

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

田中委員提出資料

1. 政策選択肢を議論する上での重要課題と、考えるべき選択肢

重要課題：エネルギーセキュリティ確保

これには地政学的な観点も必要

⇒

- ・将来の原発割合、廃炉と新增設計画
- ・中長期的観点でのウラン資源確保
- ・フロントエンド技術の維持
- ・燃料リサイクル（プルサーマル、高速増殖炉サイクル）

重要課題：国際貢献、産業の国際展開

⇒

- ・産業規模(プラント、サイクル)維持

重要課題：地球温暖化ガス対策

⇒

- ・原子力割合、廃炉、新增設
- ・高速増殖炉サイクル
- ・海外原子力への貢献

重要課題：政策の柔軟性、頑健性

⇒

- ・燃料備蓄、貯蔵、
- ・使用済燃料貯蔵
- ・回収プルトニウム貯蔵、利用
- ・回収ウラン貯蔵、利用

重要課題：将来のアジア地区多国間管理を見据えた、エネルギーセキュリティ、相互依存

⇒

- ・資源輸入、輸送、
- ・フロントエンド技術協力
- ・バックエンド協力

重要課題：回収プルトニウムの取扱(海外、国内)

⇒プルトニウムリサイクル

重要課題：核不拡散、核セキュリティ

⇒

- ・リサイクル
- ・回収プルトニウム利用
- ・直接処分 v s ガラス固化体処分

重要課題：放射性廃棄物管理、処分

⇒

- ・リサイクル
- ・将来原子力利用

重要課題：研究開発維持、人材育成維持

⇒

- ・高速増殖炉サイクル
- ・原発割合
- ・産業規模

2. その選択肢を評価する際の視点（評価軸）

- ・産業への波及効果
- ・柔軟性、頑健性
- ・社会受容性
- ・核拡散・核セキュリティ
- ・廃棄物管理・処分
- ・燃料、使用済燃料管理
- ・政策変更課題

（これらは前回委員会に記載されているもの）

（付け加えて次のようなものが考えられる）

- ・エネルギーセキュリティ
- ・資源確保性
- ・将来原子力エネルギー利用変化への対応
- ・国際貢献
- ・研究開発
- ・人材育成維持
- ・地球温暖化ガス発生

3. 第一ステップの技術の評価表について

先回委員会資料（第一ステップでの評価軸整理(案)）についてのコメント

- ・技術の成熟度の視点を入れるべき（既に議論あったとおり）
- ・ライフサイクルでの被ばくリスクの部分：MOX 燃料加工に伴う被ばくリスクのことは書かなくても良いか。安全確保の欄に記述があるので不要？
- ・資源利用効率の部分、プルサーマルの節約効果については現実的な値必要。20%は高すぎる？ 燃料貯蔵期間にもよるが
- ・核不拡散、テロ対策：アクチノイド燃焼の方法によって注意すべき核種が生成される場合があることに注意必要。

廃棄物発生量：ワンススルー以外のシナリオで、低レベル放射性廃棄物の物量が増加するが、その内容と量はシナリオによって異なる。アクチノイド燃焼シナリオの場合には分離に伴い発生する2次廃棄物や、核燃焼されないで残るMAの処理も重要。

意見書（技術等検討小委員会）

2012. 1. 31

伴英幸

----- 依頼事項

（第2ステップの議論のために）

1. 政策選択肢を議論するうえで、現在我が国が抱えている重要な課題は何か。その課題を克服するためにどのような選択肢を考えればよいか。

2. その選択肢を評価する際の視点（評価軸）はどのようなものが考えられるか。

1. 重要な課題は、政策が硬直化しており、柔軟な見直しが行えない構造にあることです。事務局がまとめる意見が恣意的であり、結論を誘導するような運営をすることが、政策選択肢を議論するうえで、障害となっていると感じています。加えて、利害関係者が非常に多い委員会構成になっている点も議論の障害になっていると考えています。

これを克服するためには、審議会の在り方を変える必要があります、ドイツの倫理委員会のような場を設定して議論することも一案だと思います。利害関係者は排除して、推進・批判双方の立場から大いに意見を聞きながら、審議を進めていくのが良いと考えます。利害関係者はオブザーバーとして大いに意見を言えばよいでしょう。

また、現実根差した議論をしていない点も指摘できるでしょう。机上の空論が多すぎます。現実を踏まえた議論をすることが大事だと考えます。

2. 第6回技術等検討小委員会で提案されている評価軸に加えて、一その場でも意見を言いましたが一以下の点を加えたいと思います。その上で、現実を踏まえた評価が必要だと考えています。ステップ3で行うとされている定量的評価も現実を踏まえて行う必要があると考えています。

- ① 核不拡散の中に、再処理・高速増殖炉計画が世界に与える影響
- ② ワンススルー以外の選択肢ではプルトニウム需給バランス
- ③ 安全性の中に事故リスクを入れる
- ④ 事業の成立性

（すでに金子勝委員を招いて意見を聞くことを提案しました。一方からの意見だけでなく、日本原燃もしくは電事連の八木委員からも意見を聞けばよいでしょう。山名委員が金子さんの説明は粗い評価と言っていましたが、それなら、その点を具体的に指摘をする人から意見を聞けばよいでしょう。）

加えて、再処理を断念した場合の事業費用と進んでいった場合の事業費用についても議論すべきです。とりわけ、東電が事実上破たんしている状況では、この問題は避けられないと考えます。（高レベルは国が前面に、再処理は事業者任せは無責任）

- ⑤ 先に、再処理についても総合評価を今の時点で行うべきと、意見書で訴えましたが、この点も欠かせません。技術選択肢に付随する問題として評価に加えてください。
- ⑥ 選択肢の代替案として、いっそう現実的なものを考慮、議論する。
- ⑦ 社会的受容性
- ⑧ 政策変更に伴う諸問題

—新大綱策定会議で少し議論になりかけましたが、再処理を止めれば使用済み燃料が地元に戻る—これが唯一の選択肢とは考えられません。あるいは戻るとして、どう対応すべきかなど議論すべきことはあると考えています。

とりあえず、気づいた点です。

又吉委員提出資料

＜第2ステップの議論に向けて＞

我が国が抱える重要な課題	課題克服のために必要な選択枝	選択枝を評価する際の評価軸	
エネルギー選択枝の確保 <div>* 化石燃料・ウラン燃料の供給量および価格の決定イニシアティブは、資源保有国にある。これら資源をリーズナブルな価格で安定的に確保するためには、潜在的な「代替オプション」を持ち続けることで資源の買い手としての交渉優位性を保つ必要がある。</div>	<div>* ウラン燃料使用量低減による、広義の自給率向上が必要。 将来的な高速増殖炉への移行を視野に 入れた選択枝を残すことも重要に。</div>	<div>より広範囲の選 択枝を 持ち続ける ことが重要</div> <div>↑</div> <div>FBR</div> <div>LWR-FR</div> <div>LWR-MOX リサイクル</div> <div>LWR-MOX限定 リサイクル</div> <div>LWR ワンス スルー</div>	エネルギー安定確保(資源有効利用) 選択枝の柔軟性
エネルギーの安定確保 <div>* 資源に乏しく、エネルギー多消費国である日本には、エネルギー源を安定的に確保するための戦略が必要。100年単位の超長期のエネルギー源の確保という視点も重要に。</div>			
成長産業の育成と雇用機会の確保 <div>* 海外原子力プロジェクトの進展に伴い、原子力インフラ産業は日本の輸出産業の柱のひとつとなる可能性を秘めている。メーカー・技術者の育成と技術者の雇用機会の維持拡大が必要に。</div> <div>* 研究開発・技術者の離散回避。</div>	<div>* 日本の産業政策や国際貢献の在り方を 視野に入れた選択枝も重要に。</div>		経済性・産業への波及効果 人材育成 国際貢献 技術開発力の維持・向上
国際貢献の充実 <div>* 非核兵器国の原子力利用の模範である日本が保有する原子力発電技術や高速増殖炉技術が、世界の原子力平和利用をリードする役割を期待されている。</div>			
戦略的な研究開発分野の取捨選択 <div>* 研究開発予算は無限ではない。現在および50～100年後に想定される技術成熟度、研究開発における自国の先進性を考慮し、限られた予算で世界をリードできるような技術開発成果を出せる研究分野の取捨選択、およびリソースの集中も必要に。</div>	<div>* 技術と技術を繋ぐものはやはり技術。研 究開発分野の取捨選択は、慎重に実施 する必要も。</div>		人材育成 技術開発力の維持・向上
放射性廃棄物の管理・処分 <div>* 放射性廃棄物を適切に管理し処分すること、処分により環境へ与える負荷を低減することが重要。</div>			廃棄物 環境負荷低減(環境適合性)
公約の遵守 <div>* サイクル事業については、関連施設受入立地行政、および諸外国と燃料リサイクルに関する何らかの「公約」が結ばれている。その公約に対するコミットメントの揺らぎは許容されにくい。</div>	<div>* 核不拡散に対する国としてのコミットメント が必要に。</div>		政策変更による課題 社会受容性: 立地地域との信頼関係の維持 核不拡散
軽水炉の運転停止リスクの回避 <div>* サイクル事業の政策が大幅に変更される場合、現在六ヶ所再処理施設に貯蔵されている使用済み燃料や海外に貯蔵されている廃棄物が行き場を失う可能性も。</div> <div>* 再処理工場への搬出が前提とされている中間貯蔵施設の建設継続が困難となる可能性も。</div> <div>* 使用済み燃料が六ヶ所再処理施設から返還されたり六ヶ所への搬出が停止された場合、各発電サイト内にある使用済み燃料プールが満杯となり、軽水炉における発電を中止せざるを得なくなる可能性も。</div>	<div>* 使用済み燃料に「将来再利用される資 源」としての価値があると定義され続ける 選択枝が必要に。</div>		社会受容性: 使用済み燃料が広義の国益(国民生活)のために重要な資源であるという合意形成。 政策変更による課題
政策変更コスト(ストランデットコスト)発生の回避 <div>* 六ヶ所再処理施設内の第一再処理工場はほぼ建設完了。再処理事業が商業化されない場合には、これまでの投資資金が未回収となるリスク(ストランデット・リスク)が顕在化する。</div>			政策変更による課題 発電コスト(経済性)への波及影響
減原子力政策が推進される場合の、燃料サイクルによるメリット低下 <div>* 減原子力政策が推進される場合、再処理事業による資源節約性メリットが縮小する。</div>	<div>* 将来の日本の原子力発電量をベースとし た、核燃料サイクル事業のブレイク・イー ブン・ポイントを見極めた事業計画の修正 も必要に。</div>	発電コスト(経済性)への波及影響	
困難な核燃料サイクル関連施設の建設立地 <div>* 国内でまだ商業化の途中にある核燃料サイクル技術に対する理解度の低さ、事業者や政府に対する信頼感の揺らぎもあり、核燃料サイクル関連施設の建設立地が困難に。</div>		社会受容性 政策変更による課題	

