





図1 現場位置図（国土地理院の電子地形図を使用）

灰等（以下、処理対象物）を特定廃棄物埋立処分施設へ埋立処分するためにセメント固型化することを目的としている。表1に本業務の概要を、表2に全体工程を、図1に現場の位置をそれぞれ示す。

### 3. 処理フローおよび処理設備

本章では、固型化処理施設における処理の流れと、各処理工程において導入されている設備について説明する。



図2 固型化処理施設全景（施設内設備は模式図）

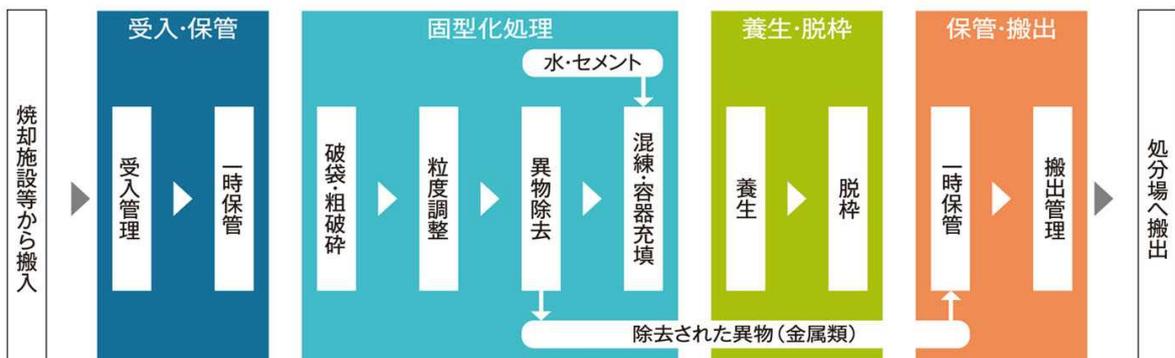


図3 セメント固型化処理フロー

### 3.1 セメント固型化処理フロー

固型化処理施設における各設備の配置を図2に、セメント固型化処理フローを図3に示す。処理対象物が収納されたフレキシブルコンテナ（以下、収納容器）を開封（破袋）し、粒度調整・異物除去の前処理を行った後、水およびセメントと混練し、角型収納容器（角型フレキシブルコンテナ）内に打設・養生することで固型化物を生成する。固型化処理設備および養生・脱枠設備は、2つの系列（A系列、B系列）を設置しており、処理量の変動や処理対象物の種類や性状の違い等に柔軟に対応することを可能としている。

### 3.2 固型化処理施設に導入した設備

セメント固型化処理における各工程には、性状の異なる処理対象物への対応、作業員の安全確保、固型化物の品質向上等を目的として種々の設備を導入した。

#### 3.2.1 処理対象物の受入ヤード・保管設備

福島県内の焼却施設などに保管されている飛灰や混合灰などの処理対象物は、収納容器に密封された状態で、地域の交通を妨げないよう新たに設置した専用の搬出入路を通り、固型化処理施設に搬入される。受入ヤードでは、放射能濃度が10万Bq/kgを超えていないことや、収納容器に破れがないこと等を確認した上で処理対象物を受け入れ（写真1）、厚さ30cmのコンクリート製遮へい壁を備えた受入保管室（写真2）で保管する。収納容器の運搬に用いるフォークリフトは、作業時に運搬対象物と運転手との距離



