される影響

原子力比率Ⅰ



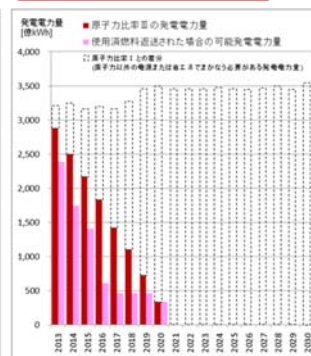
原子力比率Ⅱ



原子力比率Ⅲ



原子力比率Ⅳ



(送電端、所内率4%)

2013~2030年度の合計発電電力量

原子力比率Ⅰ : 約6.1兆kWh

原子力比率Ⅱ : 約4.9兆kWh

原子力比率Ⅲ : 約4.0兆kWh

原子力比率Ⅳ : 約1.3兆kWh

返送された場合: 約2.9兆kWh

返送された場合: 約1.7兆kWh

返送された場合: 約1.0兆kWh

返送された場合: 約0.8兆kWh

不足分: 約3.2兆kWh

不足分: 約3.2兆kWh

不足分: 約3.0兆kWh

不足分: 約0.5兆kWh

(参考)燃料代替コストの計算方法

● 計算の前提

➤ 中間貯蔵施設

- 使用済燃料の管理容量を超えた発電所を稼働させるためには、中間貯蔵施設を建設する必要がある。
- 中間貯蔵施設の建設は、むつRFSの場合で、立地可能性調査から操業開始まで、10年以上を要している。
- 上記の実績を考慮し、2023年及び2028年に操業を開始する2ケースを想定する。※1

➤ 代替方法

- 火力によって代替することとする。
- 燃料代替に伴う価格上昇は、11.5円/kWh※2とする。

● 計算方法

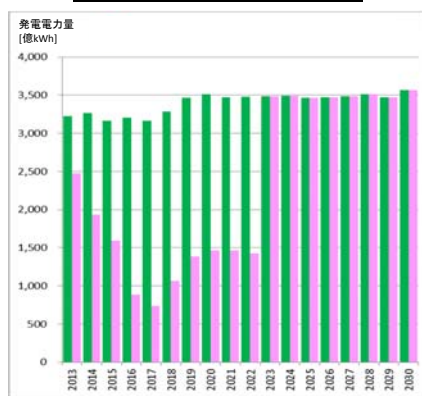
$$[\text{燃料代替コスト(円)}] = [\text{不足発電電力量(kWh)}] \times [\text{燃料代替に伴う価格上昇(11.5円/kWh)}]$$

※1: 原子力比率Ⅳについては、10年以内に全ての発電所が停止するため、中間貯蔵施設の建設を考慮しない。
 ※2: 第2回エネルギー・環境会議(H23.7.29)資料1-1別添2

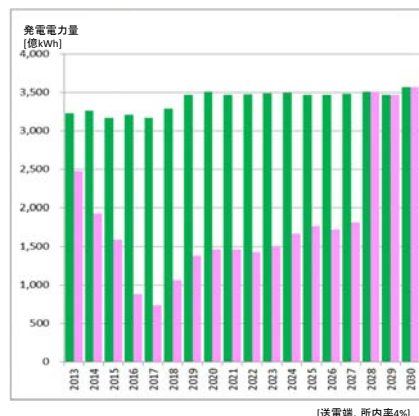
(参考)燃料代替コスト(原子力比率Ⅰ)

