使用済み燃料再処理　vs.　乾式中間貯蔵

フランク・フォンヒッペル,
プリンストン大学科学・世界安全保障プログラム
国際核分裂性物質パネル（IPFM)共同議長
東京　2012年1月

アウトライン

- フクシマ事故後の使用済み燃料問題
- なぜ使用済み燃料の再処理は始まったのか?
- 再処理と核兵器拡散
- 各国の選択:再処理すべきか、せざるべきか
- 日本はなぜ再処理を続けるのか?
- 別の道:乾式中間貯蔵

フクシマ事故後の使用済み燃料問題

フクシマの事故の結果、原子炉と使用済み燃料の両方の安全性に焦点が当てられることになった。

我々のグループの焦点は:

- 如何に再処理が核不拡散体制の土台を揺るがすか
- 使用済み燃料に関連した安全性問題（ゴードン・トンプソンの話）

ほとんどの国は、再処理に背を向けた。乾式貯蔵と比べた場合のコストのためである。

我々は、日本もそうすべきだと主張する。理由は:

- 模範 (日本は、今日、再処理をしている唯一の非核兵器国)
- コスト
- 大量の放射能の放出の危険性

民生用の再処理が1970年代に始まったのはなぜか

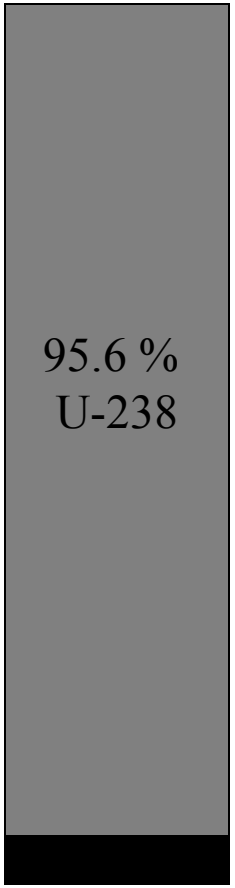
世界には、現世代発電用軽水炉約500基を40年運転するのに必要な量しか低コストのウランはないと考えられていた

したがって、ウラン利用効率がずっと高いプルトニウム増殖炉が必要となる

プルトニウム増殖炉の初期装荷燃料のためのプルトニウムを得るために、現存の発電用原子炉の使用済み燃料の再処理が必要となる。増殖炉はすぐにもできる――はずだった..