写真1 受入ヤードにおける表面線量率測定状況



写真2 処理対象物の受入保管室

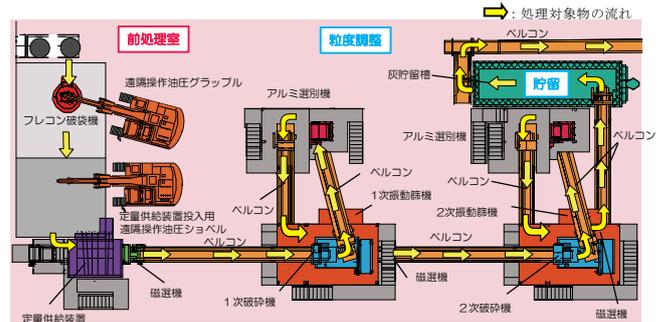


図4 処理対象物の前処理フロー

離が近く、運転手の被ばく量が多くなることが懸念されるため、前面窓に鉛当量6.4mmの鉛ガラスを装着したフォークリフトを採用し、運転手の被ばく量を低減させている。

#### 3.2.2 前処理設備

前処理フローを図4に示す。処理対象物の入った収納容器は二重のシートシャッターを備えた処理対象物搬入設備を通して前処理室内へ搬入し、遠隔操作油圧グラブ（写真3）で把持して破袋機に投入する。破袋機は油圧モーター駆動の回転刃を備えており、収納容器下部の周面を切断し、処理対象物だけをピットに取り出すことができる。

処理対象物は塊状に固結しているものも多いため、2段階で破砕機、振動ふるい機を通して粒度調整を行う（写真4）。また、処理対象物に含まれる金属等の異物は、磁選機およびアルミ選別機を用いて除去し、固型化物の品質を向上させる。なお、前処理した処理対象物は灰貯留槽に一旦貯留し、混練設備に供給する流れとなる。



写真3 遠隔操作油圧グラブ（左）と遠隔作用機械を設置した操縦席（右）



写真4 粒度調整・異物除去設備

前処理室では処理対象物が露出状態となり、放射性セシウムや重金属、ダイオキシン類を含む粉じんが発生する。そこで、破袋機や定量供給装置に処理対象物を投入するために使用する油圧ショベルを含め、前処理室内の設備はすべて遠隔操作または自動運転可能な設備を採用した。中央操作室からの遠隔運転によって、破袋・破砕・粒度調整・異物除去の前処理工程を無人で行うことを可能としている。

なお、特に多量の粉じん発生が懸念される箇所には局所集じん機を設置しており、点検等で一時的に立ち入る作業員に対する作業環境の改善を図っている。また、処理対象物の搬入口は二重のシートシャッターとし、集じん換気設備として2台の大型集じん機(700 m<sup>3</sup>/min)を設置して、室内を負圧に維持することで粉じんの周辺環境への漏洩を防止している。

### 3.2.3 混練・打設設備

混練・打設フローを図5に示す。前処理した処理対象物を灰貯留槽から固化化処理室内の混練機に供給し、セメントミルク製造供給装置から供給されるセメントミルクと併せて混練して混練物とする。この際、混練状況を映すモニターやスランプモニターで混練物の状態をリアルタイムで把握し、必要に応じてセメントミルクを追加添加することにより、混練物の性状を調整する。所定時間混練した後、混練物を下部のアジテータに貯留し、最終的にコンクリートポンプにより圧送して、混練物充填機で型枠内に設置した角型収納容器(角型フレキシブルコンテナ)に打設する。

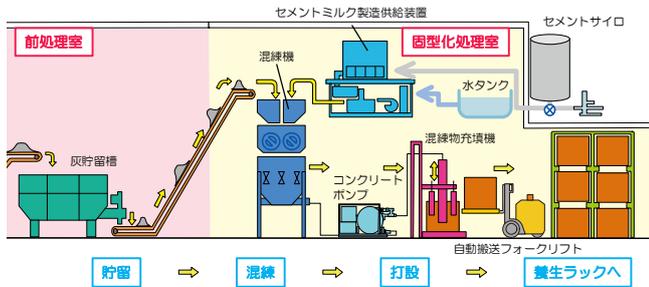


図5 混練・打設フロー



写真5 混練物の自動打設状況

混練物充填機は、鉛直方向に昇降可能な支持柱とそれに取り付けられた複数のバイブレータ、支持柱に対して独立に昇降可能な打設管を備えた設備であり、角型収納容器への混練物の打設を自動制御で行う(写真5)。また、角型収納容器を設置した空の型枠や混練物が充填された型枠の運搬には自動搬送フォークリフト(AGV)を採用し、空間線量率の高くなる養生ラック内での作業を無人化した(写真6)。

