

**環境問題と原子力廃棄物の課題
—原子力の事故と放射性廃棄物処分—**

日本原子力研究開発機構

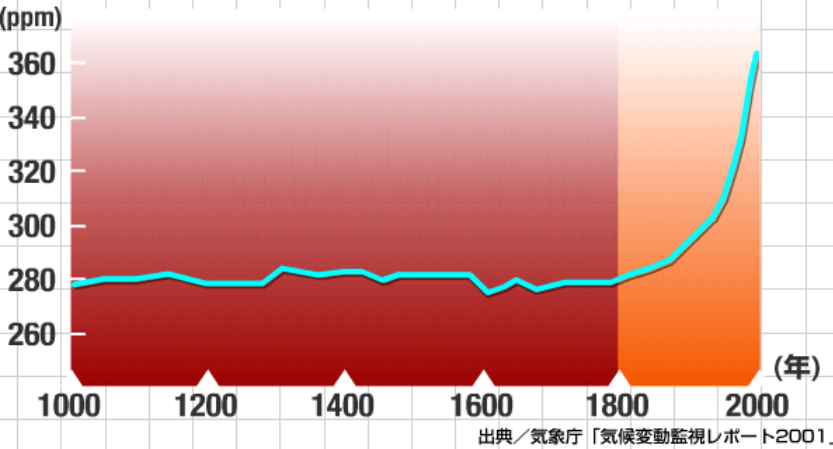
東海研究開発センター

原子力人材育成センター 講師 虎田 真一郎

地球の大気と生物の歴史

大気中のCO₂濃度は、いま急上昇している。

大気中のCO₂濃度推移



46億年前
地球誕生

海の誕生

CO₂

40億年前 生物誕生

6億年前

古生代

2億5000万年前

中生代

6500万年前

第三紀

170万年前

新生代

1450万年前

400万年前 人類の祖先

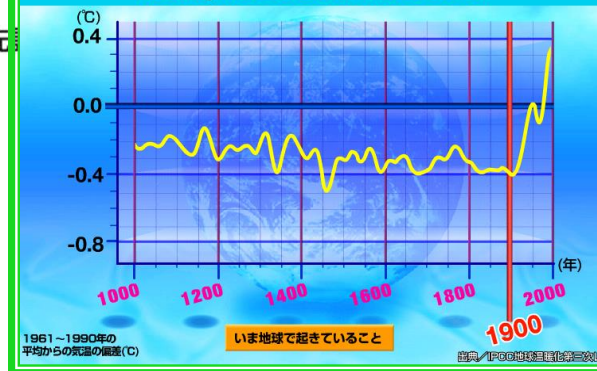
1万年前 縄文時代

初期の生物による**光合成**(25~27億年前)

地上に**酸素**
O₂の環境
(10億年前)

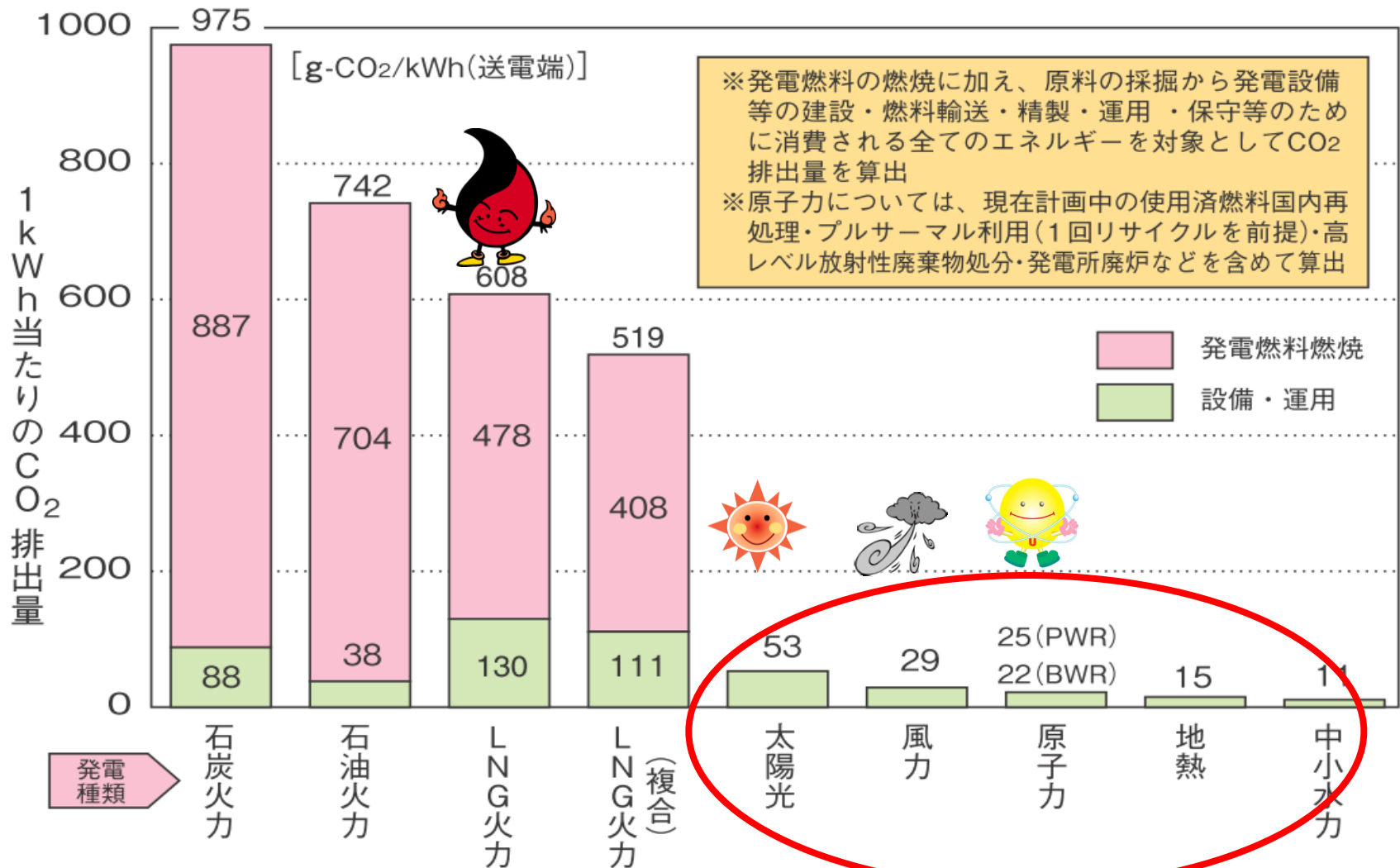
地球の平均気温推移

1900年以前と以後の違いに注目しよう。



化石燃料のエネルギー(電気/動力)使用、CO₂の再増加

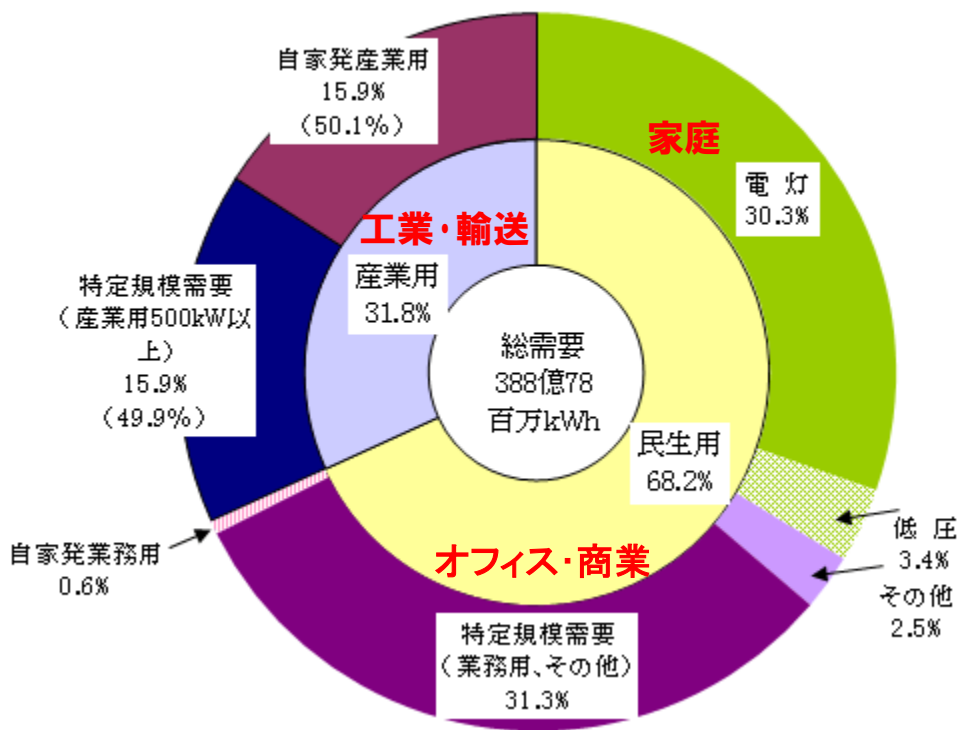
CO₂排出量が少ない発電方法は？



出典：電力中央研究所「ライフサイクルCO₂排出量による原子力発電技術の評価(平成13年8月)」
 「ライフサイクルCO₂排出量による発電技術の評価(平成12年3月)」

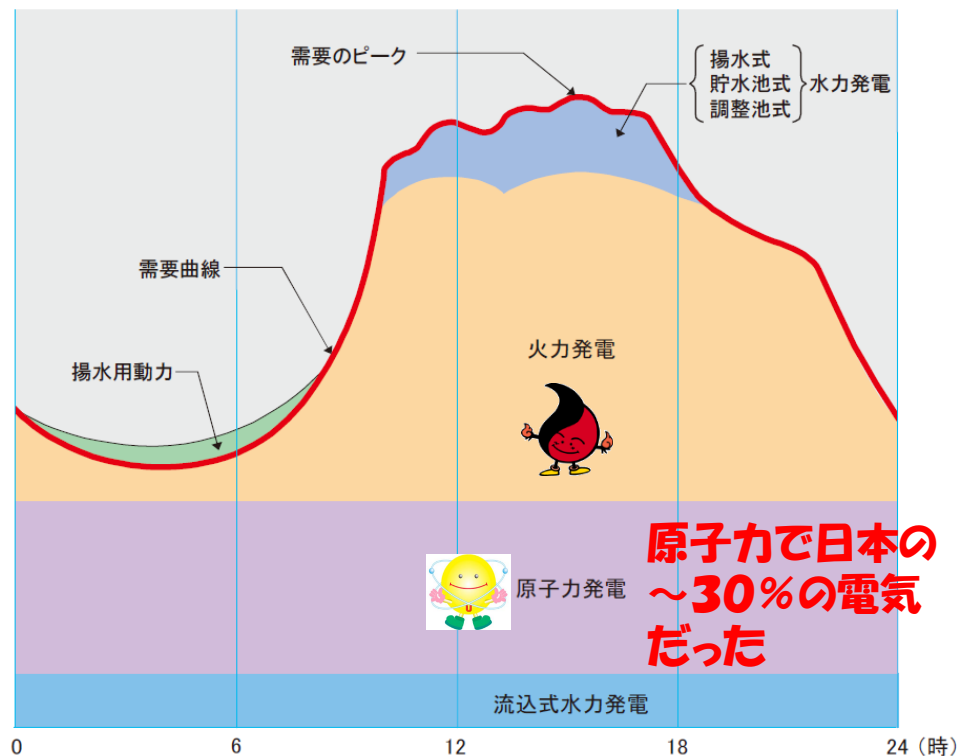
電気はどこで使われる、いつ使われる？

【平成19年度総需要電力量の用途別構成】



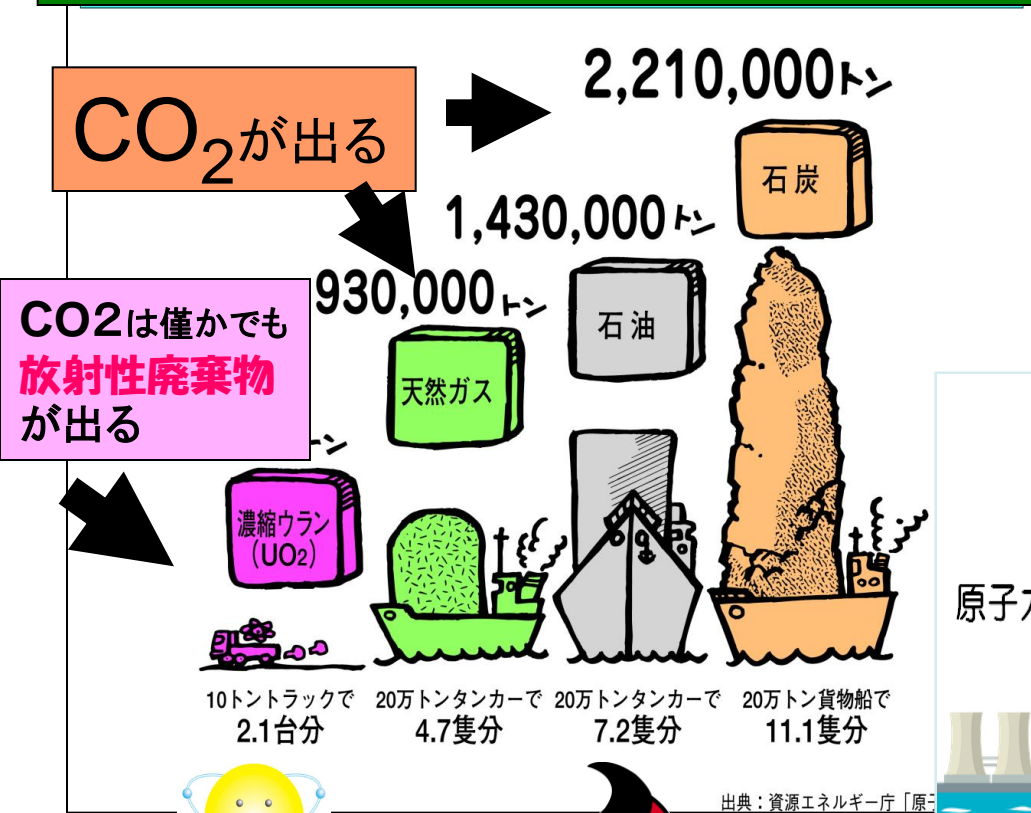
- ・ **大規模**産業、輸送用の電気
- ・ ビジネス、商業用
- ・ 一般家庭用

・ **夜間**も家庭、産業で必要



**原子力で日本の
~30%の電気
だった**

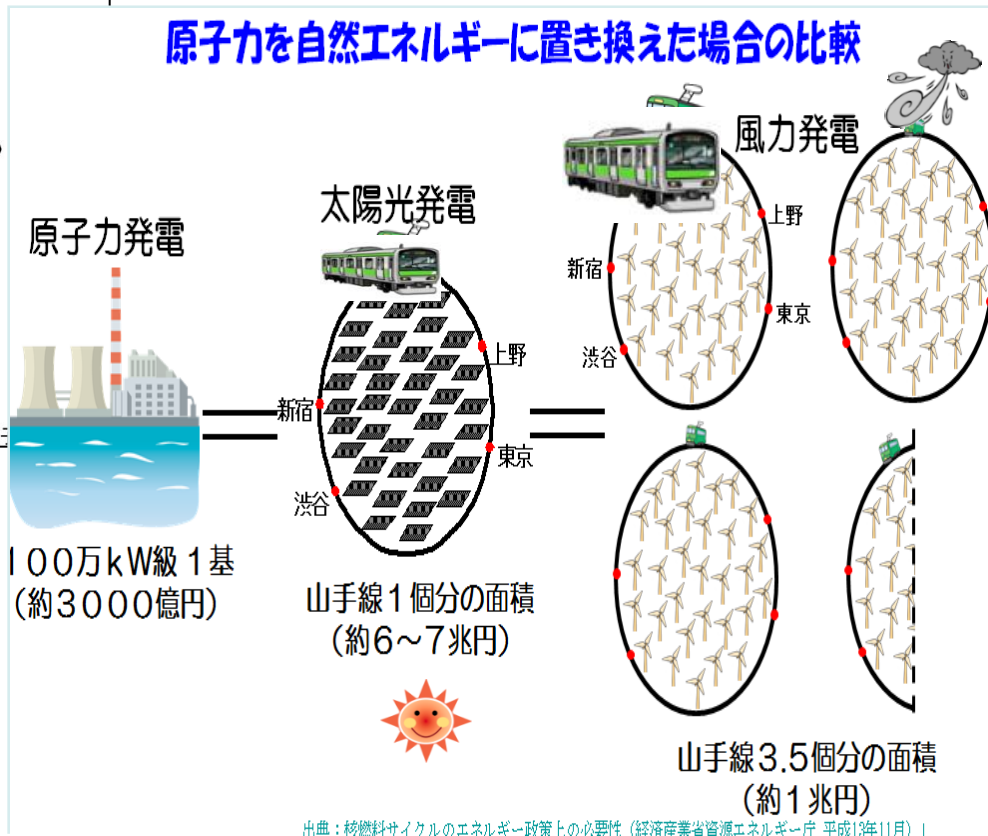
100万KWの発電所の運転に必要なものは？



(人口100万人分の電力)

