

# 福島県土木部管轄内における 放射性物質汚染土の処理に対する技術的知見

～ 除染対象外となる放射性物質含有土を対象とした  
土壌洗浄工法の応用による減容化技術の適用性評価と処理の取組 ～



平成30年10月22日  
福島県土木部 高畑 修

## 本日の内容

### ◆原発事故対応の経験で得た教訓

### ▼オフサイトの状況

### ●放射性汚染物で生じた問題等

### ◎除染対象外となる放射性物質含有土処理の取組

## ◆初動対応を支えた建設企業の支援

【単位：台・日】 H23.12.1現在

| 団体名                          | 応援協定の有無 | グラブ系             | バックホウ        | クレーン        | ダンプトラック等         | ガス切断機     | 合計                 |
|------------------------------|---------|------------------|--------------|-------------|------------------|-----------|--------------------|
| (社)福島県建設産業団体連合会<br>(うち警戒区域内) | 無       | 196<br>(1)       | 23<br>(1)    | 23<br>(0)   | 23<br>(0)        | 37<br>(0) | 302<br>(2)         |
| (社)福島県建設業協会<br>(うち警戒区域内)     | 有       | 3,843<br>(3,146) | 231<br>(192) | 90<br>(90)  | 2,644<br>(1,649) | 0<br>(0)  | 6,808<br>(5,077)   |
| (社)日本建設業連合会<br>(うち警戒区域内)     | 有       | 3,088<br>(2,961) | 570<br>(368) | 0<br>(0)    | 2,343<br>(1,797) | 0<br>(0)  | 6,001<br>(5,126)   |
| 林業系団体<br>(うち警戒区域内)           | 無       | 1,518<br>(0)     | 49<br>(0)    | 0<br>(0)    | 500<br>(0)       | 0<br>(0)  | 2,067<br>(0)       |
| 合計<br>(うち警戒区域内)              |         | 8,645<br>(6,108) | 873<br>(561) | 113<br>(90) | 5,510<br>(3,446) | 37<br>(0) | 15,178<br>(10,205) |

※救助活動支援に要する費用は有償



支援期間：平成23年3月28日～平成23年11月8日

支援内容：県警・自衛隊による救助や行方不明者捜索への建設機械の派遣

報酬内容：建設機械及びハローラー実費、被災地域までの運搬費、ハローラー等の滞在費、など

支援会社総数：36社

3

## ◆東日本大震災・福島第一原発事故対応の教訓

### 1. 地方自治体を主体とした防災体制の限界

- 避難により被災地域の行政機能が麻痺 ⇒ **被災者が被災者を救援する構図**
- 自治体そのものが避難 ⇒ **対応主体の空白化と補完する体制構築の難航**

### 2. 緊急事態下でも保護される権利への対応

- 支援及び生活物資等の物流の途絶 ⇒ 民間事業者への強制はできない。
- 被災地域内でも財産権が保護 ⇒ ①**権利者の特定**等が応急対策の障壁に  
②居住の有無に係わらず**権利者の同意**が必要

※東日本大震災では、「災害緊急事態の布告」は為されていない。

### 3. 原発事故下における地元建設企業の重要性

- Last out ⇒ ①避難地域住民が避難を完了するまでの避難路の応急対応
- First in ⇒ ②避難地域外の建設企業による被災直後からの救助支援

### 4. 地方自治体におけるインハウスエンジニア育成の重要性

- オンサイトの安定化まで民間企業等の避難指示区域での活動は制限。
- 法令と技術的論拠及びリスク分析から俯瞰的に判断できる技術者の育成

4

## ◆福島第一原発事故後の学部志向の変化

人文及び理・工学系が減少 ⇒ より人に密着した学部が増加

### 《減少した学部》

人文： 15.3% ⇒ 12.3% (-3.0%)

理学： 4.2% ⇒ 2.6% (-1.6%)

工学： 20.7% ⇒ 19.2% (-1.5%)

※保健(その他)： 栄養学、放射線学、リハビリ等  
※その他： 教養学、人間関係科学、国際関係学等

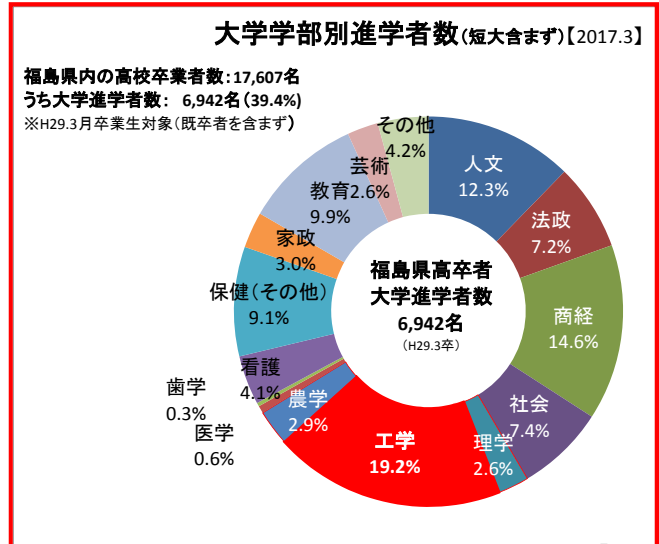
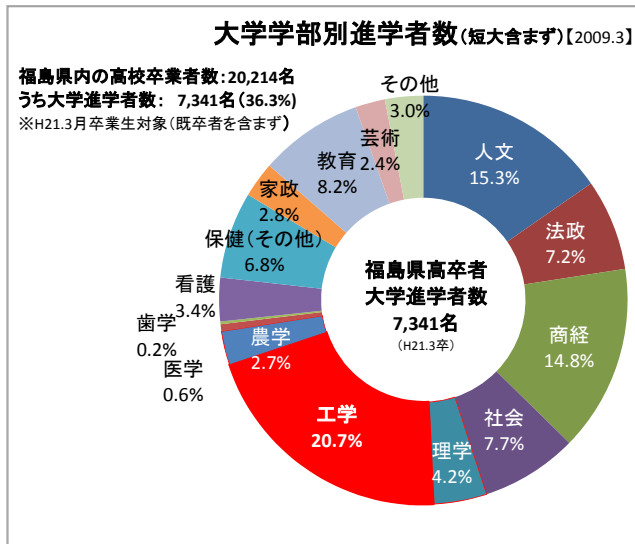
### 【増加した学部】

保健(その他)： 6.8% ⇒ 9.1% (+2.3%)

教 育： 8.2% ⇒ 9.9% (+1.7%)

そ の 他： 3.0% ⇒ 4.2% (+1.2%)

看 護： 3.4% ⇒ 4.1% (+0.7%)



出典：平成21及び平成29年度学校基本調査を基に作成

## ◆原子力に関する教育に関して皆様と共有したいこと

次の1)~4)の認識を踏まえ、まずは環境地盤工学や廃炉地盤工学の一環として、福島県を含む原発立地地域における次世代を担う建設技術者育成のため、以下の(1)~(4)の様な取組の検討もお願いしたい。

### 【人材育成の必要性】

- 1) **建設技術者**は、**事故対応から廃棄物処理までを担う**こと。
- 2) **原発事故の初動対応**には、**建設技術者及び作業員が実働上の最後の砦**となること。
- 3) 原発事故の初動対応には、**特に立地地域の建設技術者が重要な役割を担う**こと。
- 4) 危機事象の対応ではアウトソースに頼らず自己完結が求められること。
- 5) 工学系学部入学者に対する土木建築系割合の全国的な減少(1990: 19.63% ⇒ 2014: 15.19%)

### 【お願いしたいこと】

- (1) 廃炉も含めた原子力事業や技術等を学ぶ機会の確保
- (2) それぞれの機関・組織での原発事故の経験、教訓・知見等の共有
- (3) **原発立地地域での廃炉も含めた原子力事業や技術等を学ぶ機会の確保**
- (4) 海外の知見も含めた環境回復技術を学ぶ機会の確保

