



核燃サイクル問題入門

松久保 肇 (NPO法人原子力資料情報室)



核燃料サイクル問題

ロッシング・ウラン鉱山(ナミビア)



核燃料サイクルと日本

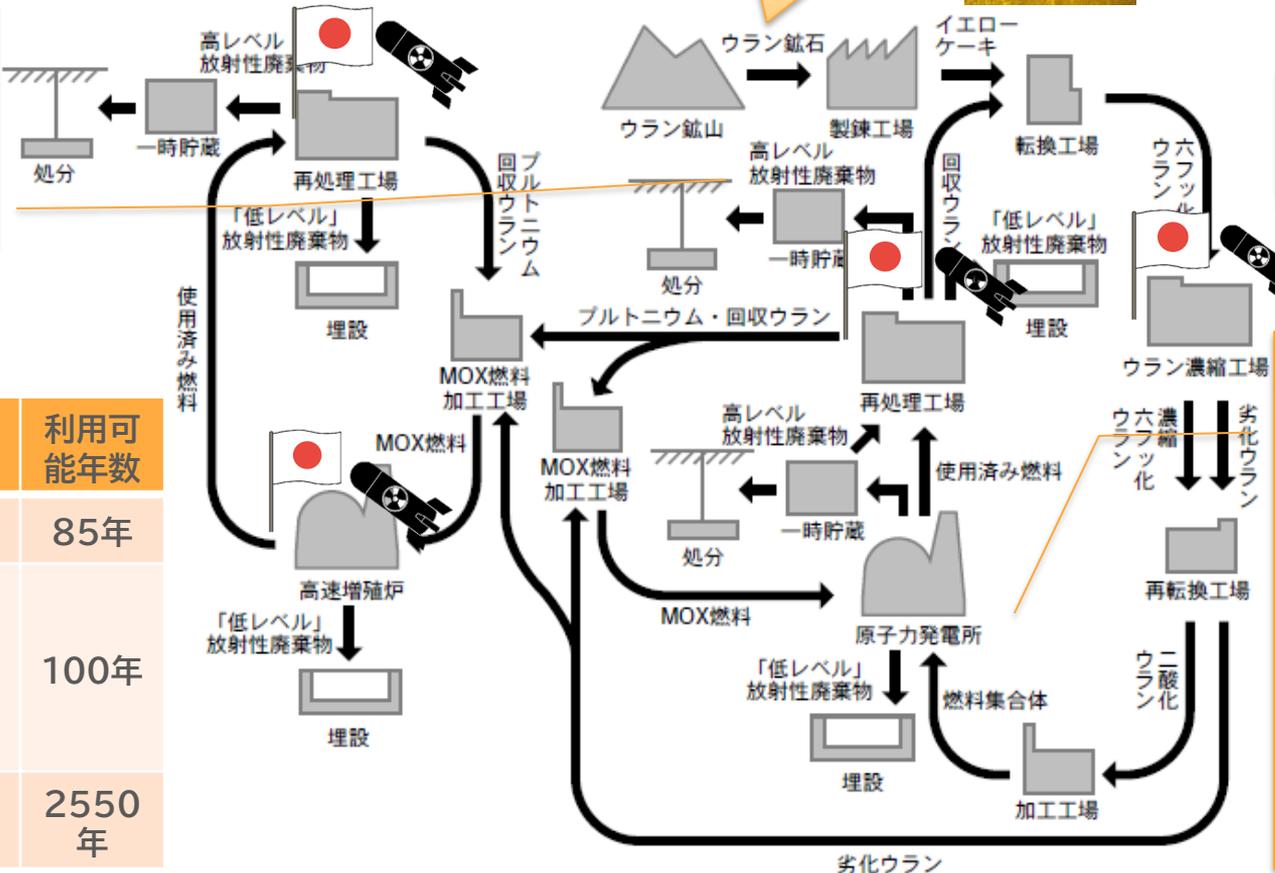
使用済燃料1トン(6体)の再処理で1本のガラス固化体(500kg)が発生。
1トンの3%=30kgの核分裂生成物が500kgのガラス固化体に

