

---

# 除染により発生した除去土壌等の処理・処分対策 における土木技術の適用事例の調査・整理(第3章)

令和8年4月14日

分科会1 主査

土 宏之

(清水建設株式会社)

報告書 第3章 目次		本日の説明内容	
章・節	タイトル	スライドNo.	内容
第3章	中間貯蔵に係る技術調査		
3.1	検討対象範囲	3	検討対象範囲 調査の流れ
3.2	調査の流れ		
3.3	プロセスの分類と作業内容の概要	4	プロセスの分類と作業内容の概要
3.4	中間貯蔵への要件	5-7	中間貯蔵事業への要件 中間貯蔵への要件 プロセス・作業と要件との関係
3.5	新技術調査		
3.5.1	調査方法	8	調査方法、調査対象、調査項目 技術情報調査票(例)
3.5.2	調査対象		
3.5.3	調査項目		
3.5.4	調査結果		
3.6	新技術の分析		
3.6.1	分析結果	10	分析方法、分析結果 プロセス(作業)への要件と新技術の関係 整理表(例)
3.6.2	各プロセスにおける新技術のまとめ	11	
3.7	考察とまとめ	12-18	
	引用文献		



## c. プロセス分類と作業内容の記述

中間貯蔵事業の対象範囲を5つのプロセスに分類した。

- P1 仮置場・保管場からの取出
- P2 輸送
- P3 受入れ・分別
- P4 貯蔵
- P5 その他（共通事項）

上記プロセスを右表に示す27のサブプロセスとそこで行われる52の作業に細分化し、作業内容を記述した。  
併せて中間貯蔵事業に実際に関わる本分科会委員からの情報も反映した（文献1,2参照）。

プロセス、サブプロセス		作業
P1 仮置場・保管場からの取出し	P1a	仮置き場の解体 廃棄物取出し準備(シート・遮へい土のう等の撤去) 廃棄物取出し後解体(シートマット・集排水設備等の撤去) 撤去部材の分別・保管・廃棄
	P1b	廃棄物取出し 廃棄物劣化状況・表面汚染密度調査 梱包修繕・表面汚染除去 廃棄物吊り上げ・取出し
	P1c	積込 車両への積込 廃棄物の固縛・覆い
	P1d	現況復旧 土壌放射能検査(復旧前後) 放射能除去 地勢・地力回復
	P1e	廃棄物管理 搬出廃棄物の検査(重量・表面線量率) 取出しから払出しまでの廃棄物の記録保存
	P1f	放射線管理 空間線量率・放射能測定 個人被ばく線量管理
	P2 輸送	P2a
P2b		輸送管理 車両の運行状況・進捗状況の確認・管理
P2c		交通安全 事故防止対策の実施
P2d		汚染防止 環境汚染防止対策の実施 騒音・振動の低減・測定
P2e		放射線管理 空間線量率・放射能測定 個人被ばく線量管理
P3 受入れ・分別	P3a	受入れ検査 車両必要事項書面検査・重量・線量・汚染検査 廃棄物タグ情報読込・数量確認・重量測定
	P3b	荷下ろし 車両からの廃棄物吊下、荷下し
	P3c	破袋 廃棄物容器の破袋 粉塵・水分の逸散防止
	P3d	分別 一次分別(容器の残渣・大きな石等の分別) 二次分別(可燃物の分別) 粉塵・水分の逸散防止
	P3e	濃度分別 土壌放射能濃度の連続測定と分別
	P3f	改質 二次分別前の土質判定と含水率・粘性の調整
	P3g	廃棄物管理 受入から分別後搬出までの廃棄物の記録保存
	P3h	放射線管理 空間線量率・放射能測定 個人被ばく線量管理
	P3i	搬出 分別設備から貯蔵又は減容化施設への運搬 粉塵・水分の逸散防止
	P4 貯蔵	P4a
P4b		設計 荷重・外力・事象(地震津波・地下水・降水)に対する設計 施設からの取出しを考慮した設計
P4c		建設 敷地線量低減措置工(着工前の被覆・除染) 各種土工(造成・堰堤・道路) 集排水・処理設備工(雨水・地下水・浸透水)
P4d		貯蔵 分別処理された土壌の貯蔵施設での埋立て 被覆工(保護土・キャッピング工) 除去土壌の飛散・流出防止
P4e		地下水管理、漏洩感知 地下水・浸透水・放流水中のCs・重金属等の測定 遮水シートからの漏洩の検査・補修 埋立前後の周辺環境調査
P4f		放射線管理 空間線量率・放射能測定 個人被ばく線量管理
P5 その他		P5a 労務管理 作業員の安全衛生・労働環境管理

