

人工バリアシステムの設計オプションの検討

原子力発電環境整備機構
（株）大林組土木技術本部
NAGRA

非会員
正会員
非会員

梅木博之，内藤守正，植田浩義
河村秀紀，中岡健一，○松田 武
I.G.McKinley, F.B.Neall

1. はじめに

「第2次取りまとめ」で検討された処分場概念における地下施設主要部の占有面積は，主としてベントナイト緩衝材の熱的制約（100℃）により決定されその規模は4～7km²となっている。

本検討では，一体のオーバーパックの中にガラス固化体を複数個格納する概念，オーバーパックと緩衝材をモジュールとして製作する概念（PEM: Prefabricated Engineered Module）を提案することで，より集約的な処分場レイアウトの可能性を追求し，処分場立地の柔軟性を高めることを目標としている。

解析的検討として，オーバーパックにガラス固化体を複数個格納した場合，ベントナイト温度上昇に及ぼす影響を明確にするため，第2次取りまとめで扱われているレファレンス概念に基づいて熱解析を行い，ベントナイトの最高温度とその時間的な変化を求めた。また PEM を含め，複数格納の廃棄体の製作および操業プロセスの概略検討を行い，レファレンス概念との比較を実施した。

2. 対象廃棄体

ガラス固化体の収納形態は，図-1 に示す6つの Case を対象とする。Case 1～3 に示す収納形態は，ガラス固化体1～3本を直列配置としたもので，Case 4, 5 に示す収納形態は，ガラス固化体3本をそれぞれ並列に配置した概念である。Case 6 に示す収納形態は，ガラス固化体をオーバーパック，ケイ砂，ベントナイトおよび鋼製ハンドリング・シェルで構成するプレハブ式人工バリアモジュール（PEM）である。

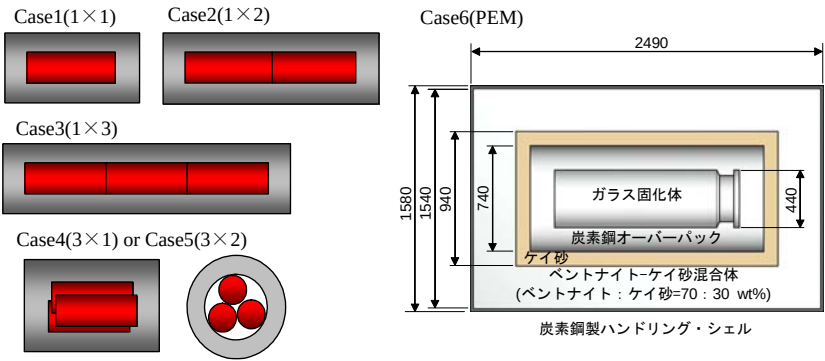


図-1 ガラス固化体の収納形態と PEM 概念

表-1 解析用物性値

	熱伝導率 Wm ⁻¹ K ⁻¹	比熱 kJkg ⁻¹ K ⁻¹	密度 kgm ⁻³	出典
廃棄体	51.6	0.47	7860.0	第2次取りまとめでの オーバーバックの値
ハンドリング シェル	51.6	0.47	7860.0	第2次取りまとめでの オーバーバックの値
緩衝材	湿潤	0.78	1712.0	第2次取りまとめ(含水 比 7%)
	乾燥	0.44	1600.0	w=0%
埋戻し材	0.78	0.59	1712.0	第2次取りまとめ
硬岩	2.8	1.0	2200.0	第2次取りまとめ
ケイ砂	0.78	0.59	1712.0	埋戻し材と同じ

3. 解析条件と解析手法

廃棄体レイアウトは，図-2 に示すように廃棄体が長くても施設形状に影響が少ない坑道横置き方式を対象とし，処分坑道間隔は13.32m，廃棄体間隔は1.4mを基本とする。各材料の解析用熱物性を表-1 に示す。

廃棄体，緩衝材，PEM，埋戻し材の初期温度は，第2次取りまとめの解析結果の定置直後における廃棄体および緩衝材から温度から推定して45℃とする。地盤の初期温度と廃棄体発熱特性は第2次取りまとめのデータを用い，解析には熱伝導解析コードであるADINA-Tを使用する。

4. 解析結果

定置後からオーバーパックに接した緩衝材の温度の時系列変遷と最高温度を図-3 および表-2 に示す。

キーワード：高レベル放射性廃棄物，地層処分，処分場概念，熱解析，人工バリアシステム，PEM

連絡先 1)〒108-0014 東京都港区芝4丁目1番23号 原子力発電環境整備機構 技術部 TEL 03-4513-1114

2)〒108-8502 東京都港区港南2丁目15番2号 (株)大林組土木技術本部技術第四部 TEL 03-5769-1309

Case1 以外は最高温度が 100℃を超える結果となった。Case2,3,6 では最高温度は約 120℃前後でその継続時間は 100 年前後である。これらの温度を前提に Case1 を基準とした場合の廃棄体専有面積割合を図-4 に示す。Case によって異なるが 30%～70%小さくなる。

