



核燃料サイクル諸量の分析について(改訂版)

平成16年9月24日



前回からの主要な修正点

- シナリオ(1)-a 全量再処理(プルサーマル継続)における使用済MOX燃料貯蔵の取扱の変更
 - 旧) 全て中間貯蔵
 - 新) 再処理し軽水炉で使用
- 低レベル放射性廃棄物にかかる分析の一部追加
- 高レベル放射性廃棄物にかかる分析の追加
- その他一部計算条件の微修正等



諸量評価のまとめ(～2050年)

- 2050年までについて比較する場合は、**現行再処理事業の取扱を比較することとなる。**
(シナリオ と 、シナリオ と はほぼ同様となる。)
- 「エネルギーセキュリティ」「環境適合性」の観点で評価する項目：
 - 再処理事業を予定通り行う場合は行わない場合に比べて天然ウランの累積需要量が1～2割小さい。
- 「社会的受容性」の観点で評価する項目：
 - 中間貯蔵施設の必要数は、1施設当たりの容量を5,000トンと仮定すると、再処理事業を行う場合で3～6、行わない場合で9～12となる。



諸量評価のまとめ(～2150年)

- 「環境適合性」の観点で評価する項目：
 - 高レベル放射性廃棄物処分については、処分される核種の重量、処分体の体積、処分に要する面積、処分場総掘削量のいずれで比較しても再処理を行う場合の方が他のシナリオよりも小さい。
 - 低レベル放射性廃棄物処分については、処分体の体積、処分に要する面積のいずれで比較しても、再処理を行う場合の方がサイクル施設から発生する廃棄物の分だけ大きい。
 - 再処理を行う場合、U、Pu等の高レベル放射性廃棄物への移行量が小さいため、高レベル放射性廃棄物の放射能による潜在的影響度は小さくなる。1000年後について比較すると、直接処分する場合に比べて軽水炉サイクルの場合約1/8、将来の高速増殖炉サイクル(MAリサイクルの効果を含む)の場合さらにその約1/30となる。
- 「エネルギーセキュリティ」、「環境適合性」の観点で評価する項目：
 - 累積ウラン需要量は、(1)-a 全量再処理(プルサーマル継続)の場合、(3)全量直接処分に比べて1-2割少ない。FBRを導入する場合は需要量は飽和し、その後は天然ウラン調達の必要がなくなる。
- その他
 - 中間貯蔵施設の必要数は、シナリオ(1)全量再処理では3～6、シナリオ(2)部分再処理及びシナリオ(3)全量直接処分では10～12となる。シナリオ(4)当面貯蔵の場合は多数の中間貯蔵施設を必要とし、特に(4)-c当面貯蔵後貯蔵延長の場合は定期的に中間貯蔵施設を増設していくことが必要となる。
 - 直接処分を行う場合は、2150年時点で800～900トン強のプルトニウムが地層処分される。



分析の内容

策定会議で提示された4つのシナリオに関して、使用済燃料の貯蔵量、処分量、廃棄物発生量等の核燃料サイクル諸量を以下の2通りの期間について定量的に分析する。

4つの基本シナリオ:

- (1) 全量再処理
- (2) 部分再処理
- (3) 全量直接処分
- (4) 当面貯蔵

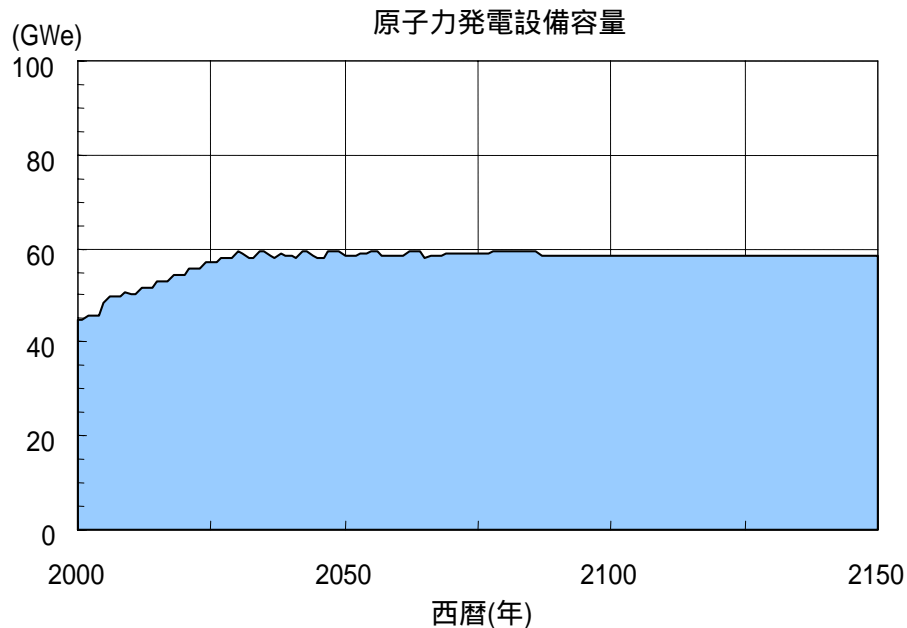
2050年まで: 当面のシナリオを検討するために現在の軽水炉再処理施設の稼働期間を分析する。

2150年まで: リサイクルするシナリオを含めて検討するために軽水炉からFBRへの移行の影響が現れる時期まで分析する。

本分析は、4つの基本シナリオの核燃料サイクル諸量を比較するために、「核燃料サイクル政策の評価のための基本シナリオについて」(第5回資料第1号)を基に、諸量分析のための仮定を追加して実施したものであり、将来の予測を意図したものではない。

分析の前提条件

将来の原子力発電設備容量は、2030年まで58GWeまで伸び、その後は一定で推移するものと仮定した。¹



「2030年のエネルギー需給展望(中間取りまとめ)」(案)²のレファレンスケースを基に想定したが、この需給展望ではレファレンスケース以外に幅を持っているため、この試算結果すべては、幅を持って見るべきである。その他の詳細な前提条件は(参考)に示す。

1 リプレースにともなって新設される炉は一基あたり150kWWeに規格化していることから、合計は第一期の更新を終える2090年まで幾分変動する。

2 「2030年のエネルギー需給の展望」(案)(平成16年6月総合資源エネルギー調査会需給部会上にて公表)は、パブリックコメント中であり、同部会としての最終的な数値ではない。

各基本シナリオの分析ケース

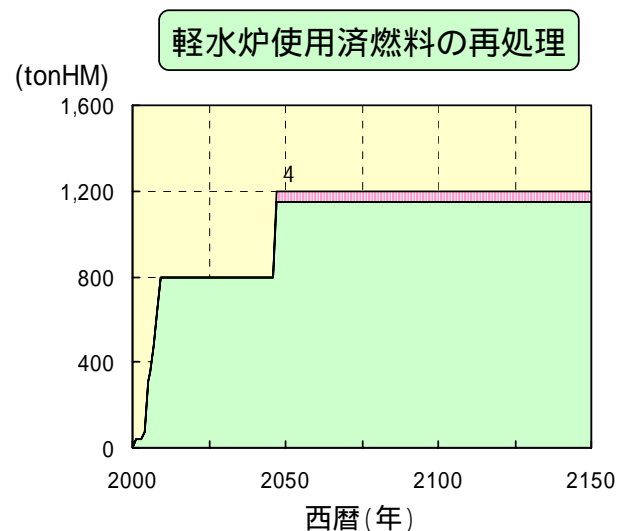
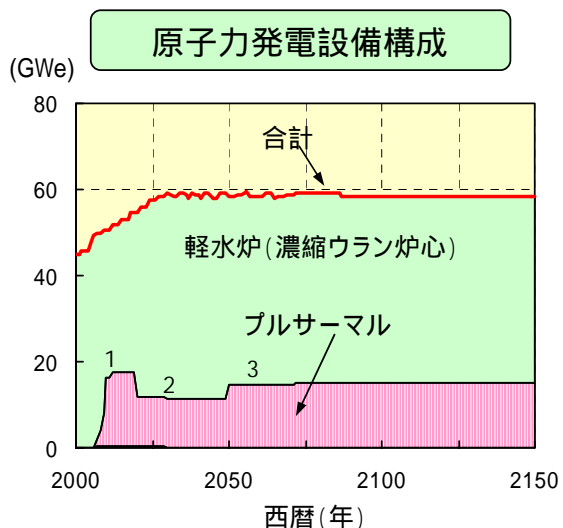
(1) 全量再処理	全ての使用済燃料を再処理する。
(1)-a プルサーマル継続	軽水炉プルサーマルを継続する。
(1)-b 高速増殖炉(FBR)移行	2050年以降、軽水炉のリプレイスによりFBRを導入する。ここで導入するFBRサイクルにおいては、マイナーアクチニド(MA:Np,Am,Cm)もリサイクルすることを想定する。
(2) 部分再処理	現在の再処理施設の処理能力超過分及び同施設閉鎖後(2047年以降)の使用済燃料は、中間貯蔵後に直接処分する。
(3) 全量直接処分	国内再処理を凍結し、全ての使用済燃料は直接処分する。
(4) 当面貯蔵	2050年までに発生する使用済燃料は中間貯蔵する。その後、以下のいずれかを選択する。
(4)-a 当面貯蔵後直接処分	2050年以降、全ての使用済燃料を直接処分する。(基本的には(3)に類似)
(4)-b 当面貯蔵後FBR移行	2050年以降、全ての使用済燃料を再処理する。軽水炉のリプレイスによりFBRを導入する。導入するFBRサイクルについては(1)-bに同じ。
(4)-c 当面貯蔵後貯蔵延長	全ての使用済燃料について、2050年以降も中間貯蔵を継続する。(基本的には(3)に類似)