文献1；除去土壌などの中間貯蔵施設について2019.1環境省パンフレット  
文献2；平成28年度中間貯蔵施設の土壌貯蔵施設等工事(大熊町、双葉町)現場説明書

中間貯蔵での各作業は、他の事業と同様にQCDS E（品質、経済性、施工性、安全性、環境保全）への配慮が求められる。さらに本件はわが国で初めての、除去土壌等の運搬・処理・貯蔵事業であり、以下のような特徴と要件が想定される。

- (a) 事故由来の放射性物質を扱うことから、除去土壌等の閉じ込め、周辺住民と業者の放射線防護が重要となる。また、除染電離則に従った労務管理を確実に行うことが要求される。
- (b) 汚染土壌等は広域にわたり大量に（中間貯蔵施設への輸送対象物量は約1,400万m<sup>3</sup>）保管されている。これを確実にかつ短期間に運搬し貯蔵することが要求される。また、投入される建設資源（人員、機器、機材など）も膨大であり、確実な労務管理、資材管理が要求される。
- (c) 再生利用、最終処分までの30年に及ぶ長期間、汚染土壌や放射性物質を確実に閉じ込めることが要求される。
- (d) 周辺住民・周辺環境への配慮が特に求められる。かつ、多様な利害関係者（ステークホルダー）への説明性と理解獲得が円滑な事業進展への要件となる。

中間貯蔵への要件を下表に示す。

分類	要件	
品質	機械的特性	十分な耐力・剛性を有する。容器等を破損させない。
	水理的特性	十分な止水性・排水処理能を有する。
	化学的特性	貯蔵施設を化学的に安定した状況に保つ。大気・土質・水質等を汚染しない。
	閉じ込め性(固液)	粉体・液体を容器や貯蔵空間に保持し逸散・拡散させない。
	閉じ込め性(放射能)	放射線を遮へいする。放射性物質の逸散・拡散を防止する。
	耐久性	中間貯蔵期間、所定の機能を維持する。
生産性	規模対応性(大量・広域)	大量・広範囲の仮置き土壌等を確実に扱う。膨大な人員・資機材を適切に管理する。
	速度対応性	大量の土壌等の扱いにおいて十分な施工速度を持つ。
安全性	安全性(一般)	周辺住民と従事者の安全・衛生を確保する。
	安全性(放射線防護)	周辺住民と従事者を放射線・放射能から防護する。
環境	環境保護性	周辺環境への影響を低減する。
監視	計測・監視可能性	計量・モニタリングおよび合否判断の機能を持つ。
記録	記録・トレーサビリティ	作業や計測の履歴を記録し、記録保持を確実に行う。
費用	経済性	コスト面で優れる。
受容	社会的受容性	ステークホルダーへの説明性・理解と信頼の獲得に優れる。

