

廃棄物埋設施設における  
許可基準規則への適合性について

第十条 廃棄物埋設地のうち第四号

(廃止措置の開始後の評価)

廃棄物埋設地の状態設定

-影響事象分析-

2020年5月

日本原燃株式会社

## 目 次

1. はじめに.....	1
2. 検討内容.....	1
(1) 各バリアに期待する性能.....	1
(2) FEP の整理.....	2
(3) 影響事象分析.....	3
3. 検討結果.....	3
4. 参考文献.....	15

添付資料1 影響評価により影響なしと判断した根拠

参考資料1 IAEA ISAM 及び廃棄物安全小委員会報告書の人工バリアに関する FEP リスト

## 1. はじめに

廃止措置の開始後の評価に際しては、廃棄物埋設施設の人工バリア及び天然バリアの機能の状態の変化を十分に把握し、その変化を適切に評価に反映する。

人工バリア及び天然バリアの機能に係る物理的・化学的状態の長期的な変化を予測し、長期的な廃棄物埋設地等の状態を設定する(状態設定)に当たって、廃棄物埋設施設の設計において、安全機能のうち長期的な機能を期待する移行抑制機能に影響する可能性のある事象を体系的に分析した結果を説明する。

分析に当たっては、各部材相互の影響事象を熱、水理、力学及び化学の観点で整理する。影響事象については、OECD/NEA<sup>(1)(2)</sup>、廃棄物安全小委員会<sup>(3)</sup>及びIAEA<sup>(4)</sup>で整理されたFEPを参考に、網羅的・包括的に検討し、抽出・整理を行う。

## 2. 検討内容

### (1) 各バリアに期待する性能

覆土完了後に期待する移行抑制機能は、放射性物質の移行する量を低減又は遅延させる機能であり、この機能を期待できる性能としては、低溶出性、低拡散性、低透水性及び収着性がある。

これらのうち1号、2号及び3号廃棄物埋設施設の各バリアに期待する性能は低透水性と収着性とし、影響事象分析における前提条件とする。各バリアに期待する性能を第1表に示す。

第1表 各バリアに期待する性能

バリア(部材)	性能	安全機能の内容
難透水性覆土、 下部覆土*1	低透水性	ベントナイト混合土を用いた難透水性覆土及び下部覆土に対して低透水性を期待することにより、施設通過流量(廃棄物埋施設への浸入水量及び廃棄物埋施設上部並びに生活環境への地下水の流出)をできるだけ低下させる。また、比較的透水性の大きい覆土側への施設浸入地下水の流出割合を低減する。
岩盤(鷹架層)		岩盤(鷹架層)の低透水性によって、廃棄物埋施設への地下水浸入量の低減を期待するとともに、生活環境までの放射性物質の移行遅延を期待する。
セメント系材料 (廃棄体の固型化材、 埋設設備)	収着性	セメント系材料、難透水性覆土、上部覆土及び岩盤(鷹架層)の収着性を期待することにより、廃棄物埋施設からの放射性物質の漏出量を低減し、移行を遅延させる。  基本的に収着性が大きい方が移行抑制効果は大きい が、土地(土壌)の利用が想定される場合は、収着性が小さい方が線量低減に寄与する場合もある。
難透水性覆土		
上部覆土		
岩盤(鷹架層)		

\*1：下部覆土は土質系材料であり収着性を期待できるが、難透水性覆土又は下部覆土の一方に収着性を期待することで十分であることから、保守側に下部覆土の収着性は考慮しない。

## (2) FEPの整理

廃止措置の開始後の評価における評価シナリオ選定においては、廃棄体、廃棄物埋設地及び周囲の地質環境条件について網羅されたFEP(Features, Events, Processes)からスクリーニング作業によって安全評価において考慮すべき影響事象を抽出する。

ピット処分である1号、2号及び3号廃棄物埋施設のFEPリストは、廃棄物埋施設の対象廃棄体、施設形状、浅地中処分施設独自の特徴を考慮しつつ、以下のFEPを参考にピット処分のFEPリストを作成した。

- ① OECD/NEAの国際FEPリスト<sup>(1)(2)</sup>
- ② 廃棄物安全小委員会報告書のFEPリスト<sup>(3)</sup>
- ③ IAEA-ISAMのFEPリスト<sup>(4)</sup>

作成したピット処分におけるFEPリストを第2表に示した。本FEPリストは、廃棄物安全小委員会報告書のFEPのうち、セメント系材料及びベントナイト系材料が用いられる人工バリア(緩衝材/埋め戻し材、プラグ・グラウト・支保工)のFEP(参考資料1「IAEA ISAM

及び廃棄物安全小委員会報告書の人工バリアに関する FEP リスト」を参照。)を網羅した  
ものとなっている。

なお、第 2 表に示す FEP のうち、核種移行現象・特性(放射線分解を除く。)はバリア機  
能に直接影響するものではないため評価モデルの検討に際して考慮すること、施工不良に  
ついては適切な品質管理が行われることから、影響事象より除外する。また、人間活動に  
ついては生活環境の状態設定において考慮する。

### (3) 影響事象分析

実際の処分システムでは、外部事象及び内部事象に関連する様々な事象が相互に関連  
しあっているが、設計・評価に当たって、全ての事象を考慮する必要は必ずしもなく、  
移行抑制機能に係る重要なものを適切に考慮すれば良い。重要な事象を選定する方法と  
して、「2. (1) 各バリアに期待する性能」に示した各バリアに期待する性能に着目して考  
慮すべき事象の絞り込みを行った。

具体的には、熱(T)、水理(H)、力学(M)及び化学(C)の観点からマトリクス形式の表を  
整理し、影響元となる部材(外部事象を含む。)の特性、そこで生じる事象やプロセスに  
よって、対象とする各バリアに期待する性能に影響するか否かを分析した。分析の際に  
は第 2 次 TRU レポートの FEP 辞書<sup>(6)</sup>等を参考とした。

## 3. 検討結果

影響事象分析表を第 3 表～第 6 表に示した。この分析の結果から、状態設定において考  
慮すべき影響事象として、以下を抽出した。これらの事象については、廃棄物埋設地の状  
態設定において適切に考慮することとする。

### a) 熱

- ・第 3 表に示すとおり考慮すべき影響事象はない

### b) 水理

- ・各部材の水理特性
- ・各部材の地下水流動(→地下水との反応)
- ・各部材の飽和(不飽和)(→地下水流動)
- ・液状化(覆土)
- ・隆起

- ・海水準変動
- ・気温、降水量、蒸発散量、かん養量、地下水位
- ・侵食

c) 力学

- ・各部材の力学特性
- ・各部材の応力
- ・廃棄体中の金属廃棄物及び容器の腐食(→応力、破壊とひび割れ、変形)
- ・埋設設備中の鉄筋の腐食(→応力、破壊とひび割れ、変形)
- ・上記の腐食に伴うガス発生(→応力、破壊とひび割れ、変形)
- ・各部材の破壊とひび割れ
- ・廃棄体、充填材、埋設設備、難透水性覆土及び下部覆土の変形
- ・地震
- ・液状化(覆土)
- ・侵食

d) 化学

- ・各部材の化学特性
- ・各部材中の地下水化学
- ・各部材の地下水との反応
- ・各部材の化学的変質
- ・廃棄体中の金属廃棄物及び容器の腐食(→地下水化学)
- ・埋設設備中の鉄筋の腐食(→地下水化学)
- ・廃棄体の固型化材、充填材、埋設設備の溶脱
- ・各部材中の有機物影響
- ・各部材中の微生物影響
- ・各部材中でのコロイド形成
- ・降下火砕物
- ・表流水・地下水の水質

なお、抽出した影響事象のうち、ガス発生の影響、地震による影響、液状化(覆土)の影響、コロイド影響、微生物影響のうちガス発生、微生物影響のうち金属腐食の促進及び降下火砕物(化学)の影響については、設計を踏まえた影響評価を行った結果、影響を無視できる

と判断した(添付資料1「影響評価により影響なしと判断した根拠」を参照。)

第2表 ピット処分におけるFEPリスト(1/2)

環境 分類	廃棄体層(充填材・ポーラスコンクリート層含む)		埋設設備(底版、外周仕切設備、内部仕切設備、覆い)		ベントナイト混合土層(難透水性覆土、下部覆土*)		覆土(上部覆土)		母岩(岩盤)	
	ID	FEP	ID	FEP	ID	FEP	ID	FEP	ID	FEP
熱的現象・特性	WT01	廃棄体層の熱特性	CT01	埋設設備の熱特性	BT01	ベントナイト混合土層の熱特性	XT01	覆土の熱特性	RT01	母岩の熱特性
	WT02	廃棄体の崩壊熱	CT03	セメント系材料の水和熱	BT04	ベントナイト混合土層の温度	XT04	覆土の温度	RT04	母岩の温度
	WT03	セメント系材料の水和熱								
	WT04	廃棄体層の温度	CT04	埋設設備の温度	BT05	ベントナイト混合土層の熱膨張	XT05	覆土の熱膨張	RT05	母岩の熱膨張
	WT05	廃棄体層の熱膨張	CT05	埋設設備の熱膨張						
現象・特性 水理的	WH01	廃棄体層の水理特性	CH01	埋設設備の水理特性	BH01	ベントナイト混合土層の水理特性	XH01	覆土の水理特性	RH01	母岩の水理特性
	WH02	廃棄体層の地下水流動	CH02	埋設設備の地下水流動	BH02	ベントナイト混合土層の地下水流動	XH02	覆土の地下水流動	RH02	母岩の地下水流動
	WH03	廃棄体層の飽和	CH03	埋設設備の飽和	BH03	ベントナイト混合土層の飽和	XH03	覆土の飽和	RH03	母岩の飽和
力学的現象・特性	WM01	廃棄体層の力学特性	CM01	埋設設備の力学特性	BM01	ベントナイト混合土層の力学特性	XM01	覆土の力学特性	RM01	母岩の力学特性
	WM02	廃棄体層の応力	CM02	埋設設備の応力	BM02	ベントナイト混合土層の応力	XM02	覆土の応力	RM02	母岩の応力
	WM03	廃棄体層の破壊とひび割れ	CM03	埋設設備の破壊とひび割れ	BM03	ベントナイト混合土層の破壊とひび割れ	XM03	覆土の破壊とひび割れ	RM03	母岩のクリープ
	WM04	廃棄体層の変形	CM04	埋設設備の変形	BM04	ベントナイト混合土層の変形	XM04	覆土の変形	RM04	EDZの進展
化学的現象・特性	WC01	廃棄体層の化学特性	CC01	埋設設備の化学特性	BC01	ベントナイト混合土層の化学特性	XC01	覆土の化学特性	RC01	母岩の化学特性
	WC02	廃棄体層の地下水化学	CC02	埋設設備の地下水化学	BC02	ベントナイト混合土層の地下水化学	XC02	覆土の地下水化学	RC02	母岩の地下水化学
	WC03	廃棄体層の地下水との反応	CC03	埋設設備の地下水との反応	BC03	ベントナイト混合土層の地下水との反応	XC03	覆土の地下水との反応	RC03	母岩の地下水との反応
	WC04	廃棄体層の化学的変質	CC04	埋設設備の化学的変質	BC04	ベントナイト混合土層の化学的変質	XC04	覆土の化学的変質	RC04	母岩の化学的変質
	WC05	金属廃棄物、容器の腐食 充填材とコンクリートの溶脱	CC05	鉄筋の腐食	BC07	ベントナイト混合土層の侵食性イオン影響	XC07	覆土の侵食性イオン影響	RC07	母岩の侵食性イオン影響
	WC06		埋設設備の溶脱							
	WC07	廃棄体層の侵食性イオン影響	CC07	埋設設備の侵食性イオン影響	BC08	ベントナイト混合土層の微生物影響	XC08	覆土の微生物影響	RC08	母岩の微生物影響
	WC08	廃棄体層の微生物影響	CC08	埋設設備の微生物影響	BC09	ベントナイト混合土層の有機物影響	XC09	覆土の有機物影響	RC09	母岩の有機物影響
	WC09	廃棄体層の有機物影響	CC09	埋設設備の有機物影響	BC10	ベントナイト混合土層のコロイド形成	XC10	覆土のコロイド形成	RC10	母岩のコロイド形成
	WC10	廃棄体層のコロイド形成	CC10	埋設設備のコロイド形成	BC11	ベントナイト混合土層のガス発生影響	XC11	覆土のガス発生影響	RC11	母岩のガス発生影響
	WC11	廃棄体層のガス発生影響	CC11	埋設設備のガス発生影響						



第2表 ピット処分におけるFEPリスト(2/2)

環境 分類	廃棄体層(充填材・ポーラスコンクリート層含む)		埋設設備(底版、外周仕切設備、内部仕切設備、覆い)		ベントナイト混合土層 (難透水性覆土、下部覆土*1)		覆土 (上部覆土)		母岩 (岩盤)	
	ID	FEP	ID	FEP	ID	FEP	ID	FEP	ID	FEP
現象・放射線学的 ・特性	WR01	廃棄体層での核種の放射線崩壊	CR01	埋設設備での核種の放射線崩壊	BR01	ベントナイト混合土層での核種の放射線崩壊	XR01	覆土での核種の放射線崩壊	RR01	母岩での核種の放射線崩壊
	WR02	廃棄体層の地下水の放射線分解	CR02	埋設設備の地下水の放射線分解	BR02	ベントナイト混合土層の地下水の放射線分解	XR02	覆土の地下水の放射線分解	RR02	母岩の地下水の放射線分解
現象・核種移行 ・特性	WN01	廃棄体層の物質移動特性	CN01	埋設設備の物質移動特性	BN01	ベントナイト混合土層の物質移動特性	XN01	覆土の物質移動特性	RN01	母岩の物質移動特性
	WN02	廃棄体層の幾何形状・間隙構造	CN02	埋設設備の幾何形状・間隙構造	BN02	ベントナイト混合土層の幾何形状・間隙構造	XN02	覆土の幾何形状・間隙構造	RN02	母岩の幾何形状・間隙構造
	WN03	廃棄体層の核種移行	CN03	埋設設備の核種移行	BN03	ベントナイト混合土層の核種移行	XN03	覆土の核種移行	RN03	母岩の核種移行
	WN04	移流／分散	CN04	移流／分散	BN04	移流／分散	XN04	移流／分散	RN04	移流／分散
	WN05	拡散	CN05	拡散	BN05	拡散	XN05	拡散	RN05	拡散
	WN06	収着	CN06	収着	BN06	収着	XN06	収着	RN06	収着
	WN07	沈殿溶解	CN07	沈殿溶解	BN07	沈殿溶解	XN07	沈殿溶解	RN07	沈殿溶解
	WN08	コロイド移行	CN08	コロイド移行	BN08	コロイド移行	XN08	コロイド移行	RN08	コロイド移行
	WN09	ガスによる移行	CN09	ガスによる移行	BN09	ガスによる移行	XN09	ガスによる移行	RN09	ガスによる移行
						XN10	臨界	RN10	臨界	
施工不良	WQ01	廃棄体層の製作・施工不良	CQ01	コンクリートの製作・施工不良	BQ01	ベントナイト混合土層の製作・施工不良	XQ01	覆土の製作・施工不良	RQ01	調査用ボーリング孔のシール不良

