

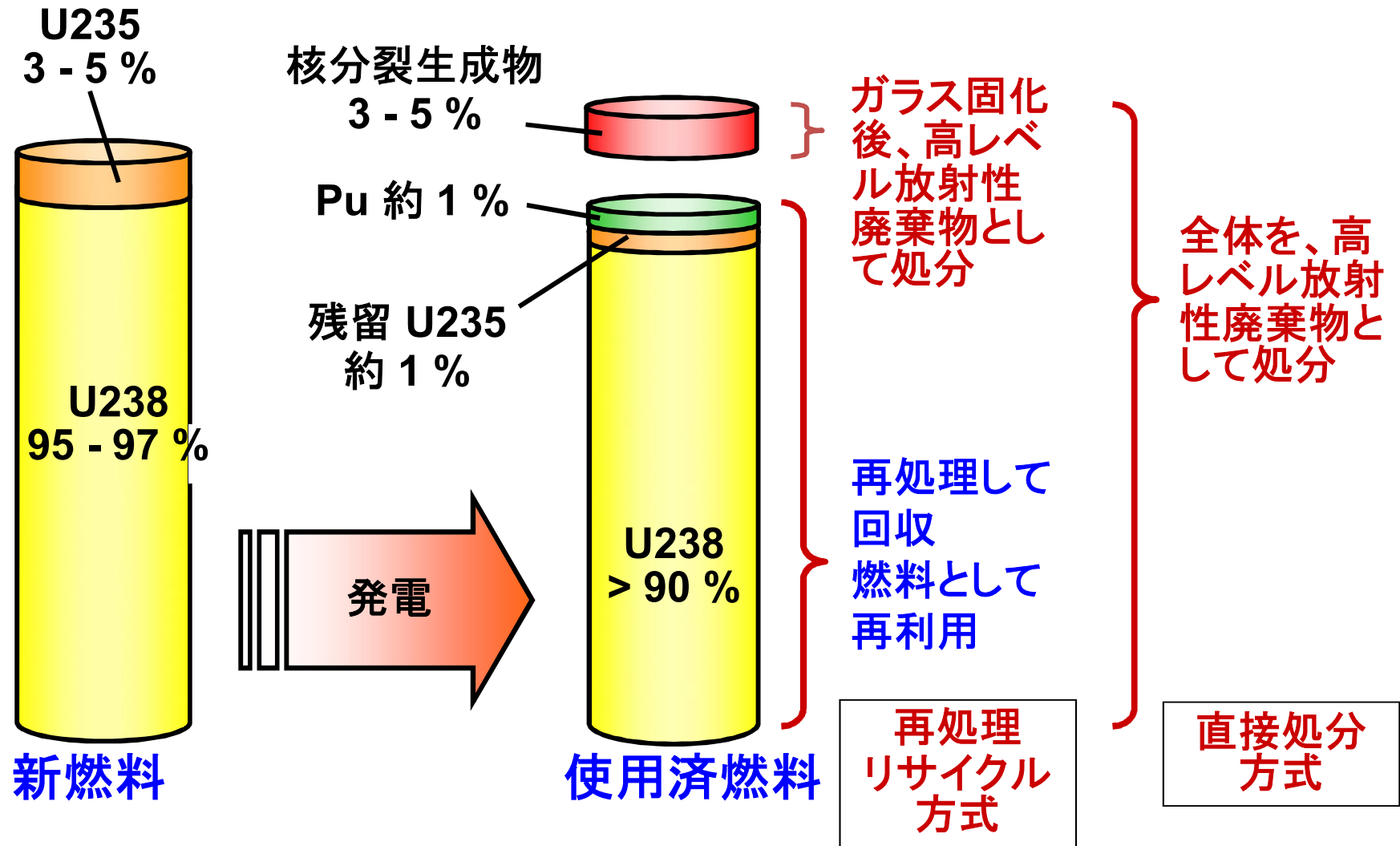
解決できる トイレ無きマンション問題

2017年4月24日

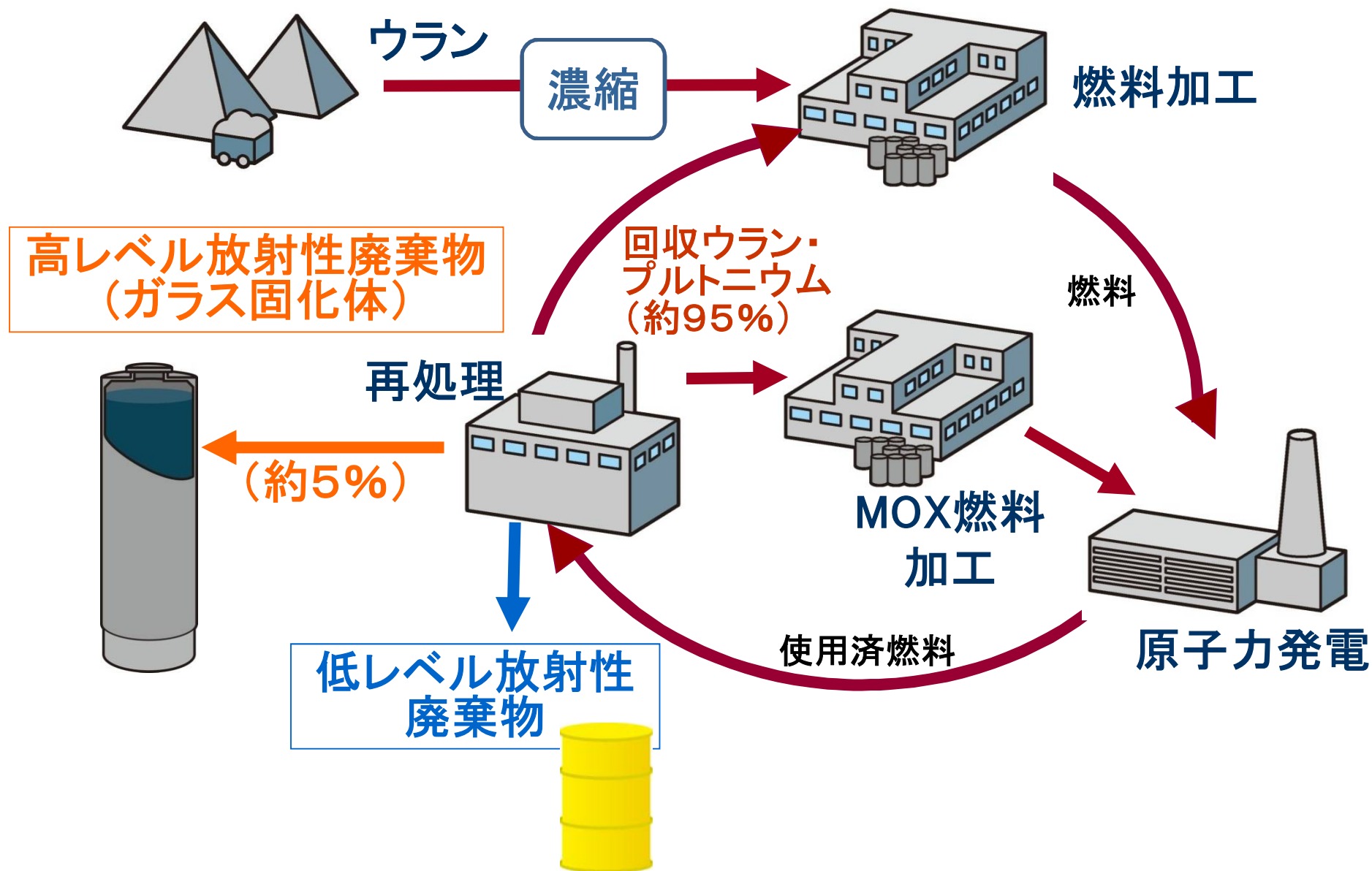
原子力国民会議草の根セミナー
高レベル放射性廃棄物の地層処分を考える

河田東海夫(元NUMO理事)