下線は主に分析を行うシナリオである。

シナリオ (1) -a 全量再処理(プルサーマル継続)

2150年までの原子力発電設備構成と再処理計画

全ての使用済燃料を再処理する。2150年まで軽水炉プルサーマルを利用する。使用済軽水炉MOX燃料は、使用済軽水炉ウラン燃料との混合再処理によりプルサーマル多重リサイクルを実施。

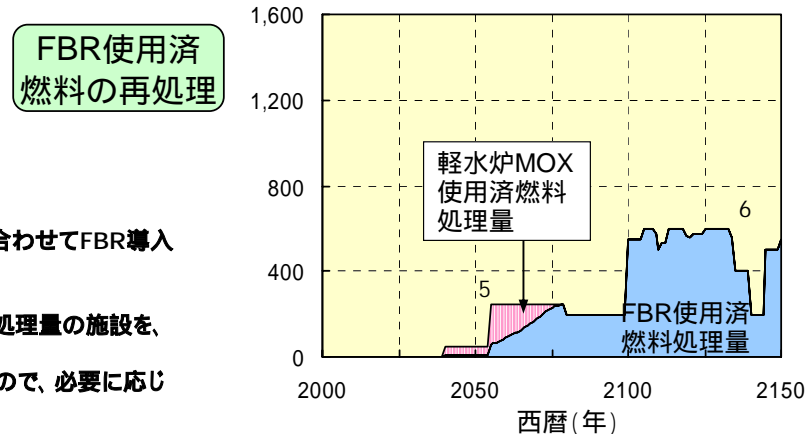
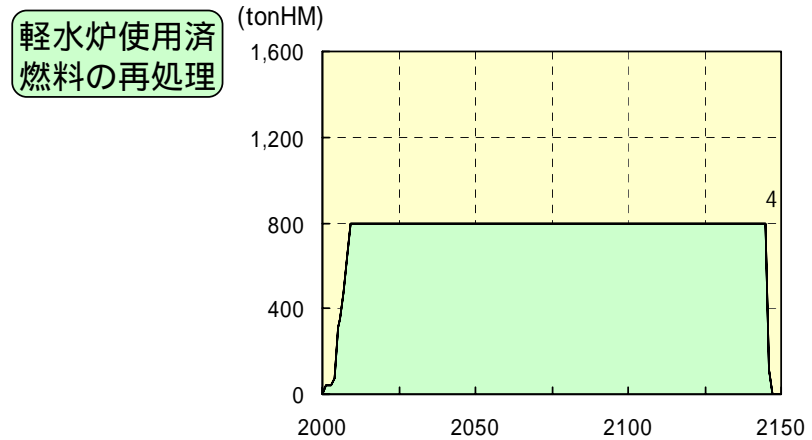
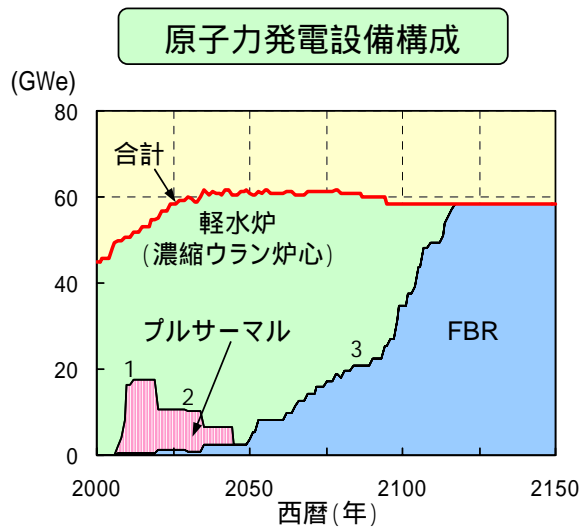


- 1) 海外加工MOX燃料+国内加工MOX燃料使用
- 2) 以後国内加工MOX燃料のみ
- 3) 再処理量に合わせてプルサーマルを実施
- 4) 使用済燃料貯蔵量を踏まえて処理能力増、ウラン燃料とMOX燃料の混合再処理

シナリオ(1)-b 全量再処理(FBR移行)

2150年までの原子力発電設備構成と再処理計画

全ての使用済燃料を再処理する。2050年以降、軽水炉のリプレイスによりFBRを本格的に導入する。使用済軽水炉MOX燃料については再処理し、回収プルトニウムはFBRで利用する。



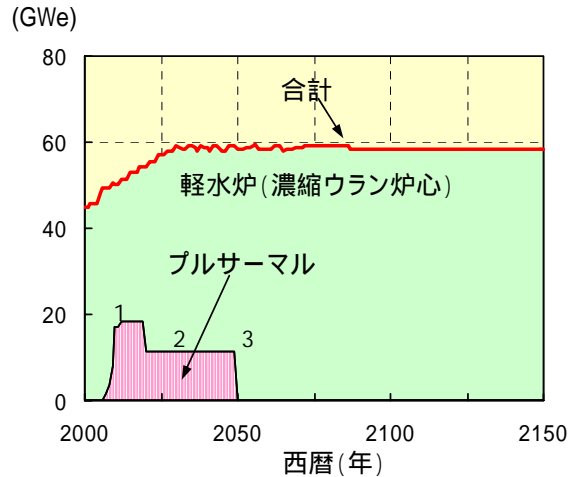
- 1) 海外加工MOX燃料 + 国内加工MOX燃料使用
- 2) 以後国内加工MOX燃料のみ
- 3) 軽水炉のリプレイスのタイミング及びプルトニウムの供給量に合わせてFBR導入し、導入期と導入後で適宜増殖率を設定する
- 4) 貯蔵された軽水炉使用済燃料が無くなるまで処理
- 5) FBR使用済燃料の再処理は、50トン/年または200トン/年の処理量の施設を、プルトニウムの需給動向を踏まえて導入
- 6) 必ずしも年間使用済燃料発生量と年間処理能力は一致しないので、必要に応じて再処理施設の設置時期等を調整する。

