

フィンランドを訪ねて

・・・オンカロの使用済み核燃料地下処分プロジェクトに学び、
日本の核燃料サイクルを考える・・・

第34回 海友フォーラム講演
2018.1.17

島本幸次郎

第1部

オルキルオト島訪問

フィンランドの原発所在地



NUCLEAR POWER PLANTS IN FINLAND

Olkiluoto, Eurajoki



Owner: Teollisuuden Voima Oyj (TVO) Type: BWR
 OL1, OL2 Capacity: 2 x 880 MWe
 Commercial use: 1979 & 1982
 OL3 under construction

Loviisa



Owner: Fortum Oyj
 Type: PWR
 Capacity: 2 x 488 MWe
 Commercial use: 1977 & 1981

フィンランドの原発は オルキオト島に 2 基+1 基（建設中）とロヴィーサに 2 基 合計 4 基+1 基（建設中）
 （島本調整）

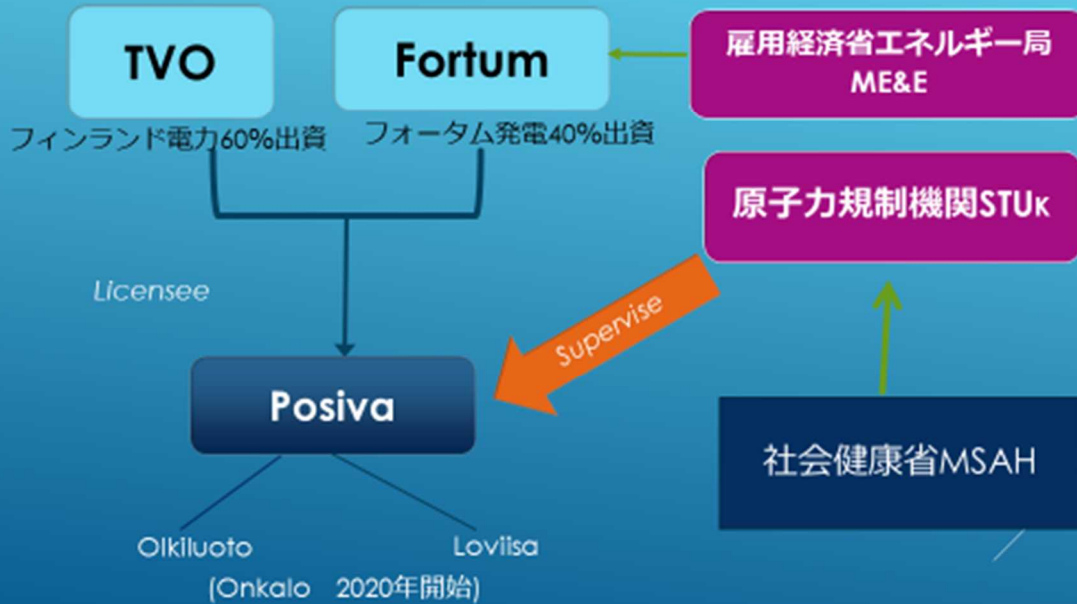
オルキルト島の全景



オルキオト島の 3 基の原発、使用済み燃料プール、オンカロの配置。

（Posiva 社資料より）

フィンランド核廃棄処分の組織構成図



島本作成

電力会社 (TVO, Fortum)、廃棄物処理会社 (Posiva) と政府・規制機関の関係。

(島本作成)

