

JESCO／減容化・再生利用と復興を考える知のネットワーク

技術実証事業成果発表会 発表資料

連続式土壌濃度測定分別装置を用いた土壌分別 および分別しやすい土壌改質の実証（H28年度）

2021年1月29日

株式会社 安藤・間

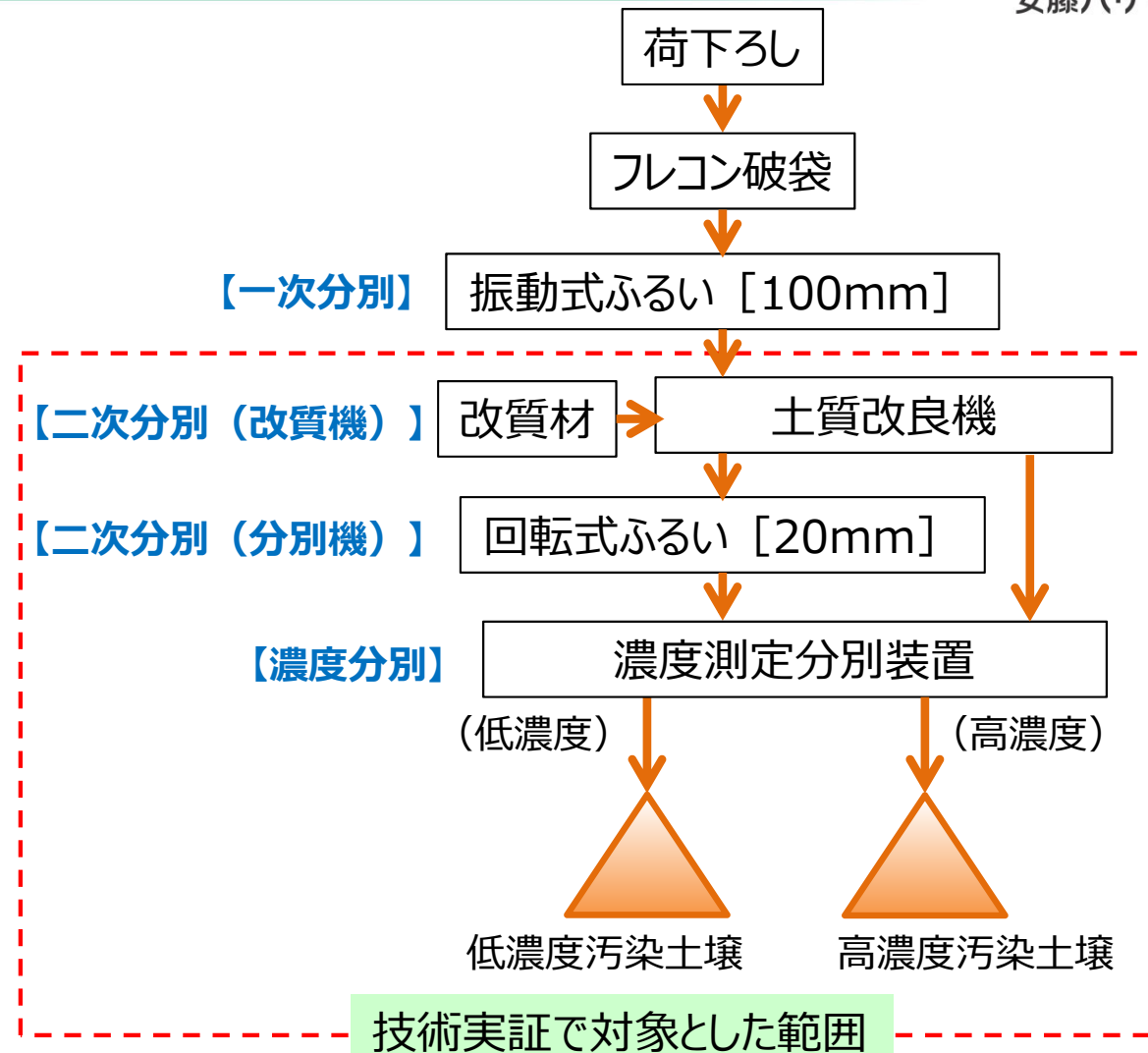


本発表内容は、中間貯蔵・環境安全事業（株）が環境省より受託した平成28年度中間貯蔵施設の管理等に関する業務の成果の一部です。

1. 技術実証の内容

- 中間貯蔵施設では、大量の除去土壌等を所定の濃度（たとえば8,000Bq/kgなど）で分別する必要がある。
- 放射性物質に汚染された土壌を連続的に測定・分別する装置を構築し、分別性能（測定精度および分別精度）や処理能力を明らかにし、土壌濃度測定分別技術を実証する。
- 除去土壌の分別処理等を安定的に行うにあたっては、対象土壌を濃度測定分別装置で取扱いやすい性状に改質する必要がある。
- 大量供給可能な石こう系改質材を用いた土壌改質試験により、最適な改質条件を明らかにし、実規模機械（70t/h以上）を用いた改質により、大量施工時の土壌改質の施工性を実証する。

