

2024年9月4日 土木学会 研究討論会（21）

# 県外最終処分を実現させるための技術的な検討について

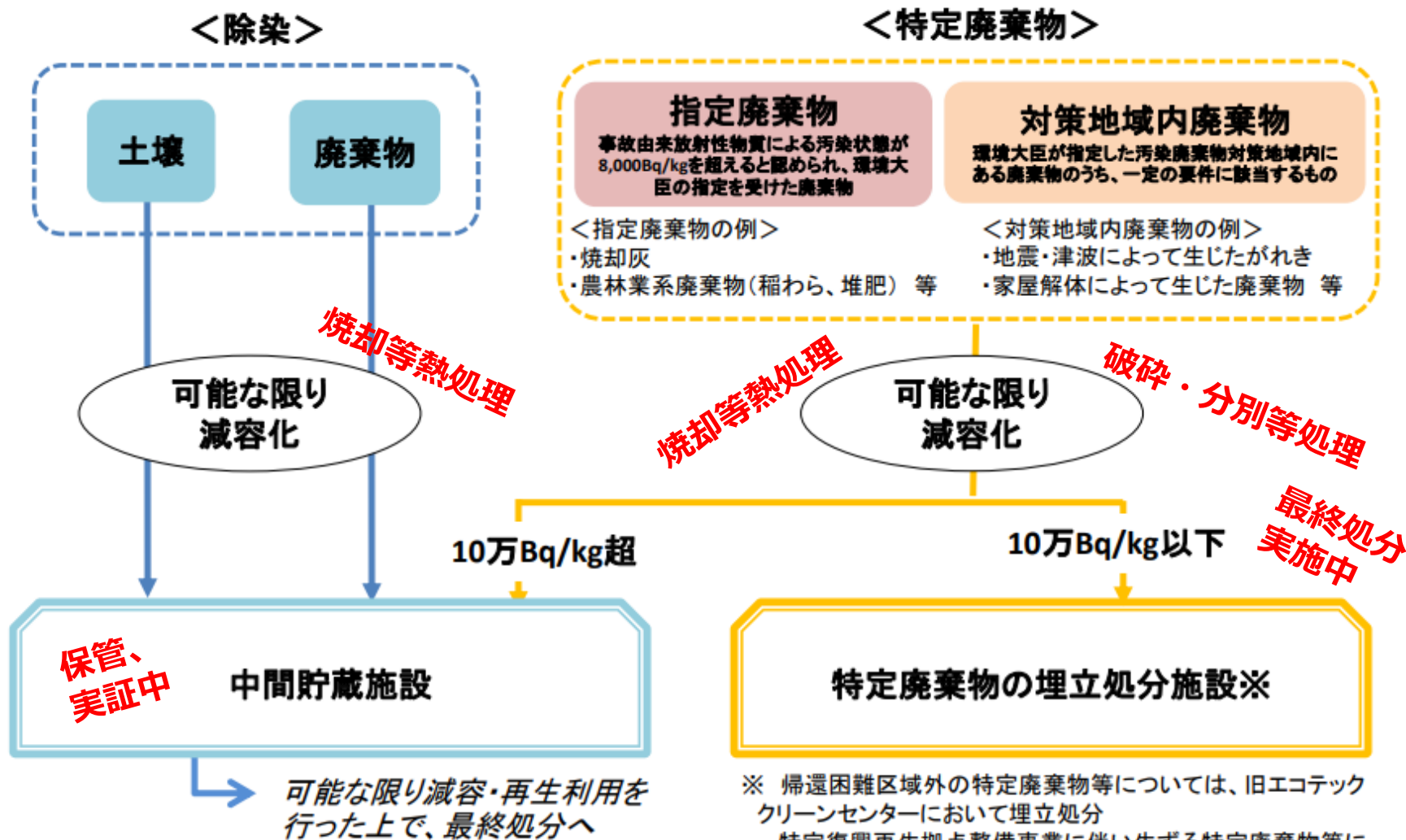
国立環境研究所

福島地域協働研究拠点

廃棄物・資源循環研究室

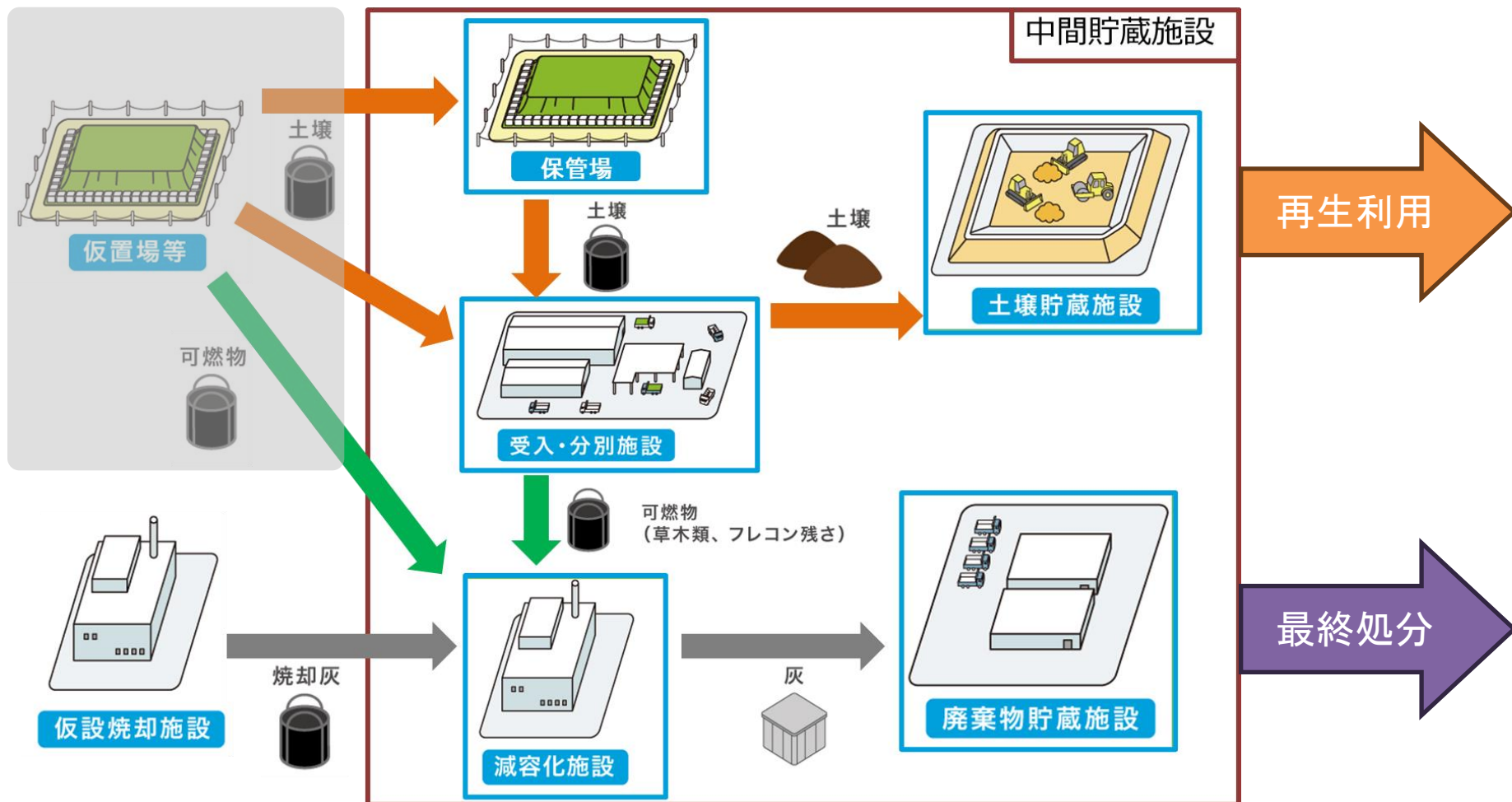
遠藤 和人

# 除去土壌等及び特定廃棄物の処理フロー（福島県内）



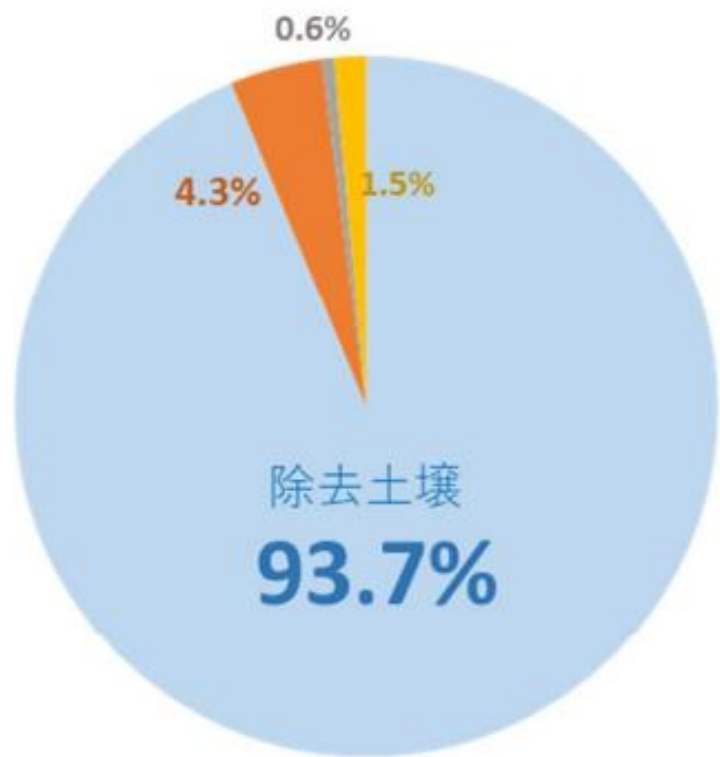
注) 特定廃棄物以外の廃棄物については、廃棄物処理法の規定を適用。  
(一定の範囲については放射性物質汚染対処特別措置法に基づく基準も適用。)

