

2020年5月18日

日本原燃株式会社

前回(2020年5月13日)までのヒアリングコメントへの回答

(第十条 廃棄物埋設地)

前回までのヒアリングで「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一号及び第三号」及び「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」に関して頂いたコメントについて以下に回答する。

【凡例】

「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(2020年5月8日提出版(第十条))」に対し、追記又は削除した部分は、以下のとおり表示を実施。

2020年5月13日のコメント回答：赤字にて追記又は見え消し

2020年5月18日のコメント回答：緑字にて追加又は見え消し

「廃棄物埋設事業変更許可申請書」の記載部分について、以下のとおりマーキング表示を実施。

本文記載・・・「黄色」

本文・添付書類ともに記載・・・「黄色」

添付書類記載・・・「水色」

本文・添付書類の記載変更箇所・・・「下線」

(コメント)

- ・まとめ資料, 第十条一、三号, 3号本文7ページ, 「浸入した水を排水すること」及び「浸入した水を廃棄体と接触することなく適切に排水すること」について、両者の違いが分かるように記載を適正化すること。

(回答箇所)

【3号廃棄物埋設施設】

本文 P.6～P.7 「4.(2)(i)b. 安全設計」

4. 許可基準規則への適合のための設計方針

(2) 安全機能

(i) 漏出防止機能

b. 安全設計

廃棄物埋設地は、以下に示す設計を行うことにより、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)からの放射性物質の漏出を防止する。

漏出防止に関する構造は、雨水及び地下水の浸入を防止する構造及び放射性物質の漏出を防止する構造を組み合わせるものとする。雨水及び地下水の浸入を防止する構造は、外周仕切設備、セメント系充填材、覆い及びポーラスコンクリート層により構成し、放射性物質の漏出を防止する構造は、外周仕切設備、覆い及びポーラスコンクリート層により構成する。さらに、上記にあわせ、内部防水を行う。

埋設する廃棄体は、「核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」(以下「事業規則」という。)に定められた廃棄体に係る技術上の基準を満足するものであり、容器の構造、定置までの取扱い、強度等から、変形・損傷や外部からの雨水及び地下水の浸入が生じ難い構造と考えられるため、容易に廃棄体内の放射性物質が容器の外へ漏えいすることはない。

しかし、埋設設備への定置後において、廃棄体周辺が水で満たされ液相に連続性がある状態となると、廃棄体内の放射性物質は水を媒体として溶出・移行し、廃棄物埋設地の外に漏えいすることが考えられる。このため、「埋設設備内への雨水及び地下水の浸入を防止すること」、「埋設設備浸入した水を排水すること」及び「埋設設備内に浸入した水を廃棄体と接触することなく適切に排水すること」の組合せにより、雨水及び地下水の浸入を防止する設計とし、万一、廃棄体と水が接触した場合にも放射性物質の漏出を防止する設計とする。

(a) 雨水及び地下水の浸入を防止する設計

(一) 埋設設備内への雨水及び地下水の浸入を防止することに対して、埋設設備を構成する外周仕切設備及び覆いは、低透水性及びひび割れ抑制に優れた鉄筋コンクリート製の設計とする。外周仕切設備及び覆いは、低発熱に配慮したコンクリート配合及びひび割れ制御鉄筋を考慮した設計とし、最大ひび割れ幅の設計目標値を0.1mmとする。また、埋設設備は、セメント系充填材の充填時の荷重、覆土の上載荷重、埋設設備及び廃棄体の自重等に対し、十分な構造上の安定性を有する設計とする。さらに、外周仕切設備の内側で、外周仕切設備底版部及び側壁の立ち上げ部に内部防水を行う。

(二) 埋設設備内に外周仕切設備及び覆いから浸入した水を廃棄体と接触することなく適切に排水することに対して、浸入した水を排水できるよう、ポーラスコンクリート層は、定置・充填後から覆土完了までの間、排水性を有し、外周仕切設備及び覆いとセメント系充填材との間に設置する。

