

原子力比率Ⅱを対象とした 長期のサイクル諸量評価(改訂版)

第13回 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4月27日

日本原子力研究開発機構
次世代原子炉システム研究開発部門
小 野 清

評価の目的

技術等検討小委員会で提示された2030年までの3つの原子力比率のうち、比率Ⅱ「2030年までに30GWまで減少」について、参考として2030年以降の期間も含め、天然ウランの需要量、使用済燃料の貯蔵量、廃棄物の発生量や処分量等の核燃料サイクル諸量を試算する。

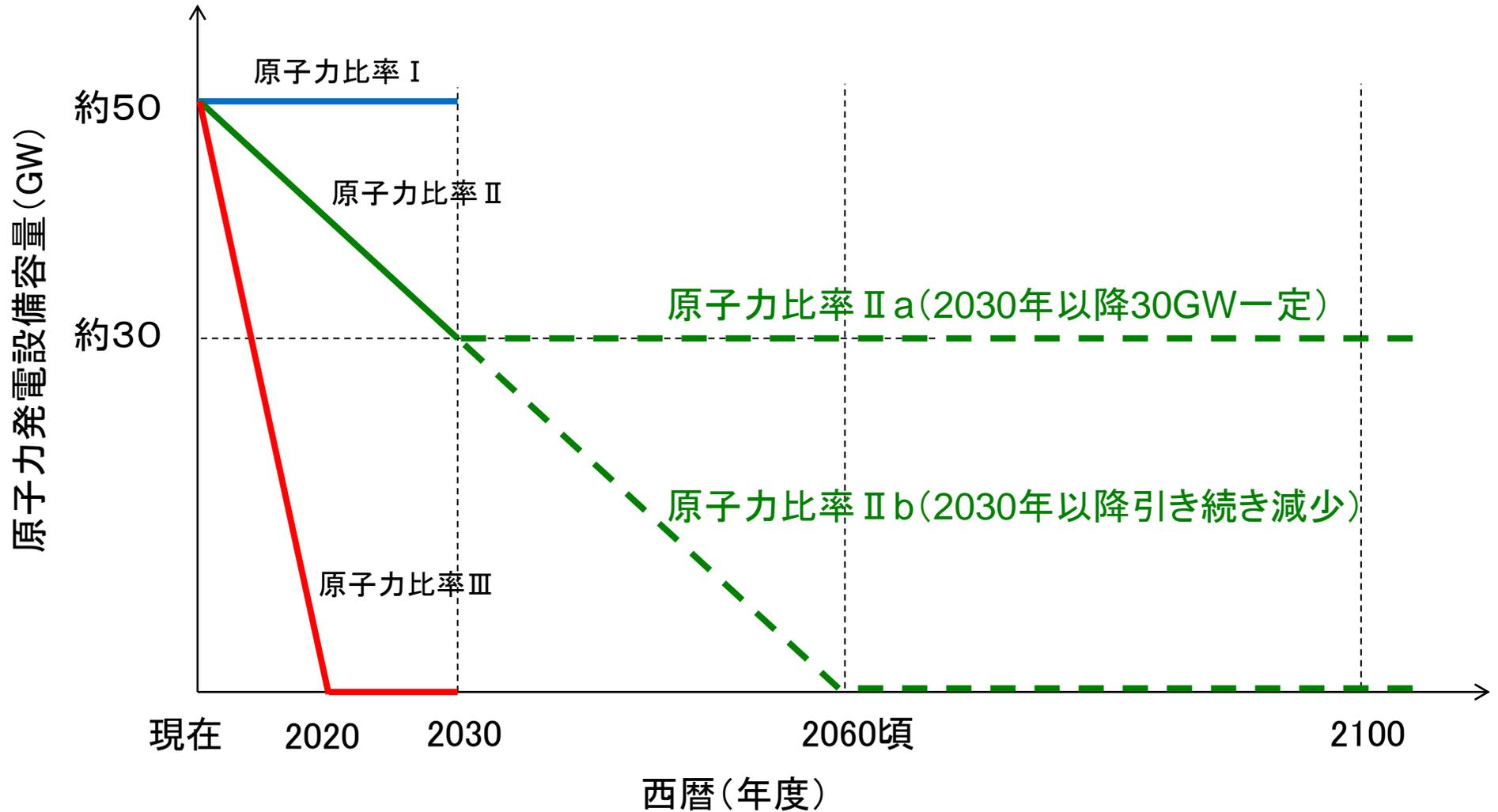
【対象としたシナリオ】

- ①全量再処理(高速炉導入)
- ②部分再処理(六ヶ所再処理工場導入)
- ③全量直接処分

【対象とした期間】

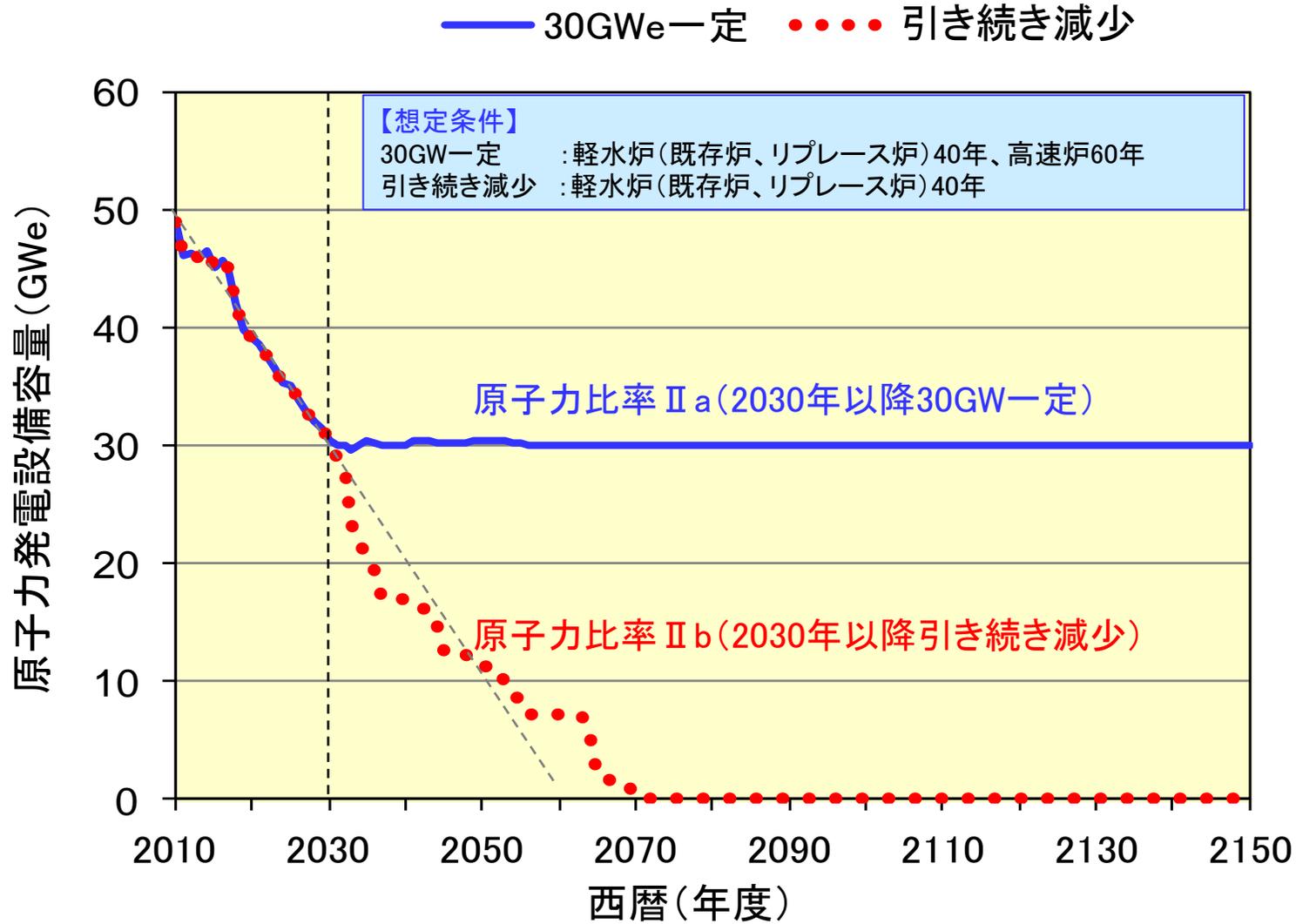
軽水炉から高速炉への移行の影響が現れる2150年頃までを対象とする。

原子力発電設備容量の設定(1/2)



原子力発電設備容量の設定の考え方

原子力発電設備容量の設定(2/2)



想定した原子力発電設備容量

原子力比率と代表シナリオの組合せ

	①全量再処理	②再処理/処分並存	③全量直接処分
原子力比率Ⅰ (2030年50GW)	Ⅰ－①	Ⅰ－②	Ⅰ－③
原子力比率Ⅱ (2030年30GW)	Ⅱ－①	Ⅱ－②	Ⅱ－③
原子力比率Ⅲ (2020年0GW)	Ⅲ－①	Ⅲ－②	Ⅲ－③

解析ケース

シナリオ	① 全量再処理 (高速炉導入)	② 部分再処理* (六ヶ所再処理導入)	③ 全量直接処分
原子力比率Ⅱ			
Ⅱ a 2030年以降 30GWe一定	Ⅱ a-①	—	Ⅱ a-③
Ⅱ b 2030年以降 引き続き減少	—	Ⅱ b-②	Ⅱ b-③

*)4頁では小委員会での表記に合わせて「②再処理/処分併存」としているが、本長期評価においては、原子力比率が2030年以降引き続き減少するケースを対象に六ヶ所再処理施設のみを導入し再処理できなかった使用済燃料は直接処分することを想定したので、5頁以降は「部分再処理」と表現する。