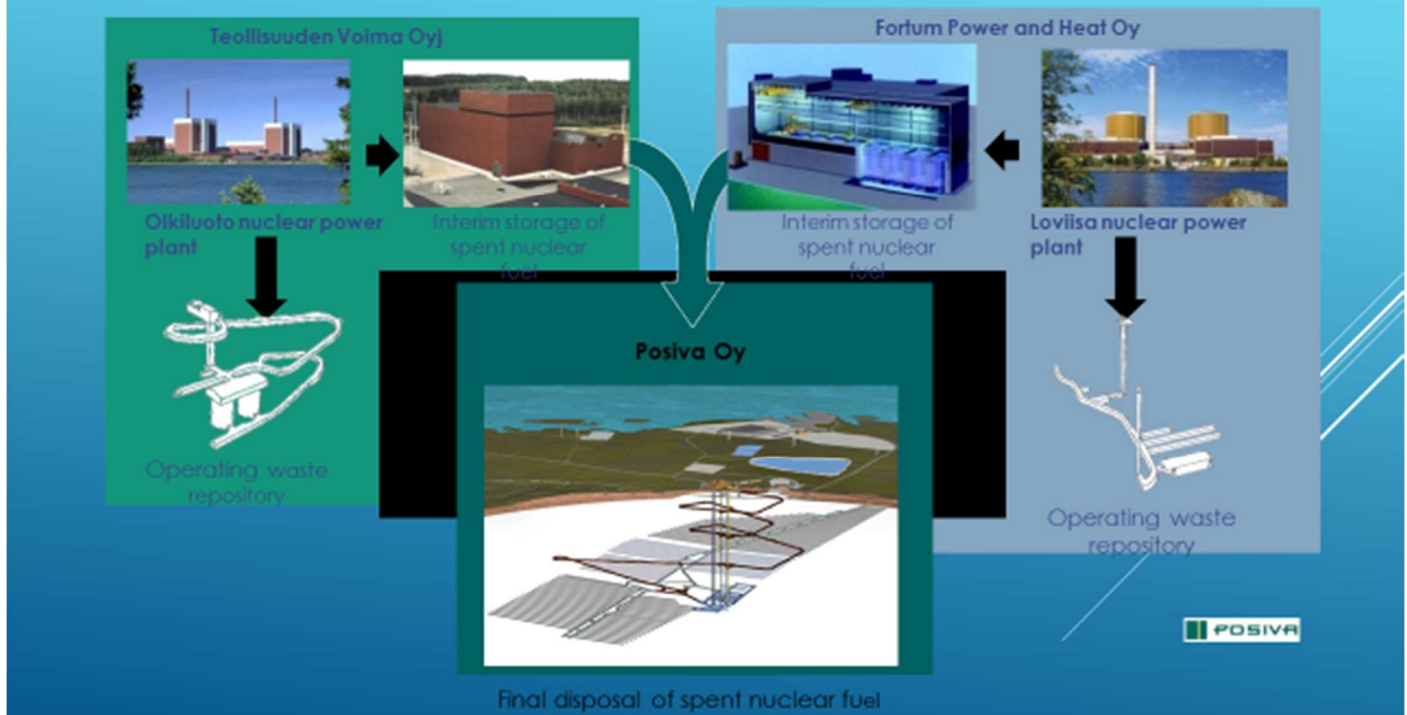
オルキオト島の3基の原子カプラント



オルキオト島の3基の原発プラントと風車

(Posiva 社資料より)

フィンランドの核廃棄物処理



オンカロはオルキルオト島とロヴィーサの両者の使用済み核燃料を埋蔵

(Posiva 社資料より)

ポシヴァ社について

Established: in 1995

Mission: Final disposal of spent nuclear fuel of the owners and other tasks of expertise within nuclear waste management

Ownership: Teollisuuden Voima Oyj 60%, Fortum Power and Heat 40 %

Gradual change : from R&D company to implementing organization

The funds : for nuclear waste management are collected in advance

Number of Staff : about 88 persons (2015)

Turnover : 66.2 M€ (2014)

POSIVA

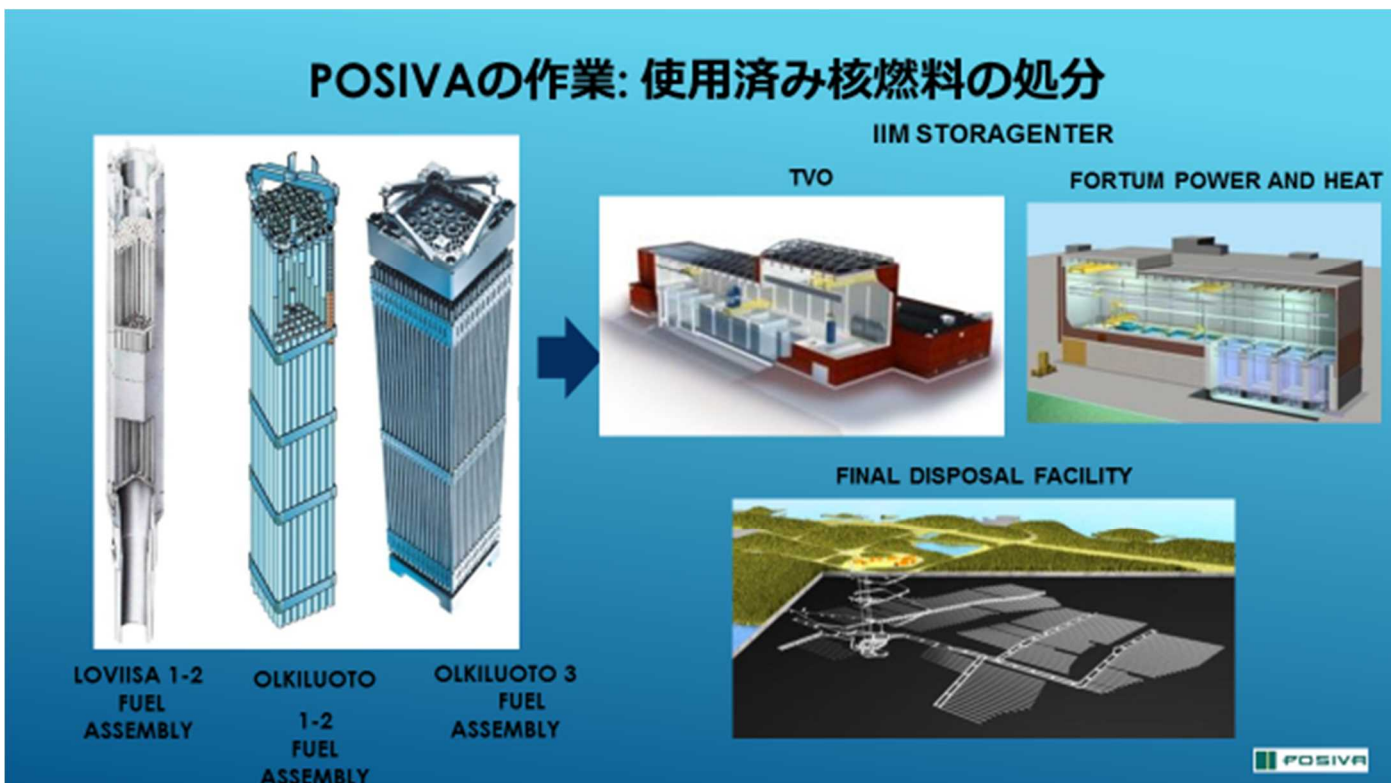
ポシヴァ社は1995年に設立。目的は使用済み核燃料の処理。従業員88人。

売り上げ66.2百万ユーロ(2014年)