ウラン鉱石に含まれるウラン: 1%以下



天然ウランのウラン235含有率: 0.7% → 3~5%に濃縮

	利用可能年数
ワンスルーサイクル	85年
プルサーマル(使用済み燃料を再処理して分離したプルトニウムを原発で利用)	100年
高速増殖炉サイクル	2550年



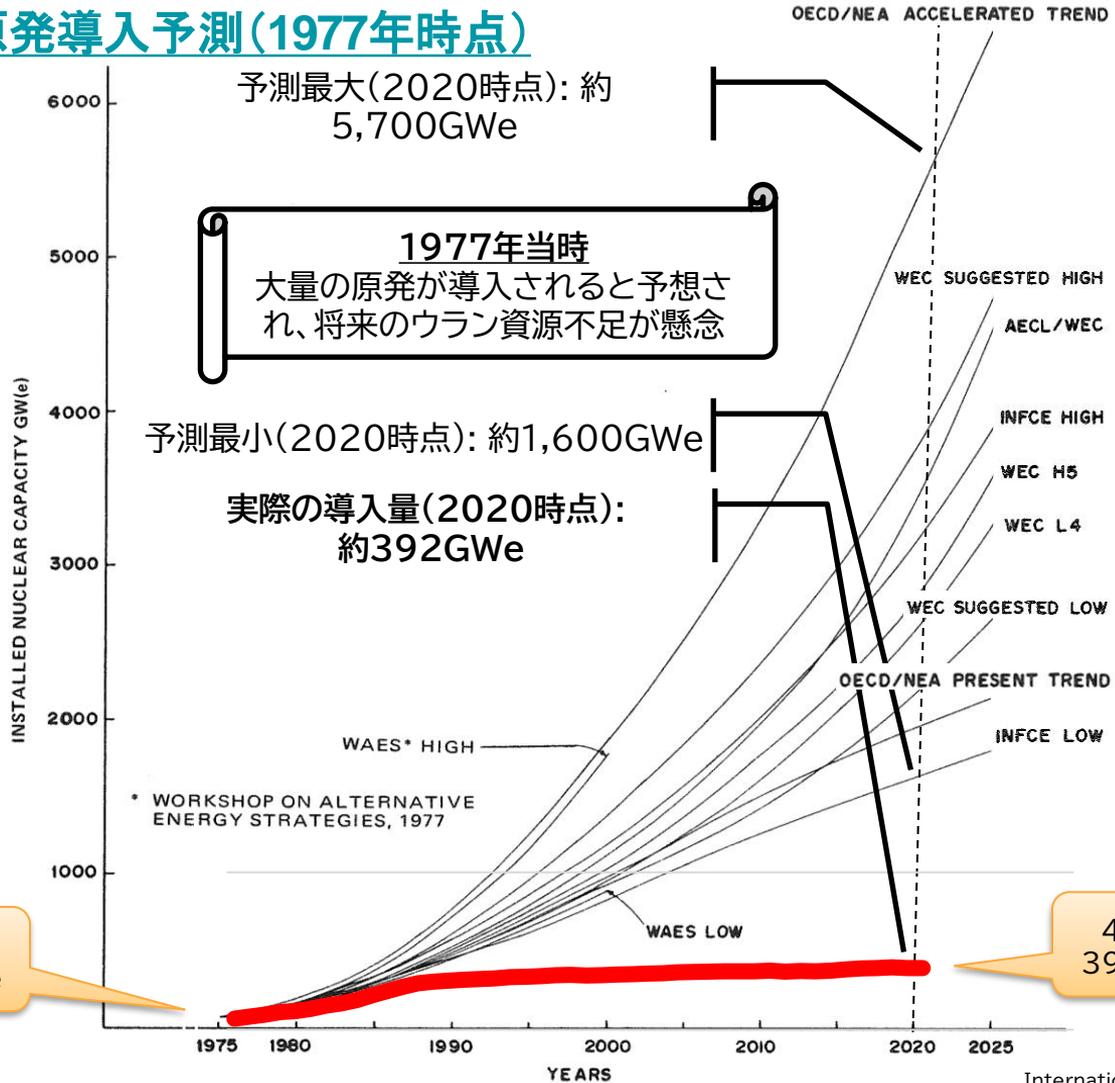
核燃料の組成
ウラン238: 97%
ウラン235: 3%

↓

使用済燃料の組成
ウラン238: 95%
ウラン235: 1%
プルトニウム: 1%
核分裂生成物: 3%

劣化ウラン

過去の前導入予測(1977年時点)