### 3.2.4 養生・脱枠設備

混練物が充填された型枠はAGVで養生ラックへ運搬し、所定期間養生して固化物とする(写真7)。養生ラックは6列×16連×3段あり、120 t/日(1系列60 t/日)処理時には1列分が1日分の保管量に相当し、固化物の初期強度発現に要する養生期間分の保管量を確保している。

所定の養生期間後は脱枠を行い、テルハクレーンを用いて固化物の入った角型収納容器(角型フレキシブルコンテナ)を型枠から取り出す。固化物は検査場で密封処理、寸法・重量・放射線量測定、汚染検査を行った後、二重のシートシャッターを備えた固化物搬送設備により固化化処理室から搬出する。脱枠後の型枠は再び組み立て、角型収納容器を設置して空枠ラックに収納する。型枠の運搬はAGVにより自動で行うが、脱枠、玉掛け、密封、汚染確認作業は人力での作業となる。



写真6 混練物が充填された型枠を運搬する自動搬送フォークリフト(AGV)



写真7 混練物を養生するための養生ラック



写真8 固型化物を収納した角型フレキシブルコンテナ

固型化物の生成で用いる型枠は、すべてを解体することなく、固型化物を簡易に取り出すことができるような構造とした。また、角型フレキシブルコンテナは、型枠への設置や混練物充填機での打設時に支障を生じないように、内袋を備えた専用の容器として設計・製作した（写真8）。

### 3.2.5 固型化物保管設備・搬出ヤード

固型化処理室から搬出された固型化物は、特定廃棄物埋立処分施設へ搬出するまでの間、角型収納容器（角型フレキシブルコンテナ）に収納・密封された状態で、保管棟1の保管ピット内に保管する。保管ピット側面には受入保管室と同様の厚さ30cmのコンクリート製遮へい壁を設置し、周辺の空間線量率の上昇を防ぐ。

固型化物の入った収納容器の運搬には、前面窓に鉛当量6.4mmの鉛ガラスを装着したフォークリフトを採用し、運転手の被ばく量を低減させている。

## 4. 放射線管理および周辺環境保全対策

本章では、固型化処理施設における放射線管理および周辺環境対策について説明する。

### 4.1 放射線管理

固型化処理施設内には、電離放射線障害防止規則およびダイオキシン類ばく露防止要綱に基づき、処理対象物が露出状態となり非密封線源として扱う「汚染管理区域」と、処理対象物や固型化物が容器に収納された状態で密封線源として扱う「非汚染管理区域」を設定しており（図6）、入退域管理を行うことで管理区域への立ち入りを管理・制限している。作業員は入退域時、IDカードを用いて本人確認および入退域時刻の記録を行い、管理区域内では区域に応じた保護具を着用する（写真9左）。汚染管理区域からの退域時には、簡易体表面モニタで汚染検査を行い身体汚染の有無を確認する（写真9右）。また、被ばく線量管理のため、光刺激ルミネセンス（OSL）線量計とアラーム機能付き直読式線量計（APD）を併用して携帯し、APDにより日々の作業



図6 管理区域の設定



写真9 汚染管理区域内での保護具着用状況（左）と退域時の汚染検査実施状況（右）

による被ばく線量データを退域時に記録する。これらのデータは放射線個人線量管理システムにより、累積被ばく線量、健康診断結果などとあわせてデータベース化し一元管理する。

作業員への放射線影響を連続的に監視するため、固型化処理施設内には13箇所のエリアモニタを設置し、各地点の空間線量率を常時モニタリングするとともに、空間線量率の定時計測を施設内30箇所で行っている。これらの値の推移は作業員に周知し、異常な上昇傾向等が見られた場合は、放射線管理責任者が各担当へ緊急指示を行う。