原子力比率Ⅰ

2023年操業開始ケース



2028年操業開始ケース



■ 原子力比率Ⅰの発電電力量
 ■ 使用済燃料が返送された場合の可能発電電力量

2013~2030年度の合計発電電力量

原子力比率Ⅰ : 約6.1兆kWh

10年後貯蔵可能 : 約4.2兆kWh

不足分 : 約1.9兆kWh

原子力比率Ⅰ : 約6.1兆kWh

15年後貯蔵可能 : 約3.3兆kWh

不足分 : 約2.8兆kWh

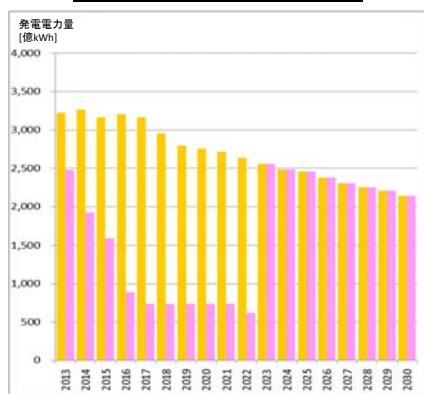
燃料代替コスト※ : 約22兆円 燃料代替コスト※ : 約32兆円

※不足分を火力による代替で対応した場合の燃料費

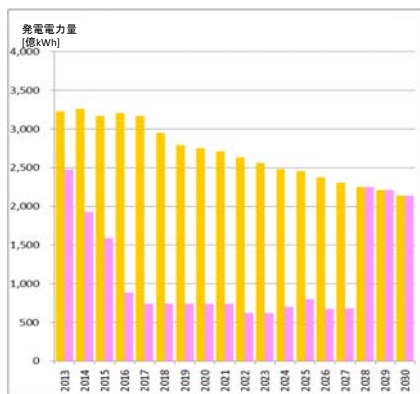
(参考)燃料代替コスト(原子力比率Ⅱ)

原子力比率Ⅱ

2023年操業開始ケース



2028年操業開始ケース



■ 原子力比率Ⅱの発電電力量
■ 使用済燃料が返送された場合の可能発電電力量

2013~2030年度の合計発電電力量

原子力比率Ⅱ : 約4.9兆kWh

10年後貯蔵可能 : 約3.0兆kWh

不足分 : 約1.9兆kWh

原子力比率Ⅱ : 約4.9兆kWh

15年後貯蔵可能 : 約2.1兆kWh

不足分 : 約2.7兆kWh

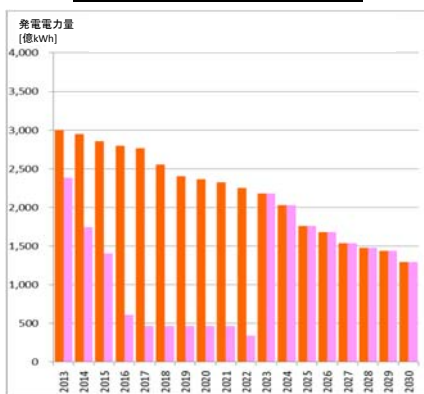
燃料代替コスト※ : 約22兆円 燃料代替コスト※ : 約31兆円

※不足分を火力による代替で対応した場合の燃料費

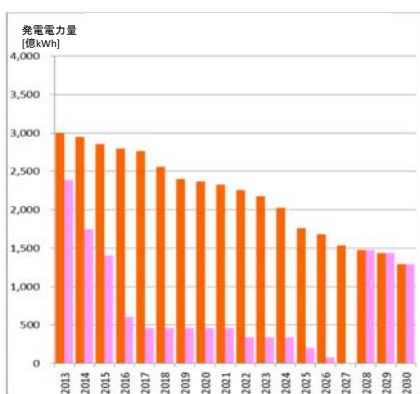
(参考)燃料代替コスト(原子力比率Ⅲ)

原子力比率Ⅲ

2023年操業開始ケース



2028年操業開始ケース



■ 原子力比率Ⅲの発電電力量
■ 使用済燃料が返送された場合の可能発電電力量

2013~2030年度の合計発電電力量

原子力比率Ⅲ : 約4.0兆kWh

10年後貯蔵可能 : 約2.2兆kWh

不足分 : 約1.7兆kWh

原子力比率Ⅲ : 約4.0兆kWh

15年後貯蔵可能 : 約1.3兆kWh

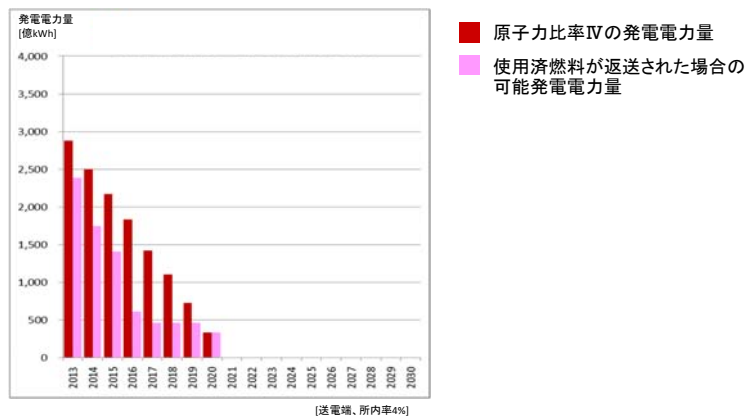
不足分 : 約2.6兆kWh

燃料代替コスト※ : 約20兆円 燃料代替コスト※ : 約30兆円

※不足分を火力による代替で対応した場合の燃料費

(参考)燃料代替コスト(原子力比率Ⅳ)