(Posiva 社資料より)

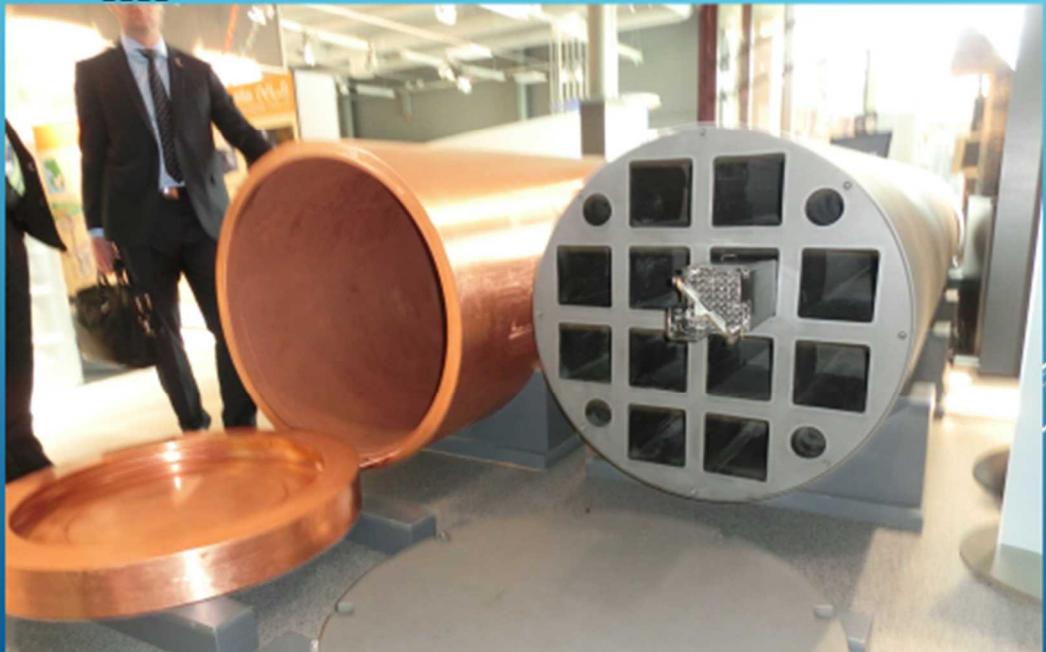


左上が使用済み核燃料の中間貯蔵プール。中央下が同廃棄洞窟・オンカロ入口。1つの島の中で処理。地産地消。
(Posiva 社資料より)



左は核燃料棒のセット。発電プラントによってサイズが異なる。各中間貯蔵プールで冷却後、オンカロへ。
(Posiva 社資料より)

使用済み核燃料格納器（二重構造） ---- 鋳鉄製の収容器と外側の銅製の円筒



右の鋳鉄の円筒に使用済み核燃料セットを挿入し、その円筒をさらに左の銅合金製の円筒内に挿入する。
この円筒をキャニスターと呼ぶ。 (島本撮影)

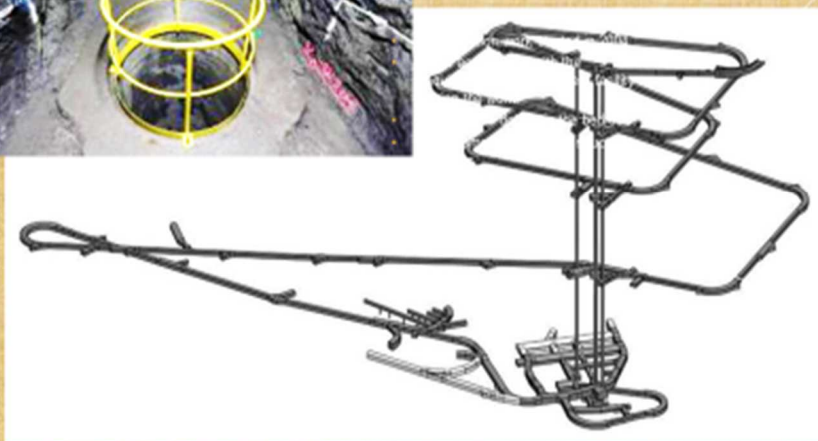
キャニスター地下埋蔵図



POSIVA

二重の円筒を垂直にして、周りと上部をベントナイトの土で固めて埋める。(Posiva 社資料より)