表-2 各ケースにおける緩衝材と岩盤の最高温度(℃)

	緩衝材		岩 盤		廃棄体専有面積	
	最高温度	期間	最高温度	期間	専有面積	廃棄体密度比
Case1	98.2		81.5		41.7 m ²	1.0 倍
Case2	117.5	74	96.2		29.8 m ²	1.4 倍
Case3	127.7	113	104.0	46	25.8 m ²	1.6 倍
Case4	184.2	650	152.7	550	13.9 m ²	3.0 倍
Case5	236.9	1625	195.9	1625	9.9 m ²	4.2 倍
Case6	104.9	31	81.0		41.7 m ²	1.0 倍

5. 緩衝材の熱的制約への考察

湿潤および乾燥状態でのベントナイトの熱的特性に対する現状の知見は以下にまとめられる。

<湿潤状態：多くの実験データより>

- ①<130℃：緩衝材性能に有害な影響はない。
- ②130～150℃：顕著なセメンテーションの可能性はあるが、文献データでは水理特性についての軽微な影響のみ示唆している。
- ③150～200℃：データが乏しいが、セメンテーションとイライトの増大が予想される。

<乾燥状態：限定された情報より>

- ①<300℃：可逆性の脱水が予想される。低湿潤量ならば、影響を無視してよいと推定できる。
- ②>300℃：構造水の損失は、非可逆的な構造崩壊を引き起こす可能性がある。

以上の知見から、ベントナイト緩衝材の熱的制約は確実な品質管理の下でクリアーできる見通しが得られた。

6. 結論

本検討で提案した人工バリアシステムの設計オプションを用い、ベントナイトの熱的特性に関する現状の知見を導入することで、地下施設の占有面積を大きく削減できる見通しが得られた。また PEM の概念を用いるとその効果はさらにますことがわかった。これらの検討結果から、今後様々なサイト環境条件に対して処分場立地の柔軟性を高めることが期待できる。操業の観点からは、複数のガラス固化体を一体のオーバーパックに収納することで、想定される廃棄体のハンドリング回数を半減できる可能性がある。一方、寸法、重量の増加で操業時の設備等での検討が必要となるが、類似仕様の廃棄体を対象とした海外の操業検討事例から実現性には大きな課題はないと判断している。さらに PEM の概念を導入することで、高温多湿環境でのベントナイト定置にかかわる作業をスキップでき、初期の品質を確実に保障することで、長期性能に関する不確実性を小さくすることが可能である。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構(1999): わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ - 分冊2 地層処分の工学技術, JNC TN1400 99-022.

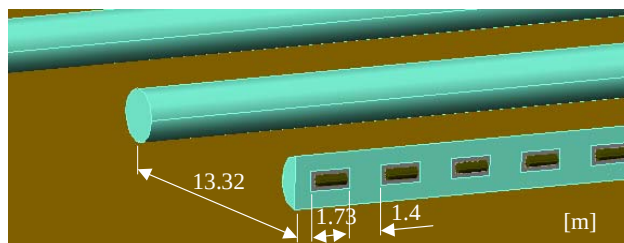


図-2 廃棄体レイアウト例示 (PEM)

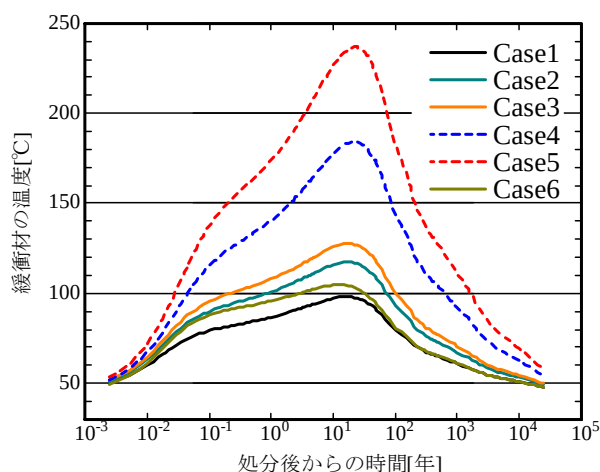


図-3 各処分形態における緩衝材の温度変化

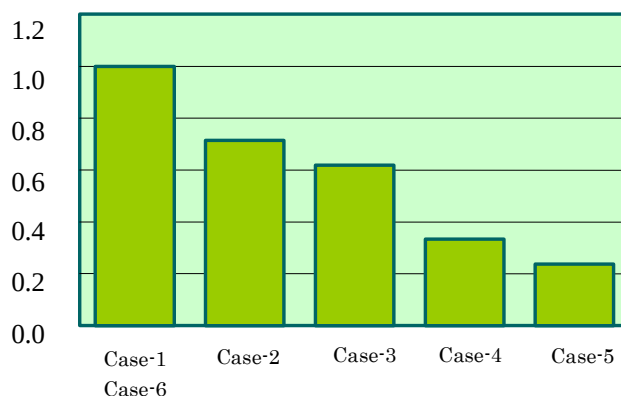


図-4 レファレンスを基準とした専有面積割合