→土壌改質から濃度分別までの一連の作業を連続処理する実規模施工システムとして実証する



技術実証で前提とした施工フロー

(平成28年度中間貯蔵施設の土壌貯蔵施設等工事
：受入・分別処理工事 要求水準書による)

2. 濃度測定分別技術の背景と技術目標

技術の背景

- これまで、既存の土壌濃度分別システムにより現場等での技術実証が行われている。
- 実利用に向けて以下の課題があると考えられる。
 - ・測定対象土壌の重量をリアルタイムに測定する機能が必要（精度確保）
 - ・適切な土質改質が必要（閉塞防止）
 - ・粘性土を対象とした濃度分別の可能性
- 当社の社内試験（2014年2月実施）でも上記と同様の課題を認識している。

技術目標

- 1) 放射能汚染土壌の放射能濃度を誤差平均10%以下の精度で測定する。
- 2) 実現場での適用を想定し、70t/h以上の処理能力を確保する。
- 3) 測定・分別作業中の装置近傍の粉じん濃度が10mg/m³以下。

3. 試験場所および試験土壌

試験場所

- ・検出器特性確認試験：大阪市大正区（工場内）、福島県浪江町（帰還困難区域内）
- ・土壌濃度測定分別試験：福島県浪江町（帰還困難区域内）



現地試験場所に設置したテント
(L50m×W20m×H11m)



テント内の機器配置（濃度測定分別試験時）

試験土壌の調達

- ・検出器特性確認試験：模擬汚染土壌（非汚染土壌＋密封点線源）、除去土壌
- ・土壌濃度測定分別試験：浪江町内の除去土壌（仮置き場保管土壌）

4. 濃度測定分別装置の特徴

○実運用を見据えた耐環境性の高い検出器を採用

- ・シンチレータ結晶 + 光検出器
⇒CsIシンチレータ ⇒フォトダイオード (MPPC)

シンチレータ結晶の比較

| 項目 | プラスチック | NaI | CsI |
|----------|--------|-----|-----|
| γ線感度 | △ | ◎ | ○ |
| エネルギー分解能 | × | ◎ | ○ |
| 水分による潮解性 | ◎ | × | ○ |
| 耐衝撃性 | ◎ | × | ○ |

光検出器の比較

| 項目 | 光電子増倍管 | MPPC |
|------|--------|------|
| 低ノイズ | ◎ | ○ |
| 耐衝撃性 | × | ◎ |
| サイズ | × | ◎ |
| 耐磁性 | △ | ◎ |

- ・CsI検出器はNaI検出器に比較して、エネルギー分解能は劣るが、潮解性がなく衝撃に強いいため、現場での取り扱いが容易。
- ・MPPCは光電子増倍管に比較して、ノイズが多いものの小型で衝撃に強く、低い電圧で動作することから、検出器構造が簡素化でき、メンテナンス性に優れる。
- ・CsI結晶とMPPCの組み合わせは、高い放射線検出効率を得られる。



振動や粉じんなどの厳しい環境での長期運用に対し、CsI結晶とMPPCの組み合わせが最も適していると考えた。

○測定対象土壌の重量をリアルタイムに測定

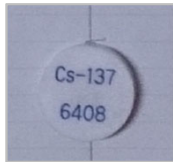
- ・ベルトスケールから得られる土壌重量情報を用いて濃度を算出。
- ・ベルトコン上の多少の土壌整形不良にも対応可能。

5. 検出器特性確認試験(工場内試験)