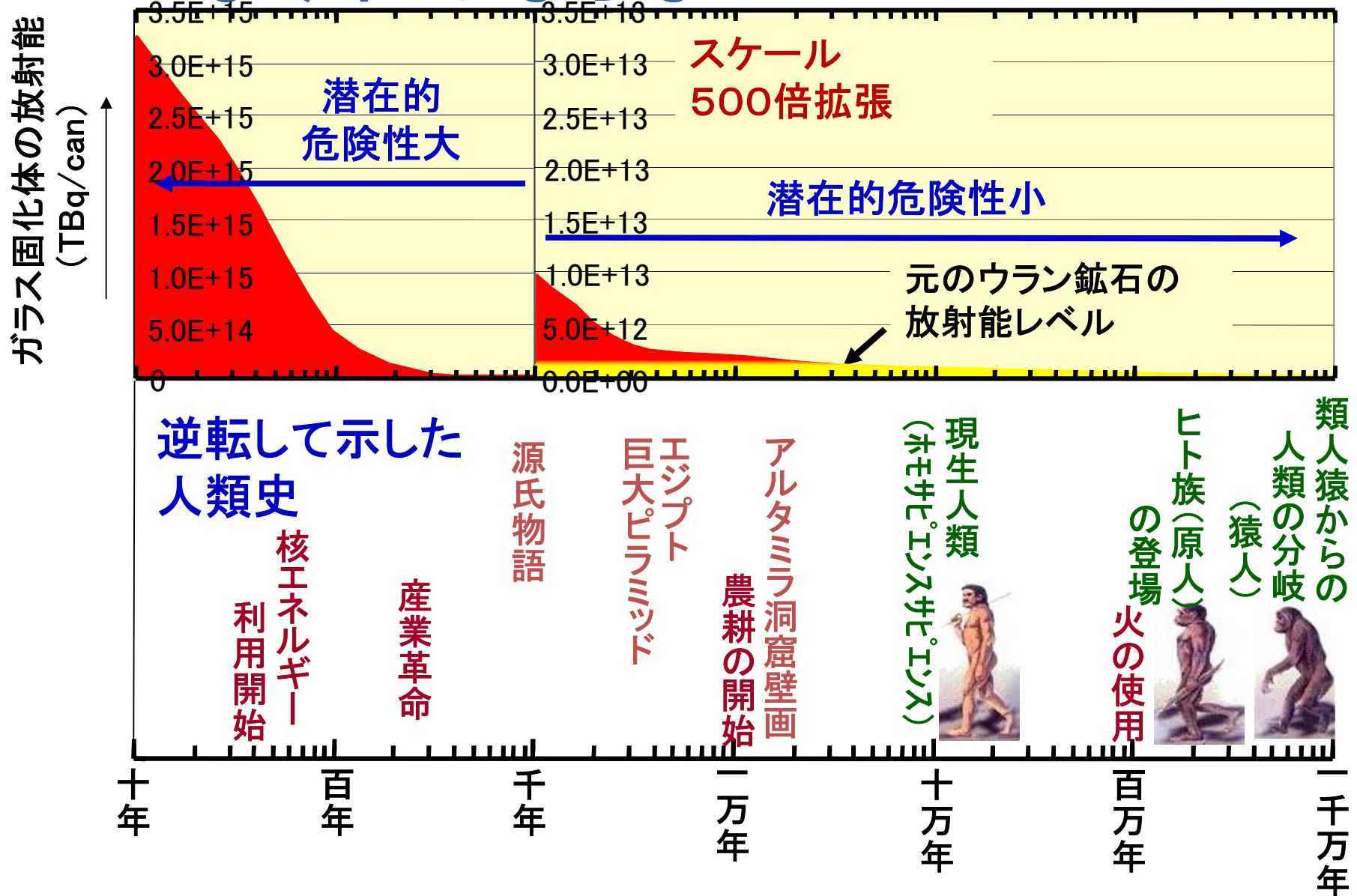
軽水炉の使用済燃料管理の2つのオプション



原子燃料サイクルと電気の廃棄物



廃棄物の放射能はいつまで心配 しなければならないのか？



感覚的処分悲観論の蔓延

- これほどの地震大国では、処分できる場所なんかない
- 10万年の安全なんか、だれが保証できるの？
- 地中に埋める、なんてあとは野となれ山となれ、ではないの？

.....

でも、ちょっと耳を傾けてください

地層処分の基本的考え方

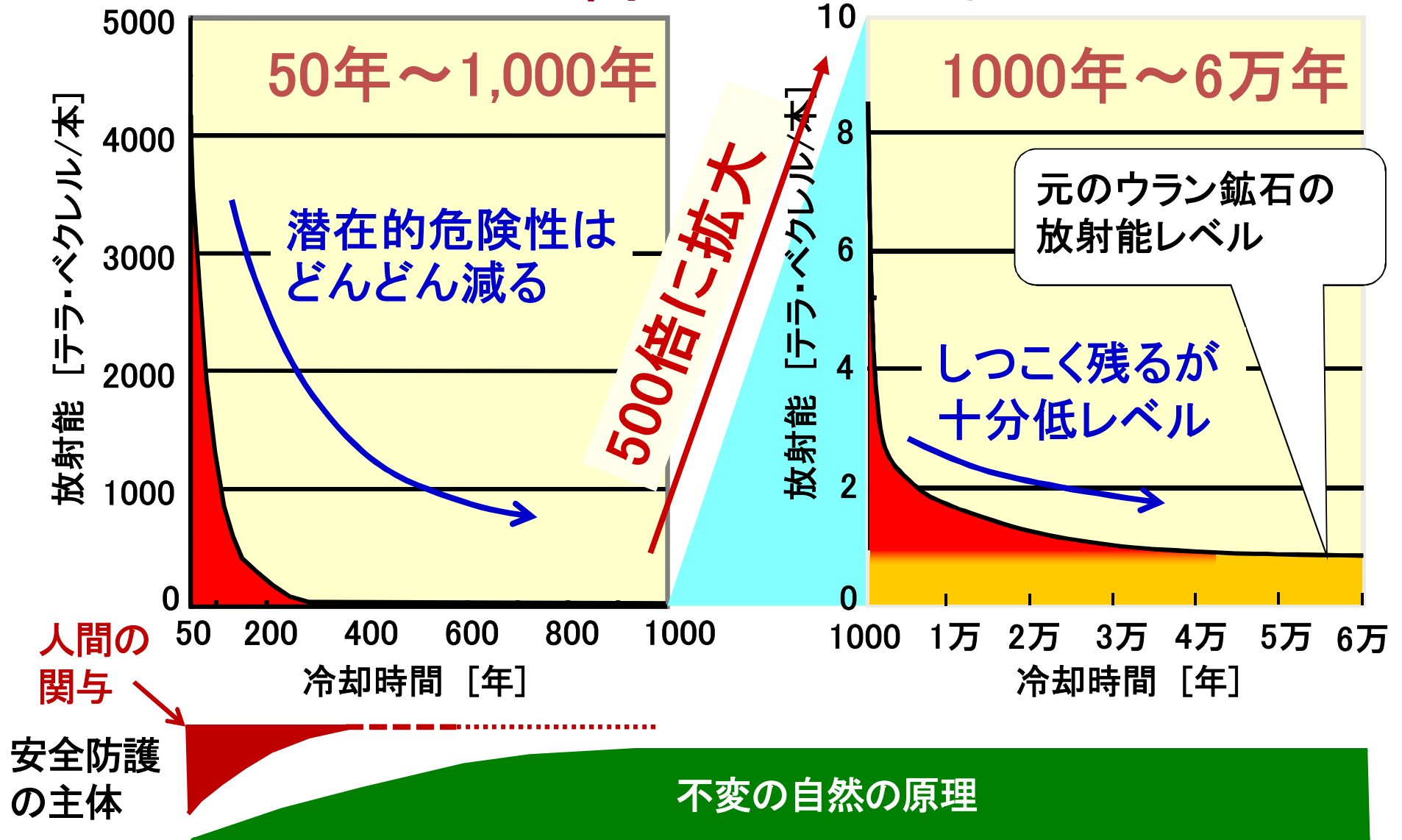
- 高レベル放射性廃棄物の放射能
 - 初めは強烈だが、300年間で急激に減少
 - しかし元のウラン鉱石並みになるには1万年以上
- 万年オーダーの長期にわたる安全の確保
 - 人の管理はあてにできない(国家の存続、人類の存続すら保証できない)
- そこで、**深部地質環境が持つ物質を超長期にわたって物質を閉じ込める固有の性質**を利用し、「**受動的安全**」を達成



