

ステップ3の評価：2030年まで (原子力比率Ⅲのケース) (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5月8日

内閣府 原子力政策担当室

原子力比率Ⅲのケースにおける 評価シナリオについて

- 原子力比率Ⅲ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Ⅲ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。

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

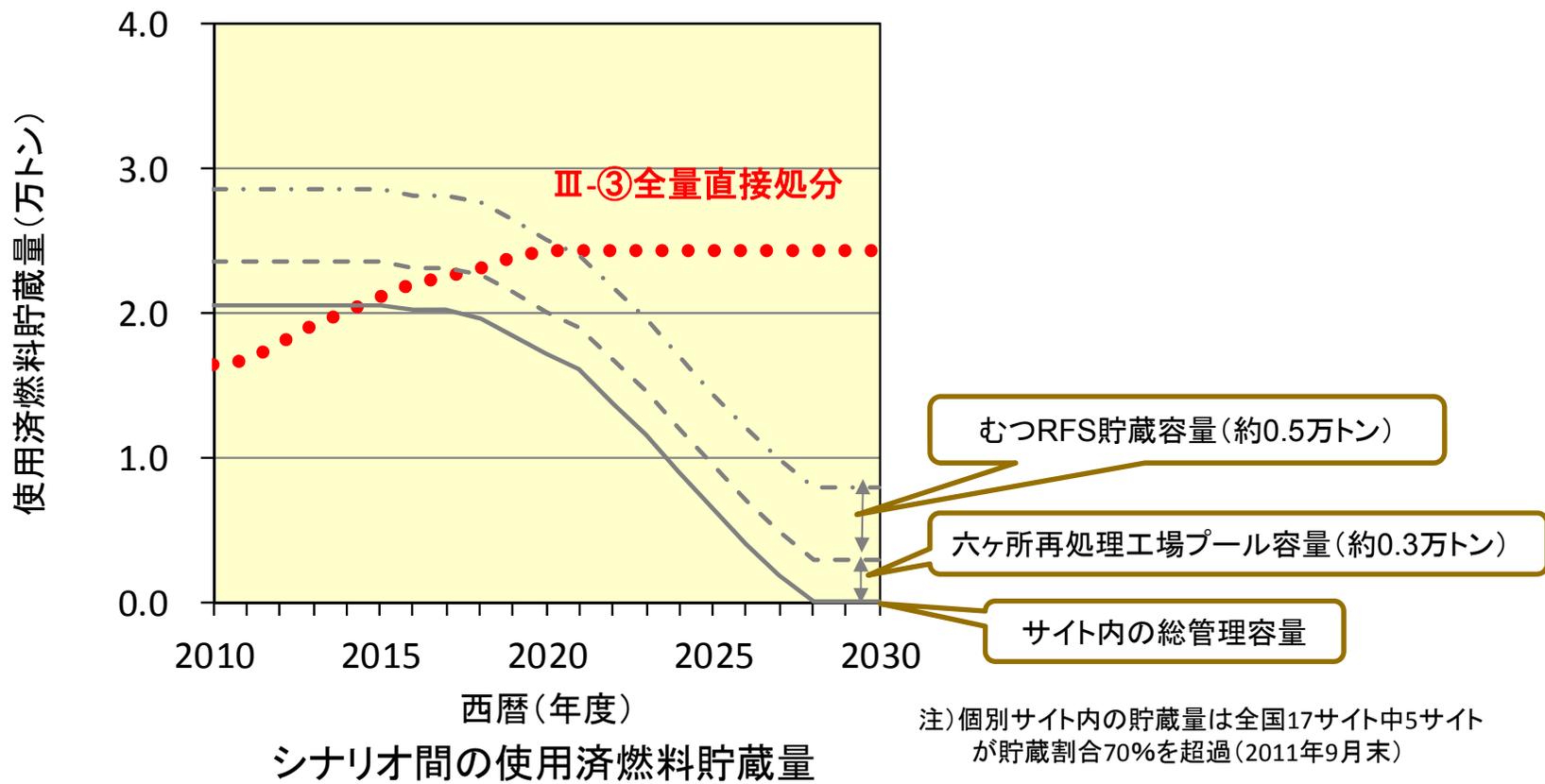
短期的に重要な課題

使用済燃料管理・貯蔵、~~放射性廃棄物~~：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)