○非汚染土壌とセシウム137の密封点線源を用いて基礎試験を実施

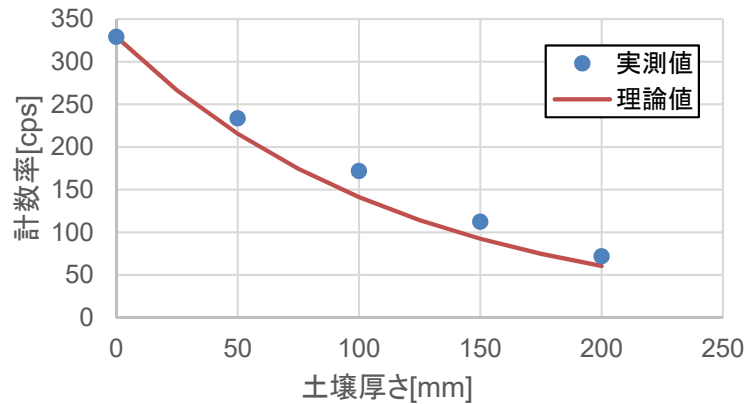


非汚染土壌



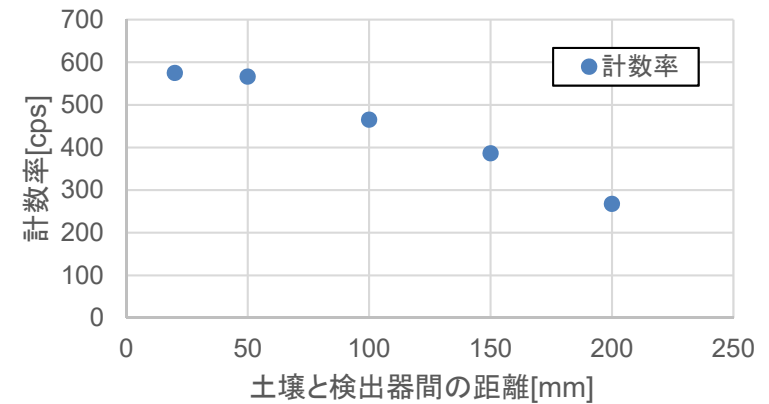
点線源

・土壌厚特性



⇒ 土壌によるγ線の減衰特性傾向は理論値と一致

・検出器距離特性

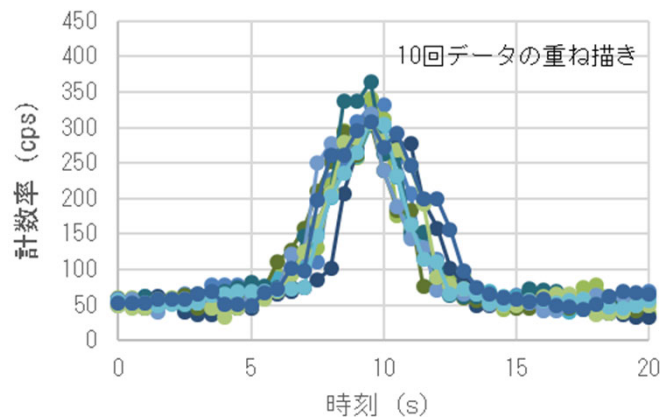


⇒ 距離による減衰は二乗則より立体角の影響が大きい

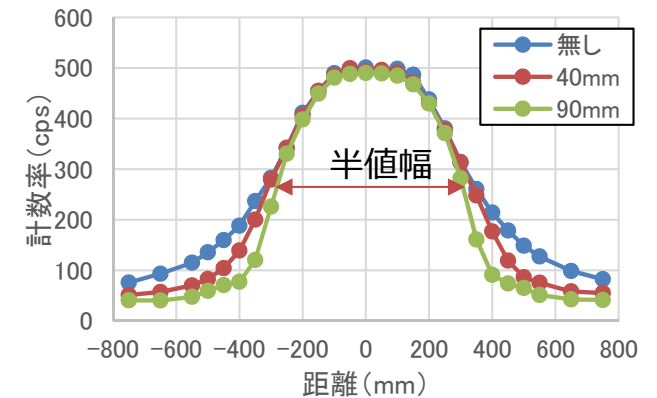


工場内試験の状況

・搬送速度特性 (速度 : 10m/分)



⇒ 0.4秒間隔のデータ測定で検出可能



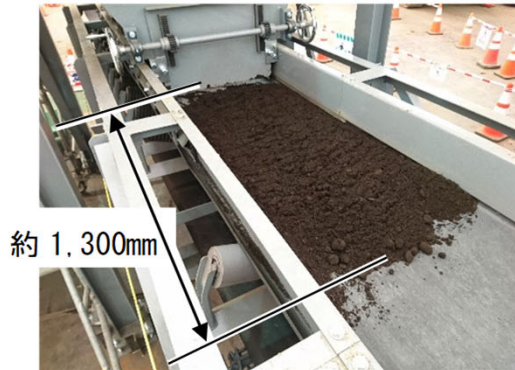
⇒ 検出器のコリメータ効果を確認

5. 検出器特性確認試験(現場試験)

○汚染土壌を用いて繰り返し測定の実施



測定土壌 (繰り返し測定)



測定土壌 (連続搬送測定)