オンカロの地下と諸装置



Access tunnel, 5 km



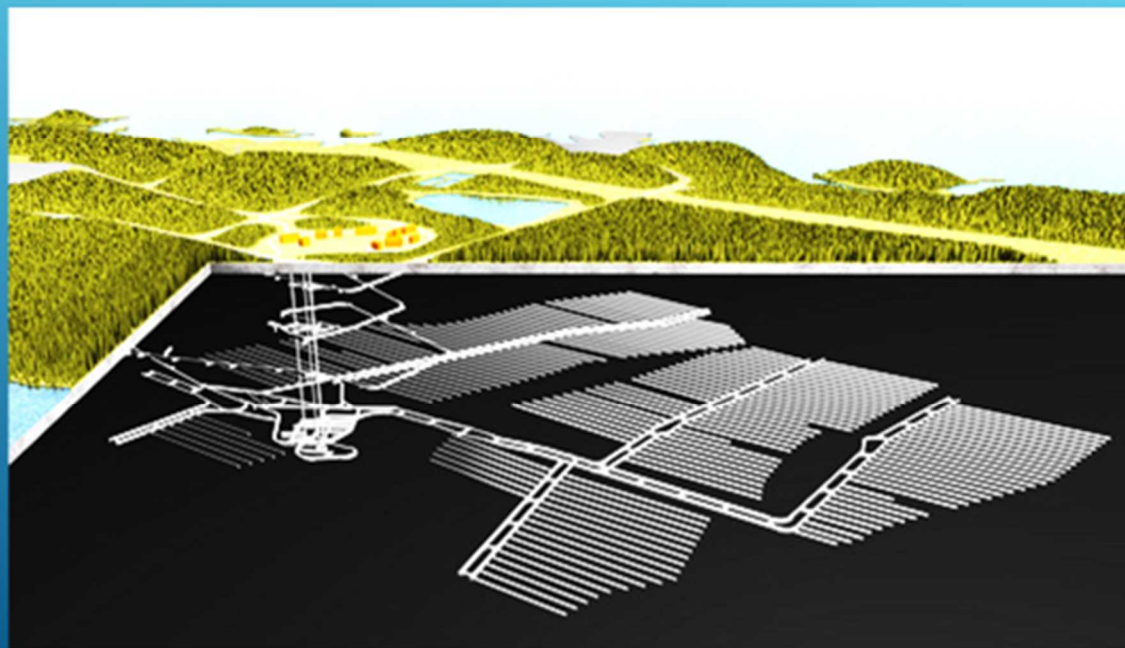
Technical facilities -437 m
Pietari Susan

26
22
016

中央はオンカロ洞窟のモデル。キャニスターは勾配 1/10 の傾斜トンネルをトラックで運ばれる。

(Posiva 社資料より)

オンカロ地下埋蔵の計画図



2030 年ごろまでの蟻の巣のような地下トンネル・オンカロの計画図。

(Posiva 社資料より)



1978年から地下処分の計画を開始。地質の研究・環境評価・現地の認許を含め40年の紆余曲折を経て今日に至り、2020年過ぎに埋蔵開始の予定。
(Posiva 社資料より)

フィンランドは直接処分（ワンスルー）方式を採用

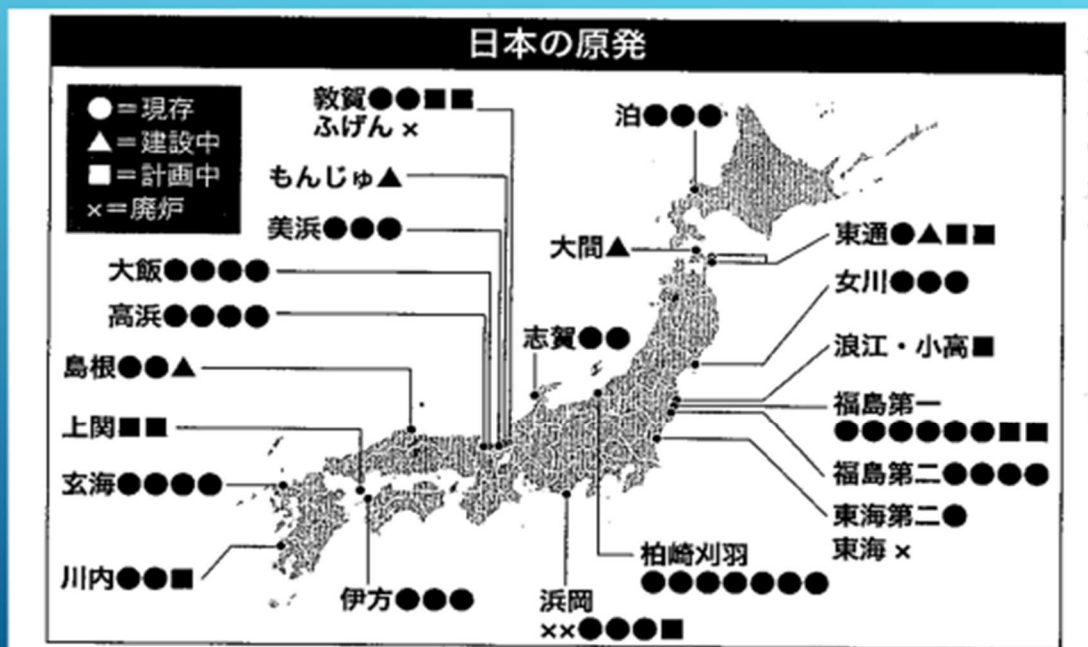
- ▶ 使用済み核燃料を再処理をし、取り出したPuを高速増殖炉または高速炉で使用したり、MOX燃料として原子炉で使用することはしないで、
使用済み核燃料を直接地下に埋蔵してしまう方式。
- ▶ 推定理由：
 - 1) 再処理装置や高速増殖炉の開発・建設に年月がかかり、設備は高価。
 - 2) 運転は技術的に困難（濃硝酸や液体ナトリウムの取り扱いが難しい）。
 - 3) 使用済み核燃料に含まれるPu₂₃₉はわずか1%で、処理費用が高価でペイしない。