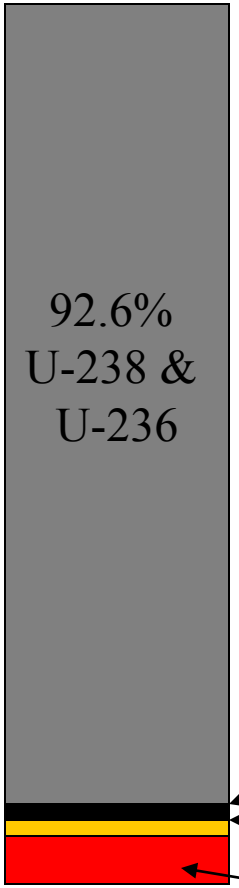
使用済み燃料内のプルトニウム

未使用の
低濃縮ウラン
燃料

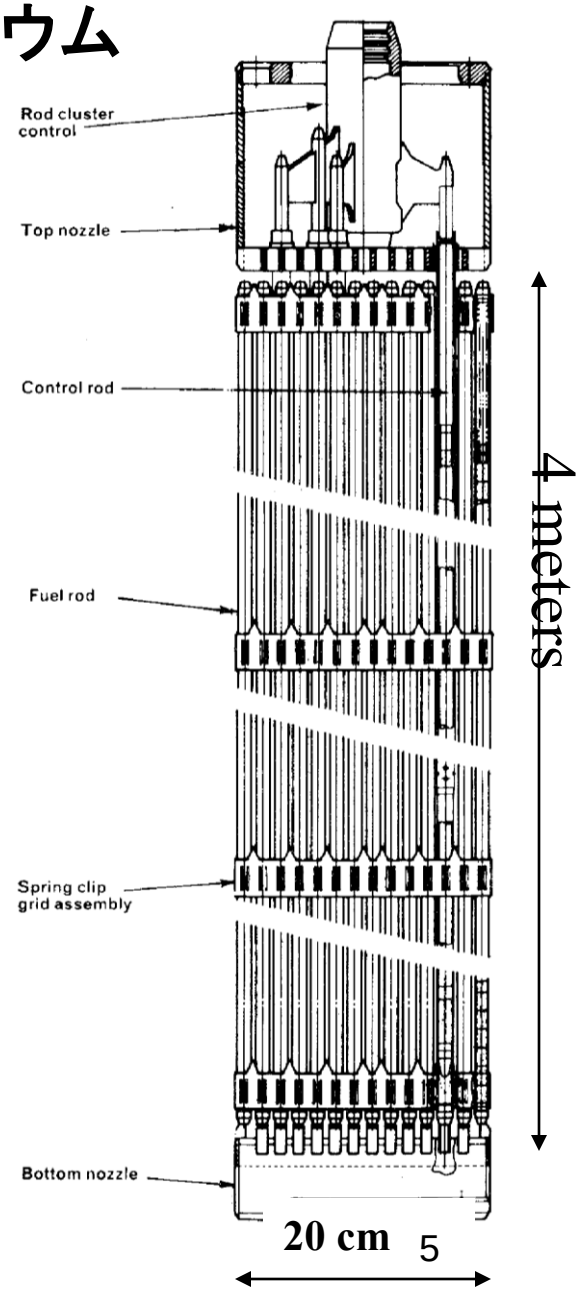


4.4% U-235

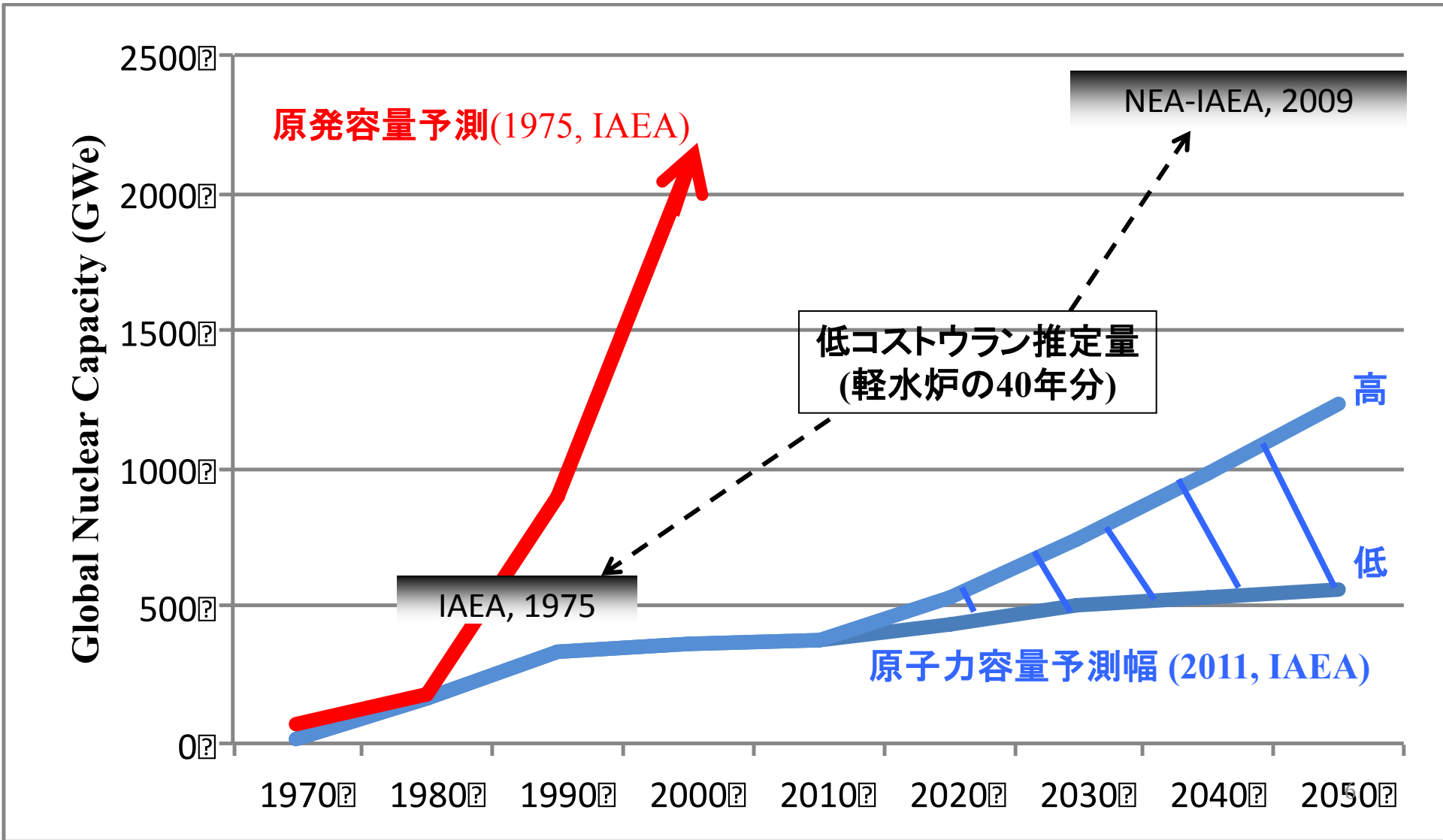
使用済み