【シナリオの概要】

①全量再処理

全ての使用済燃料を再処理する。2050年以降、軽水炉のリプレースにより高速炉を導入する。

②部分再処理

現在の再処理施設の処理能力を超えるもの及び同施設閉鎖後の使用済燃料は、中間貯蔵後に直接処分する。

③全量直接処分

全ての使用済燃料を直接処分する。

- エネルギー安全保障、ウラン供給確保
 - 天然ウラン需要量
 - ⇒再処理施設や高速炉の導入による天然ウラン需要量への影響を示す。
- 使用済燃料管理・貯蔵、放射性廃棄物
 - 使用済燃料貯蔵量
 - 放射性廃棄物発生量(高レベル廃棄物、低レベル廃棄物)
 - 処分場面積
 - ⇒再処理施設や高速炉の導入による使用済燃料貯蔵量、放射性廃棄物発生量、および処分場面積への影響を示す。
- 核燃料サイクルを巡る国際的視点
 - プルトニウム貯蔵量

2030年以降の定量評価の前提条件(原子炉)

項目		条件*1	シナリオ		
			1	2	3
高速炉	導入時期等	実証炉 : 2025年度に導入 実用炉 : 2050年度に導入(プルトニウムバランスに応じて導入)	○	×	×
	平均燃焼度	実証炉 : 60(初期)~150Wd/t 実用炉 : 約150 GWd/t	○	×	×
	増殖比	実証炉 : 1.1 実用炉 : 導入初期は約1.1、その後1.03	○	×	×
	単基の容量	実証炉 : 0.75GW/基 実用炉 : 1.5GW/基	○	×	×
	プラント寿命	60年	○	×	×
	設備利用率	約80%	○	×	×
軽水炉	平均燃焼度	2030年度以降60GWd/t	○	○	○

* 1) 上記以外の軽水炉関係の前提条件は、第11回小委員会資料第1-1号の「2030年までの定量評価の前提条件(13~15頁)」に同じ。

2030年以降の定量評価の前提条件(加工、再処理)

項目		条件*1	シナリオ		
			1	2	3
高速炉 燃料加工 施設	燃料加工施設	高速炉導入前に導入、処理規模:100トン/年または200トン/年を需要に応じて建設、MA濃度上限5%	○	×	×
	高速炉サイクル実証施設(加工)	実証炉導入前に運転開始、実証炉燃料等を製造	○	×	×
	廃棄物発生量	STEP1の結果に基づく	○	×	×
高速炉 再処理 施設	再処理施設	高速炉導入後に運転開始、処理規模:100トン/年または200トン/年を需要に応じて建設、MA回収を考慮	○	×	×
	高速炉サイクル実証施設(再処理)	実証炉導入後に運転開始、実証炉燃料等を再処理	○	×	×
	使用済燃料輸送	冷却期間後、処理可能な場合は再処理施設に輸送し、無理な場合は炉サイト内貯蔵を継続	○	×	×
	ガラス固化施設	各施設に付属、高速炉再処理の固化体製造条件:FP酸化物10%、2.3kW/体	○	×	×
	廃棄物発生量	STEP1の結果に基づく	○	×	×
軽水炉 再処理 施設	第二再処理施設以降	六ヶ所再処理施設の廃止後に導入、プルサーマル燃料と高燃焼度燃料の再処理も可能、MA回収を考慮、設備容量の範囲内でBWRとPWR燃料を混合再処理(年間受け入れる全使用済燃料を混合すると想定)	○	○	○

* 1) 上記以外の軽水炉関係の前提条件は、第11回小委員会資料第1-1号の「2030年までの定量評価の前提条件(13~15頁)」に同じ。

2030年以降の定量評価の前提条件(貯蔵、処分他)

改訂

項目		条件*1	シナリオ		
			1	2	3
貯蔵施設	SF貯蔵施設	リサイクルの場合は貯蔵期間40年以内 直接処分の場合は貯蔵期間:48年、需要に応じて増設することを想定	○	○	○
	高レベル廃棄物 受入れ・貯蔵管理施設	貯蔵期間:50年、当面は計画にしたがって建設、以降は需要に応じて増設	○	○	○*2
廃棄物 処分 施設	地層処分場(ガラス固化体処分)	2037年度頃から操業開始:硬岩縦置きを想定	○	○	○*2
	地層処分場(SF直接処分)	2047年度頃から操業開始、基本的には前回政策大綱の結果に基づくが、硬岩縦置きを想定	×	○	○
	低レベル廃棄物処分場	需要に応じて操業開始(地層処分低レベル廃棄物は除く)	○	○	○
その他	炉外サイクル時間	高速炉サイクル:最短5年(冷却期間4年)	○	×	×
	海外回収Puの利用	プルサーマル利用と想定	○	○	○
	高速炉サイクルのロス率	燃料製造0.1%、再処理約0.8%(原子力機構想定値)	○	×	×

* 1) 上記以外の軽水炉関係の前提条件は、第11回小委員会資料第1-1号の「2030年までの定量評価の前提条件(13~15頁)」に同じ。

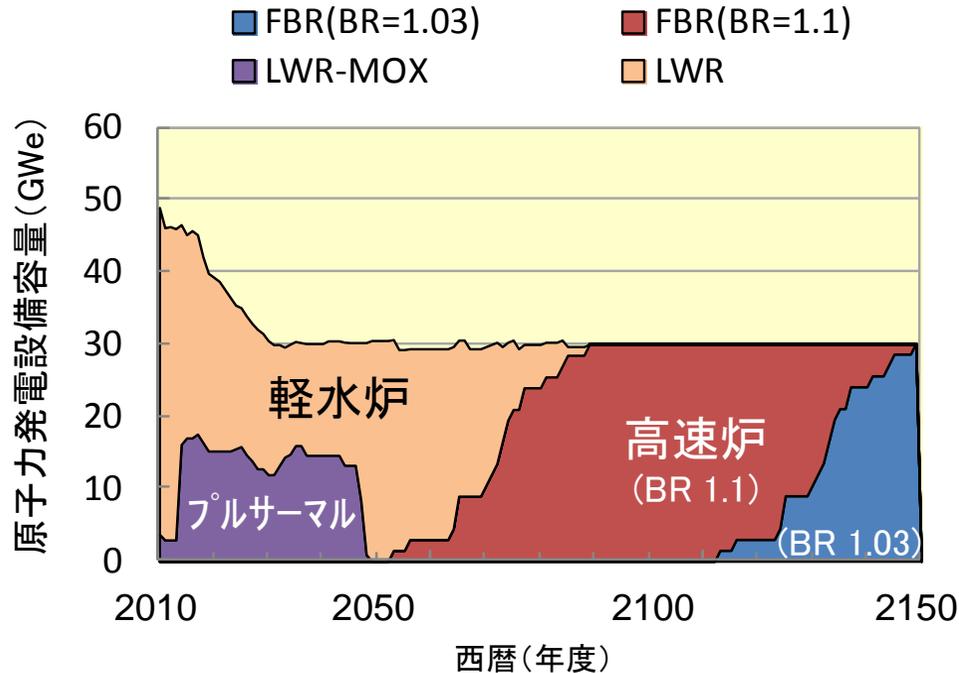
* 2) シナリオ3であっても、東海再処理施設や六ヶ所再処理工場で既に発生した廃棄物は貯蔵あるいは処分する。

原子力比率Ⅱ a(2030年以降30GWe一定)の結果

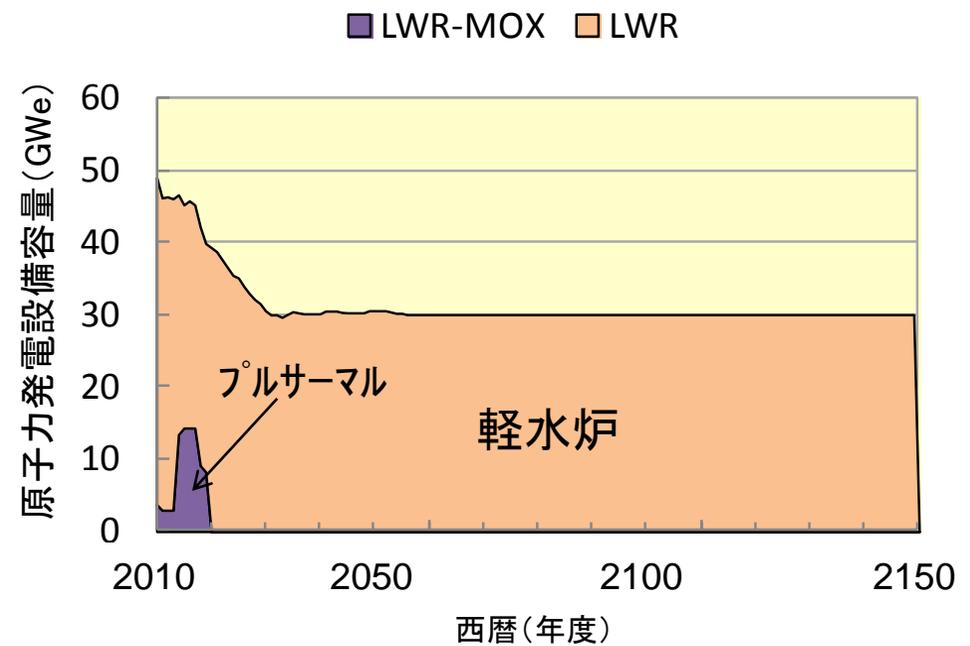
- ①全量再処理(高速炉導入)
- ③全量直接処分

「30GWe一定」の解析結果(発電設備構成)

- 「全量再処理」では、高速炉の実用化以前は、最大18GW程度のプルサーマルを40年程度に亘って導入し、海外および六ヶ所再処理から回収したPuを利用する。
- 高速炉の実用化以降は、軽水炉再処理および高速炉再処理から回収したPuを利用し、約40年で全ての軽水炉が高速炉に置き換わる。
- 「全量直接処分」では、最大14GW程度のプルサーマルを10年程度導入し、海外から回収したPuを利用する。