シナリオ(2) 部分再処理

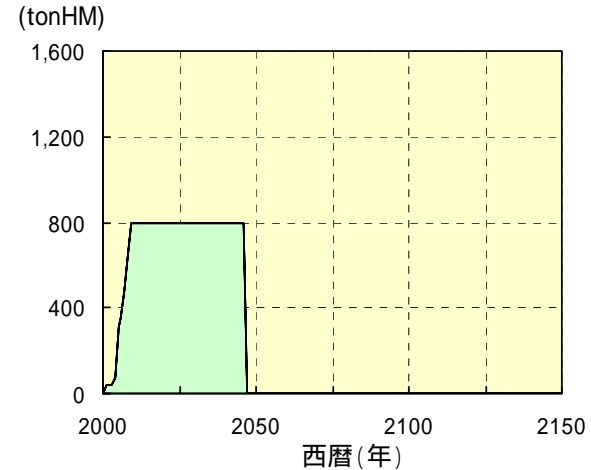
2150年までの原子力発電設備構成と再処理計画

現在の再処理施設の処理能力(800t/年)超過分及び同施設閉鎖後(2047年以降)の使用済燃料は、中間貯蔵後に直接処分する。使用済MOX燃料も直接処分する。

原子力発電設備構成



軽水炉使用済燃料の再処理



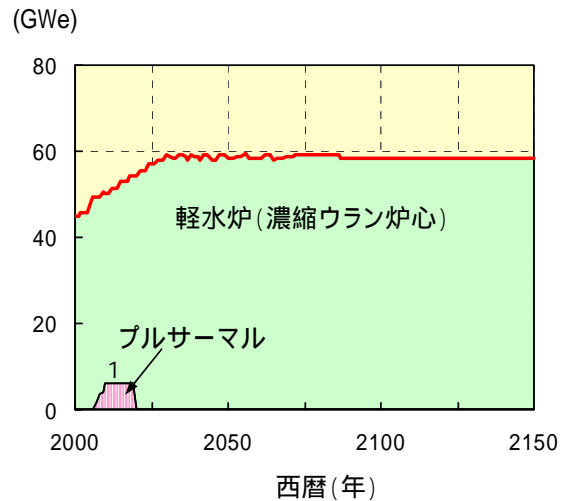
- 1) 海外加工MOX燃料 + 国内加工MOX燃料使用
- 2) 以後国内加工MOX燃料のみ
- 3) 再処理からの供給終了にあわせて終了

シナリオ (3) 全量直接処分

2150年までの原子力発電設備構成と再処理計画

国内再処理を凍結し、全ての使用済燃料は直接処分する。

原子力発電設備構成



1) 海外加工MOX燃料使用

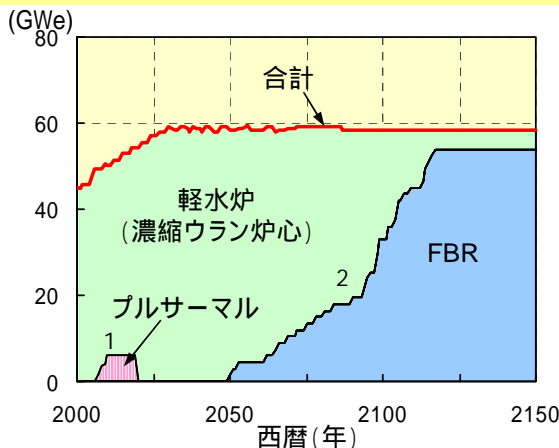
シナリオ(4) 当面貯蔵

2150年までの原子力発電設備構成と再処理計画

2050年までに発生する使用済燃料は中間貯蔵する。その後については(4)-a 直接処分、(4)-b 再処理(FBR移行)、(4)-c 貯蔵延長を選択する。

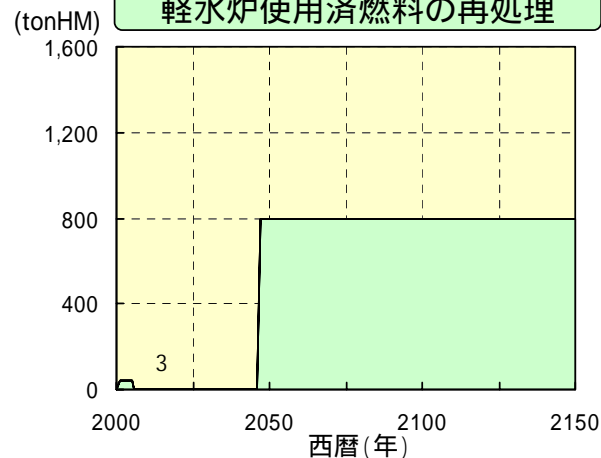
(4)-a は、全量直接処分(3)と類似のシナリオとなる。諸量もほぼ同じ傾向を示す。
 (4)-b については、2050年時点からFBRを導入することを想定する(そのための技術維持方策が必要となる)。このシナリオの設備構成、再処理量を示した。
 (4)-c については、使用済燃料の貯蔵量を分析する。

原子力発電
設備構成

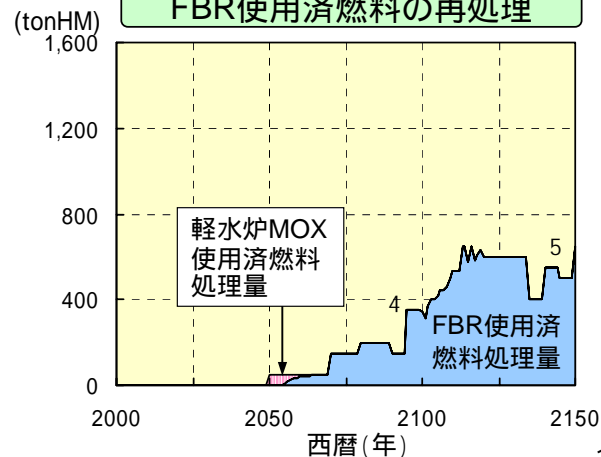


- 1) 海外加工MOX燃料使用
- 2) 軽水炉のリプレースのタイミング及びプルトニウムの供給量に合わせてFBR導入し、導入期と導入後で適宜増殖率を設定する
- 3) 東海再処理工場
- 4) FBR使用済燃料の再処理は、50トン/年または200トン/年の処理量の施設を、プルトニウムの需給動向を踏まえて導入
- 5) 必ずしも年間使用済燃料発生量と年間処理能力は一致しないので、必要に応じて再処理施設の設置時期等を調整する。