## ▼オフサイトとオンサイト(1)

# オフサイト

(福島第一原発構外)



# 国・地方公共団体

※放射性物質汚染対処特措法の対象物のみ

### ●放射性物質汚染対処特別措置法に基づく基本方針（H23.11.11閣議決定）

環境汚染への対処に関しては、関係原子力事業者（事故由来放射性物質を放出した原子力事業者をいう。以下同じ。）が一義的な責任を負う。

また、国は、これまで原子力政策を推進してきたことに伴う社会的な責任を負っていることから、環境汚染への対処に関して、国の責任において対策を講ずるとともに、地方公共団体は、当該地域の自然的社会的条件に応じて、国の施策に協力するものとする。

# オンサイト

(福島第一原発構内)



# 東京電力

### ◆放射性物質汚染対処特別措置法 第9条

（関係原子力事業者による廃棄物の処理等）

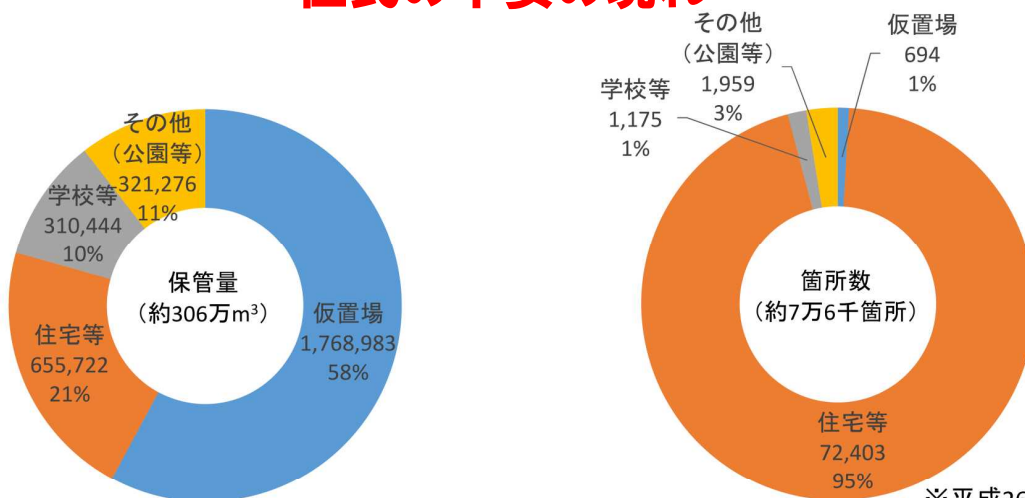
事故に係る原子力事業所内の廃棄物の処理並びに土壌等の除染等の措置及びこれに伴い生じた土壌の処理並びに事故により当該原子力事業所外に飛散したコンクリートの破片その他の廃棄物の処理は、次節及び第三節の規定にかかわらず、関係原子力事業者が行うものとする。

7

## 住民の放射性汚染物の集積・仮置きに対する不安

市町村除染区域の仮置き場は**95%が住宅等での保管**

### 住民の不安の現れ



※平成26年9月末現在

・福島県公表資料「市町村除染地域における除染実施状況等について（平成26年11月28日）」を基に、環境省が作成。

・「住宅等」：住宅、事業所等で除去土壌等を現場保管

・「学校等」：学校、幼稚園、保育所、児童養護施設、障がい児施設等の敷地内で除去土壌等を現場保管

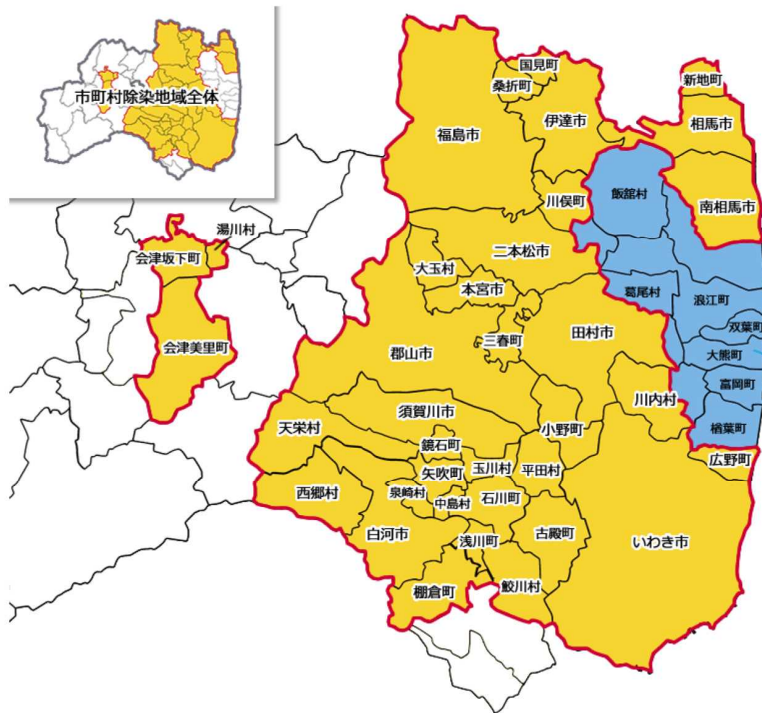
・「その他(公園等)」：その他(公園等)の場所で除去土壌等を現場保管

・単位は立方メートル(m³)とし、重量については1t=1/1.7m³(「道路土工(盛土工指針)」(社団法人 日本道路協会)の自然地盤における砂質土(密実でないもの)における単位体積重量を使用。)、袋数については仮に1袋=1m³として換算し推計。この換算については、個々の袋の容量、内容物等を考慮したものでなく、おおよその推計値。

出典： 環境省・環境回復検討会(第13回)配付資料

8

## ▼福島県内の除染実施区域



除染特別地域： 環境省

汚染状況重点調査地域：市町村

※道路等については、市町村除染実施計画に位置づけられたもののみが対象

福島県内では、除染実施計画に基づき除染を実施し、平成30年3月19日までに帰還困難区域を除く全ての面的除染が完了

凡例

■：除染特別地域(SDA)  
■：汚染状況重点調査地域(ICSA)

9

## ▼廃棄物処理等の主体

国の責任で処理するとしていた災害復旧から生じた廃棄物も、  
区域見直しにより公共事業主体の責任で処理することとなった。

### ●発生した廃棄物・土壌等の処理主体

|            | 除染により生じた        |       | 国・地方公共団体が行う<br>災害復旧から生じた |               | 事業者が排出した        |               |
|------------|-----------------|-------|--------------------------|---------------|-----------------|---------------|
|            | 廃棄物<br>(Co,As等) | 土壌    | 廃棄物<br>(Co,As等)          | 土壌<br>(建設発生土) | 廃棄物<br>(Co,As等) | 土壌<br>(建設発生土) |
| 警戒区域       | 国               | 国     | 国                        | 事業者           | 事業者             | 事業者           |
| 計画的避難区域    | 国               | 国     | 国                        | 事業者           | 事業者             | 事業者           |
| 帰還困難区域     | 国               | 国     | 事業者                      | 事業者           | 事業者             | 事業者           |
| 居住制限区域     | 国               | 国     | 事業者                      | 事業者           | 事業者             | 事業者           |
| 避難指示解除準備区域 | 国               | 国     | 事業者                      | 事業者           | 事業者             | 事業者           |
| その他の区域     | 除染実施者           | 除染実施者 | 事業者                      | 事業者           | 事業者             | 事業者           |