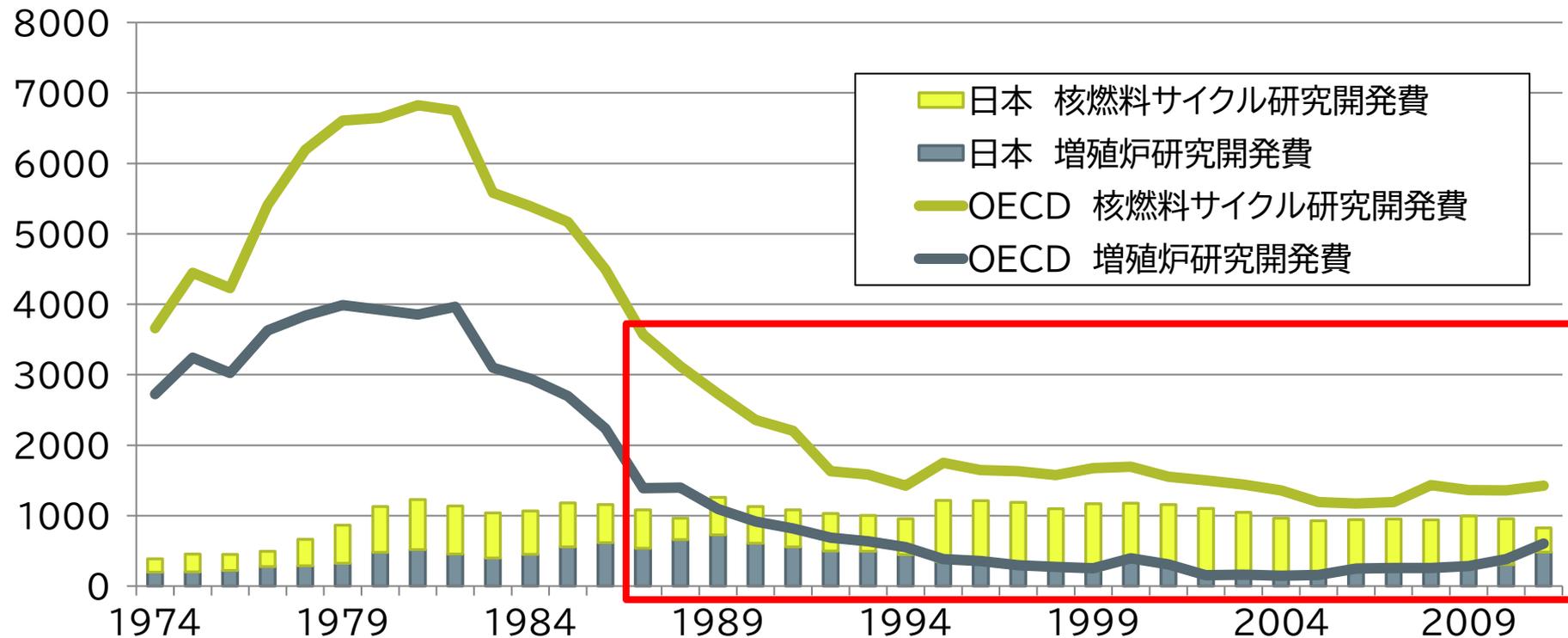
169基
70GWe

448基
392GWe

とりのこされる日本

Million USD

原子力関連研究開発費



六ヶ所核燃料サイクル施設

● 六ヶ所再処理工場

総事業費15.1兆円(当初建設費0.76兆円→現在3.35兆円)、1993年建設開始。トラブル続きで27回の竣工延期を重ねて、現在は**2026年度竣工予定**。使用済み燃料からプルトニウムなどを分離する工場。計画では年800トンの使用済み燃料を処理して7-8トンのプルトニウムが分離される。

● 六ヶ所MOX燃料工場

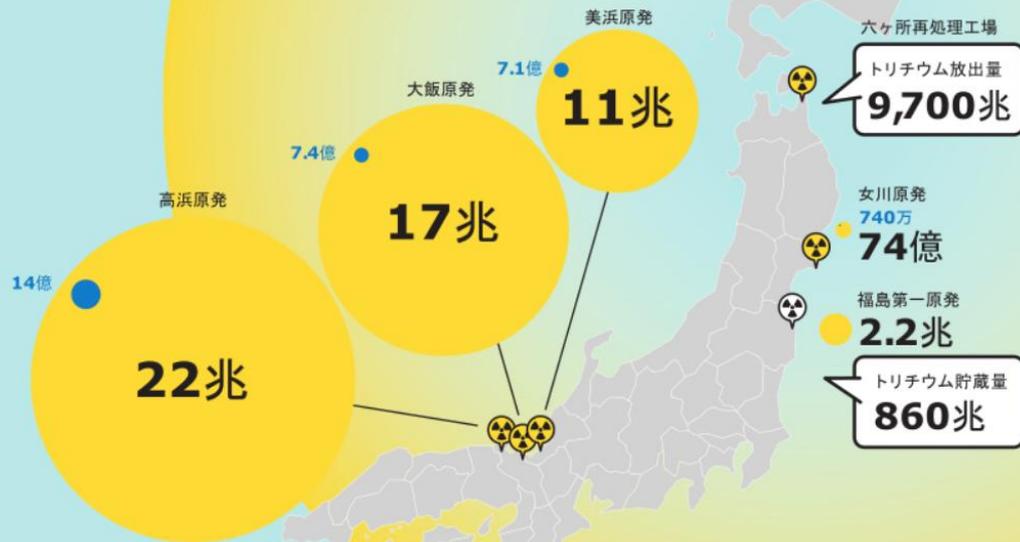
総事業費2.43兆円、こちらも竣工延期を重ねている。現在は**2027年度竣工予定**。

- 六ヶ所ウラン濃縮工場
- 高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター
- 低レベル放射性廃棄物埋設センター



再処理工場から放出されるけた違いに多い放射性物質

- 原子力発電所 稼働中
- 原子力発電所 廃炉
- 液体廃棄物放出
(トリチウム除く)
- トリチウム



それでも40年超運転しようという政府・原子力業界

六ヶ所再処理工場における保守管理改善の取り組み

The efforts or the improvements of maintenance activities in the Rokkasho Reprocessing Plant.

日本原燃㈱	川村 優文	Masafumi Kawamura
日本原燃㈱	尾形 圭司	Keiji Ogata
日本原燃㈱	新岡 将	Tadashi Niioka
日本原燃㈱	須田 憲司	Kenji Suda

1. はじめに

2013年12月に原子炉等規制法が改正され、再処理工場の性能が技術上の基準に適合し、維持することを求める新規制基準（以下、「性能の技術基準規則」という。）が施行された。一方、六ヶ所再処理工場における設備は設置から十数年経過し、経年劣化を起因とした不具合が発生しており、更に性能の技術基準規則に確実に適合する活動を強化していく必要がある。

再処理工場においては、原子力発電所等で実施している保守管理の考え方を参考とした網羅的な保守管理を実施し、最適な保守管理を実現することにより、設備を性能の技術基準を満たすレベルを維持管理できるよう、保守管理改善の取り組みを継続して実施している。図1に性能の技術基準規則と保守管理活動の考え方を示す。