アナリストによる証明: 以下のアナリストは、本レポートで論じている企業およびその証券に関する各自の見解が正確に表現されていることを証明いたします。また、本レポートにおいて特定の推奨あるいは見解を示すことの見返りとして、直接的または間接的に報酬を受領してはいないこと、かつ受領する予定のないことを証明いたします。: 又吉 由香。
特に明記しない限り、本レポートの表紙に記載されている個人はリサーチアナリストです。

核燃料サイクルのシナリオ選択 (政策選択)についての意見

**京都大学原子炉実験所
山名 元**

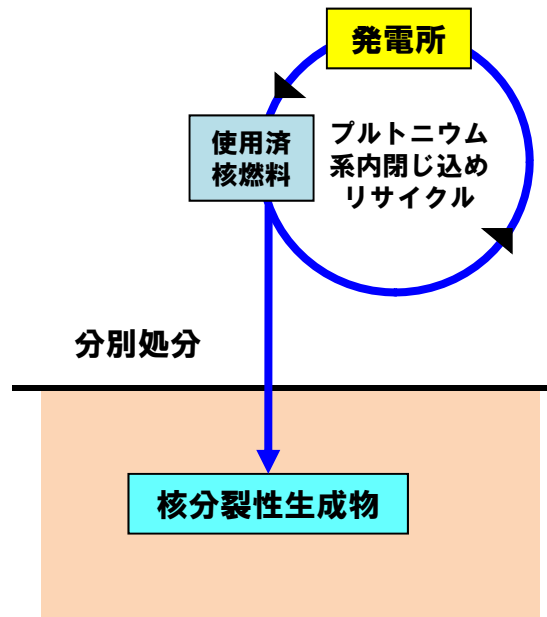
バックエンドシナリオに関わる議論の前に

1. バックエンド計画は、3つのオプションのトレードオフの議論である事。再処理リサイクル路線を否定する場合、その代替路線の現実的な提案が必要。
2. バックエンド計画の策定においては、「高レベル放射性廃棄物のマネージメント」と「資源物質の利用」の二つの視点が重要であること。
3. 放射性廃棄物管理体系全体の最適化の視点が重要であること。
4. 使用済燃料の資源価値については、一次フィッサイル資源(天然ウラン)に対する、二次フィッサイル資源としての価値の評価が必要。
5. 最終展望のない長期貯蔵については、能動的な管理に長期的に依存する事の妥当性や、その社会的な認知が不可欠。
6. バックエンド戦略を実現するには、立地問題等、事業に関わる認識共有や理解等、長い時間をかけた準備が必要であること。構築してきた地元了解やインフラの価値への認識は前提。
7. 原子力だけでなく、我が国の将来のエネルギー展望に関しては、中長期的な不確実性が存在する。将来不確実性に対するロバストな姿勢が必要。原子力の利用や核燃料サイクル事業は、この将来不確実性の中での位置付けとして考えるべき。
8. 諸外国におけるバックエンド路線の選択については、資源戦略的な国情や今までの投資の状況、経済性に対する見方等、様々な視点がある。冷静に分析が必要。一般的に、コスト(投資)と資源展望のバランスの判断や、貯蔵や放射性廃棄物管理のバランスで、考える事が多いのでは。

バックエンドのオプション

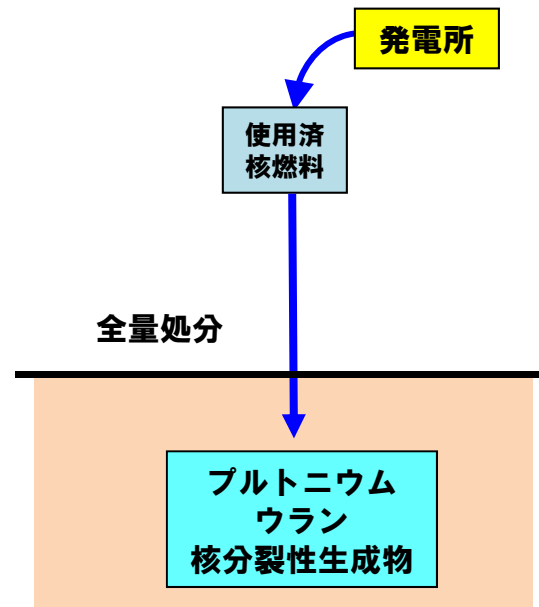
- 発電所内での大量に使用済燃料を保管：原子炉に大量のハザードを保管する事になり、あまり好ましくない。
- 福島事故により、原子炉安全と同様に考えられがちであるが、発電所の在り方によらず、いずれかのオプションを選択しなければならない。

再処理路線 (核燃料サイクル)



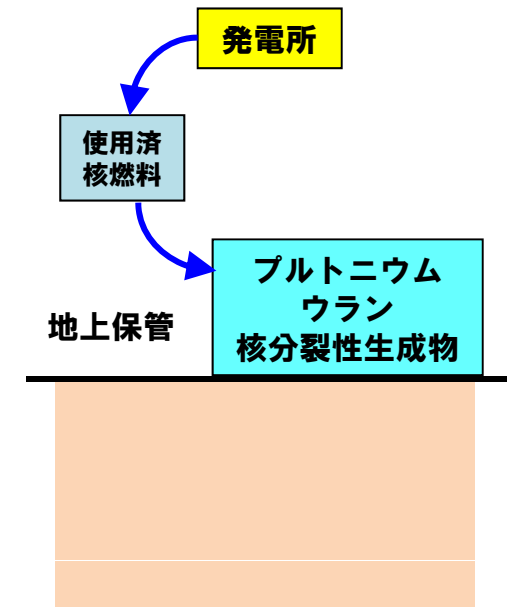
- プルトニウムを地層処分せず、燃料として再利用する(プルサーマル)。将来的に高速炉繋げるとベスト。
- これにより、放射性廃棄物の減容と、資源の有効利用を行う。
- フランス、日本、ロシア、中国、インドなど。将来的には韓国が指向している。

直接処分路線 (直接処分サイクル)