区域  
見直し

- ：除染特別地域（国直轄除染）
- ：汚染廃棄物対策地域（国直轄処理）
- ：除染実施区域（市町村除染）
- ：区域見直しによる処理主体の変更

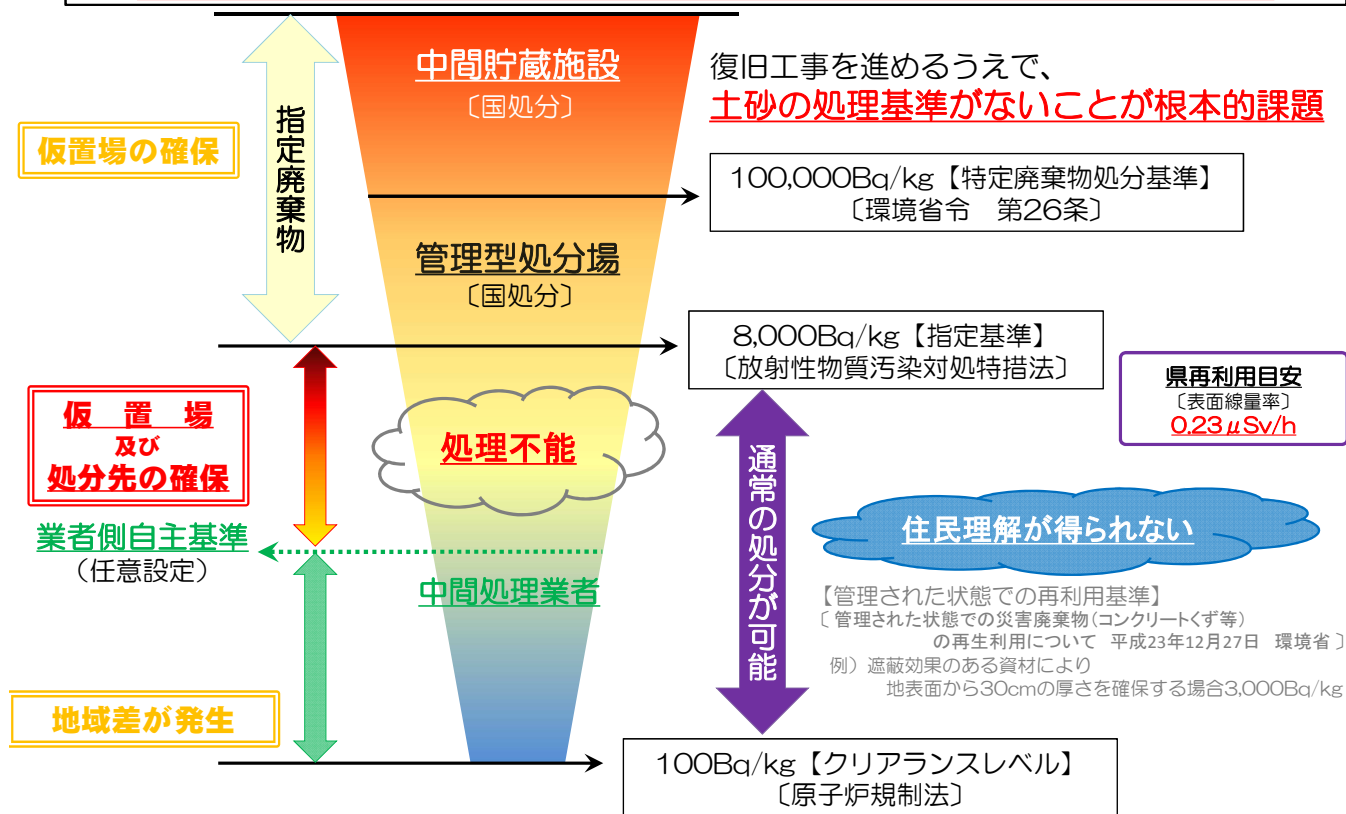
10



## 福島県内における建設副産物処理の概念と課題

土砂以外の建設副産物は、

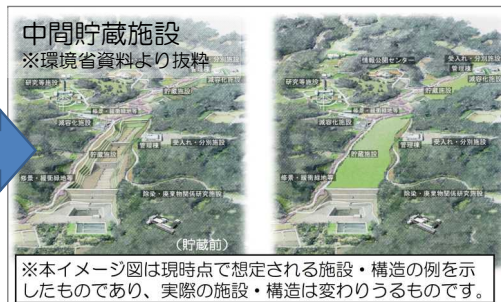
**業者側自主基準～指定廃棄物基準間の処分が最大の課題**



## 福島県内における除染と公共工事発生材の処理状況の概念図



(国・県管理施設は、市町村計画に合わせて実施)



### ◎公共工事の課題

#### 回らないリサイクル

受入れ基準は、各社自主基準を設定しているため、地域性が存在。  
再生材の出荷基準が明確でないこともあり、製品化後のプラントでのデッドストック化が懸念。  
特に、旧警戒区域の発生材を区域外で利用することに住民側に抵抗感が存在。

#### ●受入れ基準の例

- ・100Bq/kg未満
- ・3,000Bq/kg未満
- ・周囲の空間線量を押し上げない



中間処理場へ搬出

風評の発生

再生材として流通



行き場のない  
廃棄物

(警戒区域・計画的避難区域を除き、発注事業者が処理)

**半永久的な仮置き場の発生**

## ●放射性汚染物で生じた問題等

これまでに福島県内において、  
放射性汚染物に関して生じた問題は以下の様なものがある。

- 事例1) 産業廃棄物の受入れ拒否
- 事例2) 焼却施設における  
公共事業由来の伐木等の受入れ制限
- 事例3) 隣県での重金属類汚染土壌の受入れ拒否
- 事例4) **除染実施区域外で汚染土砂問題が発生**

13

## ◎除染対象外となる放射性物質含有土処理の取組

### Phase 0 国への法改正等の要望

- ・国への法改正と財政支援の要望

◆法制度改正の壁に直面

### ●迷走期【2011.10～】

- ・広報による安全性説明の可能性検討
- ・国による対応及び問題解決を要望
- ・環境省の除染技術実証への期待

### Phase 1 現状分析

- ・道路維持管理及び建設事業の実態把握
- ・社会的受容の醸成における課題と論点を整理
- ・法制度の研究

### ●黎明期【2012.9～】

- ・放射性汚染物の対応状況の把握
- ・放射性物質特措法及び廃掃法の研究
- ・科学技術的データの収集
- ・処理フローの検討

◆JGS震災対応地盤環境研究委員会からの支援

### Phase 2 性状把握（スクリーニング試験）

- ・放射性物質含有土の性状評価
- ・室内湿式分級試験による実現可能性評価

### ●技術検討期【2013.2～8】

- 〔対象：法面、路肩、側溝堆積土〕
- ・放射性物質含有土の分布状況の把握
- ・室内分級試験
- ・放射性セシウム(rCs)溶出試験

### Phase 3 技術実証（本試験・実証試験）

- ・実機プラント(200kg/h)を用いた技術実証
- ・室内湿式分級試験の実機プラント処理による再現性

### ●技術実証期【2013.11～12】

- (市町村除染実施区域内)
- 〔路面清掃、側溝浚渫土〕
- ・室内分級試験
- ・実機(200kg/h)処理の評価
- ・室内試験と実機処理結果の相関性の確認
- ・放射性セシウム(rCs)溶出試験