安全・安定的な長期利用に向けた検討課題

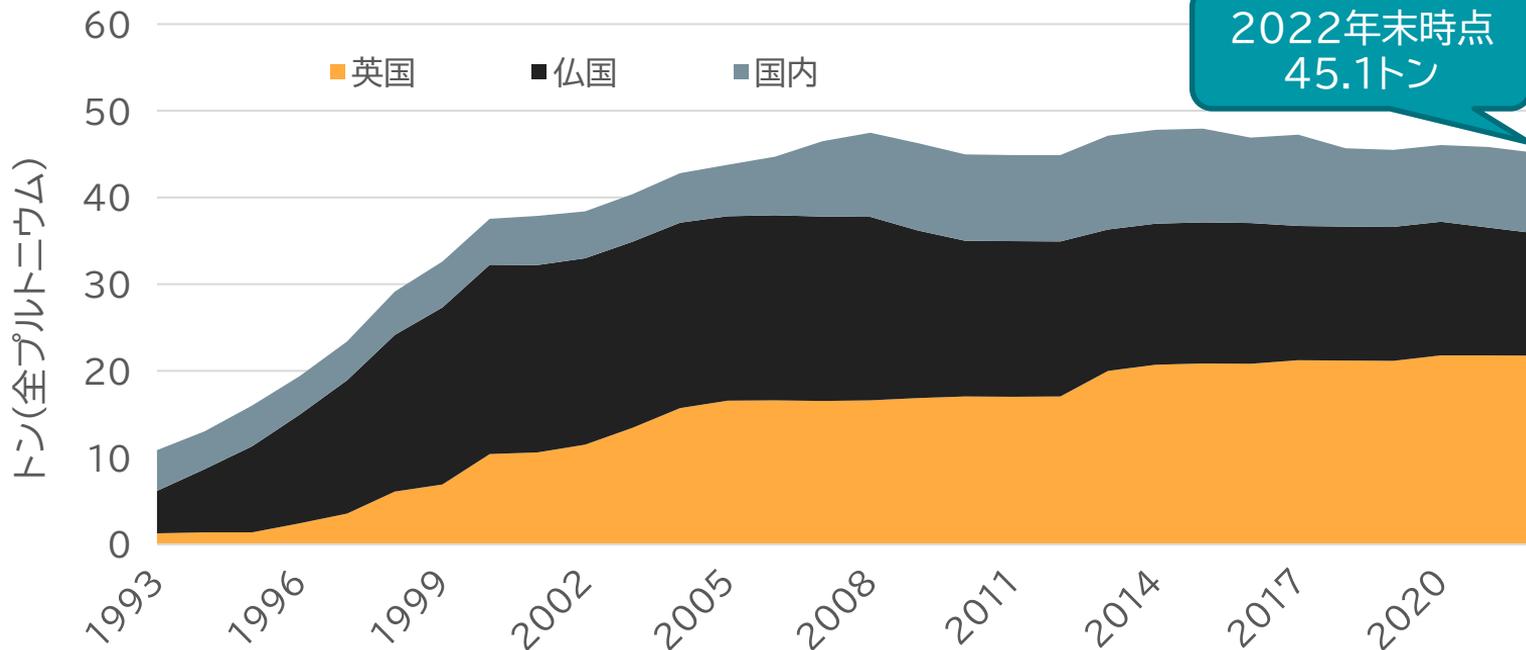
- 六ヶ所再処理工場の竣工後、**安全性確保を大前提に、数十年にわたる長期**において**安定的に運転**することは、**核燃料サイクルを推進していく上での重要な課題**である。
- 日本原燃では、**六ヶ所再処理工場の竣工後を見据え**、仏国オラノ社のラ・アーク再処理工場や、訓練用施設を有するJAEAに、運転員や技術者を派遣し、**工場の運営に必要な技術力の維持・向上に向けた取組**を進めている。
- **その上で、六ヶ所再処理工場については、運転期間に関する法令上の上限は無い。**また、同工場において、例えば、**40年で維持や取替が困難となり、プラント全体の廃止が必要となる設備は想定されていない。**
- 一方、着工から約30年が経過し、アクティブ試験から約20年が経過する中、設備メンテナンスを担う事業者や、取替用部品のメーカーで、一部撤退が発生するなど、将来的な**長期利用に向けた課題**も生じている。
- こうした課題への対応は、**中長期での取組が必要**と考えられ、早期竣工に向けた取組と並行して、例えば、以下の項目について、**今から官民で対応を進めていくべき**ではないか。その際には、運転経験で先行する**仏国との協力も重要**ではないか。^(※)
 - ✓ **メンテナンス技術の高度化**（比較的線量が高い区域における、効率的な機器取替技術など）
 - ✓ 中長期を想定した、**取替用部品の確保、サプライチェーン・技術の維持**（建設が当面想定されない中でのサプライチェーン維持の方策など）
 - ✓ プルサーマルに伴って発生する**使用済MOX燃料**に関する**再処理技術の確立**と、それを**実際の再処理工場に適用する場合を想定した技術的対応の検討**

(※) なお、再処理工場の運転実績で大きく先行する仏国オラノ社のラ・アーク再処理工場は、現在、UP2-800施設（1994年操業開始）とUP3施設（1990年操業開始）の**2つの再処理プラントが稼働中**である。また、本年3月には、ラ・アーク再処理工場の運転期間を2040年以降に延長するための**持続可能性及び強靱化プログラムの実施**が発表されている。

「我が国は(中略)プルトニウム保有量を減少させる。プルトニウム保有量は(中略)現在の水準を超えることはない。」

2018年7月31日 原子力委員会決定

日本のプルトニウム保有量推移



45.1トン =
核爆発装置約5600発分



バイデン副大統領(当時)

And what happens, what happens if we don't work out something together on North Korea? What happens if Japan, who could tomorrow, could go nuclear tomorrow? They have the capacity to do it virtually overnight.(日本が明日にも核武装したらどうなるか、日本は実質的に一夜で核武装する能力をもっている)

PBS CHARLIE ROSE 2016/6/20



ケリー国務長官(当時)

Mr. Kerry argued that Japan would be unnerved by any diminution of the American nuclear umbrella, and perhaps be tempted to obtain their own weapons. The same argument, he said, applied to South Korea.(ケリー氏は、アメリカの核の傘が弱まることで日本は不安になり、自国の核兵器を持ちたくなるかもしれないと主張した。同じ議論は韓国にも当てはまるとも。)

THE NEW YORK TIMES 2016/9/5

日本の見方

- 佐藤行雄元国連大使
「結論的に言えば、日本の核武装の可能性についての外国の懸念は払拭し切れるものではない。また、米国については若干の懸念が残っていることも悪いことではないとすら、個人的には考えている。米国が日本に核の傘を提供する大きな動機が日本の核武装を防ぐことにあると考えるからだ」
『差し掛けられた傘』(2017,時事通信社)
- 森本敏(元防衛大臣)
「核兵器をつくるということ自身が日米同盟の根底を覆すということになりますので、アメリカは受け入れないと思いますが、しかし、日本はそういう手段を考える一定のレベルの原発を維持しているということが、つまり、周りの国から見ると、いつ、そういうことが起こるかわからないというふうに思わせていると、これは国にとって非常に重要な抑止」