### 4.2 周辺環境保全対策

固型化処理施設の設置にあたっては、建物基礎部への遮水シート敷設や粉体・液体等の浸透を防止する床材の塗布による地下浸透防止対策や、給排水設備の地上配管による漏洩等の監視、地下調整池による洪水対策などの周辺環境保全対策を行っている。また、施設周辺の環境への影響を未然に防止するため、図7に示す地点において、騒音・振動など基本的な項目の監視のほか、大気や地下水等の放射能等の濃度や空間線量率の測定などの環境モニタリングを定期的に行っている。

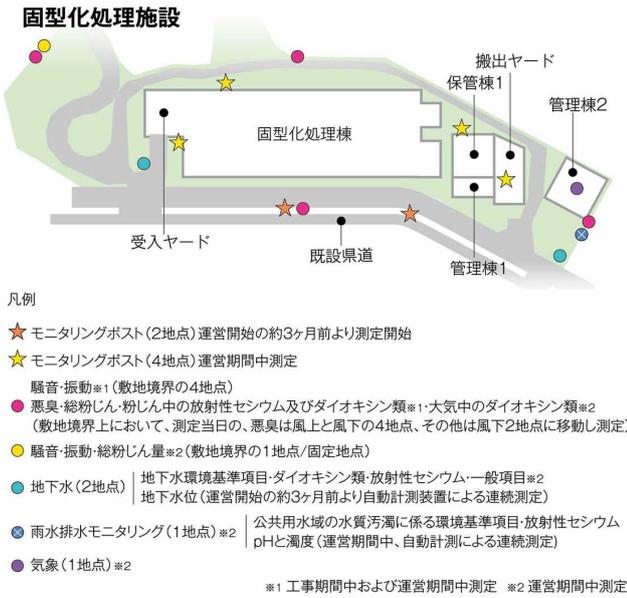


図7 周辺環境のモニタリング

## 5. 試運転による固型化処理設備の性能確認

固型化処理施設は、処理対象物の搬入から固型化物の搬出まで、固型化処理設備すべてが施設運営上の要求性能を満足することを試運転により確認する必要があった。そこで、2019年2月9日から3月8日の期間に試運転として、処理設備の系列(A系列、B系列)ごとに10日間の連続した処理運転を行い、一連の施設運営が可能であることを確認した。本章では、試運転の結果の概要について報告する。

### 5.1 固型化物の生成と品質

#### 5.1.1 使用材料

セメント固型化処理には高炉セメントB種(JIS R 5211)および水道水を使用した。また、混和剤として、コンクリート用早強剤(JIS A 6204)およびコンクリート用減水剤(JIS A 6204)を併用した。減水剤の選定に際しては、放射性セシウムを含む一般廃棄物焼却飛灰のセメント固型化

処理に関する研究<sup>4)</sup>の中で、種々の混和剤が検討された結果を参考にした。

#### 5.1.2 配合設計

処理対象物である焼却飛灰等は化学的・物理的性状が一定ではなく、NaCl等の塩化物も多く含むため、混練物中の不溶な固形分の質量・体積を正確に把握することは困難であると考えられた。そこで、配合設計は質量ベースで行うこととし、セメントや水の添加率(%)は処理対象物の乾燥質量(固形分)に対して、また、早強剤や減水剤の添加率(%)はセメント質量に対して、それぞれ設定することとした。なお、品質管理時には混練物の湿潤密度を測定することとしており、湿潤密度の測定値から、実績値としてコンクリート分野等で用いられる混練物単位体積あたりの配合量(kg/m<sup>3</sup>)を算出して確認することも可能である。

実際の処理における実施配合は、処理対象物ごとに事前に配合試験を実施し、設計強度(0.98MPa)および所要のワーカビリティが確保できる配合を確認して設定する。また、固型化処理中は毎日午前と午後の各1回、混練物を採取してミニランプ(JIS A 1171に準拠)、湿潤密度(JIS A 1116に準拠)、強度の確認を行うこととしており、混練物の性状や固型化物の発現強度およびその変動をきめ細かく把握し、日々、配合の改善にフィードバックすることとしている。