軽水炉使用済燃料の再処理



FBR使用済燃料の再処理

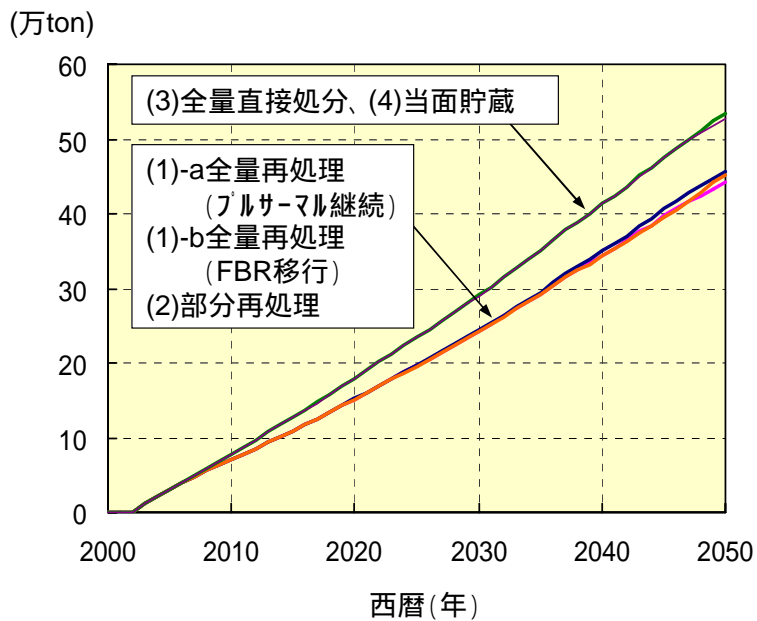




2050年までの分析

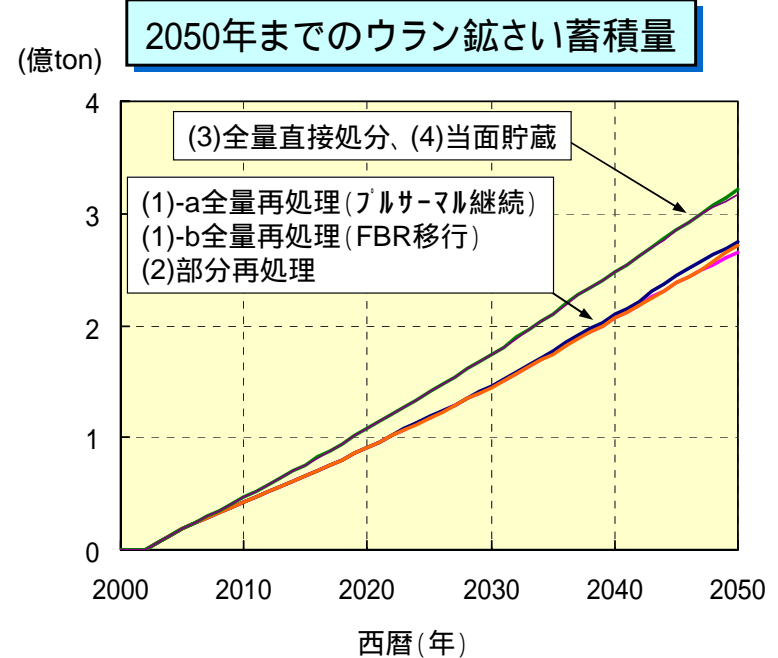
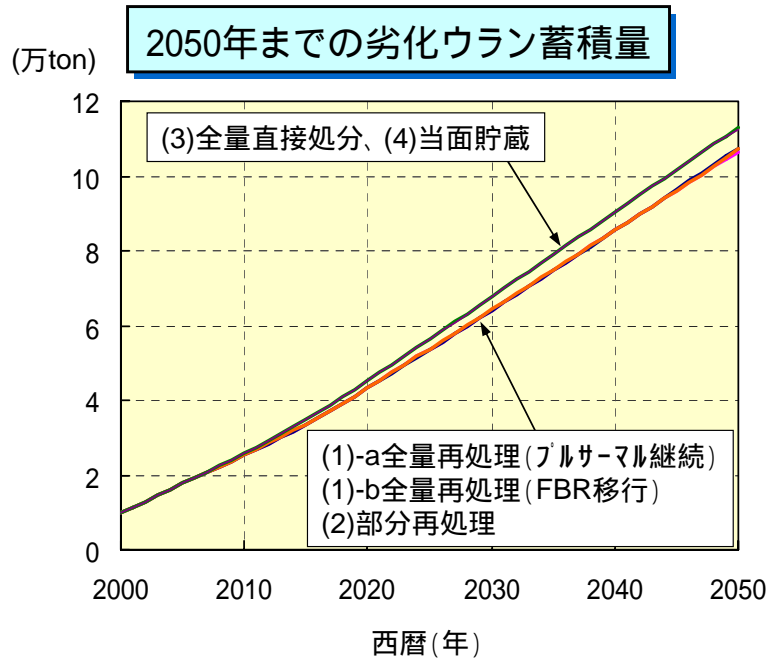
2050年までの天然ウラン累積需要量

再処理する場合(シナリオ(1)、(2))は、再処理しない場合(シナリオ(3)、(4))
に比べ、天然ウランの需要量が1-2割小さい。



2050年までの劣化ウラン蓄積量、ウラン鉱さい蓄積量

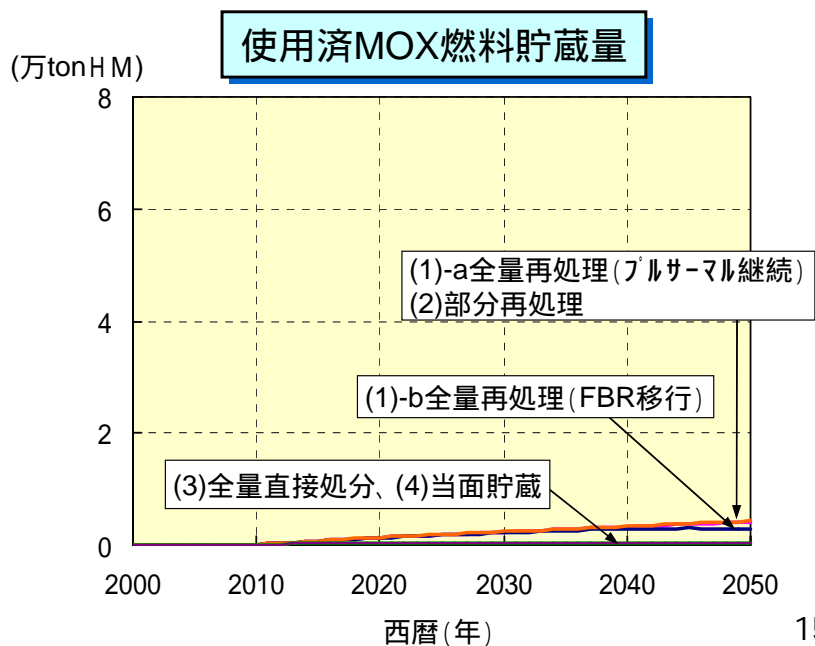
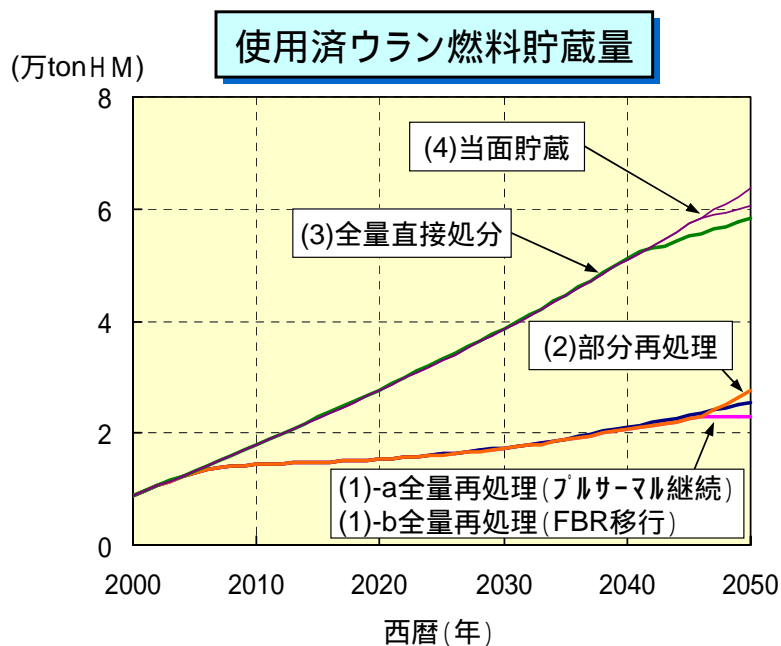
再処理する場合(シナリオ(1)、(2))は、再処理しない場合(シナリオ(3)、(4))に比べ、劣化ウランの発生量が5%程度小さい。また、国内の問題ではないが、ウラン鉱さいの発生量も1-2割小さい。



2050年までの使用済燃料貯蔵量

全量直接処分(シナリオ(3))と当面貯蔵(シナリオ(4))、すなわちこれから再処理を止めると決める場合は、仮に中間貯蔵施設の容量を5,000トンとすると、約5年ごとに1箇所中間貯蔵施設が必要となる(2050年で9~12箇所必要となる)。

全量再処理(シナリオ(1))及び部分再処理(シナリオ(2))では、使用済燃料貯蔵量は(3)、(4)よりも少なく、3~6箇所程度(MOX燃料含む)の中間貯蔵施設により2050年まで対応が可能である。