自然の広さ

原子力を自然エネルギーに置き換えた場合の比較



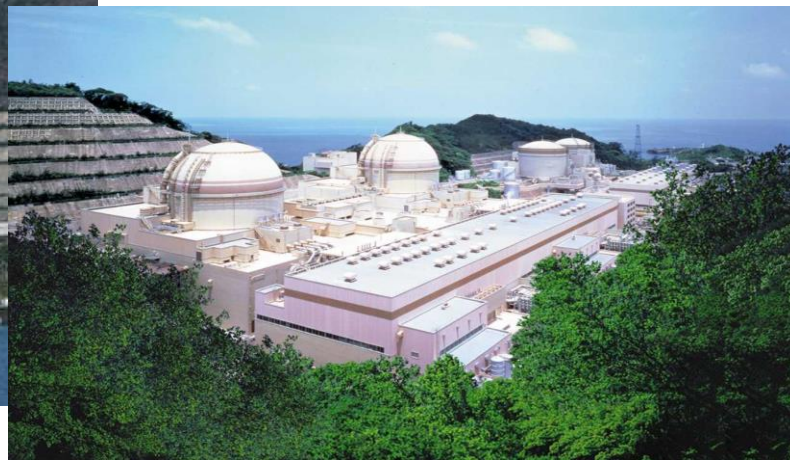
燃料(資源)

は地球上に限りがあり100~200年で尽きる

自然エネルギーを発電に

	水力・地熱	太陽光	風力
写真	 <p>写真提供：東京電力</p>		
長所	<ul style="list-style-type: none"> ➤ エネルギー源が枯渇しないので永続的な利用が可能 ➤ 二酸化炭素をほとんど出さない 		
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 昼夜年間としまして比較的安定な電源 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 自然条件に左右され発電が不安定に。常時重要な電源には不向き 	
短所	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ダムなどの建設で環境破壊が問題になる ➤ 日本ではもう建設候補地がない(自然公園や観光地) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 設置には広大な面積が必要 ➤ (現時点では)他の発電方法とくらべてコストが高い 	

原子力エネルギーの長所と短所



【長所】

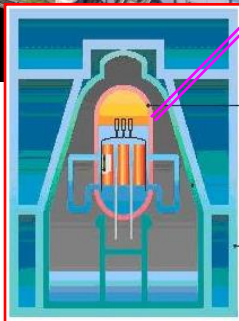
- **ウラン資源はリサイクル**できる。(数十倍有効活用可能)
- **二酸化炭素をほとんど出さない。**
- **集中して大きなエネルギー(電気)を発生**

【短所】

- **放射性の廃棄物が発生する。**
- (いろんな意味で)**事故が起きた場合の影響が大きい。**
- **社会的理解を得にくく、原子力施設の立地が進まない。**

放射性物質を**生活環境**に出さない努力 —原子力の安全確保—

施設の中に放射性物質を閉じ込めることが大切



核燃料の製造



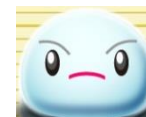
原子炉



使用済燃料の取扱い



放射性廃棄物



原子力エネルギーの主役（燃料）



・ウラン（ウラニウム）とは
URANIUM

元素の表の92番目



ウラン鉱石として採掘される。

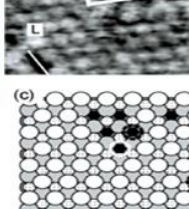
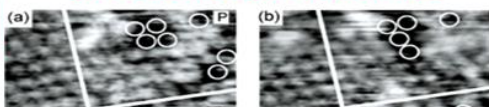
主な産出国は？

カナダ カザフスタン、ウズベキスタン

オーストラリア、ロシア ニジネジンスク



原子は小さく、原子核はさらに



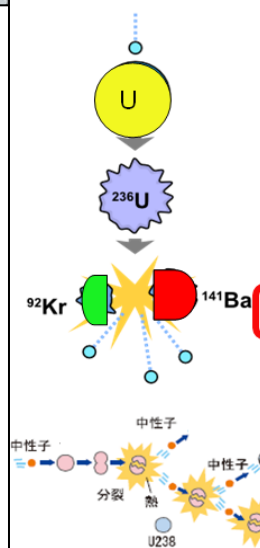
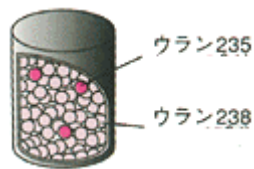
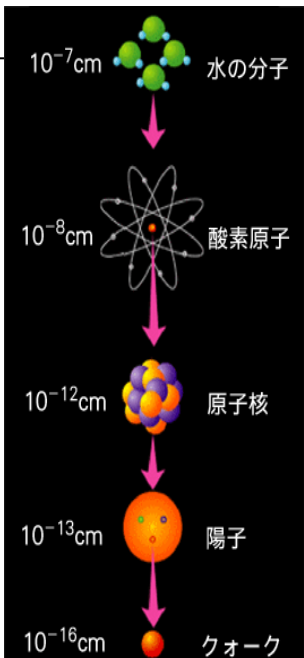
ウランのエネルギーわかれば、廃棄物もわかる？

ウランは核分裂して小さな別の元素に変わる

（もうエネルギーには使えないため廃棄物）

Uはどうなる？

U（ウラン）は分裂してエネルギーを出し、より小さな2つの原子（元素）になる



元素の表

1	2											13	14	15	16	17	18		
H	He											B	C	N	O	F	Ne		
3	4											5	6	7	8	9	10		
Li	Be											11	12	13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar		
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118		
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hf	Rg	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo		
		57	58	59	60	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71				
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103			
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

ウランの一部はプルトニウムなど超ウラン元素になる

核分裂に伴って、多種類の放射性核種が生成

ヨウ素(I)、セシウム(Cs)はその一部。

何がどのくらい出来るかは、計算予測が可能

核分裂に加えて、ウランより大きい元素も反応によって生成
(プルトニウム、キュリウムetc.)

原子炉で使用した燃料中に、これらの核種が蓄積



燃料を使用済みとした時点で、これら生成物をどうするかが課題
(廃棄物処理処分)

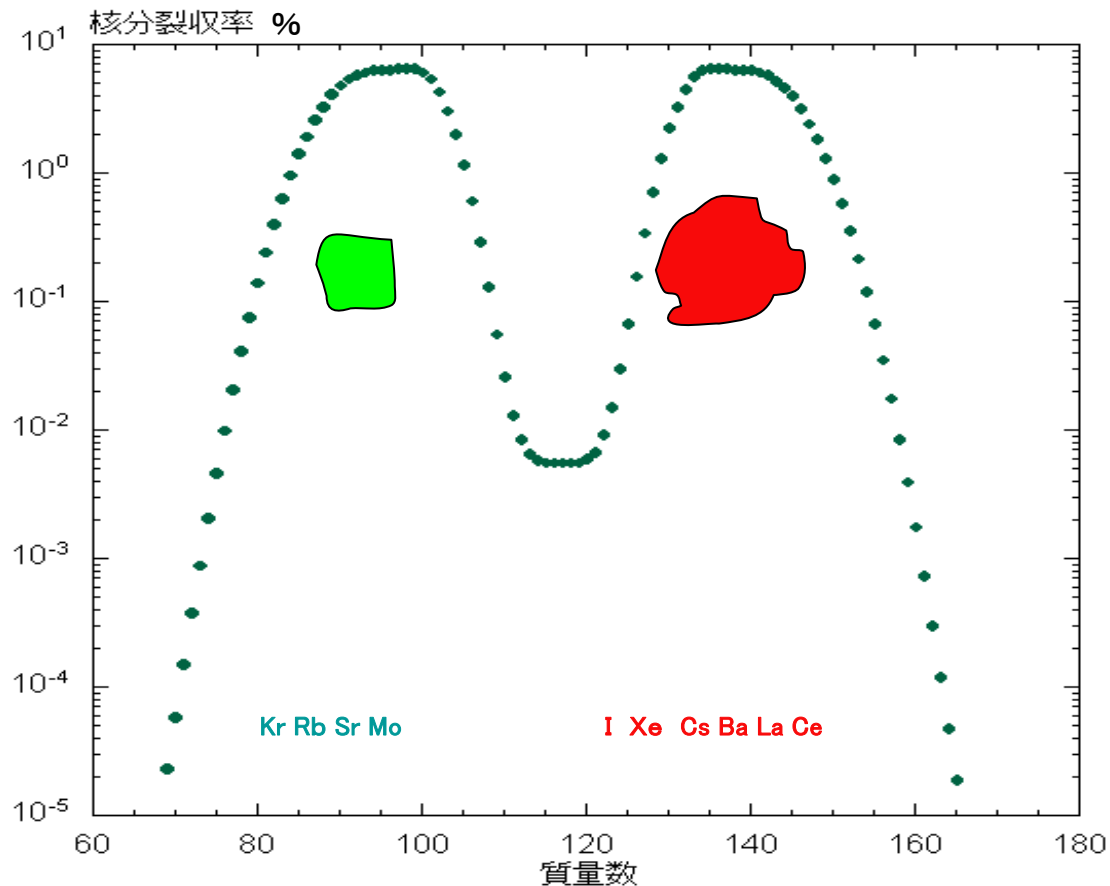
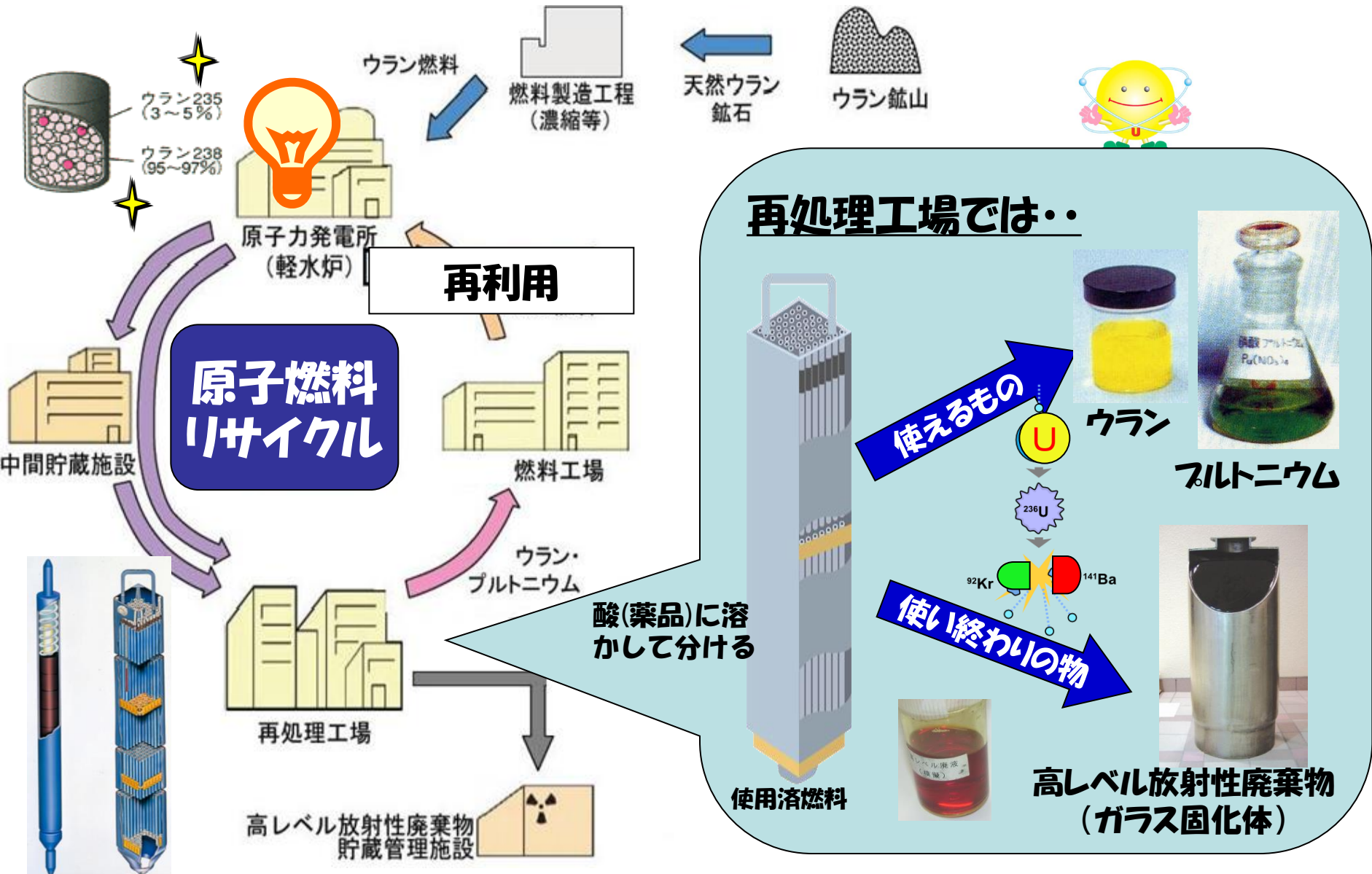
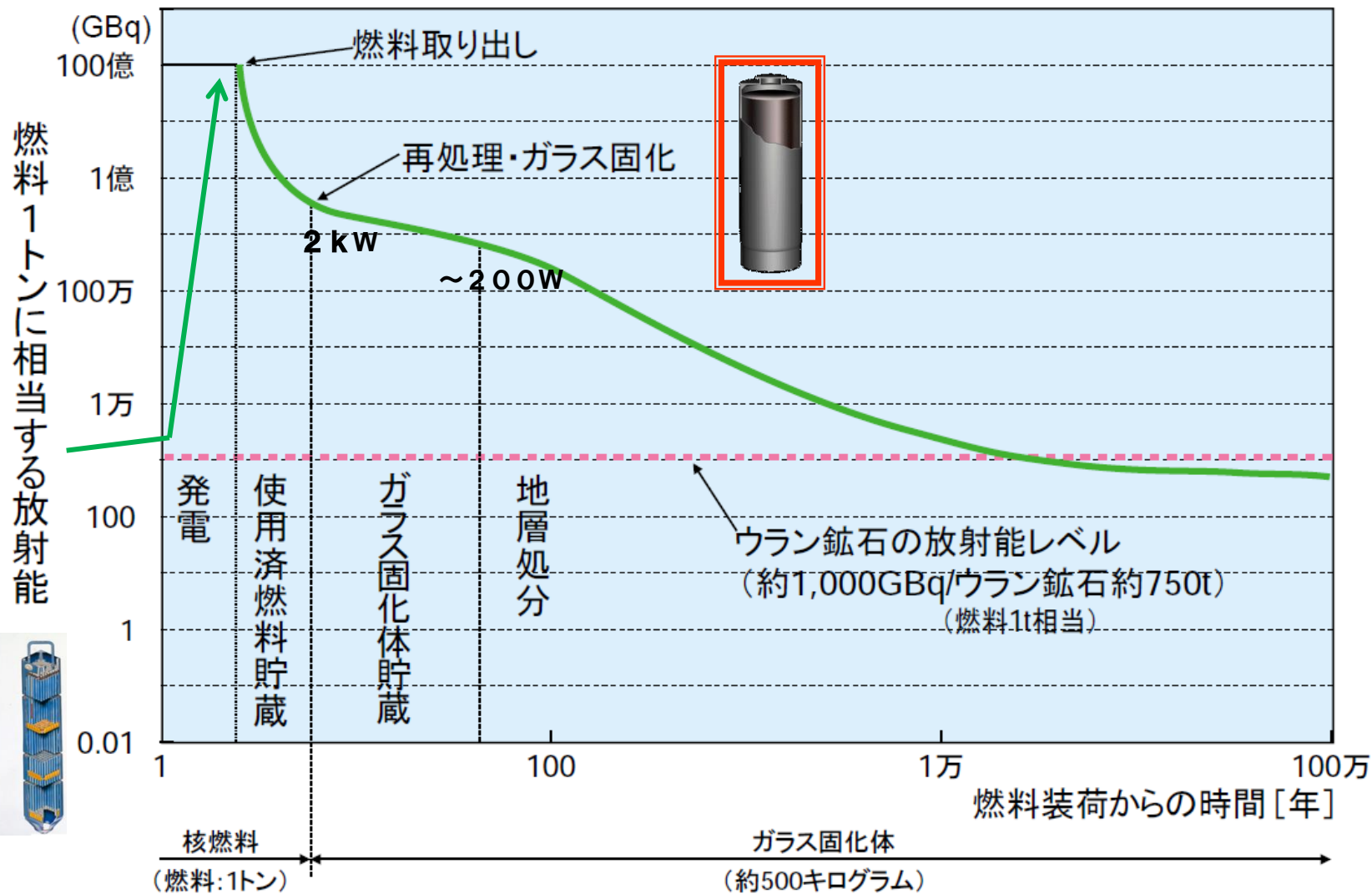