### Phase 4 実証事業

- ・実用サイズのプラント(1000kg/h)を用いた実証事業
- ・技術実証結果との比較

### ●実装期【2015.7～2016.3】

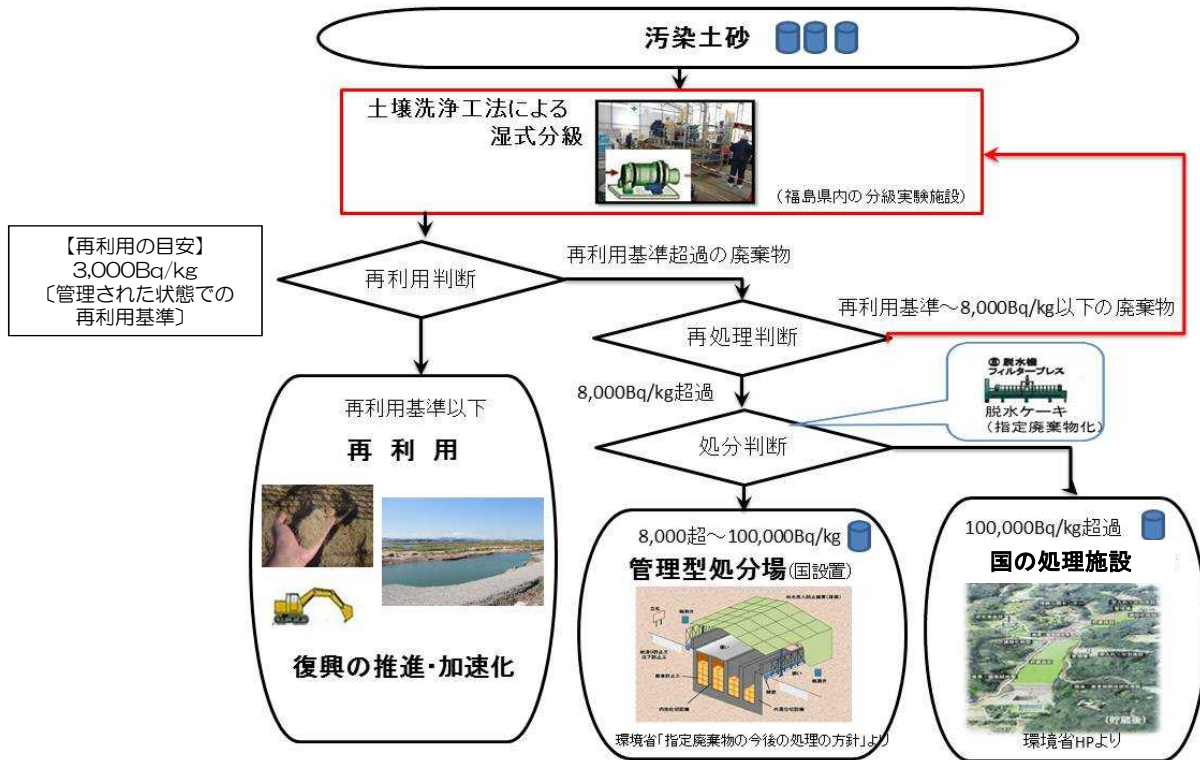
- (非汚染状況重点調査地域)
- ・実機(1000kg/h)処理

14

## Phase 1【現状分析】 想定した処理フロー

放射性セシウムが粘土分に吸着する性質に着目し、  
**指定廃棄物制度による処理**を検討

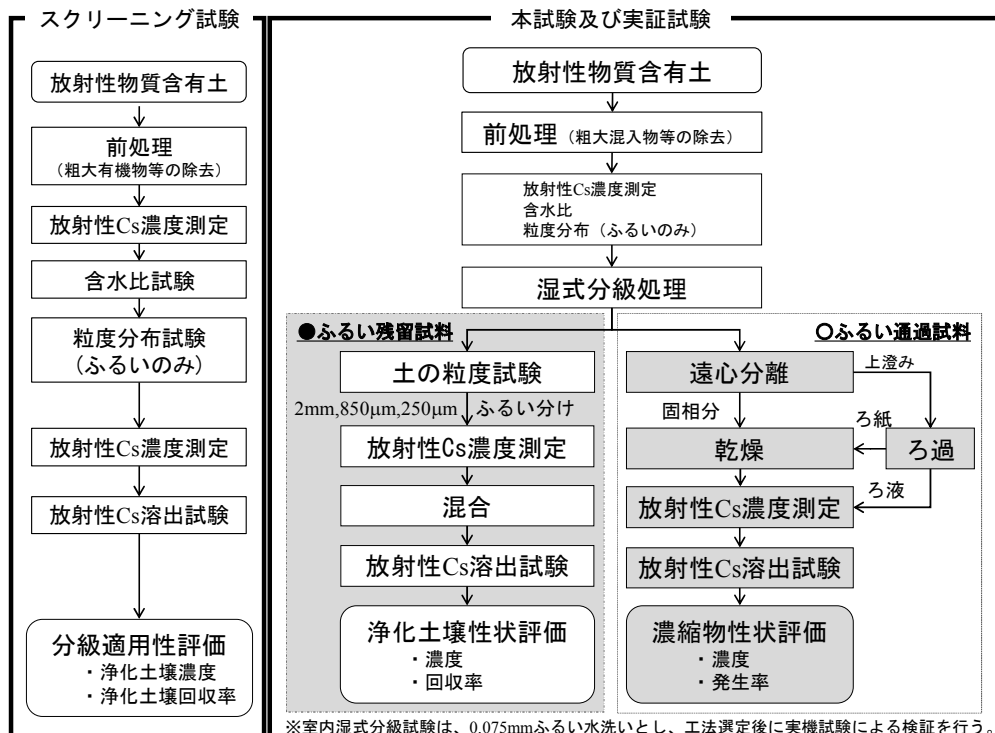
- ・高濃度土砂の廃棄物化
- ・再利用基準～指定基準レベルの汚染土砂量の最小化
- ・土壌洗浄工法等による粒径での分級  
(指定基準 (8,000Bq/kg) 超への濃縮)



15

## Phase 2&3 技術開発スキーム

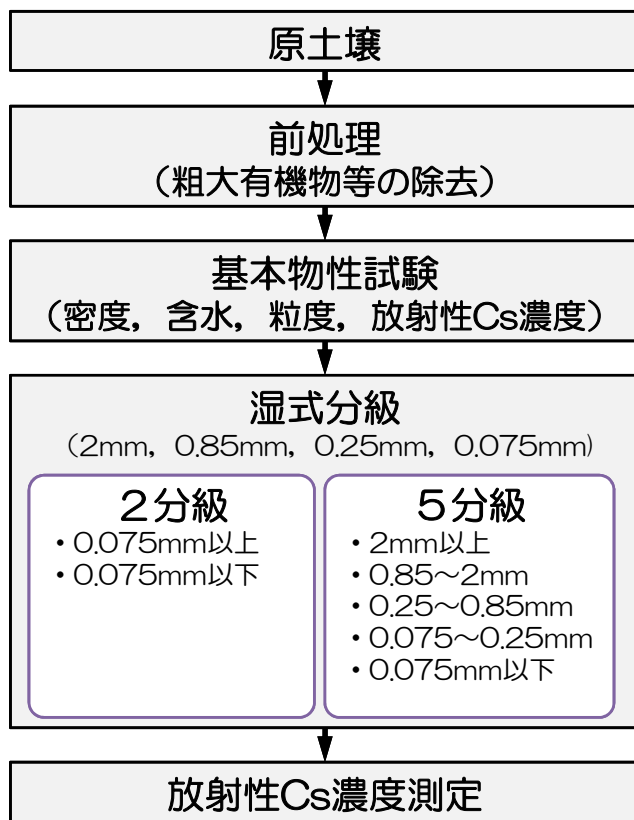
- 放射性セシウム含有土壌の土壌洗浄法の適用性評価試験方法案に準拠
- スクリーニング試験は、計72試料の放射性物質含有土について室内試験を実施