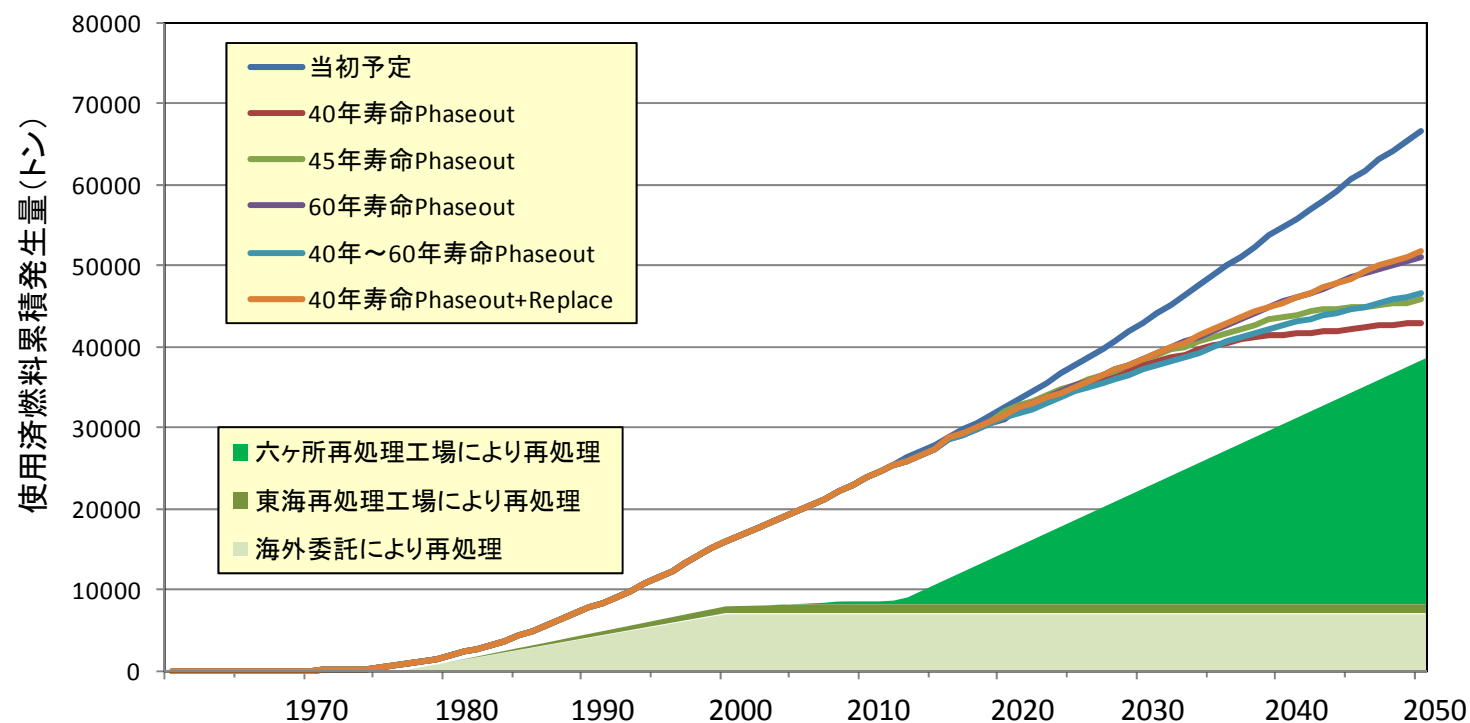
- プルトニウムを含めて、使用済燃料を地層処分。
- 使用済核燃料貯蔵量(中間貯蔵)が大きくなると共に、放射性廃棄物の処分面積が大きく、毒性が長く続く。
- 原子力小規模国のフィンランドやスウェーデン、ウラン資源国のカナダが採用。

長期貯蔵路線 (将来へ先送り)



- プルトニウムを含めて、使用済燃料を地上施設に長期保管。
- 使用済核燃料貯蔵量が大きくなると共に、地上でのハザードが継続。能動的管理の必要性が継続。次世代への責任先送りとなる。
- 貯蔵終了後の対策(処分や再処理)をある程度展望するべき。

使用済燃料累積発生量のシナリオ比較（山名試算）



バックエンド戦略に関わる条件など

高放射性物質としての管理の在り方

使用済燃料長期管 の妥当性	長期貯蔵の安全性
	世代間責任
	貯蔵施設立地の実現性
地層処分の合理性	処分場面積
	処分場設計とコスト
	長期安全性
	潜在毒性継続
	発熱密度
	廃棄体の品質管理
	長半減期高毒性核種の生成量
放射性核種の蓄積	核変換等への展開可能性

フィッサイル資源の管理の在り方

二次フィッサイル資 源の利用の価値	天然ウラン可採量
	天然ウラン価格(鉱山開発・投機等)
	天然ウラン産出国環境問題
	天然ウラン獲得競争
	Pu-241の損耗
	天然ウラン節約効果
	回収ウラン再濃縮のコスト妥当性
核物質管理	海水ウラン利用の実現性
	核物質転用抵抗性
	保障措置の実効性
	核拡散抵抗性