# 除染等された土壌と廃棄物の流れ

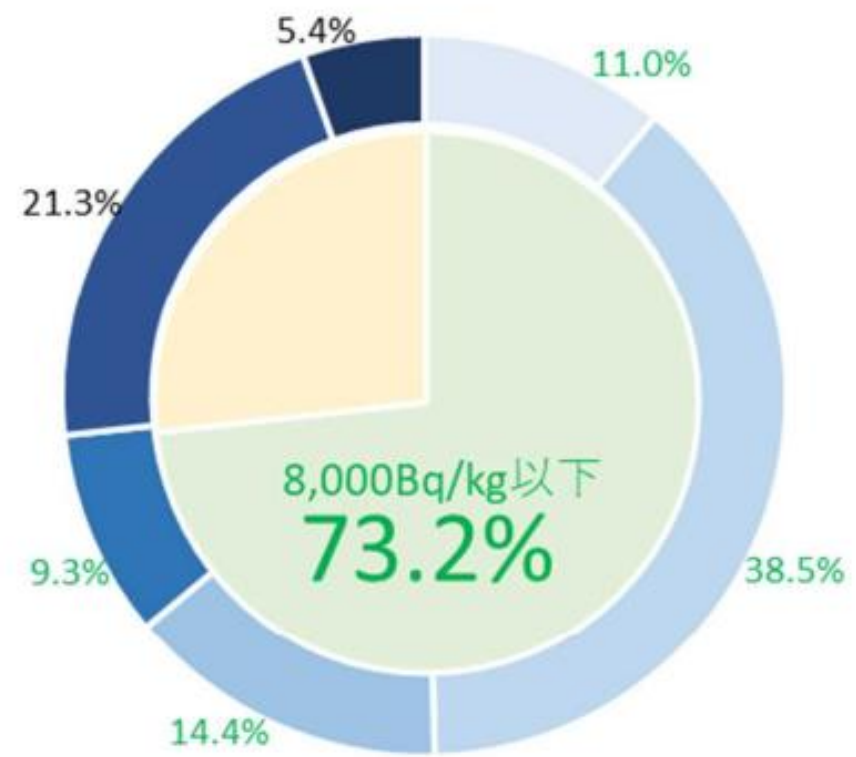


# 中間貯蔵施設に輸送した除去土壌等の種類と濃度の分布

※濃度は運搬時の測定結果



■ 除去土壌 ■ 可燃物 ■ その他不燃 ■ 焼却灰



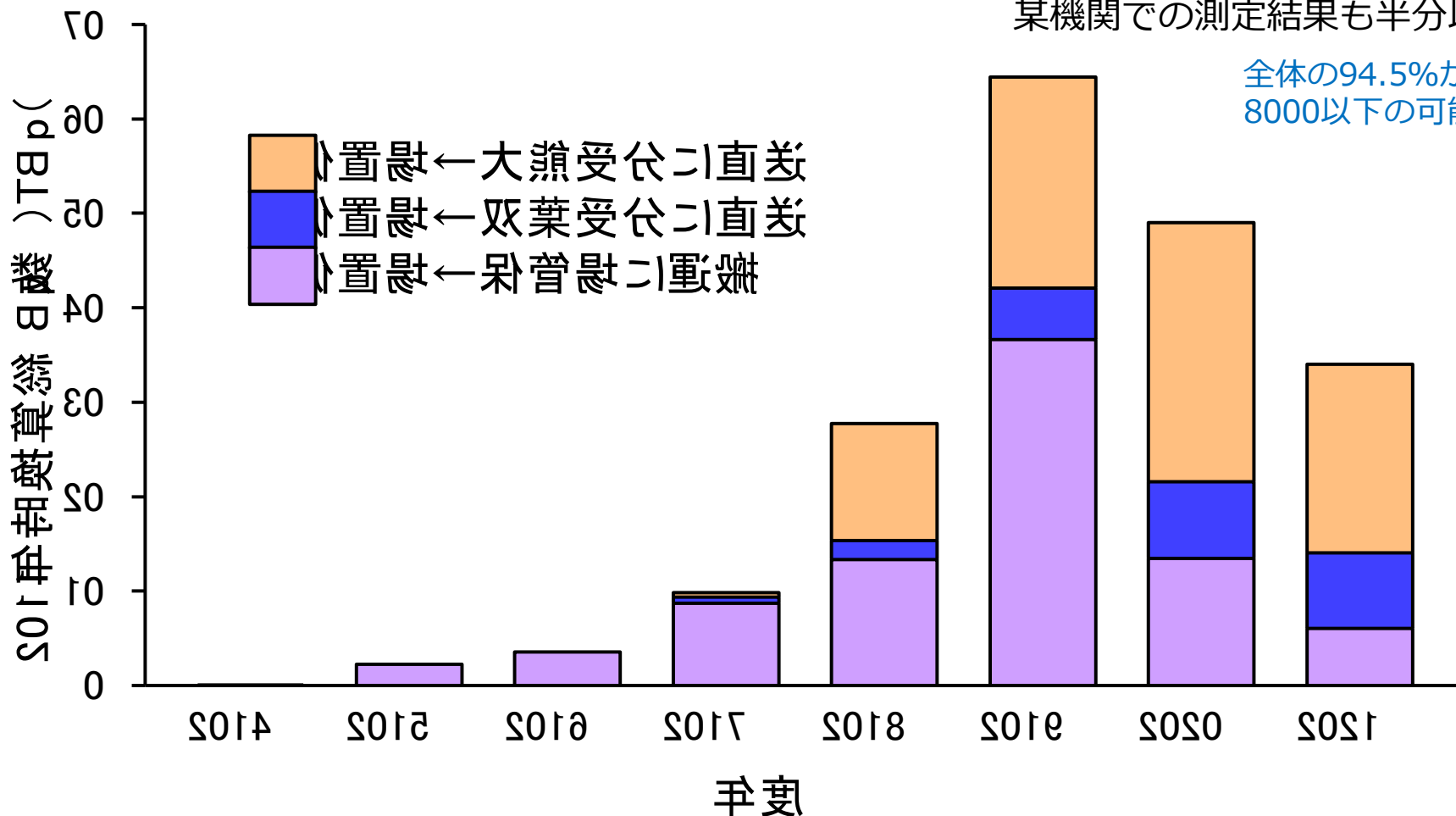
■ 1,000Bq/kg以下 ■ 1,000～3,000Bq/kg  
 ■ 3,000～5,000Bq/kg ■ 5,000～8,000Bq/kg  
 ■ 8,000～20,000Bq/kg ■ 20,000Bq/kg超