現場試験の状況

【繰り返し測定試験】

○6袋の土のうに詰めた汚染土壌 (約100kg) を一定速度で搬送し、10回の繰り返し測定を行った。ベルトコンベア速度は21m/分。

【連続搬送測定試験】

○上記土壌をベルトコンベア上に展開・整形し、10回の繰り返し測定を行った。

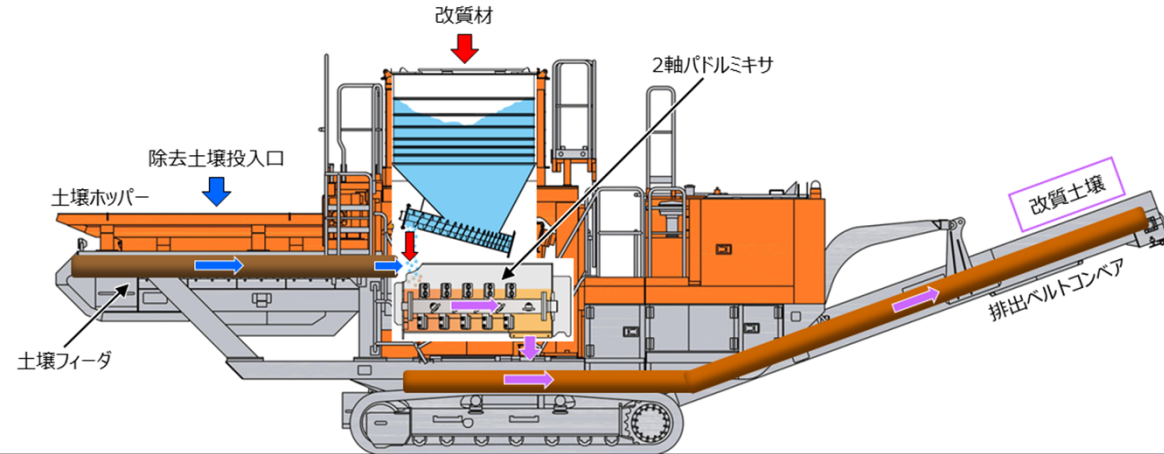


○測定装置で得られた放射能濃度はGe検出器での測定結果に対して誤差平均5.5% (繰り返し測定試験)、3.6% (連続搬送測定試験) であり、目標の誤差平均10%以下を満足した。

6. 土壌濃度測定分別試験(使用機器)

土質改良機

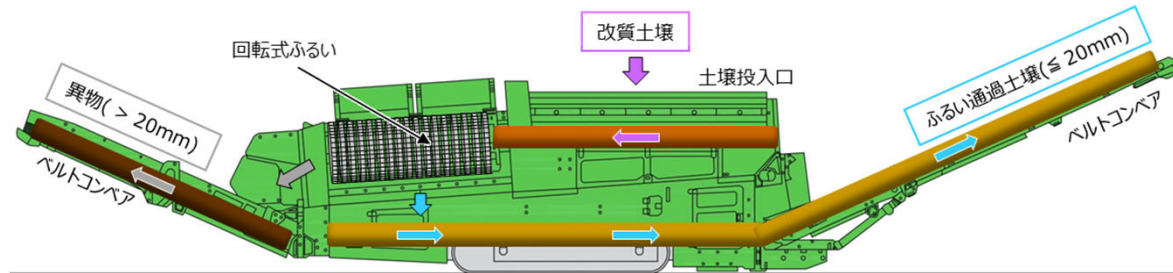
| 項目 | 仕様・諸元 |
|----------|-------------------|
| 型式 | SR-2000G (日立建機) |
| 混合方式 | 二軸パドルミキサ |
| 土壌ホッパ容量 | 1.8m ³ |
| 改質材ホッパ容量 | 3.0m ³ |
| 最大許容塊 | 150mm |



→ 回転式ふるい機 (トロンメル)へ

回転式ふるい機 (トロンメル)

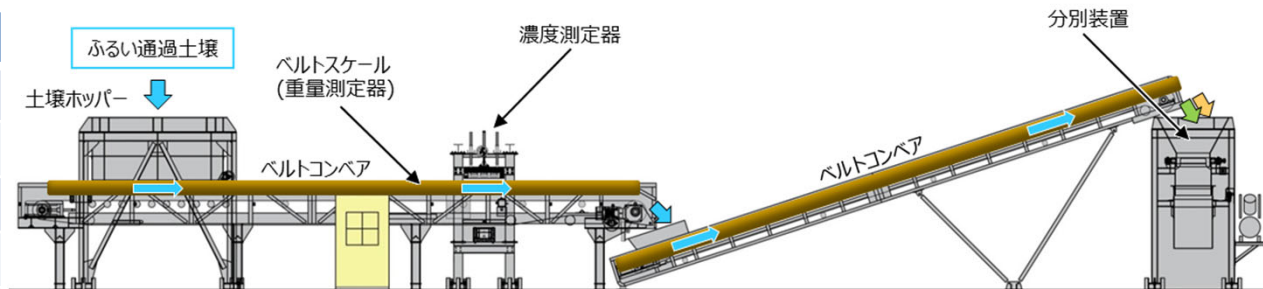
| 項目 | 仕様・諸元 |
|-----------|-------------------|
| 型式 | 512RET (マクロスキー) |
| ふるい方式 | 回転式、ふるい目20mm |
| フィードホッパ容量 | 3.0m ³ |
| ふるい寸法 | Φ1,525×L3,700mm |



