

廃棄物管理施設ガラス固化体貯蔵建屋  
下部プレナム等に係る調査等の実施計画に基づく  
調査報告書

**【最終報告書】**

2017年6月30日  
日本原燃株式会社



## 目 次

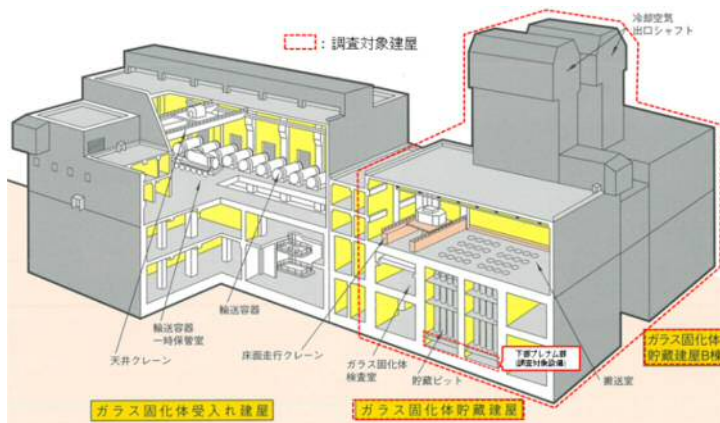
1.	はじめに.....	1
1.1	経緯.....	1
1.2	調査対象設備の概要.....	1
1.3	建屋竣工時期およびガラス固化体貯蔵状況.....	3
2.	実施計画書に基づく調査結果.....	3
2.1	施設の状態確認調査（現場調査）.....	3
2.2	変色部等の発生原因に係る調査結果.....	7
3.	調査結果に基づく変色部等の発生メカニズム.....	14
4.	その他の追加検討.....	17
5.	中長期健全性評価.....	19
5.1	事象の進展挙動.....	19
5.2	各部位の健全性評価.....	20
6.	処置・対策.....	21
7.	今後の予定.....	21

添付資料ー1	ガラス固化体貯蔵建屋の概要
添付資料ー2	ガラス固化体貯蔵状況と周辺工事状況（各貯蔵区域の調査開始前までのガラス固化体貯蔵状態）
添付資料ー3	各貯蔵区域の主な状態観察結果
添付資料ー4	各貯蔵区域の状態観察結果まとめ
添付資料ー5	部材表面のテープサンプルによる成分分析結果（SEM-EDS）
添付資料ー6	レプリカによる表面凹凸寸法測定
添付資料ー7	外部からの飛散物に係る調査
添付資料ー8	EB建屋とEB2建屋の違い
添付資料ー9	大気浮遊塵の付着メカニズム
添付資料ー10	A1溶射試験片の劣化加速試験
添付資料ー11	変色部発生の可能性に係る要因分析
添付資料ー12	相対湿度の評価
添付資料ー13	大気暴露試験結果
参考資料ー1	調査等スケジュール(調査実績を含む)

## 1. はじめに

### 1.1 経緯

本施設は、ガラス固化体受入れ建屋、ガラス固化体貯蔵建屋（以下、「EB建屋」という。）およびガラス固化体貯蔵建屋B棟（以下、「EB2建屋」という。）で構成される。（図－1 参照）



図－1 廃棄物管理施設 鳥瞰図

2015年4月24日、自主点検としてEB建屋第1貯蔵区域の下部プレナム全面を下部プレナム観察装置により観察していたところ、位置決め部材の一部に変色部が確認された。

当該部の分析結果より変色部が錆であることが判明し、本事象に対する指示文書「日本原燃株式会社廃棄物管理施設ガラス固化体貯蔵建屋の下部プレナム等における変色部や錆の発生に係る調査について（指示）」（平成27年9月2日 原規規発第1509026号）を受け、他貯蔵区域を含め調査を実施した。

調査は、2015年9月10日に原子力規制庁へ提出した「廃棄物管理施設ガラス固化体貯蔵建屋下部プレナム等に係る調査等の実施計画」（2016年9月30日一部改正）（以下、「実施計画書」という。）に基づいて実施しており、ガラス固化体を貯蔵する第1貯蔵区域から第4貯蔵区域について調査を実施し、各貯蔵区域の調査結果は『廃棄物管理施設ガラス固化体貯蔵建屋 下部プレナム等に係る調査等の実施計画に基づく経過報告書<sup>※1</sup>』（以下、「経過報告書」という。）にて報告を行なった。

本報告は、経過報告書の調査結果を踏まえ、確認された変色部の発生原因、中長期健全性、処置・対策および今後の対応について最終報告するものである。

### 1.2 調査対象設備の概要

廃棄物管理施設は、海外（仏国、英国）へ委託した使用済燃料の再処理に伴って発生する高レベル放射性廃棄物をステンレス鋼製容器にガラス固化したものを（以下、「ガラス固化体」という。）を海外から受入れ、最終的な処分に向けて搬出されるまでの30～50年間冷却・貯蔵管理する施設である。

※1：第4貯蔵区域に係る調査結果および評価：2015年10月16日報告  
第3貯蔵区域に係る調査結果および評価：2015年11月27日報告  
第2貯蔵区域に係る調査結果および評価：2016年9月30日報告  
第1貯蔵区域に係る調査結果および評価：2017年6月30日報告