燃料



0.8% U-235
1.2% プルトニウム
5.4% 核分裂生成物そ
の他の放射性核種

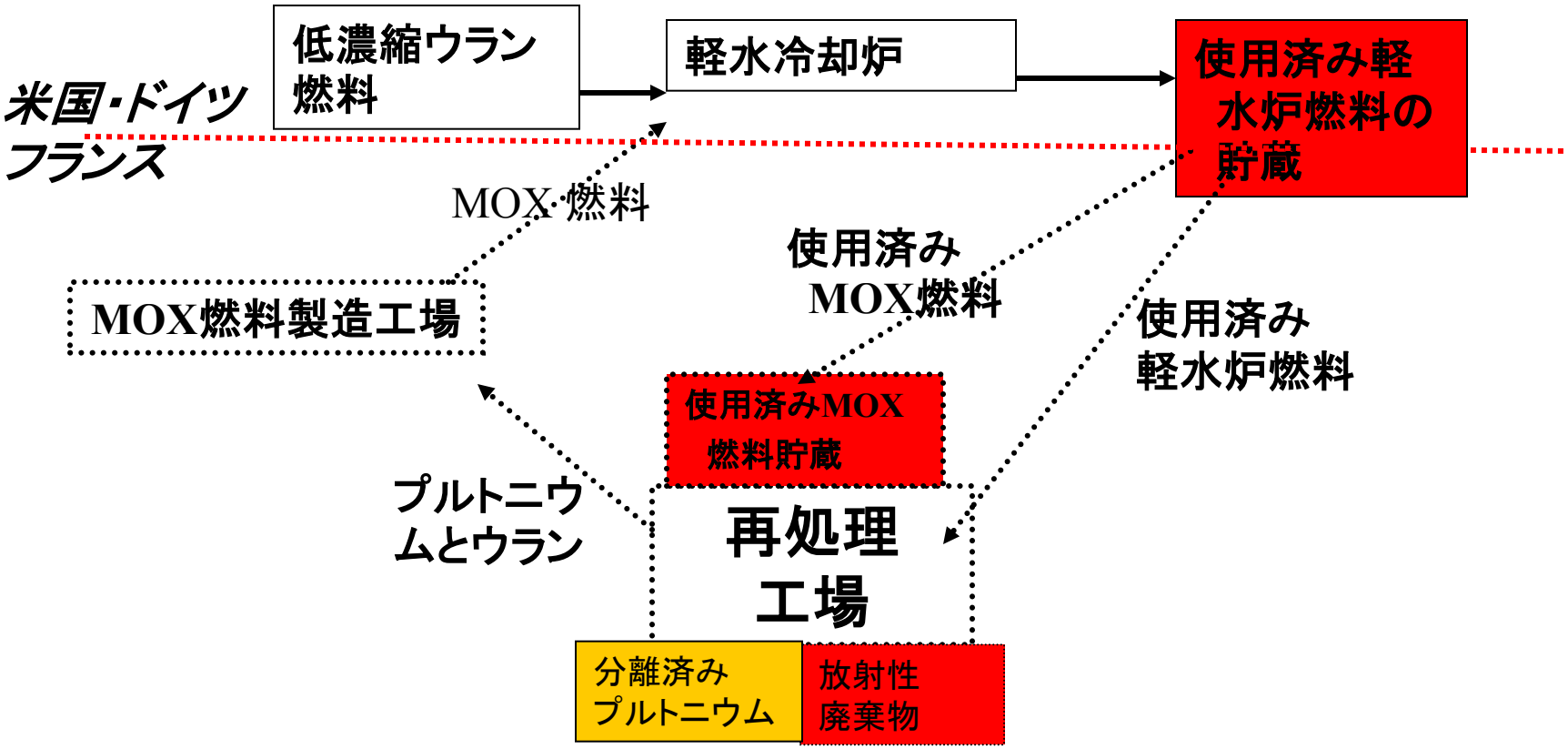


しかしプルトニウム増速炉は、商業化されなかった
-- 原子力発電容量予測は低下
-- 低コストのウラン資源推定量は増加