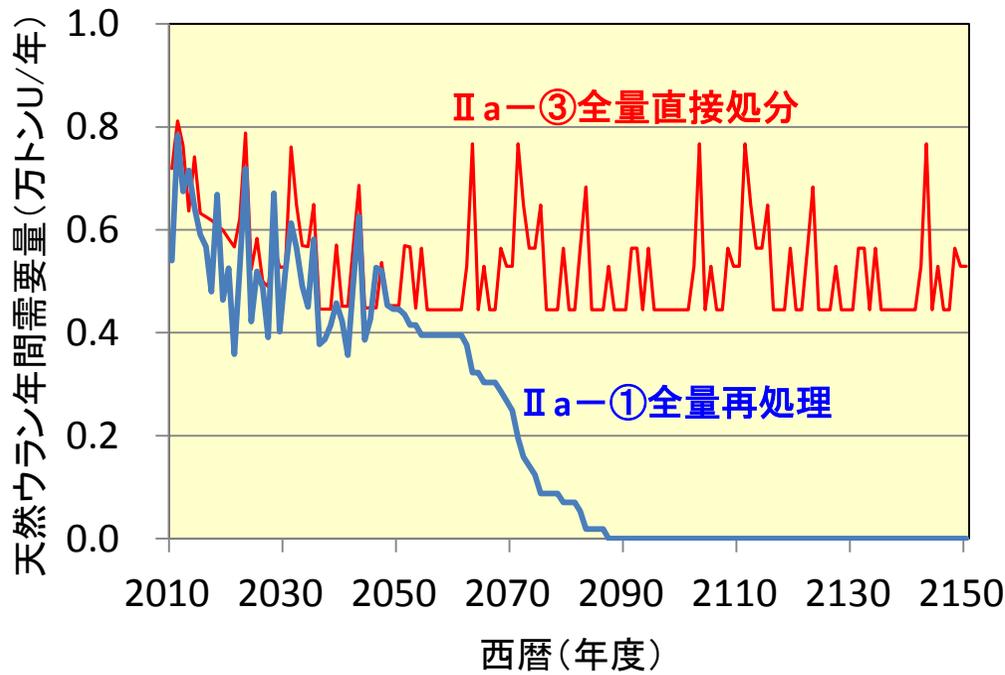
原子力発電設備容量(全量再処理/高速炉導入)



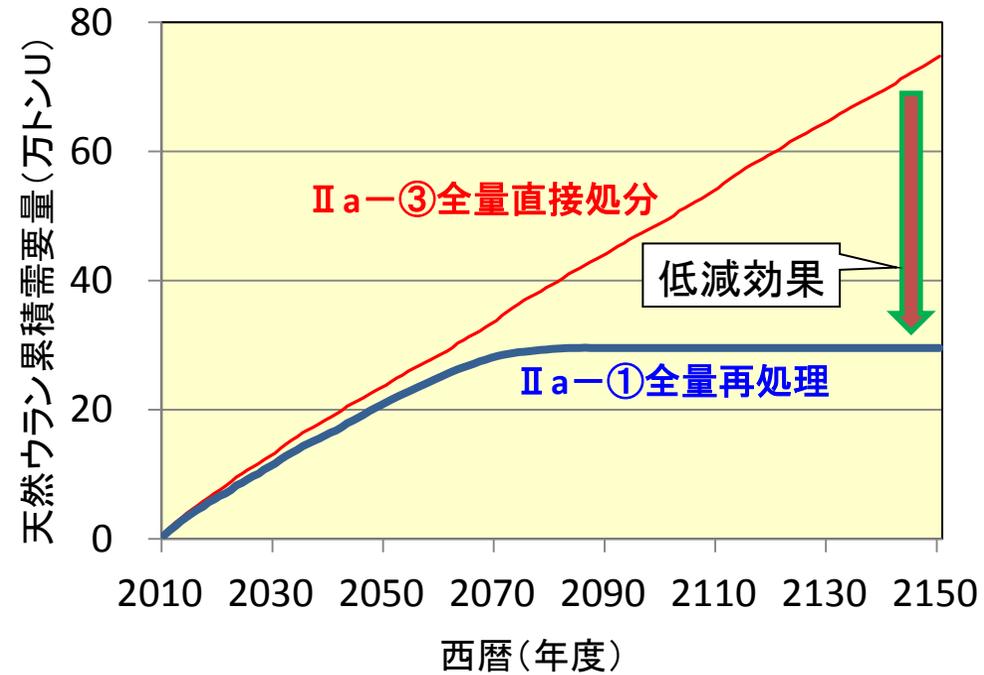
原子力発電設備容量(全量直接処分)

「30GWe一定」の解析結果(天然ウラン需要量)

- 「全量再処理」では、高速炉の実用化以前においては、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、「全量直接処分」に比べ、天然ウランの年間需要が節約される。
- さらに、高速炉の実用化以降においては、ウラン消費量は減少し、2087年以降ウラン資源輸入の必要がなくなり、ウランの輸入なしに原子力発電が可能となる。
- 「全量直接処分」に比べ、累積需要量は2150年時点で約45万トン少なくなることが見込まれる。



天然ウラン年間需要量の比較

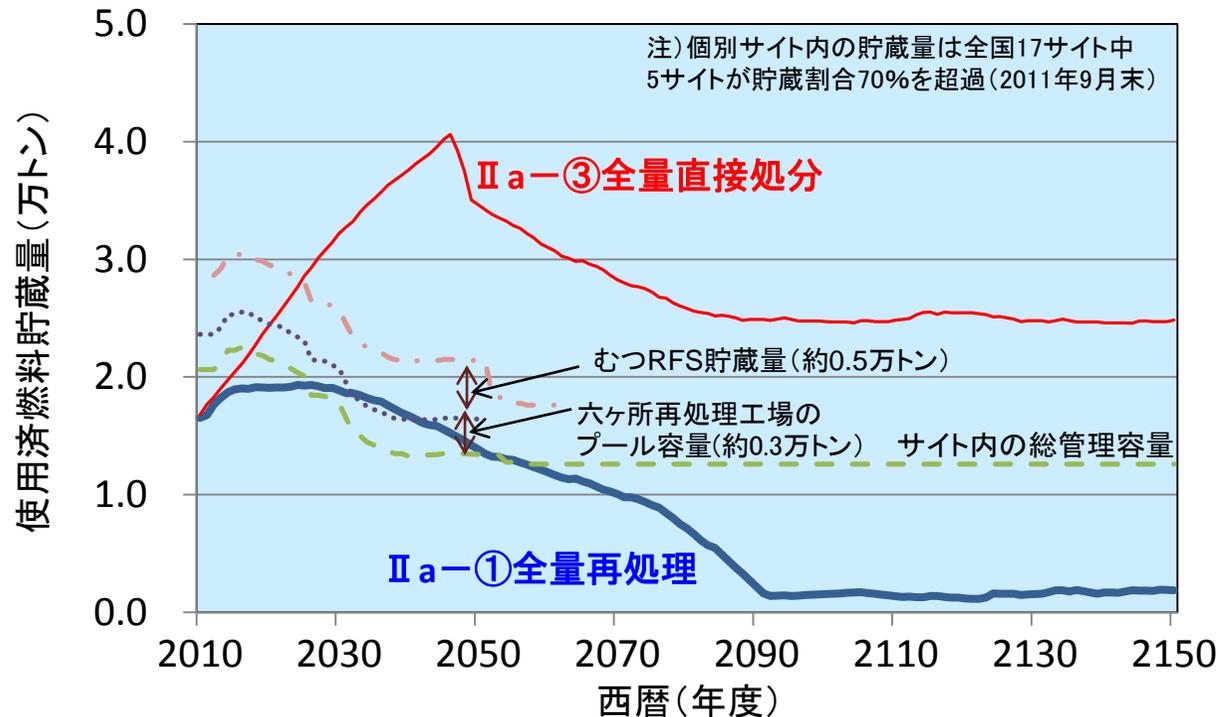


天然ウラン累積需要量の比較

「30GWe一定」の解析結果(使用済燃料貯蔵量)

改訂

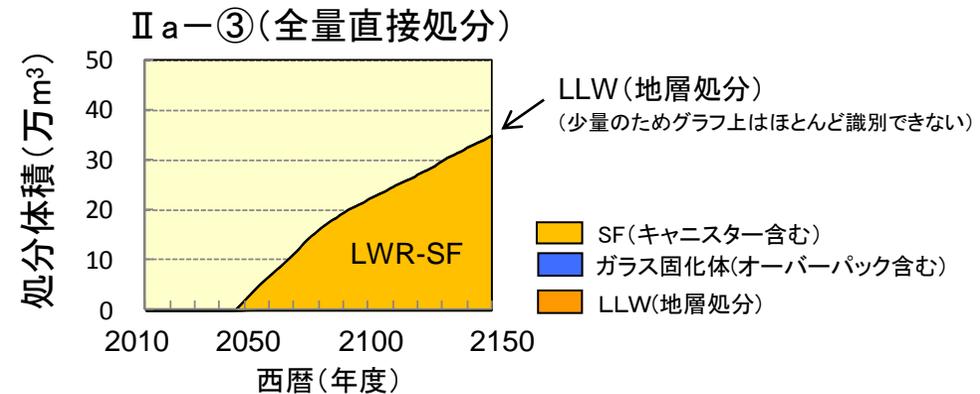
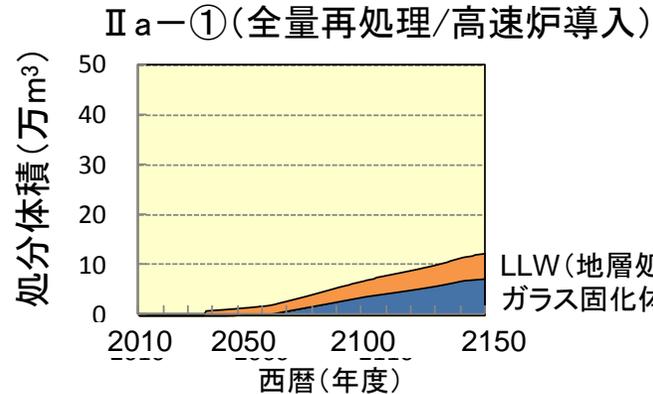
- 「全量再処理」では、2060年頃までは約2～約1.2万トンで推移する。再処理工場の稼働状況によっては、使用済燃料貯蔵容量が逼迫する可能性がある。
- 「全量直接処分」では、2050年手前で最大約4万トンに達し、2080年以降、約2.5万トンで一定となる。1万～2万トンの貯蔵容量の増強が課題となる。なお、むつりサイクル燃料貯蔵施設や六ヶ所再処理工場のプールが利用できない場合は最大で3万トン近くの増強が必要となる。