必要条件・周辺 条件・外部因子	コスト
	安全性
	技術継承性
	対将来柔軟性
	安全保障
	国際外交・国際圧力等
	社会的受容性

国情・理念
戦略・判断

核燃料サイクル
政策と戦略

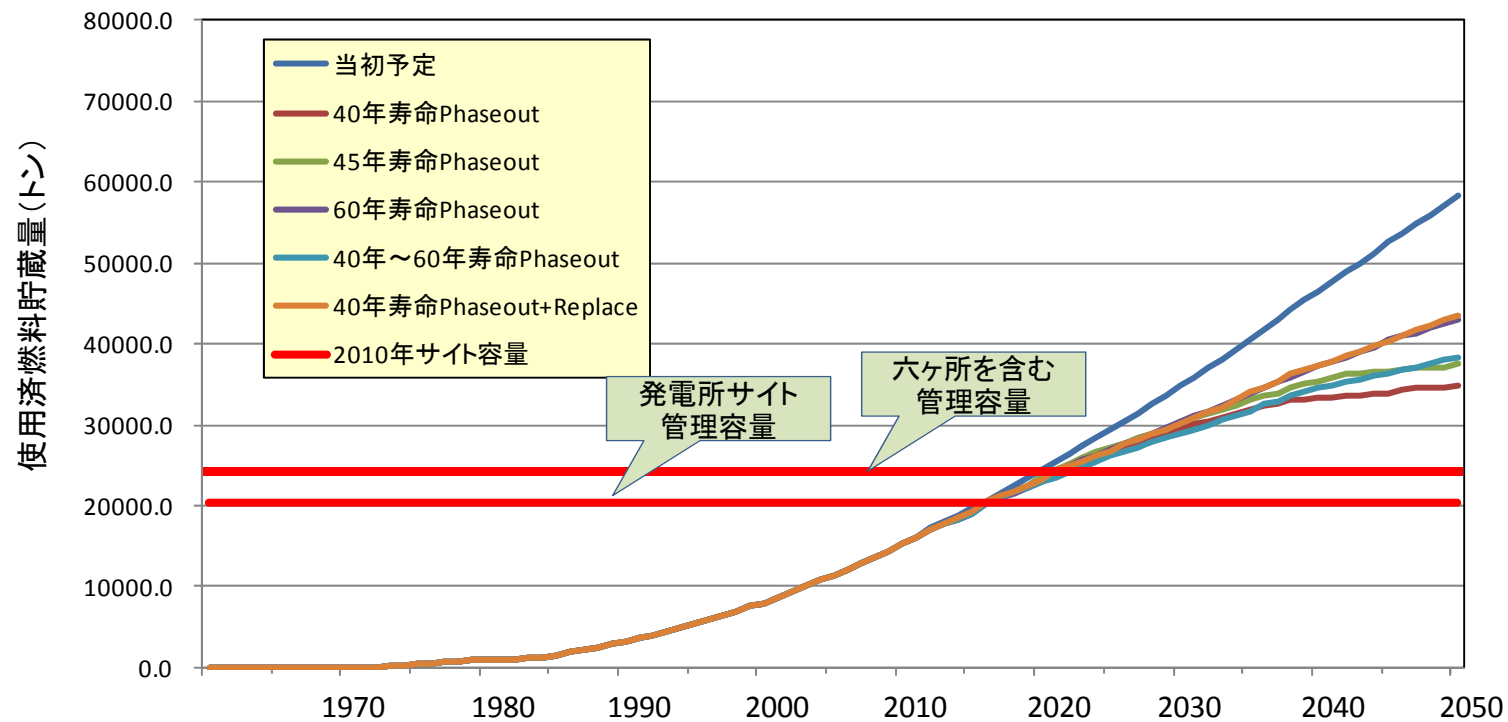
従来政策からの
無理ない移行

福島事故による原子力
エネルギー政策見直し

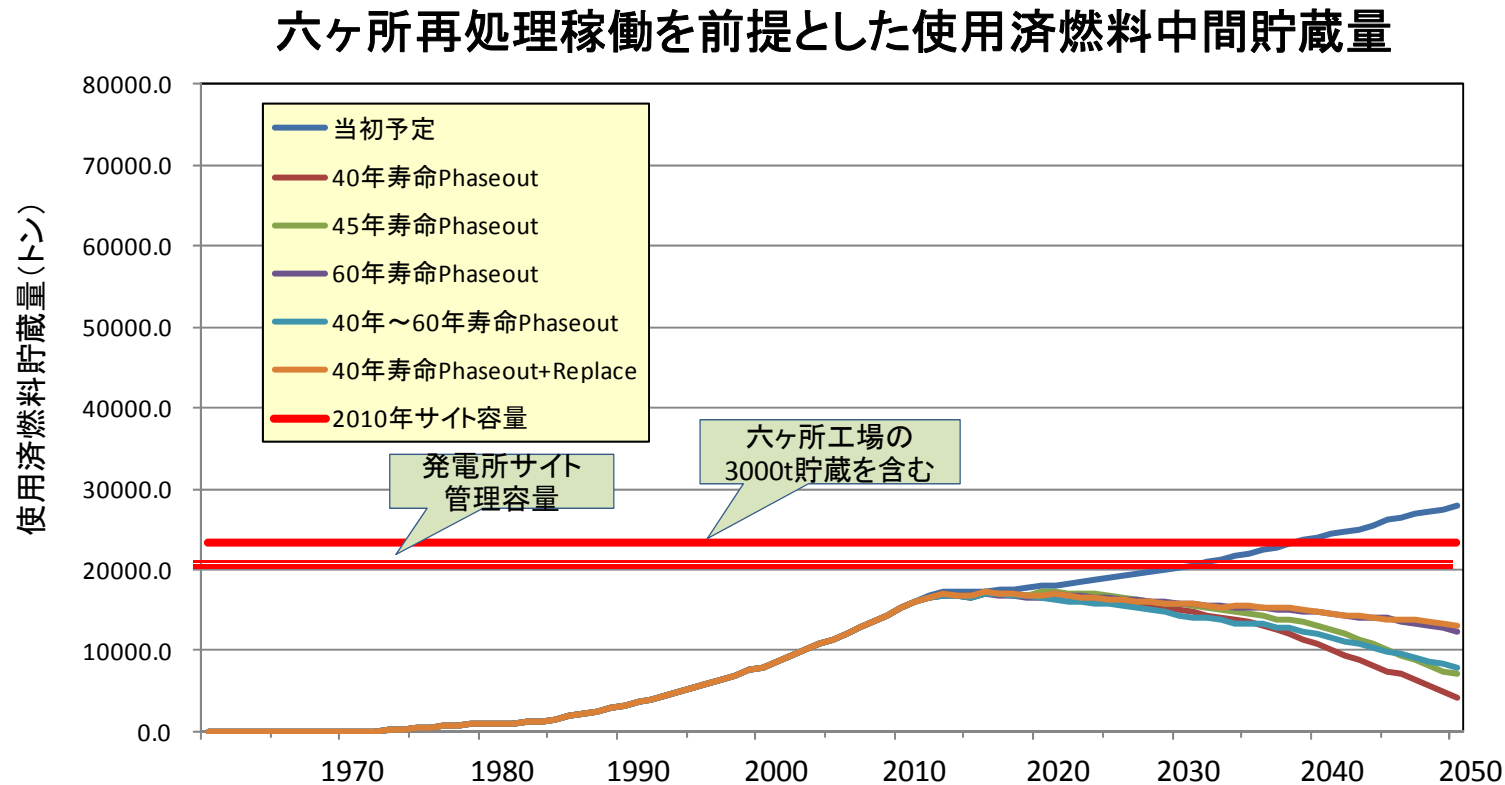
1. 原子力発電長期計画(規模・時期)
2. 発電所サイトでの使用済燃料保管量
3. 使用済燃料の中間貯蔵量
4. プルトニウムの保管量(余剰分の削減)
5. MOX軽水炉利用の進捗
6. 地層処分の進捗

使用済燃料の中間貯蔵量（山名試算） （再処理しない場合）

再処理しない場合の使用済燃料中間貯蔵量



使用済燃料の中間貯蔵量（山名試算） （六ヶ所再処理工場の稼働を前提）



高放射性廃棄物管理としての考え方

フランスの廃棄物法での選択肢)

1. 放射性廃棄物最小化(分離変換) 路線:高速炉原型炉2020年に予定
2. 回収可能型地層処分の研究開発(2025年に運用開始)
3. 超長期中間貯蔵を考える(2015年に新施設)

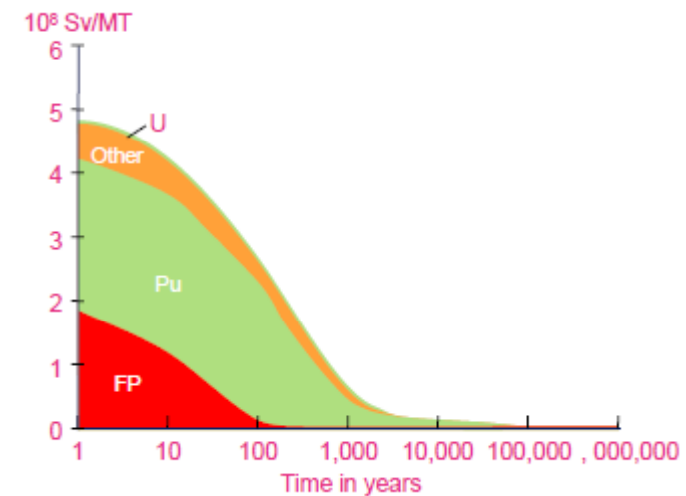
ガラス固化体に変換する理由

1. 使用済燃料の体積を減少させる
2. 廃棄体の熱出力を低減(早期の処分)
3. 地層処分廃棄体中の潜在毒性を削減
4. 品質を一定化し素性を明白にした廃棄体にする
5. 長期に亘って安定な廃棄体(地下水に溶解しにくい)

使用済燃料としての管理

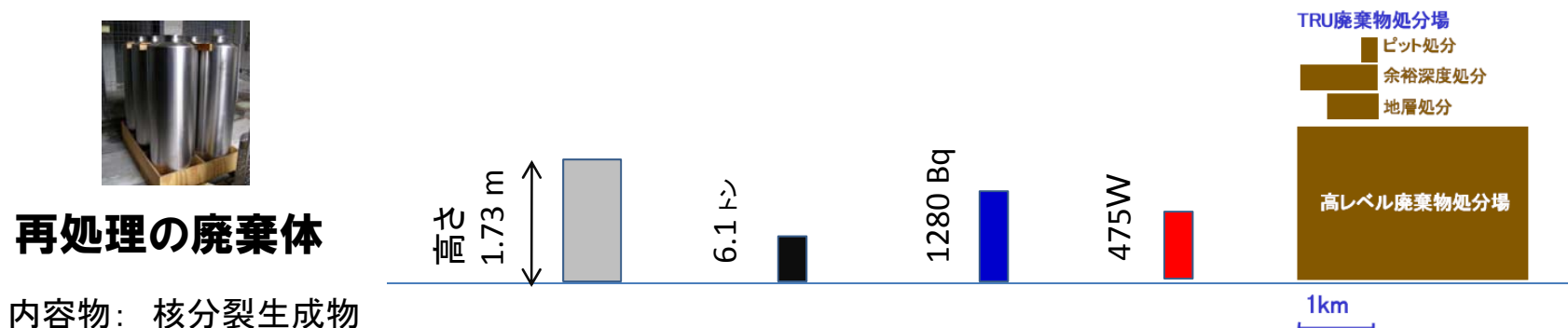
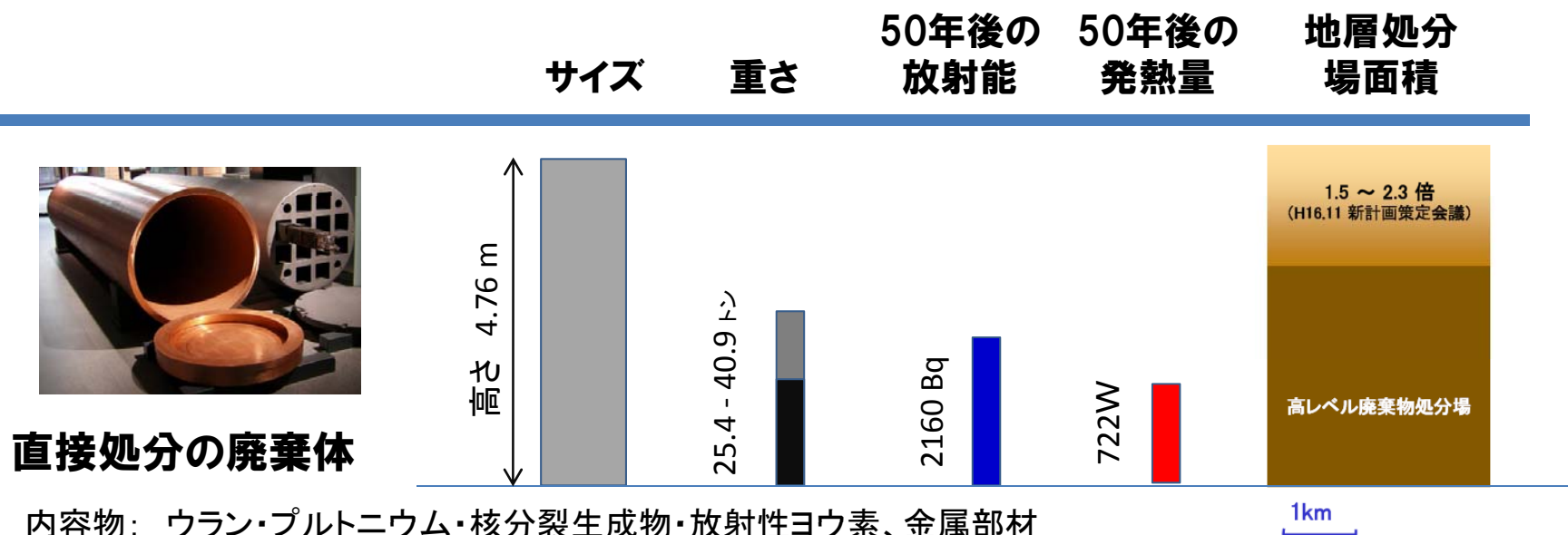
1. 7体の使用済ウラン燃料を、1体のMOX燃料にして、当面保管。

使用済燃料の毒性変化
(フランスのデータ)



廃棄体の比較（再処理と直接処分）

- 直接処分では「使用済燃料そのもの」が高放射性廃棄物となる。再処理リサイクル路線では、資源物質であるウランとプルトニウムは回収して使うので、「核分裂生成物だけが高放射性廃棄物」となる。