#### 5.1.3 一軸圧縮強度と配合例

固型化物の強度は、採取した混練物からJIS A 1132に準拠して直径5cm、高さ10cmの円柱供試体を作製し、所定期間現場養生した後、固型化処理棟内の試験室に設置したモルタル全自動圧縮試験機を用いて、JIS A 1108に準拠して一軸圧縮強度を測定する。試運転期間中の材齢3日(一部試料)および材齢7日(すべての試料)における一軸圧縮強度の頻度分布と、同日時に採取した供試体の材齢3日強度と材齢7日強度の関係を図8に示す。固型化物の一軸圧縮強度はすべて設計強度0.98MPaを満足しており、材齢3日強度と材齢7日強度は一定の相関関係を示した。

試運転期間中の配合の一例を表3に示す。なお、期間中

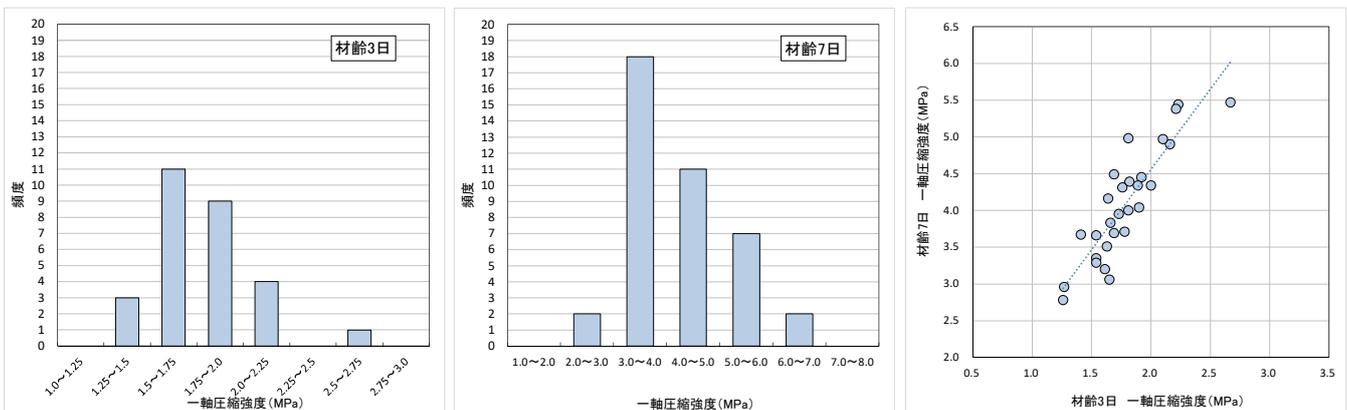


図8 一軸圧縮強度の頻度分布および材齢3日強度と材齢7日強度の関係

に生成した固型化物中の処理対象物の含有量は最大で 1,100 kg/m<sup>3</sup>程度であった。

表3 一軸圧縮強度と実績配合の例

日付	一軸圧縮強度 MPa		湿潤密度 (平均) kg/L	実績配合量(計算値) kg/m <sup>3</sup>		
	材齢3日	材齢7日		処理 対象物	セメント	水(混和 剤含む)
2019/3/8	午前	1.76	1.64	1109	242	289
	午後	1.90				

### 5.1.4 放射性セシウムの含有量および溶出量

試運転およびそれ以前に行った予備性能試験、性能試験において採取した試料で作製した供試体を用いて放射性セシウムの含有量および溶出量を測定した結果を表4に示す。測定は「放射能濃度等測定方法ガイドライン」(平成25年3月第2版)<sup>1)</sup>に従い、放射性セシウム溶出量は直径10cm、高さ20cmの円柱供試体を用いて測定した。Cs-137溶出量はすべての試料で性能目標値150 Bq/Lを満足した。また、Cs-137の溶出率(溶出操作は液固比(L/S)10で実施するため、溶出量(Bq/L)を含有量(Bq/kg)除したものを10倍して算出する)は、飛灰で6~8%程度、混合灰で0.5~2%程度であった。