各プロセス/作業と要件との関係の一部を右表に示す。

## 「中間貯蔵施設の 土壌貯蔵施設等工事」 プロセスと作業への要件

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
		要件																
		機械的特性	物理的特性	化学的特性	閉じ込め性(閉液)	閉じ込め性(放射能)	耐久性	規模対応性(大量・広域)	速度対応性	安全性(一般)	安全性(放射線防護)	環境健全性	監視	記録・トレーサビリティ	費用経済性	社会的受容性		
		ない	十分な耐力・剛性を有する。容器等を破壊させ	十分な止水性・排水処理能を有する	気・土質・水質等を汚染しない	粉塵・液体を容易に貯蔵空間に保持し逸散・拡散させない	放射線を遮へいする。放射性物質の逸散・拡散を防止する	中間貯蔵期間、所定の機能を維持する	大量・広範囲の仮置き土壌等を搬入・搬出・潮	大量の土壌等の扱いにおいて十分な施工速度を	周辺住民と従事者の安全・衛生を確保する	周辺住民と従事者を放射線・放射能から防護す	周辺環境への影響を低減する	計画・モニタリングおよび告示制の機能を併	作業や計測の履歴を記録し、記録保持を確実に	コスト面で優れる	ステークホルダーへの説明性・理解と信頼の獲得に優れる	
		プロセスと作業																
		プロセス、サブプロセス	作業															
P1	仮置き場・保管場からの取出し	P1a	仮置き場の解体	廃棄物取出し準備(シート・遮へい土のう等の撤去)														
			廃棄物取出し後解体(シートマット・集排水設備等の撤去)															
		P1b	廃棄物取出し	撤去部材の分別・保管・廃棄														
				廃棄物劣化状況・表面汚染密度調査														
		P1c	積込	細包修繕・表面汚染除去														
				廃棄物吊り上げ・取出し														
P2	輸送	P2a	積込	車両への積込														
				廃棄物の固縛・覆い														
		P2b	現況復旧	土壌放射能検査(復旧前後)														
				放射能除去														
		P2c	廃棄物管理	地盤・地力回復														
				搬出廃棄物の検査(重量・表面線量率)														
P2d	放射線管理	取出しから払出しまでの廃棄物の記録保存																
		空間線量率・放射能測定																
P3	荷下ろし	P3a	輸送	個人被ばく線量管理														
				搬出・走行・搬入の一連の作業														
		P3b	輸送管理	車両の運行状況・進捗状況の確認・管理														
				交通安全	事故防止対策の実施													
		P3c	汚染防止	環境汚染防止対策の実施														
				騒音・振動の低減・測定														
P3d	放射線管理	空間線量率・放射能測定																
		個人被ばく線量管理																
P4	破袋	P4a	受入れ検査	車両必要事項書面検査・重量・線量・汚染検査														
				廃棄物タグ情報読込・数量確認・重量測定														
		P4b	荷下ろし	車両からの廃棄物吊下・荷下し														
P5	破袋	P5a	破袋	廃棄物容器の破袋														
				粉塵・水分の逸散防止														

- [調査方法]** アンケート調査 他
- [調査対象]** 中間貯蔵施設の工事を受注している共同企業体 (JV) の幹事会社6社を対象
- [調査項目]**
- ①技術名称
  - ②対象プロセス
  - ③開発経緯・目的
  - ④機器・システムの概要
  - ⑤特徴・性能・仕組み
  - ⑥課題・今後の計画
  - ⑦効果
  - ⑧展開・適用事例
  - ⑨適用での工夫・苦勞した点
  - ⑩開発者・特許等
  - ⑪出典
  - ⑫参考添付図

技術情報調査票 (例)