ガラス固化体を貯蔵するガラス固化体貯蔵設備は、ガラス固化体自ら発生する崩壊熱によって生ずる通風力による間接自然空冷貯蔵方式を採用している。

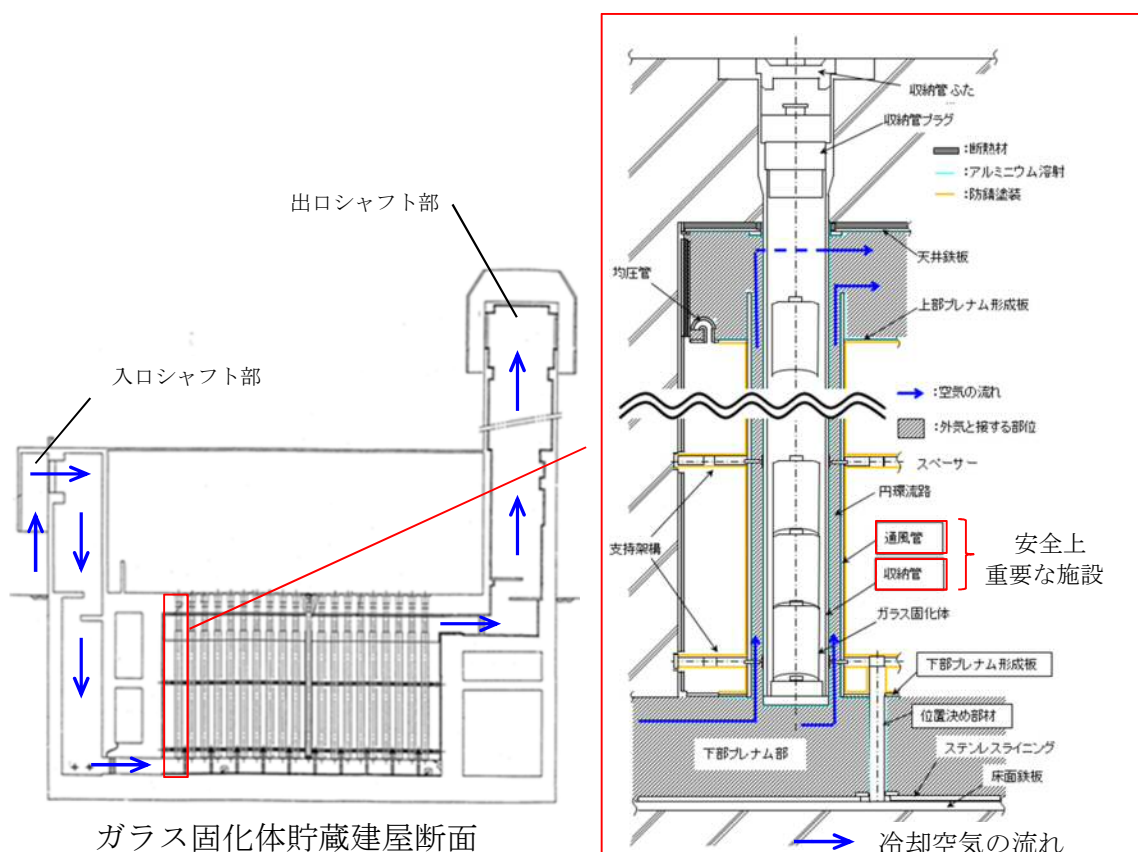
主に冷却空気入口シャフト（以下、「入口シャフト」という。）、ガラス固化体を貯蔵する収納管、通風管および収納管から形成されるガラス固化体冷却用空気（外気）が流れる間隙部（以下、「円環流路」という。）、冷却空気出口シャフト（以下、「出口シャフト」という。）で構成され、EB 建屋には第 1 および第 2 貯蔵区域、EB2 建屋には第 3 および第 4 貯蔵区域が収容され、最大 4 基の貯蔵容量を有する。また、収納管はガラス固化体を貯蔵するために円筒状の形状であり、貯蔵区域の天井スラブで懸架支持し、通風管との間にスペーサを設け、スペーサを介して支持架構に水平力が伝達される。通風管については支持架構に固定され、耐震性能を担保している。（表－1 および図－2 参照）

これらのうち、安全上重要な施設は収納管、通風管であり、位置決め部材は収納管、通風管の耐震支持機能を期待したものではない。

ガラス固化体貯蔵建屋の概要について添付資料－1 に示す。

表－1 ガラス固化体貯蔵設備の仕様

冷却方式	基数	構成	容量	寸法					主要材料
間接自然空 冷貯蔵方式	4基	収納管 80本/基	ガラス固化体 720本/基	長さ約26m × 幅約6m × 高さ約17m					炭素鋼 [冷却空気に触れる面にアルミニウム溶射を施工]
			ガラス固化体 9本/収納管	収納管			通風管		
				内径	外径	長さ	内径	長さ	
			約44cm	約46cm	約16m	約58cm	約12m		



### 1.3 建屋竣工時期およびガラス固化体貯蔵状況

EB 建屋は、1995 年竣工後、第 1 貯蔵区域からガラス固化体の貯蔵を開始し、2004 年から第 2 貯蔵区域への貯蔵を開始した。なお、2004 年まで冷却空気取入れ口側の掘削した地面の埋め戻しをしていなかった。

一方、EB2 建屋は、2011 年竣工後、2013 年から第 3 貯蔵区域への貯蔵を開始し、第 4 貯蔵区域については調査開始まで貯蔵されていなかった。

各貯蔵区域の竣工時期から調査開始までのガラス固化体貯蔵状況を表-2 に示す。詳細なガラス固化体貯蔵状況と周辺工事状況については添付資料-2 に示す。

表-2 下部プレナム調査開始までのガラス固化体貯蔵状況

		EB 建屋		EB2 建屋	
		第 1 貯蔵区域	第 2 貯蔵区域	第 3 貯蔵区域	第 4 貯蔵区域
竣工時期		1995 年 1 月		2011 年 4 月	
貯蔵状況	未貯蔵期間	9 ヶ月	9 年 2 ヶ月	2 年 0 ヶ月	4 年 2 ヶ月
	貯蔵作業期間	1995 年 10 月～ 2004 年 6 月	2004 年 3 月～ 2013 年 4 月	2013 年 4 月～	—
		(8 年 8 ヶ月間)	(9 年 1 ヶ月間)	(2 年 6 ヶ月～)	—
貯蔵期間	約 22 年	約 12 年	約 2 年	—	
貯蔵本数 (調査開始まで)		711 本	716 本	147 本	0 本

## 2. 実施計画書に基づく調査結果

実施計画書に基づき、ガラス固化体が貯蔵される各貯蔵区域において、ガラス固化体冷却用空気の流入箇所となる入口ルーバ、下部プレナム部床面、位置決め部材、下部プレナム形成板、円環流路および出口ルーバを対象として、施設の状態確認調査（現場調査）および変色部の発生原因に係る調査を実施した。

### 2.1 施設の状態確認調査（現場調査）

施設の状態確認調査として、現場において下部プレナム部の目視による外観観察、出口ルーバ、円環流路のファイバースコープによる外観観察、アルミニウム溶射（以下「A1 溶射」という。）膜厚測定、母材の肉厚測定を実施した。

各貯蔵区域における状態確認の調査期間は以下のとおり。

- ・第4貯蔵区域の調査期間：2015年 6月 4日～2015年 9月25日
- ・第3貯蔵区域の調査期間：2015年10月 5日～2015年10月29日
- ・第2貯蔵区域の調査期間：2016年 3月29日～2016年 8月24日
- ・第1貯蔵区域の調査期間：2017年 3月 6日～2017年 4月 7日

これまでの経過報告書にて報告したとおり、全貯蔵区域に対する状態確認調査の結果、変色部が確認されたものの、ガラス固化体冷却用空気の流路を閉塞するような形状の変化および異物等はなかった。

また、安全上重要な施設である収納管および通風管の母材厚さが十分な厚さを有していることを確認した。

以下に主な結果を示す。

#### (1) 目視による外観観察

各貯蔵区域の下部プレナム部の目視による外観観察の結果、冷却用空気の流路を閉塞するような形状の変化、異物等がないことを確認した。

また、各部位には変色部が確認されており、主な特徴は以下のとおり。

- ・ 収納管外側面に変色部はなかった。
- ・ 通風管下端部に変色部があり、特に第 3、第 4 貯蔵区域に多い傾向である。
- ・ 状態が進展している濃い変色部は、第 1、第 2 貯蔵区域の位置決め部材に限定される。