原子力比率Ⅳ



2013~2030年度の合計発電電力量

原子力比率Ⅳ：約1.3兆kWh

5年後貯蔵可能：約0.8兆kWh

不足分：約0.5兆kWh

燃料代替コスト※：約6兆円

※不足分を火力による代替で対応した場合の燃料費

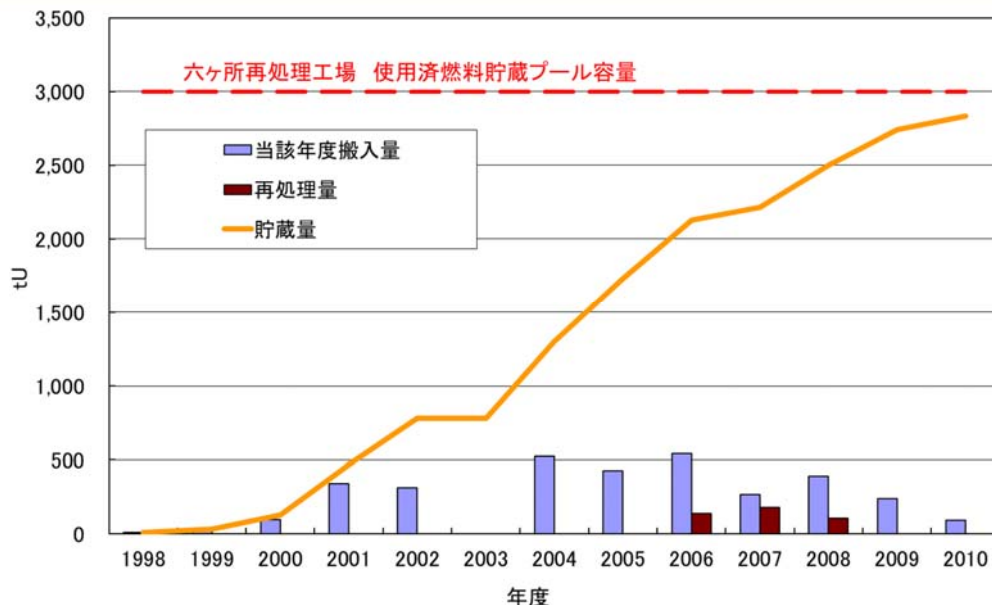
2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

175

(参考)六ヶ所再処理工場における使用済燃料貯蔵の状況

●六ヶ所再処理工場の使用済燃料貯蔵量は、余裕がなくなっている。



第8回原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(H24.2.23)資料3-2を一部改訂

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

176

(参考)各発電所(軽水炉)における使用済燃料の貯蔵状況

- 各社発電所では使用済燃料を各発電所内の使用済燃料プール等に貯蔵している。

(2011年9月末現在)

| 電力会社名 | 発電所名 | 1炉心(tU) | 1取替分(tU) | 管理容量(tU) | 貯蔵量(tU) | 貯蔵割合(%) |
|---------|------|---------|----------|----------|---------|---------|
| 北海道電力 | 泊 | 170 | 50 | 1,000 | 380 | 38 |
| 東北電力 | 女川 | 260 | 60 | 790 | 420 | 53 |
| | 東通 | 130 | 30 | 440 | 100 | 23 |
| 東京電力 | 福島第一 | 580 | 140 | 2,100 | 1,960 | 93 |
| | 福島第二 | 520 | 120 | 1,360 | 1,120 | 82 |
| | 柏崎刈羽 | 960 | 230 | 2,910 | 2,300 | 79 |
| 中部電力 | 浜岡 | 410 | 100 | 1,740 | 1,140 | 66 |
| 北陸電力 | 志賀 | 210 | 50 | 690 | 150 | 22 |
| 関西電力 | 美浜 | 160 | 50 | 680 | 390 | 57 |
| | 高浜 | 290 | 100 | 1,730 | 1,180 | 68 |
| | 大飯 | 360 | 110 | 2,020 | 1,400 | 69 |
| 中国電力 | 島根 | 170 | 40 | 600 | 390 | 65 |
| 四国電力 | 伊方 | 170 | 50 | 940 | 590 | 63 |
| 九州電力 | 玄海 | 270 | 90 | 1,070 | 830 | 78 |
| | 川内 | 140 | 50 | 1,290 | 870 | 67 |
| 日本原子力発電 | 敦賀 | 140 | 40 | 860 | 580 | 67 |
| | 東海第二 | 130 | 30 | 440 | 370 | 84 |
| | 合計 | 5,070 | 1,340 | 20,630 | 14,200 | 69 |

注1) 管理容量は、原則として「貯蔵容量から1炉心+1取替分を差し引いた容量」。

注3) 四捨五入の関係で合計値は、各項目を加算した数値と一致しない部分がある。

なお、中部電力の浜岡 1・2号機の管理容量は、1・2号機の運転終了により、貯蔵容量と同量としている。注4) 東京電力の福島第一は、東日本大震災による事故発生前の値としている。