2023年9月現在

		管理容量	使用済み燃料 貯蔵量	割合
北海道	泊	1020	400	39%
東北	女川	860	480	56%
	東通	440	100	23%
東京	福島第一	2260	2130	94%
	福島第二	1880	1650	88%
	柏崎刈羽	2910	2370	81%
中部	浜岡	1300	1130	87%
北陸	志賀	690	150	22%
関西	美浜	620	480	77%
	高浜	1730	1410	82%
	大飯	2100	1820	87%
中国	島根	680	460	68%
四国	伊方	930	750	81%
九州	玄海	1290	1150	89%
	川内	1290	1100	85%
原電	敦賀	910	630	69%
	東海第二	440	370	84%
合計		21350	16340	77%

- 使用済燃料は取り出し後数年は高温のため、プール冷却が必須
- かつては英仏に使用済み燃料の再処理を委託してきたが、契約は終了
- 使用済み燃料プールの空き容量がきびしい
- 再処理工場に輸送できればプールに隙間を作ることができる(乾式貯蔵のその一手段)



高速炉

1960年代には1970年代に実用化としていたものが、いまだに完成しない。

世界で高速炉が唯一動いているロシアでは、27回のナトリウム漏れ、14回のナトリウム火災が発生。

再処理

1993年に建設開始、当初1997年に竣工予定が、27回の竣工延期を重ねて2026年竣工予定となっている。

六ヶ所再処理工場では使用済燃料は再処理できるが、現状、使用済MOX燃料は再処理できない



核燃料サイクルの意義① 廃棄物の減容・有害度の低減

(1) 軽水炉再処理により、高レベル放射性廃棄物の体積を約1/4に低減可能。また、放射能の有害度が天然ウラン並になるまでの期間を1/10以下にすることができる。

(2) 高速炉/高速増殖炉サイクルが実用化すれば、高レベル放射性廃棄物中に長期に残留する放射線量を更に少なくし、発生エネルギーあたりの環境負荷を大幅に低減できる可能性。

※ 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廃棄物となる。一方、再処理後のガラス固化体からは、ウラン、プルトニウムが除かれるため、放射能による有害度が低減される。

※ また、高速炉/高速増殖炉では、半減期の極めて長い核種を燃料として使用できるため、更に有害度の低減が可能となる。

比較項目		技術オプション	直接処分	再処理	
				軽水炉	高速炉
処分時の廃棄体イメージ					
発生体積比※1			1	約4分の1に減容化 約7分の1に減容化	約0.22
潜在的有害度	天然ウラン並になるまでの期間※2		約10万年	約12分の1に低減 約330分の1に低減	約8千年
	1000年後の有害度※2		1		約0.15
コスト※3	核燃料サイクル全体 (フロントエンド・バックエンド計)		1.00 ~ 1.02 円 / kWh		1.39 ~ 1.98 円 / kWh
	処分費用		0.10 ~ 0.11 円 / kWh		0.04 ~ 0.08 円 / kWh
					試算なし ※高速炉用の第二再処理工場が必要

※1 数字は原子力機構概算例 直接処分時のキャニスタを1としたときの相対値を示す。

※2 出典: 原子力政策大綱 上項は1GWを発電するために必要な天然ウラン量の潜在的有害度と等しくなる期間を示す。下項は直接処分時を1としたときの相対値を示す。

※3 原子力委員会試算(2011年11月)(割引率3%のケース) 軽水炉再処理については、使用済燃料を貯蔵しつつ再処理していく現状を考慮したモデルと、次々と再処理していくモデルで計算。

軽水炉再処理の問題点

- MOX燃料は普通の核燃料よりもはるかに高額(場合によっては50倍)
- 使用済MOX燃料の再処理は技術的課題が多い
- 使用済MOX燃料は発熱量が高く、地層処分した場合、処分場面積が嵩む