上記項目も含めた目視による各部位の外観観察結果および変色の傾向を表－3に示す。また、各貯蔵区域の変色部数を表－4に示す。

各貯蔵区域の主な状態観察結果を添付資料－3、各貯蔵区域の状態観察結果まとめについては添付資料－4に示す。

表－3 目視による外観観察結果

対象設備		結果
下部プレナム部床面		・第3、第4貯蔵区域と比較して、第1、第2貯蔵区域は床堆積物の量が多い。
収納管	外側面	・各貯蔵区域において、収納管外側面に変色部はない。
	底面	・第4貯蔵区域の一部にのみ変色部あり。
通風管		・通風管下端部に変色部あり。 ・第3、第4貯蔵区域は変色部が多い。
下部プレナム形成板		・各貯蔵区域に変色部を確認したが、変色部の数に大きな違いはない。
位置決め部材	側面	・第1貯蔵区域に濃い変色部あり。
	基部	・第1、第2貯蔵区域の位置決め部材に濃い変色部あり。
入口ルーバ		・冷却空気入口ルーバ表面上に変色部あり。

表－4 各貯蔵区域に確認された変色部数

調査対象設備			EB 建屋		EB2 建屋	
			第1貯蔵区域	第2貯蔵区域	第3貯蔵区域	第4貯蔵区域
通風管下端部	80本/基	2本	3本	40本	67本	
収納管	外側面	80本/基	0本	0本	0本	0本
	底面	80本/基	0本	0本	0本	9本 <sup>注)</sup>
下部プレナム形成板	全域/基	31箇所	29箇所	43箇所	21箇所	
位置決め部材	側面	20本/基	8本	18本	17本	19本
	基部	20本/基	5本	9本	9本	8本

<sup>注)</sup> 肉眼では見えづらい、点状の細かい変色部についても計数している。

## (2) ファイバースコープによる外観観察

出口ルーバ、円環流路の上部からの観察（上部から円環流路下端まで：5ヶ所／貯蔵区域）および下部（下端から高さ1.5mまで：全円環流路）を観察した結果、全貯蔵区域において流路を閉塞するような異物等は無かった。（添付資料－3 参照）



### (3) A1 溶射皮膜の膜厚測定

下部プレナムの各部位におけるA1溶射皮膜の膜厚測定の結果については表-5に示すとおり、濃い変色部が確認された位置決め部材の一部を除き、建設当時の管理値160 $\mu$ m以上の膜厚であることを確認した。

表-5 A1 溶射皮膜の膜厚測定結果

測定部位		膜厚 ( $\mu$ m)
通風管下端部		201~414
収納管	外側面	163~385
	底面	184~460
下部プレナム形成版		180~500
位置決め部材 <sup>注)</sup>	側面	160~500
	基部	160~500

<sup>注)</sup> 濃い変色部が確認された箇所を除く

### (4) 母材の肉厚測定

下部プレナムの各部位における母材の肉厚測定の結果については表-6に示すとおり、十分な厚さがあることを確認した。

なお、第1貯蔵区域から第4貯蔵区域の全位置決め部材80本のうち、第1貯蔵区域の位置決め部材1本について、濃い変色部が確認された基部における母材の肉厚測定を実施し、変色していない箇所との比較結果から若干肉厚の少ない箇所(減少量:約1.8mm)があることを確認したものの、母材は十分な厚さがあることを確認した。

表-6 母材の肉厚測定結果

測定部位		肉厚 (mm)
通風管下端部		10.4~12.2
収納管	外側面	11.5~12.9
	底面	50.2~52.2
下部プレナム形成板		8.9~10.7
位置決め部材	側面	11.8~14.3
	基部	10.8~14.6

## 2.2 変色部等の発生原因に係る調査結果

変色部等の発生原因に係る調査として、これまでの経過報告書で示しているとおり、付着の可能性が考えられることから、部材表面に付着した元素の確認を目的としたサンプル採取・分析、部材表面の変色部の除去可否の確認を目的とした洗浄液等による変色等の状態の確認、部材表面の付着物が外部由来であるかの確認を目的とした外部からの飛散物に係る調査を実施した。

なお、これまでの経過報告書で示しているとおり、変色部の発生原因として、鉄イオンの浸み出しによる変色も否定はできないと考えていることから、「4. その他の追加検討」において評価を行う。

主な調査結果は以下のとおり。

### (1) サンプル採取・分析

変色部の部材表面に粘着テープを貼り付けて採取した付着物のサンプル（以下、「テープサンプル」という。）を分析するとともに、母材腐食の評価を行うためレプリカによる表面凹凸寸法測定を実施した。