(三) 埋設設備内に外周仕切設備及び覆いから浸入した水を廃棄体と接触することなく適切に排水することに対して、浸入した水が廃棄体と接触しないよう、セメント系充填材は、廃棄体定置後、有害な空隙が残らないよう流動性を考慮し埋設設備内を充填するとともに設計とする。さらに、外周仕切設備及び覆いの内側では、セメント系充填材上部及び側部とポーラスコンクリート層の間に内部防水を行う。

(四) その他、作業中における雨水及び地下水の浸入を抑制防止するため、以下の設計を行う。

- ・廃棄体定置後から埋設設備の覆いが完成するまでの間は、埋設設備の区画上部にコンクリート仮蓋を設置し、開口部から埋設設備内部に雨水が浸入することを抑制する。
- ・定置作業中は、埋設クレーンの上部に屋根、側部に雨避け板を設置し、雨水が廃棄体に接触することを抑制する。

(コメント)

- ・まとめ資料, 第十条一、三号, 3号本文 14 ページ, c. (a) 「埋設設備及び排水・監視設備」について、漏出防止の観点では、従来の三点（外周仕切設備及び覆い、ポーラスコンクリート層、セメント系材料）に加えて内部防水も必要になると考えられるため記載を再検討すること。
- ・まとめ資料, 第十条一、三号, 3号本文 14 ページ, c. (a) 「埋設設備及び排水・監視設備」について、「漏出防止機能については～漏出防止機能を維持する構造・仕様とする」は日本語を見直すこと。移行抑制機能についても同じ。

(回答箇所)

【3号廃棄物埋設施設】

- ・本文 P. 14～P. 15 「4. (4) (i) c. 劣化・損傷が生じた場合にも当該機能が維持できる構造・仕様であること」
- ・本文 P. 53 「[参考](1) (ii) c. (a) 埋設設備及び排水・監視設備」

4. 許可基準規則への適合のための設計方針

(4) その他の設計

(i) 廃棄物埋設地に関する設計の留意事項

c. 劣化・損傷が生じた場合にも当該機能が維持できる構造・仕様であること

(a) 埋設設備及び排水・監視設備

埋設設備及び排水・監視設備漏出防止機能については、廃棄体と水が接触することを防止抑制するために、構造として外周仕切設備及び覆い、ポーラスコンクリート層、並びにセメント系充填材並びに仕様として内部防水で多重化し、各部位の劣化・損傷が生じた場合においても、漏出防止機能を維持する構造・仕様とする。

さらに、埋設設備内部において、雨水及び地下水の浸入を防止し、埋設設備からの放射性物質の漏出を防止するために内部防水を行う。

(b) 覆土

覆土移行抑制機能については、長期的に発生が予想される力学的影響及び化学的影響のいずれに対しても機能維持が受動的に期待できるよう、多層化した十分な厚さでの覆土を設置することで、劣化・損傷が生じた場合においても、移行抑制機能を維持する構造構成・仕様とする。

また、劣化・損傷の程度及び期間の不確実性を考慮して、必要な性能に対して、できるだけ裕度のある設計とする。

[参考] 許可基準規則への適合性説明

(1) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第10条第1項及び第3項)

(ii) 確認結果

c. 劣化・損傷が生じた場合にも機能が維持できる構造・仕様であること

(a) 埋設設備及び排水・監視設備

~~埋設設備及び排水・監視設備漏出防止機能については、~~廃棄体と水が接触することを防止抑制するために、~~構造として~~①外周仕切設備及び覆い、②ポーラスコンクリート層、③セメント系充填材、~~仕様として~~④内部防水で多重化し、各部位の劣化・損傷が生じた場合においても、漏出防止機能を維持する構造・仕様としている。

~~さらに、埋設設備内部において、雨水及び地下水の浸入を防止し、埋設設備からの放射性物質の漏出を防止するために内部防水を行う。~~

(コメント)

- ・ 操業段階におけるひび割れについても管理目標値0.1mmとして明確にすべきであり、記載を検討すること。
- ・ 1,2号排水実績で説明があったように、外周仕切設備と覆いととの接合部等の目地部について、水が浸入する原因となりうる箇所であることから、どのように今後の設計で配慮するのかを記載すること。