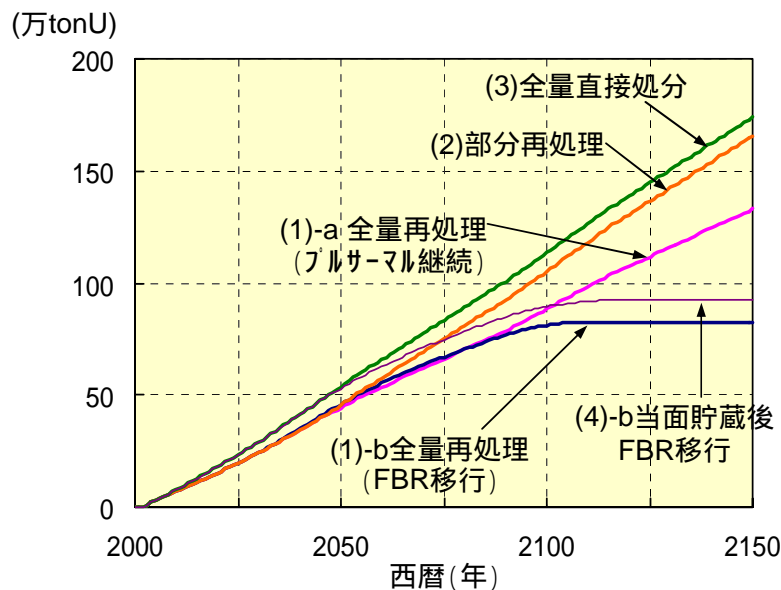
2150年までの分析

2150年までの天然ウラン累積需要量

FBRに移行する場合(シナリオ(1)-b, (4)-b)は、天然ウランの累積需要量は飽和し、その後は海外から調達しなくてよくなる。

全量直接処分(シナリオ(3))、部分再処理(シナリオ(2))では、累積需要量は直線的に増加し続ける。

全量再処理(プルサーマル継続)(シナリオ(1)-a)においても累積需要量は直線的に増加するが、(2)(3)より1~2割少ない。

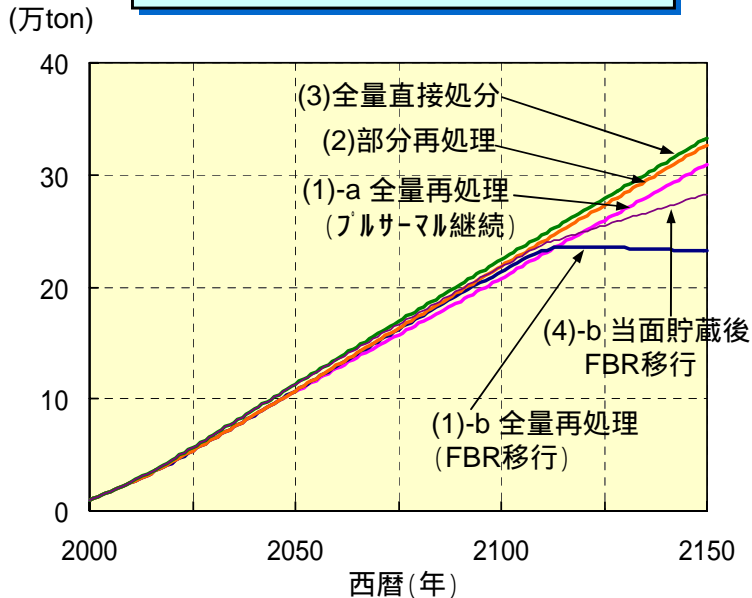


2150年までの劣化ウラン蓄積量とウラン鉱さい蓄積量

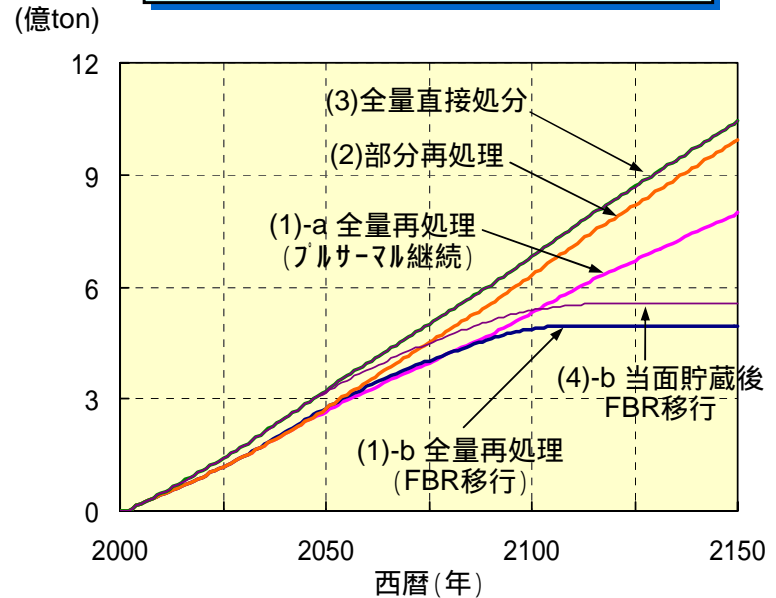
全量再処理 (FBR移行) (シナリオ (1) -b) では、22世紀に入ると劣化ウラン、ウラン鉱さいを発生させずにすむことになる。

部分再処理 (シナリオ (2))、全量直接処分 (シナリオ (3)) は、劣化ウラン、ウラン鉱さいの発生量は増加し続ける。

2150年までの劣化ウラン蓄積量



2150年までのウラン鉱さい蓄積量



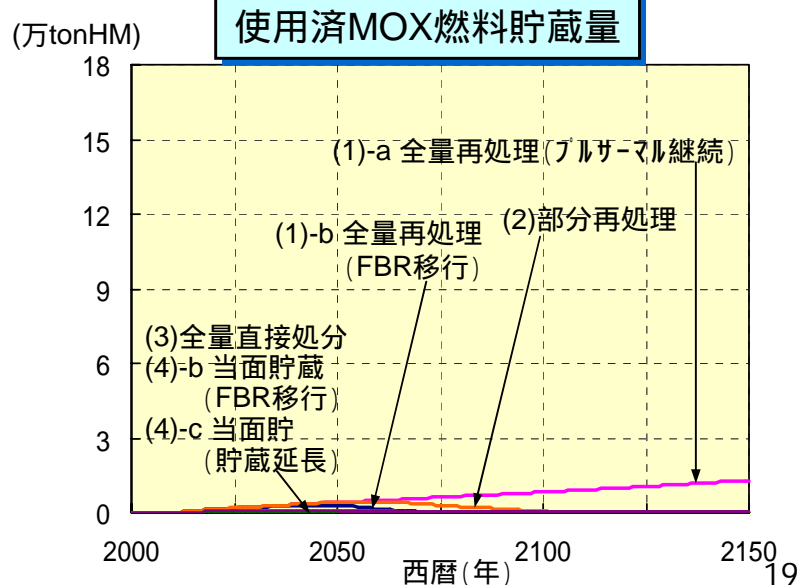
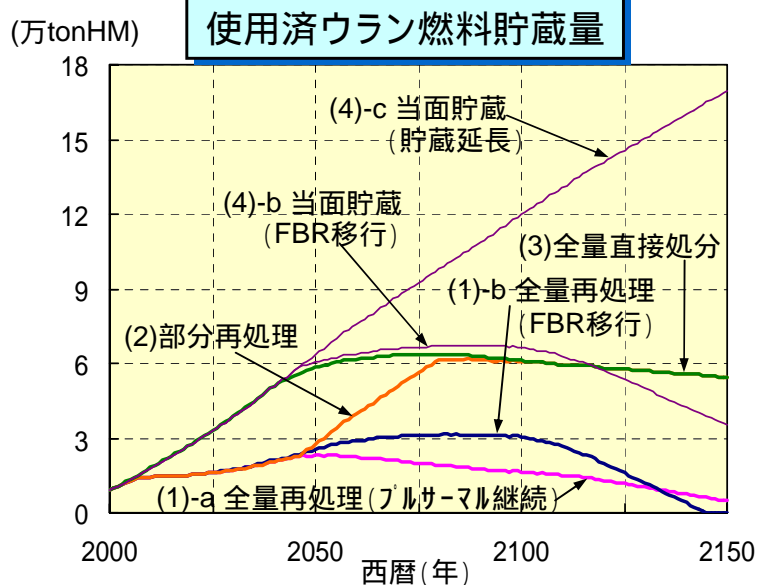
2150年までの使用済燃料貯蔵量