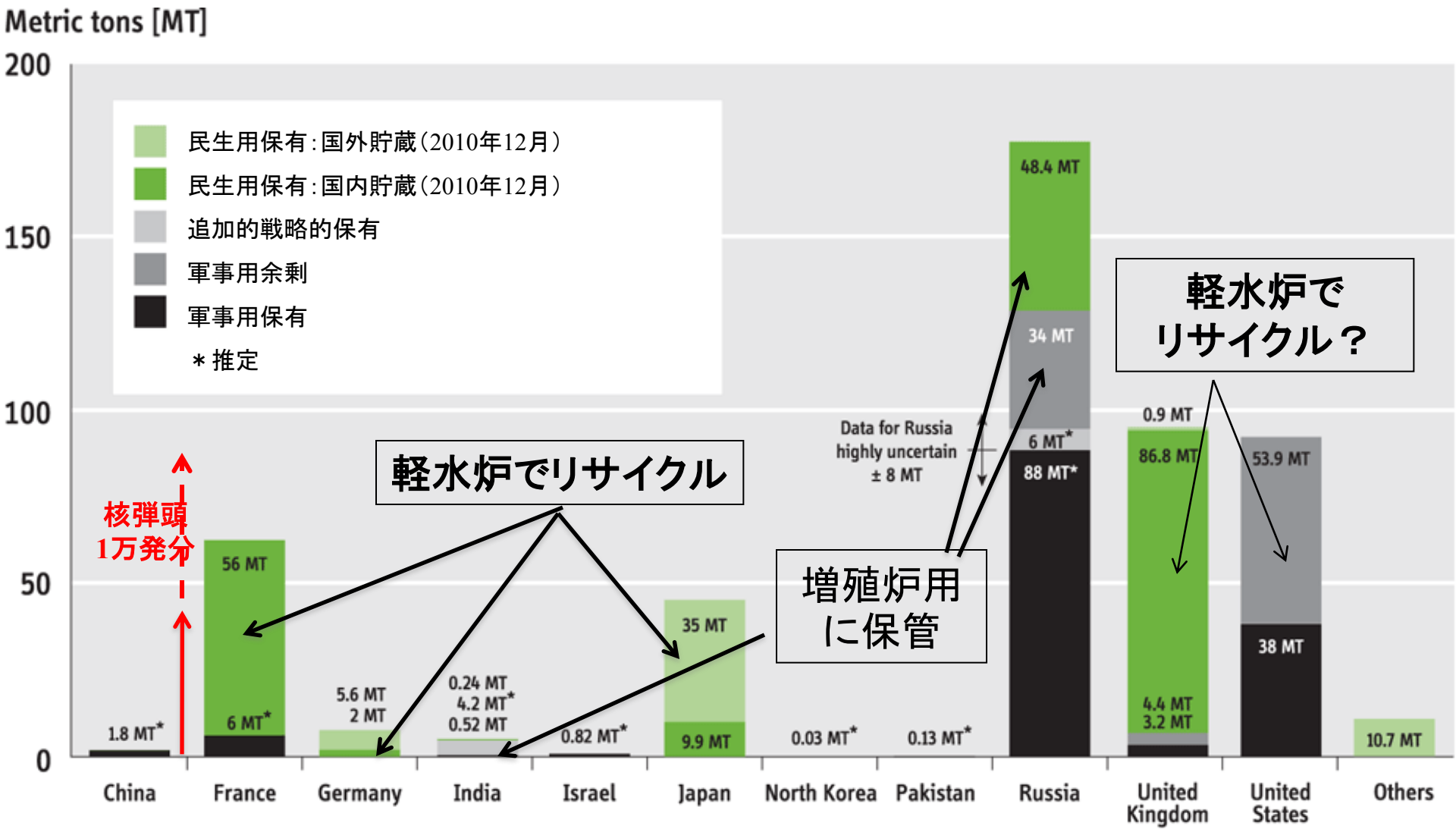


今日の燃料サイクル：
ワンススルーとプルトニウム・リサイクル

プルトニウムとウランのリサイクルは、ウランの必要量を約25%減らすが、コストを上げる――再処理コストの高さのため



世界における再処理計画の遺産
(軍事用と同量の民生用分離済みプルトニウム
核兵器が何万発もできる量)