O6- 大型土のう破袋システム

技術情報調査票(O6)					
1.技術名称		大型土のう破袋システム			
2.対象プロセス					
(1)仮置き場・保管場からの取出し		(2)輸送	(3)受入れ・分別	(4)貯蔵	(5)その他
a.仮置き場の解体		a.輸送	a.受け入れ検査	a.調査	a.労務管理
b.廃棄物取出し		b.輸送管理	b.荷降ろし	b.設計	
c.積込		c.交通安全	c.破袋	○ c.建設	
d.現況復旧		d.汚染防止	d.分別	d.貯蔵	
e.廃棄物管理		e.放射線管理	e.濃度分別	e.地下水管理、漏洩感知	
f.放射線管理			f.改質	f.放射線管理	
			g.廃棄物管理		
			h.放射線管理		
			i.搬出		
3.開発経緯・目的					
除染除去物が封入された大型土のう袋から内容物を取り出すためには通常一体ずつ吊り上げカッターナイフなどで土のう袋を切り裂く必要がある。この手法では粉塵が舞う、手に除染除去物が付着するなどして作業員の被ばくの恐れがある。この問題を回避するために大型土のう袋を破る作業、破袋作業を機械により遠隔、自動かつ連続的にこなすことを目的とした。					
4.機器・システムの概要					
大型土のう袋を大型土のう破袋システム上部から投入し、内部に設置したカッタードラムにより大型土のう袋を破袋する。					
5.特徴・性能・仕組み					
大型土のう破袋システム内に設置されたカッタードラムは上方から見ると隙間が小さくなるよう配置され内容量が少ない土のう袋がすり抜けることが無いよう配置されている。ただしカッタードラム同士は上下に離れており、人頭大の石などが混入した場合も隙間から通り抜けることができる。またカッターティースは硬岩掘削用の高強度ティースを使用しており人頭大の石などの異物が混入した場合でも損傷は最低限で破袋工程への影響は低いものとなる。					
6.課題・今後の計画					
特に無し					
7.効果					
大型土のう袋の破袋作業を作業員の介入なしに自動かつ連続的に行うことができる。					
8.展開・適用事例					
平成29年度中間貯蔵(大熊3工区) 土壤貯蔵施設等工事 平成30年度中間貯蔵(大熊5工区) 土壤貯蔵施設等工事					
9.適用にあたり工夫・苦勞した点					
人頭大の石などをすり抜けさせること、内容量が少ないあるいは柔らかい土のう袋を確実に破袋することを両立させるために適したカッタードラムの配置とカッターティースの選定					
10.開発者・特許等					
特許 第 6180899号 破砕機 特許 第 5873061号 破砕機					
11.出典					
(公財)原子力安全技術センター:平成26年度除染技術実証事業報告書(環境省受託事業) 大林組:「大型土のう破袋システム」リーフレット					
12.参考添付図					

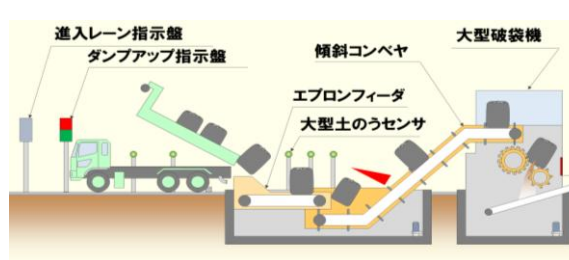


図1 大型土のう破袋システム





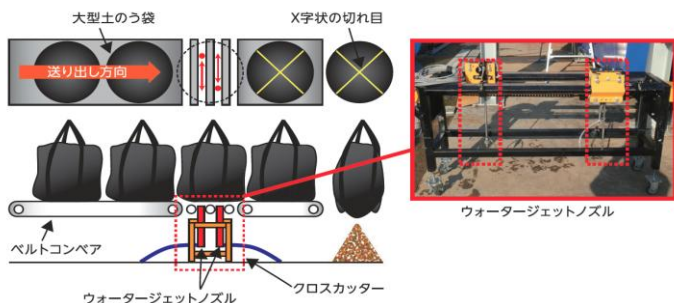
## 【各プロセスにおける個別の新技術のまとめ】

- ① プロセス・作業
- ② 技術情報調査票番号および技術名称
- ③ 技術の概要
- ④ 開発経緯・開発目的
- ⑤ 該当する環境省要求水準書項目
- ⑥ 各技術の特徴
- ⑦ 技術活用状況

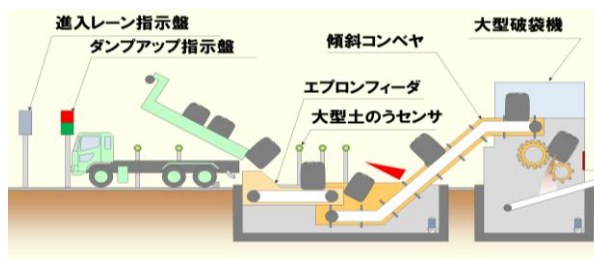
例：⑤環境省要求水準書項目(破袋技術)