→ 濃度測定分別装置へ

濃度測定分別装置

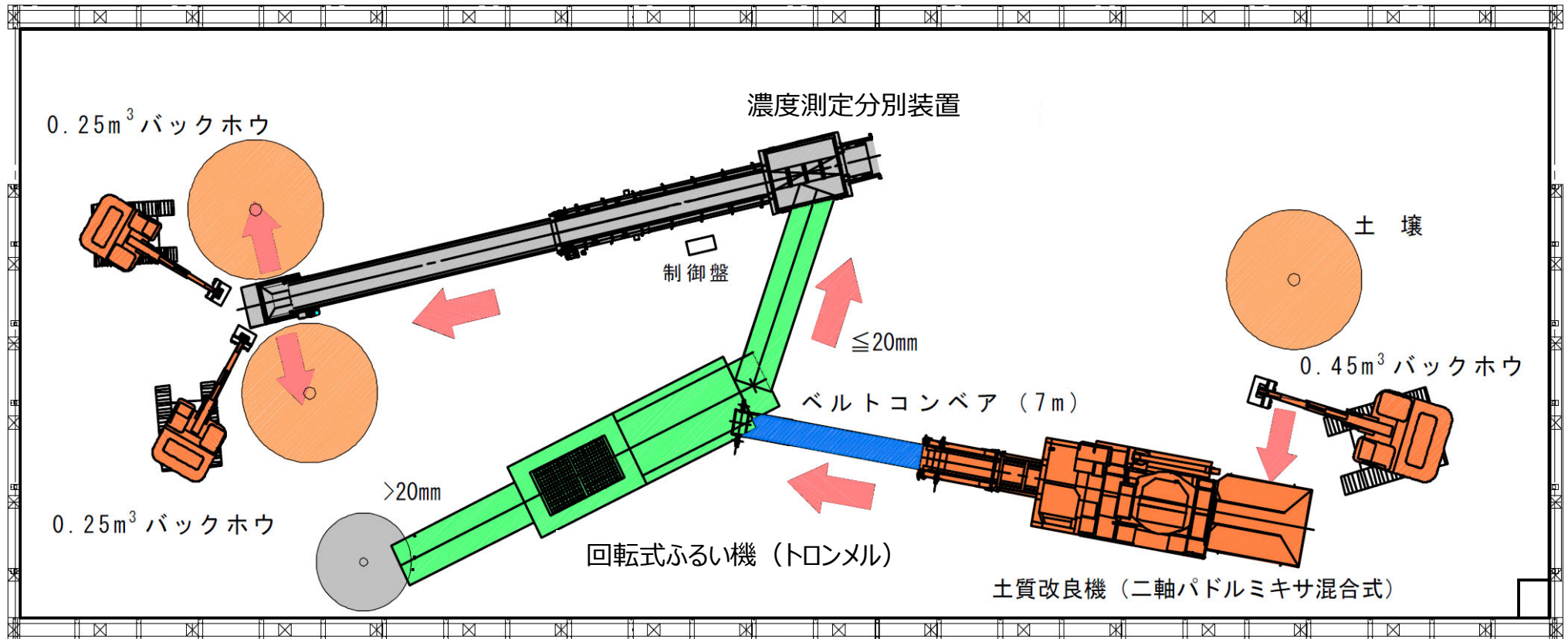
| 項目 | 仕様・諸元 |
|----------|--------------|
| 処理能力 | 70t/h以上 |
| 濃度測定精度 | 誤差平均10%以下 |
| 土壌重量測定 | ベルトスケールによる |
| 濃度測定最小単位 | 約30kg (土壌重量) |
| 濃度分別段数 | 2段 (高濃度/低濃度) |