### 5.1.5 重金属等の溶出量

前項と同じ試料を用いて、昭和48年環境庁告示第13号に方法に従い重金属等の溶出量を分析した結果を表5に示す。すべての試料で重金属等の溶出量は定量下限値未満となり、管理基準値を満足した。

表4 放射性セシウムに関する測定結果

試料 採取日	時間 帯	系列	試料 受渡日	試験 種別	試験種別	放射性セシウム含有量			放射性セシウム溶出量			溶出率 %
						Cs-134	Cs-137	合計	Cs-134	Cs-137	合計	
						Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/L	Bq/L	Bq/L	
2019/1/18	PM	A	2019/1/25 2019/2/15	予備 性能試験	飛灰	210	3000	3210	2.2	21	23	7.0
					260	3000	3260	1.1	18	19.1	6.0	
2019/1/23	AM	B	2019/1/30 2019/2/20	予備 性能試験	混合灰	280	3700	3980	ND	2.3	2.3	0.62
					270	3600	3870	ND	1.7	1.7	0.47	
2019/1/30	PM	A	2019/2/6	性能試験	飛灰	270	3500	3770	2.2	29	31.2	8.3
					320	4200	4520	0.61	8.6	9.21	2.0	
2019/2/4	AM	B	2019/2/13	性能試験	混合灰	310	3900	4210	2.5	33	35.5	8.5
2019/2/5	AM	B	2019/2/13	性能試験	飛灰	310	3900	4210	2.5	33	35.5	8.5
2019/3/4	AM	A	2019/3/8	試運転	飛灰	320	3900	4220	2.3	31	33.3	7.9

表5 重金属等の溶出量測定結果

試料 採取日	時間 帯	系列	試料 受渡日	試験 種別	試験種別	重金属等溶出量							
						項目	水銀	カドミウム	鉛	砒素	セレン		
						単位	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		
2019/1/18	PM	A	2019/1/25 2019/2/15	予備 性能試験	飛灰	不検出	<0.0005	<0.05	<0.009	<0.03	<0.05	<0.03	<0.03
					不検出	<0.0005	<0.05	<0.009	<0.03	<0.05	<0.03	<0.03	
2019/1/23	AM	B	2019/1/30 2019/2/20	予備 性能試験	混合灰	不検出	<0.0005	<0.05	<0.009	<0.03	<0.05	<0.03	<0.03
					不検出	<0.0005	<0.05	<0.009	<0.03	<0.05	<0.03	<0.03	
2019/1/30	PM	A	2019/2/6	性能試験	飛灰	不検出	<0.0005	<0.05	<0.009	<0.03	<0.05	<0.03	<0.03
					不検出	<0.0005	<0.05	<0.009	<0.03	<0.05	<0.03	<0.03	
2019/2/4	AM	B	2019/2/13	性能試験	混合灰	不検出	<0.0005	<0.05	<0.009	<0.03	<0.05	<0.03	<0.03
2019/2/5	AM	B	2019/2/13	性能試験	飛灰	不検出	<0.0005	<0.05	<0.009	<0.03	<0.05	<0.03	<0.03
2019/3/4	AM	A	2019/3/8	試運転	飛灰	不検出	<0.0005	<0.05	<0.009	<0.03	<0.05	<0.03	<0.03

### 5.1.6 固型化物の寸法

養生完了後、脱枠の際に固型化物の寸法を5mm単位で測定した。長さ(奥行き)と幅については型枠の寸法通りとなるため、容易に規定の寸法(1,100±10mm)を確保できる。一方、高さについては、混練物充填時の打設状況によりバラツキが生じないように、混練物の打ち止まり高さを970mmに設定して自動打設を行った。また、自動打設時に高さ異常があった場合は、中央操作室からの遠隔運転によって混練物の高さ調整を行った。その結果、すべての固型化物は規定の高さ(960~1,000mm)に収まり、その大部分は970~985mmの範囲であった(図9)。