\*1：下部覆土にベントナイト混合土を用いない場合は覆土として取り扱う

第3表 影響事象分析表(熱(T))

影響元		影響先		固型化材、充填材、埋設設備 (収着性)	難透水性覆土、下部覆土 (低透水性)	難透水性覆土 (収着性)	上部覆土 (透水性)	上部覆土 (収着性)	岩盤 (低透水性)	岩盤 (収着性)	
熱	廃棄体	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体に含まれる放射性物質の崩壊熱(WT02)は、埋設対象の廃棄体に含まれる放射性物質の量が少なく、廃棄体層の温度(WT04)は、その熱特性(WT01)を踏まえると、セメント系材料の熱による化学的変質(WC04, CC04)が生じる温度(約 60℃)よりも十分小さいため、影響は生じない。</li> <li>廃棄体は発電所で製作されるため固型化時の水和熱(WT03)の影響は生じない。</li> </ul>									
	充填材	<ul style="list-style-type: none"> <li>充填材の充填時に水和熱(WT03)が発生するが、放射性物質の移行は水和熱(WT03)が低下した後に生じること、安全機能は水和後のセメント系材料の特性に期待しているため、影響は生じない。</li> <li>建設時のセメント系材料の水和熱(WT03)が低下した後に難透水性覆土及び下部覆土を施工するため、影響は生じない。</li> <li>建設時のセメント系材料の水和熱(WT03)が低下した後に上部覆土を施工するため、影響は生じない。</li> <li>建設時のセメント系材料の水和熱(WT03)が低下した後に上部覆土を施工するため、影響は生じない。</li> <li>建設時のセメント系材料の水和熱(WT03)が低下した後に上部覆土を施工するため、影響は無視できる。</li> <li>建設時のセメント系材料の水和熱(WT03)の影響は、コンクリートの極近傍に限定されるため、影響は無視できる。</li> </ul>									
	埋設設備(底版、外周仕切設備、内部仕切設備、覆い)	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート構築時に水和熱(CT03)が発生するが、放射性物質の移行は水和熱(CT03)が低下した後に生じること、安全機能は水和後のセメント系材料の特性に期待しているため、影響は生じない。</li> <li>建設時のセメント系材料の水和熱(CT03)が低下した後に難透水性覆土及び下部覆土を施工するため、影響は生じない。</li> <li>建設時のセメント系材料の水和熱(CT03)が低下した後に上部覆土を施工するため、影響は生じない。</li> <li>建設時のセメント系材料の水和熱(CT03)が低下した後に上部覆土を施工するため、影響は無視できる。</li> <li>建設時のセメント系材料の水和熱(CT03)の影響は、コンクリートの極近傍に限定されるため、影響は無視できる。</li> </ul>									
	難透水性覆土、下部覆土	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱による影響は生じないため、水和熱(WT03)、熱特性(CT01)、温度(CT04)、熱膨張(CT05)を考慮する必要はない。</li> <li>発熱しないので、熱特性(BT01)、温度(BT04)、熱膨張(BT05)を考慮する必要はない。</li> </ul>									
	上部覆土	<ul style="list-style-type: none"> <li>発熱しないので、熱特性(XT01)、温度(XT04)、熱膨張(XT05)を考慮する必要はない。</li> </ul>									
	岩盤・地下水	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤の温度(RT04)(地温・水温)の変動範囲は、セメント系材料の熱による化学的変質(WC04, CC04)が生じる温度ではなく、発熱もしないため、影響は生じない。</li> <li>岩盤の温度(RT04)(地温・水温)の変動範囲は、セメント系材料の熱による化学的変質(BC04)が生じる温度ではなく、発熱もしないため、影響は生じない。</li> <li>岩盤の温度(RT04)(地温・水温)の変動範囲は、セメント系材料の熱による化学的変質(XC04)が生じる温度ではなく、発熱もしないため、影響は生じない。</li> <li>岩盤の温度(RT04)(地温・水温)の変動範囲は、上部覆土の熱による化学的変質(XC04)が生じる温度ではなく、発熱もしないため、影響は生じない。</li> <li>岩盤の温度(RT04)(地温・水温)の変動範囲は、岩盤の熱による化学的変質(RC04)が生じる温度ではなく、発熱もしないため、影響は生じない。</li> <li>岩盤の温度(RT04)(地温・水温)の変動範囲は、岩盤の熱による化学的変質(RC04)が生じる温度ではなく、発熱もしないため、影響は生じない。</li> </ul>									
	自然事象	火砕物密度流(NP02)	<ul style="list-style-type: none"> <li>火砕物密度流は周辺の火山の活動履歴より、当該事象が生じる可能性があるのは1万年以降であるため考慮しない。</li> </ul>								

第4表 影響事象分析表(水理(H))(1/2)\*1

影響元 先	影響	固化材、充填材、埋設設備 (収着性)	難透水性覆土、下部覆土 (低透水性)	難透水性覆土 (収着性)	上部覆土 (透水性)	上部覆土 (収着性)	岩盤 (低透水性)	岩盤 (収着性)	
水理	廃棄体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体及び充填材の水理特性(WH01)、地下水流動(WH02)、飽和/不飽和(WH03)は、埋設設備内の水理特性及び化学特性に関係し、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体及び充填材の水理特性(WH01)、地下水流動(WH02)、飽和/不飽和(WH03)は、難透水性覆土及び下部覆土内の水理特性及び化学特性に関係し、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体及び充填材の水理特性(WH01)、地下水流動(WH02)、飽和/不飽和(WH03)は、難透水性覆土内の水理特性及び化学特性に関係し、難透水性覆土の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体及び充填材の水理特性(WH01)、地下水流動(WH02)、飽和/不飽和(WH03)は、覆土内の水理特性及び化学特性に関係し、上部覆土の透水性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体及び充填材の水理特性(WH01)、地下水流動(WH02)、飽和/不飽和(WH03)は、覆土内の水理特性及び化学特性に関係し、上部覆土の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体及び充填材の水理特性(WH01)、地下水流動(WH02)、飽和/不飽和(WH03)は、岩盤内の水理、化学特性に関係し、岩盤の低透水性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体及び充填材の水理特性(WH01)、地下水流動(WH02)、飽和/不飽和(WH03)は、岩盤内の水理、化学特性に関係し、岩盤の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	
	充填材								
	埋設設備(底版、外周仕切設備、内部仕切設備、覆い)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)はコンクリートの番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)はコンクリートの番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)はコンクリートの番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)はコンクリートの番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)はコンクリートの番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)はコンクリートの番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)はコンクリートの番号に対応)</li> </ul>	
	難透水性覆土、下部覆土	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)はベントナイト混合土層の番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)はベントナイト混合土層の番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)はベントナイト混合土層の番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)はベントナイト混合土層の番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)はベントナイト混合土層の番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)はベントナイト混合土層の番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)はベントナイト混合土層の番号に対応)</li> </ul>	
	上部覆土	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)は覆土の番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)は覆土の番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)は覆土の番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)は覆土の番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)は覆土の番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)は覆土の番号に対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・同上 (ただし、部位名称(ID)は覆土の番号に対応)</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>・上部覆土の地下水流動(XH02)に伴う難透水性覆土及び下部覆土の流出(BM05)に関しては、上部覆土内の地下水流速が十分に小さいことから、影響は生じない。</li> </ul>						
	岩盤・地下水 (地下水流、水理特性)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の水理特性(RH01)、地下水流動(RH02)、飽和/不飽和(RH03)は、埋設設備内の水理特性及び化学特性に関係し、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の水理特性(RH01)、地下水流動(RH02)、飽和/不飽和(RH03)は、難透水性覆土及び下部覆土内の水理特性及び化学特性に関係し、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の水理特性(RH01)、地下水流動(RH02)、飽和/不飽和(RH03)は、難透水性覆土内の水理特性及び化学特性に関係し、難透水性覆土の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の水理特性(RH01)、地下水流動(RH02)、飽和/不飽和(RH03)は、上部覆土内の水理特性及び化学特性に関係し、低透水性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の水理特性(RH01)、地下水流動(RH02)、飽和/不飽和(RH03)は、上部覆土内の水理特性及び化学特性に関係し、収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の水理特性(RH01)、地下水流動(RH02)、飽和/不飽和(RH03)は、自身の水理特性及び化学特性に関係し、低透水性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の水理特性(RH01)、地下水流動(RH02)、飽和/不飽和(RH03)は、自身の水理特性及び化学特性に関係し、収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の地下水流動(RH02)に伴う難透水性覆土及び下部覆土の流出(BM05)に関しては、岩盤の地下水流速が十分に小さいことから、影響は生じない。</li> </ul>						
	自然事象	火砕物密度流(NP02)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・火砕物密度流は周辺の火山の活動履歴より、当該事象が生じる可能性があるのは1万年以降であるため考慮しない。</li> </ul>						
		断層活動(変形)(NP01)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断層活動による変形は、出戸西方断層の活動による地盤の傾斜を想定しているが、同断層の規模や平均変位速度を考慮した地表変位を仮定した場合でも、廃棄物埋設地における地盤傾斜は0.1%未満と推定されるため、水理的な影響は生じない。</li> </ul>						
地震(NP01)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震動による地下水流動(WH02, CH02, BH02, XH02, RH02)の変化は一時的であり、水理的な影響は生じない。</li> </ul>							
液状化(覆土)(NP01)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・液状化(覆土)の発生により、埋設設備内の地下水流動(WH02, CH02)に変化が生じ、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・液状化(覆土)の発生により、難透水性覆土及び下部覆土内の間隙水圧が一時的に変化するなど、難透水性覆土及び下部覆土の透水性に影響が生じる可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・液状化(覆土)の発生により、地下水流動(BH02)に変化が生じ、難透水性覆土の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・液状化(覆土)の発生により、上部覆土内の間隙水圧が一時的に変化するなど、下部覆土の透水性に影響が生じる可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・液状化(覆土)の発生により、地下水流動(XH02)に変化が生じ、上部覆土の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・N値50以上の岩盤であるため、影響は生じない。</li> </ul>		

\*1：各バリア機能への直接的な影響は黄緑色、間接的な影響は薄黄緑色で識別

第4表 影響事象分析表(水理(H)) (2/2)\*1

影響元	影響先	固型化材、充填材、埋設設備 (収着性)	難透水性覆土、下部覆土 (低透水性)	難透水性覆土 (収着性)	上部覆土 (透水性)	上部覆土 (収着性)	岩盤 (低透水性)	岩盤 (収着性)
自然事象	隆起 (NP04)	<ul style="list-style-type: none"> <li>隆起及び海水準変動により、廃棄物埋設地周辺の地下水流動場が大きく変化し、埋設設備内の地下水流動 (WH02, CH02) が変化することで、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>海水準変動により、廃棄物埋設地周辺の地下水流動場が大きく変化し、難透水性覆土及び下部覆土内の地下水流動 (BH02) が変化することで、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左 (ただし、低透水性を収着性に置き換える)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>海水準変動により、廃棄物埋設地周辺の地下水流動場が大きく変化し、上部覆土の地下水流動 (XH02) が変化することで、上部覆土の透水性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左 (ただし、低透水性を収着性に置き換える)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>海水準変動により、廃棄物埋設地周辺の地下水流動場が大きく変化しても、岩盤の低透水性に影響は生じない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>海水準変動により、廃棄物埋設地周辺の地下水流動場が大きく変化し、岩盤の地下水流動 (RH02) が変化することで、岩盤の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>
	海水準変動 (NP04)							
	気温、降水量・蒸発散量、かん養量、地下水位 (NP04)	<ul style="list-style-type: none"> <li>気温、降水量、蒸発散量及びかん養量の変化により、廃棄物埋設地周辺の地下水流動場及び地下水位が変化し、埋設設備内の地下水流動 (WH02, CH02) も変化することで、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>気温、降水量、蒸発散量及びかん養量の変化により、廃棄物埋設地周辺の地下水流動場及び地下水位が変化し、難透水性覆土及び下部覆土内の地下水流動 (BH02) も変化することで、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左 (ただし、低透水性を収着性に置き換える)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>気温、降水量、蒸発散量及びかん養量の変化により、廃棄物埋設地周辺の地下水流動場及び地下水位が変化し、上部覆土の地下水流動 (XH02) も変化することで、上部覆土の透水性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左 (ただし、低透水性を収着性に置き換える)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>気候変動により地盤へのかん養量の変化しても、岩盤の低透水性に影響は生じない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>気温、降水量、蒸発散量及びかん養量の変化により、廃棄物埋設地周辺の地下水流動場及び地下水位が変化し、廃棄物埋設地近傍の岩盤の地下水流動 (RH02) も変化することで、岩盤の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>
	侵食 (NP03)	<ul style="list-style-type: none"> <li>侵食により、廃棄物埋設地周辺の地形が変化、さらには埋設設備が削剥されることにより、廃棄物埋設地の地下水流動が大きく変化し、埋設設備内の地下水流動 (WH02, CH02) も変化することで、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>侵食により、廃棄物埋設地周辺の地形が変化、さらには難透水性覆土及び下部覆土が削剥されることにより、廃棄物埋設地の地下水流動が大きく変化し、難透水性覆土及び下部覆土の地下水流動 (BH02) も変化することで、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左 (ただし、低透水性を収着性に置き換える)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>侵食により、廃棄物埋設地周辺の地形が変化、さらには上部覆土が削剥されることにより、廃棄物埋設地の地下水流動が大きく変化し、上部覆土の地下水流動 (XH02) も変化することで、上部覆土の透水性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左 (ただし、低透水性を収着性に置き換える)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>侵食により廃棄物埋設地周辺の地形が変化した場合においても、廃棄物埋設地近傍の岩盤の低透水性に影響は生じない。ただし、岩盤が侵食されることにより、移行距離が短くなることは考えられる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>侵食により廃棄物埋設地周辺の地形が変化し、廃棄物埋設地の地下水流動が大きく変化し、岩盤の地下水流動 (RH02) も変化することで、岩盤の収着性に影響する可能性がある。 (→化学：地下水との反応)</li> </ul>
	風化 (NP04)	<ul style="list-style-type: none"> <li>風化の伸展は緩慢であり、埋設設備が風化の影響をうけるのは、将来数万年後の地表に近接時であるため、水理的な影響は生じない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風化の伸展は緩慢であり、難透水性覆土及び下部覆土が風化の影響をうけるのは、将来数万年後の地表に近接時であるため、水理的な影響は生じない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上部覆土の浅い部分が物理的・化学的風化により、地化学環境が変化し、水理特性 (XH01)、地下水流動 (XH02) が変化する可能性があるが、風化の進展はごくわずかであり、その他の水理的影響に包含されるため、影響は無視できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風化の伸展は緩慢であり、埋設設備が風化の影響をけるのは、将来数万年後の地表に近接時で、設置岩盤は更に深い位置にあるため、水理的な影響は生じない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> </ul>
	生物化学的現象 (SE03)	<ul style="list-style-type: none"> <li>埋設設備まで樹木の根 (SE03) は到達しないため、水理的な影響は生じない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>難透水性覆土及び下部覆土まで樹木の根 (SE03) は到達しないため、水理的な影響は生じない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上部覆土表面は、樹木に覆われて樹木の根 (SE03) が上部覆土内に伸長することが推定されるが、その長さは3m程度で浅く、地下水位との関係から、地下水位以深における上部覆土の透水性への影響は生じない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤まで樹木の根 (SE03) は到達しないため、水理的な影響は生じない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> </ul>
	津波 (隕石落下)	<ul style="list-style-type: none"> <li>巨大津波に伴う地下水流動への影響は一時的なものであり、水理的な影響は無視できる。</li> </ul>						
透水性の変化	<ul style="list-style-type: none"> <li>各項目参照</li> </ul>							