使用済燃料貯蔵量の比較

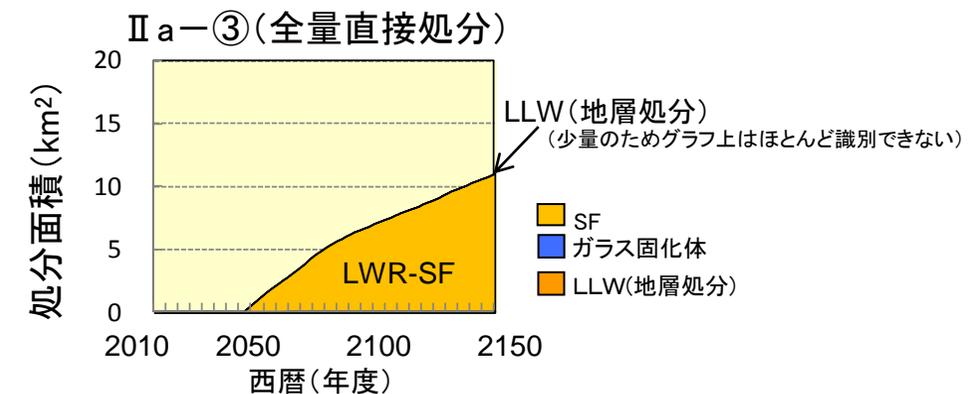
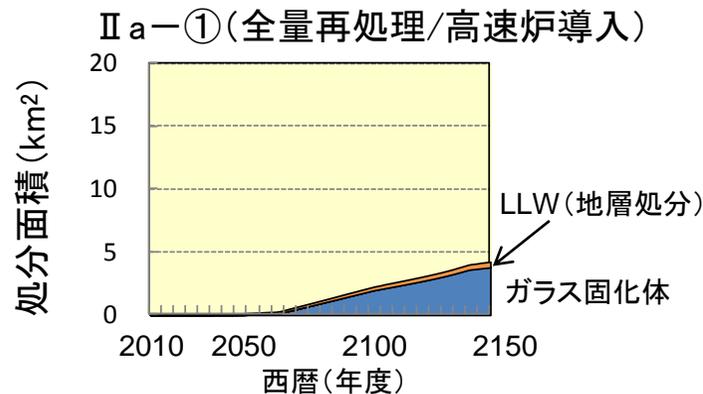
「30GWe一定」の解析結果(放射性廃棄物発生量(地層処分))

- 「全量再処理」では、再処理施設等の導入により低レベル廃棄物(地層処分)の発生量は増加するものの、高レベル廃棄物(ガラス固化体)の発生量が減少するため、処分体積及び処分面積全体としては、「全量再処理」の方が「全量直接処分」よりも減少する。



高レベル廃棄物と低レベル廃棄物(地層処分)の処分体積 ※1

※1 処分時点のガラス固化体と低レベル廃棄物(地層処分)と使用済燃料の体積



高レベル廃棄物と低レベル廃棄物(地層処分)の処分場面積 ※2

※2 処分時点のガラス固化体と低レベル廃棄物(地層処分)と使用済燃料の面積

「30GWe一定」の解析結果(低レベル放射性廃棄物(地層処分以外))

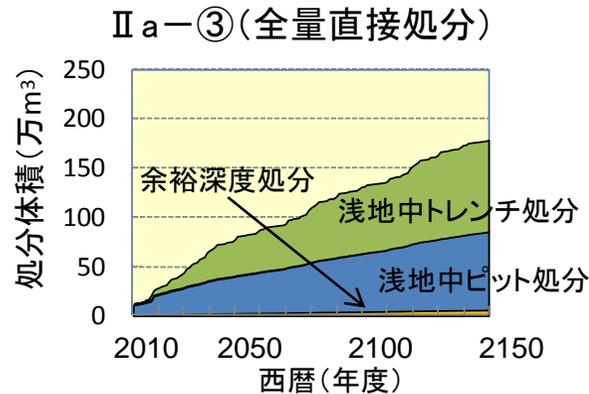
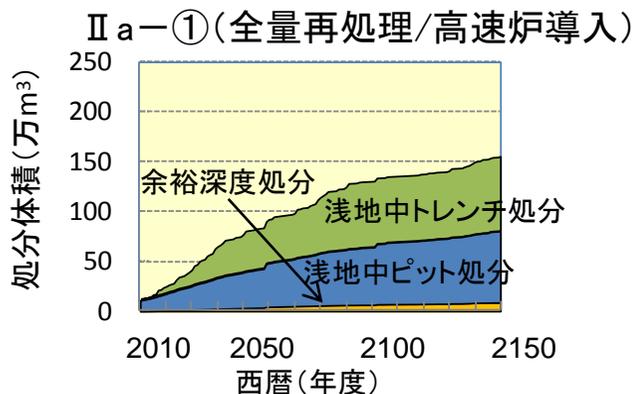
- 低レベル廃棄物(地層処分以外)は、原子力発電所の通常運転時及び廃止措置時に生じるものが大部分を占める。
- 再処理施設の導入により余裕深度処分廃棄物の発生量は増加するものの、高速炉からの操業時の浅地中ピット処分廃棄物および廃止時の浅地中トレンチ処分廃棄物の発生量が減少するため、処分体積及び処分面積全体としては、「全量再処理」の方が「全量直接処分」よりも減少する。

シナリオ	2150年までの累積処分量(体積) 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の廃棄物の合計				2150年までの 累積処分場面積
	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	合計	
Ⅱa-① 全量再処理 (高速炉導入)	135万m ³	16万m ³	4万m ³	155万m ³	285万m ²
Ⅱa-③ 全量直接処分	171万m ³	5万m ³	4万m ³	179万m ³	345万m ²

四捨五入の関係で数値が合わない場合がある。

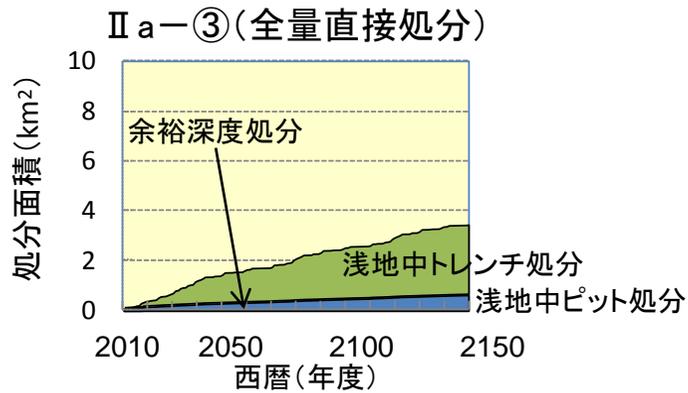
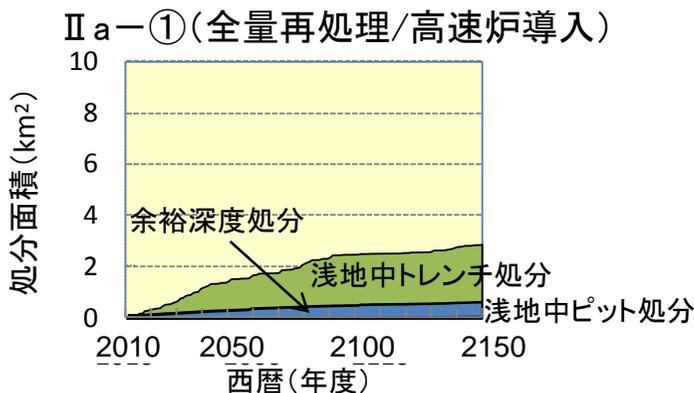
「30GWe一定」の解析結果(低レベル放射性廃棄物(地層処分以外))

- 再処理施設の導入により余裕深度処分廃棄物の発生量は増加するものの、高速炉からの操業時の浅地中ピット処分廃棄物および廃止時の浅地中トレンチ処分廃棄物の発生量が減少するため、処分体積及び処分面積全体としては、「全量再処理」の方が「全量直接処分」よりも減少する。