注2) 中部電力の浜岡は、1・2号機の運転終了により、「1炉心」、「1取替分」を3～5号機の合計値としている。

第8回原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(H24.2.23)資料3-2抜粋

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

177

(参考)立地自治体と事業者等との協定等

再処理工場の例

21 覚 書

青森県及び六ヶ所村と日本原燃株式会社は、電気事業連合会の立会いのもと、下記のとおり覚書を締結する。

記

再処理事業の確実な実施が著しく困難となった場合には、青森県、六ヶ所村及び日本原燃株式会社が協議のうえ、日本原燃株式会社は、使用済燃料の施設外への搬出を含め、速やかに必要かつ適切な措置を講ずるものとする。

平成10年7月29日

出典: 冊子青森県の原子力行政(抜粋)

第8回原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会(H24.2.23)資料3-2抜粋

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

178

(参考)使用済燃料貯蔵の各対策に要する時間(例)

- 中間貯蔵施設の建設は、立地可能性調査から操業開始まで10年以上の期間を要している。
- 発電所構内や敷地内の新たな使用済燃料貯蔵施設の設置にも長い期間を要する。
- 使用済燃料貯蔵対策には、地元の理解活動が重要である。

| 実績例 | 経過年度 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|------------------------------------|------|---------|---------|------|-------|---------|---|-----|---|---|-----|----|-----|
| 中間貯蔵施設 (むつ) | | 立地可能性調査 | | | 施設設計等 | | | 許認可 | | | 建設 | | 竣工▽ |
| [実績および事業者の計画] | | 理解活動 | 立地協力要請 | ▽ | 立地了承 | ▽ | | | | | | | |
| 使用済燃料 乾式貯蔵設備 (東海第二) | | 施設設計等 | | | 許認可 | | | 建設 | | | 竣工▽ | | |
| | | | 新增設計画提出 | 理解活動 | ▽ | 新增設計画了承 | ▽ | | | | | | |
| 使用済燃料 貯蔵設備の 貯蔵能力増強 (敦賀2号) | | 施設設計等 | 許認可 | ▽ | 竣工 | | | | | | | | |
| | | | 理解活動 | 事前了解 | ▽ | 現地工事 | | | | | | | |
| 使用済燃料 貯蔵設備 増強工事 (浜岡4号) | | 施設設計等 | 許認可 | ▽ | 竣工 | | | | | | | | |
| | | | 理解活動 | 現地工事 | ▽ | | | | | | | | |

※: 作業準備期間は、実績期間から控除

出典: 総合資源エネルギー調査会電気事業分科会 第24回原子力部会(H22.4.19)資料

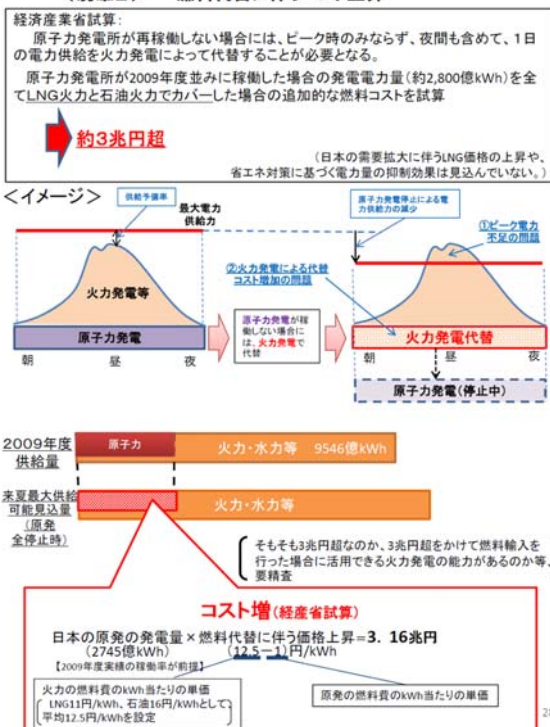
2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

179

(参考)燃料費差の根拠資料

(別添2) 燃料代替に伴うコスト上昇



出典: 第2回エネルギー・環境会議(H23.7.29)資料1-1別添2

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

180

Blank Page

核燃料サイクル政策の「留保」 の評価

平成24年5月23日
原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会

本資料における「留保」の定義

- 核燃料サイクル政策について、以下の二種類の「留保」の得失を評価する。
 - 「活動継続・留保」(wait and see)
 - 不確実な情報を見極めるため、現在進められている核燃料サイクル政策に基づく活動は、一定の条件の下で継続し、新政策の決定を一定期間後に行うこと。
 - 「凍結・留保」(moratorium)
 - 不確実な情報を見極めるまで、核燃料サイクルにかかわる活動の一部を一定期間中断し、新政策の決定はその後に行うこと。