# 中間貯蔵施設に運搬された総Cs量は？

総量約191 TBq (厚労省方式)

JAEA方式だと半分以下  
某機関での測定結果も半分以下

全体の94.5%が  
8000以下の可能性

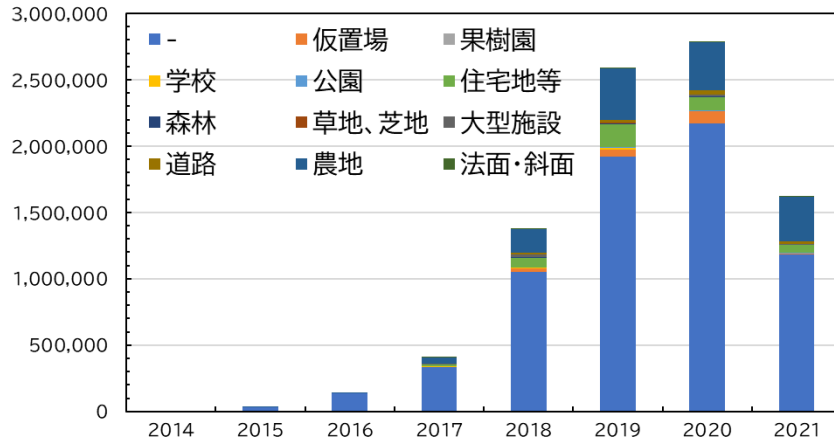


タグ情報における表面線量率とフレコン重量から計算

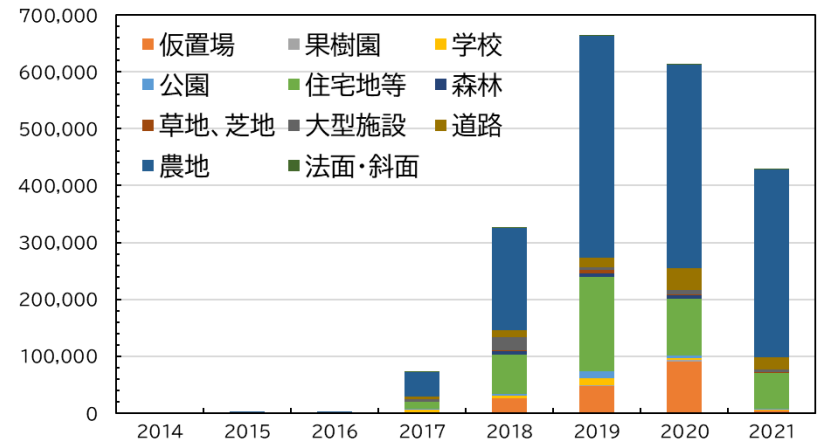
# どこで除染された除去土壌なのか？

直轄除染はタグ情報に除染場所の記載が残っているが、非直轄除染では情報が無くなってしまっている。

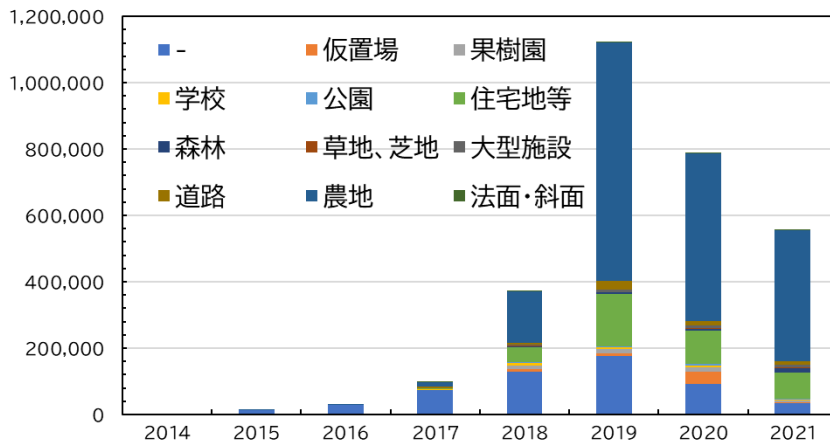
8,000 Bq/kg以下



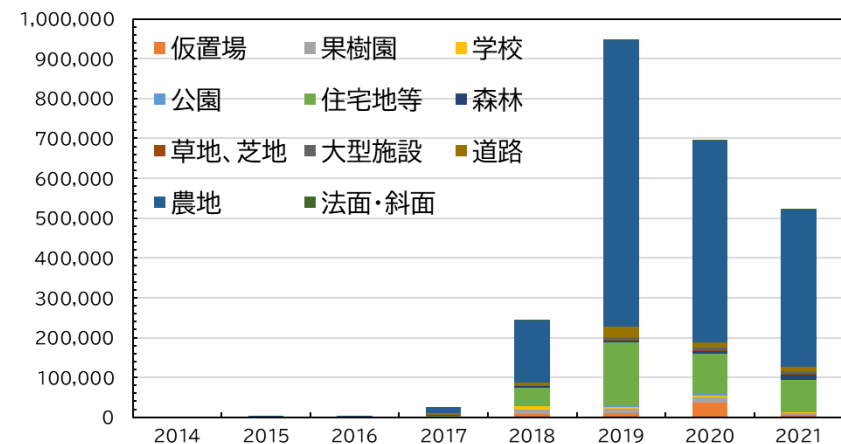
8,000 Bq/kg以下, 「一」なし



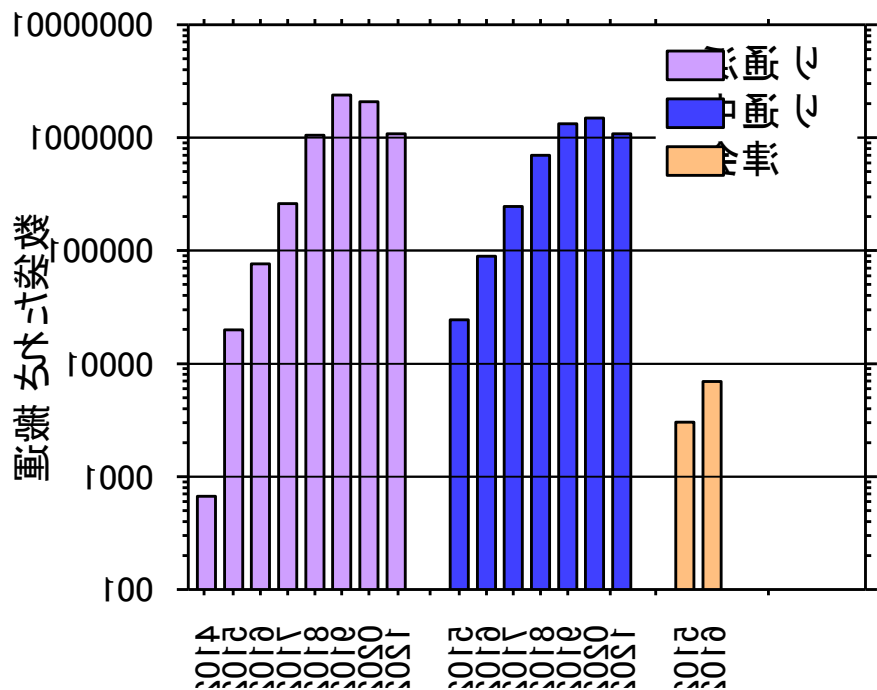
8,000 Bq/kg超



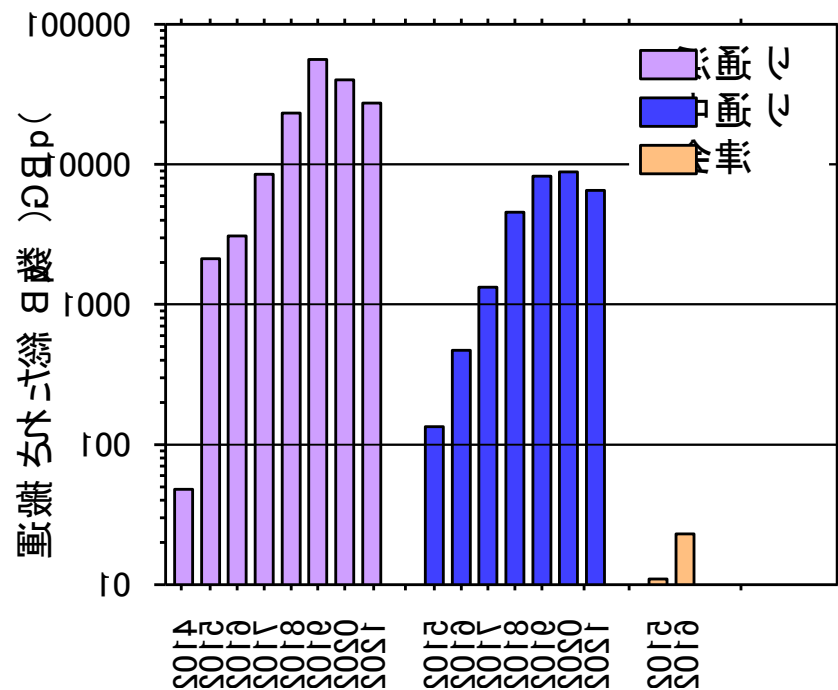