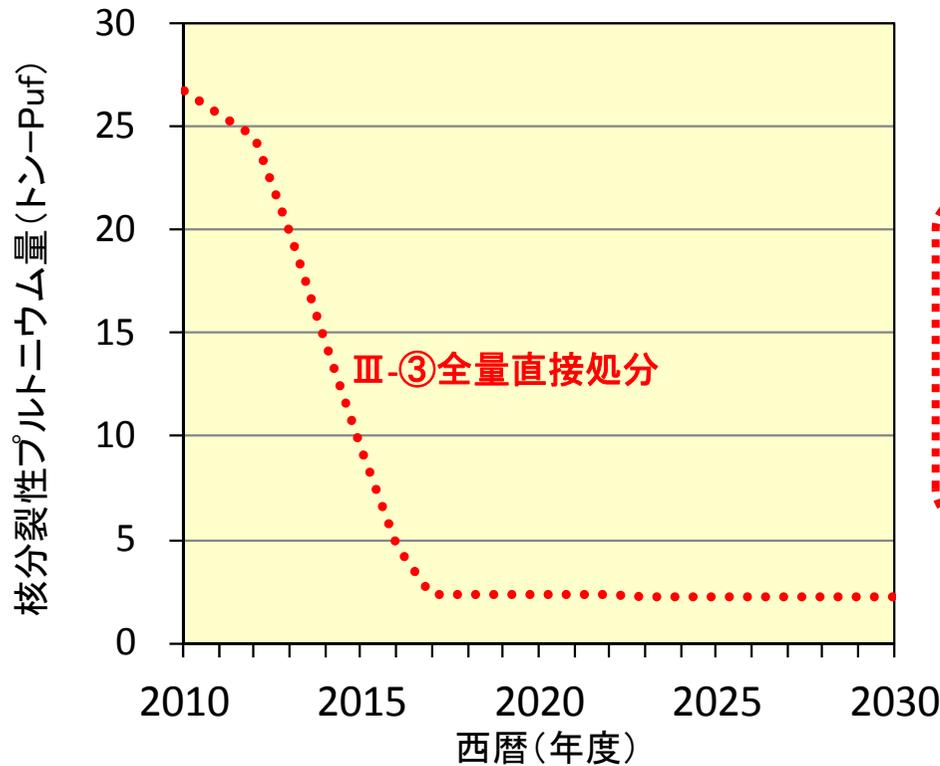
核燃料サイクルを巡る国際的視点：Pu利用（在庫量）

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)
III-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へ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。

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（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。

政策変更または政策を実現するための課題

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、サイクル事業に関連して働く約5,000人(県内出身約7割)の多くを占める事業の雇用へ影響を及ぼす可能性がある。

■ 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	

H23.4.1現在

※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

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)：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)	1.97 1.00 0.16 (1.97 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 1.27 1.24 0.04 3.57 3.86 ~ 4.23 4.51 (6.66 6.92 ~ 7.32 7.57)
合計	8.68 8.1 ~ 9.38 8.7

上記の他に立地自治体との条件の変更に伴い下記費用が発生する可能性がある。*

0.39兆円

*: 詳細については21ページ参照

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 —算定の考え方—

共通事項

- 各シナリオ毎の総費用(2010～2030年)は下記の考え方で算出
シナリオに基づく核燃料サイクルの総費用
＝ベース値＋シナリオを実現するために今後追加となる費用

- ベース値
サイクルコスト*(円/kWh) × 2010～2030年の総発電電力量(kWh)

*: 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。

- なお、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も算定

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 —ベース値—

- 本小委員会で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 (全量直接処分)
単位:円/kWh, 割引率3%	
ウラン燃料 MOX燃料※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※2 (バックエンド計)	--- 0.09 --- 0.11~0.12 (0.20~ 0.21 0.22)
合計	1.01 1.02~1.03

× 2.0兆kWh (2010~2030年の総発電電力量)