「留保」を取り上げる理由

- 核燃料サイクルの基本政策を決定する上で、以下の因子は極めて重要であるが、福島第一原発事故の影響等により現状では不確実性が高い。
 - 将来の原子力発電規模の見通し
 - プルサーマルの計画の見通し
 - 六ヶ所再処理工場の稼働状況の見通し
- そこで、上記の因子がある程度見通しが得られる時期まで、核燃料サイクルに関わる特定の取組の意思決定を留保する方が、十分な検討時間が得られること、この間にどの政策決定がなされてもそれに速やかに取りかかれるよう準備を行うことができる等のメリットを有する可能性がある。
- 留保の目的、期間、期間中の具体的措置などを明確にすることが重要である。それにより、「単なる先送り」ではない、有効な政策的措置となる可能性がある。

「活動継続・留保」の内容

- 現在進められている核燃料サイクルの以下の活動を一定の条件の下で継続しながら留保期間後の意思決定に備える。
 - 六ヶ所再処理プロジェクトの限定的継続と検証
 - アクティブ試験を終了させ、事業者の計画に従った操業を始めることとする。
 - 留保期間中、上記の六ヶ所再処理工場の稼働状況に基づき、事業の継続性について国による検証を行う。
 - なお、再処理は、プルトニウム利用計画に従い、利用目的が明確な範囲で実施
 - プルサーマル
 - J-MOX施設の建設を含めプルトニウムの消費の取組を進め、その進捗状況から、今後のプルサーマルの実現性を検証する。
 - その他、全量再処理、再処理・直接処分併存及び全量直接処分のいずれの選択肢が選択されたとしても、決定後直ちにその取組に着手できる準備的取組を確実にすすめること。
- 留保期間:上記の検証を目的とするなら、2～5年以内で明確な期間を設定すべきではないか

「活動継続・留保」の得失(現在政策選択する場合との比較)

● メリット

- 各活動は継続するため、留保後の政策選択肢決定に際しての情報が得やすい。特に六ヶ所再処理工場の操業見通しについては、実際に再処理を実施する方がより明確化される。
- Wait & See 期間後に政策変更がある場合の準備期間が得られる(特に核燃料サイクル施設の立地自治体との交渉等)

● デメリット

- 「凍結・留保」に比べ可能性は低いが、留保による追加費用が発生する可能性がある。
- 留保期間後に全量直接処分への変更があり得るための不透明感
 - 特に再処理事業に関しては、留保後工場操業停止の可能性が残るため、事業リスクや雇用不安の増大。(なお、民間事業を国が政策的に中断させる可能性に対するセーフティネットの整備等は検討課題)
- 政策に空白が生まれることによる核燃サイクル事業に関する地元同意の先送り・撤回
 - 使用済燃料中間貯蔵施設の設置やプルサーマルの新規の申し入れに対して留保期間中の受入が延期となる可能性
 - 現在同意が得られているプルサーマル計画等の白紙撤回となる可能性があり、その場合には留保そのものが成立しなくなる。
- 「凍結・留保」に比べ程度は低いが、上記の地元同意の動向の不透明性により、各発電所の使用済燃料管理容量の逼迫のリスクは当面の政策1, 2よりも高まる。

「凍結・留保」(モラトリアム)の内容

- 現在進められている核燃料サイクルの活動のうち、下記の通りとし、留保期間後の決定に備える。
 - 六ヶ所再処理プロジェクトの凍結と検証
 - 事業者の計画、J-MOX工場の建設を凍結する。ただし、ガラス固化体技術の試験・操業は継続して行う。
 - 留保期間中、事業の継続性などについて、国による十分な検証を行う。
 - 海外回収プルトニウムの取扱い
 - 当面海外回収プルトニウムについてプルサーマルか代替方策により処分することへの合意を進め、その間プルサーマルは凍結し、今後の回収プルトニウムの処分の方策を検証する。
 - その他、全量再処理、再処理・直接処分併存及び全量直接処分のいずれの選択肢が選択されたとしても、決定後直ちにその取組に着手できる準備的取組を確実にすすめること。
- モラトリアム期間の設定
 - 海外回収プルトニウムの取扱いの見通しが得られると推定される5年程度をモラトリアム期間として設定すべきではないか

「凍結・留保」の場合の得失(現在政策選択する場合との比較)