8,000 Bq/kg超, 「一」なし



# 各地域からの運搬袋数と総Bq数の経時変化



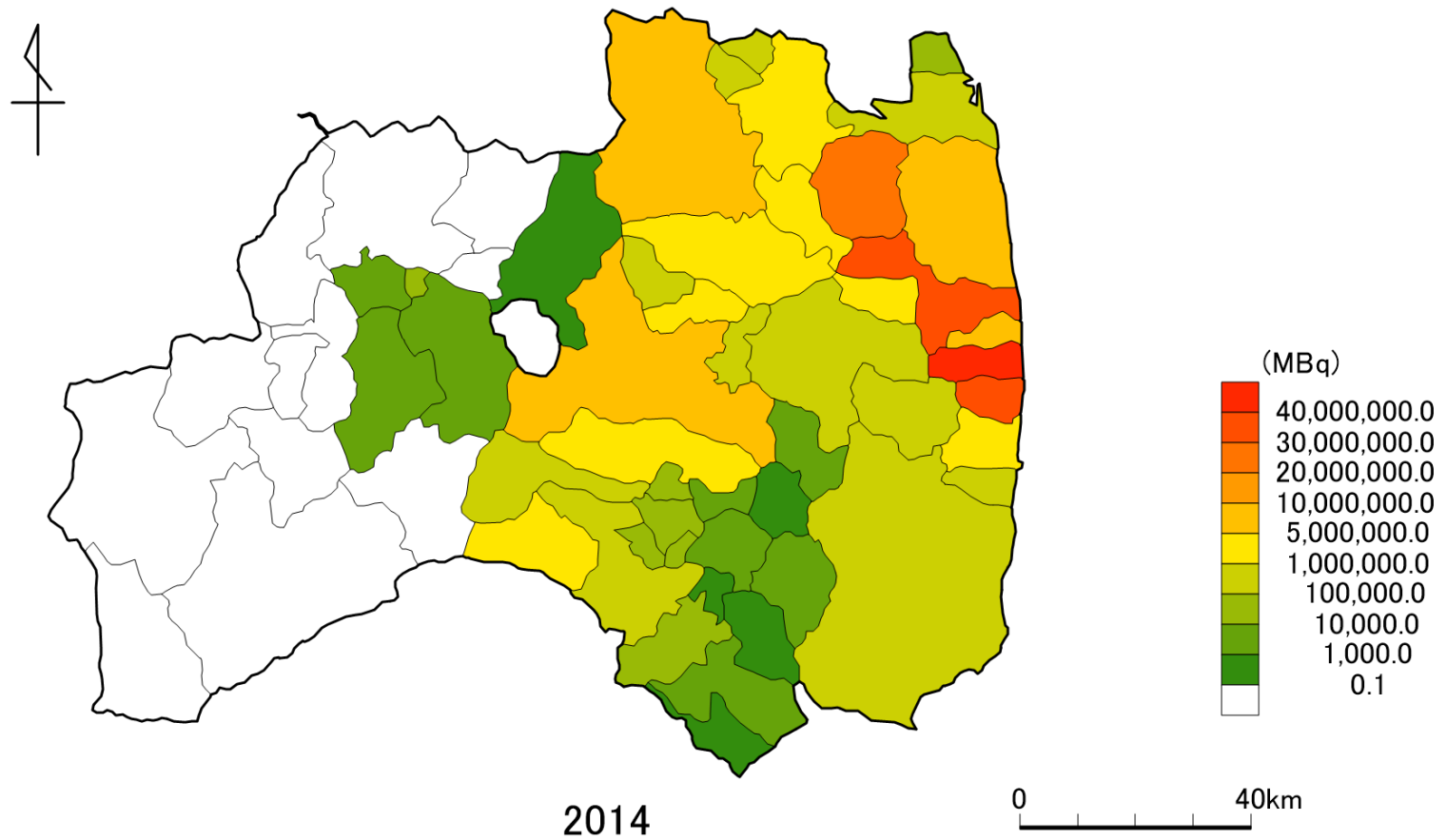
浜通り = 約696万袋  
 中通り = 約497万袋



浜通り = 約161 TBq  
 中通り = 約 30 TBq

浜通り、中通りから運搬された袋数は大きく変わらないが、  
 運搬された放射性Cs量は大きくことなる結果であった

# 各市町村の仮置場に保管されていた総Bq数

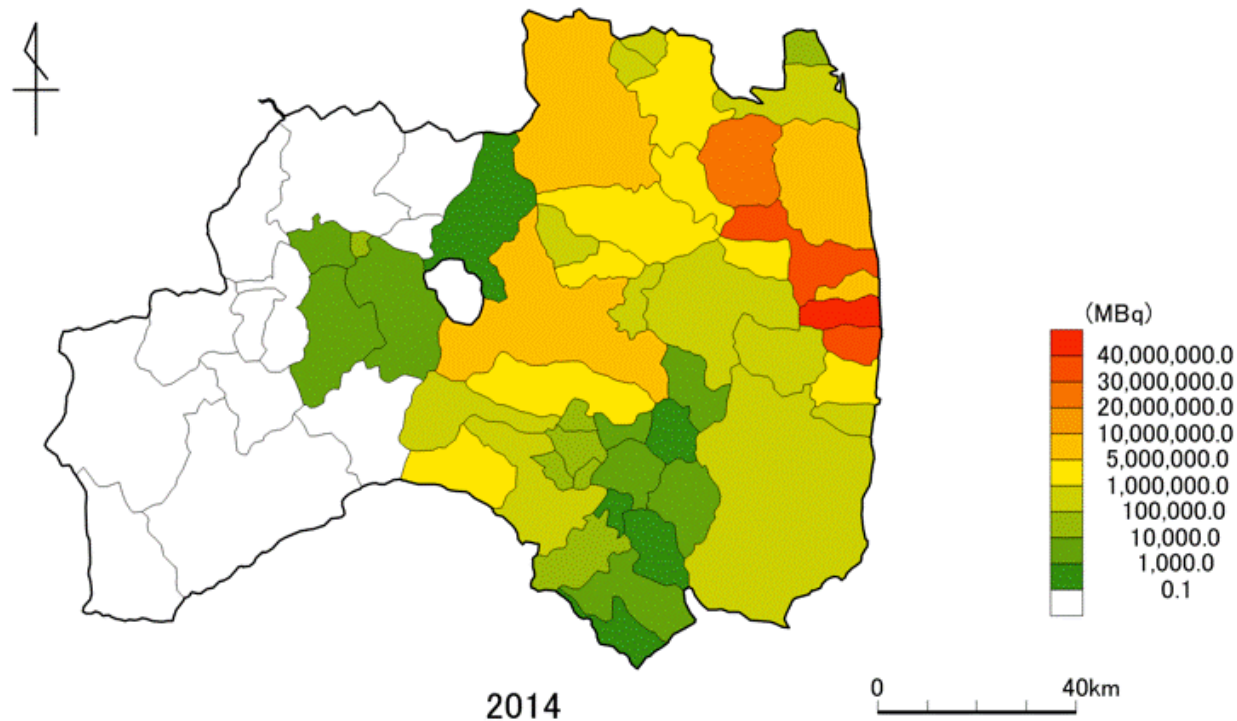




# 各市町村の仮置場に保管されていた総Bq数

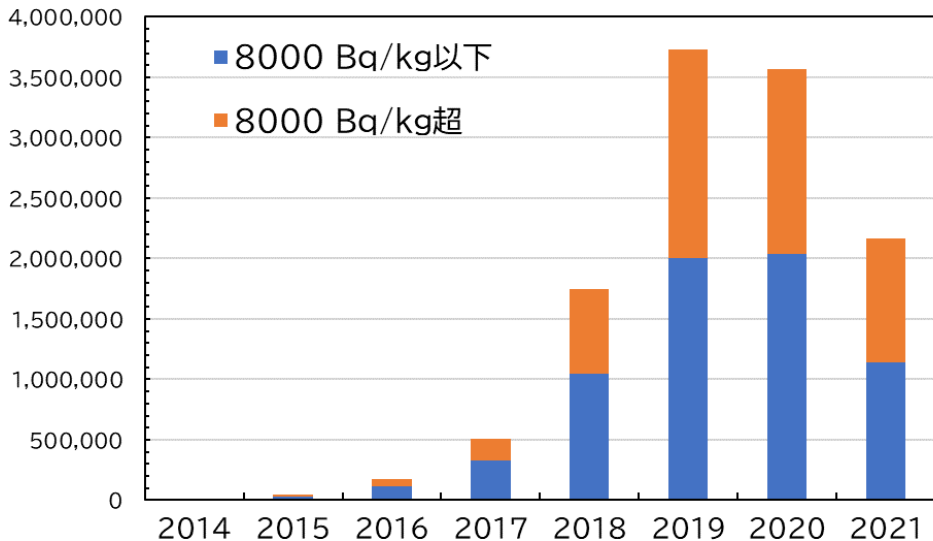
初期値は、各市町村の仮置場にある総Bq数。  
そこから、どのように運搬されて減少したか。

## 2014

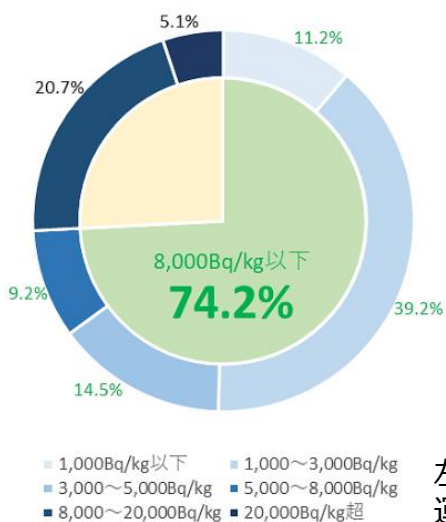
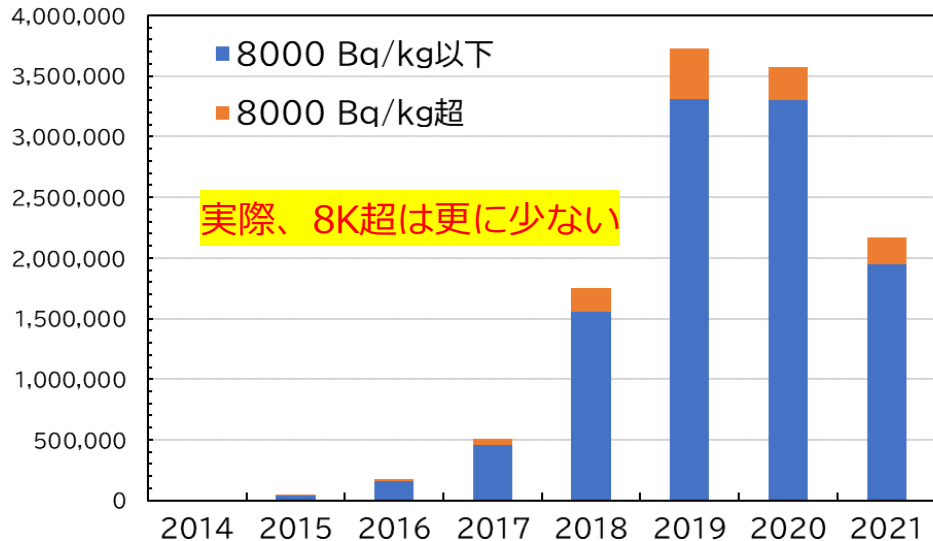