\*1：各バリア機能への直接的な影響は黄緑色、間接的な影響は薄黄緑色で識別

第5表 影響事象分析表(力学(M)) (1/2)\*1

影響元	影響先	固化材、充填材、埋設設備 (収着性)	難透水性覆土、下部覆土 (低透水性)	難透水性覆土 (収着性)	上部覆土 (透水性)	上部覆土 (収着性)	岩盤 (低透水性)	岩盤 (収着性)	
力学	廃棄体	・金属廃棄物及び容器の腐食(WC05)膨張及びガス発生(WC11)によって生じる応力(WM02)によって、廃棄体領域の力学特性(WM01)を考慮すると、破壊とひび割れ(WM03)、変形(WM04)が生じる可能性があり、埋設設備内の水理特性、化学特性が変化することで、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。 (→水理:地下水流動、→化学:地下水との反応)	・金属廃棄物及び容器の腐食(WC05)膨張及びガス発生(WC11)によって生じる応力(WM02)によって、難透水性覆土及び下部覆土に応力(BM02)が発生し、破壊とひび割れ(BM03)、変形(BM04)が生じることで、密度低下が生じ、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響する可能性がある。	・金属廃棄物及び容器の腐食(WC05)膨張及びガス発生(WC11)によって生じる応力(WM02)によって、破壊とひび割れ(BM03)、変形(BM04)が生じる可能性があり、難透水性覆土の水理特性、化学特性が変化することで、難透水性覆土の収着性に影響する可能性がある。 (→水理:地下水流動、→化学:地下水との反応)	・埋設設備の上部に設置され、十分な厚さがあることから、廃棄体層の力学特性(WM01)、応力(WM02)、破壊とひび割れ(WM03)、変形(WM04)による影響は無視できる。		・安定な岩盤に設置されることから、廃棄体層の力学特性(WM01)、応力(WM02)、破壊とひび割れ(WM03)、変形(WM04)による影響は無視できる。		
	充填材								
	埋設設備(底版、外周仕切設備、内部仕切設備、覆い)	・鉄筋の腐食(CC05)膨張及びガス発生(CC11)によって生じる応力(CM02)によって、破壊とひび割れ(CM03)、変形(CM04)が生じる可能性があり、埋設設備内の水理特性、化学特性が変化することで、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。 (→水理:地下水流動、→化学:地下水との反応)	・鉄筋の腐食(CC05)膨張及びガス発生(CC11)によって生じる応力(CM02)によって、難透水性覆土及び下部覆土に応力(BM02)が発生し、破壊とひび割れ(BM03)、変形(BM04)が生じることで、密度低下が生じ、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響する可能性がある。	・鉄筋の腐食(CC05)膨張及びガス発生(CC11)によって生じる応力(CM02)によって、破壊とひび割れ(CM03)、変形(CM04)が生じる可能性があり、難透水性覆土の水理特性、化学特性が変化することで、難透水性覆土の収着性に影響する可能性がある。 (→水理:地下水流動、→化学:地下水との反応)	・埋設設備の上部に設置され、十分な厚さがあることから、コンクリートの力学特性(CM01)、応力(CM02)、破壊とひび割れ(CM03)、変形(CM04)による影響は無視できる。			・安定な岩盤に設置されることから、コンクリートの力学特性(CM01)、応力(CM02)、破壊とひび割れ(CM03)、変形(CM04)による影響は無視できる。	
	難透水性覆土、下部覆土	・難透水性覆土及び下部覆土の力学特性(BM01)、応力(BM02)、破壊とひび割れ(BM03)、変形(BM04)は、埋設設備内の水理特性、化学特性が変化することで、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。 (→水理:地下水流動、→化学:地下水との反応)	・難透水性覆土及び下部覆土の力学特性(BM01)、応力(BM02)、破壊とひび割れ(BM03)、変形(BM04)は、自身の低透水性に影響するものである。	・難透水性覆土及び下部覆土の力学特性(BM01)、応力(BM02)、破壊とひび割れ(BM03)、変形(BM04)は、自身の水理特性、化学特性が変化することで、難透水性覆土の収着性に影響する可能性がある。 (→水理:地下水流動、→化学:地下水との反応)	・難透水性覆土及び下部覆土の上部に設置され、十分な厚さがあることから、難透水性覆土及び下部覆土の力学特性(BM01)、応力(BM02)、破壊とひび割れ(BM03)、変形(BM04)による影響は無視できる。			・安定な岩盤に設置されることから、難透水性覆土及び下部覆土の力学特性(BM01)、応力(BM02)、破壊とひび割れ(BM03)、変形(BM04)による影響は無視できる。	
		・難透水性覆土及び下部覆土は、地下水により飽和し膨潤することによる応力(BM02)が発生するが、周辺の地圧等と比較してその膨潤圧は小さいため、影響は生じない。							
	上部覆土	・上部覆土の力学特性(XM01)及び応力(XM02)の状態から、セメント系材料の収着性に影響は生じない。	・上部覆土の上載圧(応力(XM02))による難透水性覆土及び下部覆土の圧密沈下による変形(BM04)が生じる可能性があるが、透水係数が小さくなる方向であり、影響は生じない。	・上部覆土の力学特性(XM01)及び応力(XM02)の状態から、難透水性覆土の収着性への影響は生じない。	・上部覆土の力学特性(XM01)、応力(XM02)、破壊とひび割れ(XM03)、変形(XM04)は、自身の低透水性に影響するものである。	・上部覆土の力学特性(XM01)、応力(XM02)、破壊とひび割れ(XM03)、変形(XM04)は、自身の水理特性、化学特性が変化することで、収着性に影響する可能性がある。 (→水理:地下水流動、→化学:地下水との反応)		・安定な岩盤に設置されることから、上部覆土の力学特性(XM01)、応力(XM02)、破壊とひび割れ(XM03)、変形(XM04)による影響は無視できる。	
	岩盤・地下水(地圧・水圧)	・岩盤の力学特性(RM01)及び応力(RM02)の状態から、セメント系材料の収着性に影響は生じない。	・岩盤の力学特性(RM01)及び応力(RM02)の状態から、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響は生じない。	・岩盤の力学特性(RM01)及び応力(RM02)の状態から、難透水性覆土の収着性に影響は生じない。	・岩盤の力学特性(RM01)及び応力(RM02)の状態から、上部覆土の低透水性に影響は生じない。	・岩盤の力学特性(RM01)及び応力(RM02)の状態から、上部覆土の収着性に影響は生じない。	・岩盤の力学特性(RM01)、応力(RM02)、破壊とひび割れ(RM03)、変形(RM04)は、自身の低透水性に影響するものである。	・岩盤の力学特性(RM01)、応力(RM02)、破壊とひび割れ(RM03)、変形(RM04)は、自身の水理特性、化学特性に関係し、収着性に影響する可能性がある。 (→水理:地下水流動、→化学:地下水との反応)	
			・掘削時の岩盤の応力(RM02)開放によって岩盤のEDZが進展し、流出(BM05)が生じる可能性があるが、応力開放は小さくEDZの進展は生じないため、影響は生じない。						

\*1: 各バリア機能への直接的な影響は黄緑色、間接的な影響は薄黄緑色で識別

第5表 影響事象分析表(力学(M)) (2/2)\*1

影響元		影響先	固型化材、充填材、埋設設備 (収着性)	難透水性覆土、下部覆土 (低透水性)	難透水性覆土 (収着性)	上部覆土 (透水性)	上部覆土 (収着性)	岩盤 (低透水性)	岩盤 (収着性)
力学	自然事象	降下火砕物 (NP02)	・覆土上に降下火砕物が堆積する可能性があるが、その層厚は2m以下と推定されるため、影響は生じない。						
		火砕物密度流 (NP02)	・火砕物密度流は周辺の火山の活動履歴より、当該事象が生じる可能性があるのは1万年以降であるため考慮しない。						
		断層活動(変形) (NP01)	・断層活動による変形は、出戸西方断層の活動による地盤の傾斜を想定しているが、同断層の規模や平均変位速度を考慮した地表変位を仮定した場合でも、廃棄物埋設地における地盤傾斜は0.1%未満と推定され、傾斜にともなう応力(WM02)発生による影響は生じない。						
		地震(NP01)	・地震によって埋設設備内が変形(CM04)・損傷しても、埋設設備の収着性への影響は生じない。	・地震によって、難透水性覆土及び下部覆土に応力(BM02)が発生し、破壊とひび割れ(BM03)、変形(BM04)することによって、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響する可能性がある。	・地震によって難透水性覆土及び下部覆土が変形(BM04)しても、難透水性覆土の収着性への影響は生じない。	・地震によって、上部覆土に応力(XM02)が発生し、破壊とひび割れ(XM03)、変形(XM04)することによって、上部覆土の低透水性に影響する可能性がある。	・地震によって上部覆土が変形(BM04)・損傷しても、上部覆土の収着性への影響は生じない。	・地震によって、岩盤に応力(XM02)が発生し、破壊とひび割れ(XM03)、変形(XM04)することによって、岩盤の低透水性に影響する可能性がある。	・地震によって岩盤が変形(BM04)・損傷しても、上部覆土の収着性への影響は生じない。
		液状化(覆土) (NP01)	・液状化(覆土)の発生により、埋設設備内の地下水流動(WH02, CH02)に変化が生じ、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。(→化学：地下水との反応)	・液状化(覆土)の発生により、難透水性覆土及び下部覆土の密度、間隙率等に変化が生じ、難透水性覆土及び下部覆土の透水性に影響が生じる可能性がある。	・液状化(覆土)の発生により、難透水性覆土及び覆土内の地下水流動(BH02)に変化が生じ、難透水性覆土の収着性に影響する可能性がある。(→化学：地下水との反応)	・液状化(覆土)の発生により、下部覆土の密度、間隙率等に変化が生じ、下部覆土の透水性に影響が生じる可能性がある。	・液状化(覆土)の発生により、下部覆土内の地下水流動(XH02)に変化が生じ、下部覆土の収着性に影響する可能性がある。(→化学：地下水との反応)	・N値50以上の岩盤であるため、液状化(覆土)の発生は考え難く、影響は生じない。	・N値50以上の岩盤であるため、液状化(覆土)の発生は考え難く、影響は生じない。
		侵食(NP03)	・コンクリートが侵食され、喪失した場合は、セメント系材料の全ての機能に影響する可能性がある。	・難透水性覆土及び下部覆土が侵食され、喪失した場合は、難透水性覆土及び下部覆土の全ての機能に影響する可能性がある。	・上部覆土が侵食され、喪失した場合は、覆土の全ての機能に影響する可能性がある。	・岩盤が侵食され、喪失した場合は、岩盤の全ての機能に影響する可能性がある。			
風化(NP04)	・風化によって上部覆土及び岩盤の空隙構造等が変化することが考えられるが、風化の進展はごくわずかであり、その他の力学的影響に包含されるため、影響は無視できる。								