→ 高濃度
低濃度
に分別

6. 土壌濃度測定分別試験（機器配置）

すべての使用機器を仮設テント（L50m×W20m×H11m）内に配置して試験を実施し、外部環境への影響が最小限になるよう配慮した。



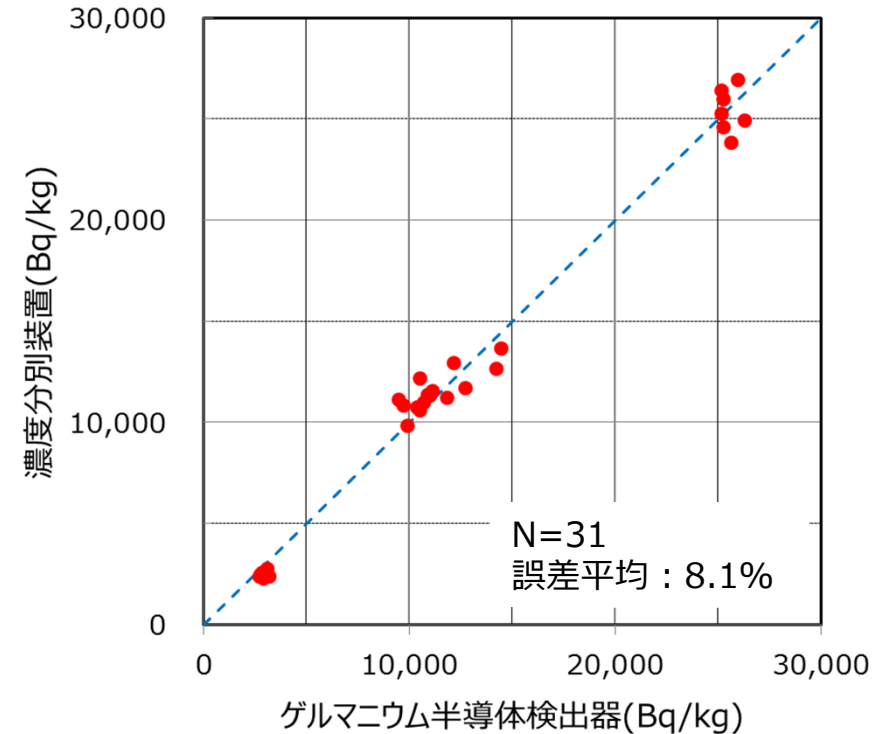
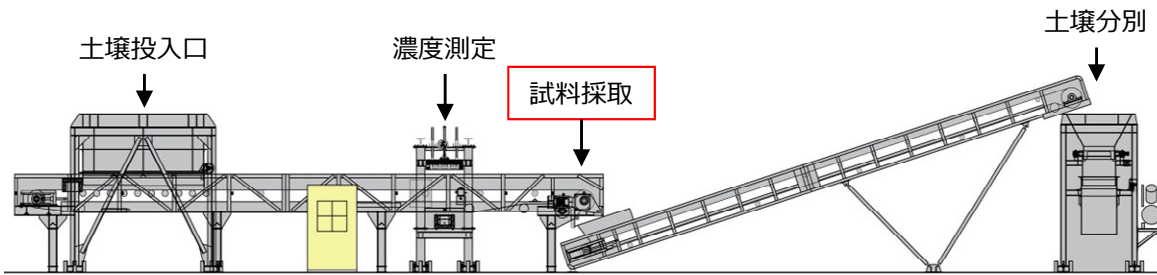
土壌濃度測定分別試験状況
（動画 1分30秒）

6. 土壌濃度測定分別試験

測定精度確認試験結果

○採取試料の装置測定記録とGe半導体検出器分析結果の比較から測定精度を評価した。

測定精度 誤差平均 = 8.1 %



試料の採取状況

- Ge半導体検出器と本装置での測定値がほぼ1 : 1の相関関係にある。
誤差平均は8.1%であり、成果目標の10%を満足した。
- 25,000Bq/kg程度の範囲では誤差平均3.5%, 10,000Bq/kgでは6.6%に対し、3,000Bq/kgでは誤差平均が15.6%であった。校正方法の最適化により、低濃度域でも精度向上を実現できる可能性がある。
- コンベア速度を2倍の42m/分として、8,000Bq/kg付近の濃度を測定した試験での誤差平均は6.1% (N=12) であった。

6. 土壌濃度測定分別試験

分別精度確認試験結果

○8,000Bq/kg付近、5,000Bq/kg付近、3,000Bq/kg付近の試料を調製し、分別シュートで分別した土壌が正しく分別されているかをGe半導体検出器の測定結果から確認した。

| 分別設定濃度 | 超過混入率 | 未満混入率 |
|-------------|------------------|-----------------|
| 8,000 Bq/kg | 0検体 / 2検体 = 0% | 0検体 / 4検体 = 0% |
| 5,000 Bq/kg | 1検体 / 2検体 = 50% | 0検体 / 2検体 = 0% |
| 3,000 Bq/kg | 0検体 / 6検体 = 0% | 0検体 / 6検体 = 0% |
| 合計 | 1検体 / 10検体 = 10% | 0検体 / 12検体 = 0% |