不変の「自然の原理」に超長期の安全をゆだねる

ガラス固化体の放射能の減衰

いつまでも高レベルではない！



自然の原理その1

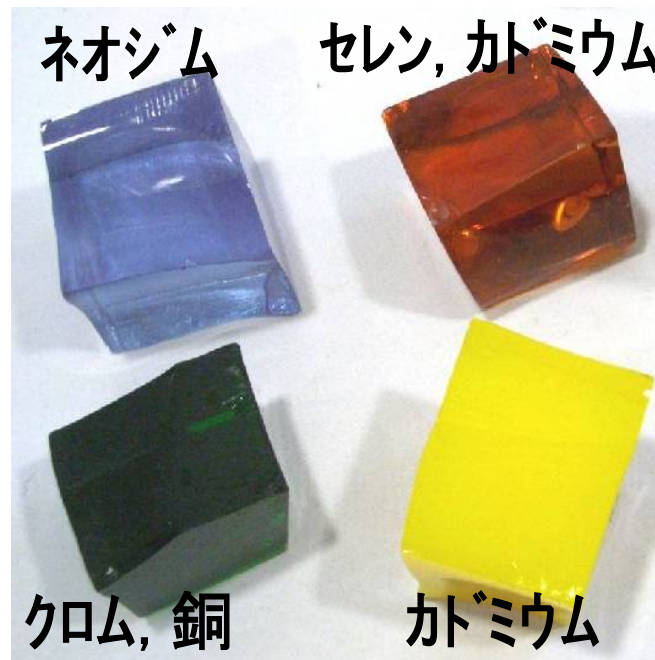
色ガラスの色は何千年たっても消えない

3400年前の古代
エジプトのガラス



写真提供 岡山県立オリエント美術館

- 色ガラス = ガラス + いろいろな元素
- ガラスの色がいつまでも消えない
⇒ ガラスに取り込まれた元素はガラスから抜け出られない



ガラスは核分裂生成物を閉じ込める

- 核分裂生成物(核の燃えカス) = 様々な放射性元素
- ガラス + 様々な放射性元素 ⇒ ガラス固化体
- ガラスに取り込まれた放射性元素はガラスから抜け出られない

模擬ガラス
固化体



さまざまな元素を溶け込ませるので黒いガラスになる

脱酸素剤



- 腐食や錆びは酸化現象
- 酸素がなければ腐食や錆びは進まない

自然の原理その2

還元環境(酸欠環境)では物質は 錆びない、腐らない、溶けにくい

具体事例1



青谷上寺地(鳥取県)で発見された弥生人(約1800年前)の脳

- 死体が粘土質の湿地に埋没
- 湿った粘土に包まれ、完全酸欠状態が形成された



- 酸欠環境は卑弥呼時代の人間の脳も腐らせずに保持

自然の原理その2

還元環境(酸欠環境)では物質は 錆びない、腐らない、溶けにくい

具体事例2



堺市下田遺跡から発掘された
1800年前の銅鐸

- 粘土に包まれて埋められていた
- 発掘時は銅の金属光沢が保たれていた



- 酸欠環境が1800年間、青銅の腐食を防いだ

還元環境がガラスを守る

- 地下100m以深は酸素がない還元環境
 - 地中バクテリアや鉱物の溶解で酸素が消費しつくされてしまう
- 卑弥呼時代の人間の脳が腐食せずに保持されるような還元環境なら、ガラスが腐食したり、溶けてしまう可能性は無限に小さい

クラーク数

クラーク数

| 順位 | 元素 | クラーク数 |
|----|--------|-------|
| 1 | 酸素 | 49.5 |
| 2 | ケイ素 | 25.8 |
| 3 | アルミニウム | 7.56 |
| 4 | 鉄 | 4.70 |
| 5 | カルシウム | 3.33 |

Wikipedia より


地表近くに存在する元素
の存在比率(質量%)

(注)一般には有名な商品名「パイレックス
ガラス」の名で知られている

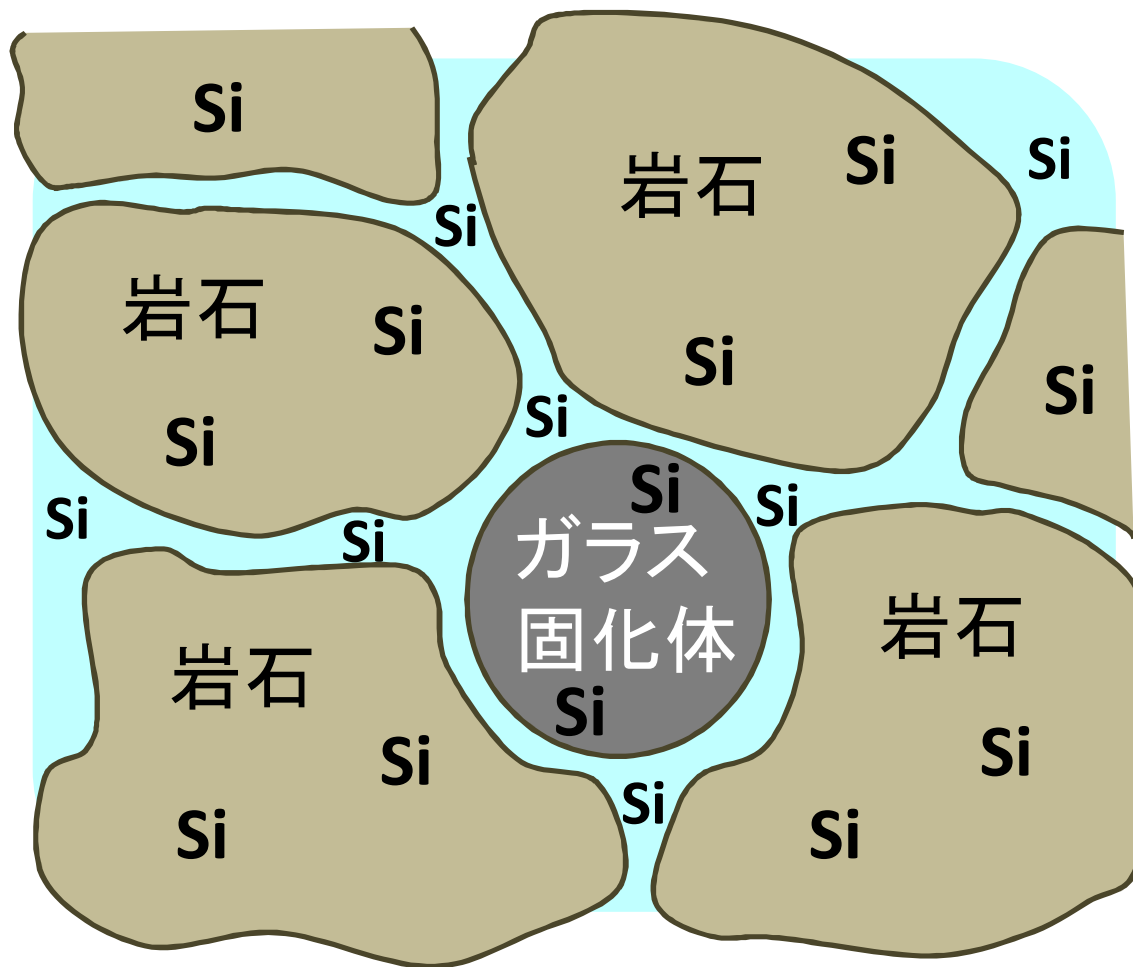
- 地表近くの岩石を構成する元素は、酸素を除けば、ケイ素(Si)がほぼ半分を占める
- 例えば、花崗岩の主成分は石英と長石
 - 石英: SiO_2
 - 長石: KAlSi_3O_8 など
- ガラス固化体に用いるガラスはホウケイ酸ガラス(注)
 - 約8割は SiO_2
 - 残りは B_2O_3 など

自然の原理その3

飽和濃度を超えると物質は溶けない

- 地下深部の岩石は地下水に溶けてなくなることはなく、ずっとそこにあり続ける
 - もともと岩石の溶解度は極めて小
 - 地下深部の地下水(ほとんど動かない)は、周りの岩石の主成分である Si で飽和
- 
- Si で飽和した地下水に Si が主成分の岩石は溶けない

Siで飽和した地下水では、ガラスの 溶解は容易に進まない



- Siで飽和した地下水にSiが主成分の岩石は溶けない
- ガラスもSiが主成分で、容易には溶けない

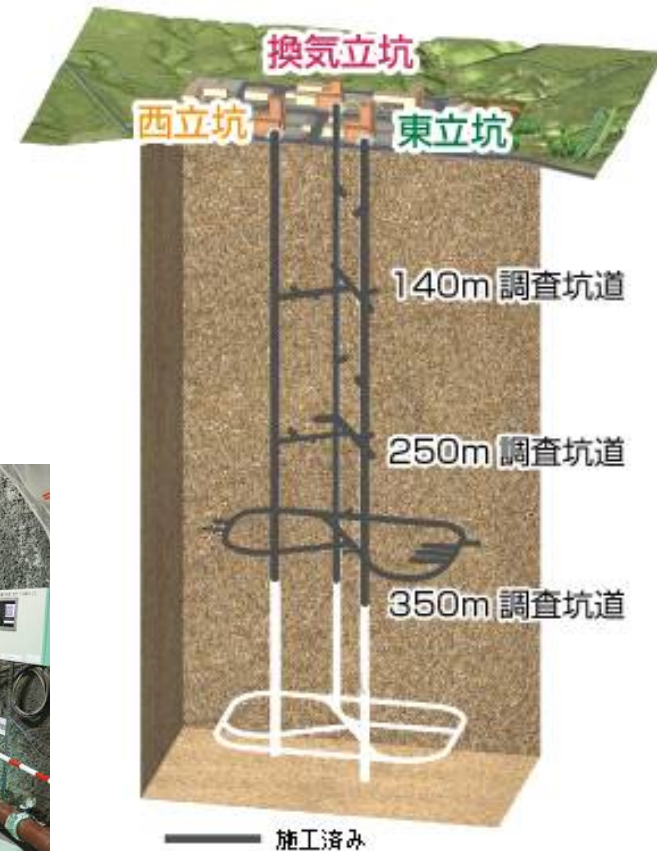
(安全評価上は、保守側に7万年程度で溶けると仮定)