仮に中間貯蔵施設の容量を5,000トンと仮定すると、

- ・ 当面貯蔵後貯蔵延長(シナリオ(4)-c)では、定期的(約5年に1箇所)に中間貯蔵施設を増設していくことが必要となる。

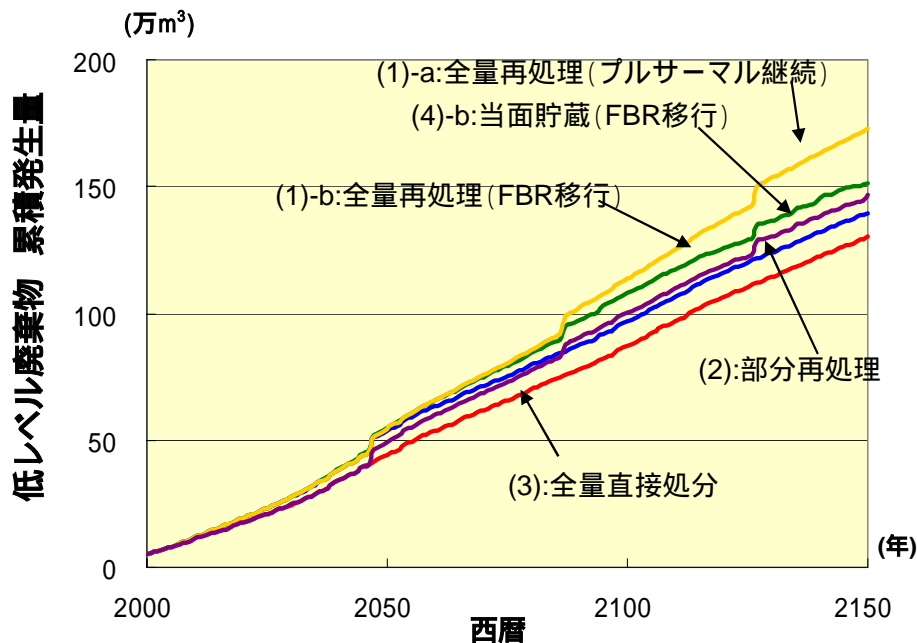
それ以外では、貯蔵量はある量以上には上昇しないが、貯蔵量の多い時点で

- ・ 全量再処理(シナリオ(1))では、3~6箇所の中間貯蔵施設が必要となる。
- ・ 部分再処理(シナリオ(2))、全量直接処分(シナリオ(3))では、10~12箇所の中間貯蔵施設が必要となる。
- ・ 当面貯蔵後FBR移行(シナリオ(4)-b)では、11~13箇所の中間貯蔵施設が必要となる。



低レベル放射性廃棄物の累積発生量(体積)

低レベル廃棄物の体積は、再処理する場合の方が、サイクル施設から発生する廃棄物の分だけ多いが、総量としては発電所からの廃棄物が支配的である。



低レベル放射性廃棄物(TRU地層処分、余裕深度処分、浅地中処分)の合計

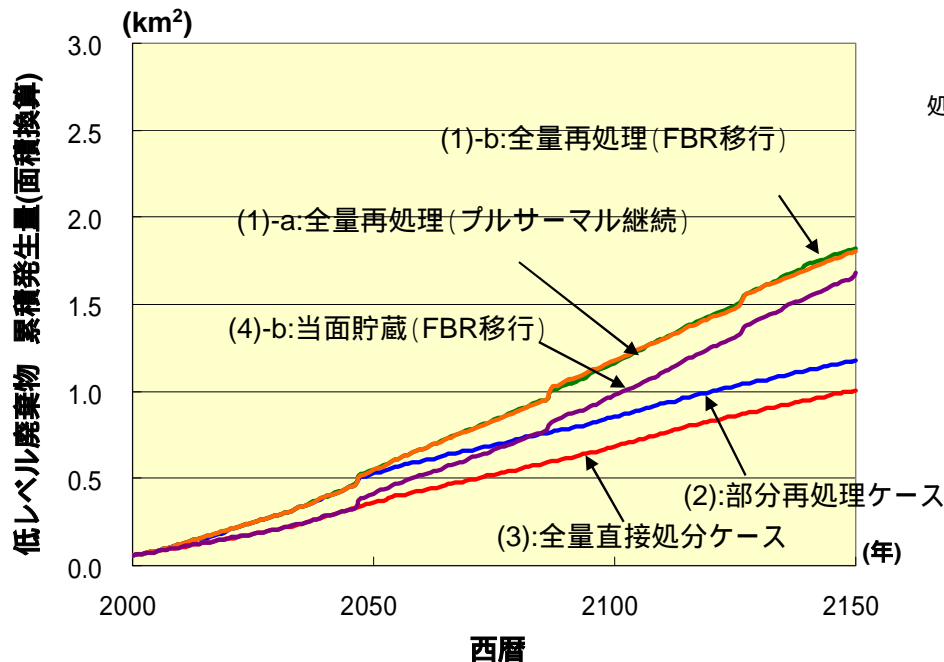
低レベル放射性廃棄物の処分方法は、発生源や核種濃度特性に応じて浅地中処分*、余裕深度処分**、地層処分の何れかとなる。

*浅地中処分:最終的な天然バリアの覆土層が数m程度の厚さを持つ浅地層に放射性廃棄物を処分する方法

**余裕深度処分:一般的であると考えられる土地利用に際しても目安線量を超える被ばくを防ぐのに十分な余裕を持った深度に放射性廃棄物を処分する方法

低レベル放射性廃棄物の累積発生量(面積換算)

低レベル放射性廃棄物の処分に要する面積は、再処理を行うシナリオの方が、サイクル施設で発生する廃棄物の分だけ大きい。



処分場面積換算:

TRU地層処分(7.53 m²/m³)

体積: 17,800 m³ , 面積: 447 m × 300 m

[出典: コスト小委員会資料「TRU廃棄物の地層処分費用について」]

余裕深度処分(1.00 m²/m³)

体積: 40,000 m³ , 面積: 200 m × 200 m

[出典: 原安委「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準値(第3次中間報告)の添付資料8 - 1」]

浅地中処分(0.73 m²/m³)

体積: 40,000 m³ , 面積: 152 m × 191 m

[出典: 原燃パンフ「六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター」]

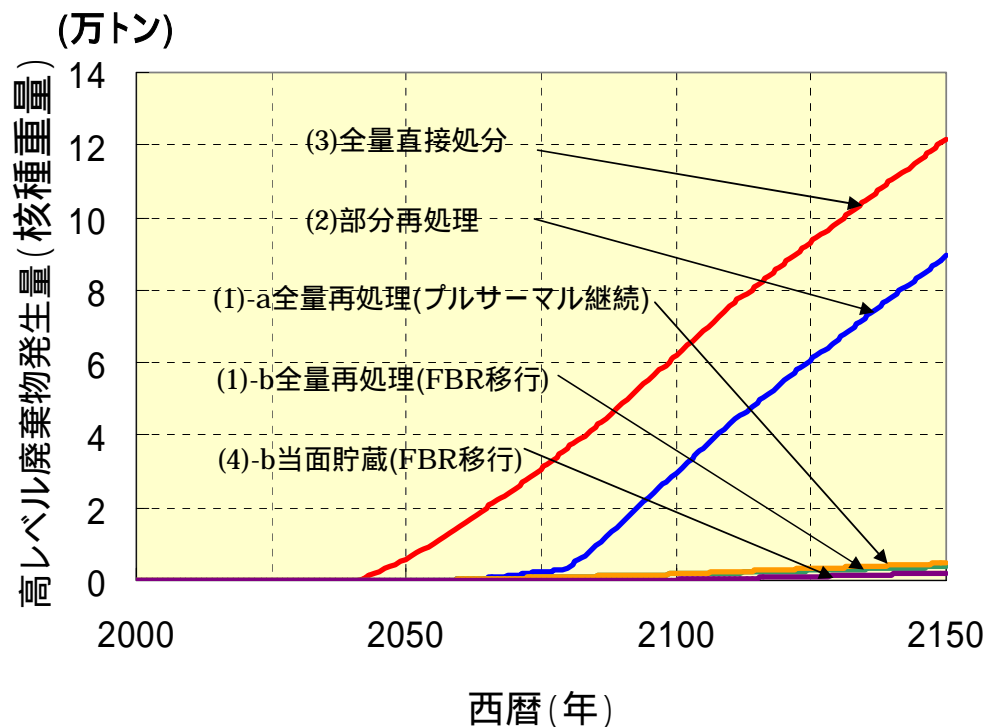
)低レベル放射性廃棄物の処分方法は、発生源及び核種濃度特性に応じて浅地中処分*、余裕深度処分**、地層処分の何れかとなる。