16



## Phase 2【性状把握】スクリーニング試験（H25.2～8）



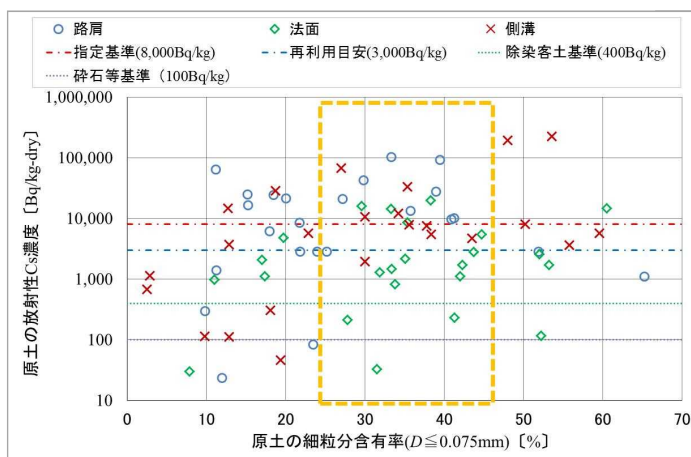
- ✓福島県内8建設事務所管内
- ✓全72検体
- ✓各管内3路線から、  
道路工事発生土砂（法面）  
道路清掃土砂（路肩）  
側溝清掃土砂（側溝）  
の3種の試料
- ✓全72検体



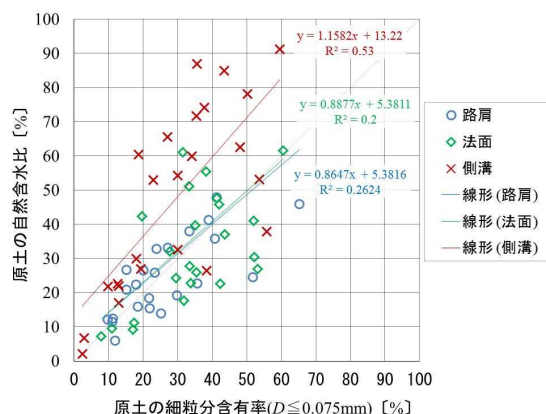
17

## Phase 2【性状把握】放射性物質含有土の性状

○法面堆積土よりも側溝や路肩堆積土の方が高い放射性Cs濃度を示す傾向がある。  
○堆積土への有機物の供給状況など、その堆積土が存在する地形的条件などの環境も影響しているものと推察される。



Graph 細粒分含有率と放射性Cs濃度

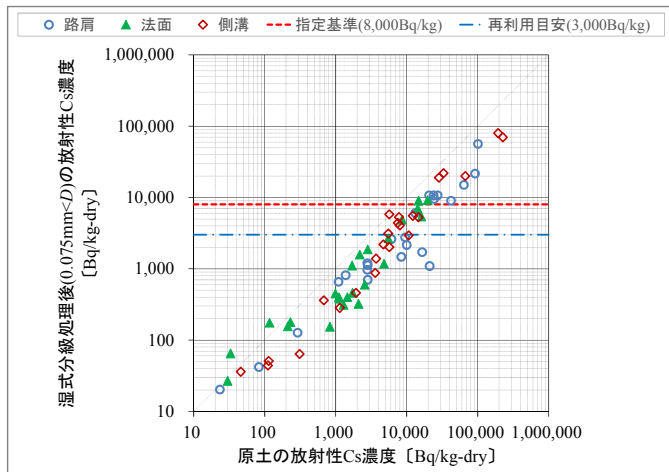


Graph 細粒分含有率と自然含水比

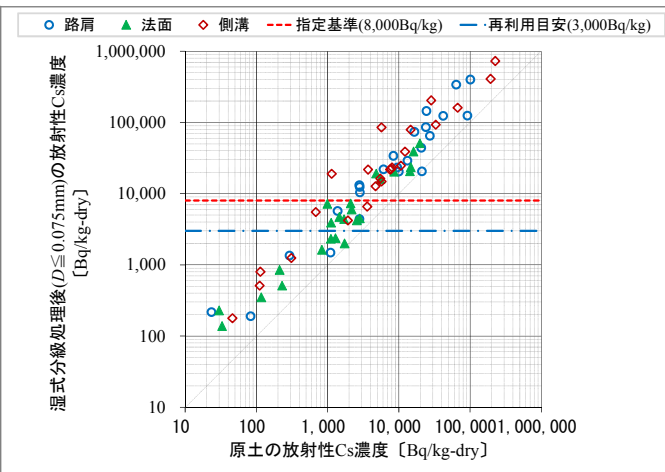
18

## Phase 2【性状把握】 室内試験による湿式分級の適用性評価

○**細粒分 ( $D \leq 0.075\text{mm}$ ) に放射性セシウムを濃縮できる可能性を確認**



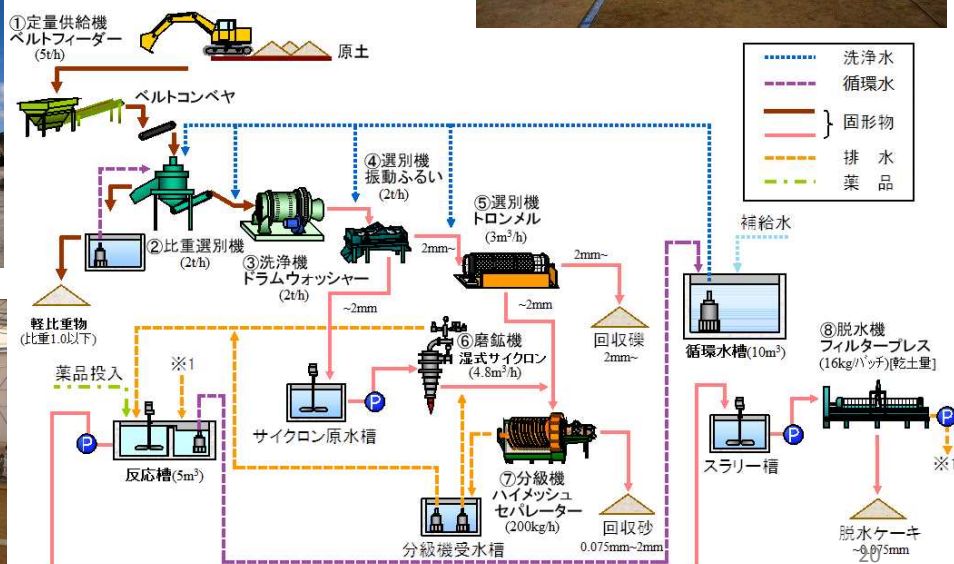
Graph 粗粒分( $0.075\text{mm} < D$ )効果



Graph 細粒分( $D \leq 0.075\text{mm}$ )効果

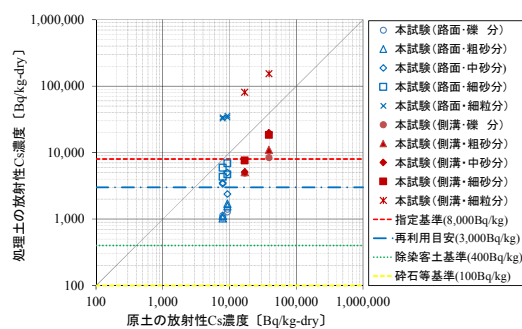
## Phase 3【技術実証】 技術実証設備（市町村除染実施区域内）

- 全体処理量  
重量：2.280t-wet (1.830t-dry)  
放射性Cs濃度：1,805~25,700Bq/kg-dry
- 処理能力：200kg/hクラスの分級洗浄プラント