超過混入率：低濃度側に分別された検体中、Geが**設定濃度以上**の検体数 / 設定濃度より**低濃度側**に分別された検体数

未満混入率：高濃度側に分別された検体中、Geが**設定濃度以下**の検体数 / 設定濃度より**高濃度側**に分別された検体数

○**超過混入した割合は10検体中1検体、未満混入した割合は12検体中0検体**であった。

○超過混入を回避するためには、分別濃度設定値を安全側の低めに設定するなどの対応が必要。

6. 土壌濃度測定分別試験

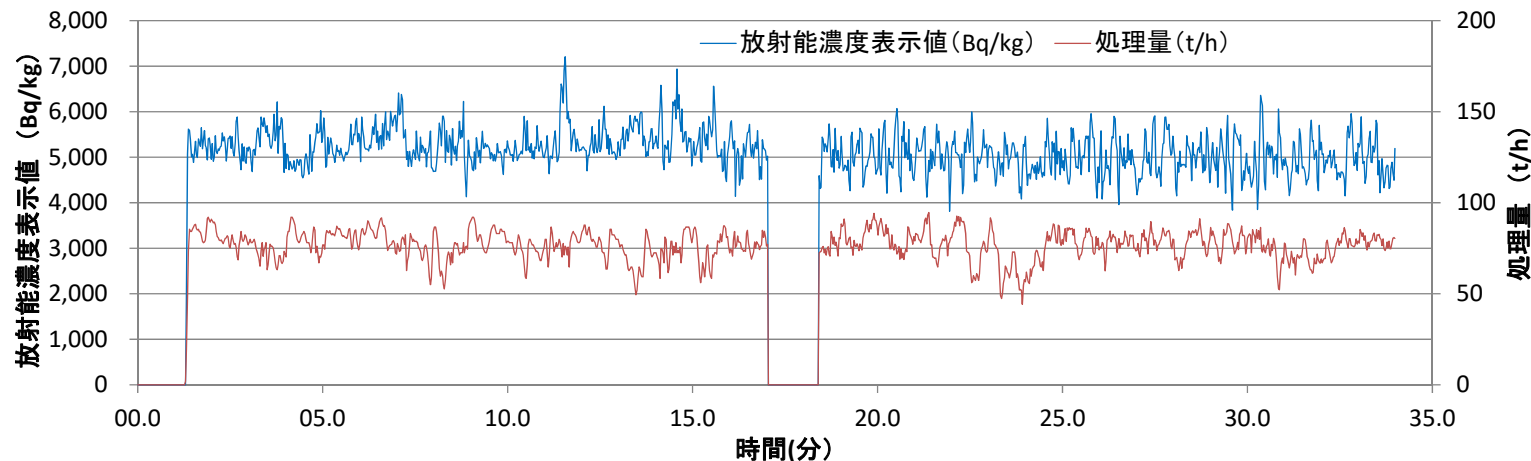
実規模連続運転試験結果

○30分間の連続運転を行い、処理能力を評価した（処理量35t以上）。

| 土壌種類 | 処理量 (t) | 所要時間 (分) | 稼働時間 (分) | 処理能力 (t/h) | 備考 |
|------|------------|-------------|-------------|---------------|----------|
| 宅地 | 39.7 | 33.5 | 31.0 | 76.8 | トラブル停止なし |
| 畑 | 37.0 | 33.8 | 30.0 | 74.0 | 〃 |
| 水田 | 37.9 | 34.7 | 32.1 | 70.8 | 〃 |



土壌濃度測定分別装置の処理能力70t/h以上を確認



実規模連続運転時の運転記録（宅地土壌試験の例）

6. 土壌濃度測定分別試験

粉じん濃度の測定結果

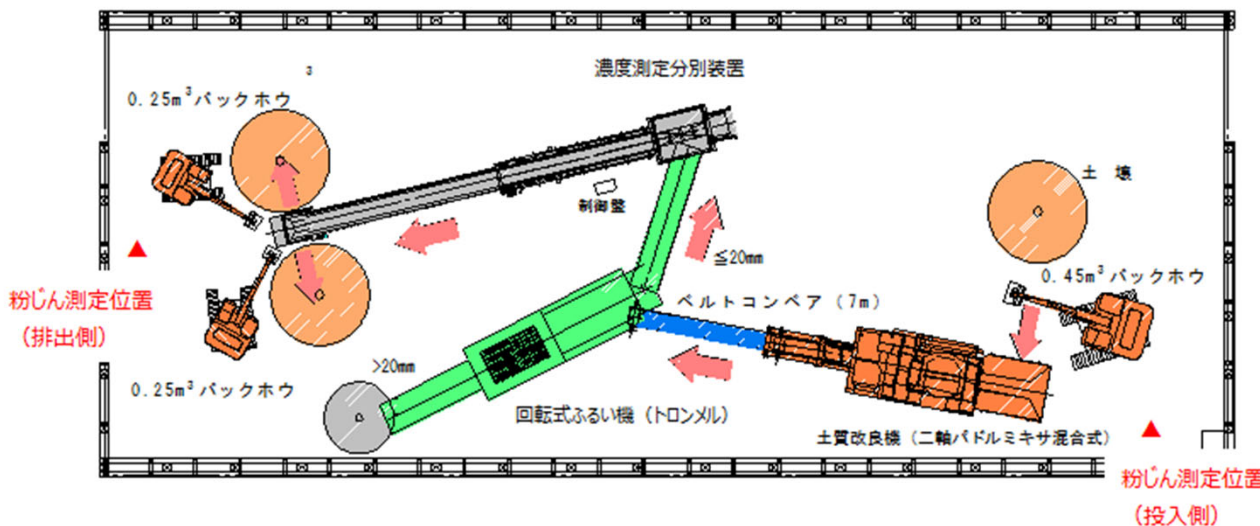
| 試験ケース 土壌種類 | 測定位置 | 粉じん濃度 (mg/m ³) | 放射性Cs濃度 (Bq/m ³) | | 備考 |
|---------------|------|-------------------------------|------------------------------|--------|--------------------------|
| | | | Cs-134 | Cs-137 | |
| 宅地 | 投入側 | 0.60 | 1未満 | 1未満 | 検出下限値 1Bq/m ³ |
| | 排出側 | 1.4 | 1未満 | 1未満 | |
| 畑 | 投入側 | 4.2 | 1未満 | 1未満 | |
| | 排出側 | 2.3 | 1未満 | 1未満 | |
| 水田 | 投入側 | 5.8 | 1未満 | 1未満 | |
| | 排出側 | 1.6 | 1未満 | 1未満 | |