図5 核分裂生成物の収率
(ウラン235が熱中性子で核分裂を起こした場合の例)
[出典] T. Nakagawa et al. (編), "Curves and Tables of Neutron Cross Sections in JENDL-3.3, JAERI-Data/Code 2002-020 (2002)

原子力の再処理リサイクルで分別



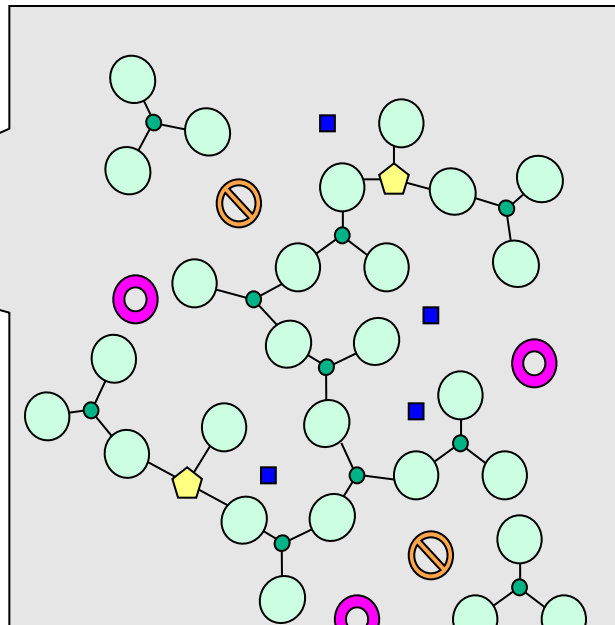
放射能は時間とともにどう減少するか？



ガラスによる放射性元素の取り込み



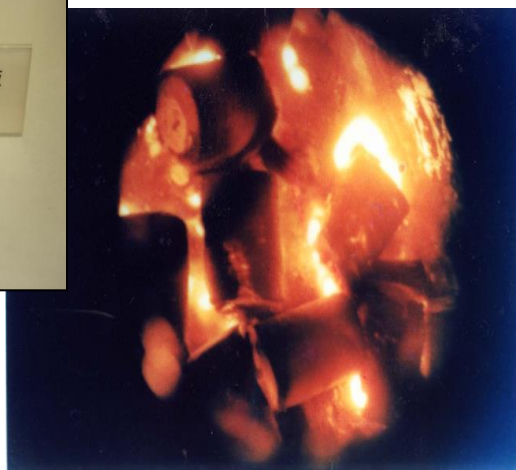
ガラス固化体



- 酸素
- ケイ素
- ◡ ホウ素
- ナトリウム
- ⊘ アクチニド
- ◉ 他の多くの放射性元素

ガラス原料		廃棄物	
成分	含有率		
SiO ₂	45.0 ~ 46.6	Na ₂ O	10.0
B ₂ O ₃	14.2	P ₂ O ₅	0.3
Al ₂ O ₃	3.6 ~ 5.0	腐食生成物*	~ 3.5
Li ₂ O	3.0	核分裂生成物	10.0
CaO	3.0	RuO ₂	0.74
ZnO	3.0	Rh ₂ O ₅	0.14
		PdO	0.35
		超ウラン元素	~ 2.4

廃液はガラスと混ぜて溶かし、ガラス固化体に固める



1000度以上で溶かし、容器に流す



ステンレス容器の中の黒いガラス



容器に入ったガラス固化体として保管

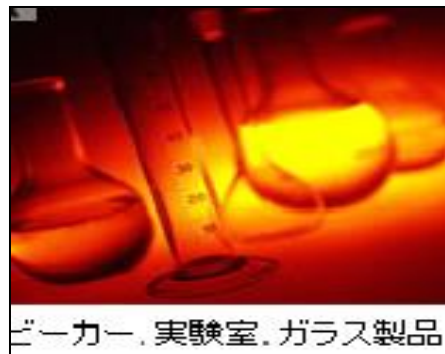


なぜガラスに変わるのか

液のままだと、
こぼれる、流れる、散らばる



ガラスは、
丈夫、溶けにくい、長持ちする



ピーカー、実験室、ガラス製品

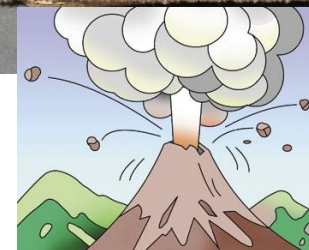


固めた色はおち
ない/動かない

自然にもあって地
中に残っている



ガラスの文明を探る



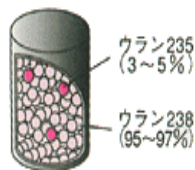
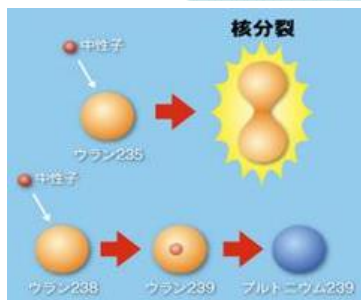
原子力発電で

ウラン

使った



はどうなるのか？



再処理工場では...



使えるもの



ウラン

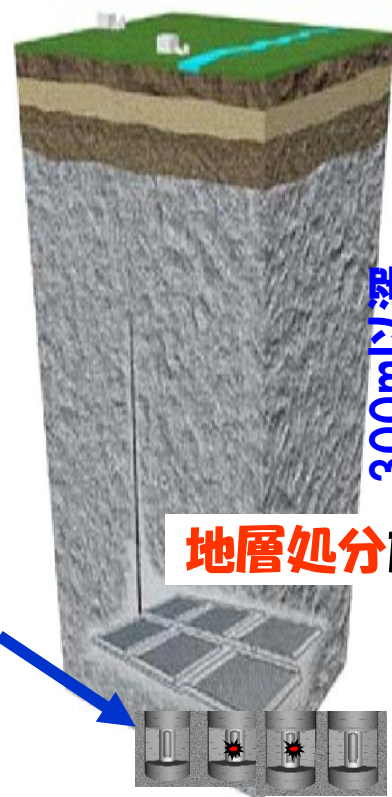
プルトニウム

使い終わりの物



使用済燃料

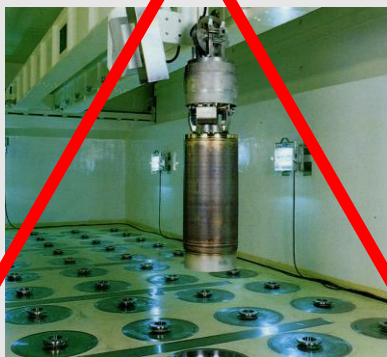
高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体)



原子燃料
(発電)

高レベル放射性廃棄物の処分方法 どこにもっていく？

制度的管理



長期管理貯蔵

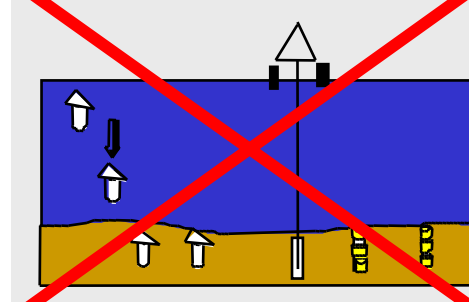
- ・現状施設で対応可能
- ・無期限には困難
- ・いずれ処分が必要

地層中に埋めるのが技術的・社会的に最も現実的

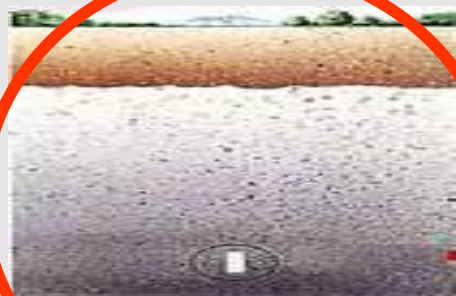
永久隔離(処分)



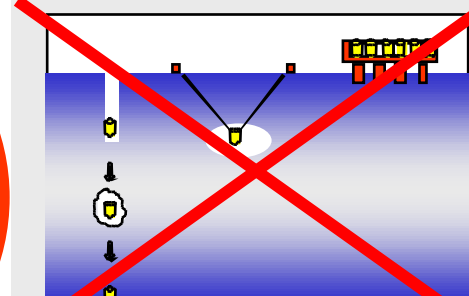
宇宙空間



海洋底下



地層中

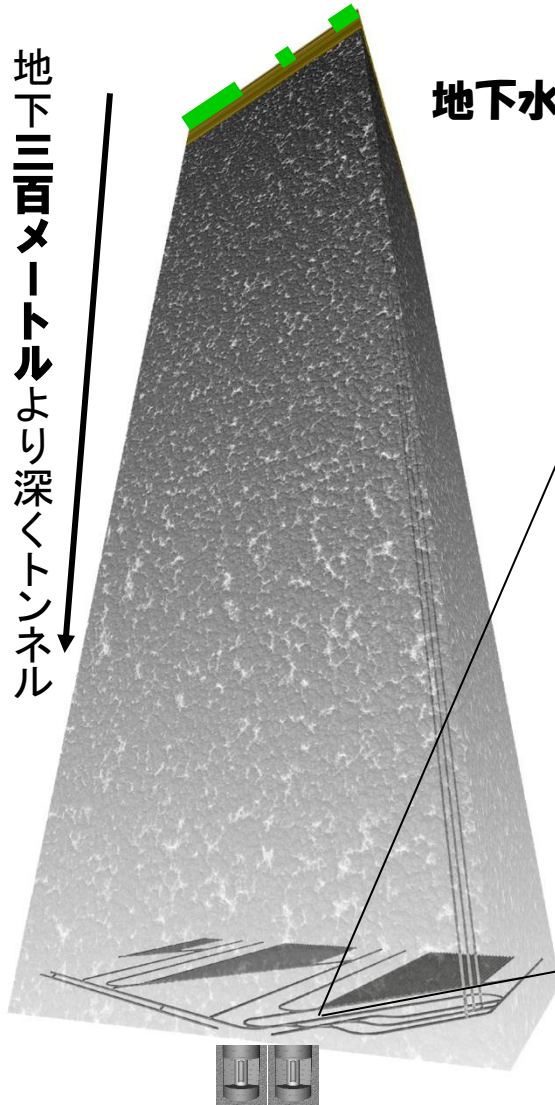


極地の氷床

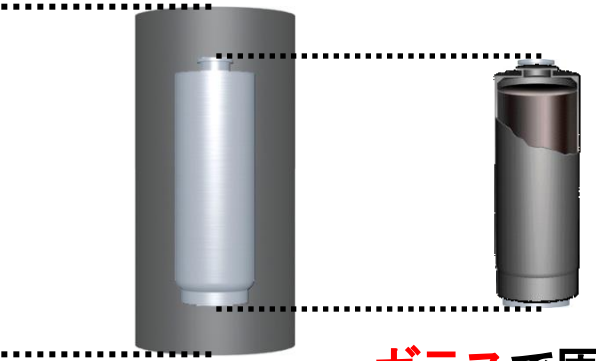
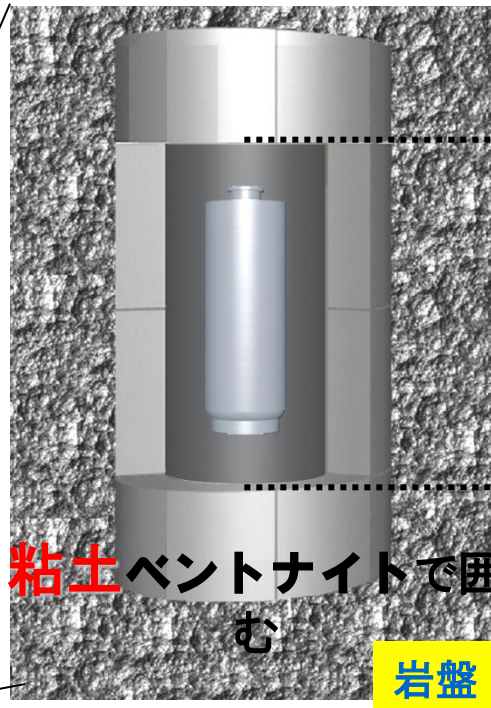
- ・地層中以外は国際条約で禁止

何重にも困んで動かないような対策 —地下にガラスの固まりを閉じ込める—

地下水を防いで、廃棄物が溶け出したり、動いたりしないような対策



地層処分といいます

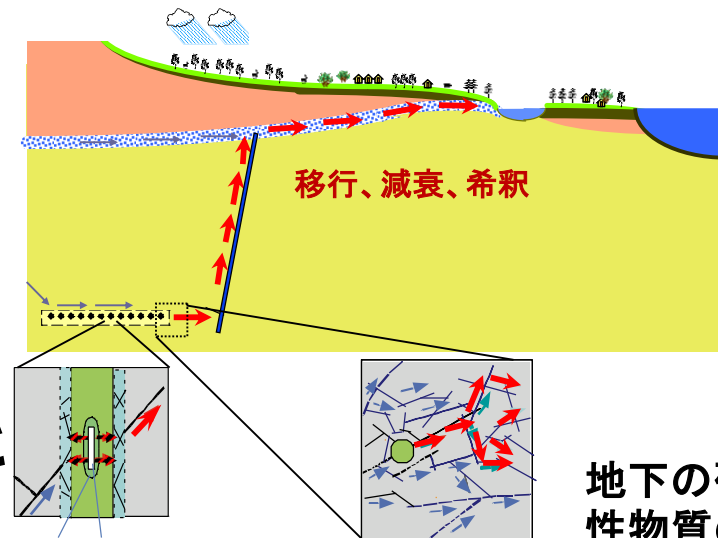


金属の容器に入れ
(厚さ19cm)

ガラスで固め

地層処分の安全性を確かめるための研究 —放射性物質の移行現象の予測解析—

- 処分場がきちんと作れるか (**工学**)
- **地下水**はどのように流れるのか
- **岩盤や土**はどのような性質をもつのか
(どのような性質を持っていることが大事か)
- **放射性物質**がどれほど地下水に溶け、どれほど岩盤や土に保持されるか
- 放射性物質の移動がより速く(遅く)なる可能性はあるか
- 生活環境と生物影響