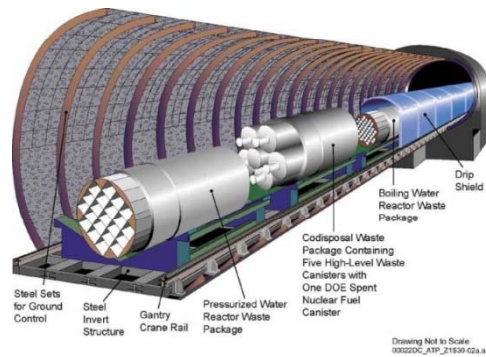


直接処分場概念

Yuccaマウンテン（米国）とGorleben（独）

- ◆ 米国・ドイツとも、直接処分事業は実施に至っていない。現在は、両国ともサイト内貯蔵で対処
- ◆ 両計画とも、廃止ないし中断状況にある。
- ◆ 直接処分の実施は、立地問題やサイト選定を含めて、決して楽ではない。

米国の直接処分場計画 Yucca Mountain, NEVADA, USA



ドイツの使用済燃料直接処分計画 Gorleben

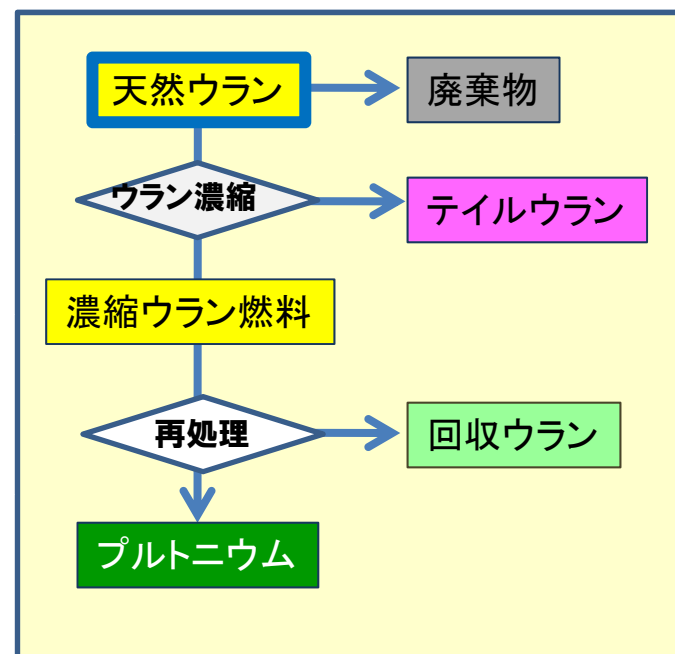
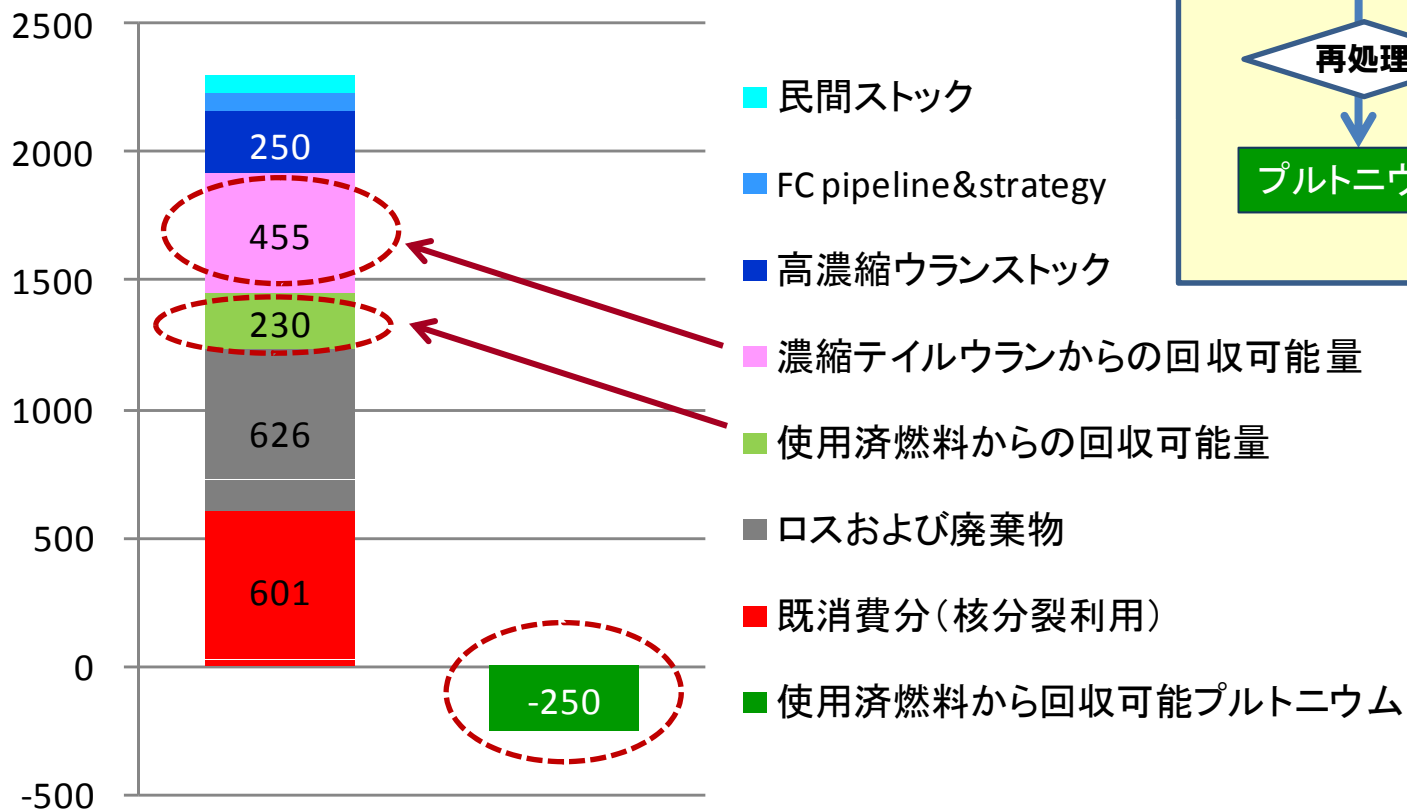


U-235換算で見る核分裂性物質二次資源の価値

U-235: 自然界にわずかに存在する貴重な核分裂性資源。どの程度有効利用されているか

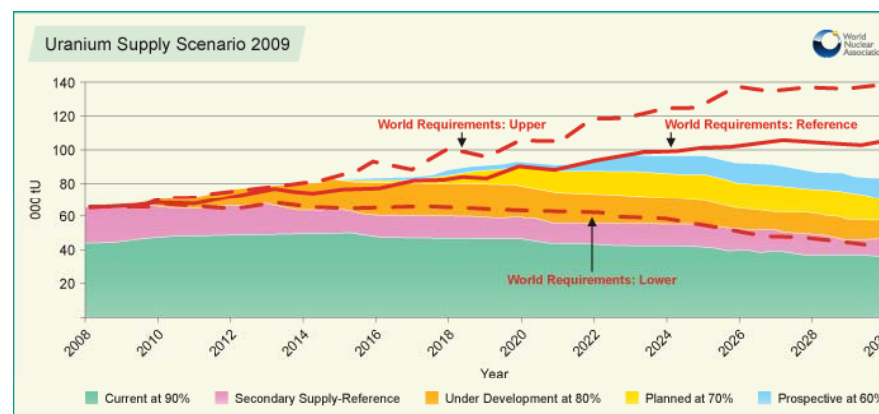
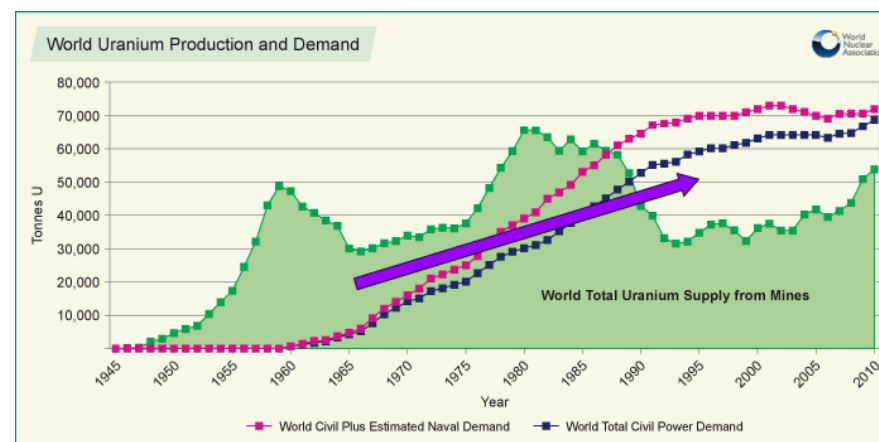
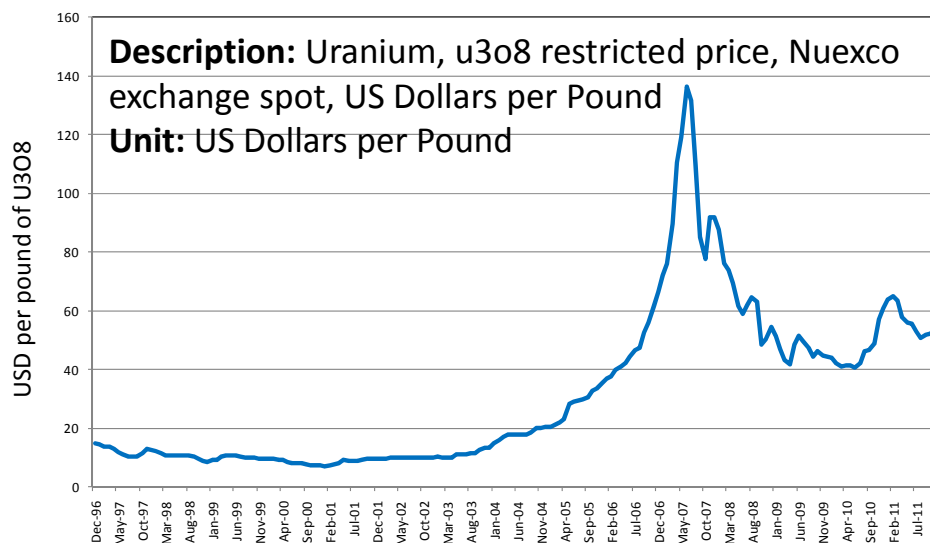
核分裂性資源二次ソースの価値を考える