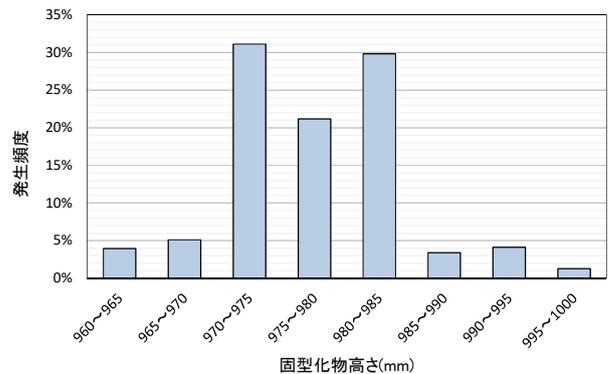


図9 固型化物の高さの頻度分布

### 5.2 固型化処理の実績実績

試運転期間中の各処理工程における実施実績について表6にまとめた。試運転期間中、各々の工程ではほぼ計画通りの処理が実施できており、試運転の目的である施設運営上の要求性能を満足することを確認した。

表6 工程別の試運転実施実績

工程	計画	実績	備考
受入	48袋/日	42または54袋/日	・2月18日は計画・実績ともに30袋
前処理	44袋/日	23~66袋/日 平均:50袋/日	・20日のうち17日は計画以上の袋数を処理
固型化	35袋/日	28~41袋/日 平均:36袋/日	・20日のうち18日は計画以上の袋数を処理 ・試運転期間の平均打設時間:7分44秒/袋 ・最短記録は3月1日の7分2秒/袋
脱枠・搬出	36袋/日	20~48袋/日 平均:34袋/日	・埋立処分施設への搬出は36袋/日(運搬JV担当)

### 5.3 作業環境および周辺環境測定

#### 5.3.1 作業環境

試運転期間中は粉じん、放射性セシウム、ダイオキシン類に関する作業環境測定を行い、作業環境・ばく露防止措

置の適否を検討した。

試運転初期の測定結果から、前処理室において粉じんの評価区分およびダイオキシン類の管理区分が第3区分と判定された。そこで、対策としてふるい機の間隙の密閉化やベルトコンベア出口部へのゴムのれん取り付け等の処置を行ったところ、最終的には粉じんに関しては第2区分、ダイオキシン類に関しては第1区分まで改善された。なお、作業員はダイオキシン類の第2区分に適合する防じん・防毒マスクを着用して作業を実施している。

一方、放射性セシウムに関する作業環境測定では、試運転期間を通じて、測定結果はすべての作業場所で検出限界値未満（検出限界値は Cs-134 :  $2 \times 10^{-5} \text{Bq/cm}^3$ 、Cs-137 :  $3 \times 10^{-5} \text{Bq/cm}^3$ ）であり、濃度限度（Cs-134 :  $2 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$ 、Cs-137 :  $3 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$ ）を満足した。

### 5.3.2 周辺環境

試運転期間中、図7(前章4.2)に示した各地点において、騒音、振動、悪臭、総粉じん、粉じん中の放射性セシウムおよびダイオキシン類、大気中のダイオキシン類、雨水排水中の公共用水域の水質汚濁に係る環境基準項目および放射性セシウムの測定を行った。その結果、すべての測定項目において、測定値が環境基準、濃度限度および目標値を満足していることを確認し、試運転による周辺環境への影響は見られなかった。

敷地境界6箇所(図10)の空間線量率について、処理対象物の受入開始前から測定したが、すべての地点において空間線量率の上昇傾向は認められなかった(図11)。

また、建屋集じん機の排気について測定した結果、ダイオキシン類が  $0.020 \text{pg-TEQ/m}^3$ 、放射性セシウムが検出限界値 ( $0.01 \text{Bq/m}^3$ ) 未満であり、環境基準 ( $0.6 \text{pg-TEQ/m}^3$ ) および濃度限度(前項と同値)を満足した。

## 6. まとめ

本報告では、当社JVが設計・設置した特定廃棄物セメント固型化処理施設における処理の流れと、安全で確実に処理を行うために各工程に導入されている無人化処理技術、環境対策設備について紹介した。また、2019年2月9日から同年3月8日にかけて行った固型化処理施設の試運転の結果、固型化処理設備のすべてが施設運営上の要求性能を満足するとともに、10日間の連続運転により搬入から搬出までの一連の運営が可能であることを確認した。