*浅地中処分: 最終的な天然バリアの覆土層が数m程度の厚さを持つ浅地層に放射性廃棄物を処分する方法

**余裕深度処分: 一般的であると考えられる土地利用に際しても目安線量を超える被ばくを防ぐのに十分な余裕を持った深度に放射性廃棄物を処分する方法

2150年までに地層処分される 高レベル放射性廃棄物の核種重量

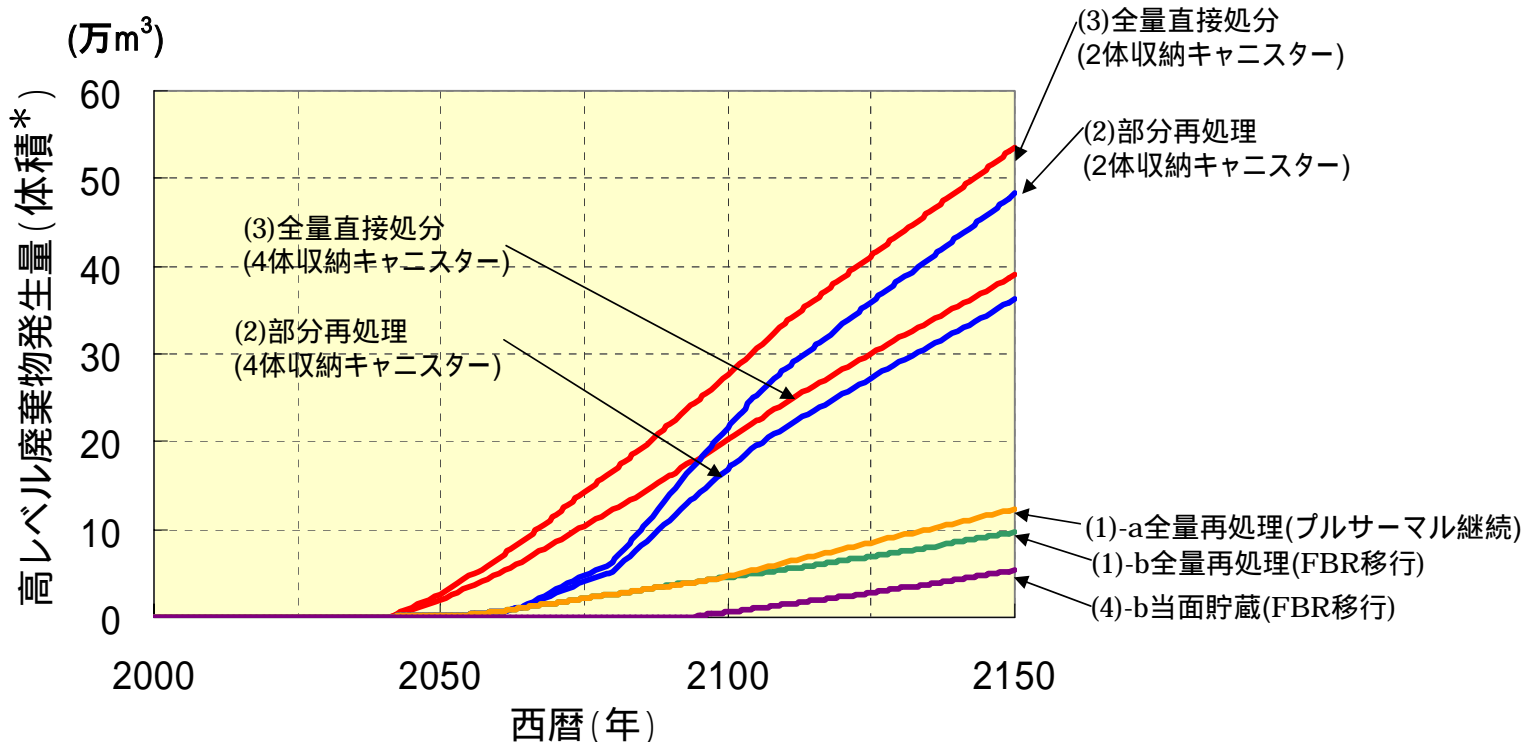
ガラス固化体で処分する全量再処理(シナリオ1)と当面貯蔵(FBR移行)(シナリオ4 - b)のケースは他のケースに比べて高レベル放射性廃棄物中の核種重量は少ない。



返還ガラス固化体、東海再処理分ガラス固化体は、2037年～2057年にかけてほぼ均等に処分場に搬入されるものとした

2150年までに地層処分される 高レベル放射性廃棄物の体積

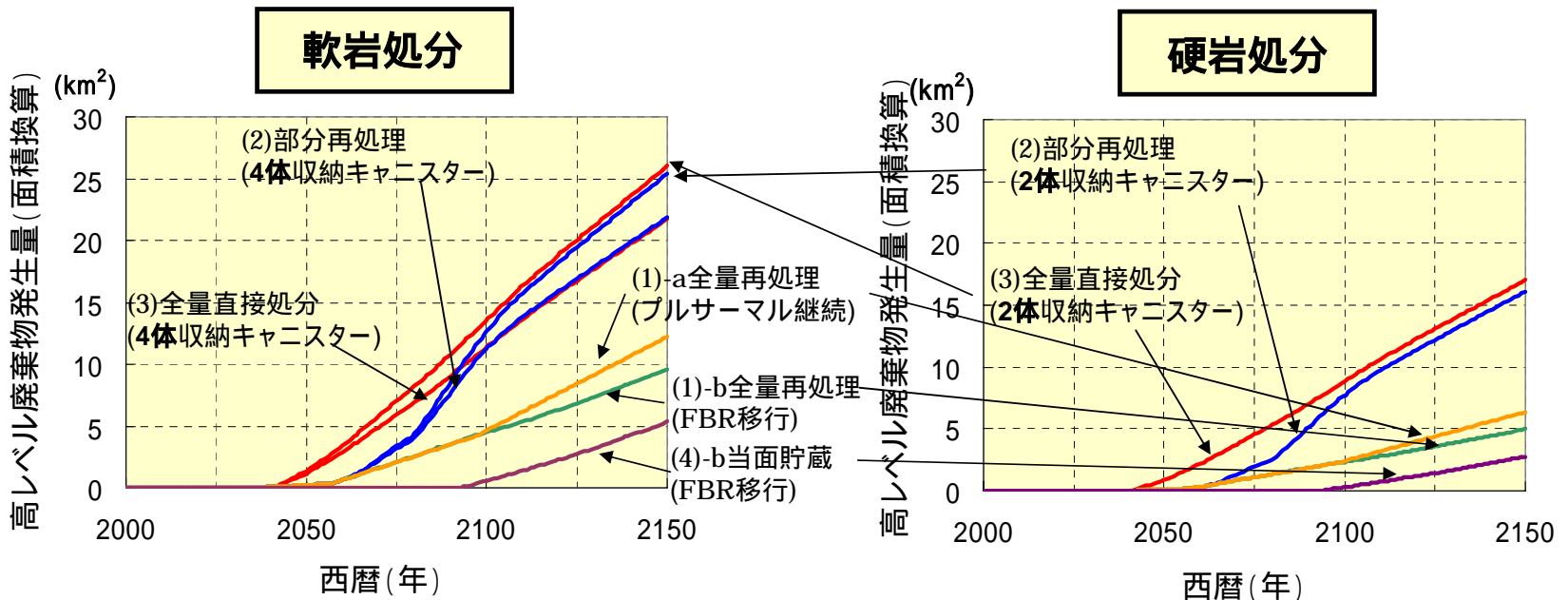
ガラス固化体で処分する全量再処理(シナリオ1)と当面貯蔵(FBR移行)(シナリオ4-b)のケースでは高レベル放射性廃棄物の体積を低減できる。



ガラス固化体はオーバパックの体積から算出。直接処分の場合は処分用のキャニスターの体積から算出。使用済MOX燃料は発熱量を考慮し、同量の使用済ウラン燃料の4倍の処分体積を想定。

2150年までに地層処分される高レベル廃棄物の処分場の専有面積

ガラス固化体で処分する全量再処理(シナリオ1)と当面貯蔵(FBR移行)(シナリオ4-b)のケースでは高レベル放射性廃棄物処分場の専有面積を低減できる。



ガラス固化体の専有面積は縦置き処分とし、軟岩=90m²/本、硬岩=47m²/本
 使用済燃料の専有面積は縦置き処分とし、(軟岩,2本キャニスター)=209m²/tU、(軟岩,4本キャニスター)=174m²/tU、
 (硬岩,2本キャニスター)=137m²/tU
 使用済MOX燃料は、同量(tHM)の使用済ウラン燃料に比較して専有面積が4倍になるとした