(回答箇所)

【3号廃棄物埋設施設】

- ・ 本文 P.23～P.24 「5.(2)(i)c.(a)(三)(7) 透水特性」
- ・ 本文 P.27～P.28 「5.(2)(i)c.(e)(三)(7) 透水特性」

【P.23～P.24】

(a) 外周仕切設備

(三) 仕様

(7) 透水特性

コンクリートの低透水性及びひび割れの抑制に配慮した設計とする。

低透水性を確保するため、「コンクリート標準示方書(施工編)」⁽¹⁾に基づき、水結合材比を55%以下とする。また、最大ひび割れ幅の設計目標値を0.1mmとし、温度応力及び収縮による貫通ひび割れの発生を抑制するため、低発熱に配慮した材料配合及びひび割れ制御鉄筋を考慮した設計とする。

~~外周仕切設備は、最大ひび割れ幅の設計目標値を0.1mmとし、ひび割れを制御する設計を行う。~~

~~外周仕切設備に発生するひび割れについては、埋設設備の構築及び廃~~

棄体定置の手順を踏まえ補修可能な時期を考慮し*1、発生要因及び対象箇所に応じてひび割れ状況の点検と必要に応じた補修を行う。

外周仕切設備の施工段階においては、温度応力及び収縮による貫通ひび割れが想定されることから、温度応力及び収縮の影響が収束した段階で点検を行い、0.1mm以上のひび割れを補修する。温度応力及び収縮の影響の収束は、~~した以降に貫通ひび割れの発生・進展は考え難いことから、~~使用材料、部材厚さ、環境条件等から温度応力及び収縮の影響の収束を判断してひび割れの観察・補修を実施する*2。ただし、埋設設備の施工の進捗に応じて観察・補修ができない箇所が生じることから*3、該当する箇所については、ひび割れの補修を行ってから、次工程に進む。

外周仕切設備の施工段階以降、覆土施工開始までの間、定期的に点検を行い、0.1mm以上のひび割れについては管理する*1。そのひび割れの進展状況、排水・監視設備からの排水量等を防水性の観点で評価した上で、覆土施工開始までに適切に補修する。

~~施工段階以降、覆土の施工まで、経年において生じたひび割れについては、「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」を参考とし、ひび割れによるコンクリートの防水性・水密性への影響を評価して必要に応じた補修を行う。~~

*1：底版の下面、ポーラスコンクリート層を型枠として施工する側壁の内面はひび割れの確認を行うことができない状態であるため、それぞれ底版の上面及び側壁の外面で確認する。補修の対象箇所における及び補修可能な時期は以下のとおりとする。

- ・底版の上面：次工程(内部防水設置)に進むまで
- ・底版の側部：覆土施工開始まで
- ・側壁の外面：覆土施工開始まで

*2：ひび割れの補修時期は強度発現時期を考慮して決定する。中庸熱ポルトランドセメント、フライアッシュ等を用いた低発熱のコンクリートの管理材齢は91日とされている⁽⁵⁾。

*3：側壁の施工時においては、内側の型枠としてポーラスコンクリート層を設置することから、側壁打設に先行して底部の内部防水の一部を施工する必要がある、内部防水施工後、内部防水施工箇所の底版コンクリートの観察・補修ができない。

【P. 27～P. 28】

(e) 覆い及びコンクリート仮蓋

(三) 仕様

(7) 透水特性

覆いは、コンクリートの低透水性及びひび割れの抑制に配慮した設計とする。

低透水性を確保するため、「コンクリート標準示方書(施工編)」⁽¹⁾に基づいて、水結合材比を55%以下とする。また、最大ひび割れ幅の設計目標値を0.1mmとし、温度応力及び収縮による貫通ひび割れの発生を抑制するため、低発熱に配慮した材料配合及びひび割れ制御鉄筋を考慮した設計とする。

