

研究指導 石光 真 教授

使用済み核燃料をどう処分するか

川崎 亜加里

1. 研究の動機・目的

日本では1963年10月26日から今日に至るまで、原子力発電所を稼働させてきた。

しかし、稼働に際し発生する使用済み核燃料¹の処分の仕方については方針を決めずに始動してしまった。そして今日に至っても未だにその用途は立っていない。日本の原子力発電は「トイレのないマンション」に例えられることがある。

これから原子力発電を続けるにしても続けられないにしても、これまでに発生した使用済み核燃料の処分の仕方については考えなければならない。この問題は日本のみの問題ではなく、原子力発電を用いているすべての国にも共通する問題²となっている。

本研究では、使用済み核燃料の処分の仕方について日本ではどう扱うべきかを、現在考えられている処分の仕方や各国の例を通して判断する。

2. 放射性廃棄物の種類

放射能のレベルによって「高レベル」と「低レベル」に分類される。また、放射性廃棄物は、原子力発電所や核燃料サイクル施設から発生するものが大部分を占めるが、大学、研究所、医療施設等からも発生する。

表 1 放射性廃棄物の種類と原発からの発生廃棄物例

廃棄物の種類		廃棄物の例	
低レベル放射性廃棄物	発電所廃棄物	放射能レベルの極めて低い廃棄物	コンクリート、金属等
		放射能レベルの比較的低い廃棄物	廃棄材、消耗品等を固形化
		放射能レベルの比較的高い廃棄物	燃料棒、炉内構造物
	ウラン廃棄物		消耗品、スラッジ
	超ウラン核種を含む放射性廃棄物(TRU廃棄物)		燃料棒の部品、廃液、フィルター
高レベル放射性廃棄物		ガラス固化体	

出所：http://www.japc.co.jp/

日本原子力発電株式会社のデータを元に川崎が作成

3. 日本の現状

低レベル放射性廃棄物の処分については、青森県六ヶ所村にある低レベル放射性廃棄物埋設センターに搬入後埋設処分されている。浅地中処分³、コンクリートピット処分⁴、余裕深度処分⁵等の、濃度に応じた埋設処分がされている。

特に余裕深度処分については、図1、図2のような黄色いドラム缶に低レベル放射性廃棄物を入れる。そのドラム缶を横にした状態でセメントで固め、埋設している。横にするのは縦にしたときよりも倒れにくく、深さがいらないためということである。



図 1 余裕深度処分



図 2 余裕深度処分 2

出所:青森県六ヶ所村エネルギーパークにて川崎が撮影

日本での高レベル放射性廃棄物処分に関する政策は、『特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律』⁶に基づき、原子力発電環境整備機構(以下NUMO⁷)がその担当として進められている。そして、最終処分法は「最終処分は、地下300メートル以上の深さの地層に安全確実に埋設する形で行う」と定められており、日本では“最終処分＝地層処分”となっている。

³ 人工構築物を設けない埋設処分

⁴ コンクリートピットを設けた処分

⁵ 一般的な地下利用に対し、十分余裕を持った深度(地下 50-100m)へ処分

⁶ 2000年に制定

⁷ Nuclear Waste Management Organization of Japan

¹ 原子炉内で、ある一定の燃焼を終了した燃料

² 8章 諸外国の状況にて後述

NUMOでは、放射性廃棄物の安全・確実な地層処分を目指して取り組んでいる。また地層処分のモデルプランを3つ提案しており、それぞれ想定される地域像を発表している。

・モデルプラン1で想定される地域像

人口5千人程度の町。町財政の歳出総額は20億円程度、財政力指数0.2程度。

・モデルプラン2で想定される地域像

人口1万人程度の町。高齢化の進展が顕著。町財政の歳出総額は50億円程度、財政力指数0.2程度。

・モデルプラン3で想定される地域像

人口3万人程度の市。市財政の歳出総額は120億円程度、財政力指数は0.4程度。

このように、人口が少なく財政が苦しい自治体で地層処分をしたいという考えがわかる。また、公募で処分地を選ぶことになっている⁸。これまで1箇所⁹のみしか応募しておらず、未だ処分地が決まらない状況にある。