#### ①テープサンプルの採取および成分分析

各貯蔵区域において、変色部が確認された各部材表面のテープサンプルおよび成分分析を実施した。

テープサンプル採取の概要を図-3に示す。

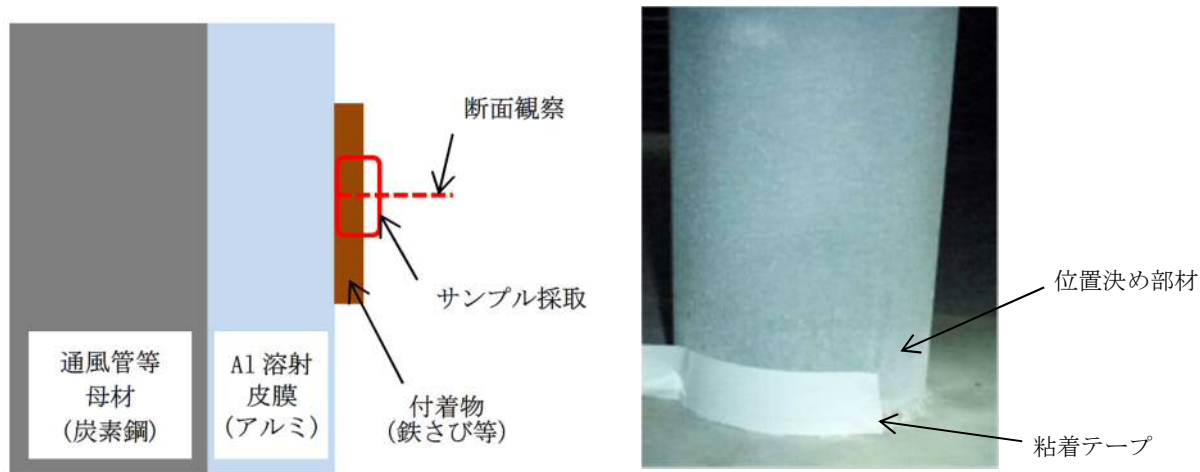


図-3 テープサンプル採取の概要

成分分析の結果、以下の特徴が確認された。

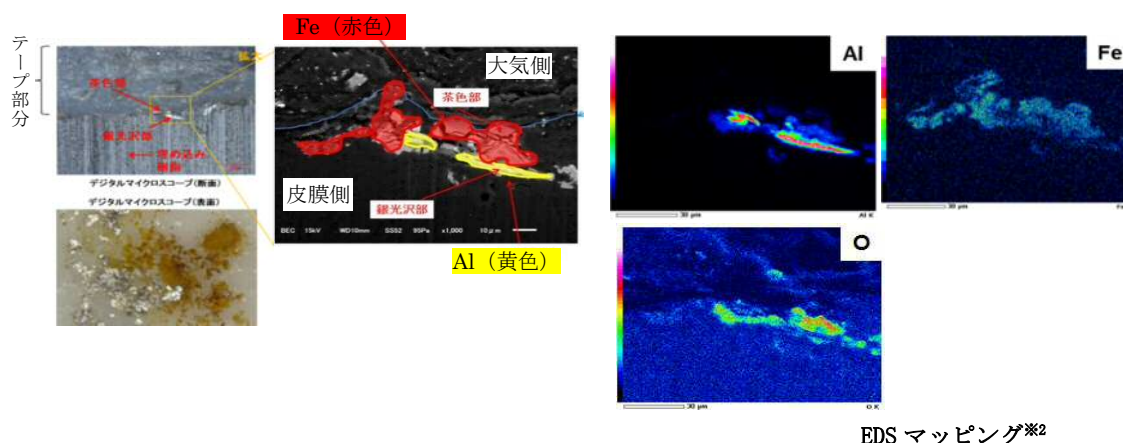
- ・ サンプル採取による元素分析等を行った結果、アルミニウム（A l）酸化物および鉄（F e）酸化物を確認。
- ・ A lは皮膜側に主に検出され、そのA lを覆うように大気側にF eを検出。
- ・ 微量なナトリウム（N a）、マグネシウム（M g）、硫黄（S）、塩素（C l）を確認。

変色部の各部材表面の成分分析結果より、下部プレナム構成設備には含まれない元素（N a、M g、C l）が検出されており、表-7 各部材に確認され

た元素、表－8 下部プレナムの構成設備に含まれる元素、表－9 一般的な外部由来の飛散物に含まれる元素を比較した結果、外部由来物質が付着していることが確認できる。

付着物による変色部の要因である鉄（F e）は、下部プレナム構成設備に含まれるものだが、図－4に示す各部材の変色部表面から採取したサンプルの断面観察結果より、大気側（テープ粘着面）から鉄（F e）、A lの順に成分を確認した。

部材表面のテープサンプルによる成分分析結果の詳細については添付資料－5に示す。



図－4 部材表面のテープサンプルによる断面観察結果

皮膜側にA lが確認されたことを踏まえると、変色部の要因となる鉄（F e）は、外部から持ち込まれた可能性が考えられる。

表－7 各部材表面に確認された元素

サンプル採取部位	検出された主な元素
収納管	A l、F e、S i、Z n、C a、 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">C l</span>
通風管	A l、F e、S i、Z n、C a、 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">C l</span> 、 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">N a</span> 、 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">M g</span> 、 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">S</span>
下部プレナム形成版	A l、F e、S i、Z n、C a、 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">C l</span> 、 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">M g</span> 、 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">S</span>
位置決め部材	A l、F e、S i、Z n、C a、 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">C l</span> 、 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">N a</span> 、 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">M g</span> 、 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">S</span>

 ：下部プレナム構成部材に含まれない共通元素

※2： EDS マッピング：走査型電子顕微鏡（SEM）にて画像観察する際、電子線を物質に照射すると蛍光X線が発生する。その中には元素固有の情報を持った特性X線が含まれている。これをエネルギー分散型検出器（EDS）にて検出し、そのエネルギーと強度を測定すると、物質を構成する元素を定性的に解析することが出来る。

表－8 下部プレナムの構成母材に含まれる元素

構成設備	部材		主な元素
<ul style="list-style-type: none"> <li>・収納管</li> <li>・通風管</li> <li>・上部、下部プレナム形成板</li> <li>・位置決め部材</li> </ul>	母材	炭素鋼	Fe
	保護皮膜	Al溶射皮膜	Al、O（大気側に酸化皮膜を形成）
		封孔処理剤（皮膜表面に塗布）	Si、Zn、Al
<ul style="list-style-type: none"> <li>・貯蔵区域躯体</li> </ul>	コンクリート		Ca、Si、Al、Fe
<ul style="list-style-type: none"> <li>・EB建屋 下部プレナム床面</li> <li>①床面鉄板</li> <li>②ステンレスライニング</li> </ul> （EB2建屋の下部プレナム床面は躯体コンクリートのみ）	炭素鋼（躯体上に鉄板を敷設）		Fe
	ステンレス鋼（床面鉄板上に敷設）		Fe、Cr、Ni
<ul style="list-style-type: none"> <li>・入口ルーバ</li> <li>・出口ルーバ</li> </ul>	ステンレス鋼		Fe、Cr、Ni

表－9 一般的な外部由来の飛散物に含まれる元素

由来物質	主要含有元素
大気浮遊塵※3	Na、Al、Si、K、Ca、Fe、Mg、Zn、Ti… （存在比の高い順）
海塩粒子※4	Cl、Na、S、Mg、Ca、K、C、… （存在比の高い順）
融雪剤	Mg、Na、Ca、Cl

□：下部プレナム構成部材に含まれない共通元素

※3 平成27年度微小粒子状物質（PM2.5）成分分析 調査結果，青森県，2015

※4 H. J. M. Bowen, Environmental Chemistry of the Elements, Academic Press (1979)

## ②レプリカによる表面凹凸寸法測定

母材の腐食に起因する錆が発生する場合、A1溶射皮膜の消耗が進展し露出した母材が腐食することで腐食生成物（錆）となり体積膨張するものと考えられる。（図-5参照）

鉄が1mm腐食すると2.3mm膨張するとの知見<sup>※5</sup>があり、数百 $\mu\text{m}$ ～数mmの有意な凹凸差がなければ、A1溶射皮膜表面のみが変色していると考えられる。