~~覆いは、最大ひび割れ幅の設計目標値を0.1mmとし、ひび割れを制御する設計を行う。~~

~~覆いに発生するひび割れについては、埋設設備の構築及び廃棄体定置の手順を踏まえ補修可能な時期を考慮し*1、発生要因及び対象箇所に応じてひび割れ状況の点検と必要に応じた補修を行う。~~

~~覆いの施工段階においては、温度応力及び収縮による貫通ひび割れが想定されることから、温度応力及び収縮の影響が収束した段階で点検を行い、0.1mm以上のひび割れを補修する。温度応力及び収縮の影響の収束は、した以降に貫通ひび割れの発生・進展は考え難いことから、使用材料、部材厚さ、環境条件等から温度応力及び収縮の影響の収束を判断してひび割れの観察・補修を実施する*2。ただし、施工の進捗に応じて観察・補修ができない箇所が生じることから、該当する箇所については、ひび割れの補修を行ってから、次工程に進む。~~

~~覆いの施工段階以降、覆土施工開始までの間、定期的に点検を行い、0.1mm以上のひび割れについては管理する*1。そのひび割れの進展状況、排水・監視設備からの排水量等を防水性の観点で評価した上で、覆土施工開始までに適切に補修する。~~

~~施工段階以降、覆土の施工まで、経年において生じたひび割れについては、「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」を参考とし、ひび割れによるコンクリートの防水性・水密性への影響を評価して必要に応じて補修を行う。~~

また、既設1号埋設設備において、覆いに生じたひび割れを浸入経路とした排水が認められており、ひび割れ制御鉄筋により対策していることから、3号埋設設備においてもこれを踏襲する(添付資料4「参考資料11号及び2号排水・監視設備からの排水実績と漏出防止機能の健全性につ

いて」参照)。

さらに、覆い目地部から浸入する雨水を低減するため、覆い上面に傾斜を設けることで水が滞留し難い設計とする(添付資料4「2.(4) その他の防水に対する設計」参照)。