再処理と核拡散

1974年、インドが、「平和的」核爆発のために、民生用に分離した最初のプルトニウムを使った。アルゼンチン、ブラジル、韓国、パキスタン、台湾も、核兵器計画のために「民生用」再処理工場を追求あるいは建設していた。国内の変化と国外からの圧力がこれらの計画のほとんどを終わらせた。日本は、今日、再処理を行っている唯一の非核兵器国である.

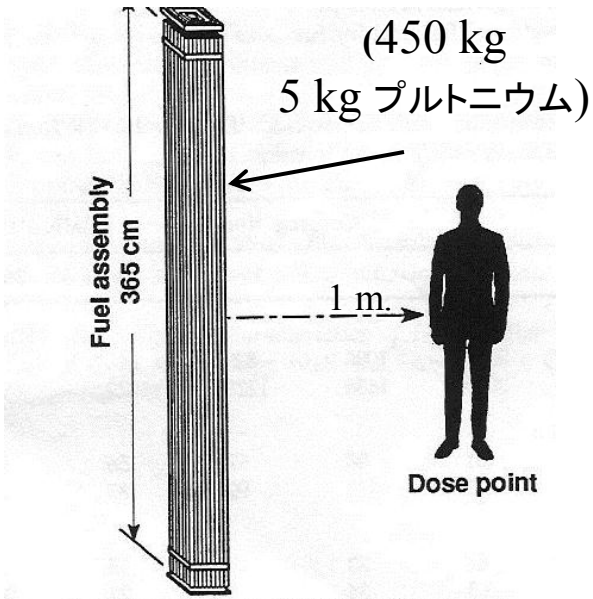
しかし、北朝鮮の2009年5月の核実験以来、韓国は、「核主権」を主張している。つまり、.日本と同じく再処理をする権利だーー濃縮も再処理もしないとの1992年の北朝鮮との協定にも関わらず。韓国は、現在米国と、新しい協力協定で韓国に再処理を認めるどうか巡って、非常に粘り強い交渉を行っている。

民生用の分離済みプルトニウムのほとんどは兵器級ではない. ***長崎型の設計では、民生用プルトニウムは、化学爆薬にして少なくとも1000トン分の爆発を起こす。長崎は2万トンだった。＊もっと新しい設計なら、兵器級プルトニウムと原子炉級プルトニウムの間に爆発力の差はほとんどない。***

*J.カーソン・マーク『原子炉級プルトニウムの爆発特性』*Science and Global Security*, 4, 111-128, 1993　マークは、何十年にも亘ってロスアラモス国立研究所の理論部門のトップを務め、核兵器の設計において重要な役割を果たした。.

再処理はなぜ核拡散を容易にするか

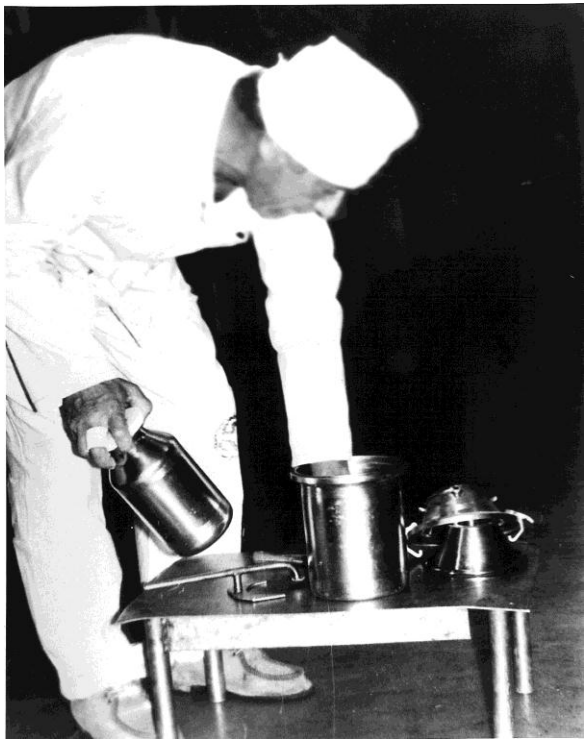
使用済み燃料のプルトニウムは
長寿命の核分裂生成物（セシウム137）
のガンマ線で防護



igure 1. Dose rate from a PWR fuel assembly.