低レベル廃棄物(地層処分以外)の処分体積 ※1

※1 処分時点の低レベル廃棄物(地層処分以外)の体積



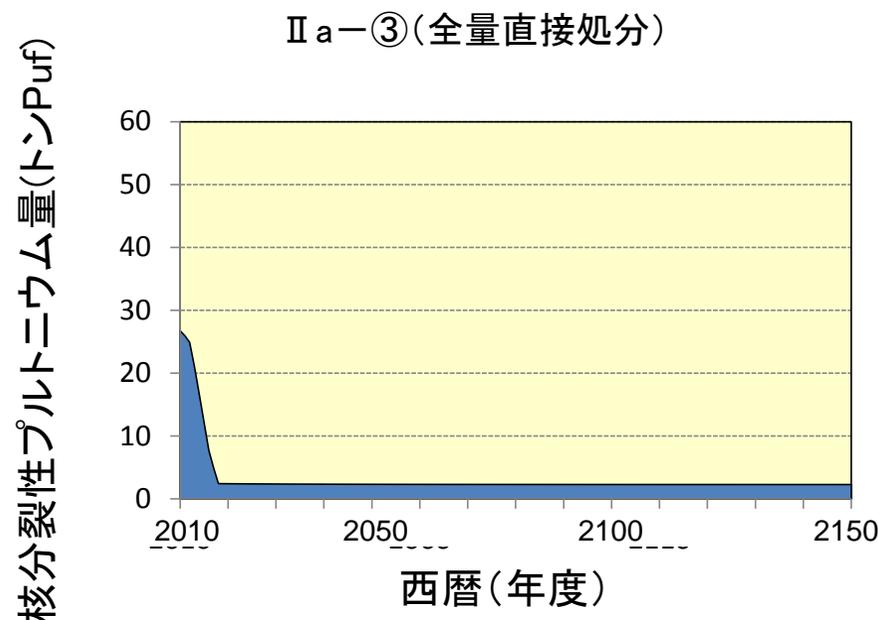
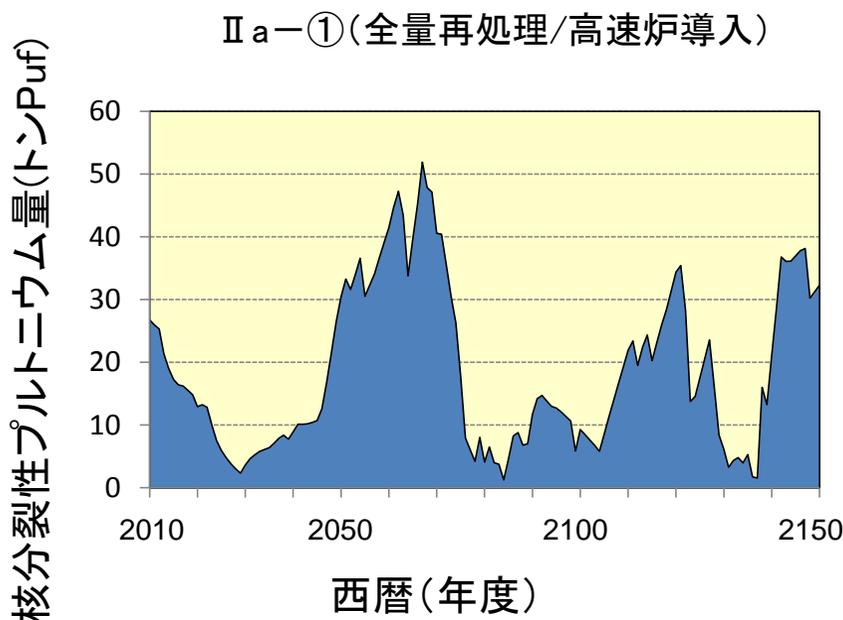
低レベル廃棄物(地層処分以外)の処分場面積 ※2

※2 処分時点の低レベル廃棄物(地層処分以外)の面積

「30GWe一定」の解析結果(Pu貯蔵量)

新規

- 「全量再処理(高速炉導入)」では、当面は現有Puに加えて再処理の実施によりPuが発生するが、プルスーマルを実施することでそれらのPuを削減できる。高速炉導入後は、高速炉燃料として必要なPuを確保しつつバランス(最大で40~50トンPuf程度)を取りながら高速炉サイクルに移行することが可能。
- 「全量直接処分」では、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2.3トンPufをMOX燃料に加工する能力の確保が必要である。



核分裂性プルトニウム貯蔵量の推移

【エネルギー安全保障、ウラン供給確保】

- 「全量再処理(高速炉導入)」では、「全量直接処分」に比べウラン消費量は減少し、累積需要量は2150年時点で約45万トン少なくなる。
- 高速炉の導入により、2087年以降ウラン資源輸入の必要がなくなり、ウランの輸入なしに原子力発電が可能となる。

【使用済燃料管理・貯蔵、放射性廃棄物】

- 「全量再処理」では、2030年以降も再処理工場の稼働状況やむつりサイクル燃料貯蔵施設の閉鎖等によって、使用済燃料貯蔵容量が逼迫する可能性があるため、貯蔵容量の増強が必要である。
- 「全量直接処分」では、将来、1万～2万トンの貯蔵容量の増強が課題となる。むつりサイクル燃料貯蔵施設や六ヶ所再処理工場のプールが利用できない場合は最大で3万トン近くの増強が必要となる。
- 地層処分する廃棄物(高レベル廃棄物、地層処分低レベル廃棄物)については、処分時の体積および面積のいずれで比較しても「全量再処理」の方が「全量直接処分」よりも小さい。
- 低レベル廃棄物(地層処分低レベル廃棄物を除く)の処分については、再処理施設等から発生する廃棄物の分は増加するものの、原子炉等から発生する低レベル廃棄物も含めた全体で比較した場合、体積、面積ともに「全量再処理」の方が「全量直接処分」よりも小さい。

【核燃料サイクルを巡る国際的視点】

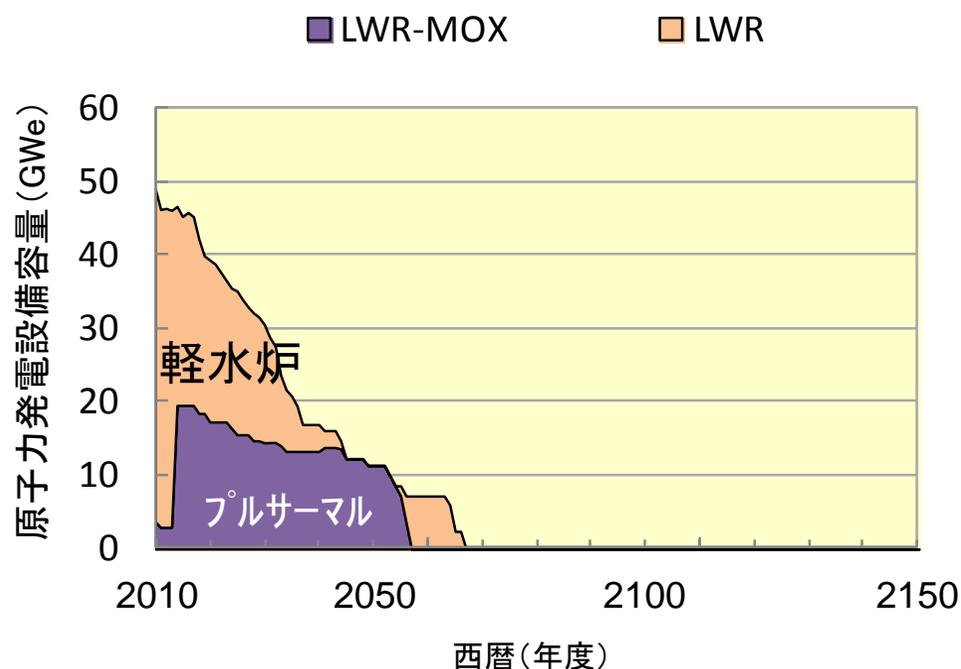
- 「全量再処理(高速炉導入)」では、高速炉導入前はプルサーマルを実施することでPuバランスを取ることが可能であり、高速炉導入後もPuバランスを取りながら高速炉サイクルに移行することが可能。
- 「全量直接処分」では、国内MOX燃料加工工場の建設は中止されるため、国内で抽出済みのPu約2.3トンPufをMOX燃料に加工する能力の確保が必要である。

原子力比率Ⅱb(2030年以降引き続き減少)の結果

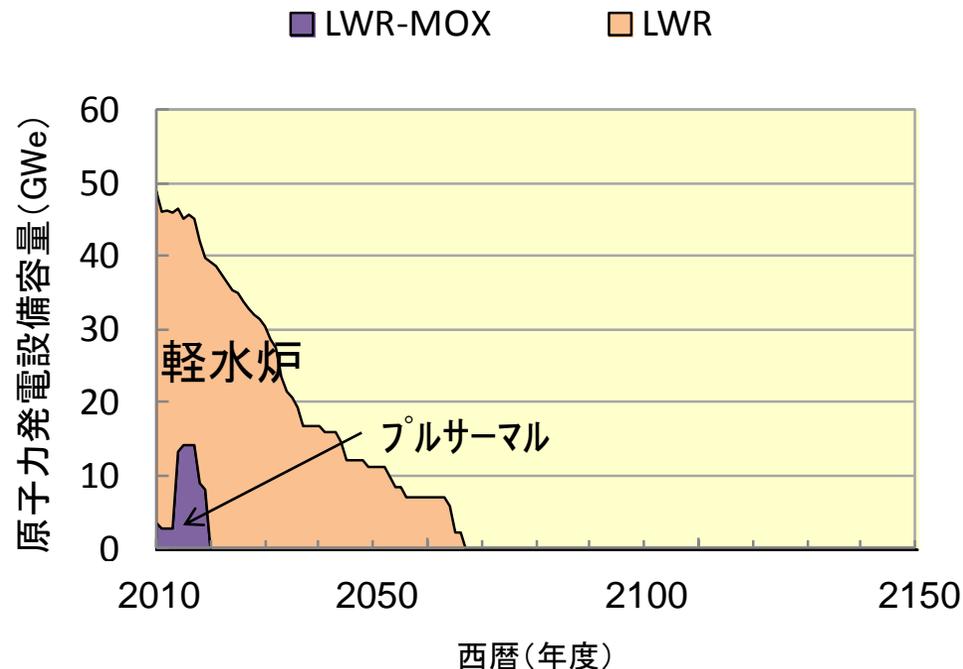
- ②部分再処理(六ヶ所再処理導入)
- ③全量直接処分

「引き続き減少」の解析結果(発電設備構成)

- 「部分再処理」では、最大20GW程度のプルサーマルを50年程度に亘って導入し、海外および六ヶ所再処理から回収したPuを利用する。
- 「全量直接処分」では、最大14GW程度のプルサーマルを10年程度導入し、海外から回収したPuを利用する。