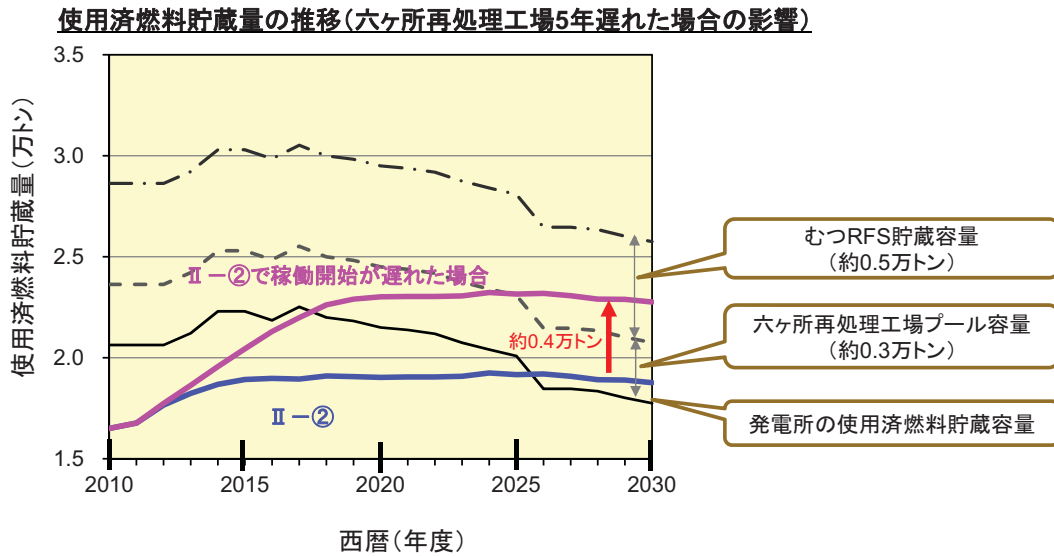
- **メリット**
 - 国内のプルトニウム在庫量は増えない。
 - 再処理事業やJ-MOXの建設を中止する場合には、中止する意思決定への障害が低い。
 - モラトリアム期間後に政策変更がある場合の準備期間が得られる(特に核燃料サイクル施設の立地自治体との交渉、国民的議論の場の設定等)
- **デメリット**
 - 六ヶ所再処理工場を稼働しないため、再処理事業の操業見通しの情報が得にくい。
 - 再処理事業やJ-MOXの建設を再開する場合には、再開する意思決定の障害が高い。
 - モラトリアムのために追加費用が発生する。
 - 追加費用の負担の在り方について検討課題である。
 - 六ヶ所再処理工場の主工程を停止していることによる人材・技術が維持できない可能性
 - 留保期間後に政策変更があり得るための不透明感
 - 特に再処理事業に関しては、留保後工場操業停止の可能性が残るため、事業リスクや雇用不安の増大(なお、民間事業を国が政策的に中断させる可能性に対するセーフティネットの整備等は検討課題)
 - 政策に空白が生まれることによる核燃サイクル事業に関する地元同意の先送り・撤回
 - 使用済燃料中間貯蔵施設の設置やプルサーマルの新規の申し入れに対して留保期間中の受入が延期となる可能性
 - 現在同意が得られているプルサーマル計画等の白紙撤回となる可能性があり、その場合には留保そのものが成立しなくなる。
 - 上記により使用済燃料貯蔵能力増強が進まない場合、六ヶ所再処理工場が稼働していないため、各発電所の使用済燃料管理容量の逼迫時期が前倒しになる。

参考

六ヶ所再処理工場の稼働開始が 2012年から2017年に遅れた場合の評価

六ヶ所再処理工場の稼働開始が2012年から2017年に遅れた場合の解析結果(使用済燃料貯蔵量の推移)

参考



注)個別サイト内の貯蔵量は全国17サイト中5サイトが貯蔵割合70%を超過(2011年9月末)

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

8

六ヶ所再処理工場の稼働開始が2012年から2017年に遅れた場合の影響

参考

使用済燃料貯蔵量

- ① 再処理の稼働開始が2012年から2017年に遅れ、その後再処理を開始した場合には、国内における使用済燃料貯蔵量が2030年時点で再処理されない分(約0.4万トン)増加する。(青の実線⇒ピンクの実線)
- ② この場合、発電所の使用済燃料貯蔵容量に六ヶ所再処理工場プール容量を加えた容量(灰色の破線)を2025年頃に上回る事となる。
- ③ なお、再処理の稼働が5年遅れることによって、六ヶ所再処理工場から使用済燃料を搬出することを求められた場合※には、使用済燃料貯蔵量(ピンクの実線)は2018年頃に貯蔵容量(黒の実線)を上回る事となる。
- ④ ②及び③の場合は、発電所毎に貯蔵状況は異なるので、上記の時期よりも早く貯蔵容量を超える発電所が出てくる可能性がある。