固型化処理施設では、試運転の結果をふまえて、2019年3月20日より施設の本格的な運転を開始している。固型化処理は2023年9月まで行い、その間に8.3万トンの処理対象物を固型化処理する計画(2017年6月時点)である。

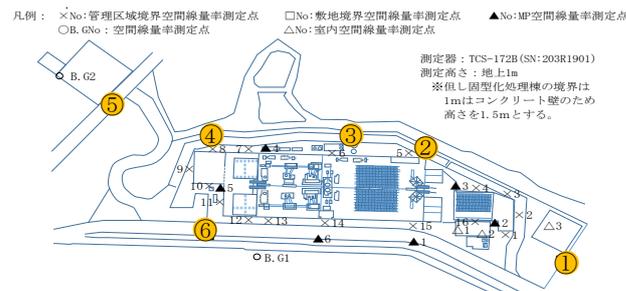


図10 敷地境界における空間線量率の測定点

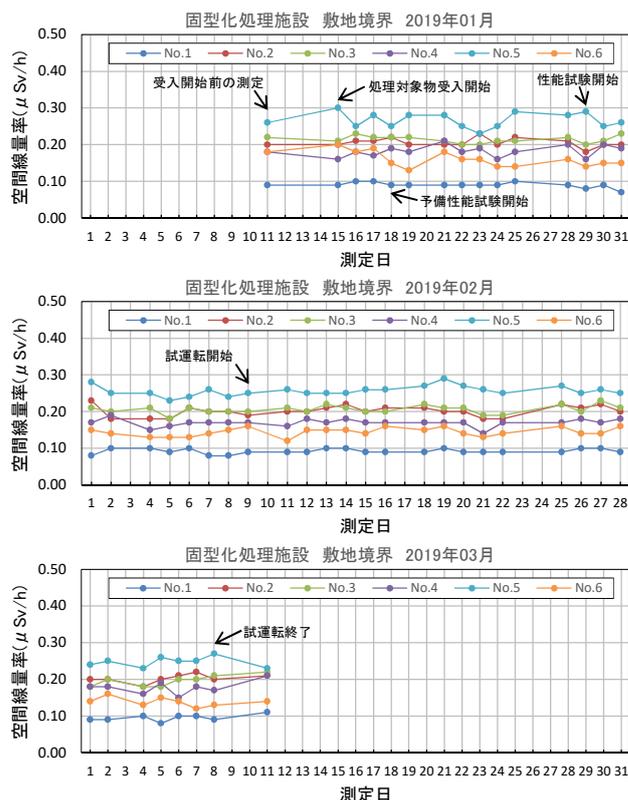


図11 空間線量率の推移

### 参考文献

- 1) 環境省：放射性物質汚染対処特措法、放射性物質汚染廃棄物処理情報サイト、  
[http://shiteihaiki.env.go.jp/radiological\\_contaminated\\_waste/guidelines/](http://shiteihaiki.env.go.jp/radiological_contaminated_waste/guidelines/) (2019年5月24日閲覧)
- 2) 遠藤和人：放射性物質汚染廃棄物の最終処分の現状と今後の展開、廃棄物資源循環学会誌、Vol. 30、No. 1、pp. 39-48、2019
- 3) 環境省：セメント固型化処理施設について、特定廃棄物の埋立処分事業情報サイト、  
[http://shiteihaiki.env.go.jp/tokuteihaiki\\_umetate\\_fukushima/cement\\_solidification\\_plant/](http://shiteihaiki.env.go.jp/tokuteihaiki_umetate_fukushima/cement_solidification_plant/) (2019年5月24日閲覧)
- 4) 杉橋直行、馬場勇介、遠藤和人：放射性セシウムを含む一般廃棄物焼却飛灰のセメント固型化処理に関する研究、土木学会論文集E2、Vol. 71、No. 1、14-28、2015