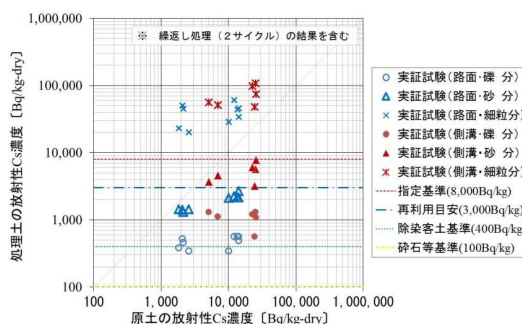


※図中の 白 及び 青 は、ポンプを表す。

## Phase 3 【技術実証】 湿式分級の低減効果と室内試験の再現性



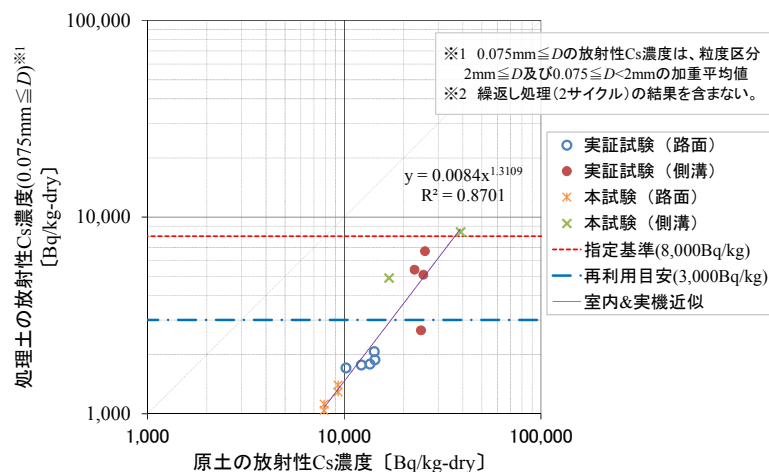
Graph 室内試験による粒径区分毎の効果



Graph 実機試験による粒径区分毎の効果

技術実証に使用した実機プラントでは、

**実機処理と室内試験の強い相関を確認した。**



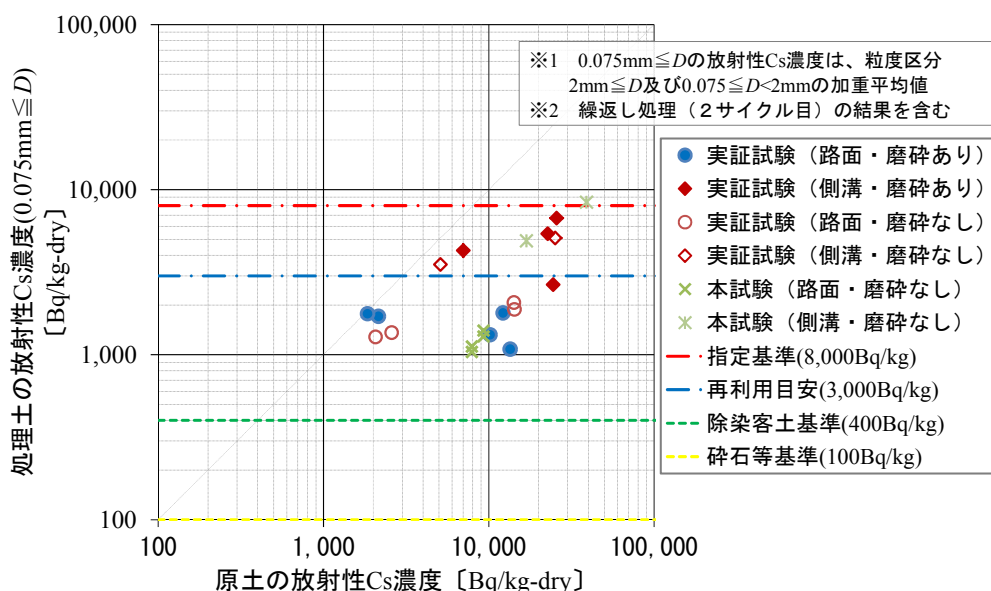
Graph 室内試験による実機処理（実証試験）の再現性

21

## Phase 3 【技術実証】 粒子磨砕工程の評価

技術実証に使用した実機プラントでは、

**実務上有効な粒子磨砕の効果は得られない**と判断した。

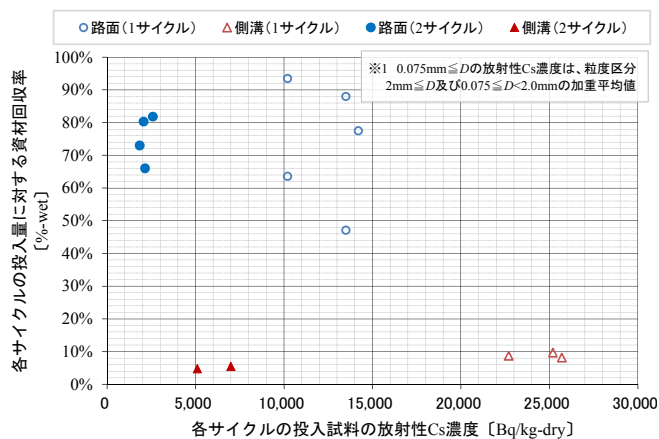


Graph 磨砕効果の有無に着目した放射性Csの低減効果

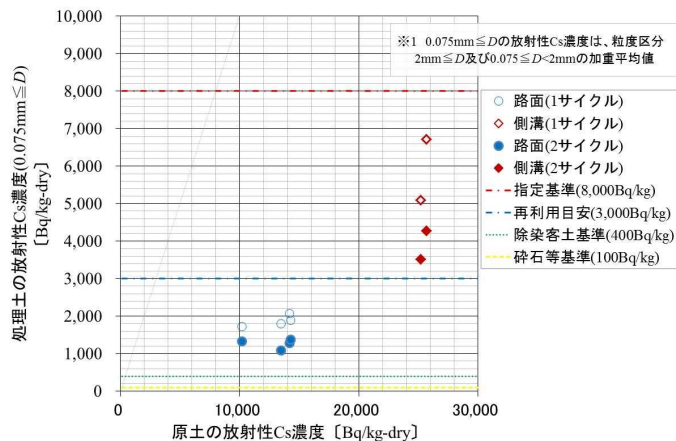
22

費用対効果も踏まえた実務上の評価として、

湿式分級の繰返し処理による有意な差は無い。



Graph 投入した原土の放射性Cs濃度と資材回収率

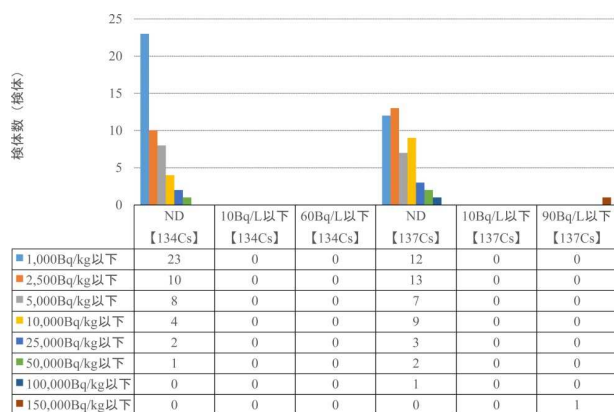


Graph 繰返し処理による放射性Cs濃度の変化

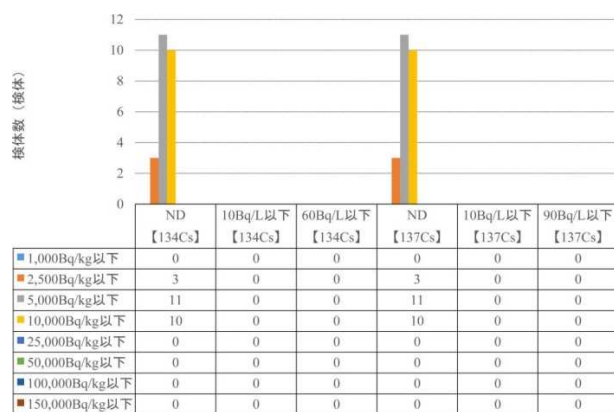
23

原土及び室内湿式分級試験の結果として、

10万Bq/kg-dry程度では溶出はみられない。



Graph 原土の放射性Cs溶出試験結果



Graph 室内分級試験回収物の放射性Cs溶出試験結果

24



## Phase 3【技術実証】 実機処理での放射性セシウム溶出試験

実機処理でも10万Bq/kg-dry程度では溶出はみられない。

Table 実機処理(200kg/h)による放射性Cs濃度

| 区分  | 試験種別 | 粒度           | 放射性Cs濃度<br>$^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$<br>(Bq/kg-dry) | 溶出試験結果(Bq/L)※1※2  |                   |       |
|-----|------|--------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------|
|     |      |              |                                                             | $^{134}\text{Cs}$ | $^{137}\text{Cs}$ | Cs 合計 |
| 粗粒分 | 路面   | A 2mm 以上     | 580                                                         | <8.4              | <7.1              | <15.5 |
|     |      | A 0.075~2mm  | 2,680                                                       | <7.6              | <6.4              | <14.0 |