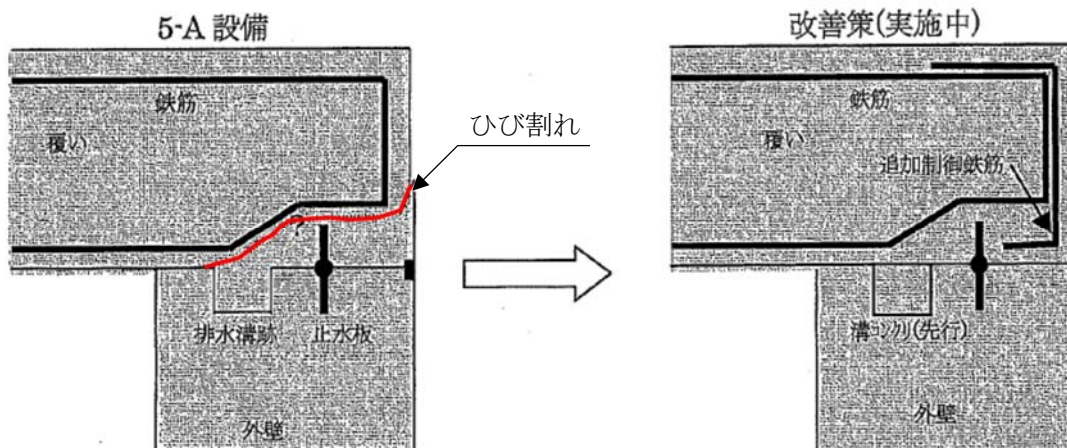
コンクリート仮蓋は、区画内に雨水を浸入させない設計とする。

*1：覆いの下面はひび割れの確認を行うことができない状態であるため、覆いの上面で確認する。補修の対象箇所における及び補修可能な時期は以下のとおりとする。

・覆いの外面：覆土施工開始まで

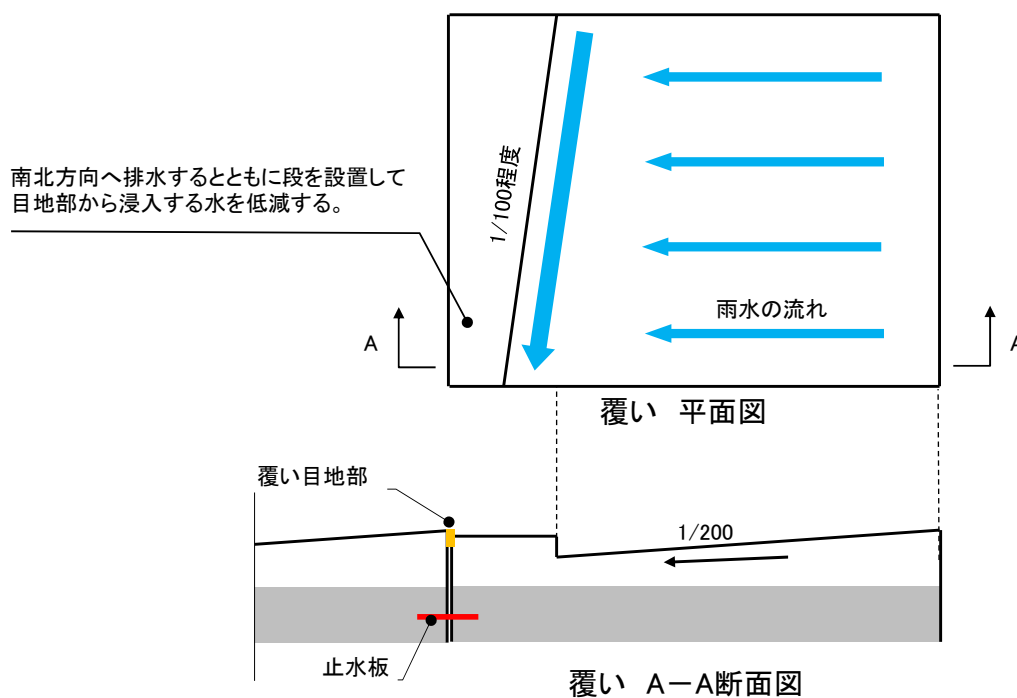
*2：ひび割れの補修時期は強度発現時期を考慮して決定する。中庸熱ポルトランドセメント、フライアッシュ等を用いた低発熱のコンクリートの管理材齢は91日とされている⁽⁵⁾。

【添付資料 4「参考資料 1 1号及び2号排水・監視設備からの排水実績と漏出防止機能の健全性について」の関連図 (P. 添4参1-6)】



第1図 追加制御鉄筋による止水対策

【添付資料 4「2.(4) その他の防水に対する設計」の関連図 (P. 添4-8)】



第5図 覆い上面の排水構造例

(コメント)

- ・ 17ページ、第1図のアルミニウムのガス発生速度について、初期時点でのpHがいくつであるのか次回説明すること。

(回答箇所)

・【3号、1号及び2号廃棄物埋設施設】

まとめ資料本文 P. 42 「4. (2) (i) c. (b) (三) (イ) ガス発生」

・ 補足説明資料3 添付資料1

P. 補3 添1-2～ P. 補3 添1-3 「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」

【まとめ資料本文 P. 42 (3号廃棄物埋設施設)】

(イ) ガス発生 (詳細は補足説明資料3 添付資料1 参照)

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発生するガスによるガス圧・間隙水圧の上昇又はガスの移行により難透水性覆土及び下部覆土が変形・損傷し低透水性に影響することが考えられる。

埋設設備内におけるガスの発生源は、廃棄体中に含まれる金属又は有機物、廃棄体の容器及び埋設設備内の鉄筋であり、ガス発生量の大半を占めるガス発生物質は、埋設設備内に存在する金属である。

~~廃棄物埋設地のうち、埋設設備内に存在する金属量が最も多い3号埋設設備におけるガス発生による影響評価を行うことにより、それぞれの廃棄物埋設地におけるガス発生による影響評価を代表させる。~~