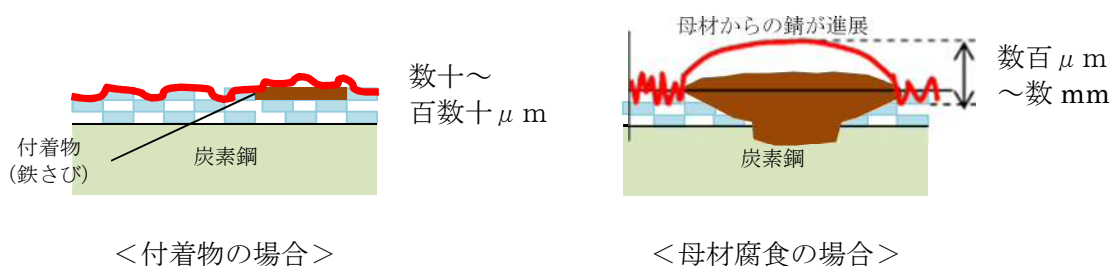


図-5 変色部の凹凸概念図

このため、通風管、下部プレナム形成板の変色部に対して、変色部と周辺部をレプリカ採取用樹脂で型取りし、レプリカ表面の凹凸を三次元計測装置にて測定した。

変色部と周辺部との凹凸の傾向を評価した結果、各貯蔵区域において凹凸に有意な差はなく（63 $\mu\text{m}$ ～137 $\mu\text{m}$ 程度）、腐食によるものと推定される凹凸は確認されなかったことから、母材の腐食生成物に起因する体積膨張はないものとする。

レプリカによる表面凹凸寸法測定結果を添付資料-6に示す。

なお、第1および第2貯蔵区域の位置決め部材に確認された濃い変色部については、後述する「4. その他の追加検討」において評価する。

※5 「さび厚と腐食深さの相関関係に基づく腐食環境の定量評価に関する基礎的研究 土木学会第64回年次学術講演会（平成21年9月）」




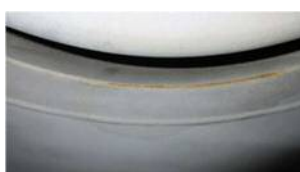
## (2) 洗浄液等による変色部の除去可否

外部由来の付着物による変色部である場合、表面洗浄による除去が可能であると考え、通風管、位置決め部材、下部プレナム形成板に確認された変色部の代表箇所について洗浄液による表面洗浄を実施した。

通風管の変色部の洗浄にあたっては、A1 溶射皮膜への影響を考慮し中性タイプ洗浄液を使用し繊維ブラシおよび布でふき取りを実施した。また、位置決め部材についてはワイヤブラシによる変色部の除去を実施した。

A1 溶射皮膜を損傷するおそれがあることから、皮膜の凹部にある変色部を取り除くほどの洗浄は避けた。その結果、凹部以外の大部分の変色部は除去することができた。(図-6 参照)

図-6 変色部の表面洗浄結果

	第4貯蔵区域 No.66 通風管	第1貯蔵区域 No.11 通風管
洗浄前		
洗浄後		

## (3) 外部からの飛散物に係る調査結果

下部プレナムに確認された変色部は、「(1) サンプル採取・分析」に示すとおり、外部からの飛散物付着による可能性が考えられることから、下部プレナムに流入する空気の流れに沿って、建屋周辺土壌の分析、入口シャフト下の大気浮遊塵測定、入口ルーバのふき取りによる分析、下部プレナム床堆積物の分析を行い、付着物の発生由来について評価を行った。外部からの飛散物に係る調査結果を表-10に示す。

各調査の結果、流入する外気(浮遊塵)には金属粒子が含まれており鉄(Fe)およびA1のほか、カルシウム(Ca)、カリウム(K)、ナトリウム(Na)、硫黄(S)等の成分が多く含まれていることを確認した。

また、周辺土壌に含まれる成分と下部プレナム床堆積物との分析結果を比較したところ、元素構成比率はおおむね同程度であり、Feを含む外部飛散物は下部プレナム内に流入しているものと考えられる。

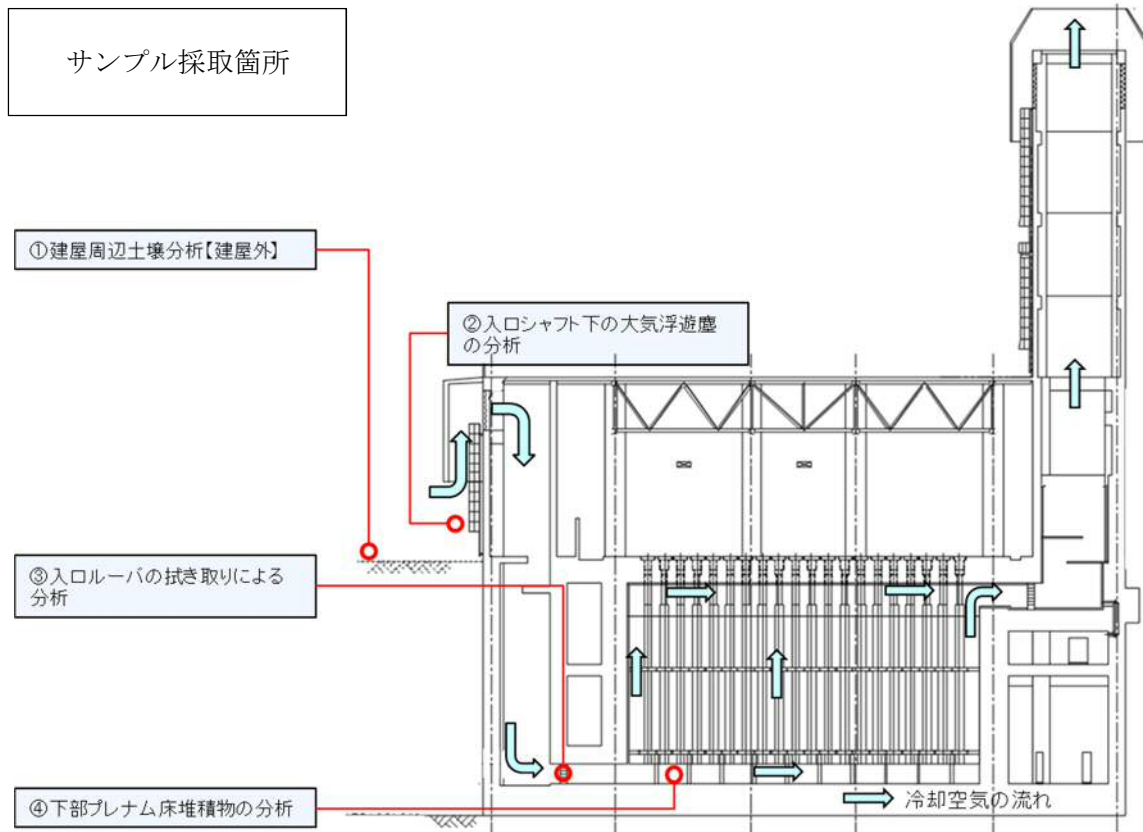
さらに、テープサンプルと外部飛散物の成分を比較した結果、海塩粒子および融雪剤成分の流入を考慮すると成分比率が概ね一致し、下部プレナム内に外部飛散物が流入しており、各部に付着する一つの由来成分として考えられる。