|     |      | B 2mm 以上     | 590                                                         | <7.9              | <6.6              | <14.5 |
|     |      | B 0.075~2mm  | 2,510                                                       | <7.2              | <8.9              | <16.1 |
|     | 側溝   | A 2mm 以上     | 1,000                                                       | <8.8              | <8.9              | <17.7 |
|     |      | A 0.075~2mm  | 5,200                                                       | <7.2              | <9.2              | <16.4 |
| 細粒分 | 側溝   | B 2mm 以上     | 1,120                                                       | <9.8              | <9.2              | <19.0 |
|     |      | B 0.075~2mm  | 5,400                                                       | <7.8              | <9.7              | <17.5 |
|     | 路面   | A 0.075mm 未満 | 64,000                                                      | <7.5              | <8.8              | <16.3 |
|     |      | B 0.075mm 未満 | 66,000                                                      | <6.8              | <8.8              | <15.6 |
|     | 側溝   | A 0.075mm 未満 | 99,000                                                      | <7.7              | <7.3              | <15.0 |
|     |      | B 0.075mm 未満 | 103,000                                                     | <7.5              | <7.0              | <14.5 |

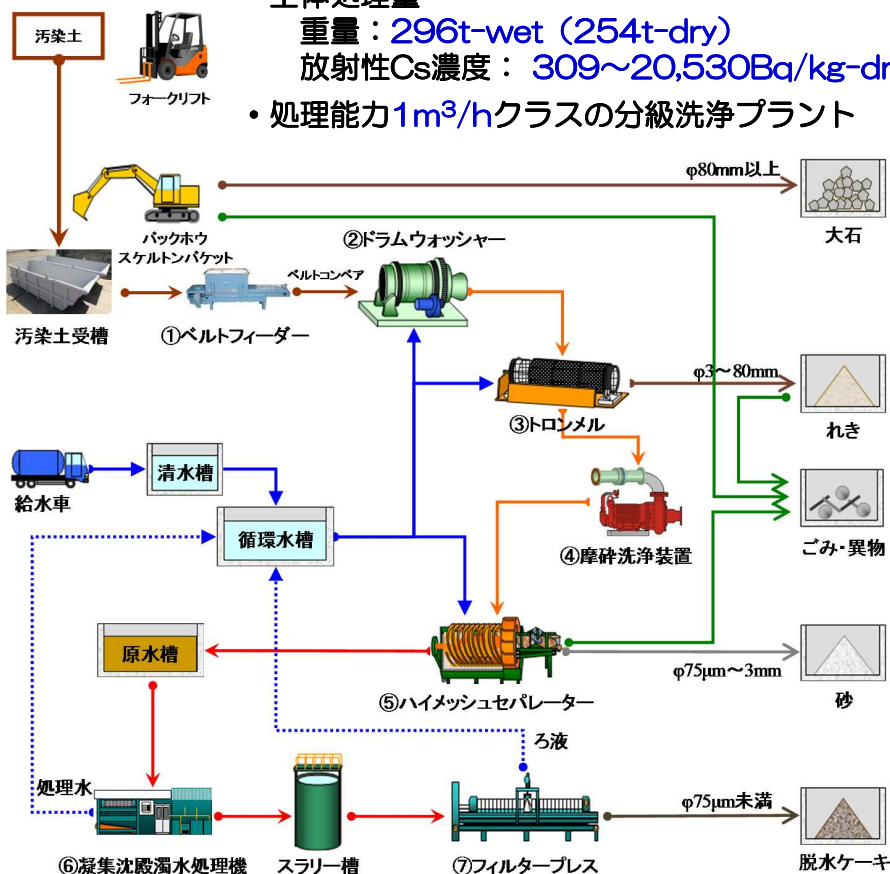
※1) 不等号“<”の右辺の数値は検出下限値を示す。

※2) Cs 合計値は、 $^{134}\text{Cs}$  および  $^{137}\text{Cs}$  の下限値の合計を表記した。

25

## Phase 4【実装】 実証事業設備（汚染状況重点調査地域外）

- 全体処理量  
重量：296t-wet (254t-dry)  
放射性Cs濃度：309~20,530Bq/kg-dry
- 処理能力1m<sup>3</sup>/hクラスの分級洗浄プラント