2000年時点累積ウラン生産量(kt)
(U-235換算)



ウラン資源価格の変動（将来の価格に大きな不確定性）

福島事故以降も、世界の95%は原子力利用拡大の方向（米国や英国では市民意識も原子力肯定）
世界的な原子力拡大傾向は続く→世界的なウラン需要は拡大に向かう
我が国が、原子力利用を一定規模で継続するのであれば（審議中）、核燃料確保に関わる不確定な状況は続く。

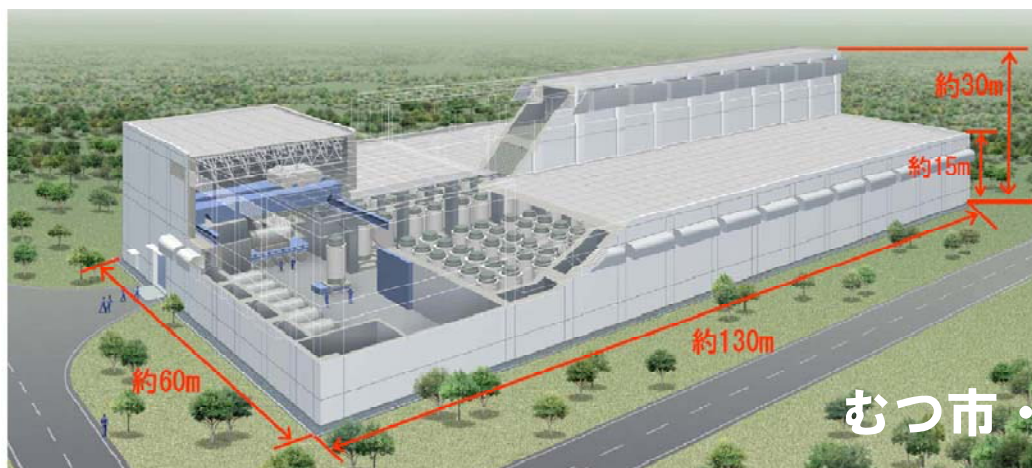


World Nuclear Associationより

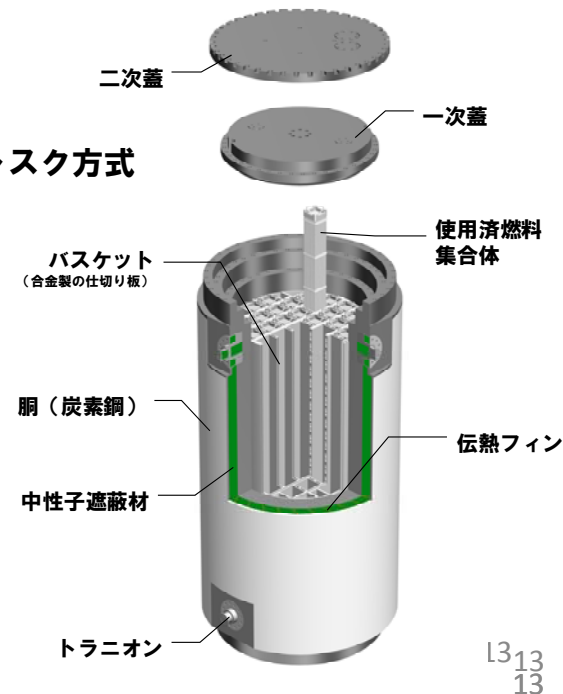
中間貯蔵施設（直接処分では数多くの貯蔵施設が必要）

年度	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	50年後
リサイクル 燃料備蓄 センター 〔事業許可 申請書等に 基づく計画〕	許可等	▽着工							▽搬出
			建設	▽操業開始		貯蔵			
原子力 安全 委員会	▽5/14 本会議 ▽5/20 輸送専門部会								
中部電力 使用済 燃料乾式 貯蔵施設 (事業者計画)	地質調査等		許可等			建設		▽運用開始	▽搬出
								貯蔵	

リサイクル燃料貯蔵株式会社（東電及び日本原電で共同設立）によるサイト外の金属キャスク乾式貯蔵（平成22年8月27日認可、8月31日着工）



金属キャスク方式

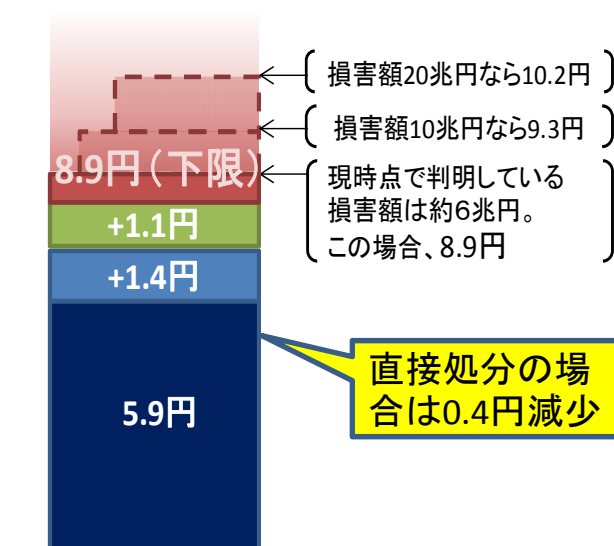
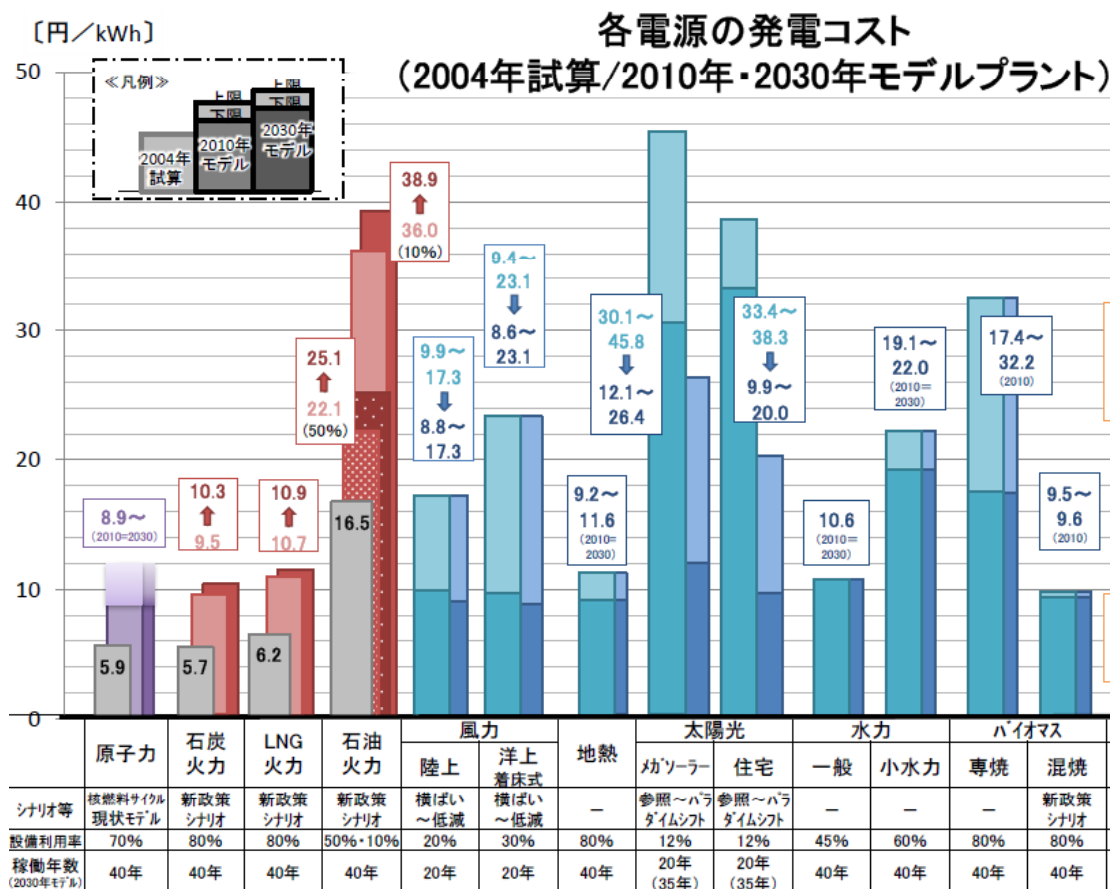