外部からの飛散物に係る調査の詳細については添付資料-7に示す。

表-10 外部からの飛散物に係る調査結果

調査項目	分析方法	調査結果
①建屋周辺土壌の分析	蛍光X線分析	・変色部のテープサンプルと成分比率は異なっていたものの、大気浮遊塵等に含まれる構成元素であるFe、 <span style="border: 1px solid black;">Na</span> 、 <span style="border: 1px solid black;">K</span> 、Si、Al、Ca等を検出。
②入口シャフト下の大気浮遊塵測定	ICP質量分析法 ICP発光分光分析法	・Fe、 <span style="border: 1px solid black;">Na</span> 、 <span style="border: 1px solid black;">Mg</span> 、 <span style="border: 1px solid black;">S</span> 、Al、Ni、Caを検出。 ・季節に応じて外気に含まれる大気浮遊塵の量にばらつきが生じる。春季から大気浮遊塵量が増加する傾向。
③入口ルーバの拭き取りによる分析	ICP発光分光分析法	・付着物が入口ルーバ由来であるかの確認を目的として、Fe、Cr、Niの比率分析をした結果、Feの割合が多いことを確認した。
④下部プレナム床堆積物の分析	蛍光X線分析	・Fe、 <span style="border: 1px solid black;">Na</span> 、 <span style="border: 1px solid black;">Cl</span> 、Si、Ca、Al等を検出。
【比較】テープサンプルにより変色部に確認された主な元素		・Al、Fe、Si、 <span style="border: 1px solid black;">Mg</span> 、 <span style="border: 1px solid black;">Na</span> 、 <span style="border: 1px solid black;">S</span> 、 <span style="border: 1px solid black;">Cl</span> 、Ca、Zn

: 下部プレナム構成部材に含まれない元素



#### (4) 建屋毎の付着傾向の違いに対する調査

外観目視の調査結果より、変色部はEB2 建屋通風管下端部に多いこと、また、第1、第2 貯蔵区域に床堆積物が多い傾向があることから建屋毎に付着傾向の違いについて確認を行なった。その結果、以下のような評価ができると考える。

- ・EB2 建屋の通風管下端部に変色部が多いことに対する評価

EB2 建屋では2011年の建屋竣工時に埋め戻しされていたことから、EB2 建屋において時間あたりの大気浮遊塵等の流入量が多く、付着による変色が多くなった可能性がある。

一方、EB 建屋側の冷却空気入口下部の埋め戻しエリアは、1995年の建屋竣工から2004年まで埋め戻していなかったことから、EB 建屋において時間あたりの大気浮遊塵等の流入量が少なく、付着による変色が少なくなった可能性がある。

- ・EB 建屋に床堆積物が多いことに対する評価

EB 建屋はEB2 建屋に比べ竣工時期が早いため、経過年数による大気浮遊塵等の堆積量に違いが生じたことから、EB 建屋に床堆積物が多くなったものと考えられる。

上記のEB 建屋とEB2 建屋の違いについては添付資料－8に示す。

#### (5) 変色部等の発生原因に係る調査のまとめ

サンプル採取・分析、外部からの飛散物に係る調査結果から、変色部表面に付着している成分は、土壌成分を含む大気浮遊塵、海塩粒子および融雪剤等の外部由来の成分があることを確認した。

また、過去の建屋の土壌埋め戻し時期やガラス固化体の貯蔵状況が、建屋毎の付着傾向の違いに影響しているものと考えられる。



### 3. 調査結果に基づく変色部等の発生メカニズム

変色部の発生原因に係る調査における各貯蔵区域の共通的な傾向として、通風管下端部に変色部が見られている。

このため、下部プレナムに流入する空気の流れ解析を行い、その解析結果を基に当該部位に付着しやすいメカニズムについて検討を行った。

#### (1) 貯蔵区域内の結露状態確認

現場調査期間中、図-7のとおり各部材に結露が発生する場面があることを確認しており、相対湿度の評価を実施した結果、ガラス固化体貯蔵率が少ない段階では結露が生じることを確認している。



第4貯蔵区域 2015年8月  
(下部プレナム内で結露が発生)



第2貯蔵区域 2016年8月  
(位置決め部材表面に結露を確認)

図-7 下部プレナムに確認された結露状態

#### (2) 貯蔵区域内の空気の流れ解析

上記に記載したとおり、貯蔵区域内では結露が生じることがあり、結露が存在する状態と貯蔵区域内の空気の流れが付着に影響するものと考えられることから、円環流路内を含む貯蔵区域内の空気の流れについてEB2建屋をモデルに表-11に示す解析条件にて確認した。

- ・ 解析モデル：EB2 建屋 (第3、4貯蔵区域)
- ・ 解析プログラム：有限体積法流体解析プログラム (Fluent)

表-11 空気の流れ解析に係る主な解析条件

項目	設定値	備考
外気温度	25℃	冷却空気入口温度は夏季に一日の平均湿度が100%を観測した青森県内のデータを基にして25℃とした。
流入境界条件	圧力0Pa 固定	冷却空気出口シャフト上空に10m/sの横風が吹いた際の吸い上げ効果を考慮した圧力境界条件とした。
流出境界条件	圧力-36Pa 固定	・貯蔵区域あたりの質量流量：86,200kg/hr (全数貯蔵された質量流量と同等)

解析による空気流線図から、円環流路に流入した空気は下端部から旋回するように上昇していることを確認した。(図-8 参照)