粉じん測定 (投入側)



粉じん測定 (排出側)



○作業中の粉じん濃度は0.60～5.8mg/m³であり、ガイドラインに示される高濃度粉じん作業の基準値 (10mg/m³) を下回ることを確認した。

○空気中の放射性セシウム濃度はすべて1Bq/m³未満であり、空気中の濃度限度を下回ることを確認。

7. 技術実証結果と課題

■ 実証試験の結果

実証試験結果より、土壌濃度測定分別を実規模で確実に行うことができ、誤差平均8.1%で土壌の放射能濃度を連続的に測定できることを確認した。

- ① CsIシンチレータとMPPCの組み合わせを用いた濃度測定分別装置を構築し、ベルトスケールで土壌重量を測定して濃度算出することにより、**誤差平均10%以下で土壌濃度を連続的に測定できることを実証した。**
- ② 低濃度域では測定精度が低下することが判明した。校正手法の最適化、CsI検出器の増加、ベルトコンベアの最適化（低速化、幅広化）などの対応が必要と考えられた。
- ③ 分別精度は超過混入率10%、未満混入率0%であった。
- ④ 土壌改質から濃度測定分別までの**一連の作業を連続的に行い、70t/h以上の処理能力を確認した。**

■ 今後の課題

- ① 濃度測定分別装置の**測定データの蓄積（Ge検出器との比較）と校正方法の最適化。**
- ② 濃度測定分別装置の土壌ホッパ容量の最適化と安定した土壌排出機構の検討。

8. 実証技術の実用化状況

■ 現場への展開

平成30年度除去土壌再生利用技術等実証事業（飯舘村長泥地区）を除去土壌等減容化・再生利用技術研究組合（VOREWS）が環境省より受託し、この事業の土壌放射能濃度連続分別に適用された。

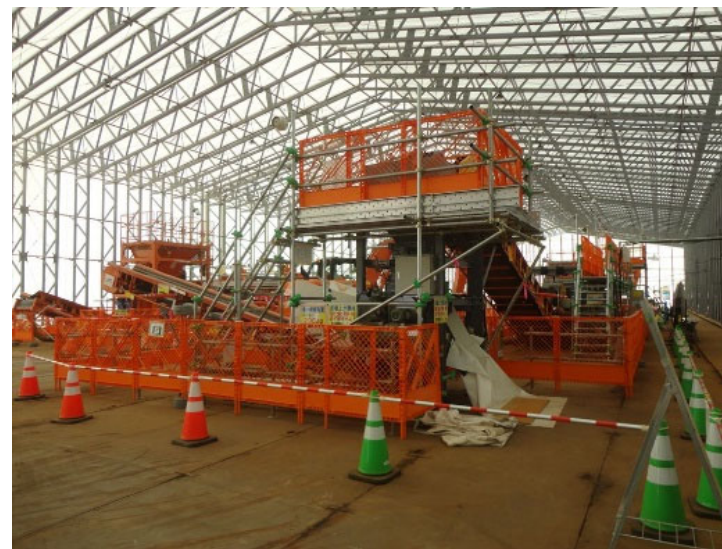
期 間：2019年5月～11月

処理量：1,400トン

分別濃度：5,000Bq/kg



工事全景（環境省HPより）



長泥実証事業における濃度測定分別装置

■ 現場展開での判明事項

- ① Ge検出器に比較して16%程度小さく測定された → 装置校正を正確に行う必要がある
- ② 処理速度は25.0～45.7t/h → 改質、分別等の他の装置との待ち時間があつた
- ③ 改質をしていない土壌では投入ホッパ部で詰まりが発生 → 土壌改質により改善

ご清聴ありがとうございました。