日本に処分できる場所があるのか？



「日本の場合、そもそも捨て場所がない。
原発ゼロしかないよ！」

日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センター



幌延地下350mの地下水

自然の原理その4
地下深部は水の
動きが極めて遅い

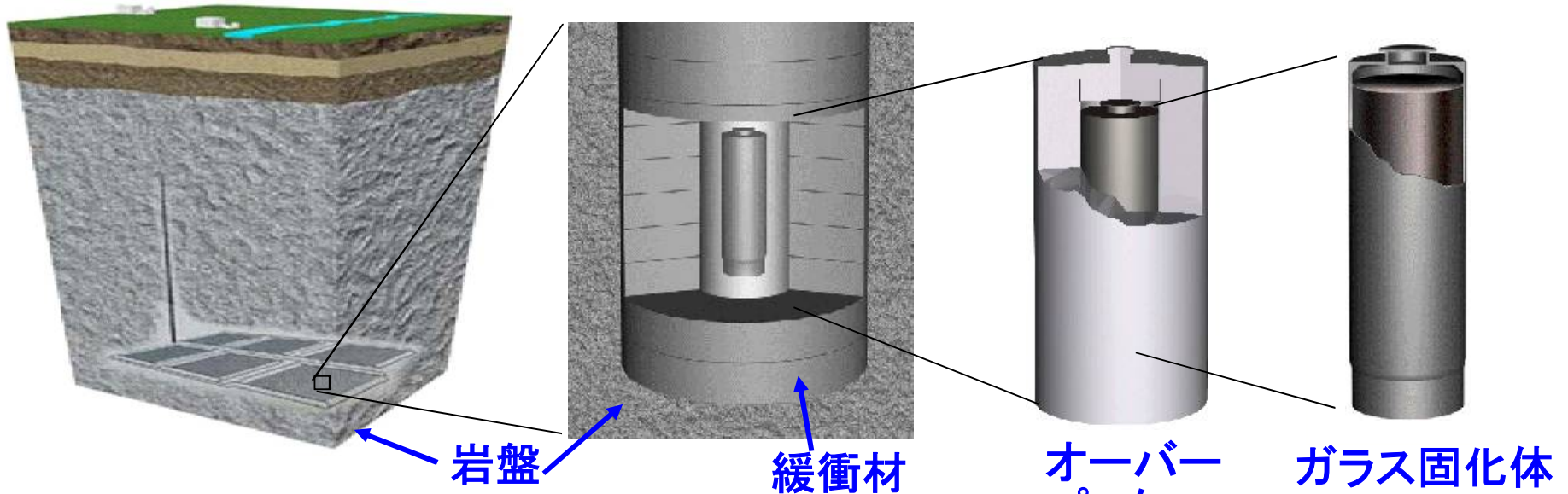


日本原子力研究開発機構提供

- 300m以深の地下水の年代測定結果 ⇒ 100万年以上
- 100万年以上昔の水がそこに留まっている
- そういう場所なら、仮に放射能が溶け出ても、その地下水は100万年たっても地表に出てこない ⇒
日本にも処分できる場所があることを示す端的な証拠
- 古代の地下水が残るのは幌延の特異現象では無く、地下深部の一般的特徴

地層処分システム

➤ 天然の地層と人工物との組み合わせによる多重バリアシステム



地下深部(300m以深)

- 人間の生活圏から離れており、人間活動や自然現象の影響を受けにくい
- 酸素がほとんどなく、鉄の腐食やガラスの溶解が進みにくい
- 地下水の動きが極めて緩慢

天然バリア

粘土を主成分

オーバーパックへの地下水の浸透を遮断
溶出する放射性元素の移行抑制

オーバーパック

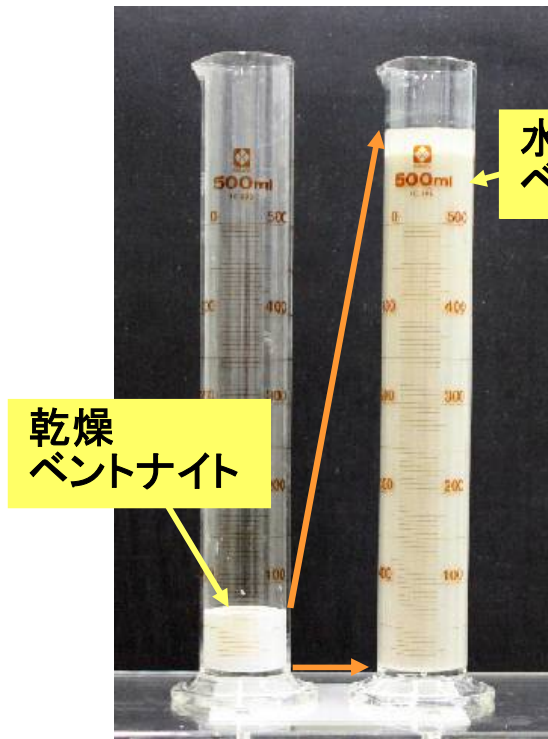
鉄(炭素鋼)製
ガラス固化体が地下水と接触しないよう保護(千年間)

ガラス固化体

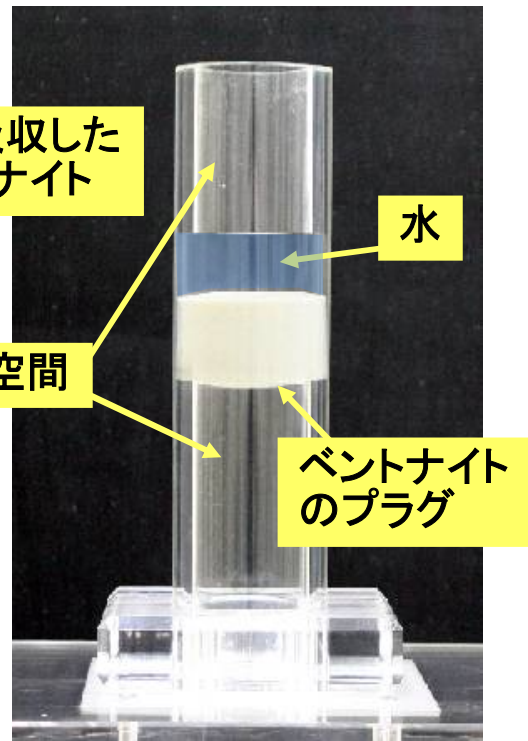
水にほとんど溶けず、放射能を閉じ込める

人工バリア

千両役者の粘土(ベントナイト)

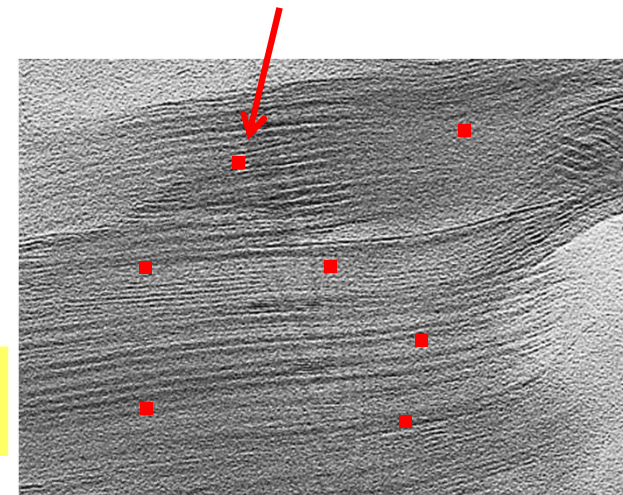


ベントナイトは水を吸収すると膨れて隙間を埋める



ベントナイトは水の浸透を遮断する

層構造の中に放射性の原子を取り込み逃がさない



ベントナイトの電子顕微鏡写真: 層状の構造が見える

ベントナイトは放射性の元素の優れた吸着剤

- ベントナイトは岩盤との接触応力を和らげるクッションの役目も果たす

自然の原理その5

地下深部は地表に比べて 地震の揺れが小さい

代表事例：中国唐山地震 (1976年7月)