2150年までに高レベル廃棄物を処分するのに 必要な処分場総掘削量

ガラス固化体として処分する全量再処理(シナリオ1)と当面貯蔵(FBR移行)(シナリオ4-b)のケースでは高レベル放射性廃棄物処分場の掘削量を低減できる。

表中の単位: 万m ³	堆積岩: 深度500m			花崗岩: 深度1000m		
	ガラス固化体	直接処分	計	ガラス固化体	直接処分	計
(1)-a全量再処理 (プルサーマル継続)	約2,700	-	約2,700	約1,500	-	約1,500
(1)-b全量再処理 (FBR移行)	約2,100	-	約2,100	約1,200	-	約1,200
(2)部分再処理	約900	約9,100 ¹	約10,000	約500	約4,500 ¹	約5,000
		約5,900 ²	約6,800		約5,300 ³	約5,800
		約10,000 ³	約11,000			
(3)全量直接処分	約80	約11,000	約11,000	約40	約5,500	約5,500
		約7,100	約7,100		約6,400	約6,400
		約12,000	約12,000			
(4)-b当面貯蔵	約1,200	-	約1,200	約600	-	約600

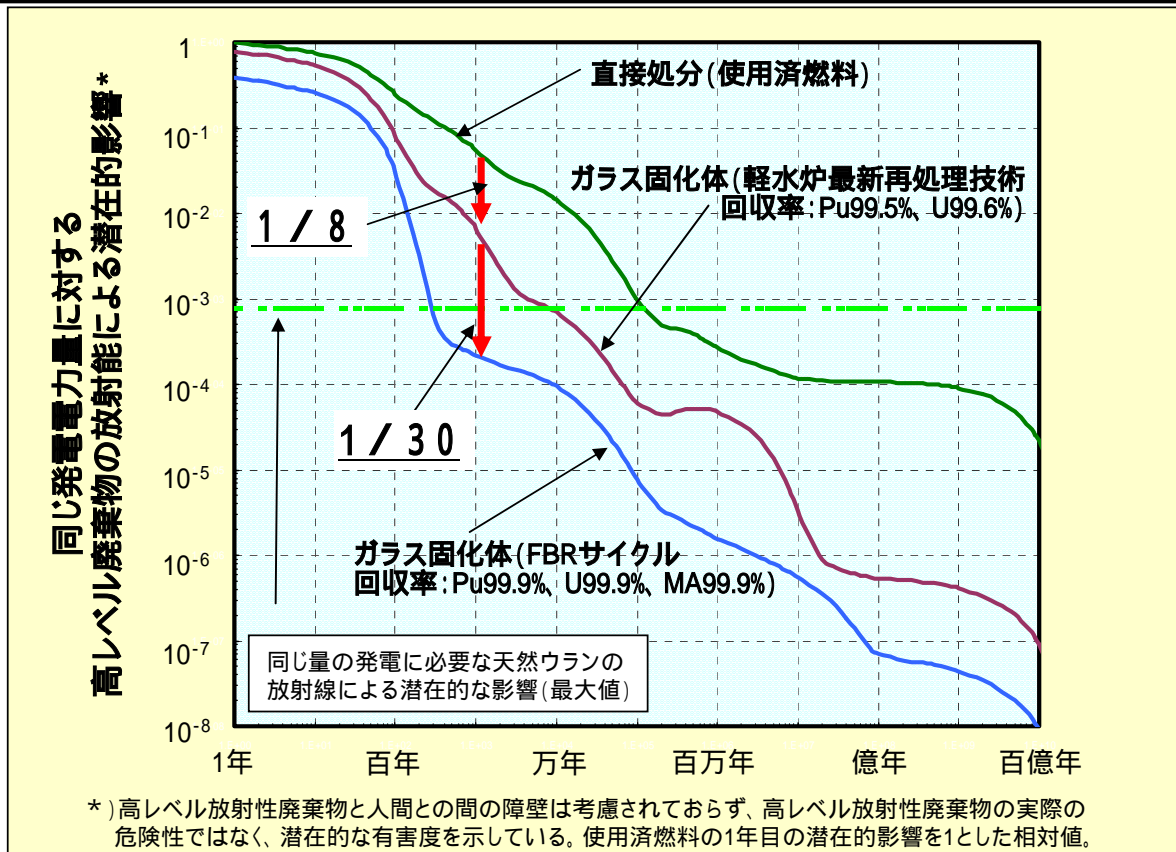
1) 2体収納キャニスタ・1サイトの場合

2) 4体収納キャニスタ・1サイトの場合

3) 2体収納キャニスタ・2サイトの場合

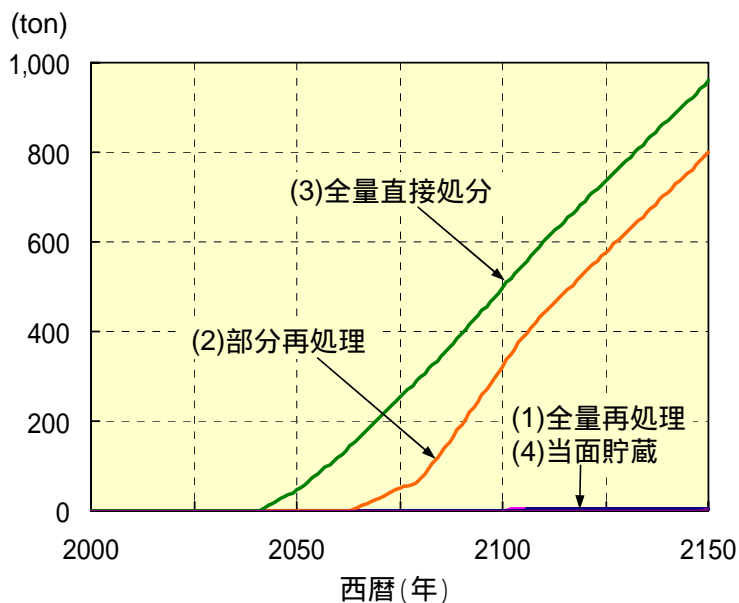
処分される高レベル放射性廃棄物の放射能の潜在的な影響の相対値

直接処分では、ウラン、プルトニウム、核分裂生成物等を全て含んだまま高レベル廃棄物となる。再処理後のガラス固化体中には、核分裂生成物とごくわずかなウラン、プルトニウム等しか存在しないため、潜在的な影響は小さい。千年後には、直接処分に比べて軽水炉サイクルで1/8に、MA回収を行うFBRサイクルではさらにこれの1/30にまで減少する。



2150年までに地層処分される 高レベル放射性廃棄物中のプルトニウム量

部分再処理(シナリオ(2))及び全量直接処分(シナリオ(3))では、2150年時点で、それぞれ800～900トン強のプルトニウムが地層処分される。



(参考) 前提条件の詳細

項目		想定条件
原子炉システム	軽水炉	BWR, PWR : 燃焼度4万MWd/t台:2029年までの新設炉対象、稼働率85% ABWR, APWR : 燃焼度6万MWd/t台:2030年以降の新設炉対象、稼働率90%
	FBR	Na冷却MOX炉: 燃焼度15万MWd/t、増殖比1.16(高増殖炉)、1.04(低増殖炉) 稼働率90%(設計上は93%)、MA 添加率の上限5%
	炉稼働期間	軽水炉ならびにFBRとも60年
炉外時間	軽水炉	4年(炉外冷却3年、再処理0.5年、加工・装荷0.5年)、(炉内滞在4.5年程度)
	FBR	5年(炉外冷却4年、再処理0.5年、加工・装荷0.5年)
工程ロス率	軽水炉	転換0.5%、燃料加工0.1%、再処理約0.5%、HLWからのMA 回収ロス0.1%
	FBR	燃料加工0.1%、再処理0.1%
再処理施設	軽水炉	東海 :2001年~2005年40t/y、2006年廃止 六ヶ所: 処理量は2005年~2008年の計画値を模擬、2009年以降800t/y、2047年廃止 第2再処理:800t/y~1200t/y、MA 回収を想定(回収MA はFBR燃料に添加して燃焼)
	FBR	FBRの導入規模に応じて年間処理量50トン、200トン規模のユニットで増強を図る。
	施設稼働期間	軽水炉再処理ならびにFBR再処理とも40年
その他		軽水炉使用済燃料回収テイルウランの再濃縮利用を想定