取り出し後50年：30分で致死量　4シーベルト。プルトニウムを分離するには厚い壁の後ろでの処理（つまり再処理）が必要

分離済みプルトニウムは
取り扱いが簡単



軽量容器に入れた2.5kgのプルトニウム
グローブボックス内で分離・回収できる
容器3個分で長崎原爆1個に十分

(マヤック再処理工場, 1994)

なぜほとんどの国は再処理を放棄しているのか?

1) 再処理は深地下での放射性廃棄物処分場立地をしやすくはしない。

処分場立地に関して、再処理をしないスウェーデンとフィンランドの方が、再処理をする仏・日・英より進んでいる。

2) **原発を持つ電力会社は、もう、増殖炉が商業化されるとは思っていない。** (増殖炉は再処理を必要とする)

3) **再処理の方が*はるかに*高くつく。** 使用済み燃料を貯蔵しておいて、その後深地下処分場に直接処分した方が安い。.

4) 再処理コストを除外しても 、**MOX燃料は、低濃縮ウラン燃料より製造費が高く、深地層処分場での処分が難しく（放射能による発熱量がはるかに大きいため）、炉の安全余裕を減らす。**

各国の現在の政策

再処理中又は計画中の国 (発電容量にしめる割合%) (GWe, [10^9 Watts])		顧客国で再処理を中止した国、中止を計画している国 (GWe)		再処理をしたことのない国 (GWe)	
中国 (20%)	11.7	アルメニア (露で)	0.4	アルゼンチン	0.9
フランス(85%)	63.1	ベルギー (仏)	5.9	ブラジル	1.9
インド (≈50%)	4.4	ブルガリア (露)	1.9	カナダ	12.6
日本 (100% 計画)	44.2	チェコ (露)	3.7	イラン	0.9
オランダ(仏)	0.5	フィンランド (露)	2.7	メキシコ	1.3
ロシア (10%)	23.6	ドイツ(英仏)	13.1	パキスタン	0.7
ウクライナ(5%露で)	13.1	ハンガリー (露)	1.9	ルーマニア	1.3
英国 (90%, 軽水炉除)	9.9	スロバキア (露)	1.8	スロベニア	0.7
英国、それに恐らくオランダとウクライナは、再処理を停止予定。フランスと日本の再処理の将来は不確か		スペイン (英仏)	7.6	南ア	1.8
		スウェーデン (英仏)	9.3	韓国	18.7
		スイス (英仏)	3.3	台湾	5.0
				米国 (1972以来)	101.1
合計 (65%)	**170.5**	合計	**52.6**	合計	**146.6**

他国の場合と同様、日本でもプルトニウム増殖炉の商業化は遅延

原子力委員会の長期計画における考え方の推移:

1961. 不可欠。1870年代後半以降に商業的導入

1967.将来、原子力発電の主流。1980年代後半に商業的導入

▪

▪

1995. [ナトリウム火災事故により増殖原型炉もんじゅ、送電開始後3ヶ月で運転不能に。以来運転中止のまま。]

2005.経済性等の諸条件が整うことを前提に、2050年頃から商業ベースでの導入を目指す

2010年末. 日本の分離済みプルトニウム保有量は、国内で8,400kg（いくつかの原発にあるMOX燃料に含まれるものを除く）、英仏再処理工場に35,000kg

増殖炉の商業化が進んでいないため、日本は、現在、分離済みプルトニウムのほとんどを現存の原子炉でMOX燃料としてリサイクルする計画

さらに300,000 kgが六ヶ所再処理工場で分離されることになっている。

使用済み燃料を中間貯蔵するのでなく再処理することを正当化するもっとも最近の議論

(原子力委員会原子力政策大綱策定会議　2004年)

「**シナリオ3：使用済み燃料の直接処分**…原子力発電所からの使用済燃料の搬出や中間貯蔵施設の立地が滞り、現在運転中の原子力発電所が順次停止せざるを得なくなる状況が続く可能性が高い、といった『立地困難性』や『政策変更に伴う課題』がある」