$^{13}_{13}\text{L}$

各電源のコスト比較(コスト等検討小委員会結論)

「減原子力＋火力＋再生可能エネルギー」
全体システムでの経済合理性を考える

原子力発電コスト

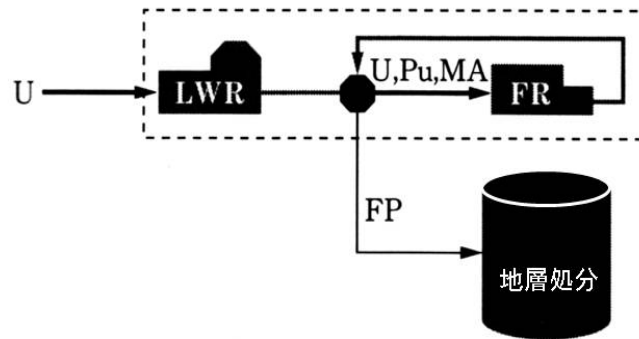


今回試算

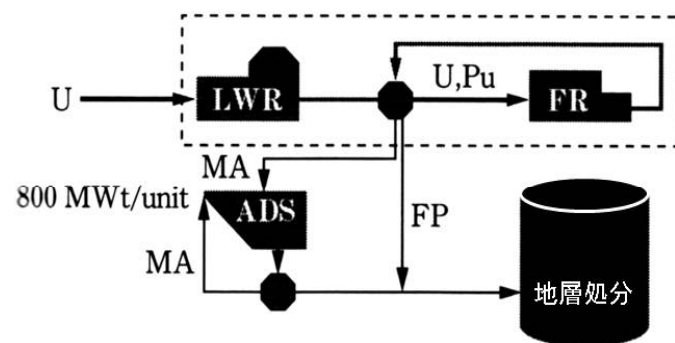
⌘数40年、設備利用率70%(実績ベース)、割引率3%

核種分離変換技術の開発（技術ポテンシャルは軽視しない）

2つの分離変換システム概念



(a) FBR への均質リサイクル



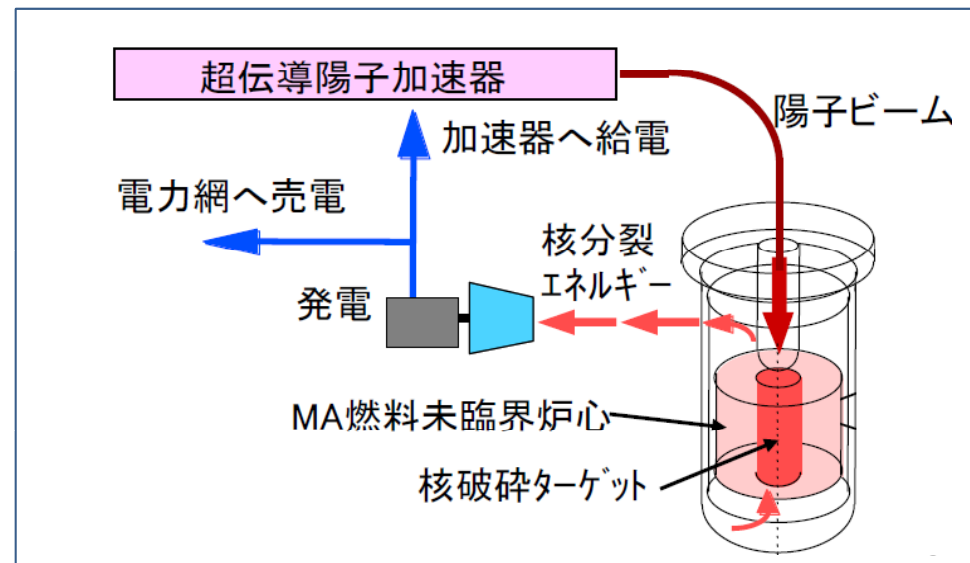
(b) ADS を用いた階層型核燃料サイクル

分離変換の意義:

- (1) 潜在的有害度の低減
- (2) 地層処分場に対する要求の軽減
- (3) 廃棄物処分体系の設計における自由度の増大

MAの分離変換と発熱性FPの分離技術により、種々の廃棄物処分方法の組み合わせで構成される「廃棄物処分体系」をより合理的なものとして設計する自由度が増大する可能性があるという観点が重要である。

加速駆動未臨界炉によるMA核変換システム概念



米国ブルーリボン委員会

BRCの結論の着目点は、「貯蔵＋処分」に対する首尾一貫した法制度と組織体制が必要であること。米国としてはサイクル路線選択の判断は今出来ないが、技術開発の継続が重要と指摘している事。

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。勧告された戦略には、以下の7つの重要な要素が含まれる。

- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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う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・実証とそれに関連した人的ニーズ及びスキル開発のための安定した長期的なサポート
- 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

内は原子力環境整備促進・資金管理センターHPより引用。一部内閣府で修正して掲載。

今後の議論の参考として（視点など）

1. 「感情的なサイクル忌避論」や「観念的なサイクル必要論」ではなく、冷静な分析と判断による「戦略的バックエンド計画」の再考が重要
2. コストだけでなく、資源保障、高レベル処分合理化、立地、対応の柔軟性、既存インフラとの整合や投資済施設の有効利用、等、多様な側面からの判断が重要
3. 先ずは、原子力発電展望を明白にする事が必要（将来的な原子力利用計画が定まらなないと、燃料物質のフローの想定が出来ない）
4. 将来の天然ウラン入手の不確定性（価格上昇等）に対する見解が必要。サイクル議論において、資源保障は重要な因子
5. 再処理・中間貯蔵の両者をバランスした視点が重要（路線の如何に関わらず、中間貯蔵施設の建設を急ぐべき）
6. 再処理路線においては、プルサーマルの規模と実施期間の、具体化が必要。再処理プルサーマルの後に続く展望の設定や想定が必要。
7. 使用済MOX燃料の処置の具体化（高速炉利用を想定する場合は、高速炉実用化の具体的計画が必要）が必要。修正オープンサイクル等の可能性も否定はしない。
8. 高速炉開発については、開発の柔軟性を重視しつつ、技術の継承と発展が重要。長寿命核種の変換処理は、高速炉の重要な意義の一つ
9. 使用済燃料の直接処分が、将来的に可能であるか具体的判断が必要（中間貯蔵施設、直接処分の受け入れ地選定、プルトニウム埋設の妥当性他）。現時点で判断できるのか？
10. 使用済燃料の長期貯蔵が、現実的に可能か具体的な判断が必要
11. 国際的な燃料サイクル動向（仏、ロシア、インド、中国、米国、韓国等）についての注視が必要