これまで「全量再処理¹⁰」という方針のもとに進められてきたが2005年に「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」を見直し、4つのシナリオを想定して10項目¹¹により総合的に比較検討がされた。また、2012年6月21日に内閣府原子力委員会は「核燃料サイクル政策の選択枝」で、2030年時点における原発依存度別に4つの選択枝を発表した。

3.1. 処理処分法のシナリオ

・シナリオ① 全量再処理

使用済み核燃料は適切な期間貯蔵された後、六ヶ所村の再処理工場で再処理をする。

・シナリオ② 部分再処理

使用済み核燃料は再処理をするが、再処理能力を超えるものは直接処分をする

・シナリオ③ 全量直接処分

使用済み核燃料は全量直接処分をする

・シナリオ④ 当面貯蔵

使用済み核燃料は当面貯蔵し、その後再処理をするのか、直接処分をするかの選択をする。

3.2. 2030年時点の原発依存度別の選択枝

震災前の2010年に全電源のうち25%を占めていた原子力発電比率について、2030年までに0%、15%、20%、35%の4つを検討している。

・選択枝①原子力0%

原子力発電所の新增設を行わずに、できるだけ早く原子力発電比率をゼロにすること。

政策としては、全量直接処分が適切。

・選択枝②原子力15%

原子力依存度低減を基本として2030年時点で原子力発電比率を15%程度まで下げる。

政策としては、再処理・直接処分併存が適切。

・選択枝③原子力20-25%

震災前よりも低減させるが、その後新增設を行い一定程度維持する。2030年時点での原子力発電比率を概ね20-25%程度とする。

政策としては、再処理・直接処分併存が有力(将来の不確実性を重視した場合)。また全量再処理も有力。

・選択枝④原子力35%

原子力発電所の増設を行い、震災前よりも原子力発電比率を高め2030年時点で原子力発電比率を35%程度にということ。

政策としては、全量再処理が適切。

表 2 選択枝・政策別コスト試算

単位:兆円 割引率3%	0%	15%	20%	35%	
	全量直接処分	併存	併存	全量再処理	全量再処理
ウラン燃料	0.94	2.17	2.66	2.66	3.57
MOX燃料	0.14	0.47	0.57	0.57	0.57
(フロントシート)	1.08	2.46	3.23	3.23	4.4
最終処理等	1.19	4.13	4.21-4.23	4.23	4.45
中間貯蔵	1.07	0.25	0	0	0.08
高レベル廃棄物処分	0.02	0.82	0.85-0.86	0.86	0.88
直接処分	0.97-1.11	-	0.00-0.01	-	-
(バックシート)	3.25-3.39	5.2	5.06-5.1	5.09	5.41
合計	4.3-4.5	7.8	8.29-8.33	8.3	9.5

出所：内閣府原子力委員会のデータを元に川崎が作成

⁸ 2002年から公募開始

⁹ 2007年に高知県東洋町が立候補したが、住民の反対で取り下げた。2009年に福島県楢葉町の草野町長が、誘致を検討する意向を示したと報道されている。

¹⁰ 5章再処理 について後述

¹¹ 20①安全の確保、②技術的成立性、③経済性、④エネルギー安定供給、⑤環境適合性、⑥核不拡散性、⑦海外の動向、⑧政策変更に伴う課題、⑨社会的受容性、⑩選択枝確保

4. 核燃料サイクルとは

原発で使い終わった使用済み核燃料を再処理してウランやプルトニウムを取り出す。これらを再度加工等の過程を経て核燃料として原子炉で再利用をする。再利用できない元素は廃棄物となる為、処理・処分される。この一連の過程を核燃料サイクル¹²という。また、再処理工場、MOX燃料工場、原子力発電所のサイクルをプルサーマル¹³と呼ぶ。