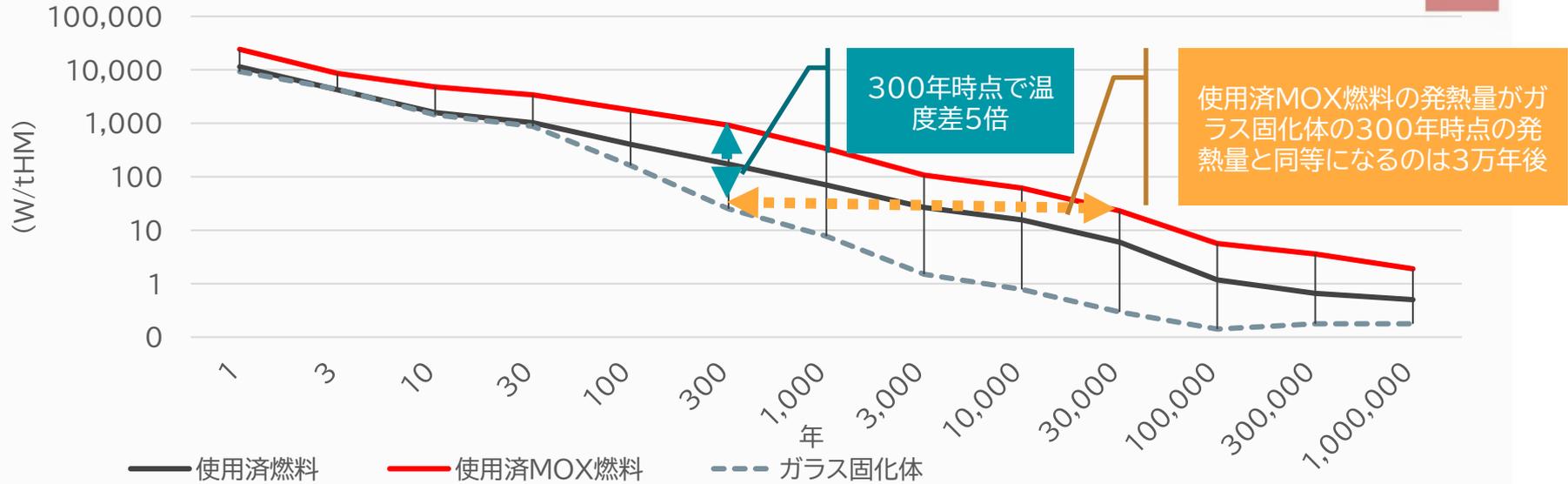
高速炉再処理の問題点

- 高速炉がない
- 新しい再処理工場が必要
- 技術的課題も多い
- コストも高い

定 非 営 利 活 動 法 人

0 資料情報室
Nuclear Information Center

使用済燃料・使用済MOX燃料・ガラス固化体の発熱量推移
(燃焼度45 MWd/kgHM)

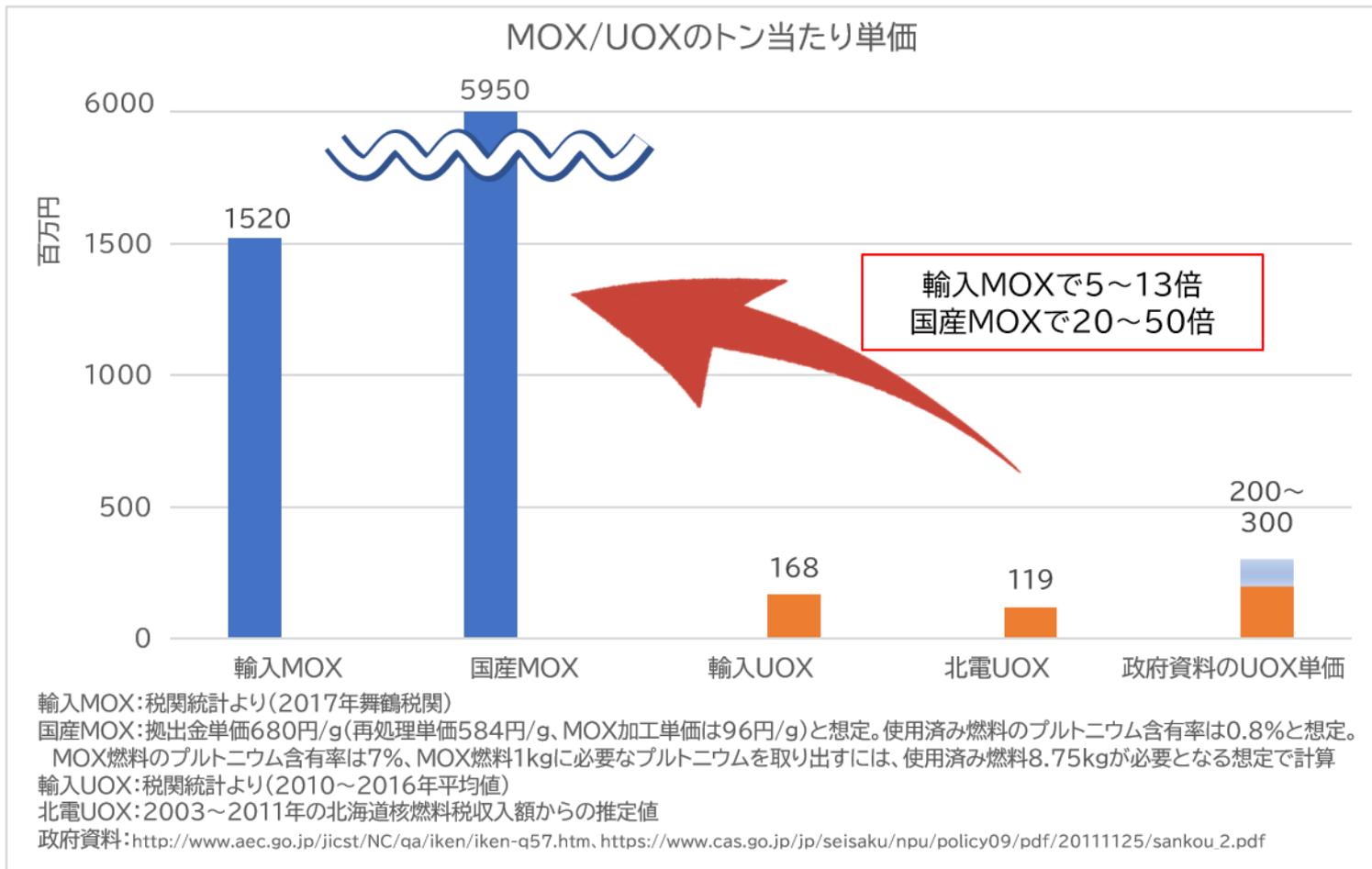


- 使用済ウラン燃料を4体収納するキャニスタに1体の使用済MOX燃料を収納したものは、使用済ウラン燃料4体を収納したキャニスタとほぼ同じキャニスタとして扱える(新計画策定会議 技術検討小委員会(第4回) 資料第1号)
- 再処理してウランやプルトニウムを取り出すことにより(中略)高レベル放射性廃棄物の体積が3~4割、その処分場の面積が1/2~2/3となる(新計画策定会議(第12回)資料第3号)

▶ 六ヶ所再処理工場では現状使用済MOXの再処理はできない。再処理という巨大なコストを支払って減らしたはずの処分場面積が結局、元どおりということにも。



それだけやっても...