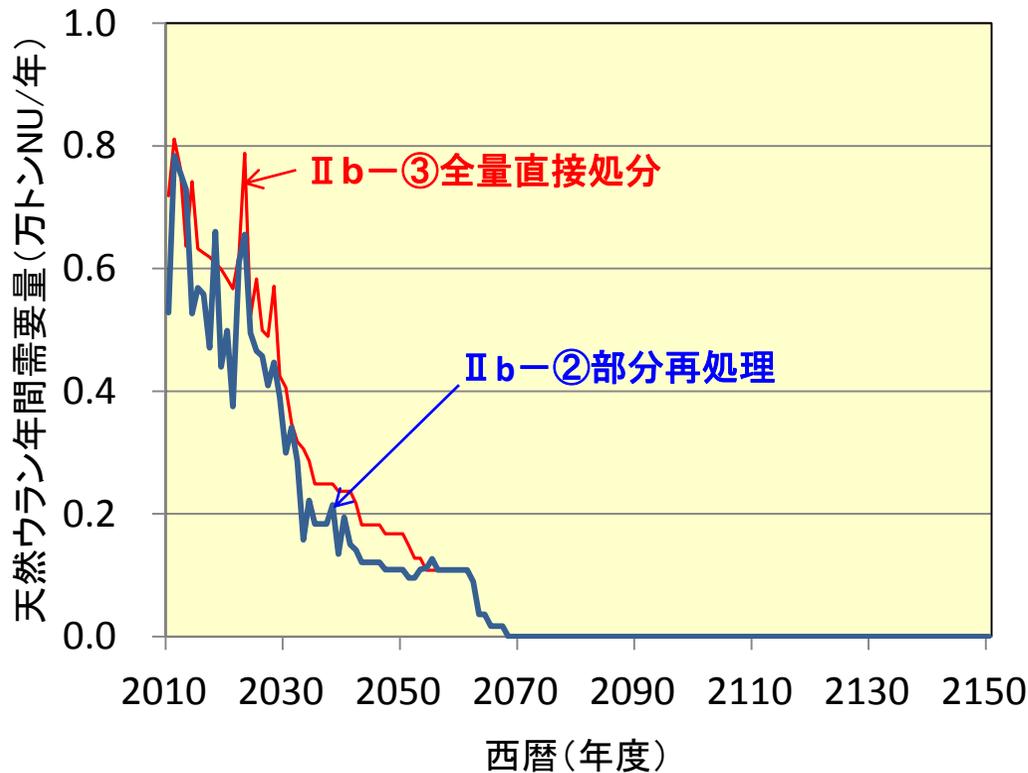
原子力発電設備容量(部分再処理)



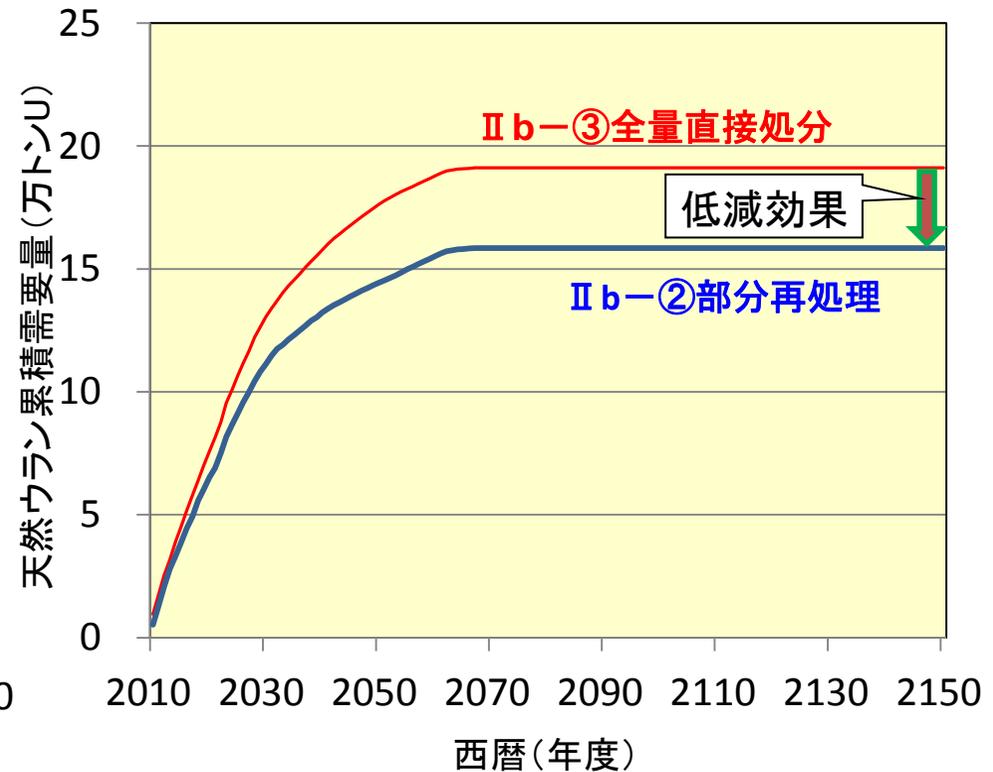
原子力発電設備容量(全量直接処分)

「引き続き減少」の解析結果(天然ウラン需要量)

- 部分再処理シナリオでは、六ヶ所再処理施設で回収されるPuをプルサーマルで利用することにより、全量直接処分シナリオに比べ、天然ウランの年間需要が節約される。
- 全量直接処分シナリオに比べ、累積需要量は2150年時点で約3万トン少なくなることが見込まれる。



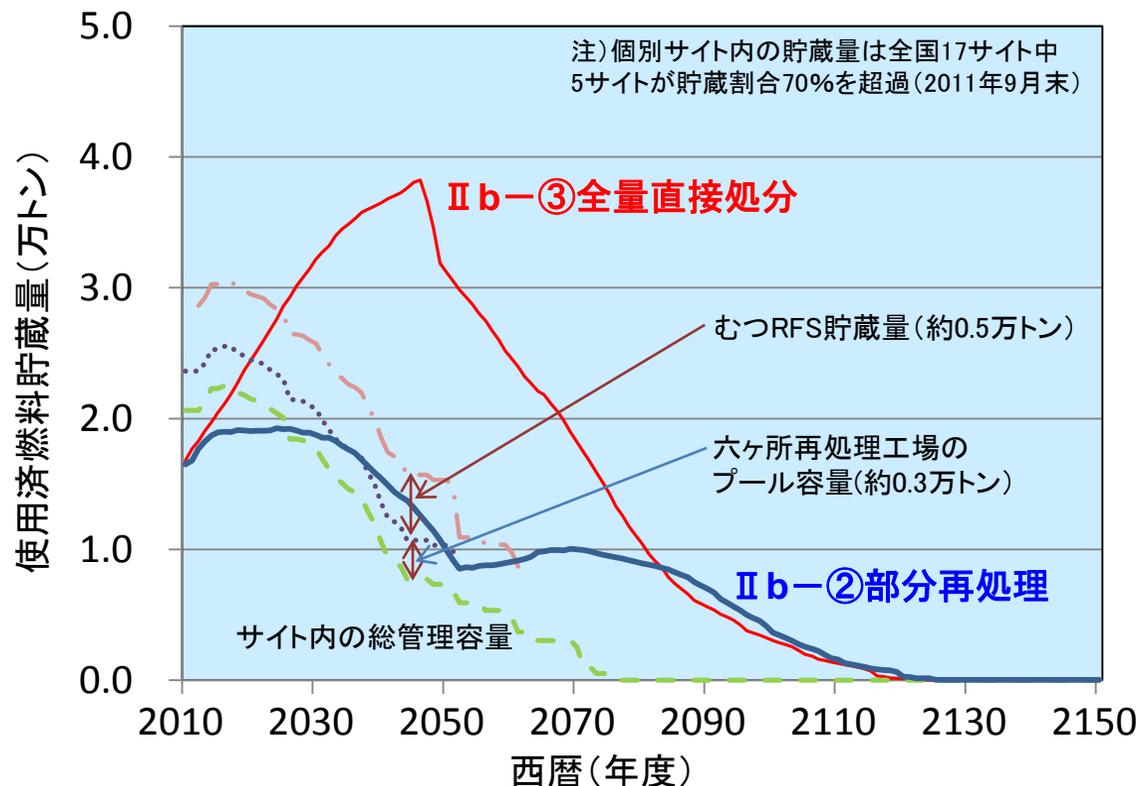
天然ウランの年間需要量



天然ウランの累積需要量

「引き続き減少」の解析結果(使用済燃料貯蔵量)