地下の研究と放射性物質の研究



岐阜県瑞浪市



北海道幌延町



茨城県東海村

さらに、地下水による作用を調べるためのデータを実験的にあつめる

岩

地下の**圧力**や**熱**

地下水

溶解度

核種

希釈、**減衰**

収着、**拡散**

地下水が廃棄物に達する

地下水で徐々に溶けて移動、拡がる

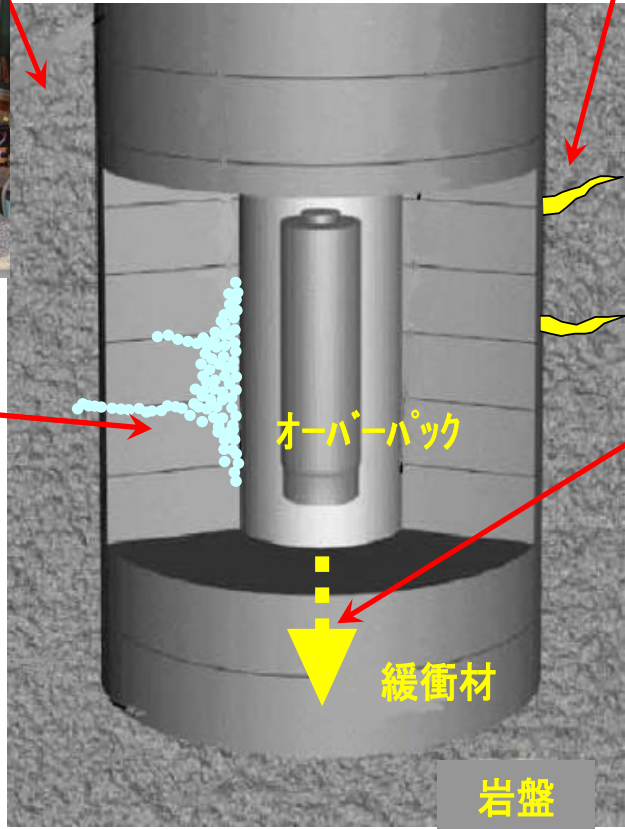


地下の廃棄物のまわりでおこる現象の研究

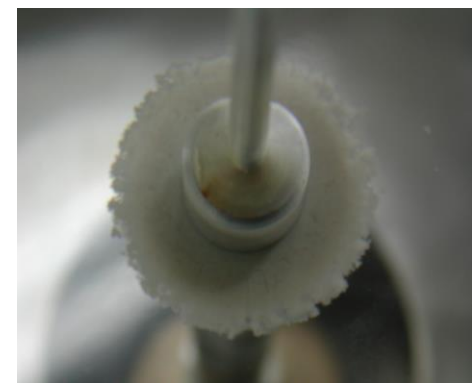
金属容器や緩衝材(粘土)等の長期の変化や物質の動きを研究



金属容器の腐食



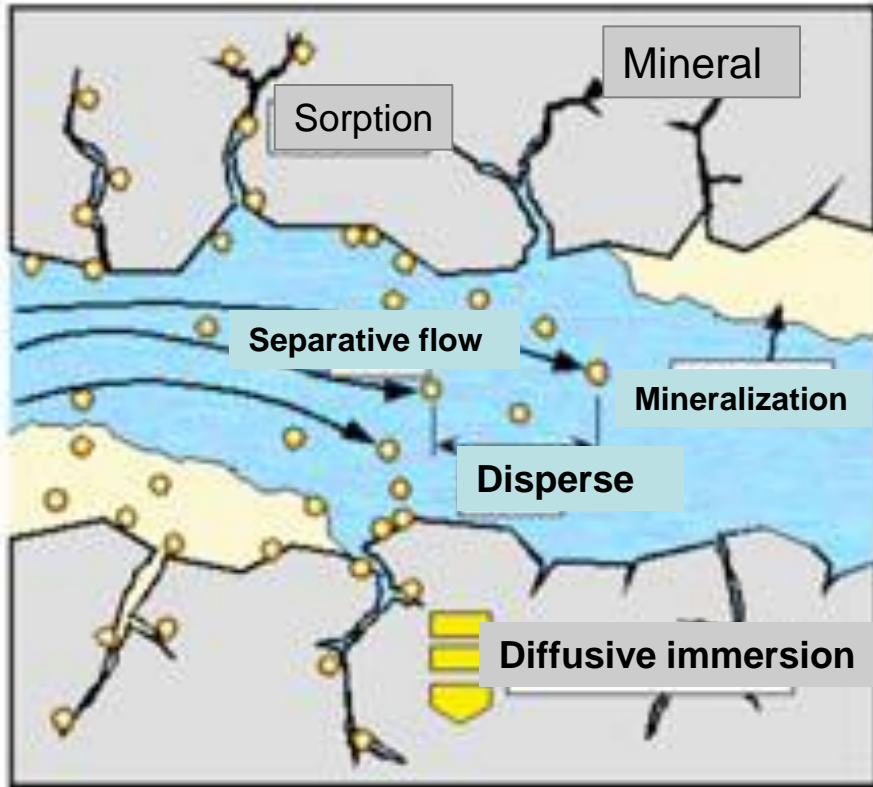
緩衝材の流出・侵入挙動



ガス移行挙動

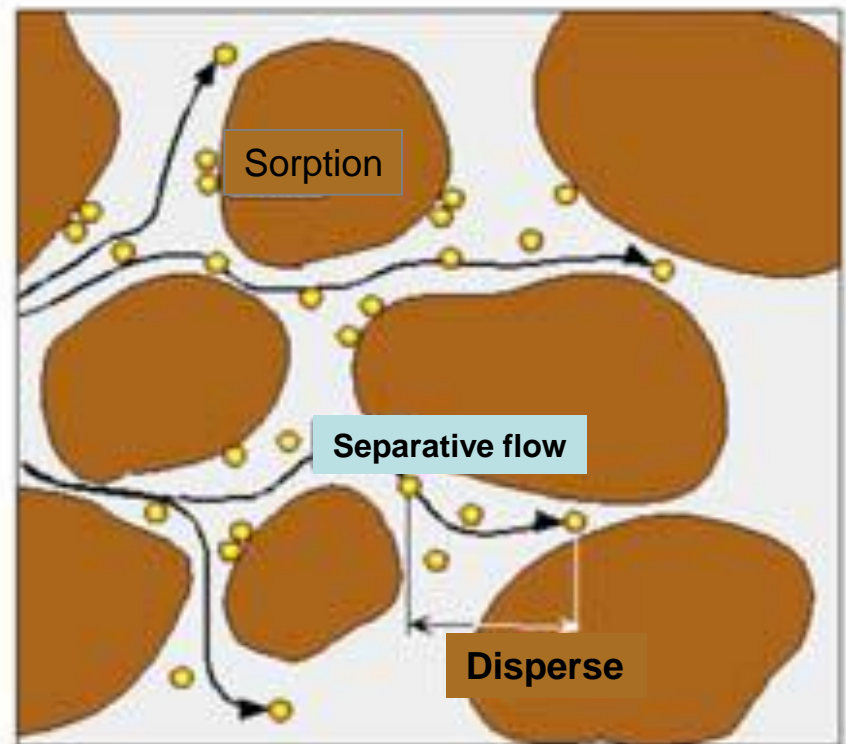


コンピュータにより地層中の物質の動きを解析



火山岩の亀裂の中

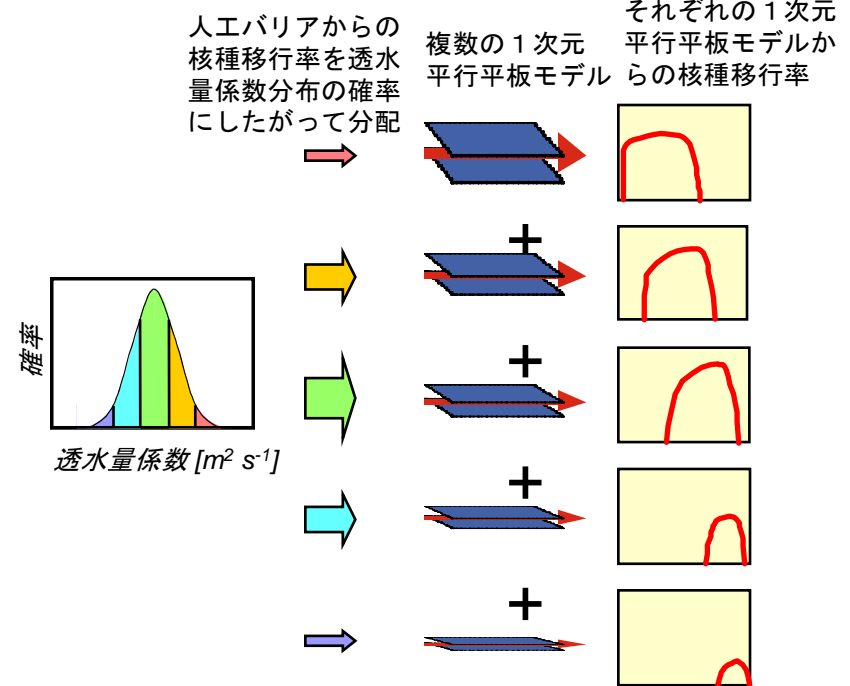
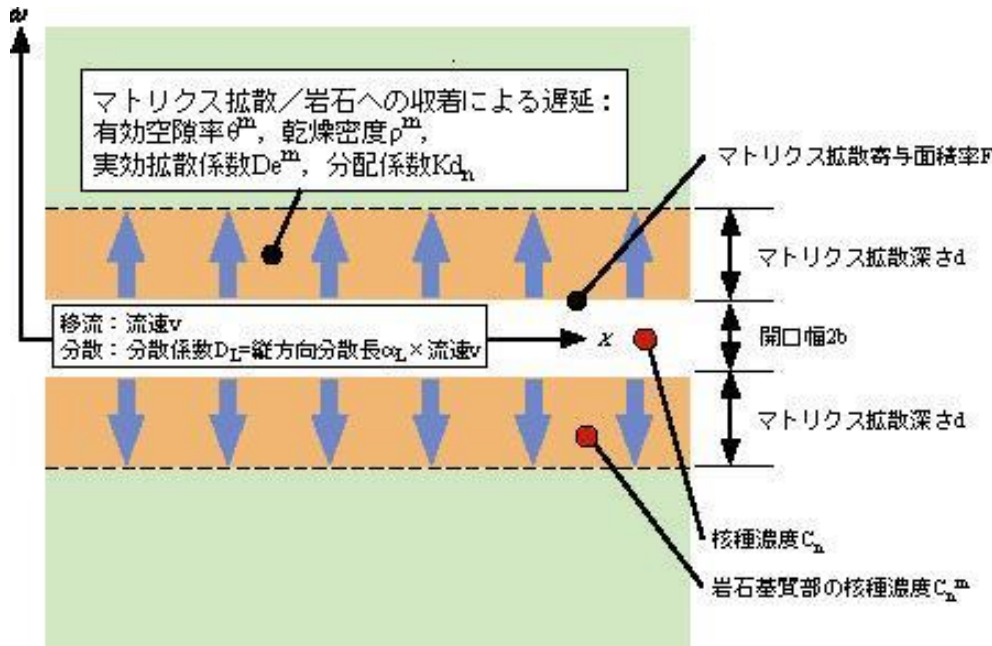
固形堆積岩の隙間



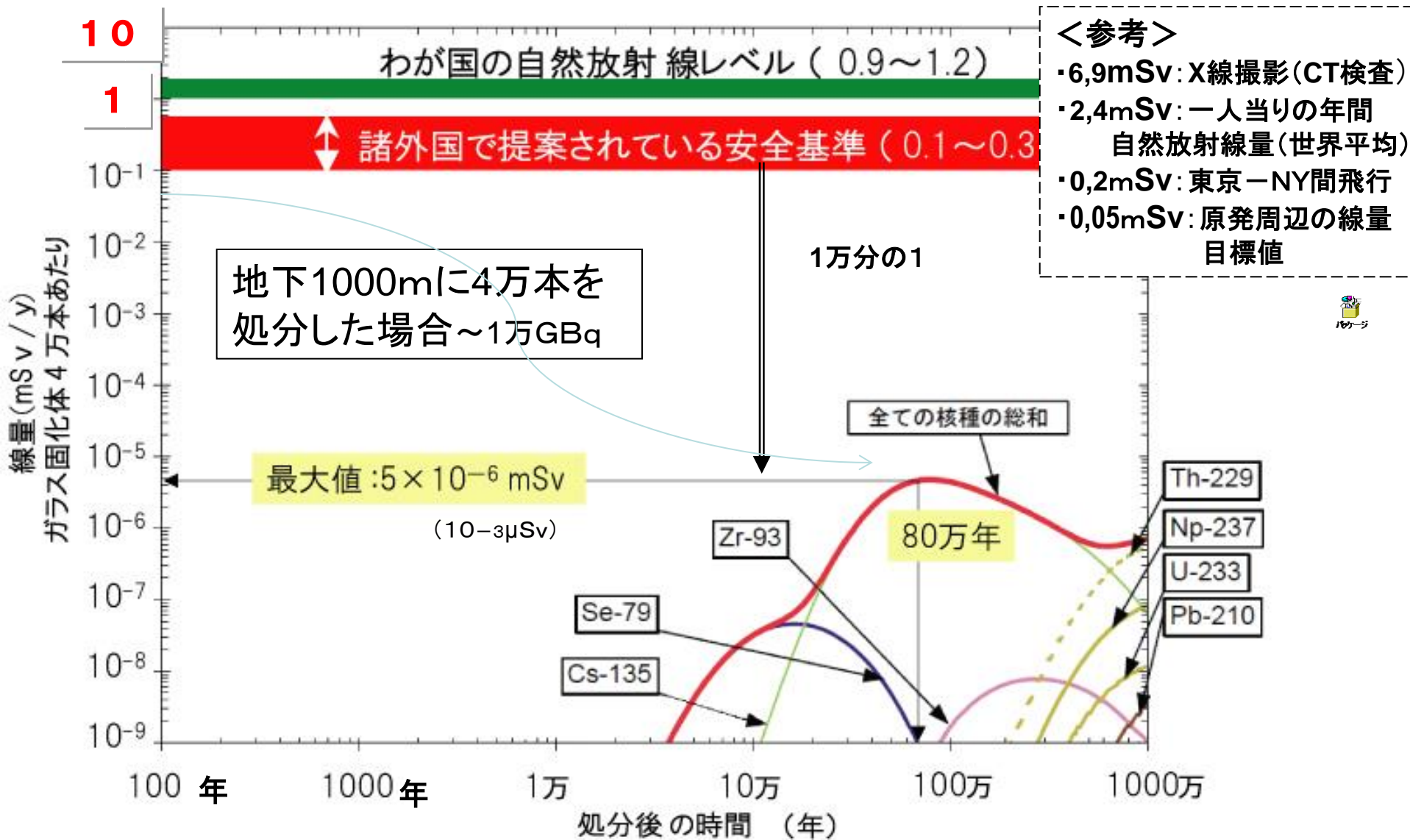
岩盤中の核種移行評価モデル

- 亀裂性岩盤を対象とした核種移行
 - 均質な一次元平行平板モデル

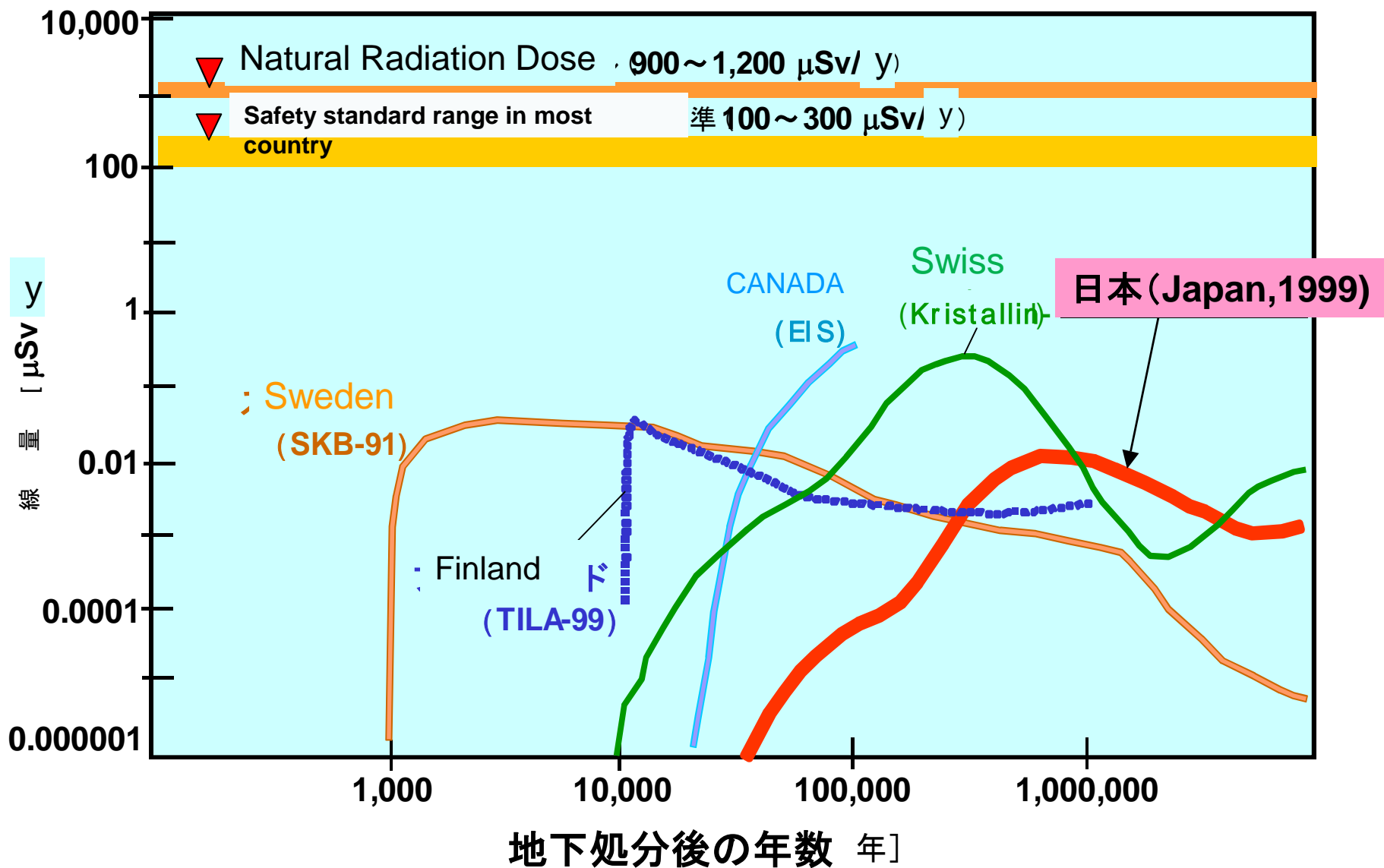
- 我国の標準環境における解析概念
 - 岩盤の不均質構造として亀裂サイズと透水量係数に着目
 - 一次元平行平板モデルの重ねあわせ