		LWRワンスルー	LWR-MOX限定リサイクル	LWR-MOXリサイクル	LWR-FR(アクチノイド燃焼)	FBR
選択肢	選択肢の概要	現在の経済性を重視した軽水炉ワンスルー、使用済燃料は全量を直接処分	軽水炉サイクルで発電使用済ウラン燃料を再処理し、プルサーマルで資源有効利用使用済MOX燃料は直接処分	軽水炉サイクルで発電使用済燃料を全量再処理し、プルサーマルで資源有効利用FBRサイクルを目指している日本の現状に相当	軽水炉サイクルでの発電が主体 プルトニウム、マイナーアクチノイドは高速炉(FR)サイクルで燃焼し、放射性廃棄物による環境負荷を低減	軽水炉サイクルを高速増殖炉(FBR)サイクルに移行していく軽水炉サイクルでのプルサーマルに加え高速増殖炉で大幅な資源有効利用を図るとともに、マイナーアクチノイドのリサイクルで環境負荷を低減する
	選択肢の特徴	使用済燃料の資源価値を放棄し、ウラン・プルトニウムを含めて全てを地層処分する、地層処分実施までに比較的長期の貯蔵を行う、安価な天然ウランの入手に依存する軽水炉路線。プルトニウムとウランを廃棄物として全量処分するのが特徴。他選択肢への変更が難しく、路線として限定的。	UOX燃料8体を処理してMOX燃料1体として利用し、使用済MOXは長期的に貯蔵して処分、UOX使用済燃料量は減り、ガラス固化体として処分するが、発熱量の高い使用済MOX少量を長期保管した後に地層処分。プルトニウム利用性としてはかなり限定されるが、プルトニウムの半分近くを消費する事が出来る。地層処分するのは、核分裂生成物と、少量のウランとプルトニウム。	UOX燃料8体を処理してMOX燃料1体として利用するが、使用済MOXをUOX使用済燃料と共に再処理して、リサイクルするには、プルトニウム同位体組成が劣化にシフトし、二三回リサイクル程度までが限度か？地層処分するのは核分裂生成物のみ。	長半減期毒性核種を積極的に燃焼消滅させてしまおうという路線。マイナーアクチノイドや、プルトニウムの積極的な核分裂を促進するので、長期的な潜在毒性の蓄積を最小化する。再処理や分離、高速中性子炉での核分裂の技術が必要。燃焼専用炉を設ける路線もありえる。欧州が開発。二階層概念が有効。地層処分するのは核分裂生成物のみ。	天然ウランの将来的な入手不可リスクに備えるとともに、長半減期核種(マイナーアクチノイド)の燃焼を図る。高速中性子利用であるので、プルトニウムの同位体性組成の劣化が限定され、リサイクルの有限性がない。ウラン枯渇の際には燃料増殖が可能であり、ウラン入手リスクの程度に応じた対応を可能とする。地層処分するのは核分裂生成物のみ。
物質管理の考え方	プルトニウム	地層処分	半分程度地層処分	サイクルで再利用し保持	サイクルで燃焼して消費or維持	サイクルで利用して維持or増殖
	ウラン	地層処分	1/8程度地層処分(他は再濃縮)	サイクルで再利用(再濃縮)	サイクルで再利用(再濃縮)	サイクルで再利用(再濃縮)
	マイナーアクチノイド	地層処分	全量地層処分	地層処分	サイクルで燃焼して消費	サイクルで燃焼して消費
	核分裂生成物	地層処分	地層処分	地層処分	地層処分	地層処分
	放射化燃料部材	地層処分	地層処分	地層処分	地層処分	地層処分
安全性	安全の確保	LWR、使用済燃料長期管理施設、地層処分場のさらなる安全性向上が課題	LWR、使用済燃料長期管理施設、地層処分場の安全性に加え、MOX燃料加工、再処理工場などの安全確保が課題	LWR-MOX限定リサイクルと同様	LWR-MOX限定リサイクルで求められる安全性に加え、高速炉利用に伴う安全確保が課題、将来の高速炉燃料用再処理等の安全確保も加わる	LWR-MOX限定リサイクルで求められる安全性に加え、高速増殖炉利用に伴う安全確保が課題将来の高速増殖炉燃料用再処理等の安全確保も加わる
	ライフサイクルでの被ばくリスク	ウラン消費量が最大となるため、フロントエンド(採鉱など)に関わる被ばくリスクが最大となるが、バックエンドの被ばく量は最小となる(UNSCEAR2008年報告書(2010年7月公表)によれば、発電を目的とした原子力利用による被ばく量で支配的であるのは特に鉱山においてである、と評価されている。【全てのケースで同様】)→燃料の貯蔵はパッシブなので作業員の被ばくはないが、施設全体の事故リスクは考慮すべき。	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。→オペレーターの被ばくは多少は増えるが管理範囲以下。また、施設周辺の被ばくリスクは管理範囲以下に抑える。むしろ、事故リスクの低減度と社会的な受容が問題。	LWR-MOX限定リサイクルと同様→オペレーターの被ばくは多少は増えるが管理範囲以下。また、施設周辺の被ばくリスクは管理範囲以下に抑える。むしろ、事故リスクの低減度と社会的な受容が問題。	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→オペレーターの被ばくは多少は増えるが管理範囲以下。また、施設周辺の被ばくリスクは管理範囲以下に抑える。むしろ、事故リスクの低減度と社会的な受容が問題。	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→オペレーターの被ばくは多少は増えるが管理範囲以下。また、施設周辺の被ばくリスクは管理範囲以下に抑える。むしろ、事故リスクの低減度と社会的な受容が問題。
経済性	経済性	8.6円/kWh以上	8.6+a円/kWh以上	8.9円/kWh以上	将来のLWRサイクルと同等以下が目標だが、現在は不透明	将来のLWRサイクルと同等以下が目標だが、現在は不透明
資源有効利用	資源利用効率	ウランを一次的に利用するのみで、ウラン利用効率は0.5%程度	プルサーマルにより、軽水炉ワンスルーで使うウランよりも10～20%程度節約できる	LWR-MOX限定リサイクルと同様	高速炉の導入量に応じて、ウラン資源の節約効果がある	ウラン利用効率は60%以上
	資源量	現在のウランの確認資源量は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(OECD/NEA, IAEA)	資源節約効果はLWRワンスルーより10～20%増加	LWR-MOX限定リサイクルと同様	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	現在のウランの確認資源量が数千年のオーダーの可採年数相当に増加

核不拡散・セキュリティ	不拡散	計量管理が出来ないので、物質 量管理による保障措置は出来 ない。将来のプルトニウム転用の リスクがある。核拡散リスクは最小 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	ワンススルーよりも転用可能性の 機会は増えるが、保障措置等 の制度的手法や、内在的な転用 抵抗性を利用する事で、転用は 十分に防止出来る。	LWR-MOX限定リサイクルと同 様	ワンススルーよりも転用可能性の 機会は増えるが、保障措置等 の制度的手法や、内在的な転用 抵抗性を利用する事で、転用は 十分に防止出来る。	ワンススルーよりも転用可能性の 機会は増えるが、保障措置等 の制度的手法や、内在的な転用 抵抗性を利用する事で、転用は十 分に防止出来る。ブランケット燃料 に対する保障措置や固有抵抗性 の強化が求められる。
	テロ対策	INFCIRC/225/Rev.5が発行され るなど、国際的に核セキュリティ 強化の傾向である。国際基準と も整合する高い水準の核セキュ リティを達成・維持することが必 要軽水炉使用済燃料は時間とと もに核テロの対象となりうるリ スクが高まる	核セキュリティ強化の傾向につ いては軽水炉ワンススルーと比べ て高く、更なる防護対策が必要 プルトニウム使用量や輸送の増加 により、厳重なセキュリティ対策を 取る必要がある高次化したプルト ニウムはテロリストにとっての魅 力度が低下する	LWR-MOX限定リサイクルと同 様	軽水炉使用済燃料の蓄積は減少 するが、核セキュリティ強化の傾 向については軽水炉ワンスス ルーと比べて高く、更なる防護対 策が必要。プルトニウム使用量や 輸送の更なる増加により、厳重な セキュリティ対策を取ることが必 要	軽水炉使用済燃料の蓄積は減少 するが、核セキュリティ強化の傾 向に加え、プルトニウム使用量、 輸送とも最大となり、リスクも高 くなる。国際基準とも整合する高 い水準の核セキュリティを達成・維持 することが必要
廃棄物	高レベル放射性廃棄物の潜 在的有害度(毒性)	使用済燃料の1000年後における 潜在的な有害度はLWR-MOXリ サイクルの場合の約8倍となる	LWRワンススルーに比べて、ガラ ス固化体の1000年後における潜 在的有害度を約1/8に低減できる 可能性があるただし、直接処分 する使用済MOX燃料の有害度が 別途増加する	LWRワンススルーに比べて、 ガラス固化体の1000年後にお ける潜在的有害度を約1/8に 低減できる可能性がある	LWR-MOXリサイクルの場合に比 べて1000年後の高レベル放射性 廃棄物の潜在的有害度を約1/30 に低減できる可能性がある	LWR-MOXリサイクルの場合に比 べて1000年後の高レベル放射性 廃棄物の潜在的有害度を約1/30 に低減できる可能性がある
	廃棄物発生量	高レベル放射性廃棄物の容積 はガラス固化体よりかなり大き くなるが、低レベル廃棄物の物 量は最小となる	高レベル放射性廃棄物の発生量 を低減できる低レベル放射性廃 棄物の発生量はLWRワンスス ルーの場合より増加する	LWR-MOX限定リサイクルと同 様	廃棄物の分離核変換を行うこと で、高レベル廃棄物の物量と処分 面積を低減出来る可能性がある 一方、低レベル廃棄物の物量は 直接処分の場合より増加する	アクチノイドをFBRサイクルで燃焼 することで、高レベル廃棄物の物 量を低減出来る可能性がある一 方、低レベル廃棄物の物量は直 接処分の場合より増加する
	高レベル放射性廃棄物の処 分面積	ガラス固化体を埋設する場合に 比べて広い面積が必要となる	高レベル放射性廃棄物の発生量 は再処理した場合、直接処分 で必要な面積の1/2～1/3程度に抑 制される使用済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 倍程度となる別途ガラス固化体・ TRU廃棄物の処分場も必要とな る	高レベル放射性廃棄物の発 生量は再処理した場合、直接 処分で必要な面積の1/2～ 1/3程度に抑制されるガラス固 化体・TRU廃棄物の処分場が 必要となる	最終処分場は必要となるものの、 アクチノイドを燃焼するなど分離 核変換技術の積極的な採用によ り、高レベル放射性廃棄物の処 分面積を大幅に低減できる可 能性がある	最終処分場は必要となるものの、 アクチノイドを燃焼するなど分離 核変換技術の積極的な採用によ り、高レベル放射性廃棄物の処 分面積を大幅に低減できる可 能性がある
	高レベル放射性廃棄物の被 ばくリスク	人口バリア及び天然バリアによ り安全に処分される使用済燃料 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	人口バリア及び天然バリアによ り安全に処分される使用済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廃棄物に ついては、使用済MOX燃料よりリ スクは小さい	人口バリア及び天然バリアに より安全に処分される原子核 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	LWR-MOXリサイクルと同様	LWR-MOXリサイクル