単位時間当たりのガス発生量が最も大きくなるのは、金属類廃棄体⁽³³⁾であり、既往知見⁽³⁴⁾によると、~~3号~~埋設設備1基から1年間に発生する標準状態(0℃、1atm)のガス発生量は、pH12.5～pH13.0及び水温15℃～45℃の条件での腐食速度試験の結果に基づくと最大で1,000m³と推定され、時間の経過とともに減少すると考えられる。

ベントナイト系材料中のガス移行メカニズムに関する藤山ら⁽³⁵⁾の調査結果によれば、難透水性覆土の内側に蓄積したガスは、気液2相流、卓越流路の形成を伴うハイドロリックフラクチャリングのいずれか、又はこれらの両方が共存するガス移行メカニズムに従い、飽和した難透水性覆土中

を移行し、破過に至ると考えられ、廃棄物埋設地においてもこれらのガス移行メカニズムが共存する状態であると考えられる。

田中ら⁽³⁶⁾が実施したベントナイト混合土のガス透気試験では、廃棄物埋設地で想定される上記のガス移行メカニズムによりガス破過が生じていると考えられ、ガス破過前後の透水係数に変化は見られなかったことから、難透水性覆土の透水係数の変化は生じないと考えられる。

また、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桁程度大きいため、難透水性覆土に比べて容易に水及び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。

以上より、ガス発生による難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に有意な影響は生じないことから、ガス発生は影響事象として考慮しない。

【まとめ資料本文 P.42 (1号廃棄物埋設施設)】

(イ) ガス発生 (詳細は補足説明資料3 添付資料1参照)

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発生するガスによるガス圧・間隙水圧の上昇又はガスの移行により難透水性覆土及び下部覆土が変形・損傷し低透水性に影響することが考えられる。

埋設設備内におけるガスの発生源は、廃棄体中に含まれる金属又は有機物、廃棄体の容器及び埋設設備内の鉄筋であり、ガス発生量の大半を占めるガス発生物質は、埋設設備内に存在する金属である。

廃棄物埋設地のうち、埋設設備内に存在する金属量に加え塩影響を考慮しても、埋設設備体積当たりのガス発生量が同等であるが最も多い3号埋設設備におけるガス発生による影響評価を行うことにより、それぞれの廃棄物埋設地におけるガス発生による影響評価を代表させる。

単位時間当たりのガス発生量が最も大きくなるのは、金属類廃棄体⁽³³⁾であり、既往知見⁽³⁴⁾によると、3号埋設設備1基から1年間に発生する標準状態(0℃、1atm)のガス発生量は、pH12.5～pH13.0及び水温15℃～45℃の条件での腐食速度試験の結果に基づくと最大で1,000m³と推定され、時間

の経過とともに減少すると考えられる。

ベントナイト系材料中のガス移行メカニズムに関する藤山ら⁽³⁵⁾の調査結果によれば、難透水性覆土の内側に蓄積したガスは、気液 2 相流、卓越流路の形成を伴うハイドロリックフラクチャリングのいずれか、又はこれらの両方が共存するガス移行メカニズムに従い、飽和した難透水性覆土中を移行し、破過に至ると考えられ、廃棄物埋設地においてもこれらのガス移行メカニズムが共存する状態であると考えられる。

田中ら⁽³⁶⁾が実施したベントナイト混合土のガス透気試験では、廃棄物埋設地で想定される上記のガス移行メカニズムによりガス破過が生じていると考えられ、ガス破過前後の透水係数に変化は見られなかったことから、難透水性覆土の透水係数の変化は生じないと考えられる。

また、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 桁程度大きいため、難透水性覆土に比べて容易に水及び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。

以上より、埋設設備体積当たりのガス発生量が同等であるの多い 3 号廃棄物埋設地において、ガス発生による難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に有意な影響は生じないことから、1号廃棄物埋設地におけるガス発生は影響事象として考慮しない。

【まとめ資料本文 P. 42 (2号廃棄物埋設施設)】

(イ) ガス発生 (詳細は補足説明資料 3 添付資料 1 参照)

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発生するガスによるガス圧・間隙水圧の上昇又はガスの移行により難透水性覆土及び下部覆土が変形・損傷し低透水性に影響することが考えられる。