地層処分した後の地上への拡散の影響予測



世界各国での同様の研究結果の比較



ガラス固化体はどれだけ発生するか？

原子力発電所： 日本に50 ??基

すでに貯蔵中：
2880 本*

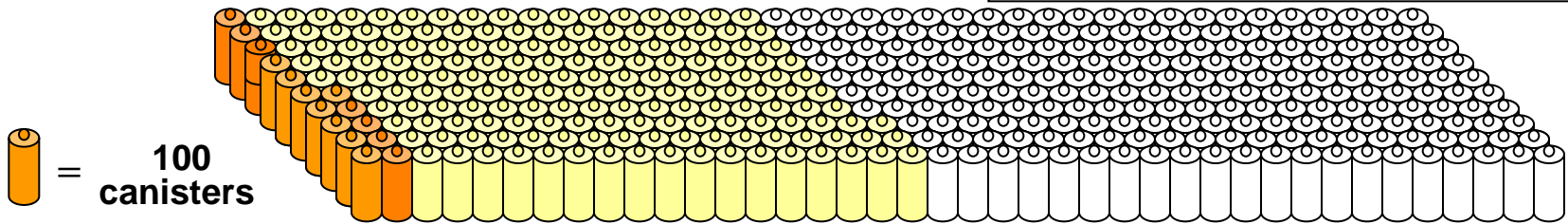
発生総量
(ガラス固化体で換算)
~22,000 本**

毎年約1500本



2020年頃までの予測量は***
40,000 本

*：2012年9月末現在（六ヶ所：1338本，東海：247本）
<http://www.jnfl.co.jp/daily-stat/000000-month/low.html>
：2008年末現在*：通商産業省告示第592号（2000年）



日本人一人が一生に使う電気から発生するガラス固化体の量は_____
ボール3個分程度

(一生=80年とし、家庭や工場・輸送で利用するすべての電力の半分を原子力発電にする場合)

ガラス固化体など放射性の廃棄物の処分場を どこに設けるかが最後に残された課題

・誰が、(いつ)、何を、どこに、どのように **5W1H** の意思決定

・海外でも地域住民との**コミュニケーション、コンサルテーション**を重ね(事業者、研究者、有識者、利害関係者)、**何十年もの準備期間と複数地域からの選択**をへて立地

・原子力廃棄物の処分場がない・・・ 議論は、手段や技術の見通しが無いという技術の問題ではなく、「なんとか解決に向け、{どこに}の議論を開始できない社会問題」

他の廃棄物施設、迷惑施設の立地状況と重なる課題解決をはかる

⇔ Not in my Backyard..... NIMBY

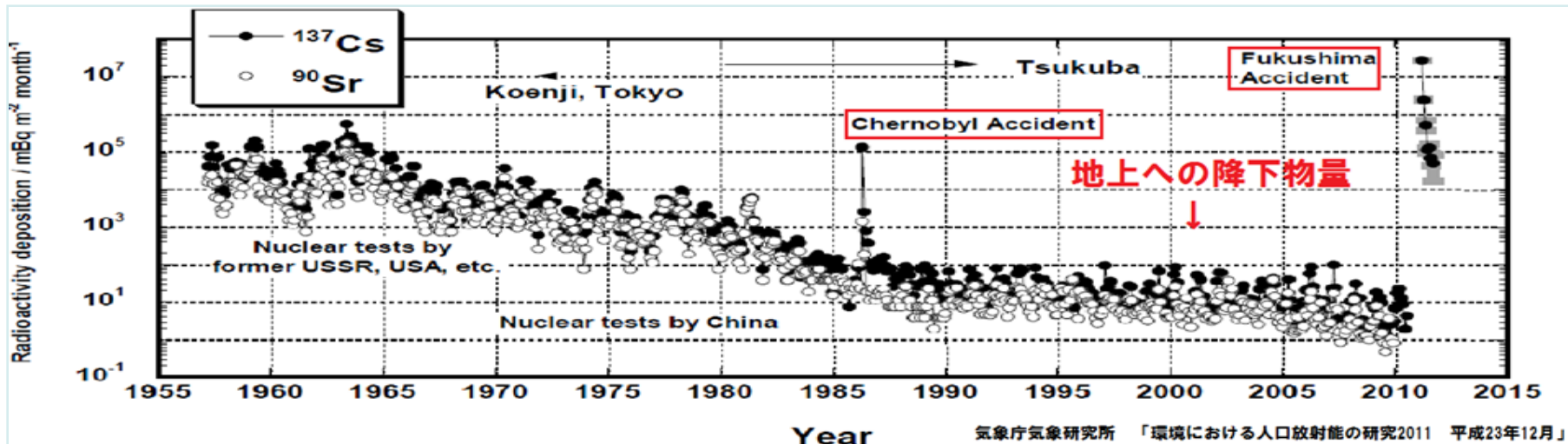
福島原発事故による放射線の影響

- ・原子力施設に**閉じ込めるべき放射性核種**が、事故によって**環境に放出**された
- ・チェルノブイリ事故と比較して放出量・分の1、等々の対比があるが、炉の破損、放出のされ方にも依るため、**現実に環境にある量を知って対処**を考えることが必要。
- ・原子炉内の放射性物質のうち、高温での燃料破損で**ガス化しやすい成分**が爆発で放出された。ヨウ素、セシウムはその代表的成分。
- ・それ以外の放射性核種も放出はあったと思われませんが、上記のガス状の成分と比べ量的には僅かで、かつ過去数十年来の核実験で地球上に拡散したものと区別できない程度。
(ストロンチウム90/30年、プルトニウム239/24000年 etc)

【事故の経過】

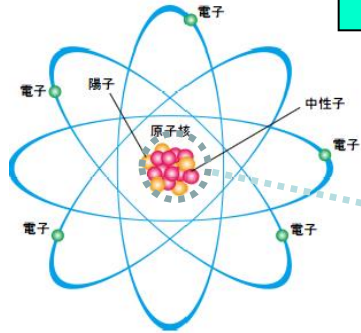
3月11日 地震発生 津波

3月12日 1号機水素爆発、 3月14日 3号機爆発 3月15日 2号機、4号機爆発火災

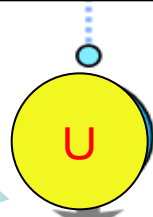


福島では何があった・・・

放射性物質の放出



原子の構造
核分裂生成物の発生



熱が発生
→発電に利用

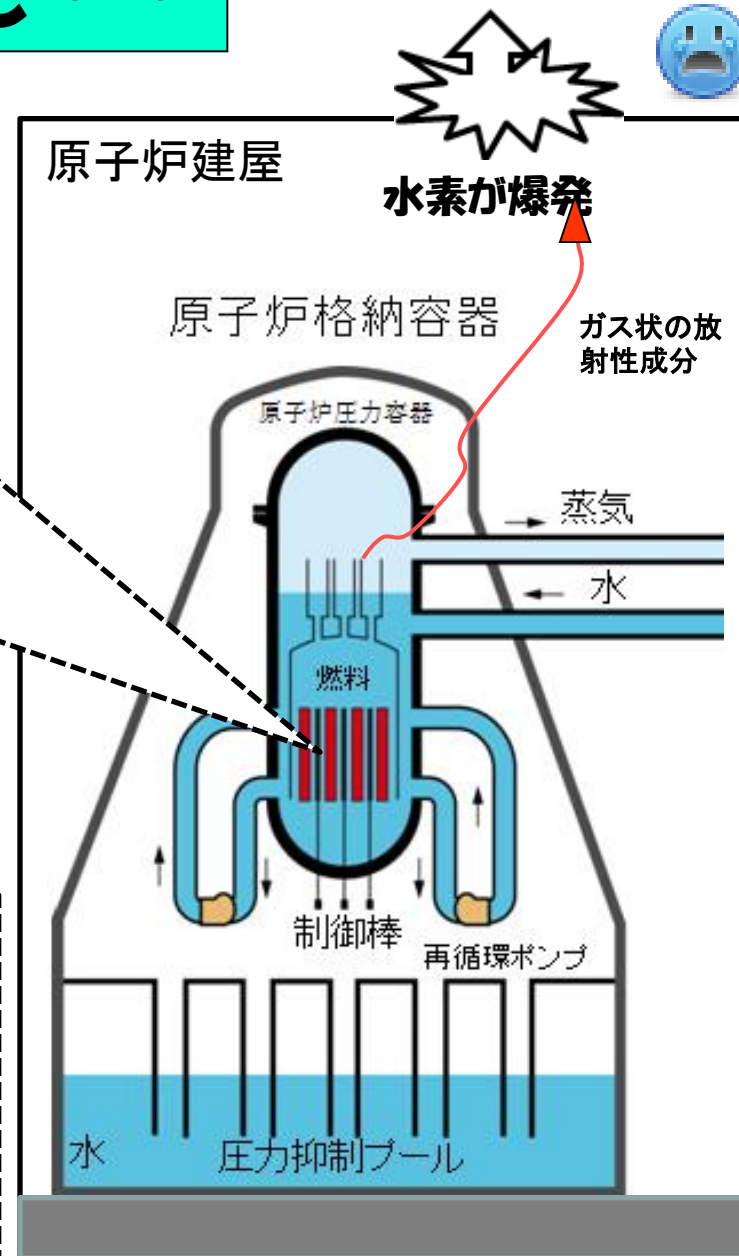
^{131}I (ヨウ素)
 ^{90}Sr (ストロンチウム)



^{137}Cs (セシウム)

地震・津波

- 地震で制御棒が働き→原子炉は停止
- 津波のため予備の電源も止まった
→燃料を冷やすポンプも停止
- 燃料が高熱になりまわりの水(H_2O)を分解
→水素ガス(H_2)→爆発



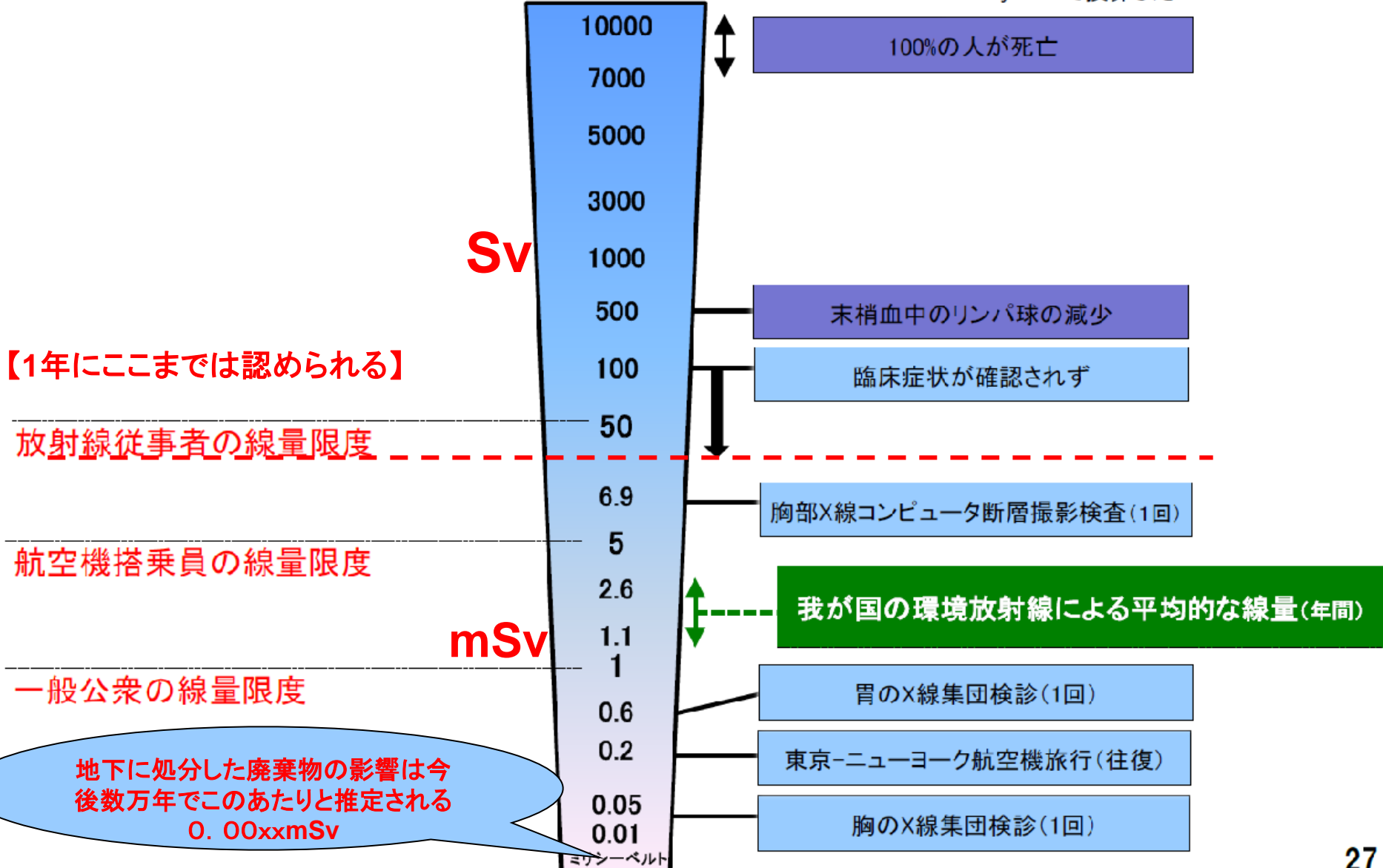
心配される放射線の健康影響について

- ・放射線は、熱くも痛くもないので……感じない
- ・熱さや痛さを心配するのではなく、では心配なのは何か？
- ・報道される数字や単位が、ひとの健康にどう関係するか？
- ・何年もたって影響があらわれると言われるが……

放射線の人への影響について

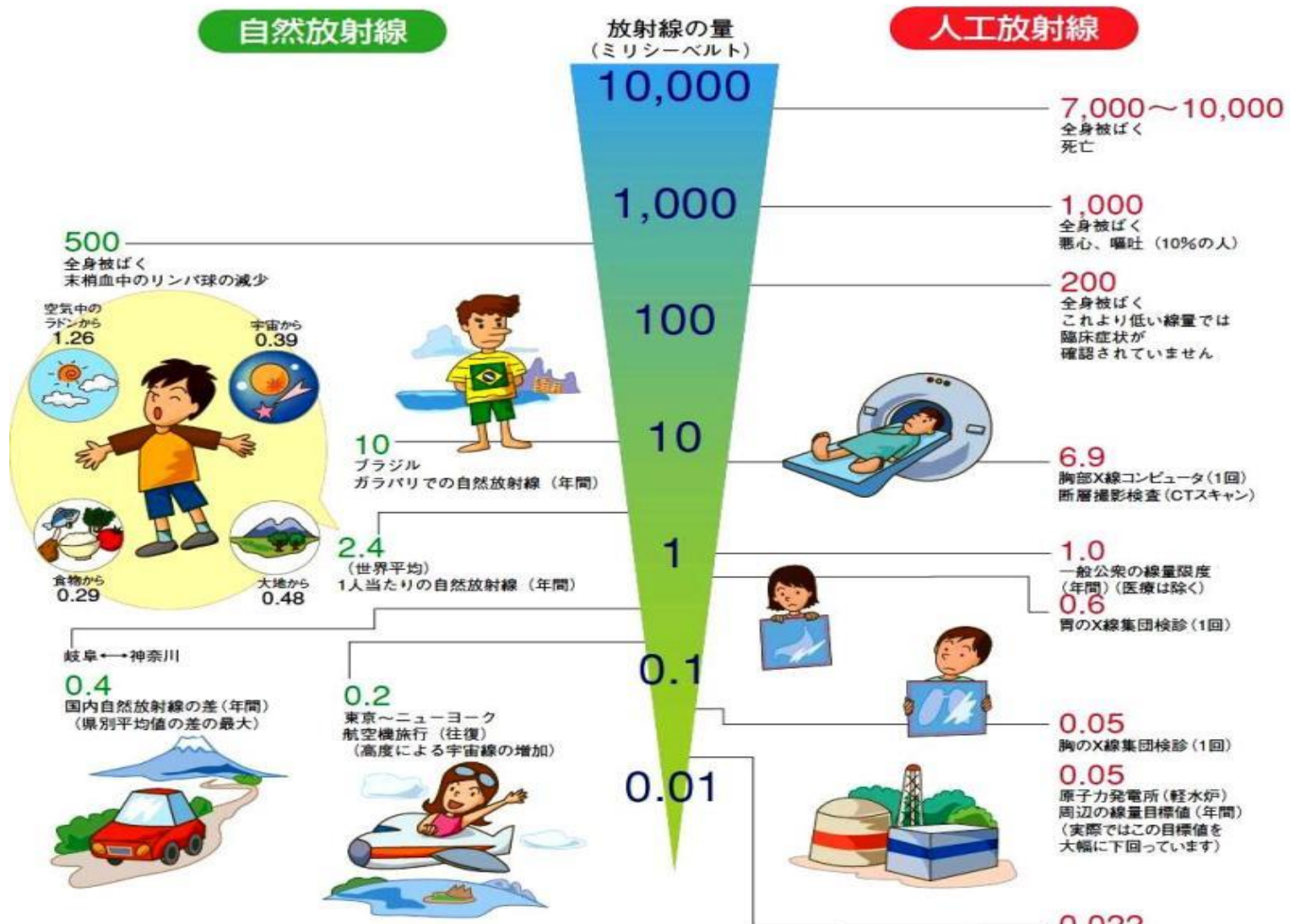
危なくないの？

*1Gy=1Svで換算した



自然放射線と人工(主に医療で)放射線の人体への影響度

放射線とその影響



(注1) 本図中の数値は実効線量当量または実効線量で記載。
 (注2) 自然放射線の量については、呼吸によるラドンの効果を含めた場合の値。
 出典:「原子力2008」 資源エネルギー庁