- 唐山市＝巨大炭鉱都市
- マグニチュード7.8
- 死者24万人：20世紀最悪の被害
- **地上では7人に一人が死亡**
(人口107万人のうち14.8万人)
- **地下500～800mでは約600人に一人が死亡**
(約1万人が坑内で採鉱作業中だったが、死者は17人)
- 日本の震度に換算すると、**地表では震度7、地下500m
以深では震度4**(一部震度5)



300本の一升瓶を守った地下



細川マインパーク(旧細倉鉱山)の坑道奥にある山神社と古酒蔵

- 東日本大震災時、地表の揺れは震度5強
- 坑道の奥にある山神社には一升瓶20本が供えられており、隣の古酒蔵の棚には300本の一升瓶が保管されていたが、一本も倒れなかった
- 当時坑内に見学者が一名いたが、地震に気づかなかった

巨大地震時の処分場の安全性

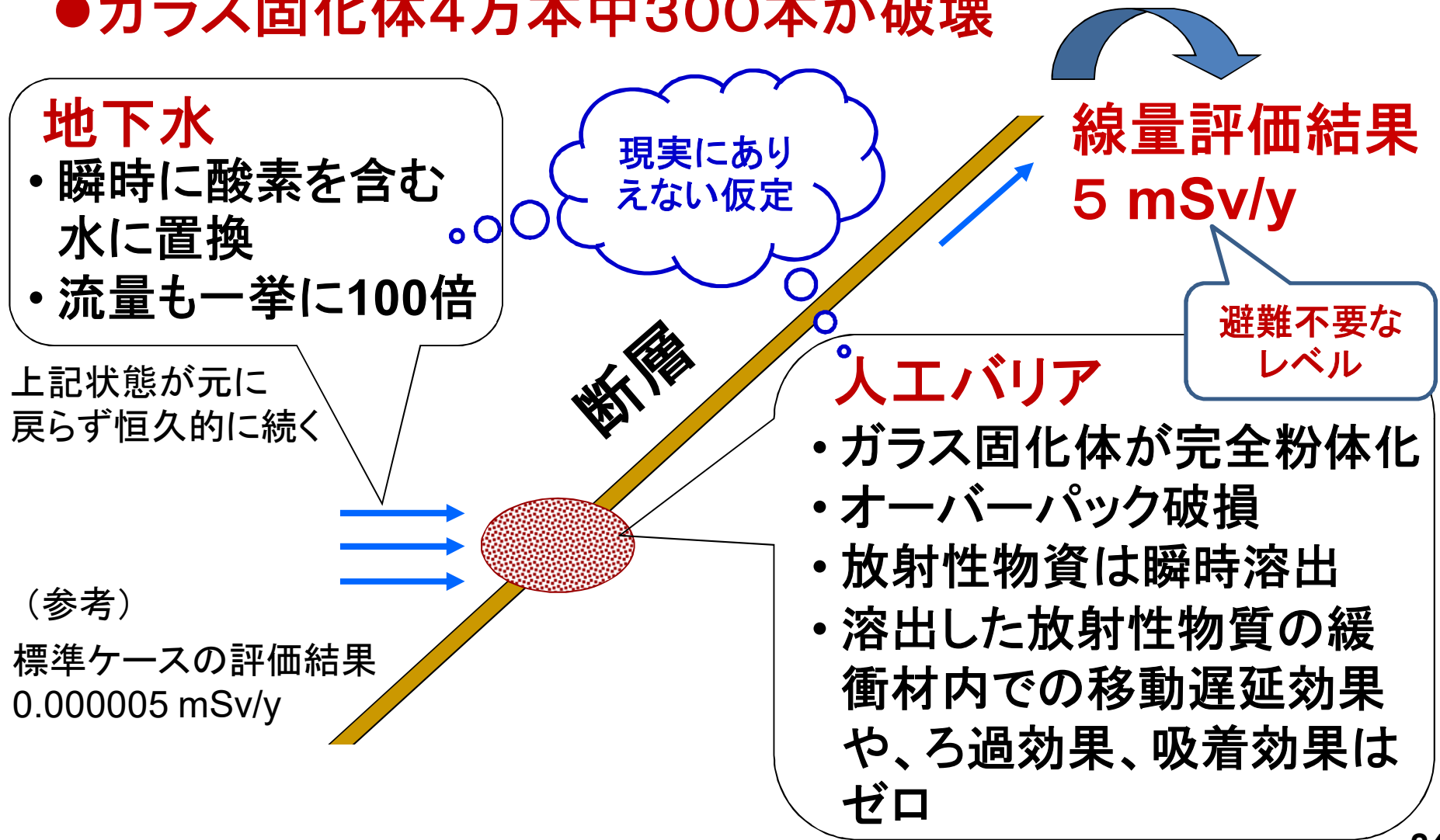
- 地下は地表より揺れが小さい
- 埋設後の廃棄物は周囲の岩盤に拘束され、一体として揺れるので、揺れで破壊されることはない
- 操業中も、地下施設は揺れが小さいので地表施設よりも安全

でも、

活断層に直撃されてしまったらどうなる？

活断層直撃ケースの評価例 (JAEA)

- 埋設100年後に活断層が直撃
- ガラス固化体4万本中300本が破壊



処分先進国の近況

- フィンランド

- 2015年末に建設許可
- 昨年末地下トンネル掘削工事開始
- 2023年処分開始目標

- スウェーデン

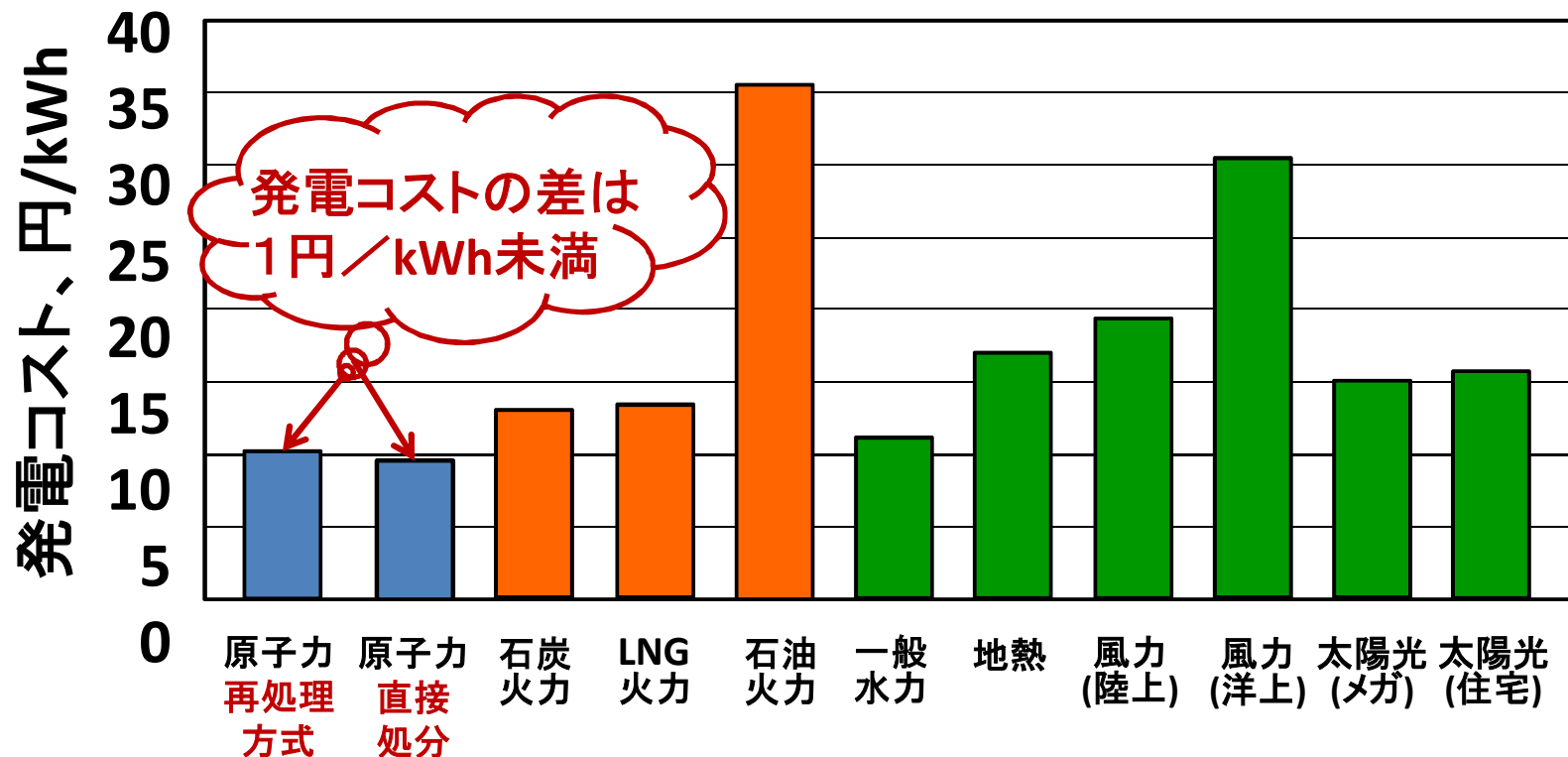
- 2011年に立地・建設許可申請、現在安全審査中
- 2020年建設開始、2030年処分開始を目指す