# 集められた除去土壌の放射能濃度分類

2011年時点総袋数



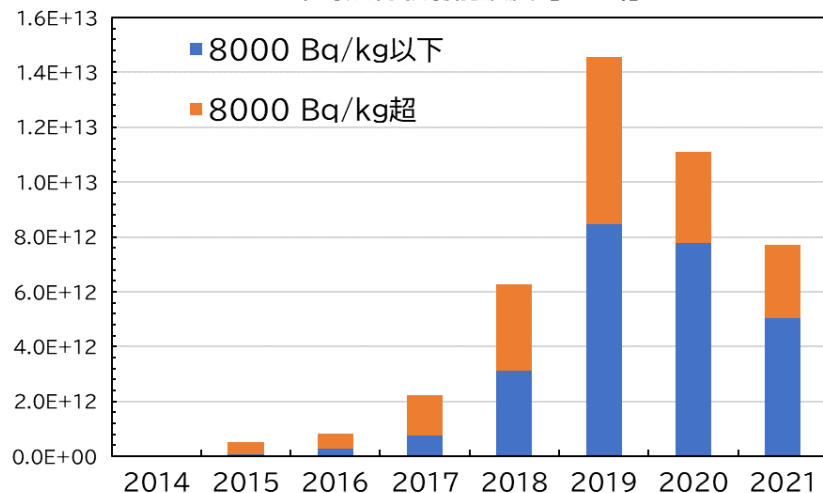
2045年時点総袋数



2011年時点では  
8000Bq/kg超が約半数  
2045年時点では  
1割程度まで減少する  
全放射性Csの約半分は  
8000Bq/kg超の土壌に  
分布することに

左図の環境省データは  
運搬時の濃度、かつ重量

2045年時点総放射能濃度 [MBq]



# 県外最終処分の対象となる除去土壌等（案）

種類	濃度 (Bq/kg)	物量	再生利用	最終処分
除去土壌	8,000 以下	981万m <sup>3</sup> 程度	○	△ 避けたい
除去土壌	8,000 超	283万m <sup>3</sup> 程度※	△ 熱処理等によって一部可能になる可能性あり	○ 減容化したい★
溶融飛灰	平均20万	4.5万トン程度	×	○ 不安定なので安定化処理が必要、かつ減容化したい
溶融スラグ	8,000 以下	56万トン程度	○	△ 避けたい