放射能(ベクレル)と放射影響(シーベルト)の数字の意味



Bq (メガ、キガ)

ベクレルの数字は、1秒に幾つの放射線出すかを示す。

(ボールの数)

Sv (ミリ、マイクロ)

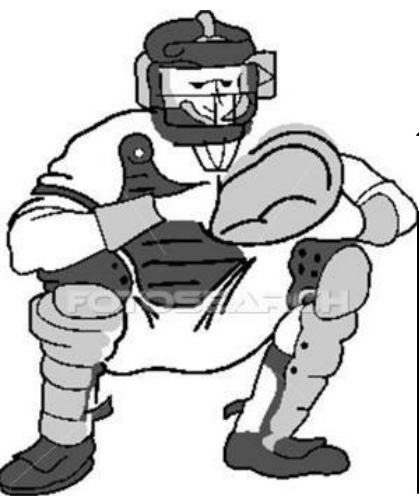
シーベルトの数字は、受ける人がどれだけ影響受けたか

(痛さ、疲れ、ダメージ)

ボール = 放射線
(α 線, β 線, γ 線 X線など)

さらに人の健康への影響は、受ける人の年齢、体力、健康状態その他で、各人さまざまに異なる(個人差)。

100mSvよりはるかに小さい放射線影響は、個人差、生活環境差に比してきわめて小さいといわれる



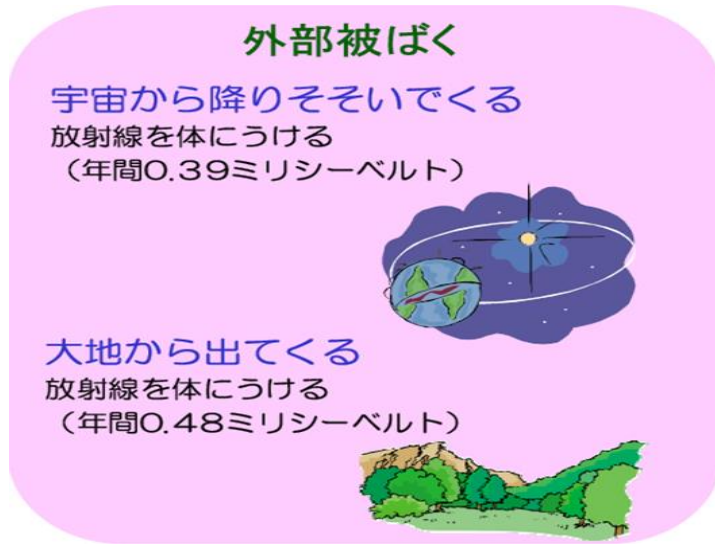
電磁波(光)の仲間の「放射線」

	周波数(ヘルツ)	種類	利用例・発生源	
電離放射線	非常に大きい	ガンマ線 エックス線	医療 X線写真	
太陽光	~nm以下	紫外線 可視光線 赤外線	殺菌灯 太陽光 赤外線ヒーター	
	1μm以下			
電波	1mm	300GHz	衛星放送 携帯電話 電子レンジ	
	10cm	3000MHz		
	10m	30MHz		短波
				中波
				長波
30Km	1KHz	1000Hz / 音波	送電線 掃除機 冷蔵庫 ドライヤーなど	
	非常に小さい	極低周波		



現在の放射線被ばくで考えておくこと

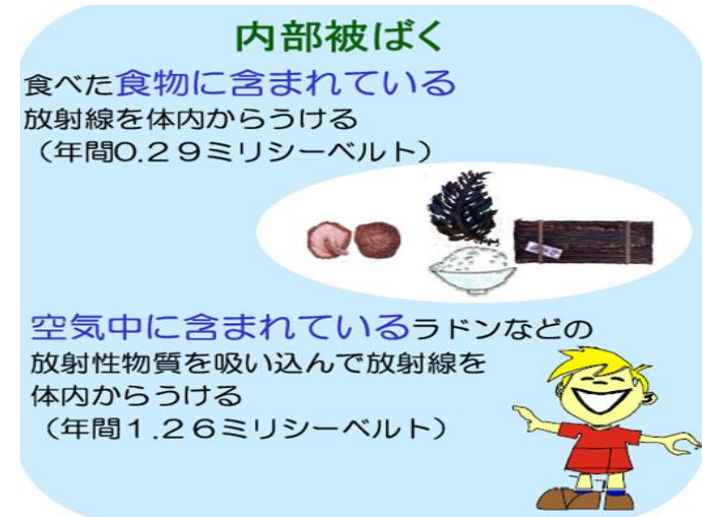
• 外部の放射線による被ばく



1年間に2.4ミリシーベルト(世界平均)

に加えて、福島原子力による影響が
今後1年(8760時間)あたり〇〇mSv
(事故後すぐは数字が大きい、次第に減少)
(生涯線量の考え方)

• 内部被ばく



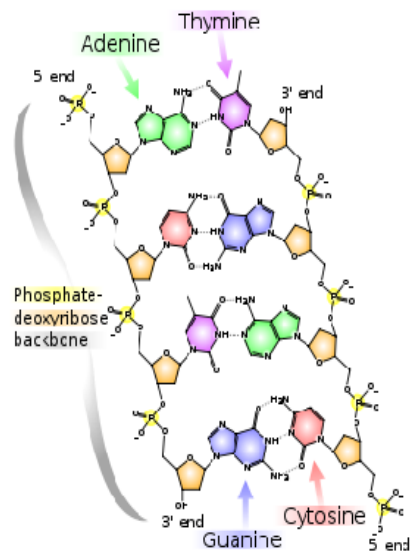
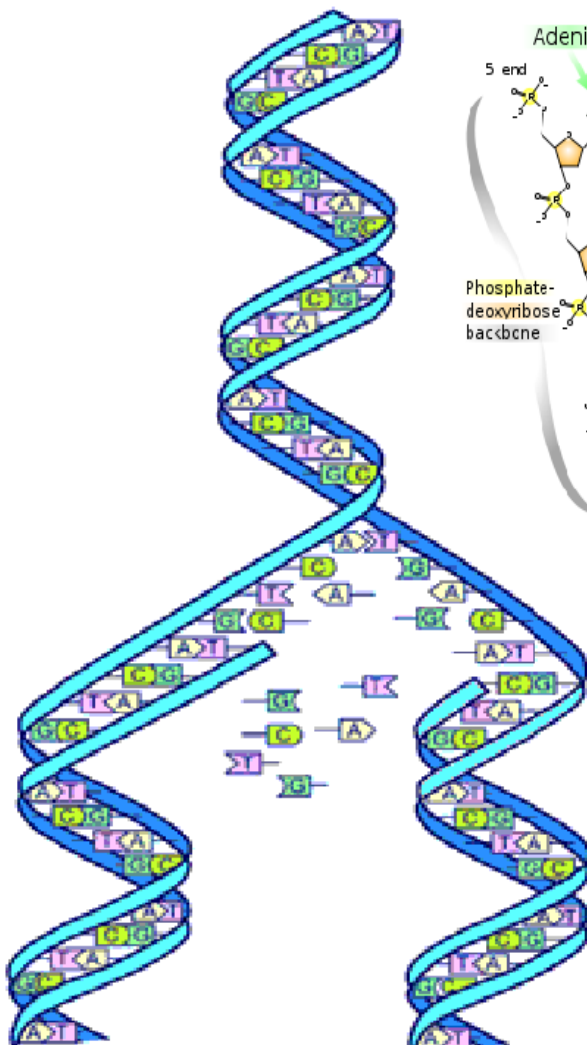
参考：2000年国連科学委員会報告書。

• 受けるひとの **個人差** も考慮します

子供ほど影響を受けやすい？(成長期)
これからの寿命が長く、影響の積重ねあり？

**事故の前とまったく同じ基準でないとい
けないかどうか。大人／子供の基準は！
元の生活に早く戻すこととのバランス。**

放射線の影響は、遺伝子(DNA)への影響



- ・遺伝子は**放射線以外にもその構造に影響**うけ(タバコ、薬品、食物習慣など)、その修復機能をもっている。また複製機能で成長する。
 - ・**修復や、複製機能**に個人差や習慣の影響も大きい。放射線のがんへの影響は大人で100mSv超えると0.5%程度(200人に1人)
- 日本のがんや腫瘍の発病は、自然の状態でも4-50%がかかる。

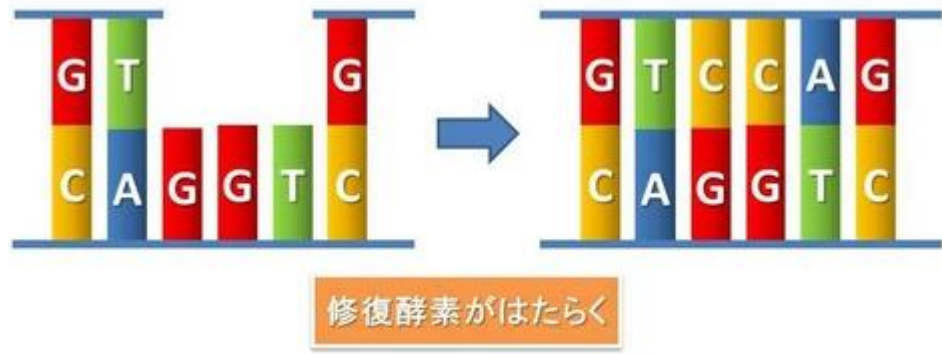
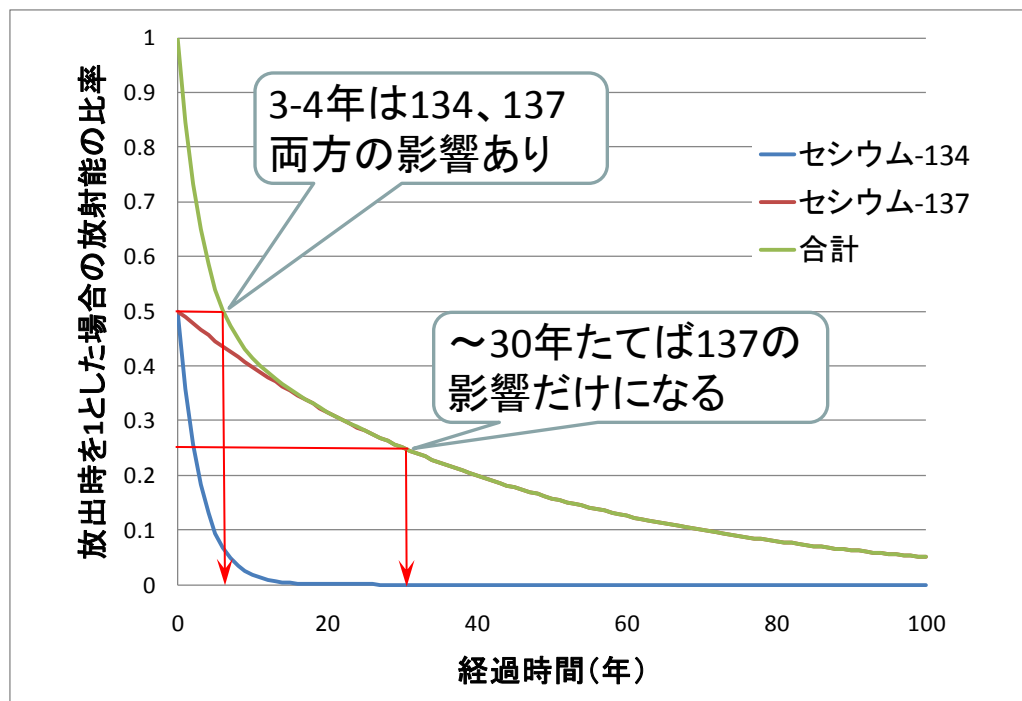


図2 DNAが修復される様子。結合する相手が決まっているため、片側の欠失であれば99%以上の確立で修復できる。成功率は下がるものの、両側が欠失する場合でも90%程度の確立で修復は可能。

放出された放射性物質の影響はいつまで残る？

-土を取り除いたり、植物に吸収されなければ-

- 放射性物質には半減期（放射線の強さが元の量の半分まで減少するのにかかる期間）がある。
- 福島事故により環境中に放出された放射性物質のうち、セシウム-134は約2年、セシウム-137は約30年の半減期を有する。



そのままでは、事故前の状態に戻るまでに非常に長い時間がかかる

放射性物質を取り除いたり（除染）、濃度を薄めたり（希釈）する作業が必要

例；今問題のセシウム134と137が今後どうなるか

汚染の低減への対応

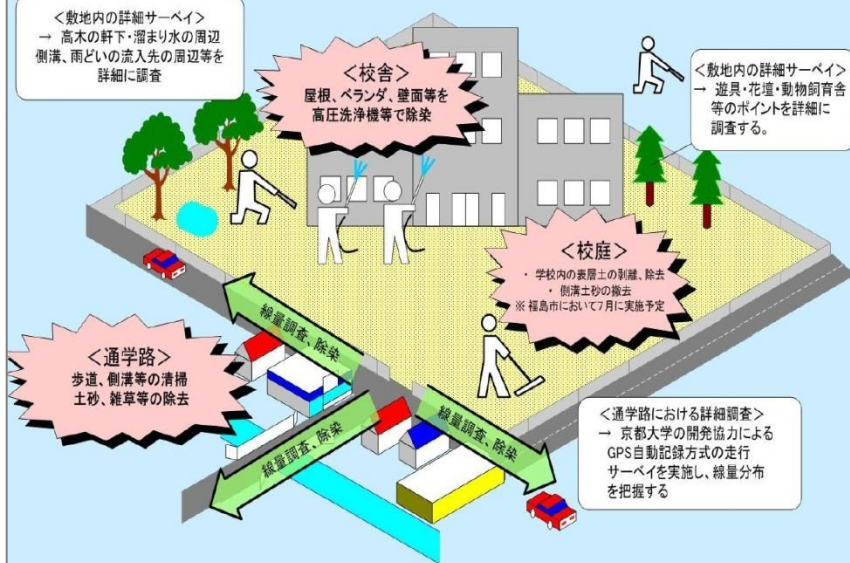
環境の汚染の低減と、居住環境、産業の復旧

- ・公共施設、生活区域の除染
- ・生活インフラの再構築

事故サイトの安定化、

- ・原子炉の冷却の安定化
- ・放射性物質のさらなる拡散の防止策
- ・廃炉対策と破損燃料対策(放射性廃棄物)