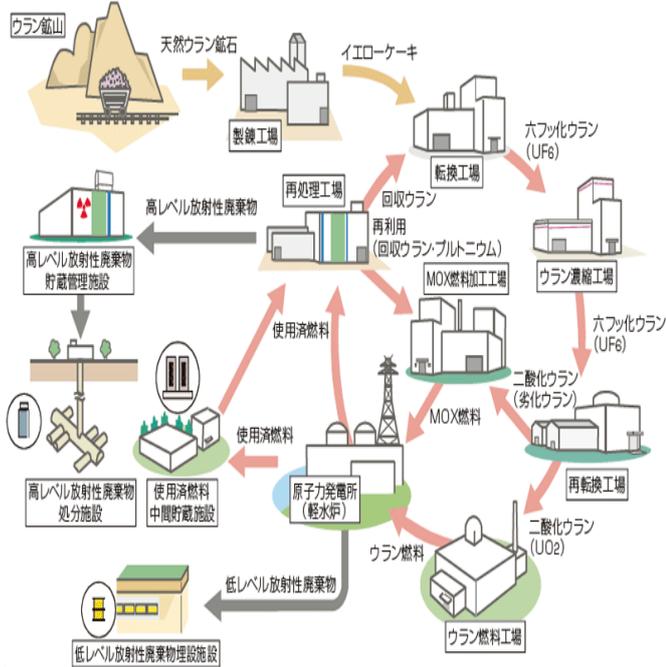


図 3 核燃料サイクル

出所:「原子力・エネルギー」図面集 2012

5. 再処理

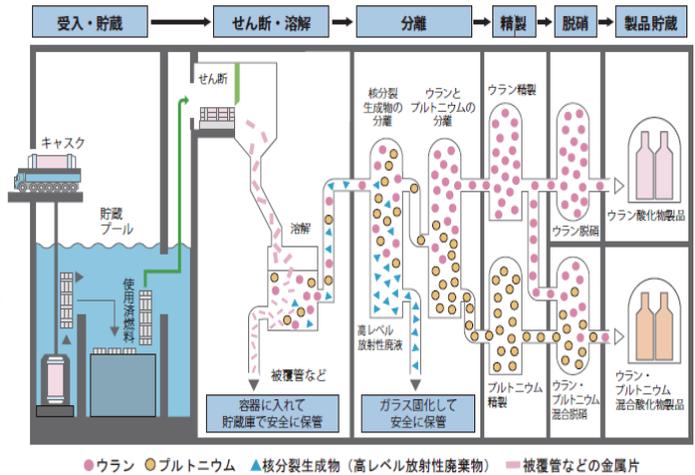
原子炉で使用した燃料の中に、燃え残りのウランや新しく生成されたプルトニウムなどがある。その中には、放射能を持った核分裂生成物などが含まれている。これを再使用できるものとそうでないものに分ける作業のことを再処理いう。またこれを行う施設を再処理工場という。日本には、青森県六ヶ所村で2013年10月に竣工予定。

¹² 日本では茨城県東海村に再処理工場、青森県六ヶ所村には 濃縮工場、再処理工場、MOX燃料工場、低レベル放射性廃棄物埋設センター、高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターがある。

¹³ プルサーマル=プルトニウム+サーマルリアクター
MOX 燃料を原子力発電所(軽水炉=サーマルリアクター)で利用すること。日本での事前合意が成立しているプルサーマル発電計画の場所は、浜岡原子力発電所4号機、高浜原子力発電所4号機、島根原子力発電所2号機、泊原子力発電所3号機、女川原子力発電所3号機である。

六ヶ所村には図1にあるように高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターがある。ここでは、再処理後に出る高レベル放射性廃棄物を30-50年冷却保管ができる。

図 4 再処理の手順



出所:「原子力・エネルギー」図面集 2012

5.1. 再処理のメリット

- ・高レベル放射性廃棄物の体積が低減。
- ・有害度が元の天然ウランと同じレベルになる為に必要な期間が短い

5.2. 再処理のデメリット

- ・ウラン価格が安い場合は、再処理のコストが割高
- ・プルトニウムが生成されるため、核不拡散のための監視が必要になる。

6. 直接処分

使用済み核燃料を再処理することなく、そのまま地層処分などをする。方法としては、地層処分が選択されている。地層処分は深い地層が本来持つ、物質を閉じ込める性質を利用する。他に検討されたものには、宇宙処分、海洋底処分、氷床処分、長期管理がある¹⁴。