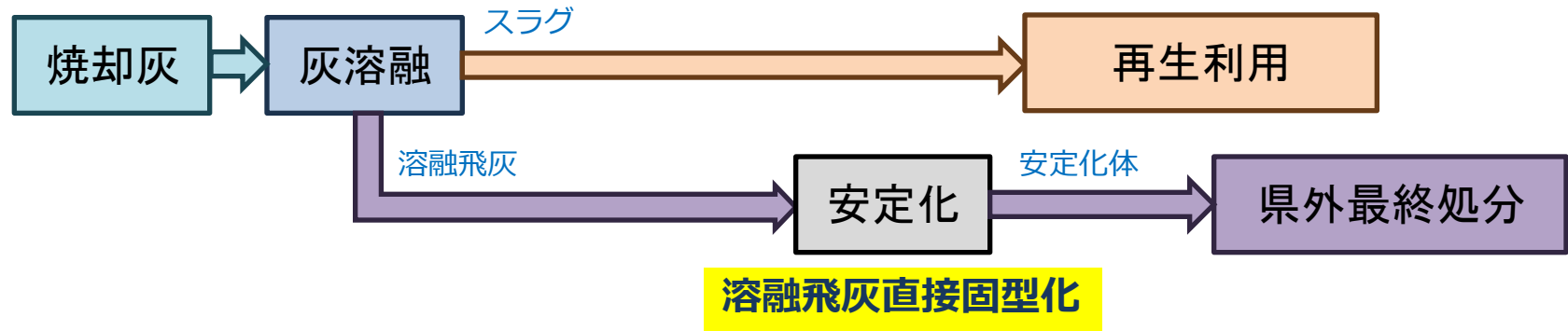
※実際は半分以下の可能性あり

★除去土壌は高濃度でも既に安定化体

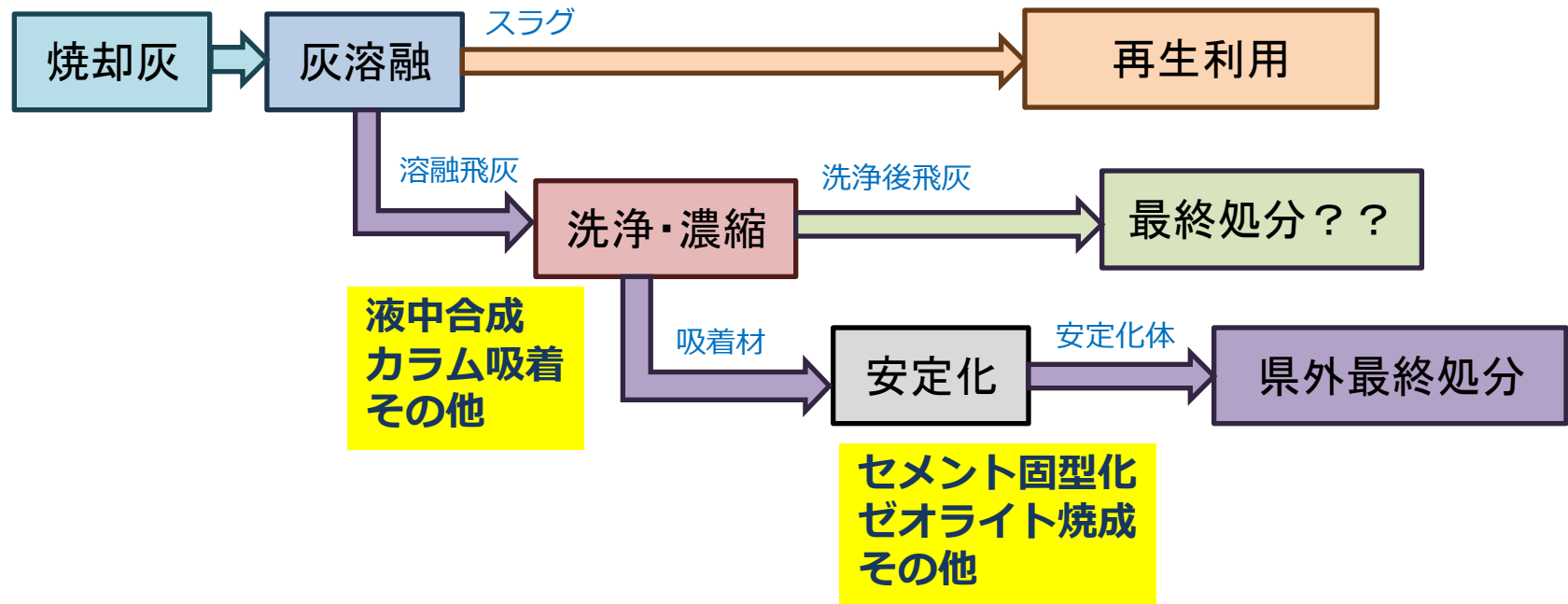
**国環研としての考え方であり、国の考え方とは必ずしも一致しない。**  
 数値については推算値を含んでいるため、概況として理解して頂きたい。

# 県外最終処分に向けたシナリオ案（溶融飛灰）

## SF-1：非濃縮シナリオ



## SF-2：バランスシナリオ、SF-3：最大濃縮シナリオ



# シナリオ毎の発生量と濃度案（溶融飛灰）

シナリオ	SF-1 非濃縮シナリオ	SF-2 バランスシナリオ	SF-3 最大濃縮シナリオ
最終処分対象の安定化体の量	8万トン	450トン	13トン
放射能濃度	20万Bq/kg	2000万Bq/kg	7億Bq/kg
重金属類の有無	あり	無	無
二次廃棄物量 (洗浄残さ・廃液)	0トン	49万トン (洗浄廃液蒸発乾固で3.3万トン)	49万トン (洗浄廃液蒸発乾固で3.3万トン)
最終処分形態	管理型相当？ (1 ha程度)	遮断型相当？ (100 m <sup>2</sup> 程度)	建屋相当？ (数m <sup>2</sup> 程度)
技術的課題	溶融飛灰の直接セメント固型化	国の実証事業	二段階化学共沈法

## SF-1の技術的課題

- 熔融飛灰の直接セメント固型化は難しい
  - ∴ 熔融するとZnとCuが飛灰に移行する  
(焼却温度では飛灰に移行しにくい)

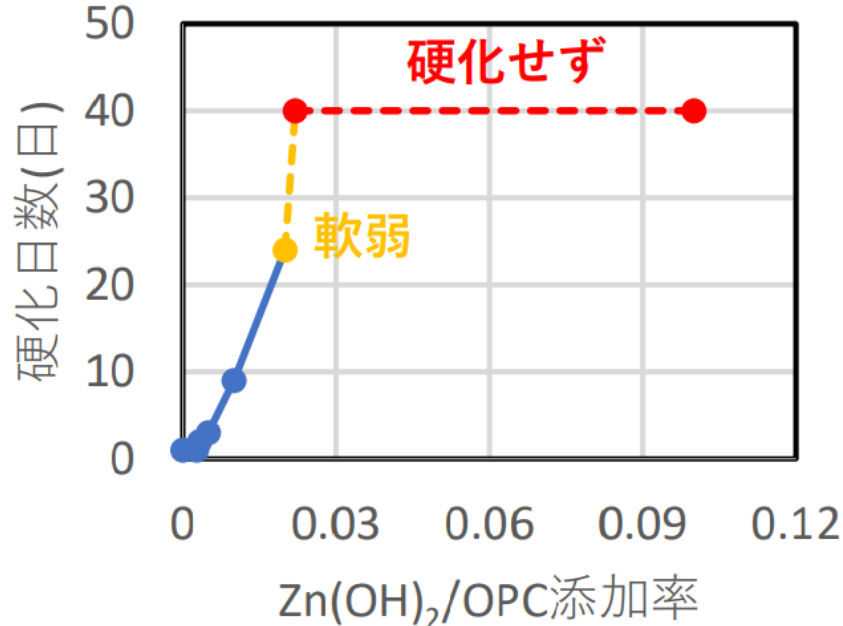
硬化阻 害成分	含有量(%)		
	スーカ飛灰*	熔融飛灰*	検討試料
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.6～1.3	0.2～2.2	5.9
CuO	0.08～0.15	0.4～1.1	0.9
ZnO	0.9～2.5	1.1～6.0	27

\*文献情報による組成範囲

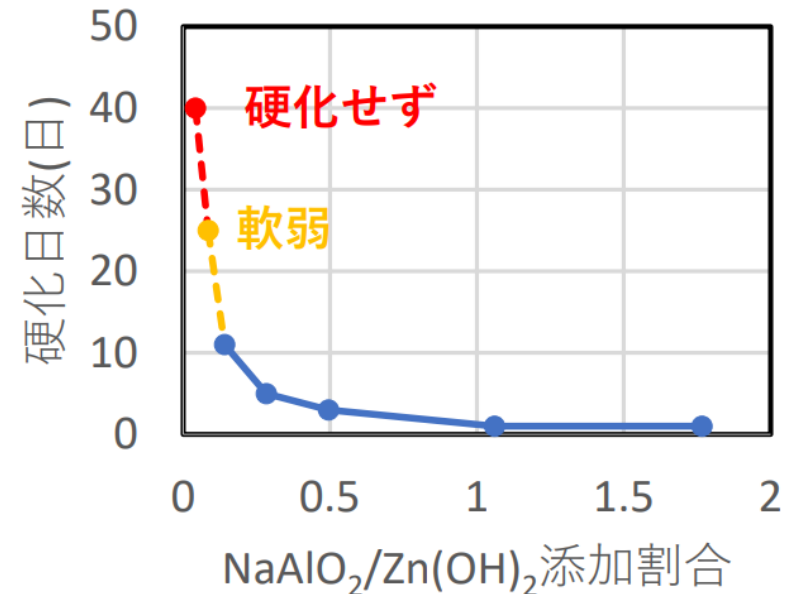
Zn、Cu等があると強度発現に時間が必要 (遅延作用)