埋設設備内におけるガスの発生源は、廃棄体中に含まれる金属又は有機物、廃棄体の容器及び埋設設備内の鉄筋であり、ガス発生量の大半を占めるガス発生物質は、埋設設備内に存在する金属である。

廃棄物埋設地のうち、埋設設備内に存在する金属量を考慮して、埋設設

備体積当たりのガス発生量が同等であるが最も多い3号埋設設備におけるガス発生による影響評価を行うことにより、それぞれの廃棄物埋設地におけるガス発生による影響評価を代表させる。

単位時間当たりのガス発生量が最も大きくなるのは、金属類廃棄体⁽³³⁾であり、既往知見⁽³⁴⁾によると、3号埋設設備1基から1年間に発生する標準状態(0℃、1atm)のガス発生量は、pH12.5～pH13.0及び水温15℃～45℃の条件での腐食速度試験の結果に基づくと最大で1,000m³と推定され、時間の経過とともに減少すると考えられる。

ベントナイト系材料中のガス移行メカニズムに関する藤山ら⁽³⁵⁾の調査結果によれば、難透水性覆土の内側に蓄積したガスは、気液2相流、卓越流路の形成を伴う hidroリックフラクチャリングのいずれか、又はこれらの両方が共存するガス移行メカニズムに従い、飽和した難透水性覆土中を移行し、破過に至ると考えられ、廃棄物埋設地においてもこれらのガス移行メカニズムが共存する状態であると考えられる。

田中ら⁽³⁶⁾が実施したベントナイト混合土のガス透気試験では、廃棄物埋設地で想定される上記のガス移行メカニズムによりガス破過が生じていると考えられ、ガス破過前後の透水係数に変化は見られなかったことから、難透水性覆土の透水係数の変化は生じないと考えられる。

また、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桁程度大きいいため、難透水性覆土に比べて容易に水及び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。

以上より、埋設設備体積当たりのガス発生量が同等であるの多い3号廃棄物埋設地において、ガス発生による難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に有意な影響は生じないことから、2号廃棄物埋設地におけるガス発生は影響事象として考慮しない。

【補足説明資料 3 P. 補 3 添 1-2～ P. 補 3 添 1-3】

(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。

埋設設備はセメント系材料によって構成されている。その間隙水には、セメントの主成分である水酸化カルシウムが飽和するまで溶解し、微量成分のナトリウムやカリウムが溶解することから、pH12.5～pH13、水温 15℃程度となる。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。埋設設備内の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⁽¹⁾によれば、pH11.5～pH12.5、水温 15℃の条件においては 10 μ m/y 以下の値で推移し、1 μ m/y 以下まで低下することが知られている。また、廣永らの報告⁽²⁾によると、pH12.5～pH13 と想定されるモルタル粉砕粒子共存中での水温 15℃におけるアルミニウムの腐食速度は、100 μ m/y 以下まで 3 週間程度で低下し、最終的に 10 μ m/y に達するとされている。

~~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、嫌气的条件となるが、この地下水が廃棄体容器の内部に浸入して、廃棄体層内が嫌气的条件になると、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、廣永らの報告⁽²⁾によると、⁽²⁾が測定した pH12.4、水温 15℃においては腐食速度に基づき作成したアレニウスプロットより、0.0020.01 μ m/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。

1号廃棄物埋設地では、均質・均一固化体に含まれる可溶性塩によるガスの発生速度への影響があると考えられる。廃棄物埋設地におけるガスの発生量の評価においては、可溶性塩の存在により腐食速度が変化することを考慮する。

(ii) ガスの発生量

既往知見⁽²⁾⁽³⁾により整理された pH12.5～pH13.0 及び水温 15℃～45℃の条件での腐食速度試験の結果に基づいて、アルミニウムの腐食速度を 30 μm/y、鉄の腐食速度を 0.01 μm/y と設定して 2号廃棄物埋設地を対象に評価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 500Nm³/y であると評価されている。