フィンランドでは再処理は行わず直接処分。STUK（規制機関）や現地のスタッフの話から理由を推定。

第2部

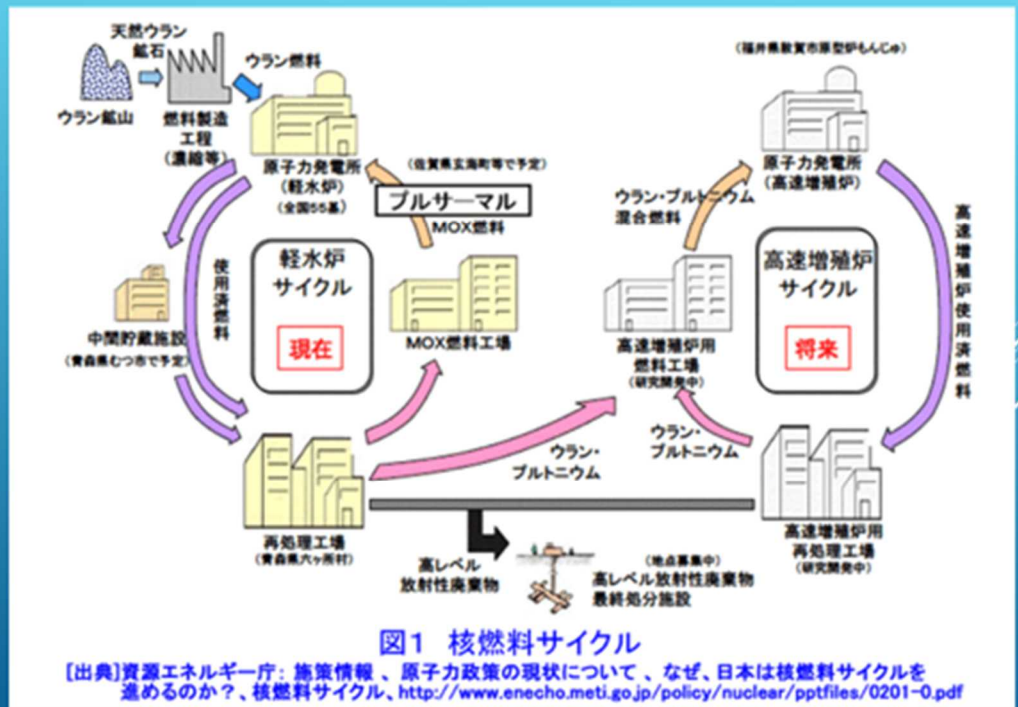
日本のバックエンドの 取り組みについて

日本の原発（福島事故前）



福島の事故前の日本の原発数は、稼働中、建設中、計画中を合計すると 50 基を越えた。

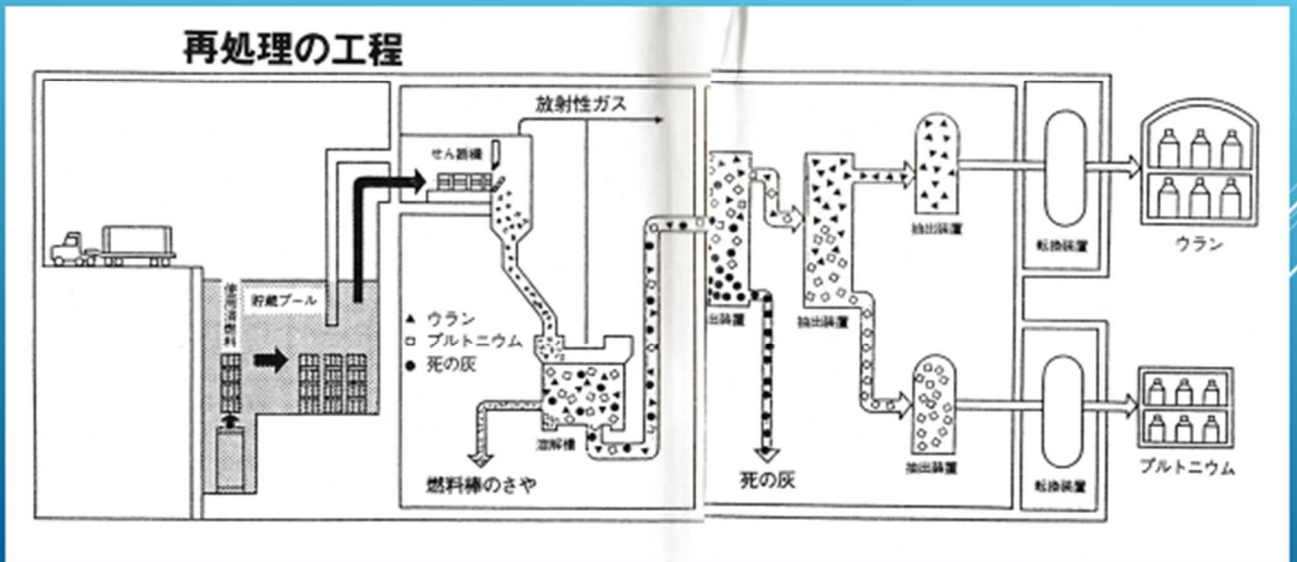
核燃料サイクル



日本の核燃料サイクルの概念図。

(エネ庁ホームページより)

再処理の工程



再処理工程のフロー模擬図。真ん中・下は溶解槽で約 100°C に熱した濃硝酸を使う。危険で厄介。上部の排気ガスも放射能を含むので放出には処理が必要。

各国の再処理施設

各国の再処理施設一覧

(2012年9月現在)