# SF-1の技術的課題

- 普通セメント (OPC) に  $Zn(OH)_2$  を添加し、硬化阻害が起きる添加割合を調査
- W/C=0.50, 40°C封緘養生

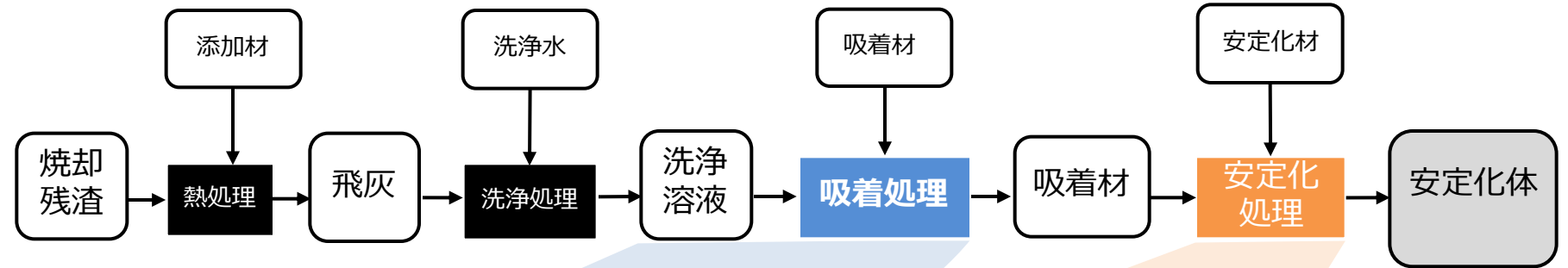


- $Zn(OH)_2$  を OPC の 10% 添加し、アルミン酸 Na により硬化阻害の解消を試みた。
- ハイドロカルマイト  $Ca_2(Al(OH)_6)Cl(H_2O)_2$  に亜鉛酸アニオンが固定されると推定。