核のごみの行方

アッセⅡ放射性廃棄物処分場(ドイツ)での処分の様子
※放射性物質の漏洩が発生し、現在、回収作業中

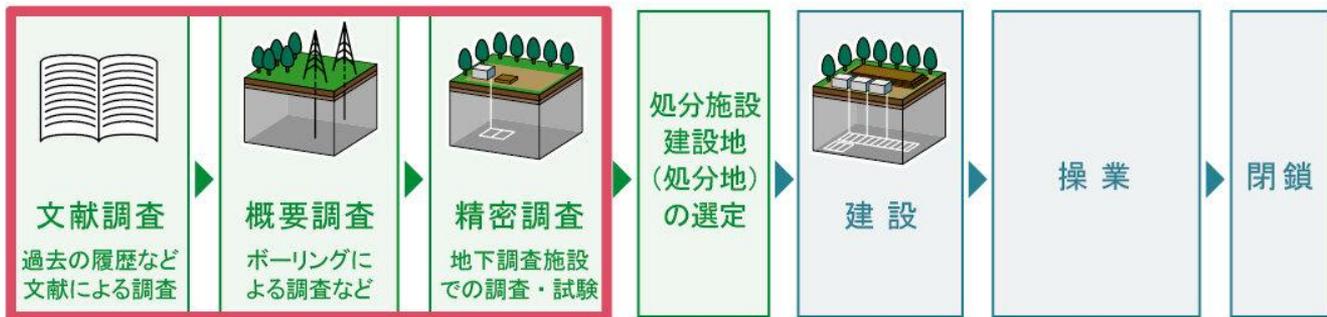
六ヶ所高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター周辺地域の安全確保及び環境保全に関する協定書

(管理期間等)

第3条 第1条の「ガラス固化体の一時貯蔵管理」(以下「廃棄物管理」という。)の 期間(以下「管理期間」という。)は、それぞれのガラス固化体について、貯蔵管理センターに受け入れた日から30年間から50年間とし、丙は、管理期間終了時点で、それぞれのガラス固化体を電力会社に搬出させるものとする。



法律に基づく処分地選定調査



20年程度

https://www.numo.or.jp/q_and_a/100045.html



近年地層処分候補地選定で名前の挙がった主な自治体

		人口 (2022/1時点)	高齢化率 (2020年度時点、全 国平均:28.7%)	歳出総額 (2021年度)
北海道 神恵内村	文献調査応募	797人	51.5%	31億円
北海道 寿都町	文献調査応募	2,799人	41.1%	62億円
鹿児島県 南大隅町	町長選で誘致派が候補擁立・落選	6,604人	49.3%	81億円
宮崎県 木城町	町議団が視察、町長が誘致否定	4,987人	37.2%	59億円
長崎県 対馬市	市議会で文献調査応募請願を賛成 多数で可決、市長は拒否	29,019人	38.6%	334億円
佐賀県 玄海町	文献調査応募	5,609人	31.6%	91億円