国名	施設名	設置者	所在地	処理能力(トン/年)	稼働開始	備考	
フランス	UF2-800	ASEVA NC	ラ・アーグ	濃縮ウラン [各1,000tU ₃ O ₈ 相当1,700]	1994年	天然ウラン用のUF2(1966年稼働開始)をUF2-450、UF2-800と増強。 本家は海外顧客用。	
	UF3	ASEVA NC	ラ・アーグ		1990年		
イギリス	B205	BNFL セラフィールド	セラフィールド	天然ウラン(1,500)	1964年	主に海外顧客用。1200トンから増強。 受託再処理は終了。	
	THORP(ソープ)	BNFL セラフィールド	セラフィールド	濃縮ウラン(850)	1994年		
日本	東海	日本原子力研究開発機構	東海村	濃縮ウラン(0.7/日)	1981年	受託再処理は終了。	
ロシア	フェリキヤビンスタ+65 RT-1	ロシア原子力庁(ROSATOM)	オジョルスク	濃縮ウラン(400)(実質250)	1971年	軍事用(1949年後東洋向け)を改造。	
	KAPF	バーハ原子力センター	カルパツカム	天然ウラン(100)	1990年	1986年125t/年でスタート。	
インド	プルトニウム分離プラント	バーハ原子力センター	トロンバイ	天然ウラン(30)	1985年	1964年運転開始。機器等の更新後再開。主に核兵器用。	
	PGSFR	バーハ原子力センター	タラプール	天然ウラン(150)	1982年		
建設中	日本	六ヶ所	日本原燃	六ヶ所村	濃縮ウラン(800)	2010年(計画)	
	日本	RETR(リサイクル機器試験施設)	日本原子力研究開発機構	東海村	高濃縮燃料(6)		2009年6月第一期工事完了。以後、工事中。
建設中止	アメリカ	モーリス	GE社	モーリス	濃縮ウラン(300)		1974年建設断念。燃料貯蔵施設として使用。
	アメリカ	バーンウェル	AGNS社	バーンウェル	濃縮ウラン(1,500)		1976年建設中止。83年閉鎖。
ドイツ	ヴァッコーズドルフ(WA-350)	ドイツ核燃料再処理会社	ヴァッコーズドルフ	濃縮ウラン(350-500)		1989年建設中止。	
	ロシア	クラスノヤルスク-26 RT-2	ロシア原子力庁(ROSATOM)	ジェレズノゴルスク	濃縮ウラン(800)		1989年建設中止。建設再開の動きあり。
閉鎖	アメリカ	ウェストバレー	NPS社	ウェストバレー	濃縮ウラン(300)	1966年	1972年運転中止。76年閉鎖。
	フランス	UP1	仏核燃料会社(COGEMA)	マルクール	天然ウラン(400)	1958年	1997年閉鎖。
イギリス	FRAMATOME	仏核燃料会社(COGEMA)	マルクール	高濃縮燃料(5)	1988年	1996年閉鎖。	
	イギリス	B204	英核燃料会社(BNFL)	セラフィールド	天然ウラン(500)	1952年	1964年閉鎖。
ドイツ	HEP-1205	英核燃料会社(BNFL)	セラフィールド	濃縮ウラン(400)	1969年	1973年事故で閉鎖。	
	ドイツ	FFRプラント	AEAテクノロジー(英米原子力公社)	ドーンレイ	高濃縮燃料(6)	1981年	1998年閉鎖。
ベルギー	ユーロケミックプラント-26	ドイツ核燃料再処理会社	カールスルーエ	濃縮ウラン(35)	1971年	1990年閉鎖。	
ベルギー	ユーロケミックプラント-26	ベルゴプロセス	モル	天然・濃縮ウラン(100)	1966年	1974年運転中止。87年閉鎖。	

原子力資料情報室作成
『破たんしたプルトニウム利用』(緑風出版)より

世界の再処理工場の中で商業的に実質稼働中のものは表上部のフランスのみ。イギリスも稼働停止した。
(「破たんしたプルトニウム利用」より)

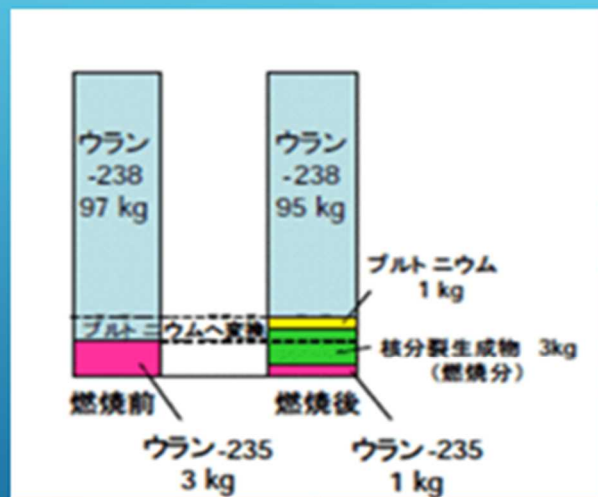
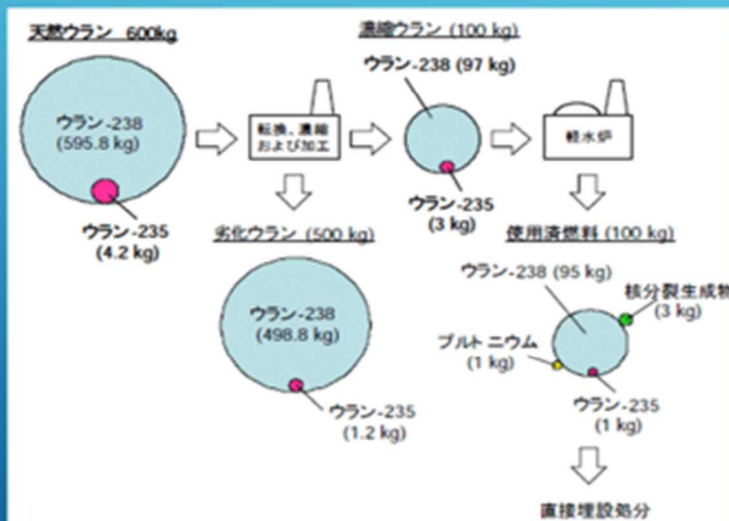
原燃・審査の書類提出を停止
規制委員会・安全審査を中断
1997年の完成が23回目の納期延期