6.1. 直接処分のメリット

再処理に比べてコストを抑えることができる

6.2. 直接処分のデメリット

- ・廃棄物の量が多くなるため環境負荷が大きい
- ・再処理よりも使用済み核燃料が増えるため、収納に必要な容量が必要

¹⁴ 技術や条約等により、廃止された。

7. 直接処分と再処理の比較

表 3 直接処分と再処理の有害度・コスト比較¹⁵

比較項目		技術オプション	直接処分	再処理	
				軽水炉	高速炉
廃棄物の発生体積比			1 \xrightarrow{a}	約0.22	約0.15
潜在的有害度	天然ウラン並になるまでの期間		約10万年	約8千年	約300年
	1000年後の有害度		1 \xrightarrow{c}	約0.12	約0.004
コスト	核燃料サイクル全体(フロント・バック計)		1.00~1.02円/kWh	1.39~1.98円/kWh	試算なし
	処分費用		0.10~0.11円/kWh	0.04~0.08円/kWh	高速炉用の第二再処理工場が必要の為

出所：http://www.aec.go.jp/

内閣府原子力委員会のデータを元に川崎が作成

表 3 から発生体積比を比べると軽水炉は直接処分の(a)約 4 分の 1 に減容化する。高速炉¹⁶は直接処分の(b)約 7 分の 1 に減容化する。有害度を比べると、軽水炉は直接処分の(d)約 8 分の 1 に低減。高速炉は直接処分の(d)約 240 分の 1 に低減する。

このことから直接処分よりも再処理のほうが、発生体積と有害度が減るといことがわかる。最終処分をする上で発生体積を抑えられることは収容に必要な容量も減ることにつながる。また有害度が減るといことも将来の世代に対し、あまり負担をかけずに済むことになる。しかしコストは再処理をすることのほうがかかるため、経済的には直接処分が有利になる。ここから何に重点を置いて処理処分法を選択するかが問題になる。

8. 諸外国の放射性廃棄物処分状況

諸外国でも地層処分が検討されており、国によってはサイトも決定されている。また、工事が始まっているところもあり、地層処分に向けて進んでいる。しかしほ

¹⁵ 発生体積比は直接処分時のキャニスタを 1 としたときの相対値。潜在的有害度の上欄は 1GWy を発電するために必要な点ウラン量の潜在的有害度と等しくなる期間を示す。下欄は直接処分時を 1 としたときの相対値。

¹⁶ 核分裂反応で生じる高速中性子を、減速させずに連鎖反応を起こさせるようにした原子炉。高速増殖炉は、運転しながら燃えないウランを燃えるウランへと、効率よく変える原子炉である。日本では高速実験炉常陽、もんじゅがある。

とんどの国で、サイトの決定まで至っていないのが現状である。

表 4 諸外国の高レベル放射性廃棄物処分

国名	状況	処分場の候補サイト	処分開始予定時期
フィンランド	処分地決定	ユーロヨキ自治体/オルキルオ	2020年頃
スウェーデン	処分地選定	エストハンマル自治体/フォルスマルク	2025年頃
フランス	詳細な地下調査実施中	未定 (ビュール地下研究所近傍予定)	2025年頃
アメリカ	未定	ネバダ州ヨッカバウンテン事業廃止により代替案検討中	2020年頃
ドイツ	候補地で探査活動実施中	未定	2035年頃
イギリス	処分地選定開始	未定	2040年頃
カナダ	処分地選定開始	未定	2035年頃
スペイン	処分地選定活動凍結中	未定	2050年頃
中国	処分地選定中	未定	2050年頃

出所：http://www2.rwmc.or.jp/wiki.php?id=start

「諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について」を元に川崎が作成

9. 考察

9.1. 直接処分・再処理について

使用済み核燃料を再処理することが適切だと考える。原発を稼働する場合でも停止する場合でも再処理はすべき。再処理することによって、廃棄物が減るため、青森県六ヶ所村にある施設を十分に活用すべきである。しかし、原発を稼働させるか否かによって再処理に際して発生する MOX 燃料¹⁷の扱い方が変わる。