\*1：各バリア機能への直接的な影響は黄緑色、間接的な影響は薄黄緑色で識別

第6表 影響事象分析表(化学(C)) (1/2)\*1

影響元	影響先	固型化材、充填材、埋設設備 (収着性)	難透水性覆土、下部覆土 (低透水性)	難透水性覆土 (収着性)	上部覆土 (透水性)	上部覆土 (収着性)	岩盤 (低透水性)	岩盤 (収着性)
廃棄体、充填材		・廃棄体及び充填材の化学特性(WC01)及び間隙水の液性(地下水化学(WC02))が自身の化学的な反応(地下水との反応(WC03)、化学的変質(WC04)、溶脱(WC06))に関係し、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。	・廃棄体及び充填材の化学特性(WC01)及び間隙水の液性(地下水化学(WC02))が難透水性覆土及び下部覆土の化学的な反応(地下水との反応(BC03)、化学的変質(BC04))に関係し、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響する可能性がある。	・同左(ただし、低透水性を収着性に置き換える)	・廃棄体及び充填材の化学特性(WC01)及び間隙水の液性(地下水化学(WC02))が上部覆土の化学的な反応(地下水との反応(XC03)、化学的変質(XC04))に関係し、上部覆土の透水性に影響する可能性がある。	・同左(ただし、低透水性を収着性に置き換える)	・廃棄体及び充填材の化学特性(WC01)及び間隙水の液性(地下水化学(WC02))が岩盤の化学的な反応(地下水との反応(RC03)、化学的変質(RC04))に関係し、低透水性に影響する可能性がある。	・同左(ただし、低透水性を収着性に置き換える)
		・廃棄体に含まれる金属及び容器の腐食(WC05)によって、酸化還元環境が変化し、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。	・廃棄体に含まれる金属及び容器の腐食(WC05)によって、酸化還元環境が変化する可能性があるが、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響は生じない。	・廃棄体に含まれる金属及び容器の腐食(WC05)によって、酸化還元環境が変化し、難透水性覆土の収着性に影響する可能性がある。	・廃棄体に含まれる金属及び容器の腐食(WC05)によって、酸化還元環境が変化する可能性があるが、上部覆土の透水性に影響は生じない。	・廃棄体に含まれる金属及び容器の腐食(WC05)によって、酸化還元環境が変化し、上部覆土の収着性に影響する可能性がある。	・廃棄体に含まれる金属及び容器の腐食(WC05)によって、酸化還元環境が変化する可能性があるが、低透水性に影響は生じない。	・廃棄体に含まれる金属及び容器の腐食(WC05)によって、酸化還元環境が変化し、収着性に影響する可能性がある。
		・廃棄体に含まれる可能性のある一部の有機物のアルカリ分解反応によって、放射性物質を捕捉するキレート物質が生成し、これらの物質が錯体を形成し、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある(有機物影響(WC09))。	・廃棄体に含まれる可能性のある一部の有機物のアルカリ分解反応によって、放射性物質を捕捉するキレート物質が生成し、これらの物質が錯体を形成する可能性がある(有機物影響(BC09))が、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響は生じない。	・廃棄体に含まれる可能性のある一部の有機物のアルカリ分解反応によって、放射性物質を捕捉するキレート物質が生成し、難透水性覆土の収着性に影響する可能性がある(有機物影響(BC09))。	・廃棄体に含まれる可能性のある一部の有機物のアルカリ分解反応によって、放射性物質を捕捉するキレート物質が生成し、難透水性覆土の透水性に影響は生じない。	・廃棄体に含まれる可能性のある一部の有機物のアルカリ分解反応によって、放射性物質を捕捉するキレート物質が生成し、上部覆土の収着性に影響する可能性がある(有機物影響(XC09))。	・廃棄体に含まれる可能性のある一部の有機物のアルカリ分解反応によって、放射性物質を捕捉するキレート物質が生成し、低透水性に影響は生じない。	・廃棄体に含まれる可能性のある一部の有機物のアルカリ分解反応によって、放射性物質を捕捉するキレート物質が生成し、収着性に影響する可能性がある(有機物影響(RC09))。
化学	埋設設備(底版、外周仕切設備、内部仕切設備、覆い)	・コンクリートの化学特性(CC01)及び間隙水の液性(地下水化学(CC02))がセメント系材料の化学的な反応(地下水との反応(WC03)、化学的変質(WC04)、溶脱(WC06))に関係し、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。	・コンクリートの化学特性(CC01)及び間隙水の液性(地下水化学(CC02))が難透水性覆土及び下部覆土の化学的な反応(地下水との反応(BC03)、化学的変質(BC04))に関係し、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響する可能性がある。	・同左(ただし、低透水性を収着性に置き換える)	・コンクリートの化学特性(CC01)及び間隙水の液性(地下水化学(CC02))が覆土の化学的な反応(地下水との反応(XC03)、化学的変質(XC04))に関係し、上部覆土の水性に影響する可能性がある。	・同左(ただし、低透水性を収着性に置き換える)	・コンクリートの化学特性(CC01)及び間隙水の液性(地下水化学(CC02))が岩盤の化学的な反応(地下水との反応(RC03)、化学的変質(RC04))に関係し、低透水性に影響する可能性がある。	・同左(ただし、低透水性を収着性に置き換える)
		・鉄筋の腐食(CC05)によって、酸化還元環境が変化し、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。	・鉄筋の腐食(CC05)によって、酸化還元環境が変化する可能性があるが、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響は生じない。	・廃棄体に含まれる金属及び容器の腐食(WC05)によって、酸化還元環境が変化し、難透水性覆土の収着性に影響する可能性がある。	・鉄筋の腐食(CC05)によって、酸化還元環境が変化し、上部覆土の透水性に影響は生じない。	・廃棄体に含まれる金属及び容器の腐食(WC05)によって、酸化還元環境が変化し、上部覆土の収着性に影響する可能性がある。	・鉄筋の腐食(CC05)によって、酸化還元環境が変化する可能性があるが、低透水性に影響は生じない。	・廃棄体に含まれる金属及び容器の腐食(WC05)によって、酸化還元環境が変化し、収着性に影響する可能性がある。
	難透水性覆土、下部覆土	・難透水性覆土及び下部覆土の化学特性(BC01)及び間隙水の液性(地下水化学(BC02))が各部材の化学的な反応(地下水との反応(WC03)、化学的変質(WC04)、溶脱(WC06))に関係し、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。	・難透水性覆土及び下部覆土の化学特性(BC01)及び間隙水の液性(地下水化学(BC02))が自身の化学的な反応(地下水との反応(BC03)、化学的変質(BC04))に関係し、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響する可能性がある。	・同左(ただし、低透水性を収着性に置き換える)	・難透水性覆土及び下部覆土の化学特性(BC01)及び間隙水の液性(地下水化学(BC02))が覆土の化学的な反応(地下水との反応(XC03)、化学的変質(XC04))に関係し、上部覆土の透水性に影響する可能性がある。	・同左(ただし、低透水性を収着性に置き換える)	・難透水性覆土及び下部覆土の化学特性(BC01)及び間隙水の液性(地下水化学(BC02))が岩盤の化学的な反応(地下水との反応(RC03)、化学的変質(RC04))に関係し、低透水性に影響する可能性がある。	・同左(ただし、低透水性を収着性に置き換える)
	上部覆土	・上部覆土の化学特性(XC01)及び間隙水の液性(地下水化学(BC02))が各部材の化学的な反応(地下水との反応(WC03)、化学的変質(WC04)、溶脱(WC06))に関係し、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。	・上部覆土の化学特性(XC01)及び間隙水の液性(地下水化学(BC02))が難透水性覆土及び下部覆土の化学的な反応(地下水との反応(BC03)、化学的変質(BC04))に関係し、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響する可能性がある。	・同左(ただし、低透水性を収着性に置き換える)	・上部覆土の化学特性(XC01)及び間隙水の液性(地下水化学(BC02))が自身の化学的な反応(地下水との反応(XC03)、化学的変質(XC04))に関係し、上部覆土の透水性に影響する可能性がある。	・同左(ただし、低透水性を収着性に置き換える)	・上部覆土の化学特性(XC01)及び間隙水の液性(地下水化学(BC02))が岩盤の化学的な反応(地下水との反応(RC03)、化学的変質(RC04))に関係し、低透水性に影響する可能性がある。	・同左(ただし、低透水性を収着性に置き換える)

\*1: 各バリア機能への直接的な影響は黄緑色、間接的な影響は薄黄緑色で識別

第6表 影響事象分析表(化学(C)) (2/2)\*1

影響元	影響先	固型化材、充填材、埋設設備 (収着性)	難透水性覆土、下部覆土 (低透水性)	難透水性覆土 (収着性)	上部覆土 (透水性)	上部覆土 (収着性)	岩盤 (低透水性)	岩盤 (収着性)		
化学	岩盤・地下水	・岩盤の化学特性(RC01)及び地下水の液性(地下水化学(RC02))がセメント系材料の化学的な反応(地下水との反応(WC03)、化学的変質(WC04)、溶脱(WC06))に関係し、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。	・岩盤の化学特性(RC01)及び地下水の液性(地下水化学(RC02))が難透水性覆土及び下部覆土の化学的な反応(地下水との反応(BC03)、化学的変質(BC04))に関係し、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響する可能性がある。	・同左 (ただし、低透水性を収着性に置き換える)	・岩盤の化学特性(RC01)及び地下水の液性(地下水化学(RC02))が上部覆土の化学的な反応(地下水との反応(XC03)、化学的変質(XC04))に関係し、上部覆土の透水性に影響する可能性がある。	・同左 (ただし、低透水性を収着性に置き換える)	・岩盤の化学特性(RC01)及び地下水の液性(地下水化学(RC02))が自身の化学的な反応(地下水との反応(RC03)、化学的変質(RC04))に関係し、低透水性に影響する可能性がある。	・同左 (ただし、低透水性を収着性に置き換える)		
	各部材共通	・微生物の活動に(微生物影響(WC08, CC08))によって、有機物の分解、金属の腐食促進、放射性物質の化学特性の変化が生じ、セメント系材料の収着性に影響する可能性がある。	・微生物の活動(微生物影響(BC08))によって、有機物の分解、金属の腐食促進の可能性があるが、その他の化学的影響に包含されるため、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性への影響は無視できる。	・微生物の活動(微生物影響(BC08))によって、有機物の分解、放射性物質の化学特性の変化が生じ、難透水性覆土の収着性に影響する可能性がある。	・微生物の活動(微生物影響(XC08))によって、有機物の分解、金属の腐食促進の可能性があるが、その他の化学的影響に包含されるため、上部覆土の低透水性への影響は無視できる。	・微生物の活動(微生物影響(XC08))によって、有機物の分解、放射性物質の化学特性の変化が生じ、上部覆土の収着性に影響する可能性がある。	・微生物の活動(微生物影響(RC08))によって、有機物の分解、金属の腐食促進の可能性があるが、その他の化学的影響に包含されるため、上部覆土の低透水性への影響は無視できる。	・微生物の活動(微生物影響(RC08))によって、有機物の分解、放射性物質の化学特性の変化が生じ、上部覆土の収着性に影響する可能性がある。		
		・間隙水中でコロイド形成(WC10, CC10)が生じる場合には、コロイドに放射性物質が吸着すること等により、移行特性(見掛け上の収着性)に影響する可能性がある。	・間隙水中でのコロイド形成(BC10)は、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響は生じない。	・間隙水中でコロイド形成(BC10)が生じる場合には、コロイドに放射性物質が吸着すること等により、移行特性(見掛け上の収着性)に影響する可能性がある。	・間隙水中でのコロイド形成(XC10)は、上部覆土の透水性に影響は生じない。	・間隙水中でコロイド形成(XC10)が生じる場合には、コロイドに放射性物質が吸着すること等により、移行特性(見掛け上の収着性)に影響する可能性がある。	・間隙水中でのコロイド形成(RC10)は、低透水性に影響は生じない。	・間隙水中でコロイド形成(RC10)が生じる場合には、コロイドに放射性物質が吸着すること等により、移行特性(見掛け上の収着性)に影響する可能性がある。		
		・地下水(間隙水)の放射線分解(WR02, CR02, BR02, XR02, RR02)によって、ガスが発生する可能性はあるが、廃棄体の放射線量は小さく、影響は無視できる。								
	自然事象	降下火砕物(NP02)	・降下火砕物による地下水の水質の変化が考えられるが、影響期間は短期であり、範囲が限定されるため、影響は無視できる。			・上部覆土は、降下火砕物の溶出成分により化学的変質(XC04)が生じ、上部覆土の透水性に影響する可能性がある。	・上部覆土は、降下火砕物からの溶出成分により化学的変質(XC04)が生じ、上部覆土の収着性に影響する可能性がある。	・降下火砕物による地下水の水質の変化が考えられるが、影響期間は短期であり、範囲が限定されるため、影響は無視できる。		
		火砕物密度流(NP02)	・火砕物密度流は周辺の火山の活動履歴より、当該事象が生じる可能性があるのは1万年以降であるため考慮しない。							
		表流水・地下水の水質(NP02)	・酸性雨は、地下に浸透する間に蒸発散・地表流出、土壌による緩衝等を受け、問題とならない水質(現状観測される地下水と同程度)となるため、影響は生じない。			・上部覆土は、酸性雨により化学的変質(XC04)が生じ、上部覆土の透水性に影響する可能性がある。	・上部覆土は、酸性雨により化学的変質(XC04)が生じ、上部覆土の収着性に影響する可能性がある。	・酸性雨は、地下に浸透する間に蒸発散・地表流出、土壌による緩衝等を受け、問題とならない水質(現状観測される地下水と同程度)となるため、影響は生じない。		
			・地下水の水質は「岩盤・地下水」参照							
		風化(NP02)	・風化によって上部覆土及び岩盤の鉱物の変質が考えられるが、風化の進展はごくわずかであり、その他の化学的影響に包含されるため、影響は無視できる。							
		生物学的現象	・「微生物影響」参照。							
津波(隕石落下)	・巨大津波によって、海水が廃棄物埋設地に流入することで、間隙水の液性(地下水化学(MC02, CC02, BC02, XC02, RC02))に変化が生じるが、一時的なものであり、その他の化学的影響に包含されるため、影響は無視できる。									

\*1: 各バリア機能への直接的な影響は黄緑色、間接的な影響は薄黄緑色で識別



#### 4. 参考文献

- (1) Nuclear Energy Agency(2000): Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste: An International Database
- (2) Nuclear Energy Agency(2006): The NEA International FEP Database: Version2.1
- (3) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会(平成15年): 廃棄物安全小委員会報告書－高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて－
- (4) International Atomic Energy Agency(2004): Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities: Results of a coordinated research project
- (5) 電気事業連合会、核燃料サイクル開発機構(2005): TRU 廃棄物処分技術検討書－第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ－

影響評価により影響なしと判断した根拠

## 目 次

1. ガス発生の影響.....	1
(1) ガス発生速度、ガス発生量及びガス移行メカニズムに関する既往知見の整理.....	2
(2) ベントナイト混合土を用いた室内試験（透気・透水試験）によるガス発生の影響評価.....	7
(3) 廃棄物埋設地におけるガス発生影響について .....	12
(4) まとめ.....	14
2. 地震の影響.....	15
3. 液状化(覆土)の影響.....	15
4. コロイド影響.....	16
5. 微生物影響.....	17
6. 降下火砕物(化学)の影響.....	17
7. 参考文献.....	19

## 1. ガス発生の影響

埋設設備内に含まれる金属の腐食及び有機物の分解に伴いガスが発生する。ガスの発生により埋設設備内のガス圧が上昇し、ガスが移行することで、覆土の変形・損傷に伴い透水係数が増加するおそれがある。

廃棄物埋設地において発生し得るガスの大部分は、廃棄体層に存在する金属が水と接触して腐食することにより発生する水素ガスである。基本的には、発生したガスが埋設設備内に充満することにより、地下水の浸入が抑制され、金属腐食の進展が滞ることから、大きなガス圧が覆土に作用することは考え難い。また、難透水性覆土はベントナイトの膨張に起因する自己修復性を持つ土質系材料であり、上載圧による拘束も作用していることから、仮にガスによって変形・損傷を受けた場合においても、元の状態が復元されると想定できる。そのため、覆土に対するガス発生の影響はその他の力学的影響に比べ軽微であると考えられる。