ベース値	2.0~2.1兆円
------	-----------

※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めていない。

※2 原子力比率Ⅲ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。

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 —シナリオを実現するために今後追加となる費用—

		シナリオ3
六ヶ所再処理事業中に伴う費用	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
	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 <small>*: 現在未建設だが操業中と廃止中に使用する設備</small>	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の貯蔵管理・処分関係費用	α
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

出典：日本原燃からの提供等に基づく

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 —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—

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リスクもある。
(第13回資料第1-4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)

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 — 比率Ⅲ (総発電電力量2.0兆kWh) まとめ —

		シナリオ3 (全量直接処分)
1	ベース値	2.0～2.1兆円
2	未償却資産の 見合い費用	1.78兆円
	廃止に必要な設備・廃止措置費用等	1.82兆円
	既発生分の使用済燃料の直接処分とガラス 固化体の処分費用差	1.02兆円
上記の他に立地自治体との条件の変更に伴い下記費用が発生する可能性がある。*		
3		0.39兆円

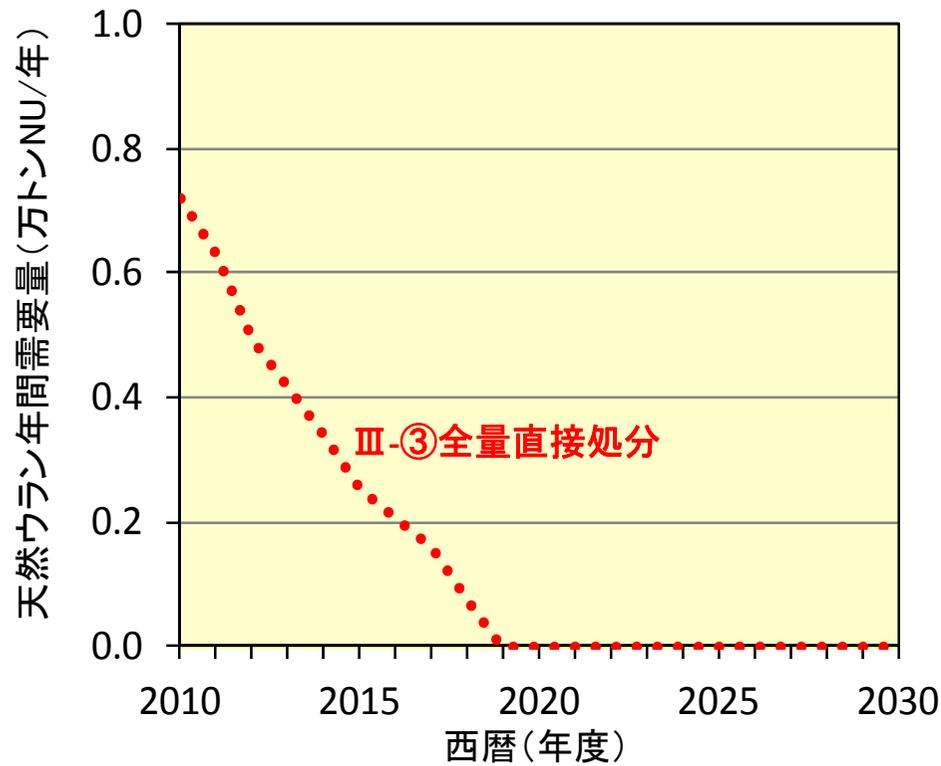
*: 詳細については21ページ参照

エネルギー安全保障：資源節約、燃料危機への抵抗力

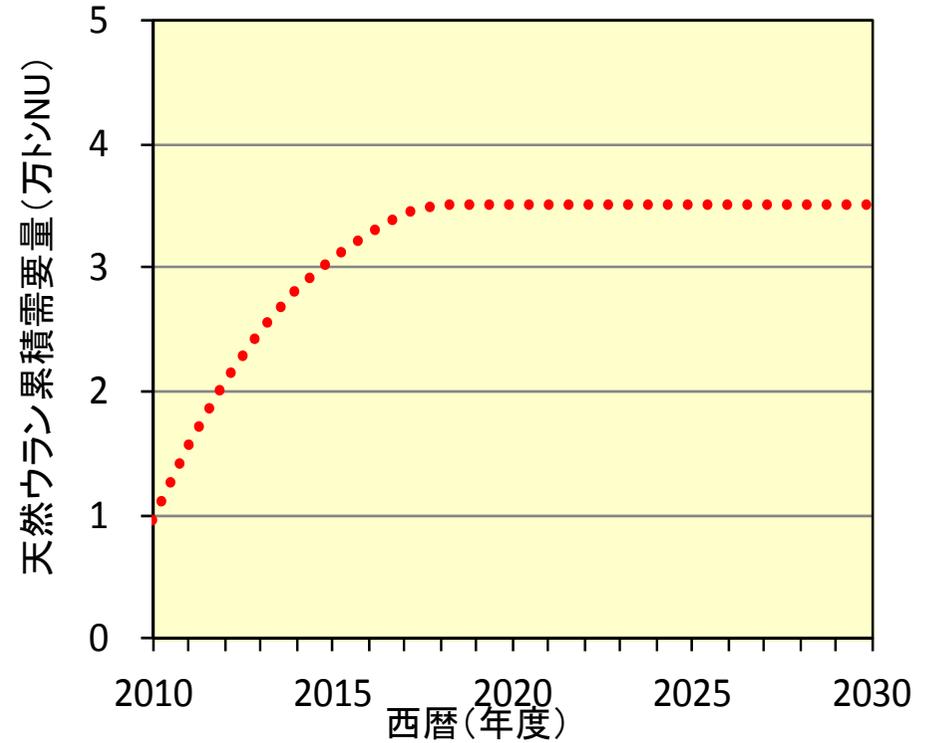
シナリオ3(全量直接処分)

- 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

~~使用済燃料管理・貯蔵~~、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m³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）

~~使用済燃料管理・貯蔵~~、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）

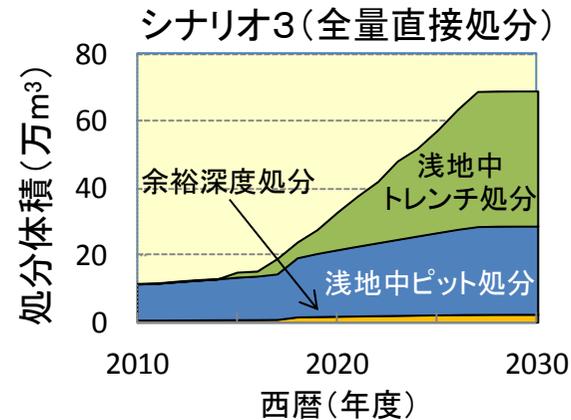
シナリオ3(全量直接処分)

- 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。

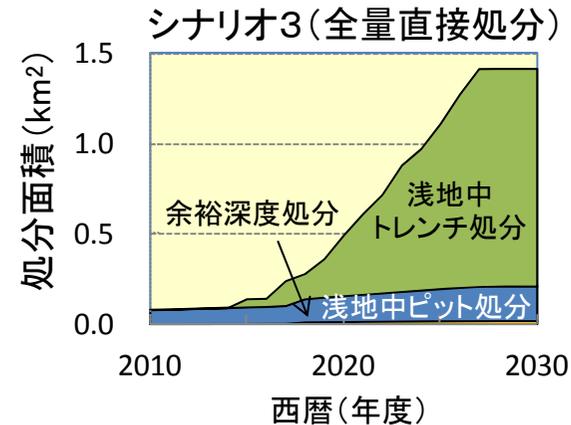
シナリオ	2030年までの発生量 余裕深度処分、浅地中ピット処分及び浅地中トレンチ処分廃棄物の合計			埋設する場合の 廃棄物量の 合計体積 (換算)	廃棄物処分 施設の合計 面積 (換算)
	原子炉からの 廃棄物	再処理施設からの 廃棄物	その他の廃 棄物		
シナリオ3(全量直接処分)	63万 ^{m³}	4.7万 ^{m³}	1万 ^{m³}	68万 ^{m³}	142万 ^{m²}