- 焼却飛灰のセメント固型化は、福島県内で2件の実績あり
- 熔融飛灰の場合には安定的な固型化に向けた更なる検証が必要

# SF-2（国の実証試験@双葉町）



**濃縮度**  
(最大濃縮の可能性)

**バランスシナリオ SF-2.1**

フェロシアン化銅(CuFeCN)充填カラム（ステンレスカラム：SUS）で吸着  
その後加熱してCuFeCNを分解

カラムにセメントペーストを注入して安定化  
⇒SUS容器が所定期間にわたり溶出抑制をできることを証明することが別途必要

**3,000万Bq/kg**を想定  
⇒実証事業以上の濃縮度の達成は困難

**バランスシナリオ SF-2.2**

灰洗浄液から重金属除去し、フェロシアン化鉄を液中合成し、濾過濾過体をアルカリ分解し、ゼオライトに吸着し、さらに加熱

ゼオライトを焼成して安定化  
⇒溶出は90Bq/Lにおいて0.012%

**4,000万Bq/kg**まで濃縮  
⇒プロセス2重化で最大濃縮も可能？

**バランスシナリオ SF-2.3**

結晶質ケイチタン酸（CST）カラムで吸着。その後、鋼製容器内に吸着材を入れ、抵抗加熱炉で熔融

鋼製容器自体を安定化体として扱う  
⇒溶出率は0.0026%未満

実績では**85万Bq/kg**程度まで濃縮  
⇒最大濃縮の可能性なし



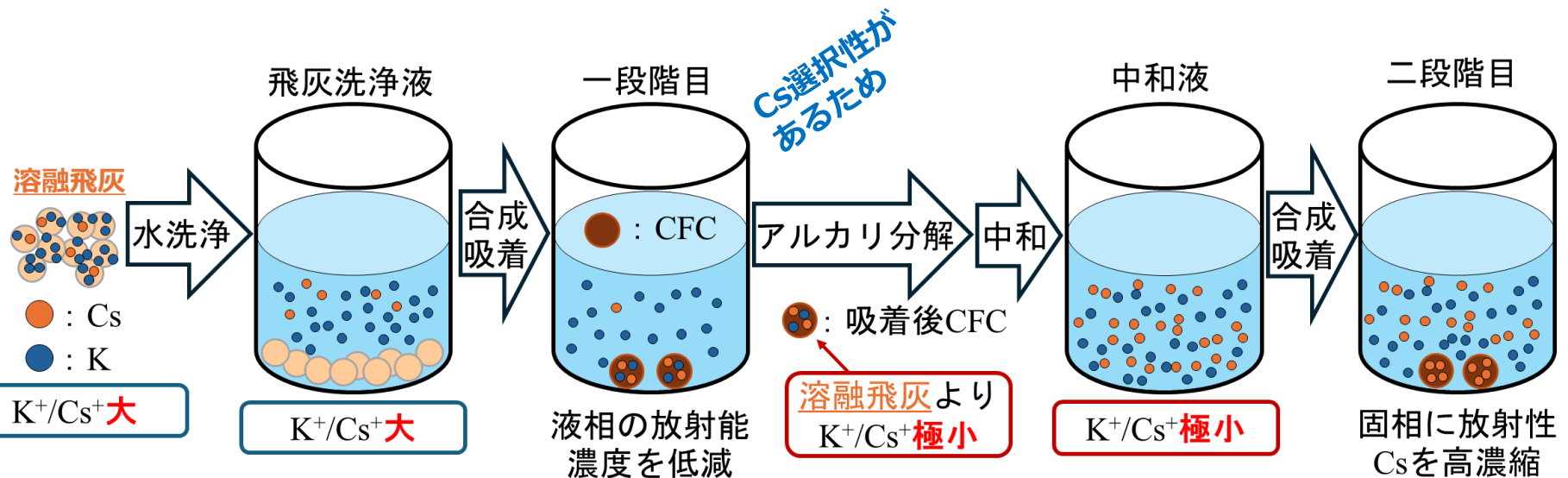
# SF-3 二段階化学共沈法

使用可能性が最も高いと考えている

## フェロシアン化金属錯体：フェロシアン化銅（CFC）

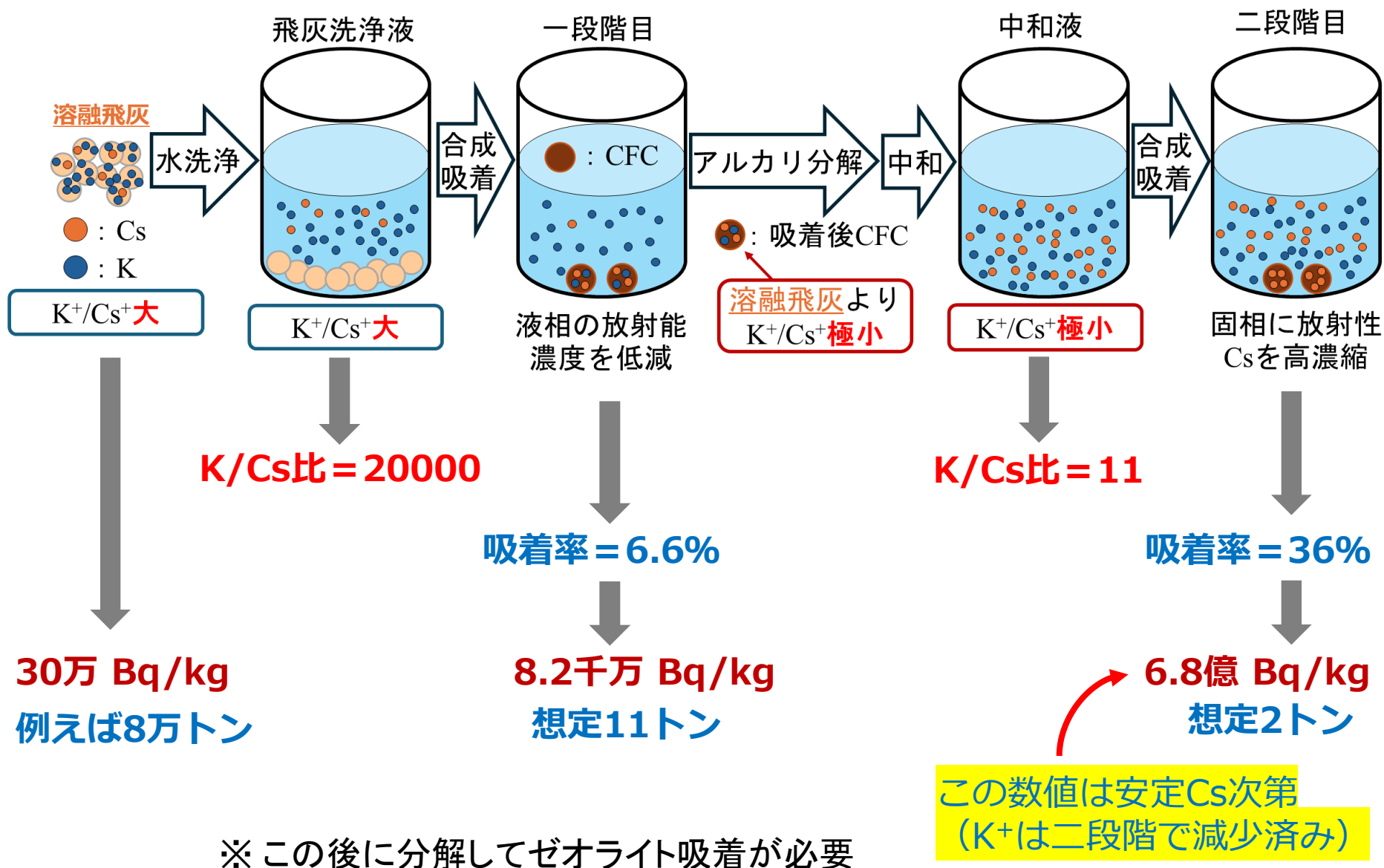
化学物質の審査および製造等の規制に関する法律  
労働安全衛生法における既存化学物質

CFCはアルカリ溶液で分解 ⇒ 飛灰洗浄液と比べて妨害イオン量が極めて低い溶液に、この溶液で二段階目の合成Cs吸着すると一段階目より高濃縮できる可能性あり



吸着能：CFC > プルシアンブルー

# SF-3 二段階化学共沈法



# 最終処分形態（NIES案・溶融飛灰）

シナリオ	SF-1 非濃縮シナリオ	SF-2 バランスシナリオ	SF-3 最大濃縮シナリオ
最終処分対象の安定化体の量	11万トン	450トン	13トン
放射能濃度	9万Bq/kg	2000万Bq/kg	7億Bq/kg
重金属類の有無	あり	無	無
処分場容量	5.5万m <sup>3</sup> (比重2.0換算)	225 m <sup>3</sup> (比重2.0換算)	5 m <sup>3</sup> (比重2.5換算)
最終処分形態	管理型相当？ (1 ha程度)	遮断型相当？ (100 m <sup>2</sup> 程度)	建屋相当？ (ドラム缶25本)
想定面積	あり	なし	なし
埋立方法	高3 m×2段	10×10×高3 m	4×4×高1 m
安定化体容姿	角形固型化体 (下部土壤層)	ドラム缶 (要間詰め)	ドラム缶 (要間詰め)

# なぜ固体濃度で最終処分を決めなくてはいけないのか？

特措法では10万Bq/kg超は遮断型相当  
それ以下は管理型相当の最終処分となっている。

これまで

最終処分の受入基準を含有量で規定したことはない。

特定一廃の主灰8000Bq/kg = 最大溶出 80Bq/L

特定一廃の飛灰8000Bq/kg = 最大溶出 800Bq/L

濃度では浸出水への負荷量を制御できない。

なので、上乗せ基準が適用された（下部吸着層と上部遮水工）

廃掃法→ 受入溶出基準 = 排水基準

NIES案→ 安定化体溶出基準 = 濃度限度は無理

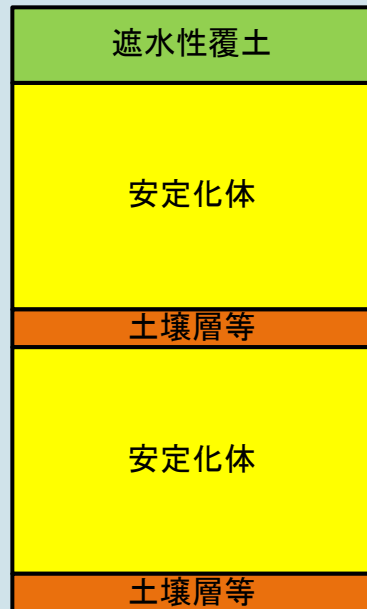
なので、下部吸着層or間詰め吸着層 + 上部遮水

の埋め立て方によって対応（埋立地境界 = 濃度限度）

10万Bq/kg以下の特定廃埋立処分と同じ考え方

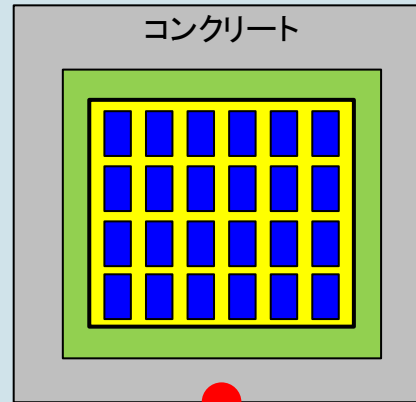
# 埋立処分方法（NIES案）

## SF-1 非濃縮シナリオ



 濃度限度

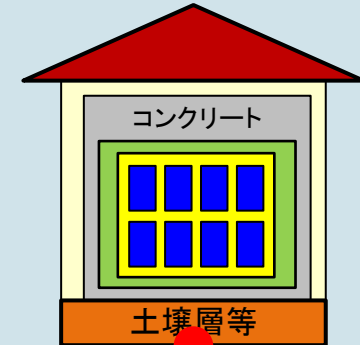
## SF-2 バランスシナリオ



濃度限度

遮断型相当の場合、コンクリートの遮断の機能に期待するか、遮水自体はベントナイト等を考えるか、地中埋設によりひび割れを防ぐか等の検討課題は多い。

## SF-3 最大濃縮シナリオ



濃度限度

ドラム缶25本程度とすることができれば、建屋保管（ほぼ遮断型相当）とすることも可能か。もしくは、発電所敷地内に返却することも想定。

# フェイルセーフの考え方

SF-1 非濃縮シナリオ	SF-2 バランスシナリオ	SF-3 最大濃縮シナリオ
溶出抑制 (固型化)	溶出抑制 (安定化处理)	溶出抑制 (安定化处理)
吸着土壌層	吸着間詰め材	吸着間詰め材
不透水性土壌層	粘土系遮水層	粘土系遮水層
キャッピング	コンクリート構造	コンクリート構造
排水の促進	モニタリング	吸着土壌層
浸出水高度処理		モニタリング

# さいごに（各シナリオの技術的課題）

## 【SF-1】

- 安定的な溶融飛灰の直接固型化方法

## 【SF-2】

- 溶融飛灰の洗浄濃縮方法の確立（運転時間、規模等を含み）
- コンクリート構造物、間詰め材等のCs吸着特性
- 遮断型相当の設計思想の確立

## 【SF-3】

- 現実的な高濃縮方法の開発
- 運搬等に係る制度的課題
- コンクリート構造物、間詰め材等のCs吸着特性
- 最終処分の設計思想の確立