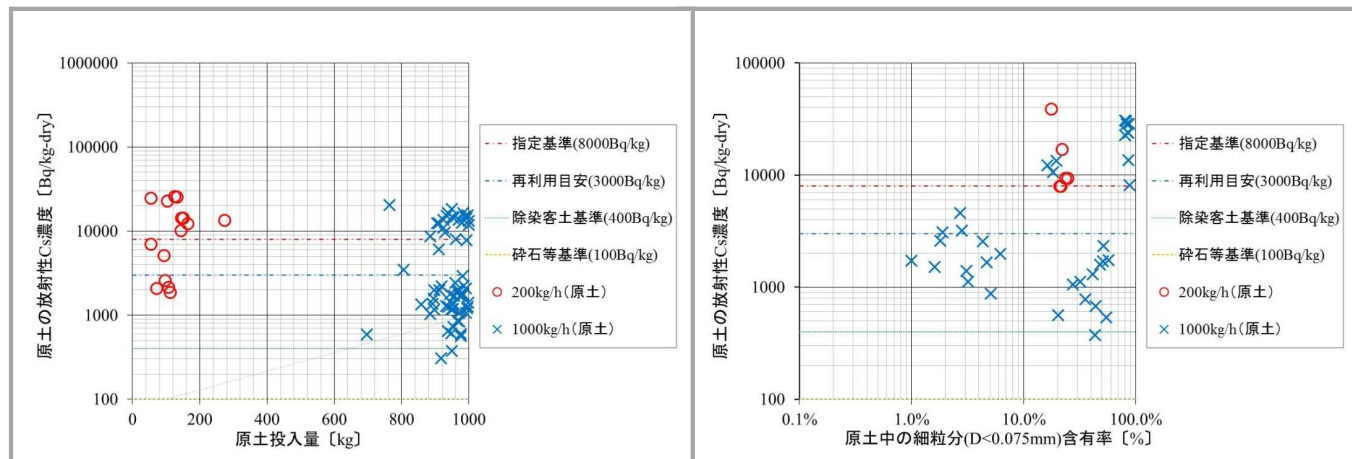


## Phase 4【実装】 技術実証との原土性状の違い

実証事業(1000kg/h)の原土は、技術実証(200kg/h)と比べて

**細粒分は多いが放射性Cs濃度は低い。**

※回収物の試料採取間隔の間に投入した原土の累計量を加重平均して放射性Cs濃度とした。



Graph 投入した原土の量と放射性Cs濃度

Graph 投入した原土の細粒分と放射性Cs濃度

27

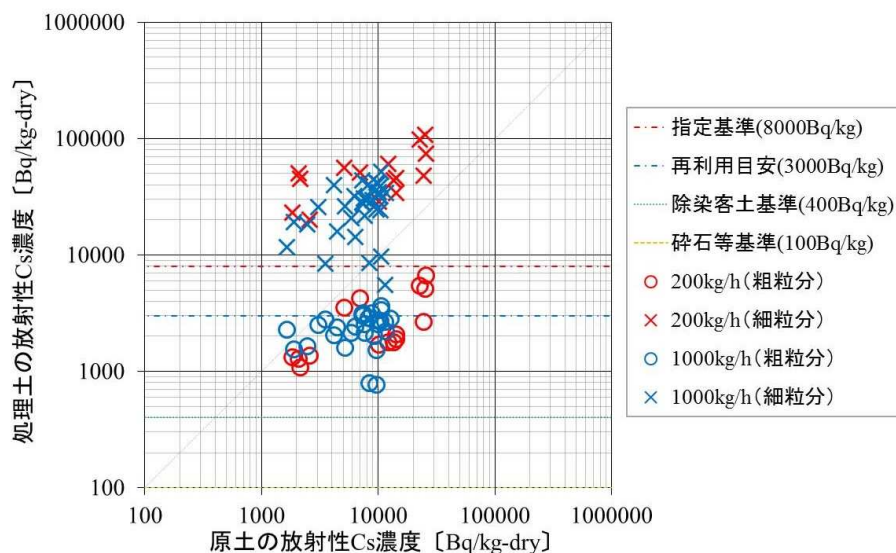
## Phase 4【実装】 実証事業での放射性セシウム濃度低減効果

原土性状の違いはあるが、実証事業(1000kg/h)でも技術実証(200kg/h)の結果と

**放射性Cs濃度低減傾向は概ね一致**

※回収物の試料採取間隔の間に投入した原土の累計量を加重平均して放射性Cs濃度とした。

※粗粒分の放射性Cs濃度は、砂及び礫の回収重量と放射性Cs濃度の加重平均値とした。



Graph 技術実証(200kg/h)と実証事業(1000kg/h)における回収物の放射性Cs濃度

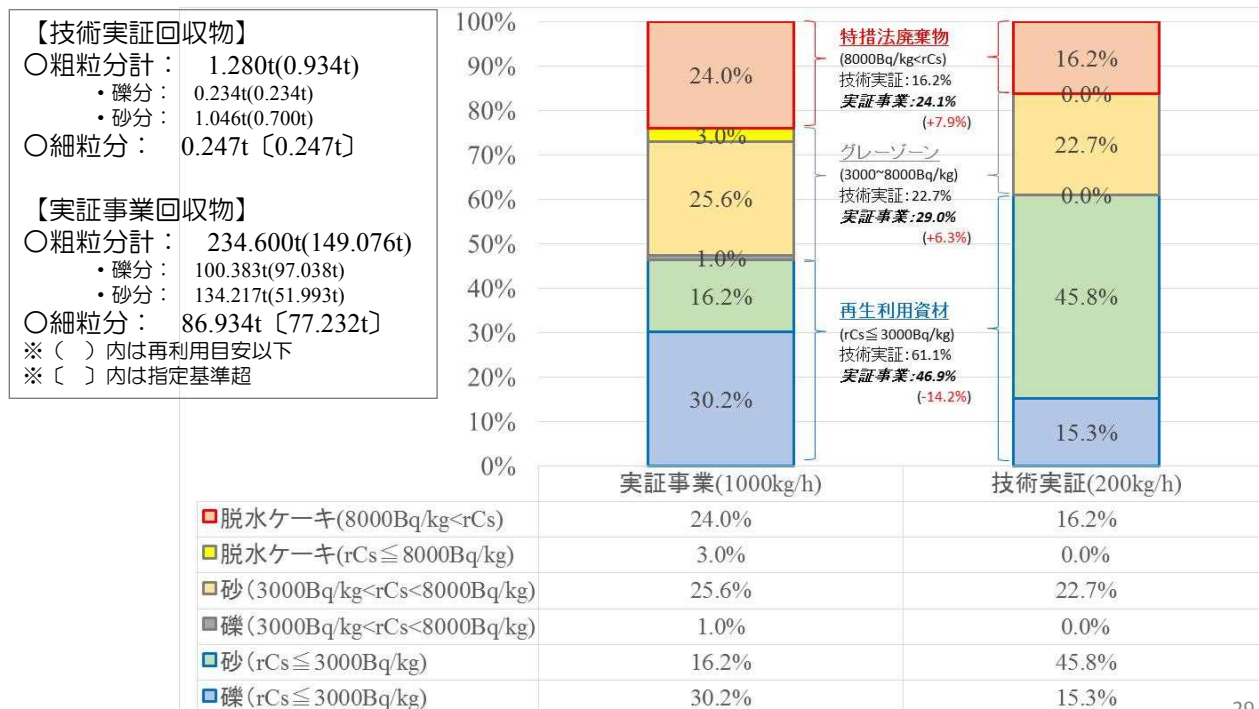
28

## Phase 4【実装】 回収物の放射性物質濃度

実証事業(1000kg/h)では、指定基準以下の原土を多く含んでいたため、

**保管バック単位の管理では再生利用資材の回収割合は減少**したものとする。

※回収物の試料採取間隔の間に投入した原土の累計量を加重平均して放射性Cs濃度とした。



Graph 技術実証と実証事業における回収物の割合（重量比）

## Phase 4【実装】 回収物の資材としての評価

資材としての利用に当たり、重金属類対策における浄化済等土壌の搬出に準じ、「おおむね100m<sup>3</sup>につき1回」とすると、**資材としての回収粗粒分は再利用目安を満足する。**

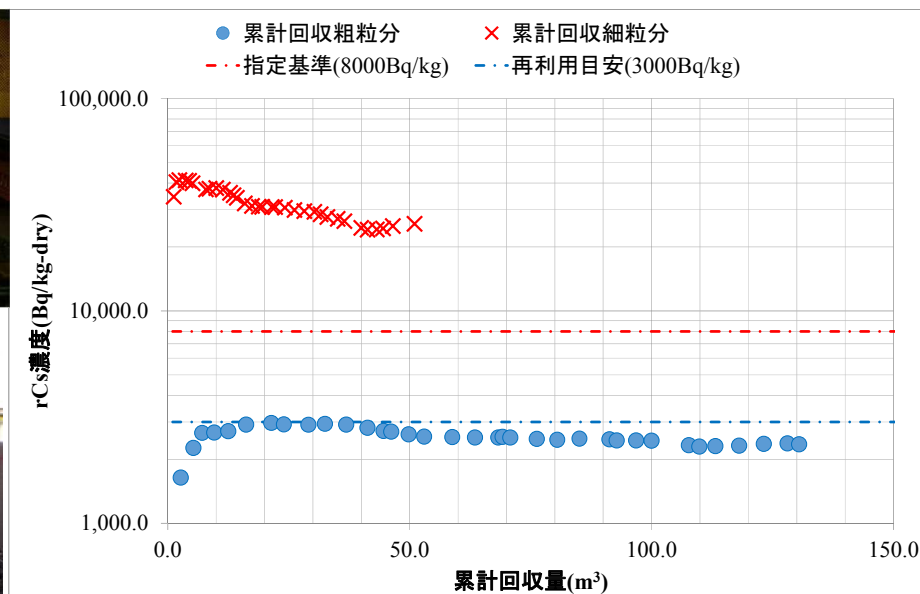
※回収物の試料採取間隔の間に投入した原土の累計量を加重平均してrCs濃度とした。



回収細粒分（砂）サンプリング状況



回収粗粒分（砂）サンプリング状況



Graph 実証事業における累計回収量(m<sup>3</sup>)と放射性Cs濃度(加重平均値)



法令等による放射性物質濃度の基準も踏まえ、  
**湿式分級処理は有効な技術**であることを確認した。

しかし、当該地域の土砂の放射線量よりも高く、再利用に地域の受容を得られなかったことから、再利用目安以下となった回収粗粒分も通常の廃棄物として処理を行った。



| 指定廃棄物  |           |
|--------|-----------|
| 廃棄物の種類 | 汚 泥       |
| 管 理 者  | 福島県 建設事務所 |
| 緊急時連絡先 |           |
| 無断立入禁止 |           |