- フランス

- 2010年に約30km²の広域処分候補地を決定
- 具体的な処分場建設地を絞り込み、安全審査を始めるための諸準備を進めつつある

経済性に劣る再処理方式はやめるべき？

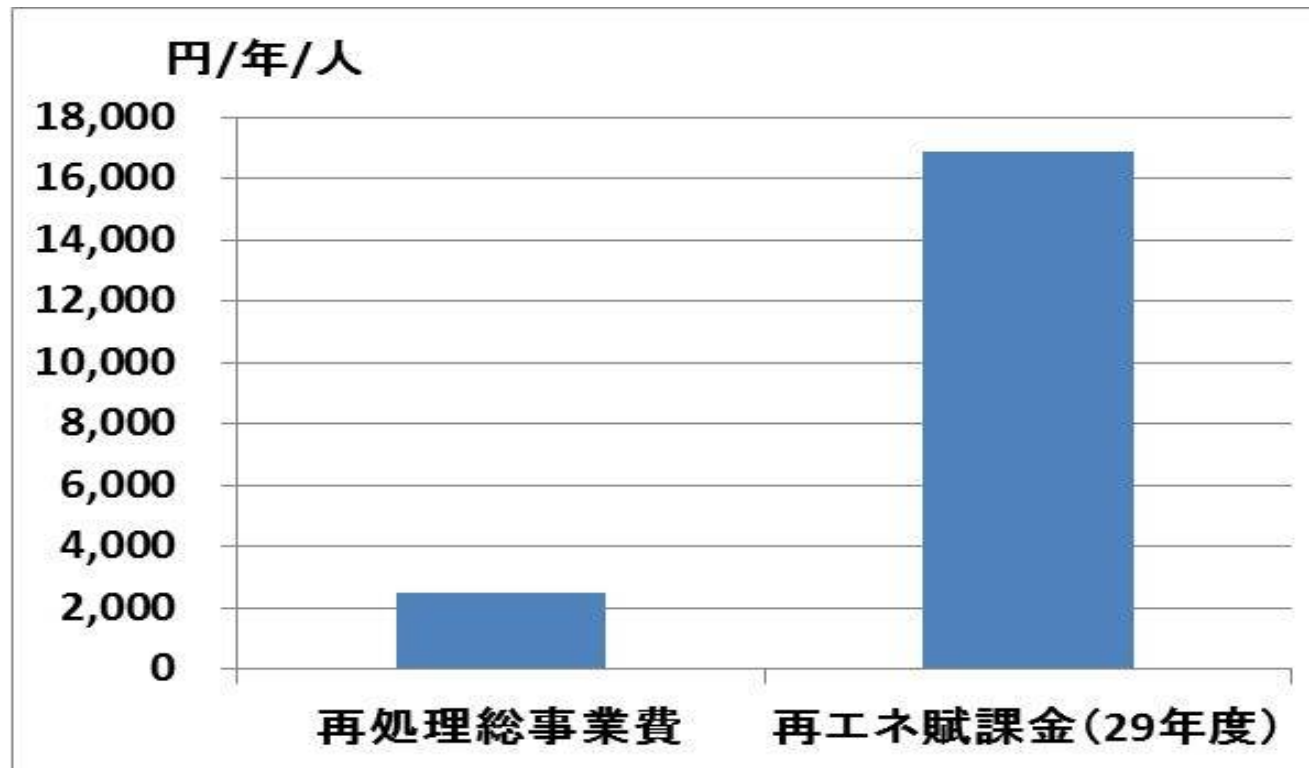
- 「再処理総事業費は12.6兆円！！」
- しかし、発電コストにすれば1円/kWh未満の差
- 他電源の発電コストの大きさと比べれば全く目クジラをたてる差ではない



長期エネルギー需給見通し小委員会試算結果(平成27年5月)を参照

再処理総事業費12.6兆円

- 40年間膨大な量の電力を安定供給するための必要経費の一部
- 国民一人当たりの年間負担額にすれば・・・



再エネ賦課金と比べても、決して過大な負担額ではない

再処理をやめるとどうなるか？

直接処分にすると処分場必要面積は約3倍

| 主要国の評価 | 処分場面積比 (直接処分／G固化体処分) |
|-------------------------|-------------------------|
| 原子力委 (H24.6) | 2.7 |
| フランス ANDRA Dossier 2005 | 3.25 |
| ベルギー ONDRAF SAFIR-2 | 6 |
| 米国 ANL/AFCI | 5.7 |

- 原発100年間の運転で必要となる処分場面積
(羽田空港埋立地換算)
 - 再処理方式なら1ヶ分
 - 直接処分なら3ヶ分
 - 将来の高速炉時代には半分

直接処分は日本になじまない

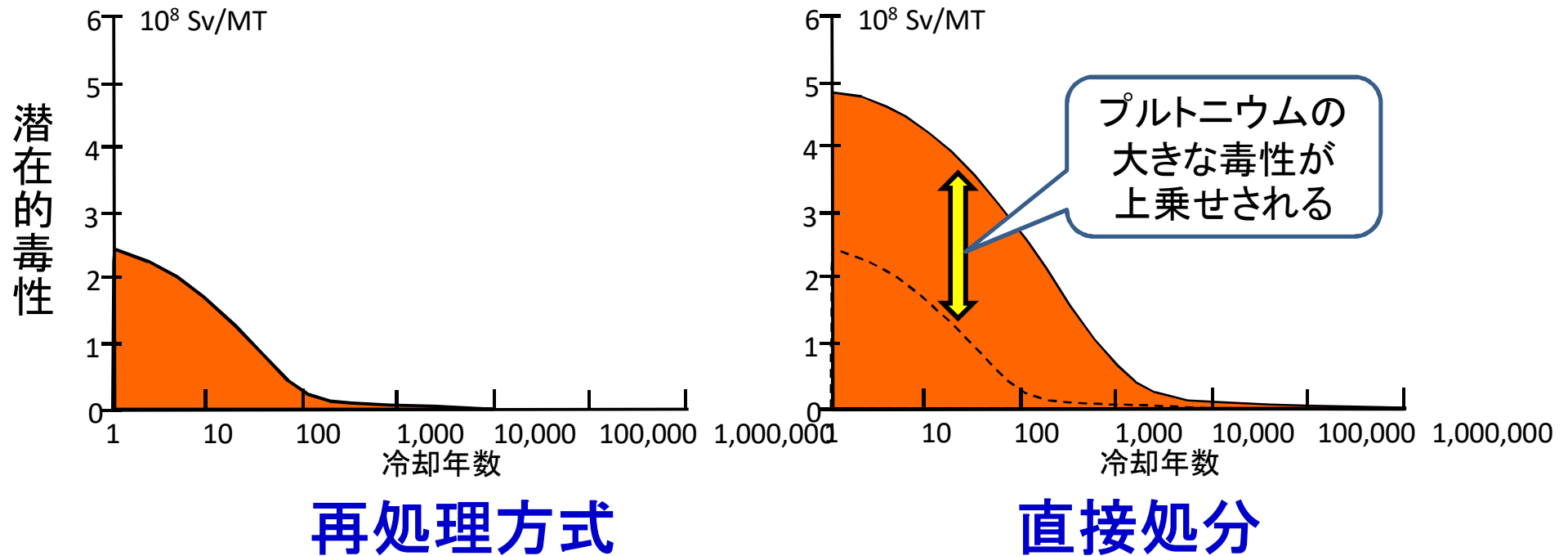
人口密度の比較

| 国 | 人口密度 人/km ² | 核燃料 サイクル政策 |
|--------|---------------------------|---------------|
| 日本 | 336 | 再処理 |
| フランス | 113 | |
| 米国 | 33 | 直接処分 |
| スウェーデン | 21 | |
| フィンランド | 16 | |
| カナダ | 3.4 | |