かくして、使用済み燃料は六ヶ所に送られている。原発敷地内外での中間貯蔵に関連した政治的問題に立ち向かうことを避ける方策として。

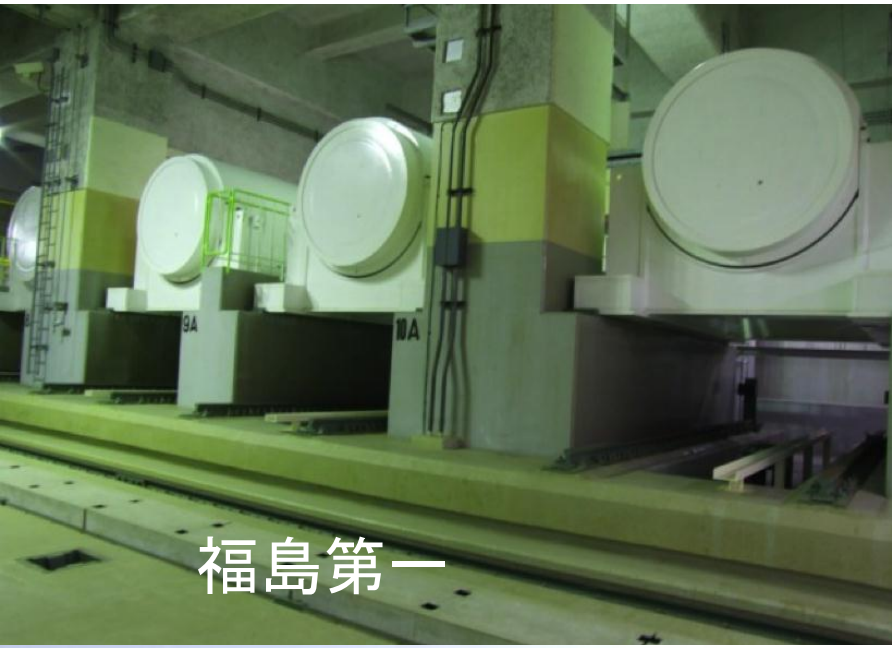
六ヶ所再処理工場の貯蔵容量は3000トンしかなく、このプールは満杯になっている。近いうちに中間貯蔵施設を作らなければならない。

しかし、再処理工場の運転は、非常に高くつき危険である。そして、核不拡散体制をむしばむ。

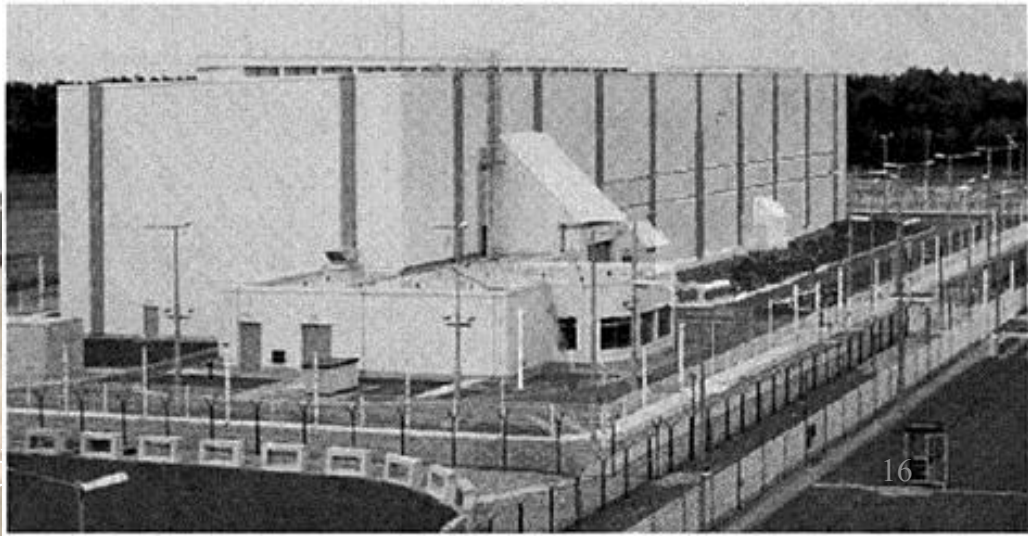
再処理は、中間貯蔵よりはるかに高くつく

六ヶ所: 2012－2051年に3万2000トンの使用済み燃料を再処理するための運転費用7.8兆円と推定

原発敷地内乾式貯蔵の方がより安全で、費用もはるかに安い
(日本では、福島第一で少量の乾式貯蔵が実施)