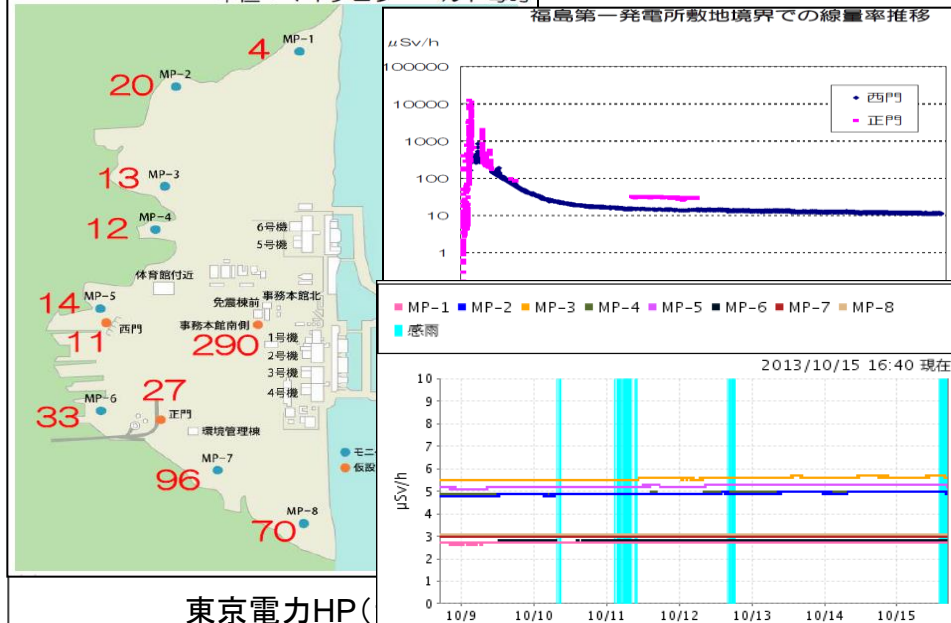
線量低減化に向けた実証試験 <学校・通学路> ～ 概念図 ～



除染した放射性物質の最終処置

モニタリングポスト空間線量率

平成23年10月31日23:30
単位：マイクロシーベルト毎時



東京電力HP(

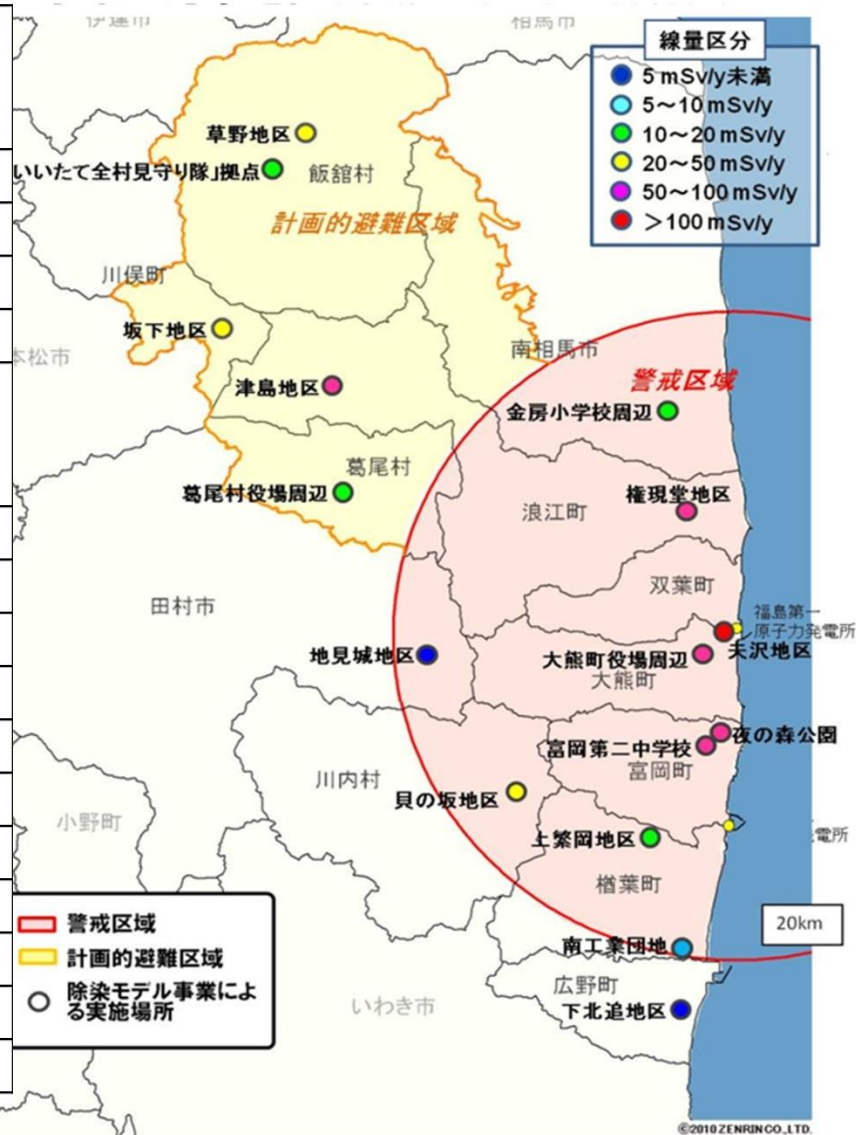
廃炉解体物、がれき、破損燃料の安定固体化 それら固体化廃棄物の最終処置(どこに処分)

最終的には、放射性廃棄物をどこにどう処分するかの社会合意づくりに収束

除染(モデル)事業の状況

除染モデル実証事業の対象地区

グループ /市町村	除染モデル実証事業 対象地区	除染対象(合計約209 ha)		除染前の 線量率 (mSv/y)	
		主な構成要素・特徴	広さ		
Aグループ	南相馬市	金房小学校周辺	農地、建造物(小学校)、道路、森林、宅地	約13 ha	5
	川俣町	坂下地区	森林、農地、道路、宅地	約11 ha	15
	浪江町	津島地区	建造物(中学校等)、森林、宅地、道路	約5 ha	48
		権現堂地区	建造物(駅・軌道、図書館等)、民家、道路、農地	約13 ha	26
	飯館村	草野地区 「いいたて全村見守り隊」拠点等	建造物(いいたてホーム等)、農地、民家、宅地、森林、道路	約17 ha	19
Bグループ	田村市	地見城地区	農地、森林、宅地、道路	約15 ha	4
	葛尾村	役場周辺	森林、建造物(小学校、役場)、宅地、道路	約6 ha	8
	富岡町	夜の森公園	建造物(中学校、グラウンド等)、宅地、森林、道路(桜並木)	約9 ha	43
		富岡第二中学校		約3 ha	32
	双葉町	—	—	—	—
Cグループ	広野町	中央台・苗代替地区	建造物(役場、小・中学校、グラウンド)、宅地、森林、道路	約33 ha	3
	大熊町	役場周辺	建造物(役場、公民館、公園)、宅地、道路	約6 ha	65
		夫沢地区	農地、森林、宅地、道路	約17 ha	344
	楢葉町	上繁岡地区	農地、宅地、森林、道路	約4 ha	11
		南工業団地	建造物(工場等)、道路	約37 ha	4
川内村	貝の坂地区	農地、森林、民家、道路	約23 ha	20	

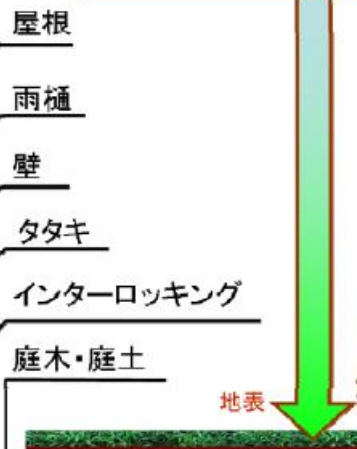


面的除染を念頭においた組合せ・手順

宅地



上から下に



上方から順に除染

大型建物

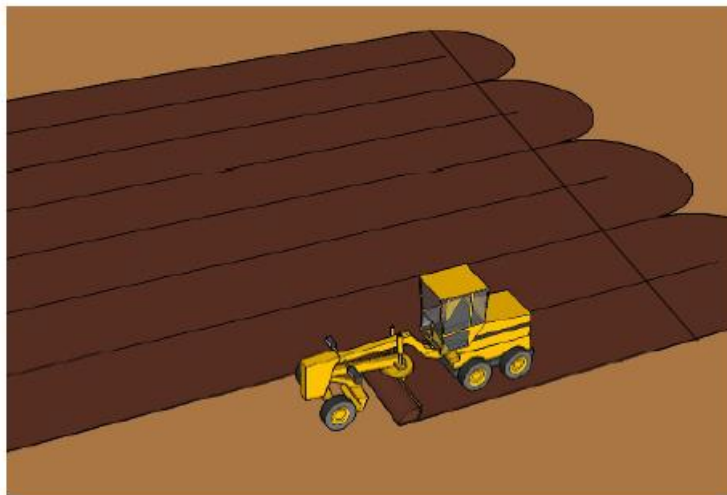
STEP 1
屋上・屋根

STEP 0
屋根より高い
樹木は最初に

STEP 2
雨樋

STEP 3
壁・窓・戸

STEP 4
最後に地面



広いエリアは一筆書きで

③-3-5 モーターグレーダー

施工概要: コンパウンドローラーで地ならしをし表面を平滑にした後、モーターグレーダーにより剥ぎ取る。バックホウにより集積し、コンテナに詰込む。



モーターグレーダー



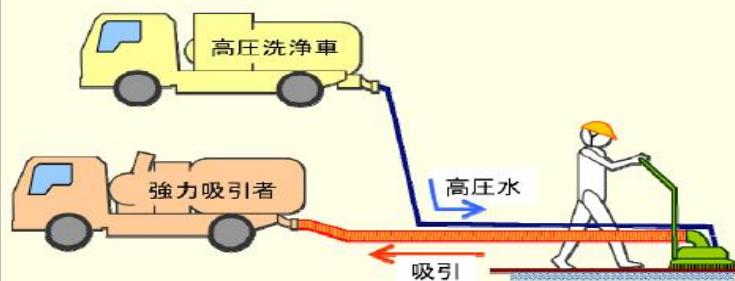
表土剥ぎ取り状況



除去土壌詰込状況

③-1-6 超高圧水洗浄(150Mpa以上)

施工概要: 超高圧水洗浄機(150Mpa以上)により、コンクリート面を薄削する。切削に使った水はバキューム車で吸引回収し、水処理設備へ運搬する。



中型超高圧水洗浄機



ハンディ型超高圧洗浄機

④-3 アスファルト舗装除染方法の比較

除染方法	機能回復車	高圧水洗 (10-20Mpa)	超高圧水洗浄 (240Mpa)	ショットブラスト	TS切削機
低減率	0-60%	2 - 50%	40-90% (圧力, 回数)	60-95% (投射密度, 回数 による)	95%以上
除去物発生量 (余掘り)	ほとんど無し	ほとんど無し	ストレートアス ファルト汚泥	切削屑 30袋/ha程度	5mm以下の薄削 は困難 60袋/ha程度
二次汚染	洗浄水回収 ほとんど無し	流末処理 多少あり	洗浄水回収 ほとんど無し	多少あり	多少あり
施工スピード	2500m ² /日	300m ² /日	300m ² /日	300-800m ² /日	1000m ² /日
適用条件	・歪曲・損傷 のない平滑な 道路	・損傷のない 道路 ・側溝蓋も洗 浄可	・損傷のない道 路 ・側溝蓋も洗浄 可	・乾燥した道路 ・歪曲・損傷のな い道路	・乾燥した道路 ・歪曲・損傷の ない道路
適用性	△	△	◎	○	○

◎:強く推奨, ○:推奨, △:目標除染率により推奨, ▲:推奨されない

①-3 落葉・腐葉土層除去方法(傾斜地)

施工概要: 人力(竹箒, フロア)により落ち葉を集積しコンテナに詰込む、さらに人力(熊手, レイキ)によりリター層(腐葉土)を集積し、バキュームにより吸引搬送し、バキューム車から人力でコンテナに詰込む。



腐葉土の吸引除去



バキューム車(吸引力:120m³/時)

留意点:

- ◆ 傾斜地の場合、腐葉土層を全て除去すると将来降雨による土壌流出および斜面崩壊の危険性を伴うことから、汚染の状況に応じてリター層の除去深度ならび除去後の斜面保護対策(しがら, 土のう積み等)を検討する必要がある。
- ◆ 汚染レベルの高い場所ではバキューム車と吸い込み口の間にはバグフィルターを設置する必要があるかどうかを検討する必要がある。
- ◆ リター層を全て除去する場合は、完全に表土が見えるまで丁寧に除去することが重要である。

農地対策としての 表土固化回収や 反転など

施工概要: 草刈・集積終了後、固化剤散布機により固化剤を散布し3日の養生後、分離回収機・バックホウで表土を剥ぎとる。



固化剤散布

+



固化土壌分離回収機

or



バックホウ(スィーパー方式)

留意点:

- ◆ 分離回収機は、対象土壌が高含水であると、移送部の配管で土砂が閉塞し、使用が不能となる。そのため、高含水土壌ではバックホウにて剥ぎ取ることが有効である。
- ◆ 固化剤は氷点下では固化しないため、冬季ではこの工法は効果的でない。
- ◆ 降雨等により湛水したほ場では固化しないため、乾燥させた状態で散布することが重要である。
- ◆ 固化剤は灰白色であるため、取残しがあるかどうかの目印としての効果もある。

トラクタ+プラウ

必要な反転深さの能力を有するプラウ付き耕運機で反転する。



天地返し(バックホウ)

Cs90%程度を含む表層土を薄く剥ぎ取り、仮置きする。下層土を30cm程度剥ぎ取り、仮置きする。表層土を敷き均した後、下層土を敷き均す。



表層土5cm剥ぎ取り



下層土45cm剥ぎ取り

留意点:

- ◆ 放射能濃度の深度分布ならびに耕盤の深度を把握し、反転深度を決定することが重要である。

留意点:

- ◆ 放射能濃度の深度分布ならびに耕盤の深度を把握し、天地返しの上層と下層の深度を決定することが重要である。
- ◆ 上層の剥ぎ取った土壌が下層の剥ぎ取った土壌に混入しないように仮置きすることが重要である。



ハンマーナイフ・モア

除去物の種類

主な内容物		代表的な品目
不燃物	土類	表土, 側溝泥 (多少の草や苔が混じるものも含む)
	石類	石, 砂利
	切削材	ブラスト材
	アスファルト	アスファルト混合物
	シート類	ブルーシート等
	その他	フィルタ(マスク, 水処理), ゴム手, プラ系靴カバー
可燃物	草木類	草類(芝, 苔, 雑草等) 木材, 枝葉(竹, 剪定した枝, 葉等)
	除染作業で発生した可燃物	タイベック, ウェス等

福島第一原子力発電所事故への対応

その1; 事故収束に向けた技術開発例

●福島第一原発の廃止に向けた燃料デブリの特性把握や放射性廃棄物の処理・処分に必要な研究開発として、以下の取組みを実施している。

○模擬デブリを用いた特性の把握/デブリ処置技術開発

1. デブリ特性の把握

- TMI情報を基に、取出し機器の具体化のため今後取得すべきデブリ物性データ（硬さ、弾性率等）を明確化
- **模擬デブリ(MOXから作成)**を用いた基礎物性データ（融点、膨張率、熱伝導度等）を取得
- **模擬デブリ(UO₂から作成)**を用いた機械的物性データ（硬度、弾性率）の取得に係る施設整備

2. デブリ処置技術の検討

- 燃料デブリの取出しからその後の処置（貯蔵・保管・処理・処分等）について考えられる複数のシナリオ素案を作成、定性的評価を実施
- 模擬デブリを用いて**既存処理技術(湿式法、乾式法等)**の基礎データを取得