しかしながら、上記の考えには廃棄物埋設地の持つ不均質性などによる不確実性を含むことから、ガス発生の影響に対して定量的な判断を実施するため、以下の手順により検討を行う。

- ・ガス発生速度、ガス発生量及びガス移行メカニズムに関する既往知見の整理
- ・ベントナイト混合土を用いた室内試験（透気・透水試験）によるガス発生の影響評価
- ・実際の廃棄物埋設地におけるガス発生影響の検討

(1) ガス発生速度、ガス発生量及びガス移行メカニズムに関する既往知見の整理

(i) ガスの発生速度

a. 覆土完了までの期間

外周仕切設備・覆いコンクリートに対する材料・施工に係る品質管理により防水対策を施すこと、ポーラスコンクリート層に接続した排水管を通じて排水を行うことから、周辺から廃棄体層に浸入する水の量は極めて少ない。このため、この期間における廃棄体層からのガス発生は無視できる。

b. 覆土完了後（排水・監視設備による排水の終了後）

排水・監視設備による排水の終了後は、周辺の地下水が埋設設備の内部に浸入し、廃棄体層に到達すると考えられる。このため、ガスの発生を想定し検討する必要がある。

廃棄体内に分別除去後に少量残存し得るアルミニウムと、高い pH であるセメント系材料中の間隙水が反応することにより、水素ガスが発生する。埋設環境に近い条件におけるアルミニウムの腐食速度については、藤原らの報告<sup>(1)</sup>によれば、 $10\mu\text{m}/\text{y}$  以下の値で推移し、 $1\mu\text{m}/\text{y}$  以下まで低下することが知られている。

また、埋設設備に浸入した地下水は、外周仕切設備の鉄筋に接触して、金属の腐食（酸素消費型）が生じることで溶存酸素が消費され、嫌気的条件となるが、この地下水が廃棄体容器の内部に浸入して、廃棄体層内が嫌気的条件になると、鉄の嫌気性腐食に伴う水素ガスも発生する。鉄の嫌気性腐食速度については、廣永ら<sup>(2)</sup>が測定した各液温の腐食速度に基づき作成したアレニウスプロットより、 $0.01\mu\text{m}/\text{y}$  程度と考えられる。

覆土完了後における埋設設備全体から発生するガスの量としては、廃棄体層から発生する水素ガスの量に加え、鉄筋コンクリート中の鉄筋の嫌気性腐食に伴い発生する水素ガスの量を加味する必要がある。

よって、ガス発生量はアルミニウムのアルカリ腐食と鉄の嫌気性腐食を考慮する。

(ii) ガスの発生量

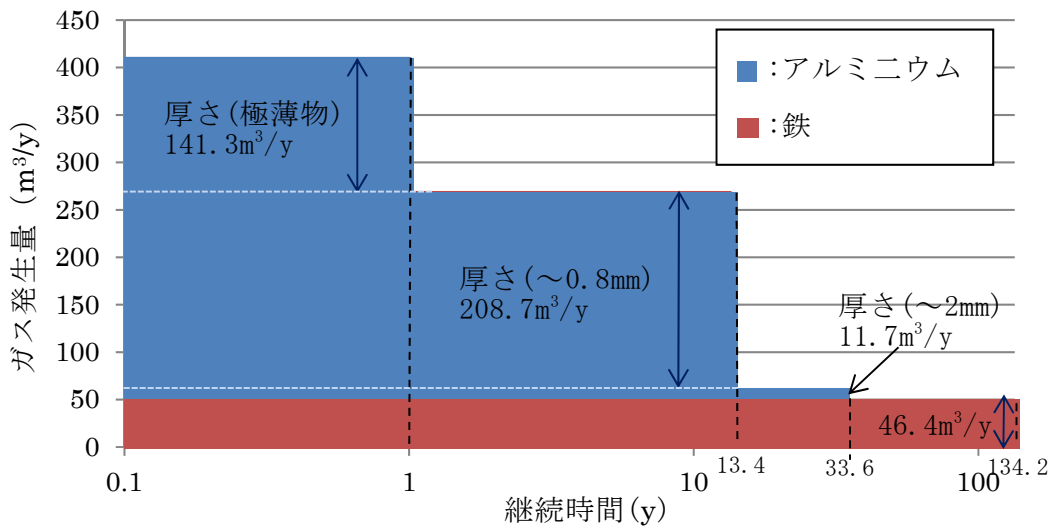
既往知見<sup>(3)</sup>により整理された2号廃棄物埋設地を対象に設定したガス発生量を第1表及び第1図に示す。埋設設備1基当たり1年間に発生するガスの量は、標準状態において最大  $500\text{Nm}^3/\text{y}$  であると評価されている。

3号廃棄物埋設地においては、埋設設備1基当たり埋設可能な廃棄体本数が2号廃

棄物埋設地の約 2 倍 (26,400 本/12,960 本=2.04) であることから、同様な考え方に基  
づく、埋設設備 1 基当たり最大で 1,000Nm<sup>3</sup>/y と算定できる。ここで、3 号廃棄物埋設  
地においては、埋設する廃棄体及び定置密度が 2 号廃棄物埋設地と同じであることか  
ら、埋設設備体積当たりのガス発生量は 2 号廃棄物埋設地とほぼ同等である。

第 1 表 2 号廃棄物埋設地の埋設設備 1 基当たりガス発生量の内訳

	鉄	アルミニウム				合計
		極薄物	～0.8mm	～2mm	～8mm	
ガス発生量	46.4m <sup>3</sup> /y	141.3m <sup>3</sup> /y	208.7m <sup>3</sup> /y	11.7m <sup>3</sup> /y	0m <sup>3</sup> /y	408.1m <sup>3</sup> /y
継続時間	考慮せず	1y	13.4y	33.6y	134.2y	-

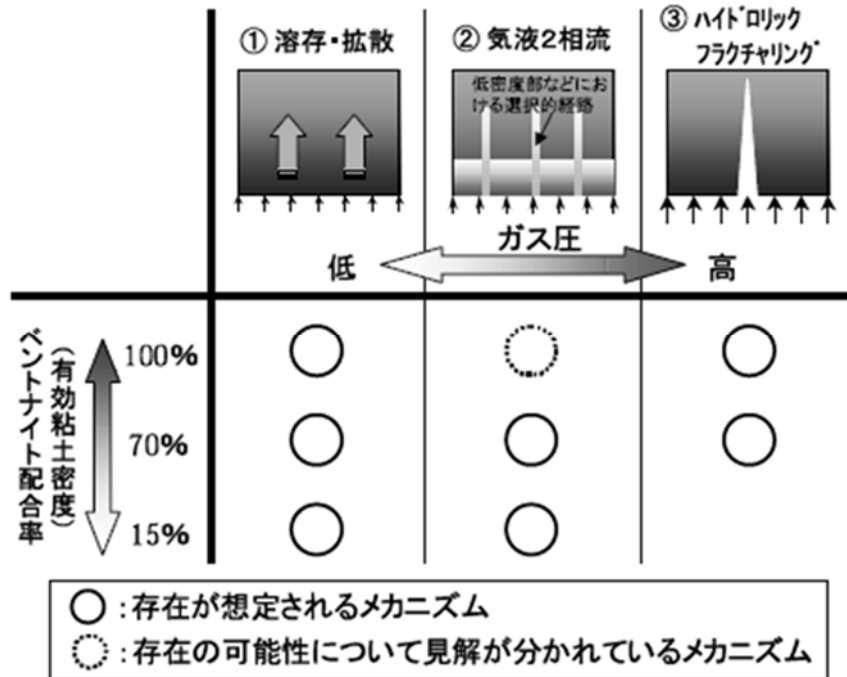


第 1 図 2 号廃棄物埋設地の埋設設備 1 基当たりガス発生量の経時変化

(iii) ベントナイト系材料中のガス移行メカニズム

藤山ら<sup>(4)</sup>は、例えば Graham ら<sup>(5)</sup>及び Hoch ら<sup>(6)</sup>による文献及び各種データを調査・整理し、飽和ベントナイト系材料中のガス移行メカニズムに対して第2図に示す概念図を提示し、以下のようにとりまとめた。

- ① 間隙水中のガスの溶存・拡散による移行。
- ② 気液2相流によるガス移行。密度が相対的に低い部分等において、選択的な経路を形成する可能性が高いと想定される。
- ③ ハイドロリックフラクチャリングによる卓越流路の形成を伴うガス移行。
- ④ ①～③の共存。ベントナイト配合率が高く（有効粘土密度が大きい）、かつガス圧が高いほど、③の挙動が支配的であり、低いと①②の挙動が支配的である。



第2図 飽和ベントナイト系材料のガス移行メカニズム（概念図）<sup>(4)</sup>

ガス移行メカニズムのうち②気液2相流と③ハイドロリックフラクチャリングについて、田中ら<sup>(7)</sup>による室内試験の試験体内部の応力状態に着目した考察は以下のとおりである。また、ガス移行メカニズムを説明するための概念図を第3図に示す。

a. 気液 2 相流によるガス移行

ガス発生と埋設設備内のガス移行に伴い、ベントナイト混合土にガス圧がかかる。ガス圧がベントナイト混合土中の間隙水圧を超えた際、ガスは間隙水を押し出す様にベントナイト混合土内に侵入する。同時に、押された間隙水は一時的に圧縮されることから、間隙水圧が上昇し、ガス圧とつり合うことでガスの侵入を抑制させる。その後、一時的に上昇した間隙水圧は徐々に消散し、ガス圧よりも小さくなると、再度、ガスが侵入する。この侵入と抑制を繰り返すことによってベントナイト混合土内をガスが移行する。ここでは、このメカニズムによってガスが移行する現象を「破過」と定義する。

破過が生じる場合は、ベントナイト混合土内で過剰間隙水圧が発生することから、ガス圧は常に軸方向全応力より小さい値となる。

b. ハイドロリックフラクチャリングによるガス移行

ガス発生と埋設設備内のガス移行に伴い、ベントナイト混合土にガス圧がかかる。ガスの昇圧速度（発生速度）が早い場合、気液 2 相流のガス移行で説明される間隙水圧の消散を待たずに、ガスがベントナイト混合土に応力を作用させることとなる。そのガス圧がベントナイト混合土の拘束圧を上回ると、ベントナイト混合土中の構造が崩れ始め、卓越流路が形成されることで、そこをガスが大量に通過する。ここでは、このメカニズムによってガスが移行する現象を「大破過」と定義する。

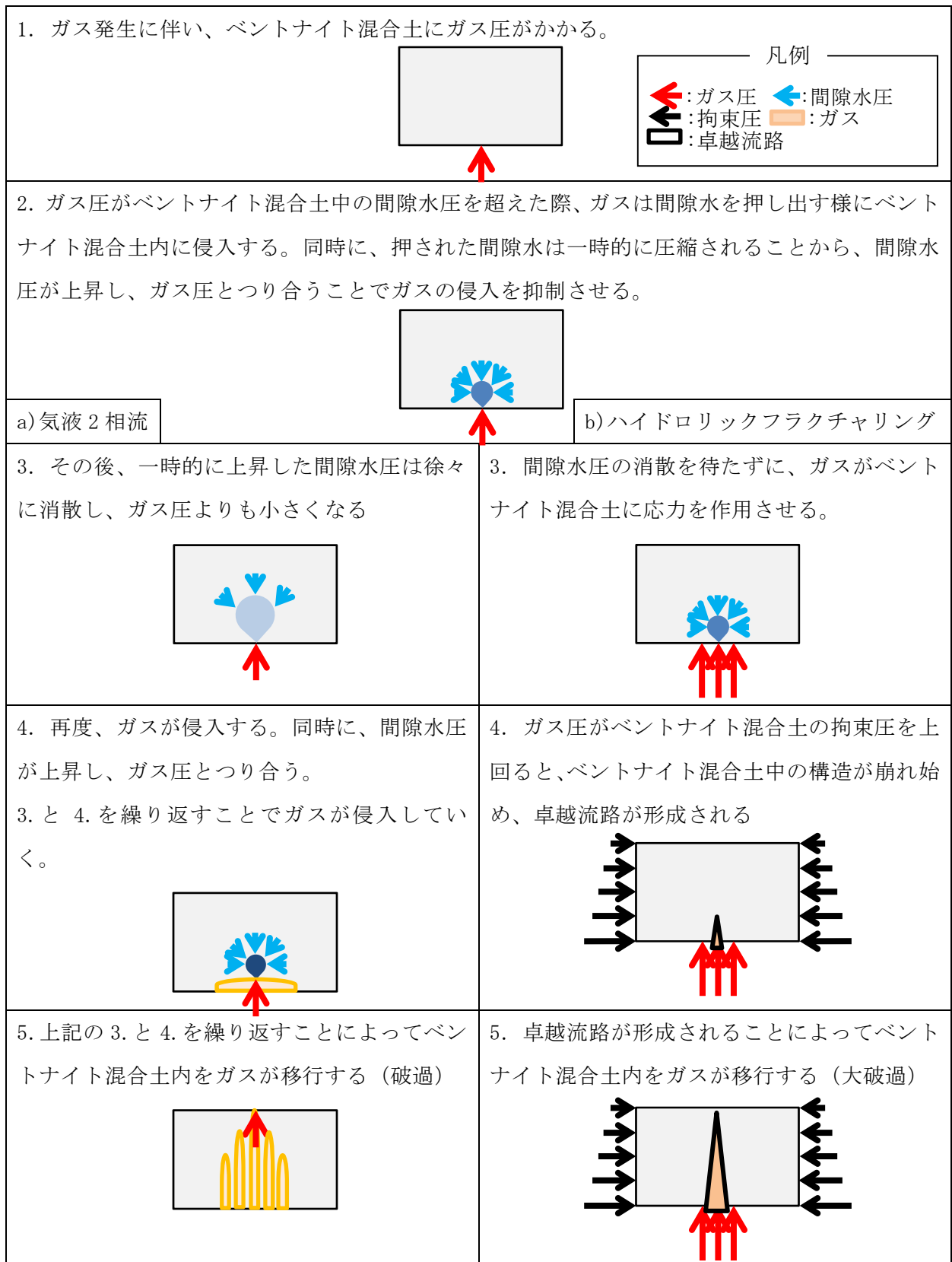
大破過が生じる場合は、ガス圧が直接的にベントナイト混合土内を伝達されることから、ガスの昇圧に伴いガス圧は軸方向全応力と等しい値となる。

c. その他の補足知見

周辺材料の剛性が相対的に高く、水平方向の応力分散を妨げるような状況である場合には、水平方向の圧力が蓄積されることで拘束圧が擬似的に増加することとなり、ガス移行に際してはより高い圧力が生じる。