※青森県と事業者との覚書(H10.7.29)では、再処理事業の確実な実施が著しく困難となった場合には、協議の上、使用済燃料の施設外への搬出を含め、速やかに必要な措置を講ずることとなっている。

サイクル関連事業の停滞

この間、六ヶ所再処理工場の安全確保、機能維持のために年間約1,100億円の経費が必要となる。

なお、政策的な理由以外によるサイクル関連事業の停滞は、留保により発生するコストとして取り扱うべきではない。

2012/5/23

新大綱策定会議(第19回)

9

再処理工場が停止中でも機能維持に必要な費用

参考

- 再処理工場が停止中でも機能維持に必要な費用について至近の日本原燃費用支出より算出する。
- 至近(2010年度)の日本原燃の再処理事業における費用支出は約2,800億円。
この主な内訳は
 - 減価償却費関連:約1,600億円
 - 運転保守関連(修繕費や人件費・委託費など):約600億円
 - その他諸経費(諸税や一般管理費・支払利息等):約600億円
- 再処理工場の維持管理にかかる費用について
 - 施設の法定検査、安全管理などは、操業中と同様の費用が必要。
 - 再処理費用の太宗は再処理量の多寡に依存しない設備維持管理等にかかる固定的費用。
 - 変動的費用である化学処理に伴う電気代や薬品代等については、操業状態と比べ減少しており、40億円弱(フル操業で推定170億程度)。
- トラブル対応等の費用について
 - ガラス溶融炉に関連して、フルスケールのモックアップ試験や、六ヶ所工場での復旧対策にコストがかかっており、2010年度は100億円程度。
- 再処理工場が停止中でも機能維持に必要な費用は、再処理事業の費用支出2,800億円のうち、減価償却費関連(1,600億円)や、トラブル対応等の費用(100億円)を除く、およそ1,100億円となる。

六ヶ所再処理工場の稼働開始が2012年から2017年に遅れた場合の影響

参考

- 「凍結・留保」による追加コストについて
 - 震災の影響やアクティブ試験でのトラブルにより、ガラス溶融炉の事前確認試験の開始は、2011年3月から2012年6月に変更されている。(15か月の差)。
 - 一方、六ヶ所再処理工場の稼働開始を留保し、竣工時期を現在の計画である2012年10月から仮に2017年10月に変更したと仮定。
 - ガラス溶融炉事前確認試験の開始時期が現時点で15ヶ月遅れているため、2012年10月の竣工時期も15ヶ月遅れると想定。このため、稼働開始を5年留保し、2017年10月とした場合でも、実質的な留保期間は、45ヶ月(5年-15ヶ月)となり、その場合の追加コストは約4100億円となる。
 - なお、上記と同様の算定方法を踏まえると
留保期間が2年の場合・・・約800億円
3年の場合・・・約1900億円
4年の場合・・・約3000億円 と推定される。