## 例：⑦ 技術活用状況の例(破袋技術)

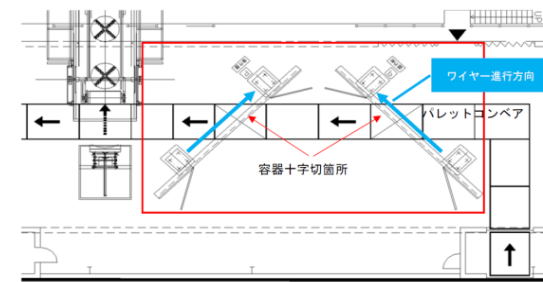
平成28年度工事で要求された破袋設備は、平成29年度以降の中間貯蔵施設工事でも仕様として要求され、JV毎に構造の異なる設備を用いて破袋処理が行われた。設備稼働後に、破袋片が処理土に混入してしまうことや、大型土のう袋の内部にアルミ製の内袋が採用されたものへの対応、大型土のう袋内に複数の大型土のう袋や土のう袋が含まれているものへの対応など、発注後に当初は想定していなかった事象への対応が必要になった事項もあった。



S3 ウォータージェット破袋システム



O6 大型土のう袋破袋システム



K5 ワイヤソー二軸破碎機  
ワイヤソー配置平面図

## 第3節 破袋設備

除去土壌を梱包している容器を破袋し、除去土壌を取り出すための設備である。破砕を行う際には粉じんの飛散防止対策に必要な措置を講じること。

### 1. 破袋機

- ① 形式 [ ]
- ② 数量 [ ]基
- ③ 主要項目
  - イ 能力 [ ] t/h以上
  - ロ 本体主要寸法 幅 [ ] m×長さ [ ] m
- ④ 主要材質 本体 [ ]  
主要部 [ ]
- ⑤ 電動機 [ ] V× [ ] P× [ ] kW
- ⑥ 操作方式 [自動・現場手動]
- ⑦ 特記事項
  - イ 極力人力に頼らず機械的に破袋すること。
  - ロ 容器が内袋等により幾重にもなっているものに対しても、破袋機能・能力が確保できるものとする。
  - ハ 破袋時に容器内部に含まれる水分が周囲へ流出しないよう、回収できるものとする。

注) [ ]内の数値等の表示は、環境省が標準と考える形式、参考値、材質等であり [ ]内が空欄のものは、受注者の仕様によるが、決定に際しては監督職員の承諾を受けることとなっている。

本調査範囲での技術開発に関し、以下の特徴が考察された。

①中間貯蔵事業特有の要件や課題への対応特有の要件は以下の通り。

- 放射性物質の閉じ込めと放射線防護
- 広域・大量の汚染物への対応
- 長期間の確実な閉じ込めと貯蔵施設の機能維持
- 周辺住民・環境への配慮と利害関係者（ステークホルダー）への説明性向上と理解獲得

本件の技術開発では一般工事と同様のQCDSSEの向上に加え、これら要件が開発のインセンティブとして影響している。

これを受けて、**技術開発の目的や効果**として以下のような事項が各社の調査票から明らかになった。

- 作業効率の向上
- 安全性向上、被ばく低減
- 作業員不足の解消、自動化
- ステークホルダー（発注者、規制者、地元住民等）の理解促進
- 1F廃炉工事への影響低減（交通影響、送電線の影響、被ばくの重複、諸基準の統一）
- 30年後を見据えた対応（トレーサビリティ）
- 新技術の一般への発展性・波及効果