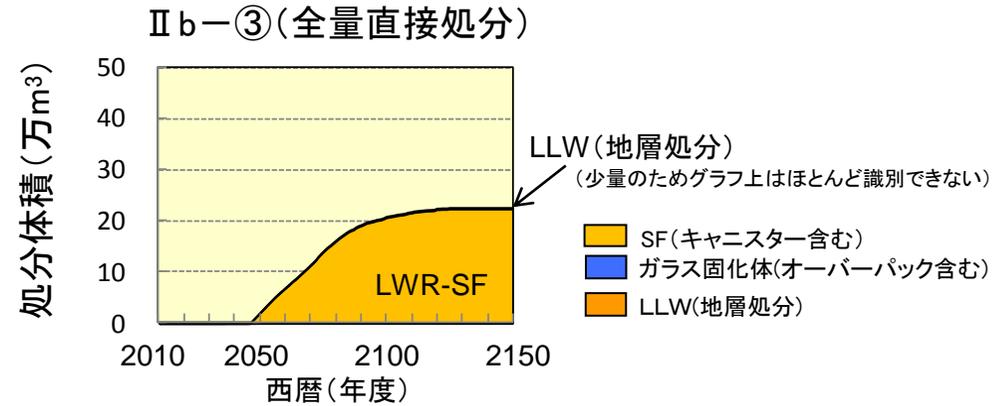
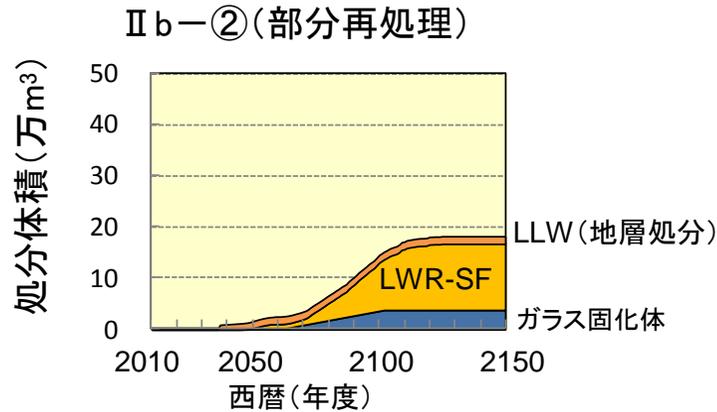
- 「部分再処理」では、使用済燃料貯蔵量は2万トン以下で推移する。2030年以降も再処理工場の稼働状況やむつりサイクル燃料貯蔵施設の閉鎖等によって、使用済燃料貯蔵容量が逼迫する可能性があるため、新たな中間貯蔵施設の建設等貯蔵容量の増強が必要である。
- 「全量直接処分」では、2050年手前で最大4万トン弱に達する。必要とされる貯蔵容量は最大2万トン程度となり、貯蔵容量の増強が「部分再処理」以上に課題となる可能性がある。なお、むつりサイクル燃料貯蔵施設や六ヶ所再処理工場のプールが利用できない場合は最大で3万トン近くの増強が必要となる。



使用済燃料貯蔵量の比較

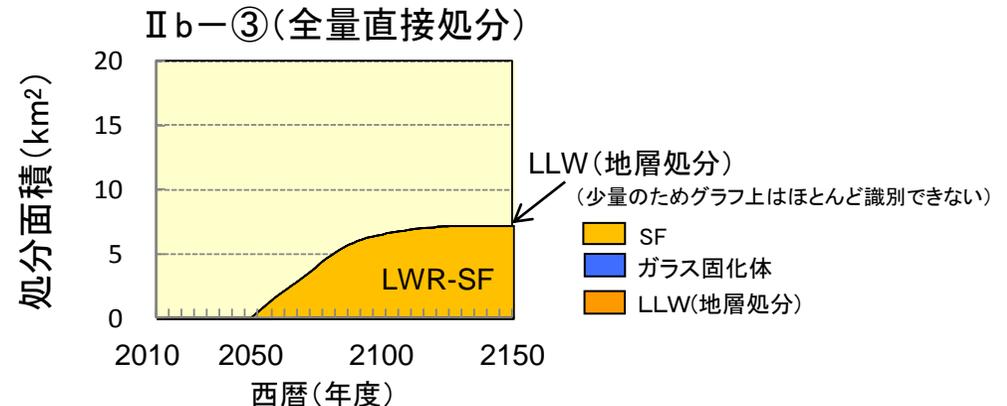
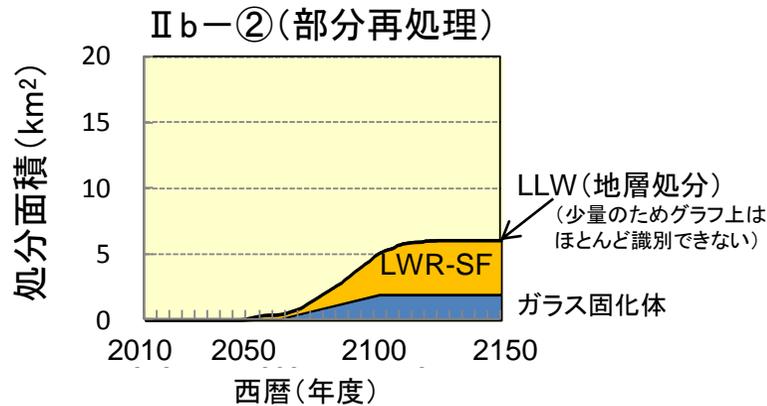
「引き続き減少」の解析結果(放射性廃棄物発生量(地層処分))

- 「部分再処理」では、「全量直接処分」と比較して、地層処分低レベル廃棄物が増加するものの、低レベル廃棄物も含めた地層処分対象の廃棄物全体としては、処分時の体積と面積は減少する。



高レベル廃棄物と低レベル廃棄物(地層処分)の処分体積 ※1

※1 処分時点のガラス固化体と低レベル廃棄物(地層処分)と使用済燃料の体積



高レベル廃棄物と低レベル廃棄物(地層処分)の処分場面積 ※2

※2 処分時点のガラス固化体と低レベル廃棄物(地層処分)と使用済燃料の面積

「引き続き減少」の解析結果(低レベル放射性廃棄物(地層処分以外))

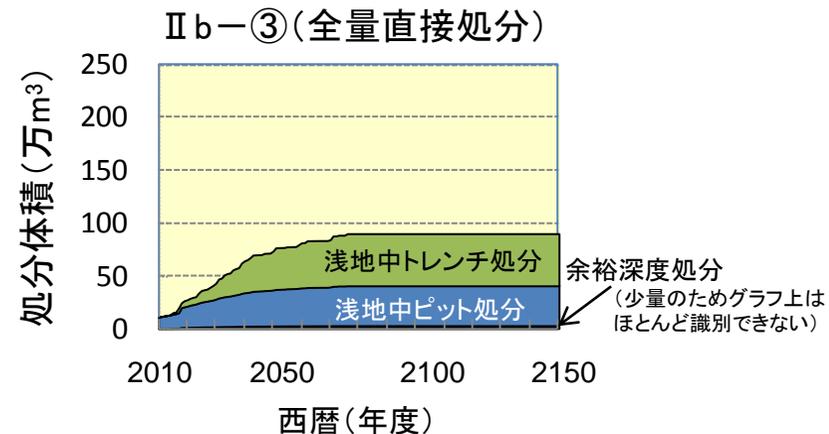
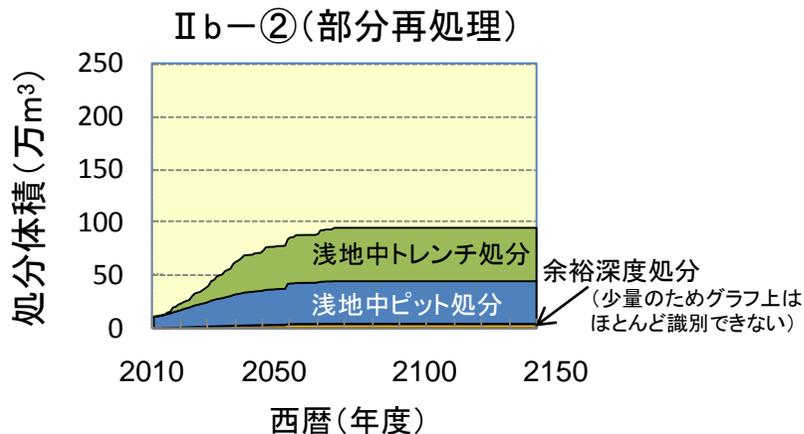
- 低レベル廃棄物は、原子力発電所の通常運転時及び廃止措置時に生じるものが大部分を占めている。
- 「部分再処理」では「全量直接処分」に比べて若干増加する。これは、主に六ヶ所再処理施設の運転時に発生する廃棄物(余裕深度処分、浅地中ピット処分)に起因する。

シナリオ	2150年までの累積処分量(体積) 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の廃棄物の合計				2150年までの 累積処分場面積
	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	合計	
Ⅱb-② 部分再処理	85万m ³	8万m ³	2万m ³	95万m ³	184万m ²
Ⅱb-③ 全量直接処分	85万m ³	5万m ³	2万m ³	91万m ³	181万m ²

四捨五入の関係で数値が合わない場合がある。

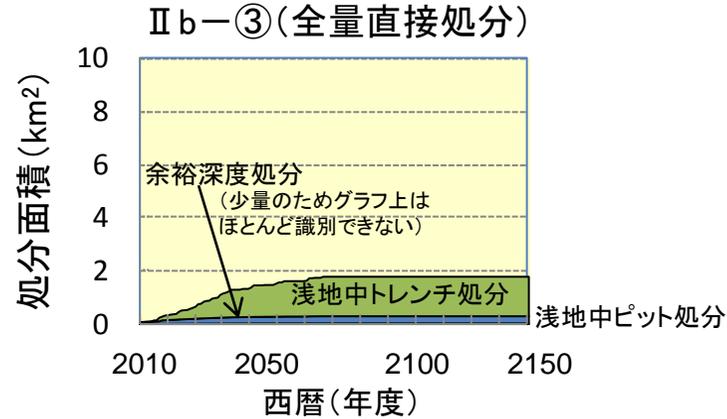
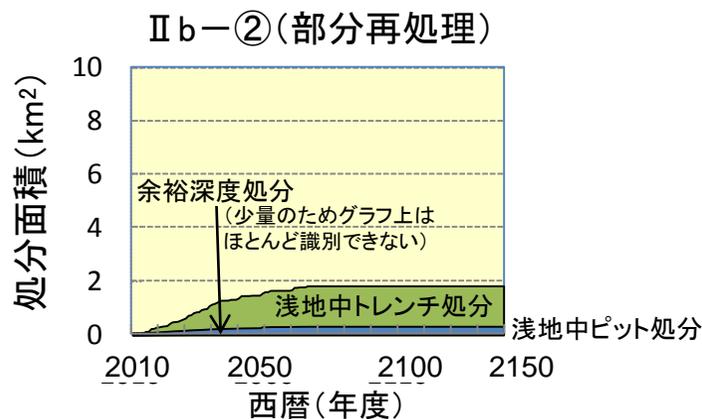
「引き続き減少」の解析結果(低レベル放射性廃棄物(地層処分以外))