以上のことから、①溶存・拡散を除くガス移行メカニズムは、ベントナイト混合土内における間隙水圧の消散速度とガスの昇圧速度（発生速度）の大小関係により、②気液 2 相流（破過）あるいは③ハイドロリックフラクチャリング（大破過）に分類される。ガス破過は破過と大破過の双方を指す。





第 3 図 時系列によるガス移行メカニズムの概念図

(2) ベントナイト混合土を用いた室内試験（透気・透水試験）によるガス発生の影響評価  
埋設設備内のガス圧が上昇することを考慮して、難透水性覆土の透水係数への影響について検討を行う。

ベントナイト配合率 20wt%～30wt%の Ca 型ベントナイト混合土を用いて透気・透水試験を行った。

なお、難透水性覆土として Na 型ベントナイト混合土を用いることも考えられるため、ベントナイト配合率 15wt%～20wt%の Na 型ベントナイト混合土における同様の試験を実施した結果を以下に示す。

(i) Ca 型ベントナイト混合土のガス移行特性（田中ら<sup>(7)</sup>、大石ら<sup>(8)</sup>）

Ca 型ベントナイト混合土（難透水性覆土相当、ベントナイト配合率 20wt%～30wt%）の透水・透気試験の試験条件及び試験結果を第 2 表に、ガス移行試験装置を第 4 図に、透気試験における圧力、応力及び排気量を第 5 図に、ガス破過前後の Ca 型ベントナイト混合土（難透水性覆土相当）に対する透水係数の比較を第 6 図に示す。なお、第 6 図における数値中の E は、指数表記における基数の 10 を示す（例えば、1E+02 は  $1 \times 10^2$  を示す。以下、同様。）。

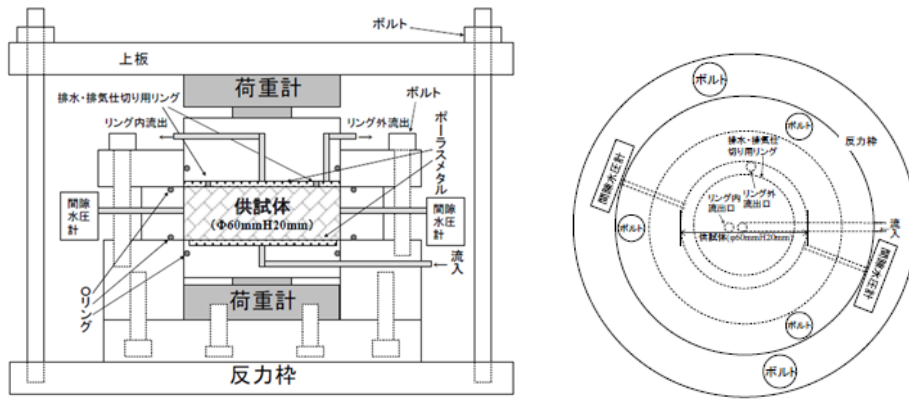
供試体の拘束圧は、廃棄物埋設地の難透水性覆土に対する有効土被り圧相当である約 0.15MPa とした。昇圧速度は、廃棄物埋設地で発生するガスの発生量を用いて、覆土への影響が大きくなるよう、埋設設備内の空隙における圧力の増加量を保守的に大きく設定し、0.04MPa/30min とした。

これらの図表からわかるように、Ca 型ベントナイト混合土（難透水性覆土相当）の透気後の透水試験において、配合率 30wt% の場合はガス破過前後で透水係数が  $2.3 \times 10^{-11} \text{m/s} \sim 5.7 \times 10^{-11} \text{m/s}$  から  $1.9 \times 10^{-11} \text{m/s} \sim 3.9 \times 10^{-11} \text{m/s}$  に、配合率 20wt% の場合は  $3.2 \times 10^{-10} \text{m/s} \sim 4.2 \times 10^{-10} \text{m/s}$  から  $2.2 \times 10^{-10} \text{m/s} \sim 3.6 \times 10^{-10} \text{m/s}$  に変化するが、ベントナイトの配合率や拘束条件によらず、ガス破過前後の透水係数に大きな変化は見られなかった。

第2表 ベントナイト混合土の透水・透気試験の試験条件及び試験結果

		No. 1 <sup>(7)</sup>	No. 2 <sup>(7)</sup>	No. 3 <sup>(8)</sup>	No. 4 <sup>(8)</sup>	No. 5 <sup>(7)</sup>	No. 6 <sup>(7)</sup>
Ca型ベントナイト配合率(wt%)		30	30	20	20	20	20
購入砂配合率(wt%)		70	70	80	80	80	80
吸水膨潤時拘束条件 <sup>*1</sup>		変位拘束	0.16MPa	0.14MPa	0.14MPa	変位拘束	0.15MPa
昇圧条件		急速载荷：0.04MPa/30min					
有効破過圧(MPa)	外側	-	-	0.087	0.044	0.09	-
	内側	0.76	0.25	0.123	0.120	-	0.09
有効大破過圧(MPa)	両側	1.25	0.85	0.166	0.138	0.22	0.21
ガス破過前の透水係数(m/s)		$2.3 \times 10^{-11}$	$5.7 \times 10^{-11}$	$3.9 \times 10^{-10}$	$4.2 \times 10^{-10}$	$3.2 \times 10^{-10}$	$3.2 \times 10^{-10}$
ガス破過後の透水係数(m/s)		$1.9 \times 10^{-11}$	$3.9 \times 10^{-11}$	$3.0 \times 10^{-10}$	$3.6 \times 10^{-10}$	$2.2 \times 10^{-10}$	$3.2 \times 10^{-10}$

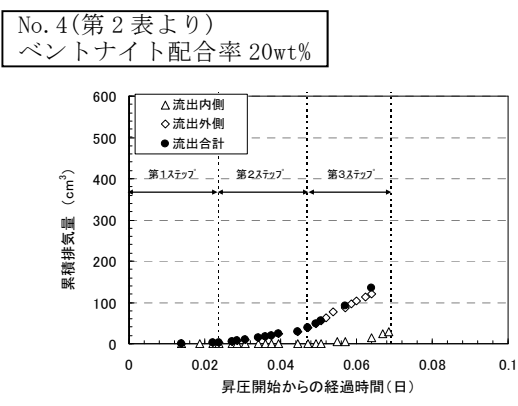
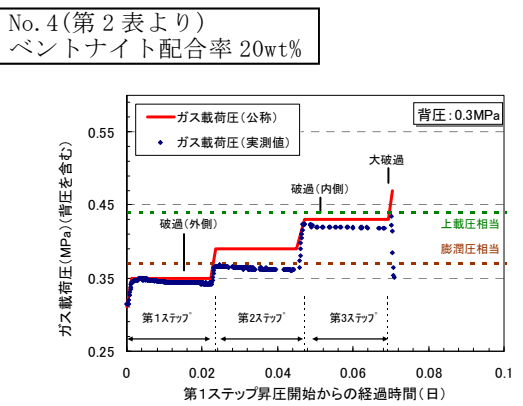
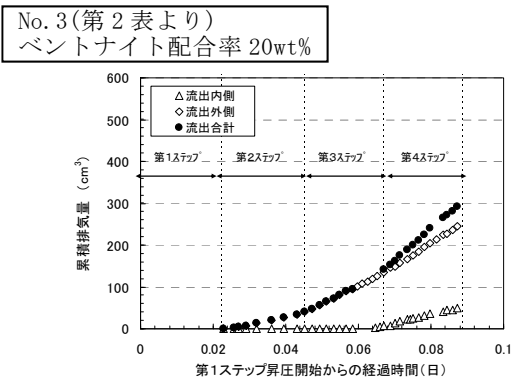
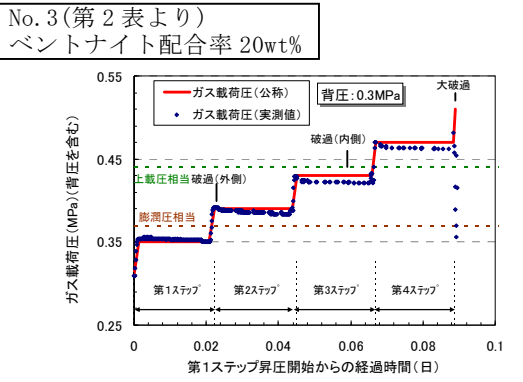
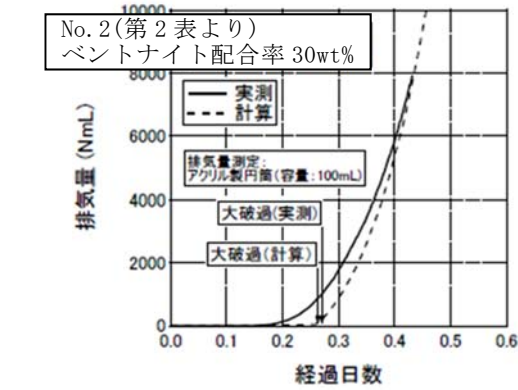
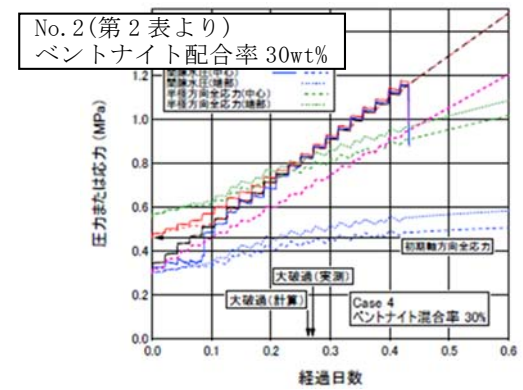
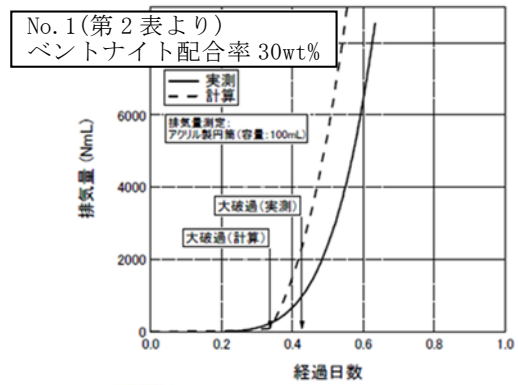
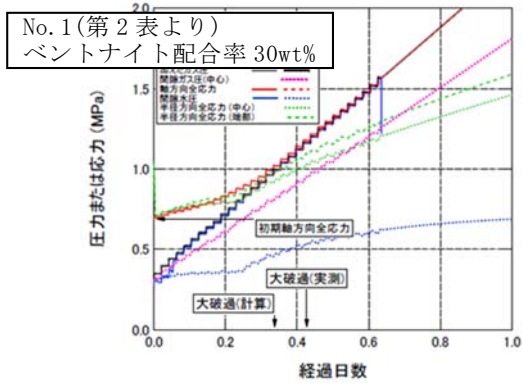
\*1:「変位拘束」は軸方向変位を固定した状態で試料を膨潤させたことを、それ以外は軸方向有効圧力一定(有効土被り圧相当である約0.15MPa)で試料を膨潤させたことを示す。



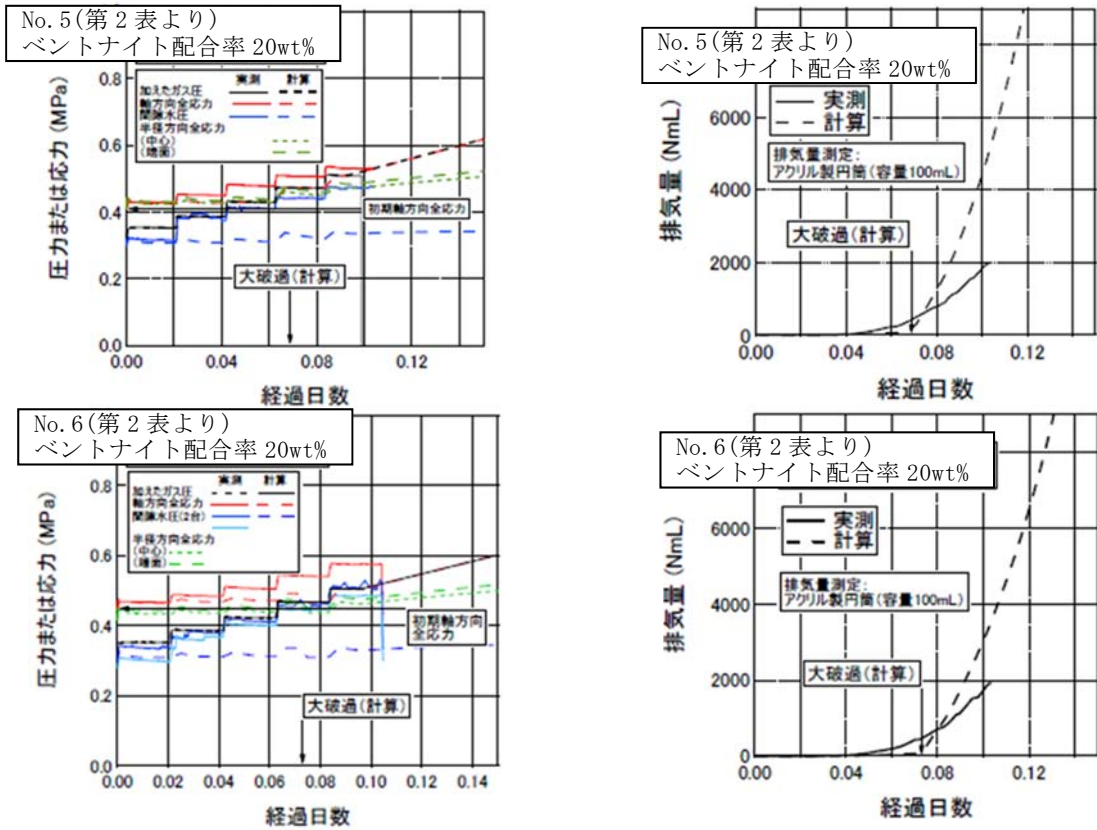
軸方向断面図

半径方向断面図

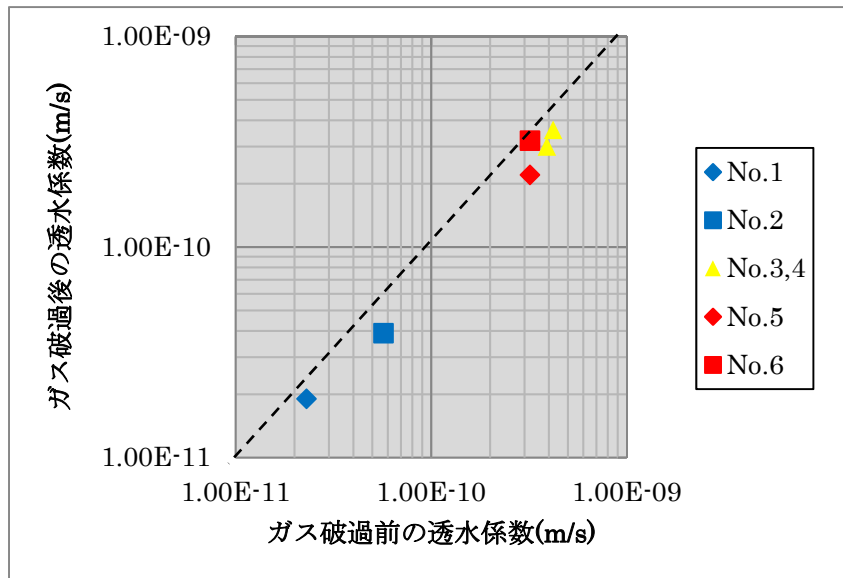
第4図 ガス移行試験装置<sup>(7)</sup>



第5図 透気試験における圧力、応力及び排気量<sup>(7)(8)</sup> (1/2)