2017. 10. 12日経(朝)



日本の六ヶ所村の再処理工場は1997年の稼働予定が、23回の納期延期。2017年10月に安全審査を実質的に中断となった。
(2017. 10. 12日経)

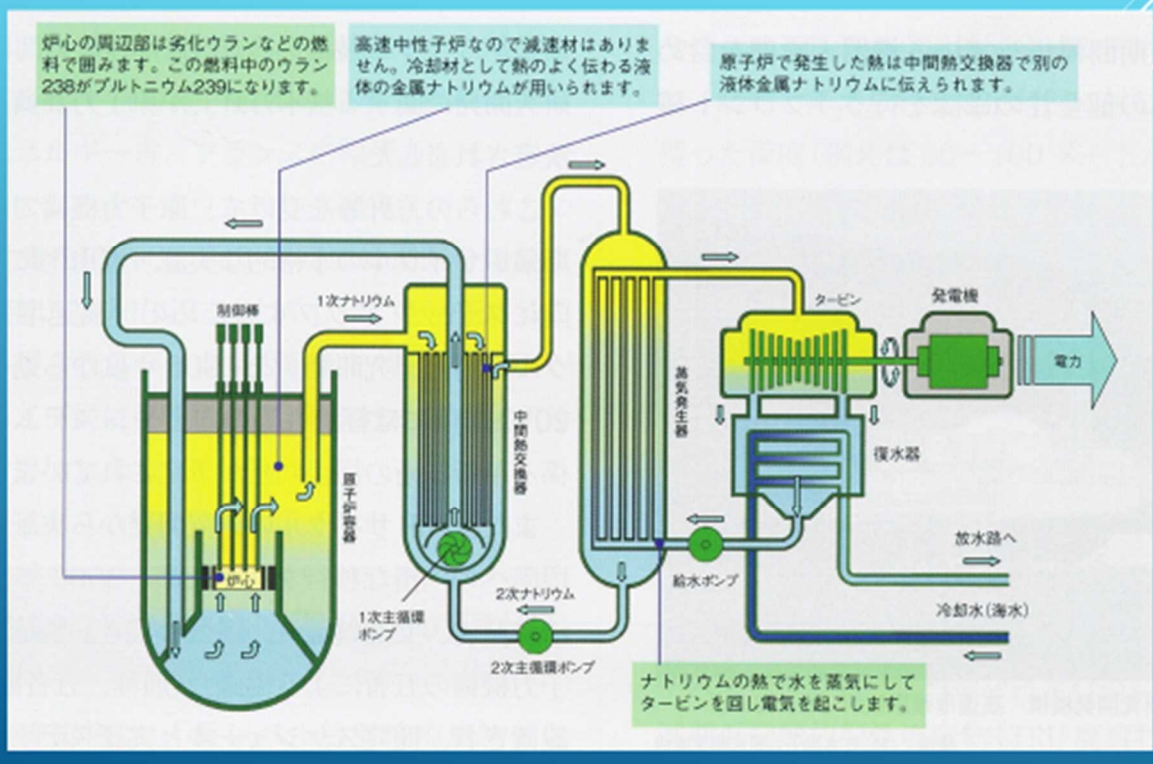
発電前と発電後の燃料組成の変化



再処理によるプルトニウムの抽出量は使用済み核燃料の約1%。

(島本調整)

高速増殖炉とは



高速増殖炉の構造と発電に至るフロー。蒸気発生器は1次と2次の2基ある。媒体として金属ナトリウムを使用するが、空気や水に触れると着火するので取り扱いが厄介。(エネ庁ホームページより)

各国の高速増殖炉

各国の高速増殖炉

(2012年9月現在)

国名	区分	名称	出力 (万kW)	臨界 (年)	閉鎖(年)	生涯利用率 (%)
アメリカ	実験炉	クレメンティン	—	46	52	
		EBR-I	0.02	51	63	
		LAMPRE	—	61	65	
		EBR-II	2	63	94	
		エンリコフェルミ	6.5	63	71	
		SEFOR	—	69	72	
		FFTF	—	80	93	
				(01 再開断念)		
イギリス	実験炉	DFR	1.5	59	77	
	原型炉	PFR	25	74	94	19.8
フランス	実験炉	ラブノディ	—	67	82	
	原型炉	フェニックス	25	73	09	
	実証炉	スーパーフェニックス	124	85	98	1.5
ロシア	実験炉	BR-1/2	—	55/56	57	
		BR-5/10	—	58/73	02	
		BOR-60 (ウラノフスク)	1.2	68		
	原型炉	BN-600 (ペロヤロフスク3)	60	80		
カザフスタン	原型炉	BN-350 (シェフチェンコ)	15	72	99	
ドイツ	実験炉	KNK-I/II	60	71/77	91	
インド	実験炉	FBTR	1.3	85		
日本	実験炉	常陽(現在は増殖性能なし)	—	77		
	原型炉	もんじゅ	28	94		