9.1.1. 原発を稼働させる場合

日本はエネルギー資源が乏しいため、エネルギー源のほとんどを外国から輸入している。そのため国産の MOX 燃料を利用することにより、エネルギー自給率を上げることが可能になる。また、化石燃料やウランの価格が高騰した場合の対策にもなるため、コスト面で評価される。

¹⁷ 混合酸化物(Mixed OXide)燃料
再処理工場で使用済燃料から取り出した プルトニウムとウランを混合させて作る燃料

9.1.2. 原発を停止する場合

国内での MOX 燃料の利用は、原発を停止するため不可能となる。そのため MOX 燃料を無駄にしないために、生成された MOX 燃料は原子力発電を盛んに行っている国に輸出する。そしてその輸出した資金で天然ガス等を輸入することも可能になる。

9.2. 最終処分について

日本での地層処分は火山や地震、地下水など地盤の不安定さのために、問題がある。諸外国の中でも特にフィンランドはほぼ全土に 15 億年以上も地震などが発生していない安定した地盤がある。このような土地での地層処分は、日本に比べて安心してできるであろう。未だサイト選定もされていない中で、本当に日本で地層処分が可能なのだろうか。

だが、廃棄物を発生させてしまっているため、自国で責任を負わなければならないであろう。このまま NUMO への応募がなければ、「ごみは出したところで処分する。」という考えに従い、原子力発電所を設けている地域に責任をもって処分させるべきである。その場合においてもその地域でもっとも地盤が安定している所や、人口が少ない所など、地層処分にするにふさわしい条件に近い場所へと決めるべきである。

しかし地盤が不安定な日本に無理やり埋設をして事故が発生してしまうという事態に陥っては問題である。そこで国土面積が広くて人口密度が低く、地盤が安定しているロシアのシベリアやモンゴルのような所へ委託するということも考えられる。日本のように国土面積が狭く地盤が不安定な所で、処分するよりも安心してできるであろう。委託せずとも土地のみを借りて、日本人が作業するというだけでもよい。どちらにせよ他の国に頼るのであれば、その分その国へ迷惑をかけることになる。そのためにも国内での再処理をして、少しでもごみを減らすというできる限りの努力はすべきである。

主要参考文献・URL

- 池田信夫『原発「危険神話」の崩壊』(PHP 新書)
 入江一友『原子力に未来はあるか』(エネルギーフォーラム新書)
 原子力発電環境整備機構『地層処分とその安全性』
 齊藤誠『原発機器の経済学』(日本評論社)
 竹田敏一『知っておきたい原子力発電』(ナツメ社)
 多湖敬彦『日本発次世代エネルギー』(Gakken)
 電気事業講座変種委員会『原子燃料サイクル』(エネルギーフォーラム)
 古川和男『原発安全革命』(文春新書)
 山名元『間違いだらけの原子力・再処理問題』(WAC BUNKO)
 原子力発電環境整備機構「知ってほしい今、地層処分」(パンフレット)
 原子力発電環境整備機構「ともに創る地域の未来」(パンフレット)
 六ヶ所村次世代エネルギーパーク (パンフレット)
 原子力教育を考える会 <http://www.nuketext.org/index.html>
 原子力資料情報室(CNIC) <http://www.cnic.jp/>
 原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画
<http://www.rwmc.or.jp/law/file/2-14.pdf>
 原子炉の種類と歴史
<http://www.konoie.com/nuclear/episode/develop.html>
 原子力白書
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/index.htm>
 原子力発電環境整備機構 <http://www.numo.or.jp/>
 原子力百科事典 ATOMICA
<http://www.rist.or.jp/atomica/index.html>
 政界往来 <http://www.seikai.jp/>
 電気事業連合会 <http://www.fepc.or.jp/nuclear/index.html>
 内閣府原子力委員会 <http://www.aec.go.jp/index.html>
 日本原子力発電株式会社 <http://www.japc.co.jp/>
 日本原燃株式会社 <http://www.jnfl.co.jp/>
 山口聡「核燃料サイクルをめぐる議論」
<http://www.ndl.go.jp/jp/data/publication/issue/0473.pdf>
 六ヶ所村次世代エネルギーパーク
<http://www.rokkasho.jp/6energypark/>