- 「部分再処理」は、「全量直接処分」と比較しても、六ヶ所再処理施設の廃止措置時に発生する低レベル廃棄物(余裕深度処分、浅地中ピット処分)の発生が若干増加するものの、大きな差は見られない。



低レベル廃棄物(地層処分以外)の処分体積 ※1

※1 処分時点の低レベル廃棄物(地層処分以外)の体積



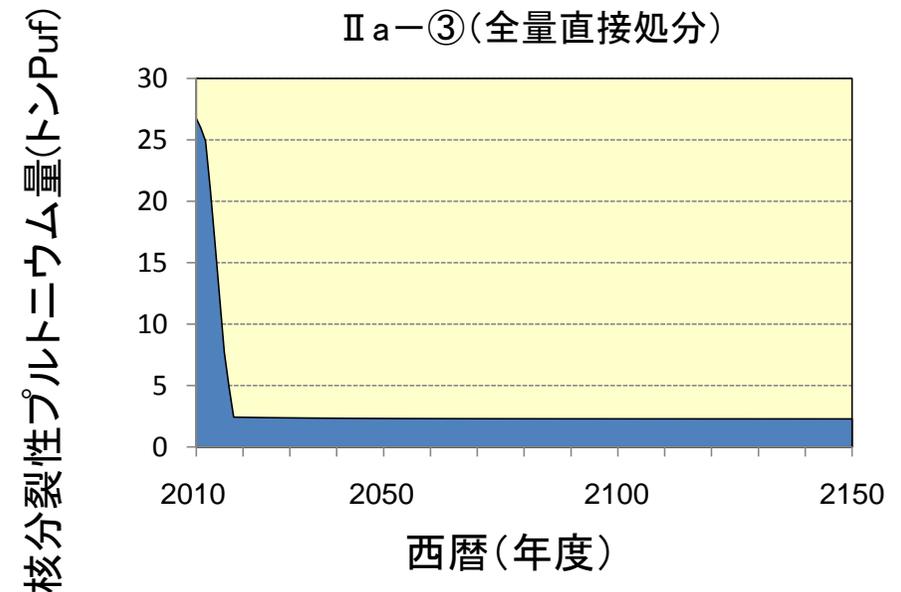
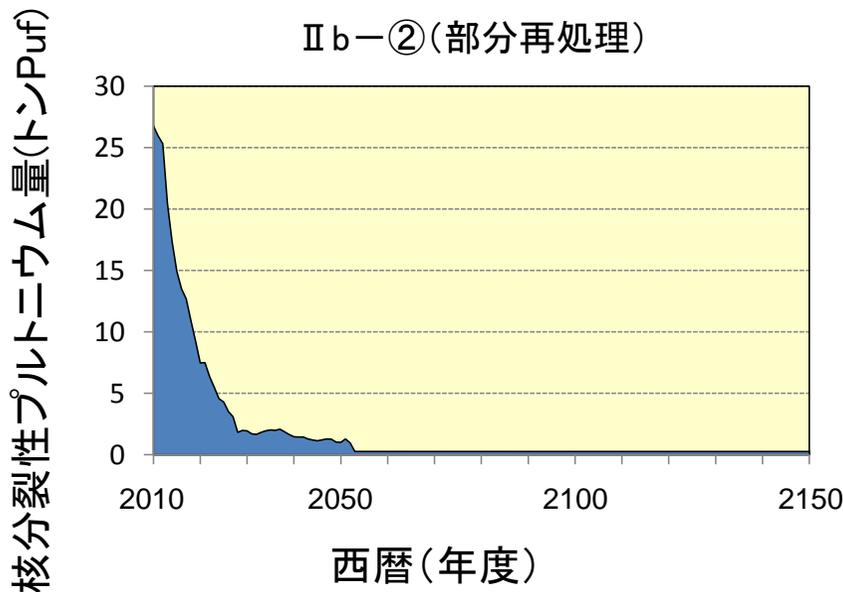
低レベル廃棄物(地層処分以外)の処分場面積 ※2

※2 処分時点の低レベル廃棄物(地層処分以外)の面積

「引き続き減少」の解析結果(Pu貯蔵量)

新規

- 「部分再処理」では、当面は現有Puに加えて再処理の実施によりPuが発生するが、プルサーマルを実施することでそれらのPuを削減できる。現有のPuが無くなった後も、Puを増やさずにバランスを取り、最終的には零にすることが可能。
- 「全量直接処分」では、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2.3トンPu_fをMOX燃料に加工する能力の確保が必要である。



核分裂性プルトニウム貯蔵量の推移

【エネルギー安全保障、ウラン供給確保】

- 「部分再処理」では、「全量直接処分」に比べウラン消費量は減少し、累積需要量は2150年時点で約3万トン少なくなる。

【使用済燃料管理・貯蔵、放射性廃棄物】

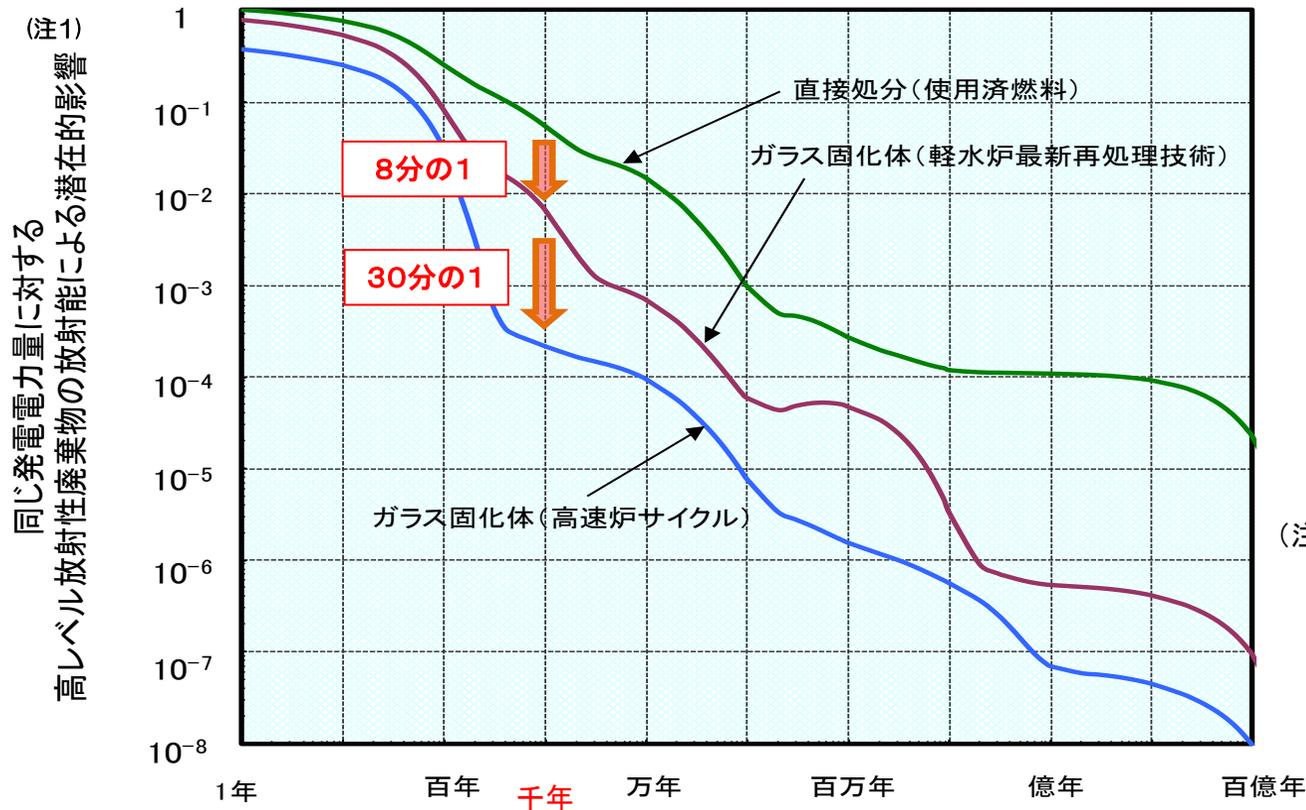
- 「部分再処理」では、2030年以降も再処理工場の稼働状況やむつりサイクル燃料貯蔵施設の閉鎖等によって、使用済燃料貯蔵容量が逼迫する可能性があるため、貯蔵容量の増強が必要である。
- 「全量直接処分」では、将来、最大2万トン程度の貯蔵容量の増強が課題となる。むつりサイクル燃料貯蔵施設や六ヶ所再処理工場のプールが利用できない場合は最大で3万トン近くの増強が必要となる。
- 地層処分する廃棄物(高レベル廃棄物、地層処分低レベル廃棄物)については、処分時の体積および面積のいずれで比較しても「部分再処理」の方が「全量直接処分」よりも小さい。
- 低レベル廃棄物(地層処分低レベル廃棄物を除く)の処分については、「部分再処理」では再処理施設の運転時に発生する低レベル廃棄物量(余裕深度処分、浅地中ピット処分)が若干増加するものの、全体量としては「全量直接処分」と比較して大きな差は見られない。

【核燃料サイクルを巡る国際的視点】

- 「部分再処理」では、当面は現有Puに加えて再処理の実施によりPuが発生するが、プルサーマルを実施することでそれらのPuを削減でき、最終的には零にすることが可能。
- 「全量直接処分」では、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2.3トンPufをMOX燃料に加工する能力の確保が必要である。

参考：高レベル放射性廃棄物の潜在的有害度(毒性)

- 「LWR直接処分」では、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再処理」では、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)が高レベル廃棄物となり、1000年後における潜在的有害度は「LWR直接処分」より1桁低減できる可能性がある。
- 「高速炉サイクル」は、「LWR直接処分」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再処理」に比べても、約1/30に低減できる可能性がある。



(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