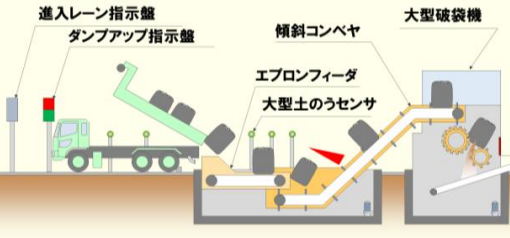

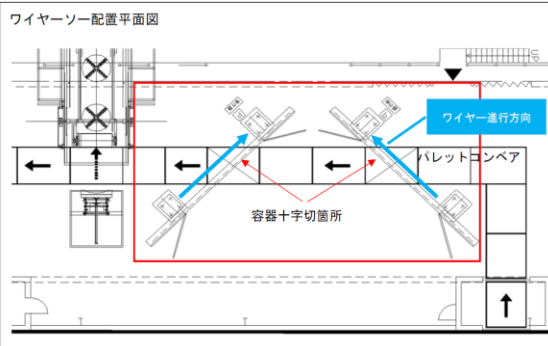

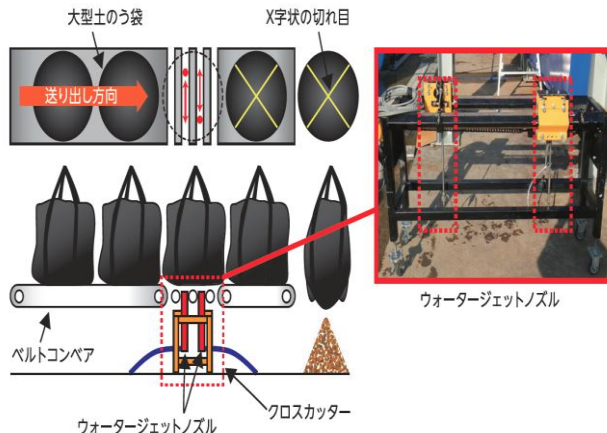

## ②最新建設技術の活用と他産業技術の導入

開発においては最新の土木技術の改良に加え、他産業技術（運行管理、放射能測定など）との融合が積極的に行われている。また「機械化・省力化」を志向した開発が実施されるとともに、一歩進めて安全性や品質の向上のために「無人化・遠隔化」の技術開発が図られている。さらに、近年建設分野でも開発・導入がめざましい情報通信技術（例えば、ICT；Information and Communication Technology, IoT；Internet of Things）が多くのシステムに導入されている。

## ③個別技術における各社の開発

同じ作業に対する技術開発において、各社それぞれの工夫が見られ、民間の技術や創造力が活用されていることが確認された。

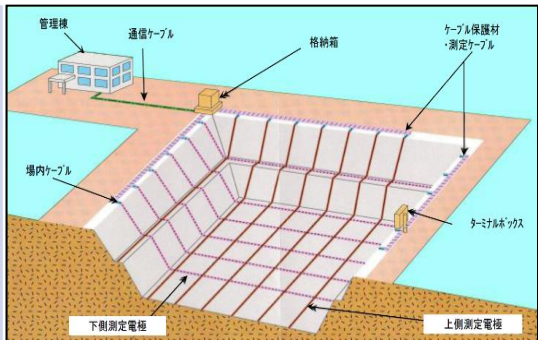
### [例-1]破袋技術

適用技術	カッタードラムによる破袋	ワイヤーソーによる破袋	ウォータージェットによる破袋
概要 	 <p>進入レーン指示盤 ダンプアップ指示盤 傾斜コンベヤ エプロンフィーダ 大型土のうセンサ 大型破袋機</p> 	 <p>ワイヤーソー配置平面図 ワイヤー進行方向 ハレットコンベヤ 容器十字切断所</p>  <p>ワイヤーソー切断機</p>	 <p>大型土のう袋 X字状の切れ目 送り出し方向 ウォータージェットノズル ベルトコンベア クロスカッター</p> 

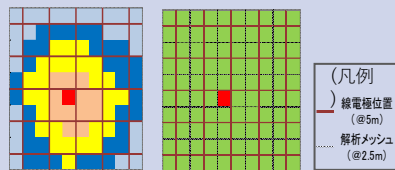
## [例-2] 遮水工 施工・品質管理

適用 技術	漏水位置検出システム	導電性自己修復マット	電気式漏水検知システム
----------	------------	------------	-------------