- 再処理をやめて直接処分にすれば処分場必要面積は3倍
- 国土が狭く人口密度が高い日本に米国や北欧の真似はできない
- 1円/kWh発電コストが高くなっても再処理方式を堅持するのが国民のため

直接処分は日本になじまない

高レベル廃棄物の放射性毒性



- Pu忌避感の強い日本では、直接処分(=Pu埋設)では処分場立地の困難性は格段に増す
- 再処理方式を堅持し、ガラス固化体での処分を目指すほうが国民負担ははるかに少ない

プルトニウムは本当に原爆材料？

日本が保有する
プルトニウム
48トン

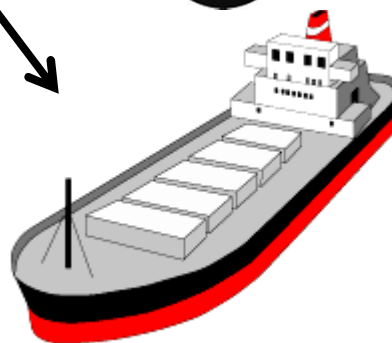
国内保管: 11トン
海外保管: 37トン

原子炉級プルトニウム

- 品質が劣るため、信頼性の劣る手作り爆弾ならできるが、ミサイル搭載用核弾頭には使えない（本格的核武装には役立たない）



原爆換算すれば
6000発分！

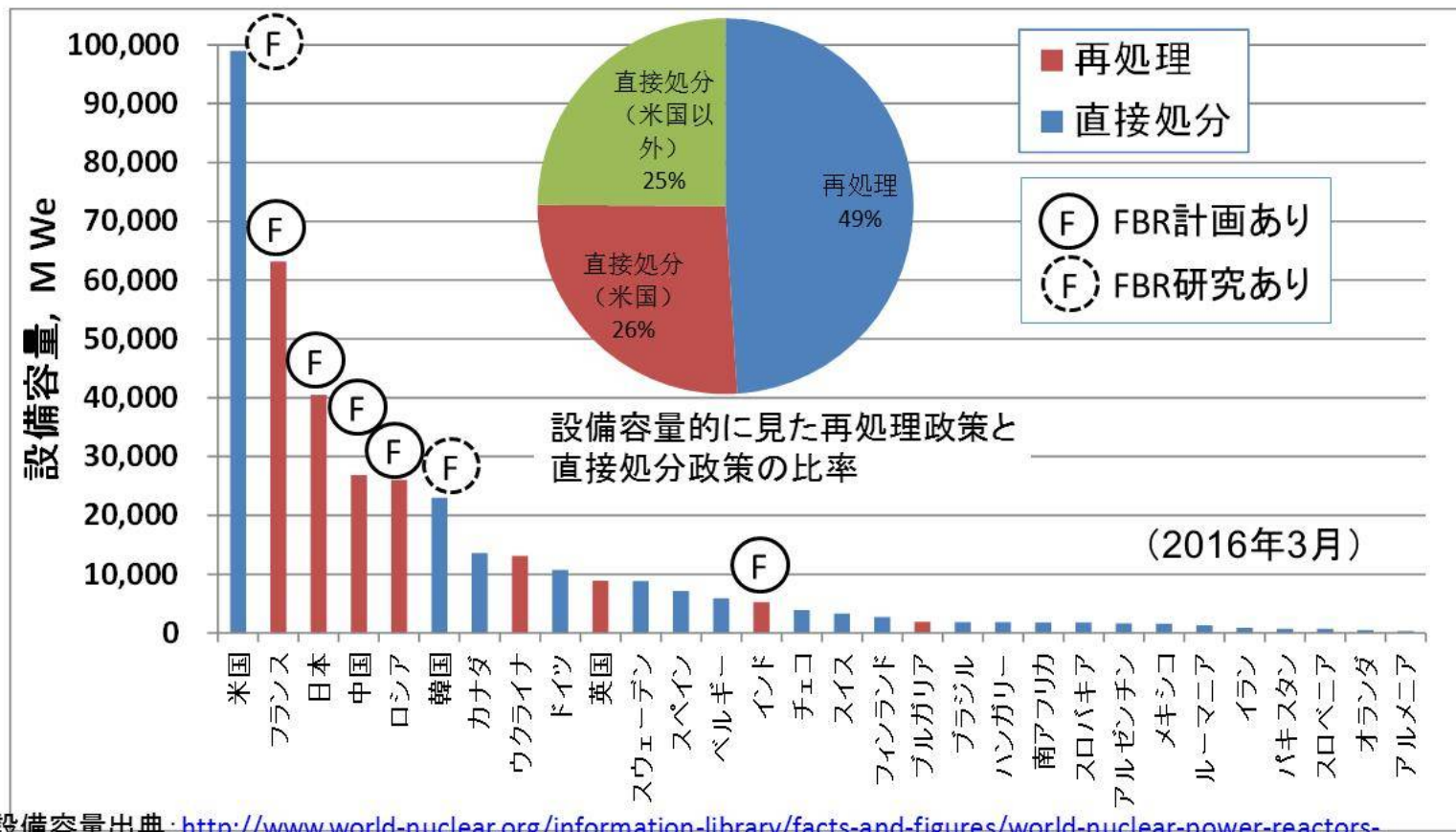


エネルギーに
換算すれば
30万トン石油タン
カー170隻分

- 48トンのプルトニウムはIAEAの保障措置制度の下で厳格に管理されており、核の不正転用はできない
- 品質的にも実用兵器には役立たない
- エネルギー貧乏国の日本にとっては貴重なエネルギー資源
- プルサーマルで燃やしきれない分は高速増殖炉時代に向け備蓄

各国の発電規模と核燃料サイクル政策

- 原子力発電大国は再処理・リサイクル政策をとる
- 米国がむしろ例外 …… 決して米国が「正しい見本」ではない
- 米国も将来技術としては高速炉リサイクルを有望視(2014年 DOE調査報告)



設備容量出典: <http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx>

高速増殖炉は「夢のまた夢」なのか？

- ロシアの実績

- 60万kW原型炉BN600 では)
30年間平均稼働率 74.4%
(1982～2012)

- 上記実績をもとにBN800を建設
2015年12月に送電開始



- 高速増殖炉は究極の「ごみ焼却発電」

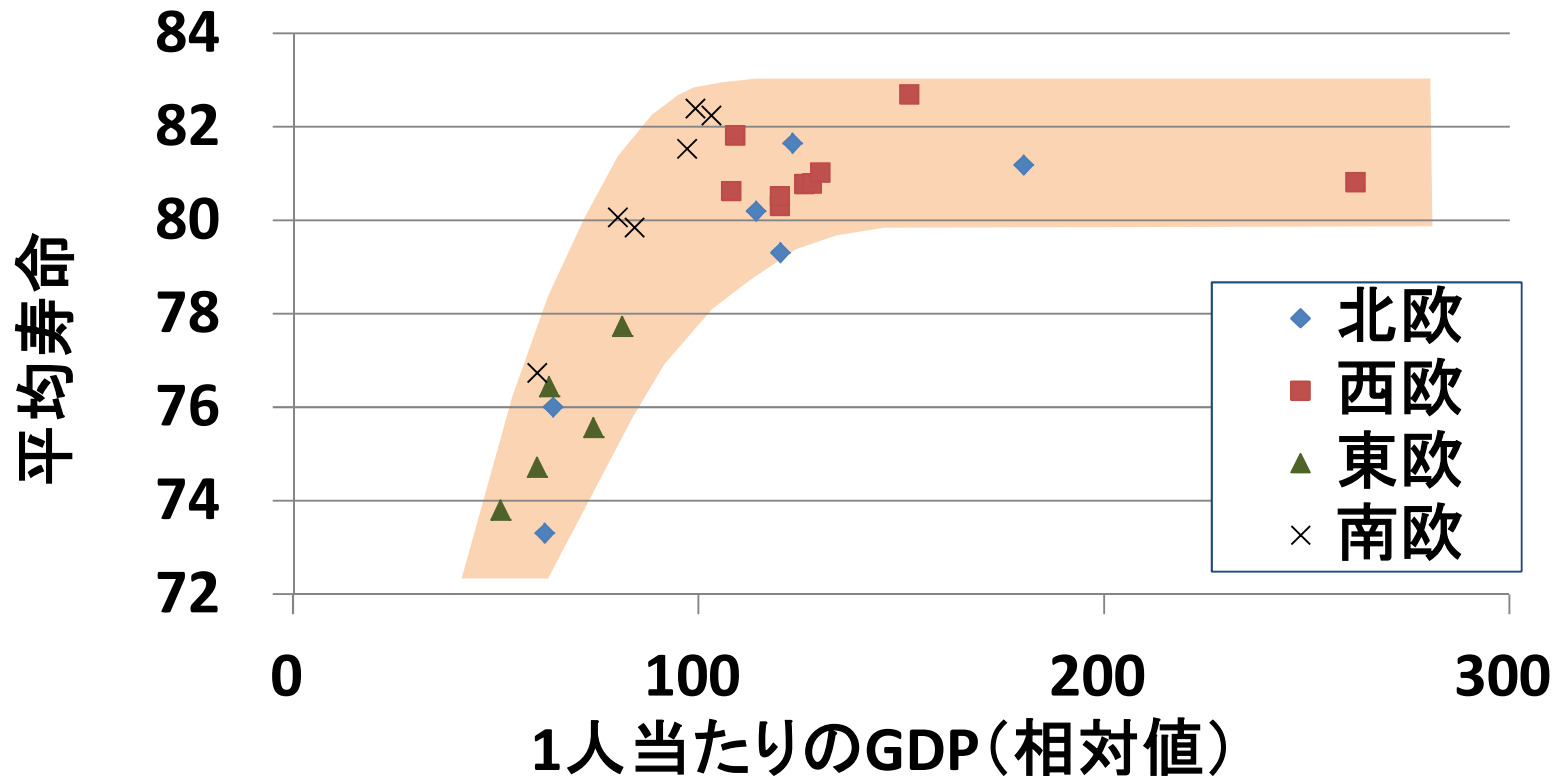
- 軽水炉が残すプルトニウムと膨大な量の劣化ウラン
で数千年にわたり、大量の電力を供給できる