全国1724自治体中

人口1万人以下の自治体数 :531 ⇒ 2045年時点予測では781

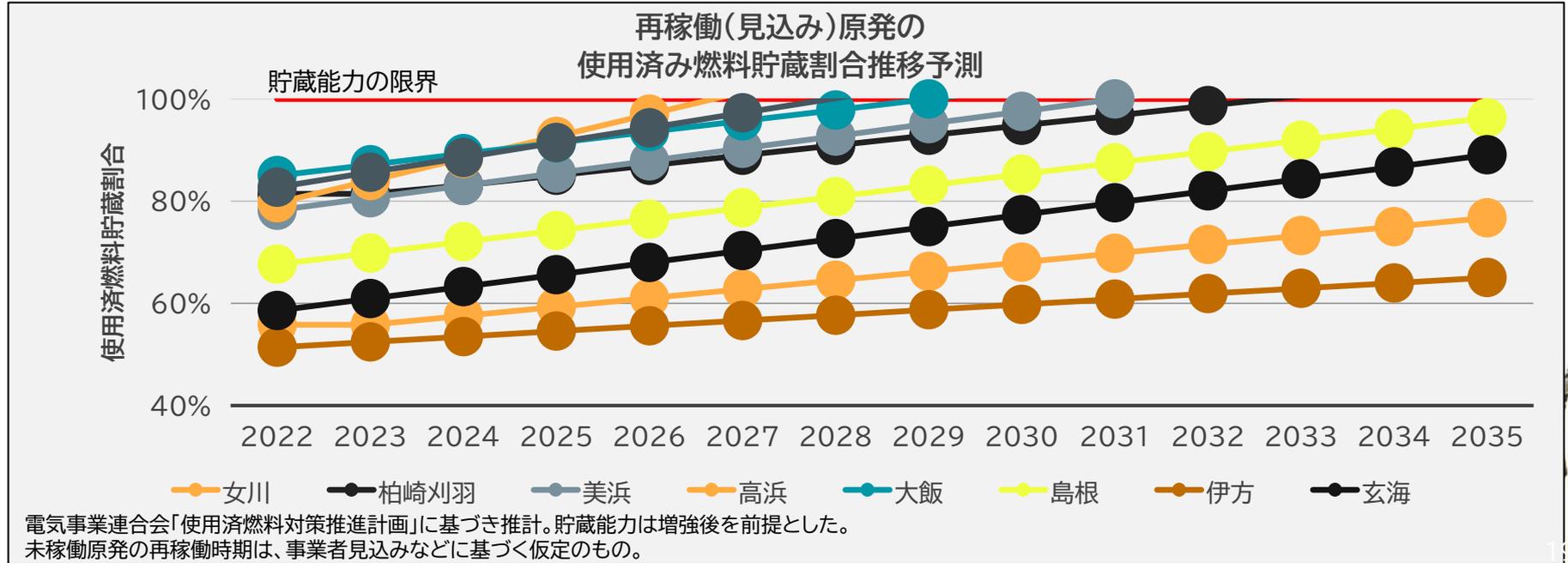
歳出規模100億円以下の自治体数 :720

使用済燃料貯蔵能力というボトルネック

各原発とも使用済み燃料プールはひっ迫

中にはあと数年で限界を迎えるものもある

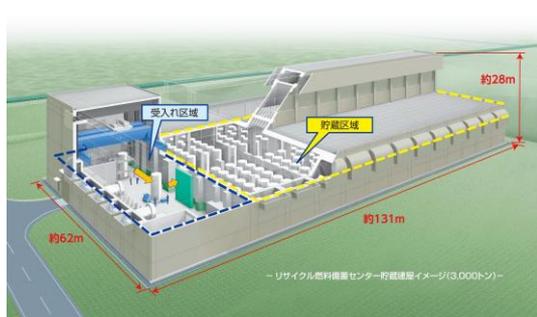
中間貯蔵の進捗によっては停止する原発も



乾式貯蔵専用施設

目的:再処理までの間、使用済み燃料を貯蔵するための専用施設。港湾設備(クレーン設備付)、専用道路なども必要となる。

- 貯蔵建屋(リサイクル燃料貯蔵(むつ市)の場合)
乾式貯蔵容器:最大288基(使用済み燃料3000トン)



【乾式貯蔵建屋】



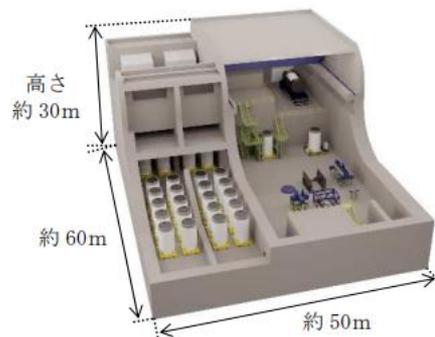
【乾式貯蔵容器】

リサイクル燃料貯蔵ウェブサイトより

敷地内乾式貯蔵施設

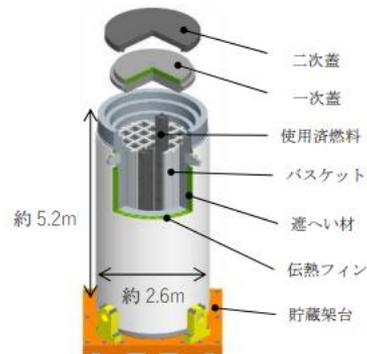
目的:再処理までの間、または乾式貯蔵施設への輸送までの間、原発敷地内で使用済み燃料を貯蔵する施設

- 貯蔵建屋(玄海原発の場合)
乾式貯蔵容器40基(使用済み燃料440トン)



【乾式貯蔵建屋】

九州電力ウェブサイトより



【乾式貯蔵容器】

解体放射性廃棄物の発生量（110万kW級発電所1基）

(単位：m³)

	レベル区分	金属	コンクリート	二次廃棄物	合計
BWR	高βγ低レベル放射性廃棄物	90	0	10	100
	コンクリート埋設対象低レベル放射性廃棄物	440 (800)	370	830 (470)	1,640 (1,650)
	極低レベル放射性廃棄物	5,340 (23,240)	1,720	0	7,050 (24,960)
PWR	高βγ低レベル放射性廃棄物	120	80	60	260
	コンクリート埋設対象低レベル放射性廃棄物	1,420 (2,230)	390	580 (500)	2,390 (3,120)
	極低レベル放射性廃棄物	2,160 (2,190)	880	0	3,030 (3,070)

(注) 1. () 内の数値は、解体後除染前の物量を示す。

- 上記数値は廃棄体換算後の値である。
- 端数処理のため合計が一致しないことがある。
- 割アラスレベル以下の廃棄物の発生量は、202,000m³(BWR)、186,000m³(PWR)。

表 3.4-2 1F 廃炉・サイト修復で発生する放射性廃棄物の試算例²⁰⁾

分類	1-6号機	他の施設	水処理施設	廃棄物処理/貯蔵施設	サイト修復	合計
燃料デブリ	644	0	0	0	0	644
HLW	2,042	0	0	0	83	2,125
TRU	0	0	16	0	830	846
L1	100,135	104,543	310	1,050	76,030	282,068
L2	429,462	329,364	38,174	200	1,424,600	2,221,800
L3	951,309	2,825,634	151,320	26,325	1,375,000	5,329,588
合計	1,483,592	3,259,541	189,820	27,575	2,876,543	7,837,071

HLW：高レベル放射性廃棄物相当 TRU：TRU廃棄物相当

L1：放射能レベルが比較的高い廃棄物 L2：放射能レベルが比較的低い廃棄物 L3：放射能レベルが極めて低い廃棄物

https://www.aesj.net/uploads/dlm_uploads/kokusaihyojun_report202007.pdf

個別積算法による算定費用

(単位：億円)

規模	処理・検査・輸送・処分費用	
	BWR	PWR
大規模(110万kW級)	178	192
中規模(80万kW級)	133	152
小規模(50万kW級)	108	106

<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/1003665/www.meti.go.jp/report/downloadfiles/ggebcs1j.pdf>



解決策は？

使用済燃料が20,000トンある現実。完全な解決策は存在しない

まずは原発を止めて、これ以上の核のごみの発生を抑える

再処理は問題を複雑化させるのみでメリットなし