第5図 透気試験における圧力、応力及び排気量<sup>(7)(8)</sup> (2/2)

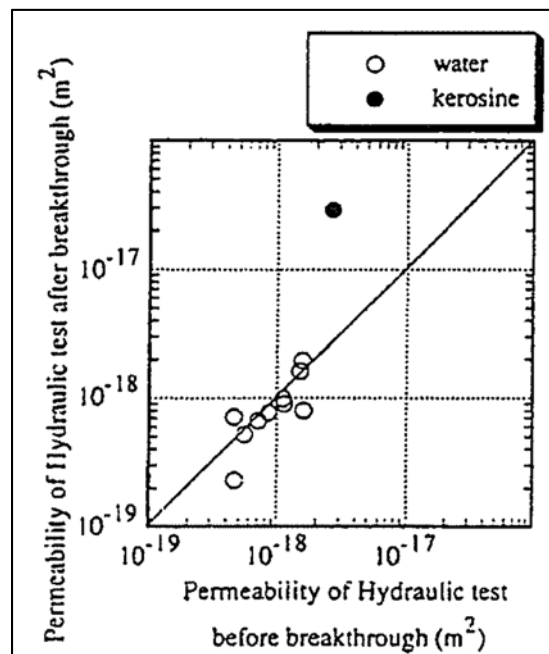


第6図 ガス破過前後のCa型ベントナイト混合土(難透水性覆土相当)の透水係数の比較<sup>(7)(8)</sup>

(ii) Na 型ベントナイト混合土のガス移行特性(穂刈ら<sup>(9)</sup>)

Na 型ベントナイト混合土(代替可能性のある難透水性覆土相当、ベントナイト配合率 15wt%~20wt%)のガス破過前後のベントナイト混合土に対する浸透率の比較を第 7 図に示す。

この図からわかるように、Na 型ベントナイト混合土(代替可能性のある難透水性覆土相当、ベントナイト配合率 15wt%~20wt%)の透気後の透水試験において、ベントナイトの配合率によらず、ガス破過前後の浸透率(透水係数)に大きな変化は見られなかった。



### (3) 廃棄物埋設地におけるガス発生影響について

廃棄物埋設地におけるガス発生影響について検討するため、田中ら<sup>(7)</sup>、大石ら<sup>(8)</sup>が実施した室内試験結果の適用性に関して以下のとおり考察する。

#### (i) 室内試験結果の考察

##### a. ベントナイト配合率 30wt%のケース (No. 1 及び No. 2)

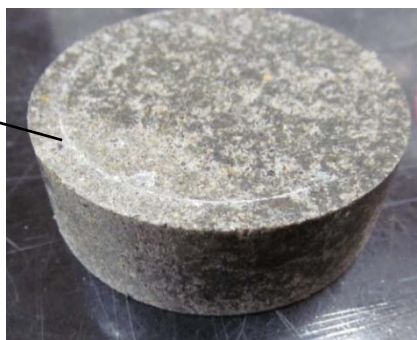
ベントナイト配合率 30wt%のケース (No. 1 及び No. 2) では、ガスの昇圧に伴いガス圧が軸方向全応力と等しい値となり、排気量が急激に増大する現象を確認できていることから、ガス圧の昇圧に伴い供試体にガスの透気方向に亀裂の発生などの損傷が生じている可能性が高い(③ハイドロリックフラクチャリング)。

この際、排気量の急増により 7Nm<sup>3</sup> の容量のガスボンベ中のガスが全て透気し、加圧側ガス圧が背圧程度まで低下したことを確認している。廃棄物埋設地ではガス圧が上載荷重による拘束圧をやや超えたところで大破過が発生し、ガス圧の低下に伴い比較的速やかに大破過が収まるとすると、多量のガスを透気している本試験では卓越流路を通過するガスによるベントナイト流失といった損傷影響を保守的に大きく再現できていると考えられる。

なお、Ca 型ベントナイト混合土の室内試験結果 No. 1 及び No. 2 において、有効上載圧に対して大破過圧が倍以上に大きくなっている結果を示しているが、供試体周辺が剛性の高い鋼製材料に囲まれ、半径方向の応力分散を妨げるような状況であるため、半径方向の圧力が蓄積されることで拘束圧が擬似的に増加し、有効上載圧付近においても大破過に至らずガス圧が上昇したことによる。

参考として、同様の透気試験後にガス流路の拡張を目的として通気し続けた別試験<sup>(10)</sup>の試験後供試体を第 8 図に示す。透気試験においてはリング内外で大破過が認められているにも関わらず、供試体には目視できる損傷は確認できていない。

白く見える円形は  
内外仕切り板の跡



第 8 図 気みち拡張後供試体の側部表面状態

b. ベントナイト配合率 20wt%のケース (No. 3～No. 6)

ベントナイト配合率 20wt%のケース (No. 5 及び No. 6) では、ガス圧は常に軸方向全応力より小さい値であり、排気量の急激な増大を確認し難いことから、明確な亀裂の発生などの損傷が生じていない可能性が高い(②気液 2 相流)。また、ベントナイト配合率 20%のケース (No. 3 及び No. 4) でも大破過に至る場合もあるが、試験結果より、透水係数に有意な影響がないことを確認している。

(ii) 試験結果から推定される廃棄物埋設地におけるガス移行メカニズムの考察

室内試験におけるガス移行メカニズムは、「(1) ガス発生速度、ガス発生量及びガス移行メカニズムに関する既往知見」で整理したメカニズムのうち、②気液 2 相流又は③ハイドロリックフラクチャリングであると推定される。前述のとおり、室内試験においてハイドロリックフラクチャリングが発生する際には、廃棄物埋設地に設置される難透水性覆土に比べ小さい供試体に対し、短時間で想定以上の量のガスが透気する。このため、「(1) ガス発生速度、ガス発生量及びガス移行メカニズムに関する既往知見の整理」で整理したガス発生量(最大 1,000Nm<sup>3</sup>/y)を考慮すると、難透水性覆土へのガスの影響評価において、室内試験は廃棄物埋設地より厳しい条件での結果であると判断される。

(iii) 廃棄物埋設地におけるガス発生影響

室内試験においては、ガス破過前後の透水係数が変化しない結果を確認した。

廃棄物埋設地においては、室内試験に比べて大破過時に通過するガス量が少なく、昇圧速度が遅いことから、室内試験よりも影響が小さいと考えられる。

なお、下部覆土については、難透水性覆土の外側にあり、施工時点において確保する透水係数が難透水性覆土よりも 2 オーダー程度大きいため、難透水性覆土に比べて容易に水・ガスが移行すると考えられる。このため、下部覆土の低透水性に対するガス破過の影響は、難透水性覆土に対するその影響に包含されるものとする。

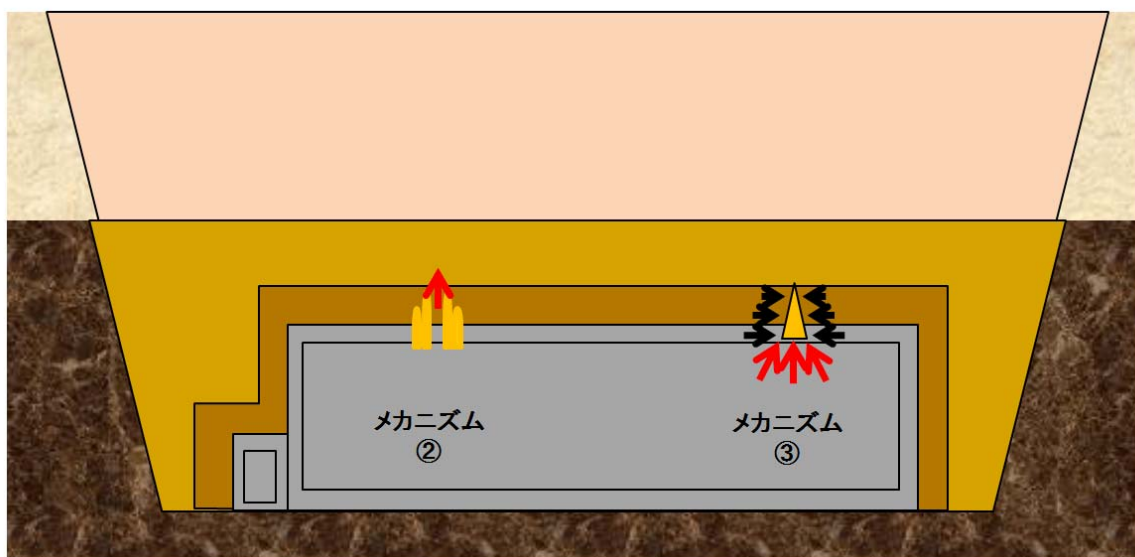


#### (4) まとめ

前項までで整理したように、想定されるガス移行メカニズムは、第2図に記載した3つのメカニズム(①溶存・拡散、②気液2相流、③ハイドロリックフラクチャリング)及びそれらの共存状態が考えられる。

第9図に示すように、廃棄物埋設地では上記のメカニズムが共存すると考えられるが、②の移行が生じる場合は、有効土被り圧よりも小さい圧力でガスの移行が生じ、③の移行が生じる場合でも、有効土被り圧と同等の圧力でガスの移行が生じる。また、②又は③の移行メカニズムでガス移行が生じているベントナイト混合土のガス破過後の透水試験において、ベントナイトの配合率や拘束条件によらず、ガス破過前後の透水係数に大きな変化は見られなかった。加えて、廃棄物埋設地においては、室内試験に比べて大破過時に通過するガス量が少なく、昇圧速度が遅い。よって、廃棄物埋設地においてガス破過によって透水係数の変化は生じないと考えられる。

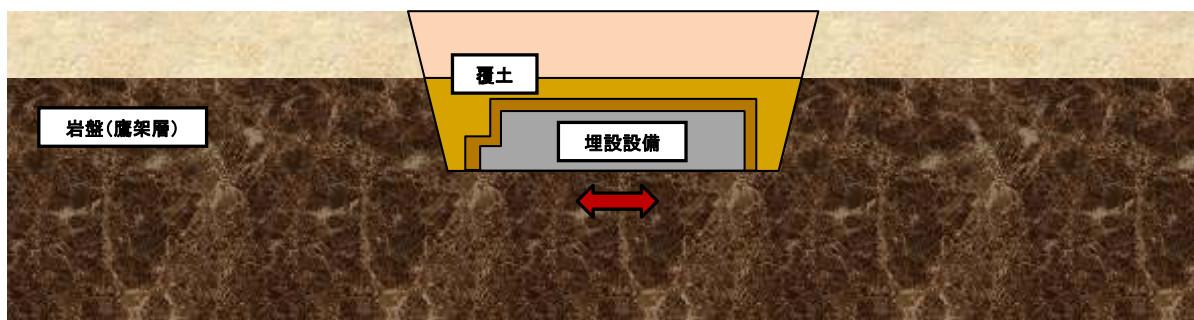
以上のことから、ガス発生による覆土の低透水性への影響は生じないと判断する。



第9図 廃棄物埋設地におけるガス移行挙動の概念図

## 2. 地震の影響

地震力の作用により、覆土(難透水性覆土及び下部覆土)に変形が生じ、低透水性に影響が生じるおそれがある。地震動による埋設設備への影響図を第10図に示す。



第10図 地震動による埋設設備への影響図

埋設設備は岩盤に直接支持されており、内部空洞のない充填されたコンクリート構造物であることから、地震動による構造物の変形は限定的であり、周辺覆土へ与える変形量は小さい。また、覆土自体においても、水平地盤であり、周囲を岩盤に囲まれていることから、地震における変形量は小さい。

以上から、廃棄物埋設地が地震を受けた際に難透水性覆土が受ける影響について、変位量は小さいと考えられる。地震の影響による覆土の変形量は金属腐食による埋設設備の変形量(補足説明資料4「廃棄物埋設地の状態設定-状態変化の評価(力学的影響)-」を参照。)と比較して非常に小さく、金属腐食の評価に包含されるため、低透水性への影響を無視できる。

## 3. 液状化(覆土)の影響

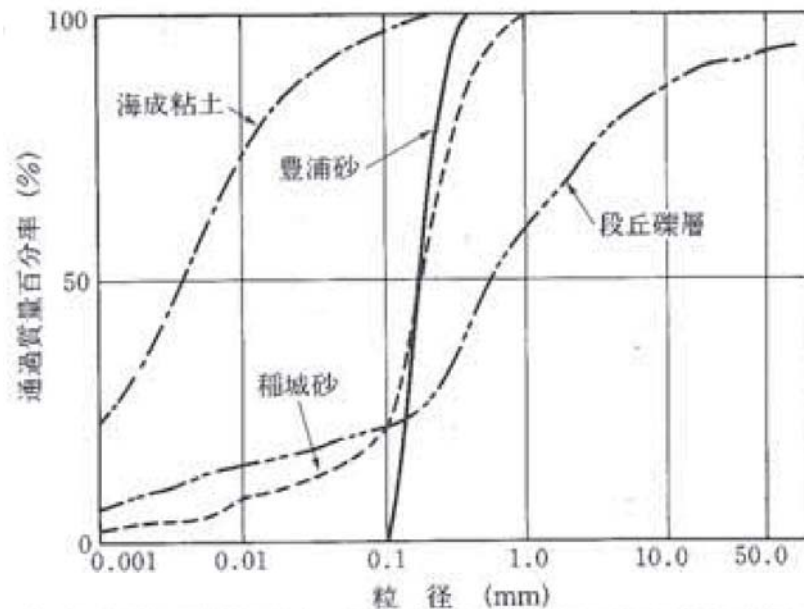
平成19年新潟県中越沖地震において、管理値(締固め度90%以上)を設定し、埋戻し土(砂及び砂質土)の締固めによる対策を実施した箇所では液状化は生じていない。