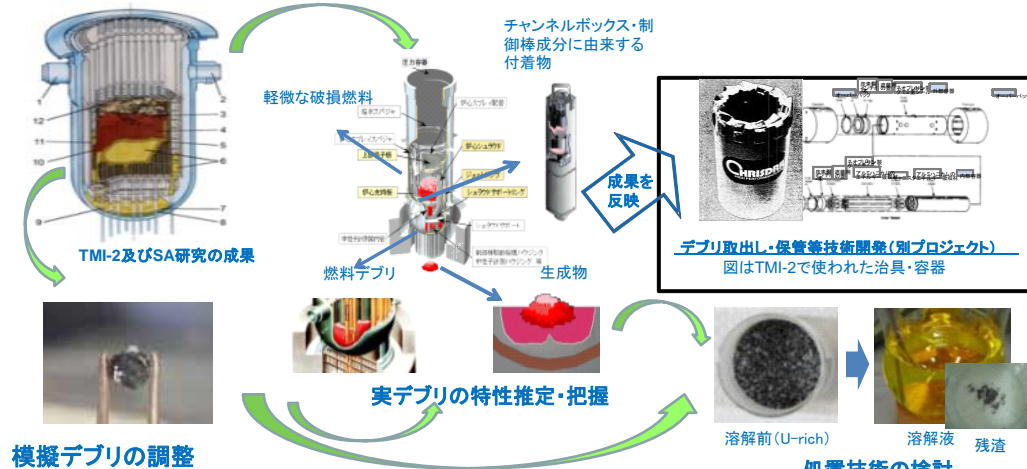


図1 燃料デブリ特性把握及び処置技術開発の全体像

○汚染水処理に伴う二次廃棄物の処理・処分技術開発

1. 廃ゼオライト、スラッジ等の性状把握

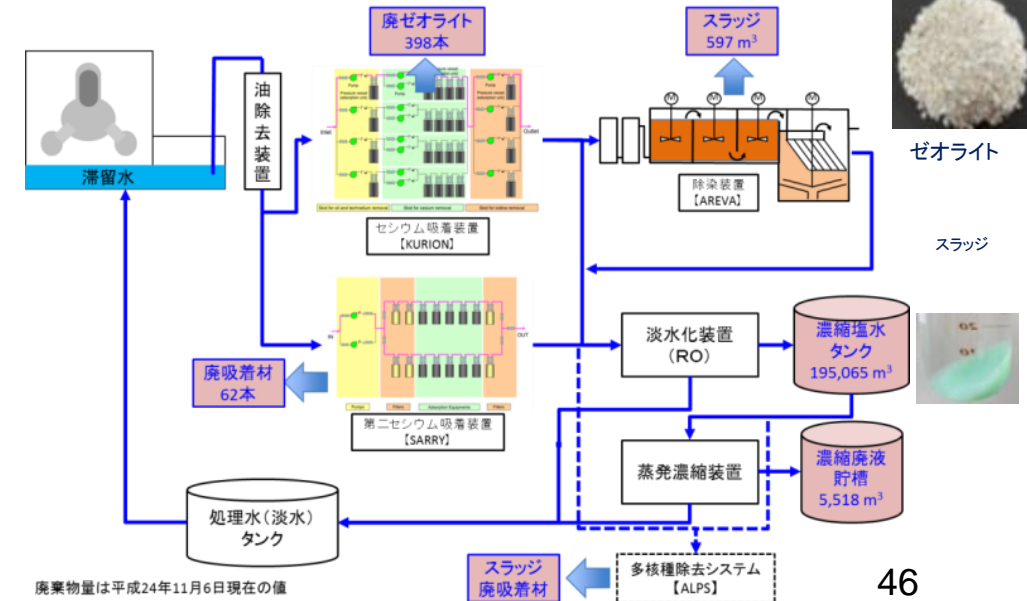
- 汚染水処理の各工程から処理水を採取、試料水中の核種分析を実施

2. 長期保管方策の検討

- 水素ガス発生・発熱に関する評価及び容器腐食に関するデータを取得

3. 廃棄体化技術検討

- ガラス固化、セメント固化、直接焼成などの廃棄体化方法を検討、廃棄体特性を評価



廃棄物量は平成24年11月6日現在の値

図2 汚染水の処理システム

○放射性廃棄物の処理・処分技術開発

1. ガレキ等の性状調査のための核種分析

- ガレキ、伐採木等のサンプリング、輸送、分析を実施

2. 処理・処分にに関する研究開発計画の策定

- 計画策定に向けた情報を収集・整理、技術的検討を実施

福島第一原子力発電所事故への対応

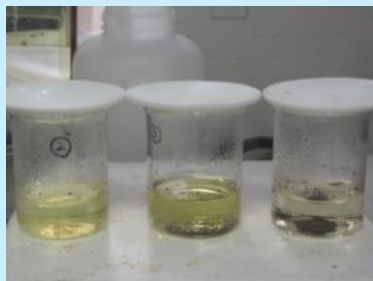
その2; 福島技術開発部門における研究開発

●核サ研福島技術開発特別チームと連携しながら、下記の研究開発等を実施している。

○燃料デブリの取り出し等に関する研究開発

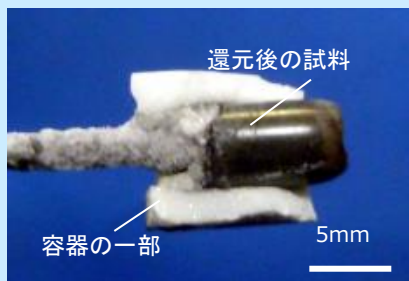
デブリの特性確認のため以下の試験等を実施中

- ・MOX模擬デブリの溶解試験・電解還元試験



溶解試験

〔 溶解した構造材料(Zr)とMOXの比が異なる模擬デブリを酸に溶解した例 〕



電解還元試験

〔 電解により模擬デブリを還元処理した後の試料の例 〕

- ・U模擬デブリの塩素化溶解試験, 模擬デブリ試料作製の電気炉の整備



塩素化溶解試験

(試験経過に伴う塩の外観変化)



模擬デブリ作製用電気炉

○放射性廃棄物の処理処分にに関する研究開発

- ・スラッジ保管容器の健全性確認のため材料試験を実施中



材料浸漬試験(EDF-3)



照射試験(高崎研施設)

- ・汚染水の処理に関して、Cs, Sr等の除去試験を実施中



〔 除染試薬(フェロシアン化物イオン等)を添加して汚染水中のCsの吸着除去効率を調べる試験の様子 〕

原子力施設からの放射性廃棄物は他にもある

処分方法	地層処分		余裕深度処分・浅地中処分	浅地中ピット・トレンチ埋設	
概要	<p>ハル</p> <p>エンドピース</p> <p>細断</p>	<p>廃銀吸着材 (ヨウ素吸着)</p> <p>排気</p> <p>銀吸着材</p> <p>吸気</p> <p>放射性的ヨウ素を除去する吸着材</p>	<p>濃縮廃液</p> <p>液体</p> <p>モルタル添加</p> <p>乾燥・ペレット化</p> <p>ペレット化</p>	<p>難燃性廃棄物</p> <p>ゴム手袋</p> <p>不燃性廃棄物</p> <p>工具 金属配管</p>	<p>可燃性廃棄物 焼却灰</p> <p>難燃性廃棄物 焼却灰</p> <p>工程廃液</p> <p>廃樹脂、スラッジ</p> <p>イオン交換体</p> <p>(セメント固化)</p>
廃棄体イメージ					
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・発熱量が比較的大 ・C-14を含む 	<ul style="list-style-type: none"> ・長半減期I-129含む 	<ul style="list-style-type: none"> ・硝酸塩を含む 	<ul style="list-style-type: none"> ・放射線レベル低いが大量に発生 	

原子力発電以外でも放射性物質を含む 廃棄物が発生

放射性廃棄物の発生場所の例



研究用原子炉



大学などでの
基礎研究や各種試験研究



病院での検査



原子炉の解体

放射性廃棄物の例



衣服・ペーパータオルなど



検査用ゴム手袋など



コンクリート片・金属など

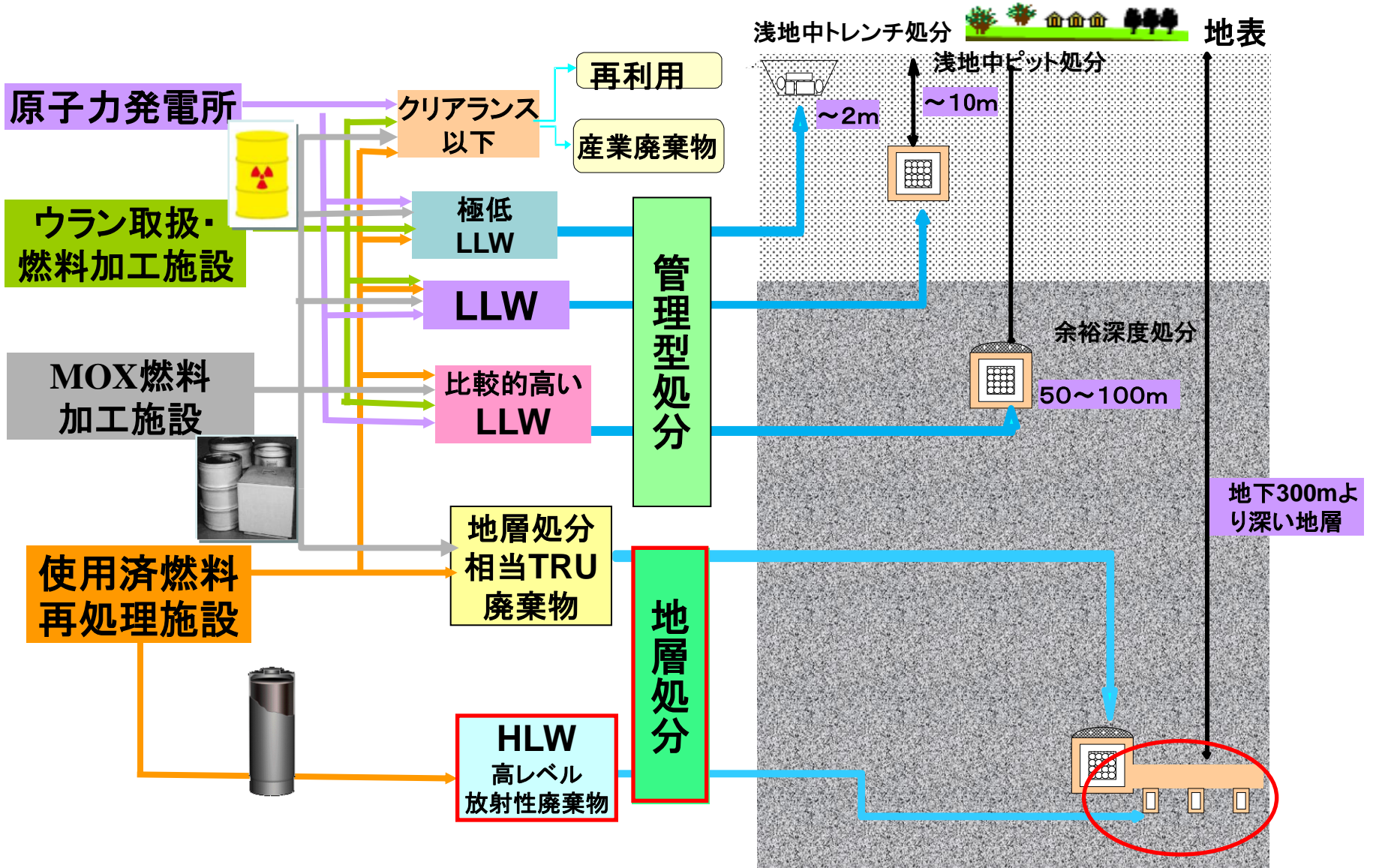


洗浄した廃水などの液体



科学・医薬品、アイソトープ

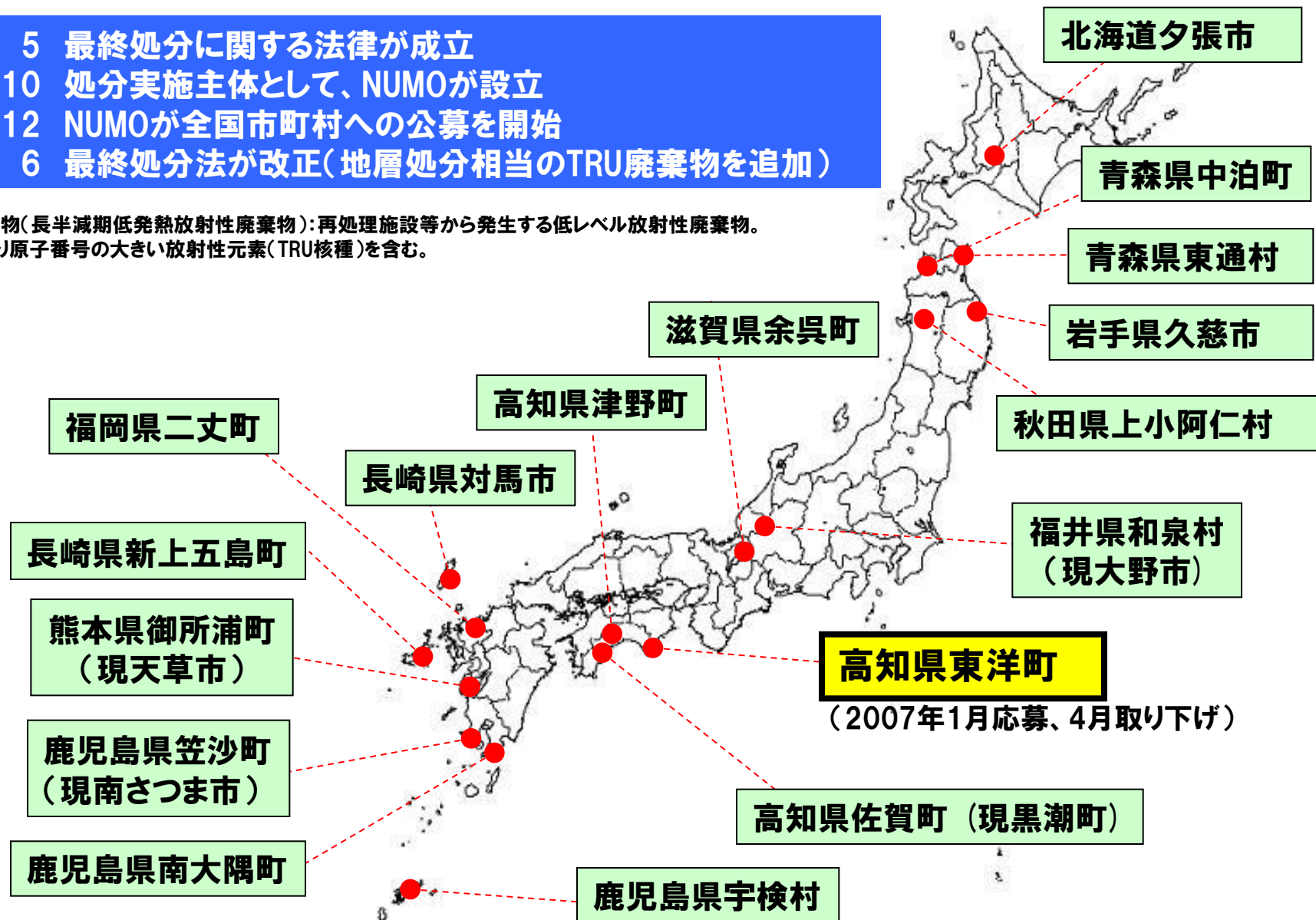
放射性廃棄物の処分方法： 濃度／線量に応じた深さに埋設



地層処分場調査の応募に関連する報道があった地域

- 2000. 5 最終処分に関する法律が成立
- 2000.10 処分実施主体として、NUMOが設立
- 2002.12 NUMOが全国市町村への公募を開始
- 2007. 6 最終処分法が改正(地層処分相当のTRU廃棄物を追加)

* TRU廃棄物(長半減期低発熱放射性廃棄物):再処理施設等から発生する低レベル放射性廃棄物。
ウランより原子番号の大きい放射性元素(TRU核種)を含む。



福島事故と汚染拡散後のすべての廃棄物問題解決

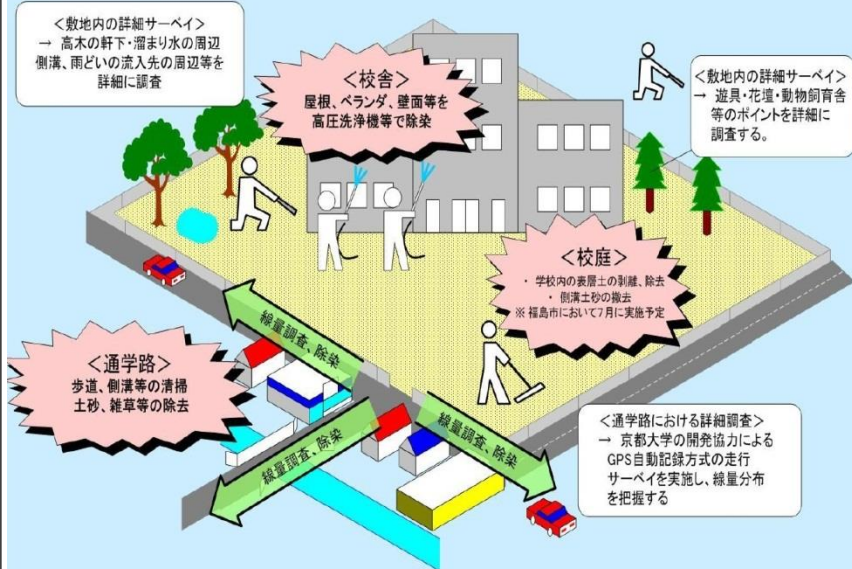
- **最終処分の意義、誰が何をすべきかの国民認識高まり？**
- **原子力や放射線全般に関する知識一何をもって安全か？**
(社会的に放射線・原子力と廃棄物最終処分への認識、意識は増している)
- **原子力政策は事故を踏まえ見直し。廃棄物対策は是否の議論
でなく、安全確保策もとに実行しなければ終われない！！**
- **地域での問題からより広域にわたる課題解決が求められる**
(従来、国と原子力／処分場立地県自治体の課題だったが、より広い地域の関心事へ)
- **国と地方自治体の協議、連携と社会合意が今後も不可欠な行政の課題(原子力廃棄物、汚染除去、瓦礫等)**

まとめ(放射性廃棄物の最終処置はどうする)

環境の汚染の低減と、居住環境、産業の復旧

- ・公共施設、生活区域の除染
- ・生活インフラの再構築

線量低減化に向けた実証試験 <学校・通学路>
～ 概念図 ～



除染した放射性物質の最終処置(どこに処分)

事故サイトの安定化、

- ・原子炉の冷却の安定化
- ・放射性物質のさらなる拡散の防止策
- ・廃炉対策と破損燃料対策(放射性廃棄物)

廃炉解体物、がれき、破損燃料の安定固体化
それら固体化廃棄物の最終処置(どこに処分)

.....

今後の原子力発電の稼働いかんに関わらず

- ・既に発生した原子力発電廃棄物の埋設処分
- ・使用済み核燃料とガラス固化体の処分
- ・その他、研究開発や医療からの放射性廃棄物
- ・既稼働の原発の廃止措置と解体廃棄物

最終的には、放射性廃棄物をどこにどう処分するか社会合意づくりに収束

ご清聴ありがとうございました

今後の日本のエネルギー確保のため

福島事故の影響を低減・収束するため

原子力への依存を減らして従来の施設を閉鎖する場合にも

日本社会が納得する形で廃棄物の最終処分は必要になります。