| 政策選択肢に対する各委員のご意見 | |
|------------------|--|
| 田中委員 | 原子力発電を一定規模維持し再処理を進めるのは、将来のウラン資源価格上昇、資源の枯渇に備えてであり、我が国にとって重要なエネルギー政策である。高速増殖炉開発を進めることは、将来のエネルギーセキュリティリスクを低減できるメリットがある。選択肢の総合評価においては、短中長期のエネルギーセキュリティ、環境負荷低減の観点を重視し、また経済性にも留意しつつ、頑健性+柔軟性が重要な指標。政策に柔軟性を持たせることによって、留保しなくても適切な対応を取り得る。 |
| 伴委員 | 全量直接処分政策は、原子力比率に左右されないで成立する政策である。また、他の政策選択肢と比較してもっとも経済性が良い。更に、プルトニウムを抽出しない、核不拡散、核セキュリティなどの諸点で、国際的に最も高く評価され、歓迎される政策である。モラトリアムは、プルサーマルへの合意が困難であること、六ヶ所再処理工場のガラス固化の不具合等、再処理事業の将来が見通せない中で、選択肢①～③が決まらなかった場合の選択肢である。 |
| 又吉委員 | 原子力比率Ⅳの場合は、全量直接処分政策が現実的であり、それ以外の比率では再処理・直接処分併存政策が現実的である。原子力利用の今後の見通しが不透明な現状では、両方の長所を残しておく選択肢が現実的である。政策変更により民間企業の事業性が著しく変化した場合、何らかのセーフティーネットが必要。 |
| 松村委員 | 原子力比率Ⅳの場合は、直接処分以外に選択肢は無い。原子力比率Ⅰ～Ⅲでも、全量再処理政策を続ける積極的な意義はない。全量再処理を選択すると言うことは、現段階で第2再処理工場を建設することをコミットすることであり、合理的な選択肢ではない。全量再処理以外の政策をとるのであれば、政策変更費用を如何に削減し、柔軟な政策選択肢を確保するかが重要。プルトニウム利用計画が不確実な状況では、再処理にかかわる決定を留保する選択肢も評価の対象にすべき。 |
| 山地委員 | 使用済燃料の一定量を再処理し回収されたプルトニウムとウランは軽水炉で利用、残りは一定期間貯蔵後全て直接処分するという、再処理・直接処分併存政策が他の選択肢と比較して最も現実的で合理的である。選択した政策の中で実質的に留保と同じことができるので、留保を選択肢として加える必要はない。 |
| 山名委員 | 原子力利用を一定規模で継続する場合、再処理・直接処分併存政策を基本とする。将来の高速炉利用の探求は有力な選択肢として続け、直接処分も可能性のある選択肢として重視し研究開発を進める。全量再処理を前提に既に構築された制度、仕組み、社会合意等を尊重し、政策変更によりこれらに必要な修正をおこなうための政策的な措置を実施する。また、留保というのは基本的に不要であり、政策を決めた後できちんとレビューする仕組みをきちんと行うことが大事。 |

注) 上表は14回技術用検討小委員会(平成24年5月8日)、資料第6号「原子力発電・技術等検討小委員会メンバーからの提出資料」のご意見を整理し、委員の確認を得たものである。

Blank Page

各原子力比率におけるステップ3の評価の正誤表

| 変更箇所 | | 変更前(第19回新大綱策定会議【資料1-4】) | 変更後 |
|---|----------------|-------------------------|-----------|
| P28 経済性(2):発電時点で発生し得る費用ベースの核燃料サイクルの総費用 シナリオ1 | 総費用(兆円) | 9.7 | 9.8 |
| P28 経済性(2):発電時点で発生し得る費用ベースの核燃料サイクルの総費用 シナリオ2 | 再処理等(円/kWh) | 0.39 | 0.40 |
| P42 参考 経済性(1):将来を見通して発生する費用ベースの核燃料サイクルの総費用 シナリオ3 | 中間貯蔵費(円/kWh) | 1.40 | 1.11 |
| | 直接処分費(円/kWh) | 1.16~1.33 | 1.19~1.36 |
| | バックエンド計(円/kWh) | 3.78~3.94 | 3.51~3.67 |
| | 総費用(兆円) | 7.8~7.9 | 7.5~7.7 |
| P70 経済性(2):発電時点で発生し得る費用ベースの核燃料サイクルの総費用 シナリオ1 | MOX 燃料費(円/kWh) | 0.07 | 0.08 |
| P70 経済性(2):発電時点で発生し得る費用ベースの核燃料サイクルの総費用 シナリオ2 | 合計(円/kWh) | 1.44 | 1.43~1.44 |
| | 総費用(兆円) | 8.1 | 8.0 |
| P84 参考 経済性(1):将来を見通して発生する費用ベースの核燃料サイクルの総費用 シナリオ3 | 中間貯蔵費(円/kWh) | 1.31 | 1.03 |
| | 直接処分費(円/kWh) | 1.08~1.23 | 1.11~1.26 |
| | バックエンド計(円/kWh) | 3.60~3.75 | 3.34~3.50 |
| | 総費用(兆円) | 6.7~6.8 | 6.4~6.6 |
| P127 参考 経済性(1):将来を見通して発生する費用ベースの核燃料サイクルの総費用 シナリオ3 | 中間貯蔵費(円/kWh) | 1.25 | 0.98 |
| | 直接処分費(円/kWh) | 1.03~1.18 | 1.06~1.21 |
| | バックエンド計(円/kWh) | 3.49~3.64 | 3.25~3.40 |
| | 総費用(兆円) | 6.0~6.2 | 5.8~5.9 |
| P166 参考 経済性(1):将来を見通して発生する費用ベースの核燃料サイクルの総費用 シナリオ3 | 中間貯蔵費(円/kWh) | 1.07 | 0.84 |
| | 直接処分費(円/kWh) | 0.97~1.11 | 0.99~1.13 |
| | バックエンド計(円/kWh) | 3.25~3.39 | 3.04~3.19 |
| | 総費用(兆円) | 4.3~4.5 | 4.1~4.3 |

Blank Page