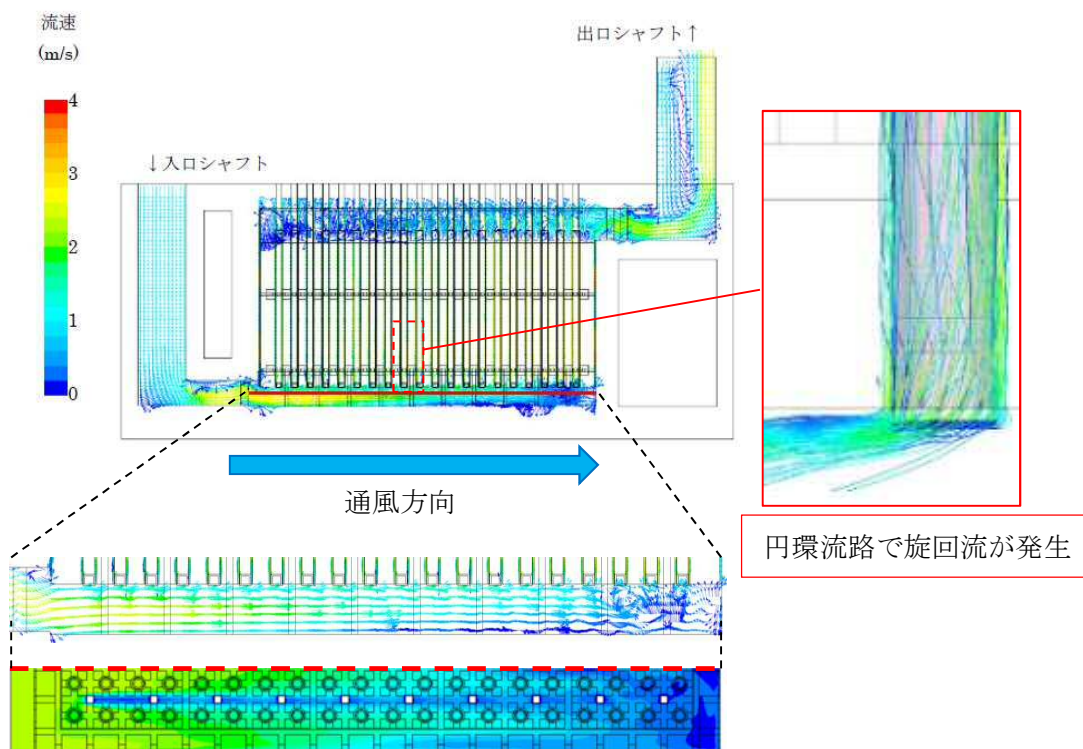


図-8 貯蔵区域の空気流線図

(3) 通風管下端部で想定される付着メカニズム

通風管下端部の付着メカニズムは、以下のとおりと考える。(図-9 参照)

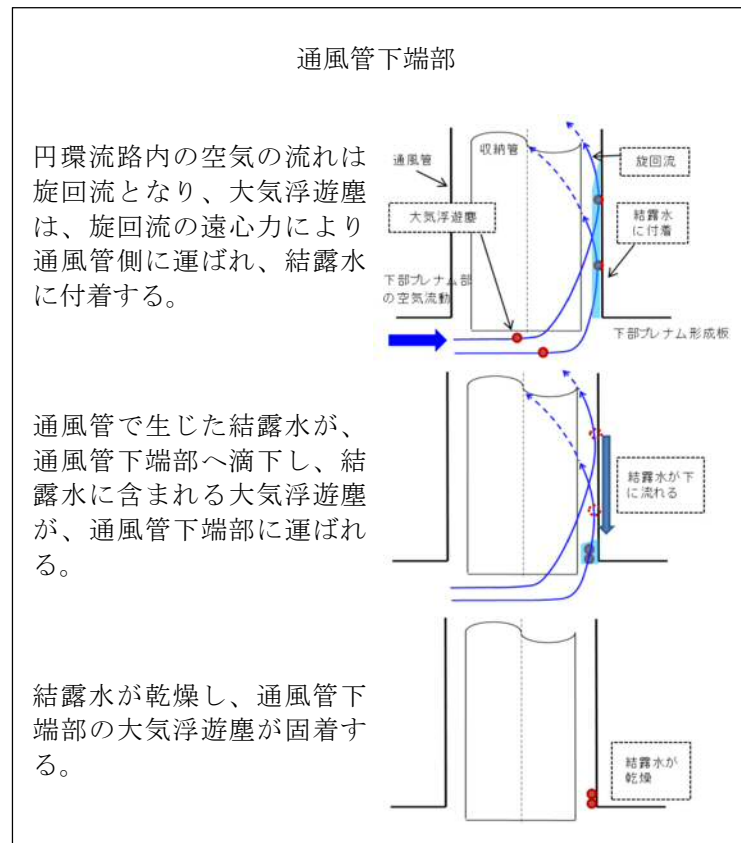


図-9 通風管下端部で想定される付着メカニズム

(4) 解析結果を踏まえた結論

上記の解析結果のほか、第 3、第 4 貯蔵区域においては、ガラス固化体が貯蔵されていない状態での結露発生を確認していること、通風管側面に変色部が確認されていないことを総合的に勘案すると、想定した付着メカニズムと整合すると考えられる。

また、収納管、下部プレナム形成板、位置決め部材については特徴的な傾向は見られなかった。

大気浮遊塵の付着メカニズムについては添付資料-9に示す。

#### 4. その他の追加検討

これまでの調査結果より、変色部の発生原因は外部由来による付着であると考えられるが、他の発生原因も含め評価を実施した。

##### (1) 鉄イオンの浸み出しに係る評価

ガラス固化体が未貯蔵の場合、収納管、通風管共に結露が発生する環境下となるため、鉄イオンの浸み出しによる変色が発生したとすると、双方に変色部が確認されるはずである。

一方、施設の状態確認調査において、収納管外側面には変色部は確認されておらず、通風管下端部の限定的な箇所に変色部が確認されている調査結果を踏まえると変色部の発生原因は、付着によるものと考えられる。

その他、変色部の発生原因に係る調査の一環として、鉄イオンの浸み出しによる変色部の発生可否について、A 1 溶射試験片の劣化加速による再現性試験にて確認した。

下部プレナム内環境を模擬した劣化加速試験として、複合サイクル試験機による塩乾湿を繰り返す環境を模擬した劣化加速試験（加速期間約 10 年相当）を実施した。

主な試験条件は以下のとおり。

- ・50～160  $\mu\text{m}$  の A 1 溶射試験片（母材までの傷の有り、無し）
- ・塩分を含んだ水溶液の噴霧、乾燥、湿潤を繰り返す（1 サイクル 8hr）
- ・サイクル期間は最大 100 サイクル（約 10 年相当）

複合サイクル試験機による劣化加速試験では、50～160  $\mu\text{m}$  の A 1 溶射試験片において、鉄イオンの浸み出しや腐食による変色は確認されず、母材まで傷を付与した部分はさびが発生したものの、A 1 部分が優先して酸化することで犠牲防食効果を発揮している様子が確認された。

A 1 溶射試験片の劣化加速度試験の詳細については添付資料－10 に示す。

以上より、変色部の状態確認調査および再現試験の結果を踏まえると、今回の事象において、収納管側に変色が無かったことから、鉄イオンの浸み出しによる変色の発生の可能性は小さいと考える。

##### (2) 位置決め部材に確認された濃い変色部に係る評価

第1、第2貯蔵区域において、外観観察の結果、位置決め部材に濃い変色部が確認されており、その外観からは、母材腐食の可能性が考えられる。位置決め部材は、貯蔵区域における耐震強度を担保する部材ではないが、腐食に係る調査の一環として次の確認を実施した。

JISに規定される「引張密着性試験」を参考として、当該変色部の皮膜を剥離させ採取したサンプルの断面観察を行なった結果、酸化Alと酸化鉄が混在している状態であった。これは、腐食した母材の鉄(Fe)がAl溶射皮膜中に残存している状態であり、母材腐食であると考えられる。

なお、皮膜のサンプル採取により剥離部分については原状復旧としてAl溶射を再施工している。

位置決め部材基部の変色部が進展する要因として塵埃、海塩粒子等が流入し、床面に蓄積し、下部プレナムの構造から下部プレナム床勾配の水下側かつ冷却空気の通風方向の風下側に結露水と共に流れて蓄積しやすい傾向があり、それらの蓄積により、湿潤時間が長期化し、腐食が進展すると考えられる。