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

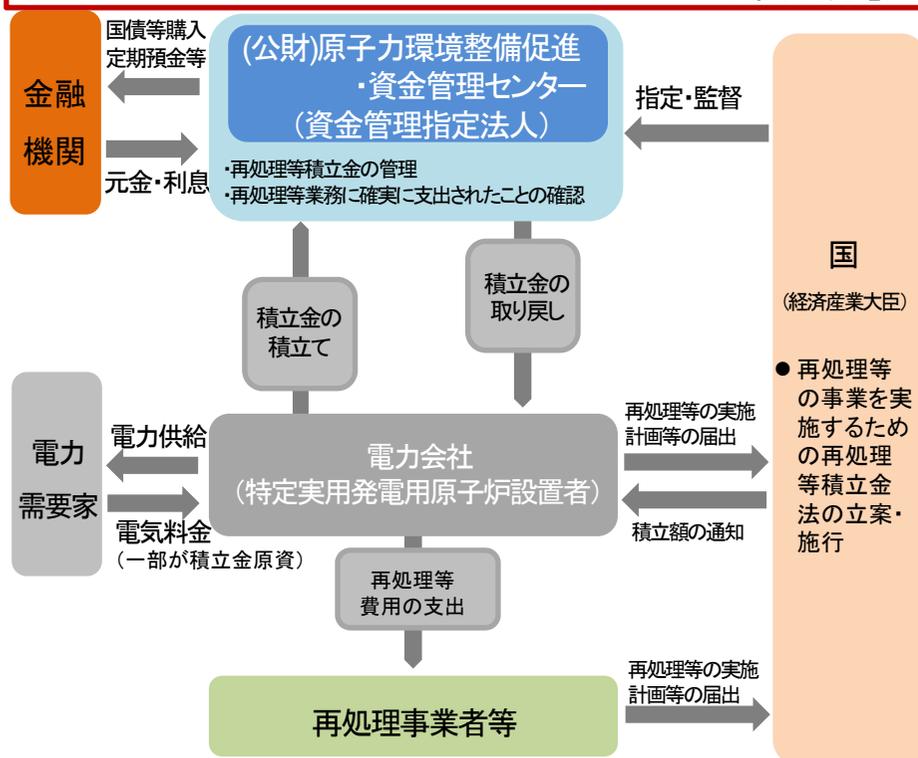
シナリオ3(全量直接処分)

- 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)。
- 使用済燃料は廃棄物として取扱われると固定される。
- 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