(現存する世界の劣化ウランで100万kW級高速炉3000年の運転が可能)

- 資源のない日本こそが率先して実現すべき技術

「たかが電気のために命を危険にさらしてはいけない」(坂本龍一さん)

「命あつての経済なんで、命を蔑ろにする経済は、間違っているんですね」



- しかし、一定の経済レベルが維持できないと、国民の平均寿命は低下してしまうのが現実

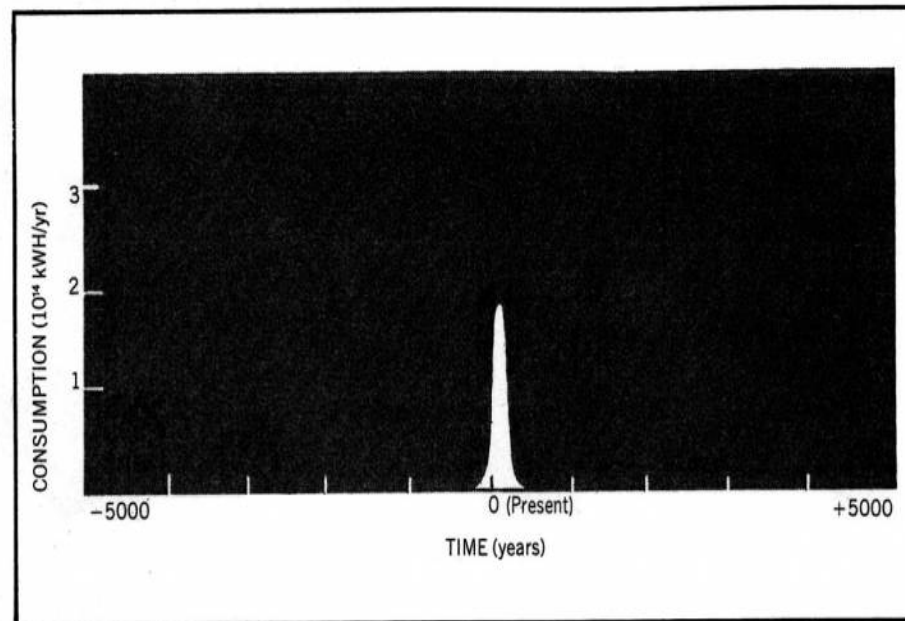
私たちはエネルギーについて どれほど先までを心配すべきなのか？

一本のマッチの警告

- 1956年、「ピーク理論」で有名な米国の地質学者ハバートは、地質学的に見た化石燃料の賦存量は有限であり、長い人類史の中では一瞬ともいえる数百年で使い尽くされてしまうという警告を発し、人類による化石燃料消費の姿を「長い闇世の中の本一のマッチの閃光」に例えた



M. King Hubbert
(1903 - 1989)



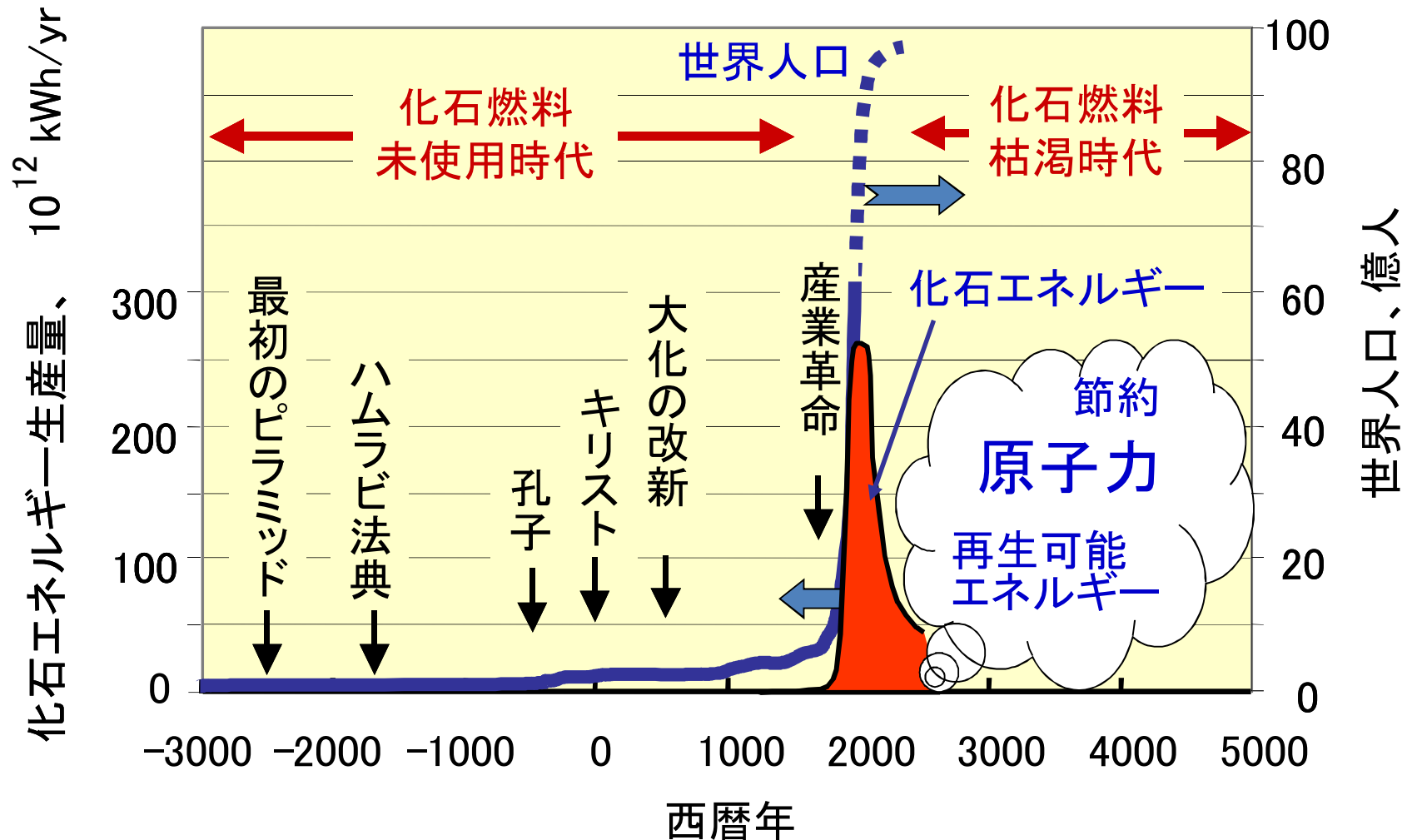
The rise and fall of the world's rate of consumption of fossil-fuel resources is like the flame of one match in the long night—a delta function in the darkness.

それから60年後の
今日、シェールガス
などの一時の恵み
が加わったにせよ、
この警告の本質的
重要性は全く変
わっていない

「世界の化石燃料消費の増加と消耗は、長い闇世の中の本一のマッチの閃光のようなものだ」

原子力の究極の使命

- 半恒久的な基幹エネルギー供給



おわり

ご清聴ありがとうございました