調査中に確認した結露の発生状況の写真および付着イメージ図を図-10に示す。



図-10 下部プレナムに確認された結露状態および付着イメージ図

第1および第2貯蔵区域に確認された位置決め部材の濃い変色部は、湿潤環境が長く維持される要因が重なることで、腐食が促進される環境に進展したものと推定される。

### (3) 変色部の発生原因に係る要因分析検討

濃い変色部およびそれ以外の変色部について、母材由来の物質によるものかまたは外部由来の物質によるものか各要因を洗い出し、検討した。

その結果、発生要因としては外部由来成分が付着して変色している可能性があり、鉄イオン浸み出しによる変色の可能性は小さいと考えられる。

変色部の発生原因に係る要因分析の詳細については添付資料-11に示す。

## 5. 中長期健全性評価

これまでの調査結果、評価結果および発生原因の考察を踏まえ、廃棄物管理施設の中長期の健全性確保に係る評価を行った。

### 5.1 事象の進展挙動

これまで述べた発生原因の考察を踏まえ、中長期健全性について以下のとおり検討した。

#### (1) 相対湿度の評価

ガラス固化体の貯蔵状態をパラメータとして、貯蔵区域における冷却空気中の湿分の結露を考慮した解析を実施した。

解析結果より、ガラス固化体貯蔵量の増加に応じて相対湿度が低下し、結露の発生が減少することを確認している。

収納管外表面、通風管内表面、下部プレナム形成板における主な傾向は以下のとおり。

- ・貯蔵率 0% の場合は、結露が生じる可能性がある
- ・貯蔵率 25% 以上の場合は結露が生じにくくなる

相対湿度の評価については添付資料－12 に示す。

#### (2) 確認された変色部の進展挙動

##### ① 付着物（鉄さび）による A1 溶射皮膜への影響

付着物（鉄さび）による A1 溶射皮膜への影響を確認するため、大気暴露試験を実施した。

主な試験条件は以下のとおり。

- ・ A1 溶射を施工した試験片（傷有り、無し）に鉄さび付着を模擬
- ・ 屋内および屋外（降雨により洗い流し、海塩の影響を確認）

その結果、付着物（鉄さび）を付与した約半年間の大気暴露試験においても、顕著な腐食は確認されず、付着物（鉄さび）が皮膜に対して影響を与えないことを確認している。

大気暴露試験の詳細については添付資料－13 に示す。

また、文献<sup>※6</sup>において、25 年間の大気暴露においても A1 溶射の犠牲防食効果が働く状態が保たれていたことも確認されている。

---

※6 中山元、篠崎一平、額額知己、榊原洋平、押川渡、「25 年間大気暴露した A1 溶射鋼の耐候性評価」材料と環境 2017

## ② 湿潤状態

ガラス固化体貯蔵率の増加に伴い、下部プレナム内の雰囲気温度も上昇するため、湿潤環境は緩和されていく。

ガラス固化体の貯蔵率がある程度確立されている現状から、下部プレナム内の環境状況は緩和されていくものとする。

なお、位置決め部材基部に関しても同様に、さらにA1溶射皮膜に対して厳しい環境に進展する要因となる堆積物の除去ならびに確認された濃い変色部に対して、A1溶射皮膜の再施工を施していることから、早期に状態が進展することは考え難い。

## 5.2 各部位の健全性評価

廃棄物管理施設は、今後も返還ガラス固化体の受入れを予定しており、当該ガラス固化体の受入れ後から約30年～50年間貯蔵する必要がある。

前項の今後想定される変色部の進展挙動を踏まえ、長期的な健全性について以下のとおり評価した。

収納管、通風管および下部プレナム形成板の変色部は、外部飛散物の付着によるものと考えられ、結露による湿潤環境が維持されなければA1溶射皮膜への影響はない。

なお、収納管、通風管および下部プレナム形成板は構造上、下部プレナム内の上部に位置するため、外部飛散物が堆積する位置決め部材基部とは環境条件が異なる。さらにガラス固化体の貯蔵により湿潤環境は緩和されることから、長期健全性は維持されると考える。

位置決め部材は、建設時に支持架構を設置するために用いたものであり、安全上重要な収納管、通風管の耐震支持機能を期待したものではない。

このため、変色部が進展した場合においても、貯蔵区域に要求される耐震機能には影響がないことから、貯蔵区域の長期健全性は維持される。

なお、以下の保守的な評価を実施している。

解析条件は以下のとおり。

- ・ 基準地震動 $S_s$ （最大加速度700ガル）
- ・ 位置決め部材と床面の拘束点を解除
- ・ 位置決め部材の重量を考慮

解析の結果、支持架構の耐震支持部材に発生する応力は全て許容値以下であり、安全上重要な施設である収納管、通風管の支持機能へ影響を与えることはないため、位置決め部材に期待しなくても貯蔵区域の中長期健全性は維持される。

## 6. 処置・対策

これまで述べたとおり、収納管、通風管、形成板の変色部は、外部飛散物の付着によるものと考えられることから、中長期健全性に影響を及ぼすものではないと判断する。

さらにガラス固化体の貯蔵により、結露の発生は緩和されることから、プレナム内の環境は改善されると考える。

なお、位置決め部材は、変色部が進展したとしても、貯蔵区域に要求される耐震機能に影響しないことから、貯蔵区域の中長期健全性は維持され、現在、下部プレナム内に残っている変色部を含め、処置および対策は不要と考えている。

## 7. 今後の予定

今後もガラス固化体の受入れを予定しており、ガラス固化体の貯蔵本数は増えることから、結露の発生はより緩和される状態となる。

なお、ガラス固化体貯蔵設備の健全性が維持されていることを確認するために計画的に以下の観察を実施する。

- これまで実施している第1貯蔵区域を代表としたファイバースコープによる円環流路、入口ルーバおよび出口ルーバの観察および遠隔観察装置による下部プレナム観察に加え、収納管、通風管および円環流路を評価対象とした観察について各貯蔵区域調査完了から5年以内を目安に行なう。  
なお、観察結果を踏まえて観察頻度を見直すものとする。
- 観察方法としては、遠隔にて操作できる観察装置を各貯蔵区域の下部プレナム部に投入し目視等による観察を行う。  
第1貯蔵区域においては貯蔵区域の下部プレナム部に遠隔観察装置による観察が可能な設備となっている。しかし、第2～第4貯蔵区域においては現状、遠隔観察を実施できないため、次回観察までに装置を設置することを計画する。
- 観察の結果、保修等の必要が生じた場合には、当該貯蔵区域のガラス固化体を別の場所へ移動して空にした後に下部プレナム部に入域し、適切な処置を施すこととする。

以上