原子力資料情報室作成
「破綻したプルトニウム利用」(緑風出版)より

世界の高速増殖炉で現在、商業的に稼働しているものは無い。(「破たんしたプルトニウム利用」より)

もんじゅの廃炉決定

2016年(平成28年)12月22日(木曜日)

ついでた夢の原子炉

核燃料サイクル網渡り

もんじゅ廃炉決定

核燃料サイクルには2つの大きな輪がある
高レベル放射性廃棄物(核のごみ)

MOX燃料
プルトニウム
ウラン
燃料サイクル

もんじゅ廃炉決定
核燃料サイクル網渡り
高レベル放射性廃棄物(核のごみ)の処理方法が、もんじゅの廃炉決定を促した。もんじゅは、核燃料サイクルの網渡りを実現するための重要な役割を果たしていたが、高レベル放射性廃棄物の処理方法が、もんじゅの廃炉決定を促した。もんじゅは、核燃料サイクルの網渡りを実現するための重要な役割を果たしていたが、高レベル放射性廃棄物の処理方法が、もんじゅの廃炉決定を促した。

原子力の「未来」
もんじゅの廃炉決定は、原子力の未来に大きな影響を与える。もんじゅは、核燃料サイクルの網渡りを実現するための重要な役割を果たしていたが、高レベル放射性廃棄物の処理方法が、もんじゅの廃炉決定を促した。

識者の見方
もんじゅの廃炉決定は、核燃料サイクルの網渡りを実現するための重要な役割を果たしていたが、高レベル放射性廃棄物の処理方法が、もんじゅの廃炉決定を促した。

日本の高速増殖炉「もんじゅ」も遂に廃炉決定。核燃料サイクルの目玉が無くなった。

(2016.12.22日経)

核燃料の輸入価格

貿易統計から見た輸入核燃料の価格 (1)

炉型	燃料種別	輸入年月	原子炉名	集合体数	質量	価格	1体当たり単価	1kg当たり単価
PWR	ウラン燃料	1998.7	大飯1号	16体	10,704kg	18億9,961.7万円	1.2億円	18万円
		1999.6	高浜3号	16体	8,366kg	16億1,864.1万円	1.0億円	19万円
	MOX燃料	1999.10	高浜4号	8体	5,373kg	43億621.0万円	5.4億円	80万円
BWR	ウラン燃料	2000.9	柏崎刈羽7号	86体	23,177kg	24億429.7万円	2,800万円	10万円
		1999.9	福島第一3号	32体	8,160kg	75億196.2万円	2.3億円	92万円
	MOX燃料	2001.3	柏崎刈羽3号	28体	7,140kg	57億6,924.0万円	2.1億円	81万円

貿易統計から見た輸入核燃料の価格 (2)

炉型	燃料種別	輸入年月	原子炉名	集合体数	質量	価格	1体当たり単価	1kg当たり単価
PWR	MOX燃料	2009.5	玄海3号	16体	10,764kg	139億6,373.0万円	8.7億円	130万円
			伊方3号	21体	14,102kg	186億3,689.1万円	8.9億円	132万円
BWR			浜岡4号	28体	7,186kg	93億5,114.6万円	3.3億円	130万円
BWR	ウラン燃料	2009.11	柏崎刈羽7号	204体	40,254kg	45億8,858.9万円	2,250万円	11万円

PWR：加圧水型軽水炉、BWR：沸騰水型軽水炉

上表で1900年終わり頃のMOX燃料の単価はウラン燃料の5~9倍。下表で2000年初めのMOX燃料の単価はウラン燃料の12倍。

再処理と直接処分のコスト比較

再処理と直接処分のコスト比較 (円/kWh)

		再処理	直接処分
フロントエンド	ウラン燃料	0.57	0.61
	MOX燃料	0.07	—
バックエンド	再処理	0.63	—
	高レベル・TRU廃棄物貯蔵処分	0.27	—
	使用済み燃料中間貯蔵	0.04	0.14
使用済み燃料処分		—	0.19 ~ 0.32
合計		1.6	0.9 ~ 1.1

原子力委員会新計画策定会議技術検討小委員会報告書より

再処理のコストは直接処分のコストの約1.6倍。

(原子力委員会報告書より)

各国の使用済み核燃料の保有量

2007年時点 単位ト

1アメリカ	61,000
2カナダ	38,400
3日本	17,000
4フランス	13,500
5ロシア	13,000
6韓国	10,900
7ドイツ	5,850
8イギリス	5,850
9スウェーデン	5,400
10フィンランド	1,600

注：フランス、イギリス、ロシア、および日本は再処理を行っている
注：この時点で日本は世界4位

島本調整

日本の使用済み核燃料の保有量は 17,000 トンで世界 3 位。

フィンランドは 1,600 トンで世界 10 位。(2007 年時点)。

(島本調整)

日本の使用済み核燃料への提言

▶ フィンランドのワンスルー方式を採用する

使用済み核燃料を直接地中に埋める。

再処理をして、Puを取り出し、高速（増殖）炉で使用したり或いはMOX燃料として原子炉で使用することはしない。

理由：1) 再処理装置は濃硝酸の取り扱いが危険。六ヶ所村の商業稼働は2030年とも言われている。

2) 高速（増殖）炉は設計開発・建造に年月がかかり、設備は高価。

3) MOX燃料の製造は現在はフランスに依存しているが高価でペイしない。

4) 使用済み核燃料の中にはPu239とU235はわずか1%しか含まれてなく、危険で高価な再処理をしてもペイしない。