概要  
☒

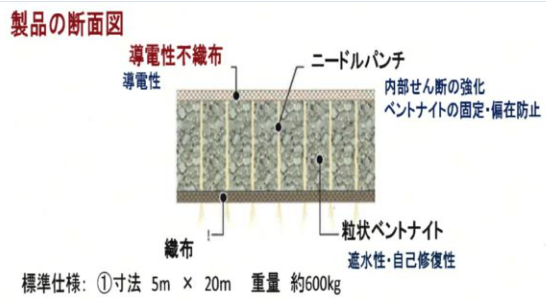


システム概要図



線電極配置: 5 m 間隔 → 2.5 m  
メッシュでの絞り込み

位置特定プログラムによる解析イメージ



【参考】従来の漏水検知システムとの比較

Conductive Mat は、遮水性・自己修復性・導電性を一体型にしたマットです。

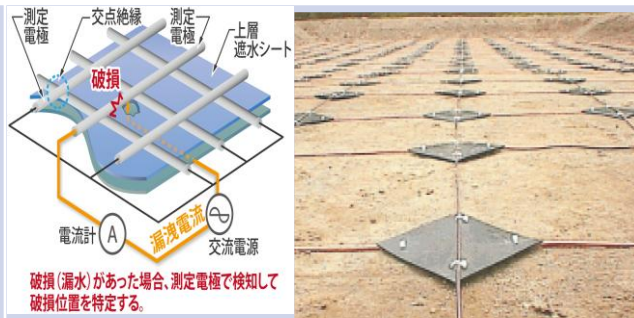
	従来製品	コンダクティブ・マット
製品イメージ		
検知システム断面イメージ	<ul style="list-style-type: none"> <li>自己修復マットのほか導電性マットを敷設する必要があります。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>層体で2つの役割がありますのでコンダクティブ・マットのみの敷設となります。</li> </ul>

・コンダクティブ・マット1枚で、自己修復性+導電性を発揮する事ができます。  
 ・導電性は従来の導電性マットと同様な漏水位置特性の精度を向上させます。  
 ・敷設手間は1回のため、コスト削減・工期短縮にもつながります。

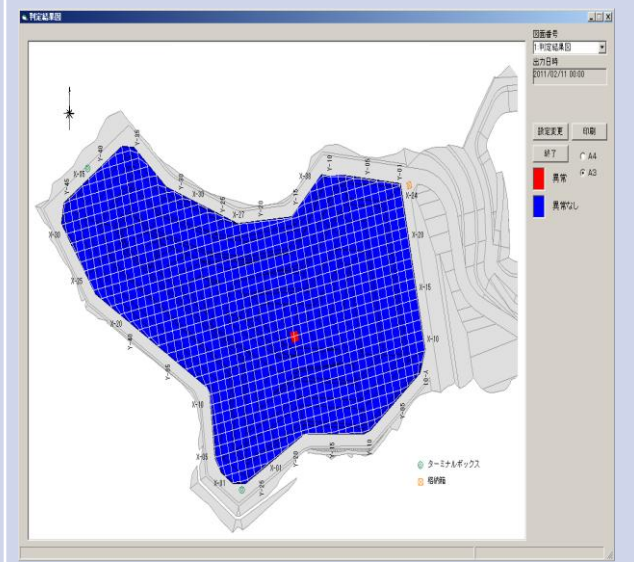
製品規格

項目	規格	試験方法
ベントナイト量	kg/m <sup>2</sup> 4.0以上	JIS L 1506
厚さ	mm 6.0以上	JIS L 1506
ベントナイト蓄潤力	ml/2g 20以上	JBAS-104-77
貫入抵抗	N 500以上	ASTM D 4833
接地抵抗	Ω 900以下	応用地質測定法

自己修復マットの概要と仕様



システムのイメージ 測定電極敷設例

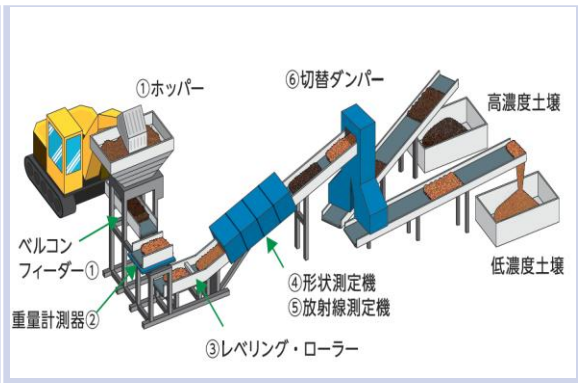
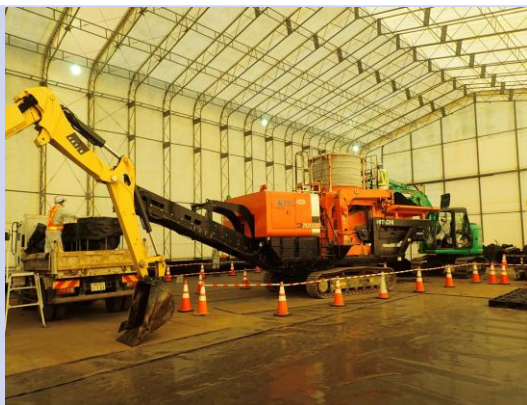