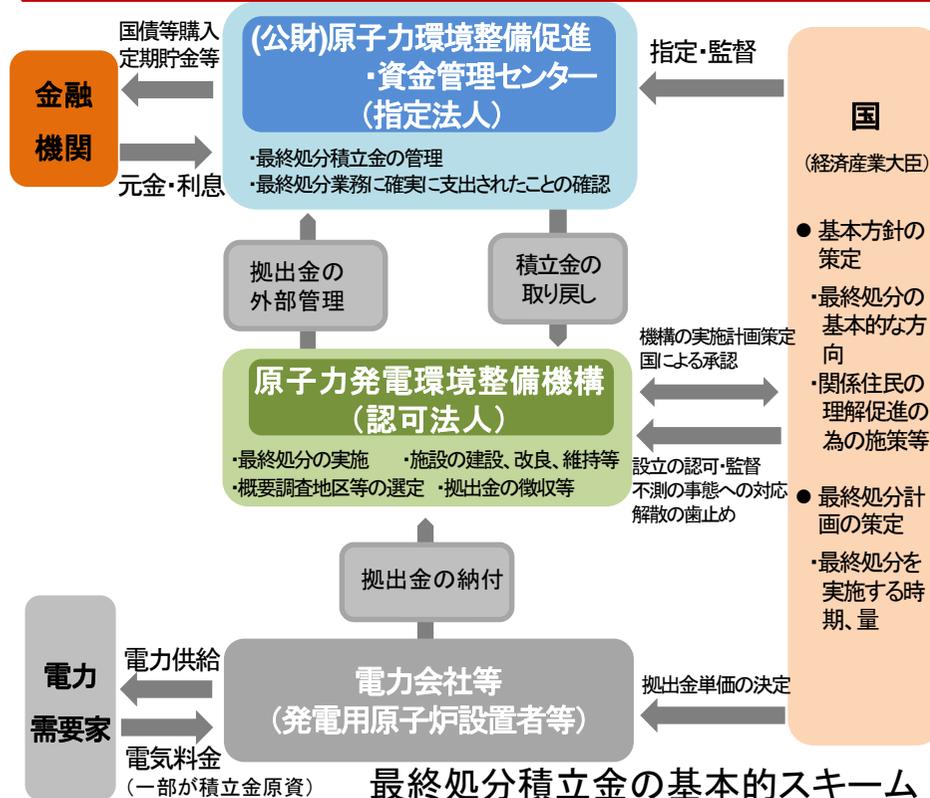
※総見積額は法に基づき算定

- 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
TRU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
TRU廃棄物分	—	—	—	95	137	175	216
合計	4,236	4,999	5,763	6,592	7,530	8,375	9,014

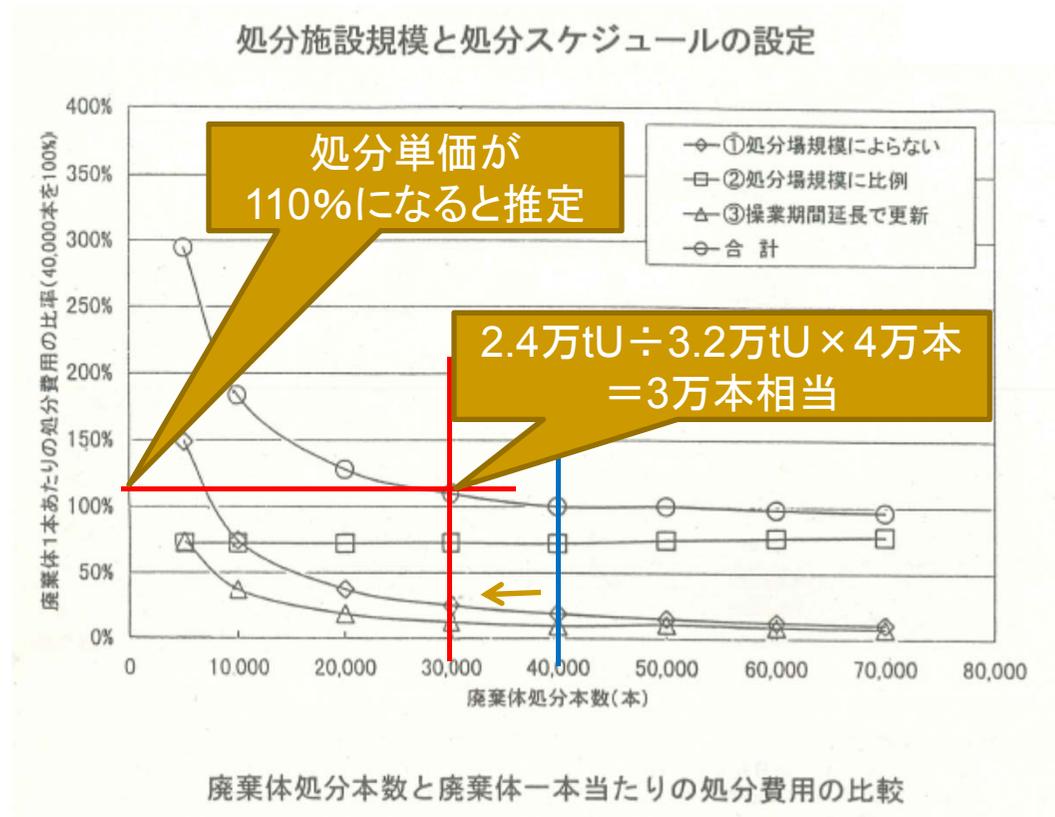
出典:(公財)原子力環境整備促進・資金管理センターHP

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； 30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Ⅲ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。