廃棄物埋設地においても、覆土施工における管理値を同等以上に設定する。覆土は、現地発生土、購入砂、ベントナイト及び礫を仕様に応じて混合した混合土である。よって覆土は、一般に液状化しやすいと知られている「砂分を多く含む、粒度分布が偏った土砂」ではなく、液状化抵抗性に関連する締固め性能が良いとされている「粒径分布に広がりを持った材料」である。これにより覆土は、中越沖地震において被災をしていない箇所で使用されている砂及び砂質土と同等以上の液状化抵抗性をもった材料であると判断される。

また、廃棄物埋設地付近では過去の被害地震から、将来も震度5強を超える地震は発生しないとされている。これは平成19年新潟県中越沖地震において観測された最大震度である震度6強に比べ小さな値であり、この点においても廃棄物埋設地付近では液状化が相対的に発生し難いといえる。

以上のことから、覆土は容易に液状化し難く、低透水性への影響は生じないと考えられる。

第11図に覆土材料として想定している購入砂、ベントナイト及び礫と同等な材料として、豊浦砂、海成粘土及び段丘礫層の粒形加積曲線の例を示す。これらの材料を混合し覆土を製造することから、購入砂単体と比較し、粒度分布に広がりを持つ液状化し難い材料であると考えられる。



第11図 代表的な土の粒形加積曲線の例<sup>(11)</sup>

#### 4. コロイド影響

各部材の間隙水中にコロイドが存在する場合には、コロイドに放射性物質が収着し、放射性物質の移行が促進される(収着性が阻害される)ことが考えられる。

収着性に影響を与える可能性のあるコロイド影響については、埋設設備の間隙水はセメント平衡水でありコロイドが安定に分散できる環境ではなく、収着性に影響は生じないと考えられる。

## 5. 微生物影響

廃棄物埋設地近傍に存在する微生物の活動によって、岩盤(鷹架層)中では有機物が無機化し、収着性が低下することが考えられる。そのため、収着性の評価に際して微生物影響のうち有機物の無機化を影響事象として考慮する。

なお、有機物が分解してガスが発生すること及び金属の腐食反応が促進されることが考えられる。しかし、微生物は高 pH 環境となる埋設設備内や難透水性覆土中においてその活性は低く<sup>(12)</sup>、このような活動で生じる化学環境の変化はその他の影響事象に包含されると考えられる。

## 6. 降下火砕物(化学)の影響

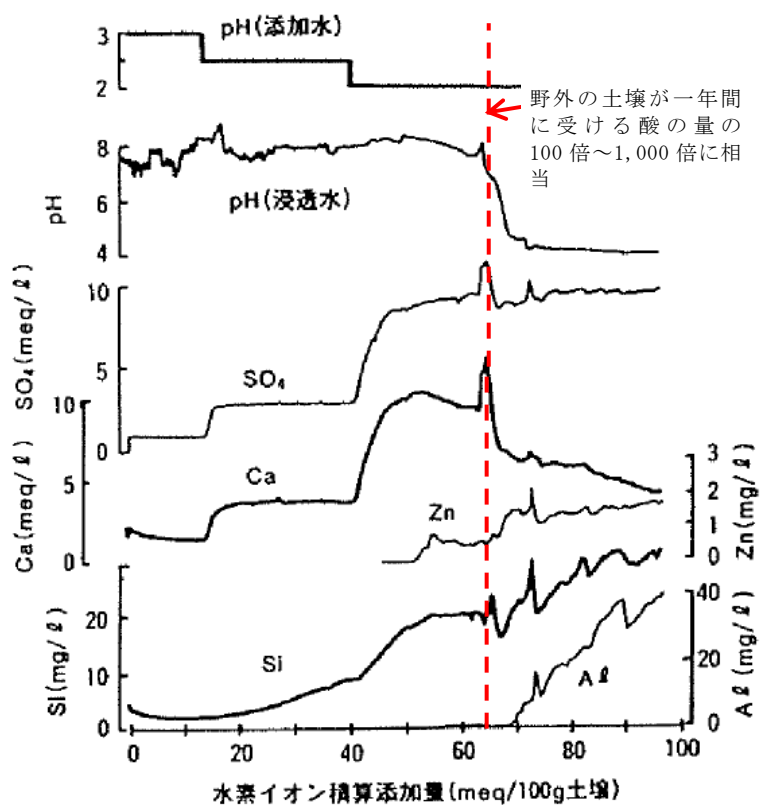
降下火砕物が堆積すると、これらに含まれる成分によって地下水の水質変化、低透水性及び収着性に影響が生じるおそれがある。

pH の変化などの化学的变化に対し、土壌は影響を和らげる緩衝作用<sup>(13)(14)(15)</sup>を持っている。例として、水素イオンが土壌中の粘土や有機物に吸着している陽イオンと置き換えられる陽イオン交換反応、アルミニウム水酸化物の溶解などがある。pH2~3 の希硫酸を火山灰土壌カラムに浸透させた際の水質変化から<sup>(15)</sup>、継続的な酸の流入に対しても、数百年単位で土壌の pH が保たれる。降下火砕物から溶出した成分による pH は、この条件と同等かそれよりも高く、また、一時的なものであるため影響は小さい。

上部覆土は十分な厚さを有するため、上部覆土の緩衝作用により、各バリアの変質などの化学的影響は十分低減され、透水係数及び収着性への影響は無視できる。また、上部覆土の化学的な影響を受ける範囲は限定的であり、十分な厚さを有することから収着性への影響は無視できる。土壌の緩衝作用を第 3 表に、希硫酸添加に伴う土壌カラム浸透水の水質変化を第 12 図に示す。

第3表 土壌の緩衝作用

陽イオン交換反応	土壌中の粘土や有機物は通常マイナスに帯電しており、 $\text{Ca}^{2+}$ などの陽イオンを吸着している。 $\text{H}^+$ は土壌の負荷電と親和性が高いため、吸着イオンは置き換えられ、 $\text{CaSO}_4$ などとして溶出する。
アルミニウム水酸化物の溶解	$\text{H}^+$ 及び $\text{OH}^-$ が過剰となる時、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 及び $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ の加水分解反応の平衡が崩れて pH の変化を抑制する。
変異荷電の発生・消滅	土壌の水酸基 ( $-\text{OH}$ ) やカルボキシル基 ( $-\text{COOH}$ ) は $\text{H}^+$ を吸着して正電荷を生じ pH の低下を抑制する。また $\text{OH}^-$ と官能基末端の $\text{H}^+$ が結合して $\text{H}_2\text{O}$ を形成し、pH の上昇を抑制する。
炭酸カルシウムの溶解	炭酸-重炭酸平衡反応により、 $\text{H}^+$ が消費される。



第12図 希硫酸添加に伴う土壌カラム浸透水の水質変化<sup>(15)</sup>

## 7. 参考文献

- (1) 藤原和俊、谷純一、田中幸久(平成 28 年)：処分環境条件を考慮したアルミニウムの腐食挙動の検討(その 1)－腐食挙動に及ぼす乾燥保管の影響－、電力中央研究所研究報告、Q15010
- (2) 廣永道彦、馬原保典(平成 10 年)：セメント中でのアルミニウムおよび鉄の腐食による水素ガス発生挙動、電力中央研究所研究報告、U97109
- (3) 三菱マテリアル株式会社・日揮株式会社・大成建設株式会社・清水建設株式会社、鹿島建設株式会社(平成 9 年)：六ヶ所 2 号廃棄物埋設施設に関するガスの透気評価
- (4) 藤山哲雄ら(平成 20 年)：ベントナイト・セメント系材料のガス移行評価に関する文献調査、電力中央研究所 調査報告、N07021
- (5) Graham, J., Halayko, K. G., Hume, H., Kirkham, T., Malcom, G. and Oscarson, D.: A capillarity-advective model for gas break-through in clays, *Engineering Geology* 64, pp.273-286, 2002.
- (6) Hoch, A.R., Cliffe, K.A., Swift, B.T. and Rodwell, W.R. : Modeling gas migration in compacted bentonite, GAMBIT Club Phase 3 Final Report, Posiva Report
- (7) 田中幸久、廣永道彦(平成 26 年)：飽和した Ca 型ベントナイト混合土のガス移行特性評価、電力中央研究所報告、N13011
- (8) 大石英希、熊谷守、森敦史、田中幸久、廣永道彦、山本修一(2012)：Ca 型ベントナイト混合土のガス移行特性に関する検討 (1)室内ガス移行試験とガス移行前後の透水性、日本原子力学会 2012 年春の年会
- (9) 穂刈利之、沖原光信、石井卓、小島圭二(1996)：ベントナイト混合土の自己修復性に関する考察、放射性廃棄物研究、Vol.3、No.1、pp.15-23
- (10) 株式会社大林組・株式会社セレス(平成25年)：3号埋設施設の基本設計(その2)のうち安全評価に係るガス影響の検討
- (11) 下水道地震対策技術検討委員会(平成 20 年)：下水道地震対策技術検討委員会報告書 能登半島地震・新潟県中越沖地震の総括と耐震対策の評価および下水道の担うべき機能を継続的に確保する方法の考え方
- (12) 電気事業連合会 核燃料サイクル開発機構(2005)：TRU 廃棄物処分技術検討書－第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ－根拠資料集 分冊 3 FEP

- (13) 松中照夫(2003)：土壤学の基礎、農文協、pp. 142-146
- (14) 石塚和裕(1992)：酸性降下物に対する土壤緩衝能の実態と評価、森林立地 34(1)、pp. 26-35
- (15) 久保井徹(1989)：地下水が酸性になる前に－土壤の緩衝能とその限界－、国立環境研究所ニュース 8 巻 3 号、pp. 6-7

参考資料 1

## 参 考 資 料



IAEA ISAM 及び廃棄物安全小委員会報告書の人工バリアに関する FEP リスト

特性	IAEA ISAM の FEP リスト	廃棄物安全小委員会報告書の FEP*1	
	廃棄体及び人工バリア (浅地中処分)	人工バリアの構成材料(高レベル放射性廃棄物処分)	
		緩衝材／埋め戻し材	プラグ・グラウト ・支保工
温度	2.1.11 熱的プロセスと状態	B1.1 熱特性 B1.2 温度	D1.1 熱特性 D1.2 温度
水理	2.1.05 人工バリアシステムの 特性と変質過程 2.1.08 水理学／水文地質学的 プロセスと状態 2.1.12 ガス発生源と影響	B2.1 水理特性 B2.2 地下水流動 B2.3 飽和	D2.1 水理特性 D2.2 地下水流動 D2.3 飽和
力学	2.1.02 廃棄体の材料、特性、変 質過程 2.1.03 容器の材料、特性、変質 過程 2.1.04 緩衝材／埋め戻し材の 材料、特性、変質過程 2.1.05 人工バリアシステムの 特性と変質過程 2.1.06 他の人工バリアの材料、 特性、変質過程 2.1.07 力学的プロセスと状態 2.1.12 ガス発生源と影響	B3.1 力学特性 B3.2 応力 B3.3 膨潤 B3.4 変形 B3.5 流出	D3.1 力学特性 D3.2 応力 D3.3 膨潤 D3.4 変形 D3.5 流出
化学	2.1.02 廃棄体の材料、特性、変 質過程 2.1.03 容器の材料、特性、変質 過程 2.1.04 緩衝材／埋め戻し材の 材料、特性、変質過程 2.1.05 人工バリアシステムの 特性と変質過程 2.1.06 他の人工バリアの材料、 特性、変質過程 2.1.09 化学／地球化学的プロ セスと状態 2.1.10 生物学／生化学的プロ セスと状態 2.1.12 ガス発生源と影響	B4.1 化学特性 B4.2 地下水化学 B4.3 地下水との反応 B4.4 化学的変質 B4.5 微生物影響 B4.6 有機物影響 B4.7 コロイドの形成 B4.8 ガスの発生／影響 B4.9 塩の蓄積	D4.1 化学特性 D4.2 地下水化学 D4.3 地下水との反応 D4.4 化学的変質 D4.5 微生物影響 D4.6 有機物影響 D4.7 コロイドの形成 D4.8 ガスの発生／影響 D4.9 塩の蓄積

\*1 : ガラス固化体及びオーバーパックに関する記載を除外した。

特性	IAEA ISAM の FEP リスト	廃棄物安全小委員会報告書の FEP*1	
	廃棄体及び人工バリア (浅地中処分)	人工バリアの構成材料(高レベル放射性廃棄物処分)	
		緩衝材／埋め戻し材	プラグ・グラウト ・支保工
放射線	2.1.13 放射線影響 2.1.14 臨界	B5.1 核種の放射性崩壊 B5.2 地下水の放射線分解	B5.1 核種の放射性崩壊 B5.2 地下水の放射線分解
核種移行	2.1.01 インベントリ、核種と他の材料 3.2.01 汚染物質の溶解、沈殿、結晶化 3.2.02 汚染物質の化学種、溶解度 3.2.03 汚染物質の収着・脱着プロセス 3.2.04 コロイドと汚染物質の相互作用と移行 3.2.05 錯体生成による汚染物質の化学種／移行への影響 3.2.06 汚染物質の微生物／生物／植物を介したプロセス 3.2.07 水を媒介とした汚染物質の移行 3.2.08 固体を媒介とした汚染物質の移行 3.2.09 ガスを媒介とした汚染物質の移行	B6.1 物質移動特性 B6.2 幾何形状・間隙構造 B6.3 核種移行 B6.3.1 移流／分散 B6.3.2 拡散 B6.3.3 収着 B6.3.4 沈殿溶解 B6.3.5 コロイド移行 B6.3.6 ガスによる移行 B6.4 物質移動	D6.1 物質移動特性 D6.2 幾何形状・間隙構造 D6.3 核種移行 D6.3.1 移流／分散 D6.3.2 拡散 D6.3.3 収着 D6.3.4 沈殿溶解 D6.3.5 コロイド移行 D6.3.6 ガスによる移行 D6.4 物質移動
他	2.1.15 外来物質	—	—

\*1: ガラス固化体及びオーバーパックに関する記載を除外した。