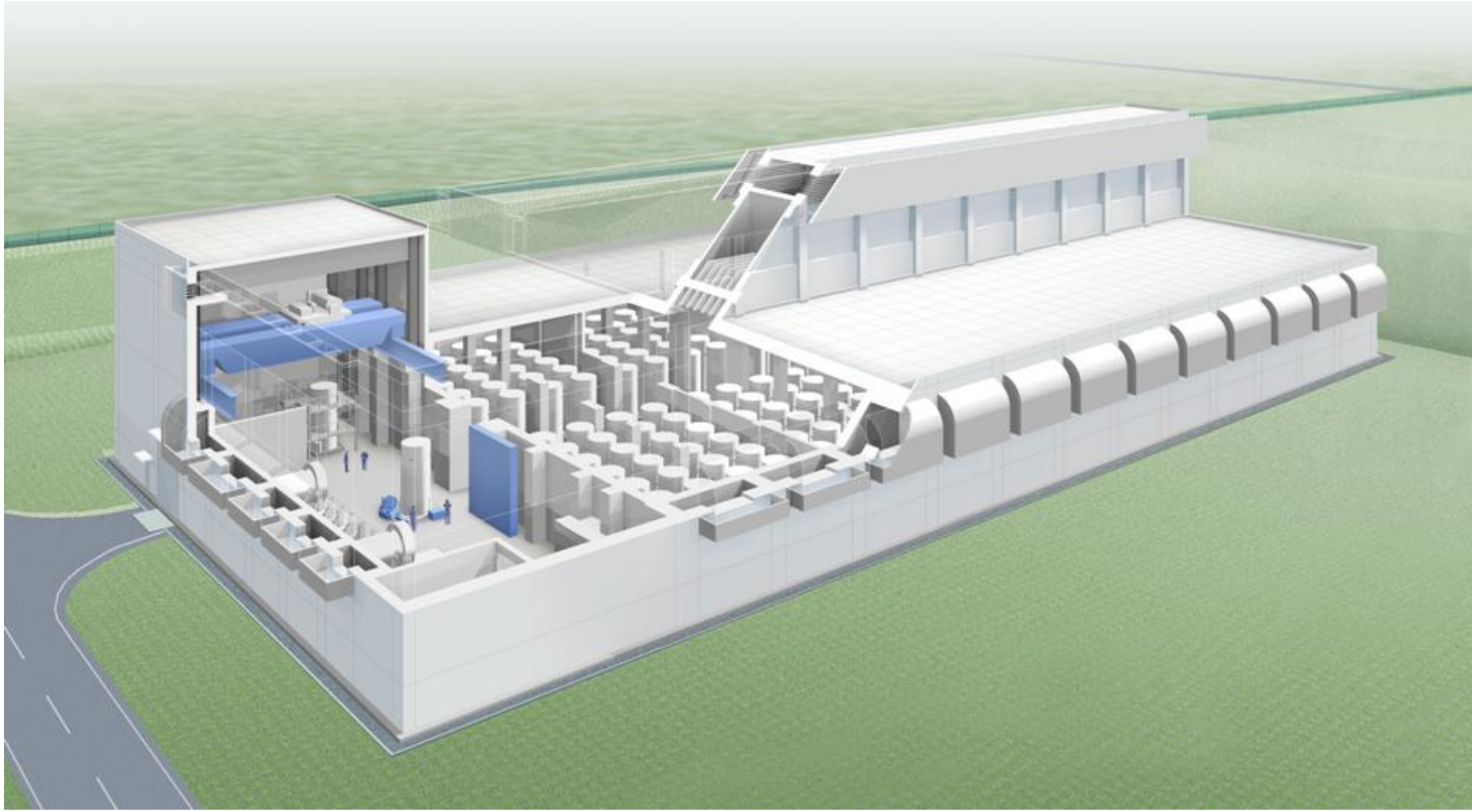
リンゲン原発　ドイツ



原発敷地内貯蔵は、小さな敷地でも可能

(オフィス棟の下の貯蔵トンネル：ネッカー・ヴェストハイム原発（独） 2006年)

むつ:3000トンの使用済み燃料を貯蔵する費用0.1兆円



(想像図　建設中　)