異常を検知した場合の管理画面イメージ

## [例-3] 土壌濃度分別

適用技術	CsIシンチレータ+ フォトダイオード	NaIシンチレータ	NaIスペクトロメータ
------	---------------------	-----------	-------------

概要  
☒



システムの概要



濃度分別機の処理プロセス

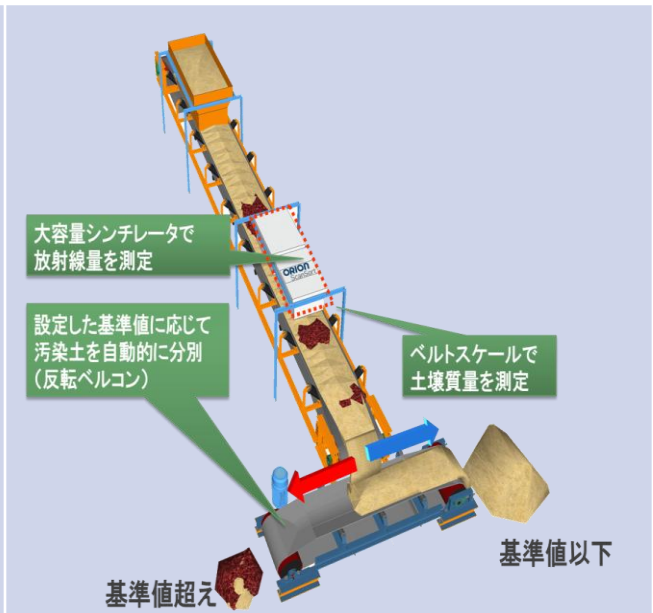


図1 システムの概要

## 新たな技術の開発が積極的に行われ、事業が円滑に進捗した理由

### [事業]

- 事業全体の総事業費が大きく、短期間に発注される事
- 事業概要が明らかになってから、発注までの期間が長かった事
- 今までに経験のない事業規模・内容で既存技術では対処できなかった事
- 放射性廃棄物を大量に短期間に処理するという特殊な事業内容

### [発注側]

- 各社の技術も適正に評価する総合評価方式の発注だった事
- 発注時には概略設計のみを提示し、詳細は着工後の設計審査会等で決定した事(仕様規定と性能規定の関係)

### [受注側]

- 福島原子力発電所の建設、保守に関わった企業が多く存在し、福島復興に協力したいという使命感があった事
- 受注に向けた技術開発の余裕があった事
- 除染の仕事を経験し、除去土壌等の扱いの知見が蓄積されていた事

- 中間貯蔵事業に向け開発・導入された新技術の調査を、共同企業体（JV）幹事会社6社に対し行った。
- その結果、5つのプロセス（27のサブプロセス）における**53**技術が調査票にまとめられた。
- 環境省資料等（要求水準書、パソレット等説明資料）を参考に、本事業に求められる事項（要件）を抽出した。
- 開発・導入された新技術と本事業への要件との関係を整理した。
- 整理した結果を基に、『中間貯蔵事業が、受注企業の積極的な技術開発に支えられ、これまで円滑に推進してきている理由』等について考察を行った。
- 今回の調査では、代表的な技術を把握することができたが、事業実施中に発生した諸課題に対処するために採用された諸技術については、必ずしも十分に収録することができなかった。この点は反省点である。



大熊地区



双葉地区



除去土壌等輸送状況



大熊地区 ベルコン稼働状況



大熊地区 法面遮水工