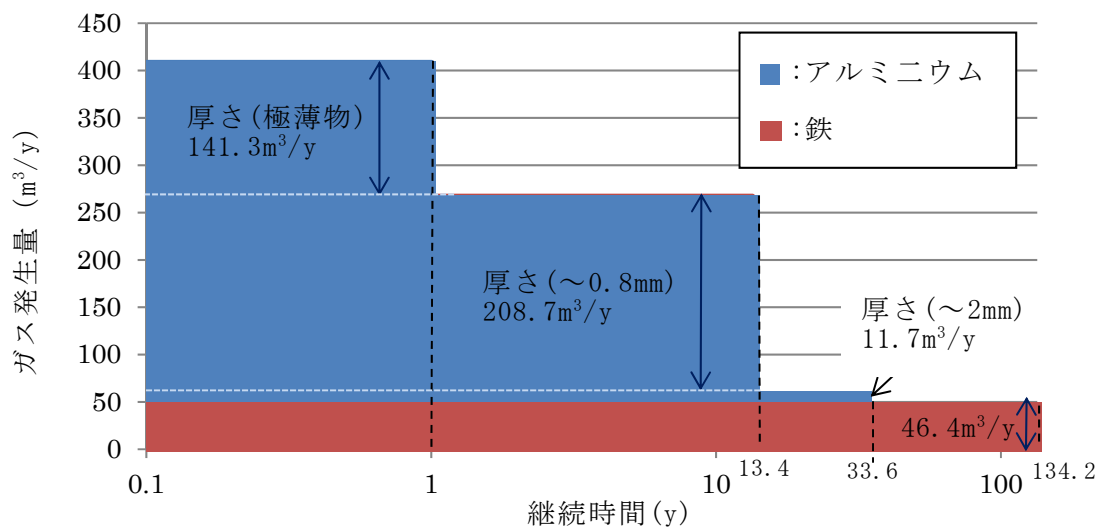
3号廃棄物埋設地においては、埋設設備 1 基当たりに埋設可能な廃棄体本数が 2号廃棄物埋設地の約 2 倍 (26,400 本/12,960 本=2.04) であることから、同様な考え方に基づくと、埋設設備 1 基当たり最大で 1,000Nm³/y と算定できる。ここで、3号廃棄物埋設地においては、埋設する廃棄体及び定置密度が 2号廃棄物埋設地と同じであることから、埋設設備体積当たりのガス発生量は 2号廃棄物埋設地とほぼ同等である。

1号廃棄物埋設地では、均質・均一固化体に含まれる可溶性塩によるガスの発生量への影響が生じる。廃棄物埋設地におけるガスの総発生量は、埋設される廃棄体に含まれる金属の量と正の相関を持つ。均質・均一固化体に含まれる金属量は、充填固化体に含まれる金属量に比べ非常に少ないため、1号埋設設備のうち充填固化体を埋設する埋設設備を対象に、可溶性塩による影響を考慮したガス発生量を評価する。1号廃棄物埋設地に埋設される充填固化体の重量は、3号廃棄物埋設地に埋設される充填固化体の重量の半分程度であることを考慮して、第1図を参考にガス発生量を評価した。その結果、可溶性塩の存在により鉄の腐食速度が仮に 10 倍程度⁽⁴⁾⁽⁵⁾になったとしても、ガス発生について支配的であるアルミニウムの腐食速度は大きく変化しない⁽⁶⁾ことから、埋設設備体積当たりのガス発生量は 2号及び 3号廃

棄物埋設地とほぼ同等である。以上のことから、1号廃棄物埋設地における可溶性塩の影響を考慮しても、3号廃棄物埋設地におけるガス発生による影響評価で代表できるといえる。

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⁽³⁾

	鉄	アルミニウム				合計
		極薄物	～0.8mm	～2mm	～8mm	
ガス発生量	46.4m ³ /y	141.3m ³ /y	208.7m ³ /y	11.7m ³ /y	0m ³ /y	408.1m ³ /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

(コメント)

- ・腐食速度の設定について、1号埋設施設の間隙水中の塩濃度が引用している試験の環境条件により包含されていることの記載を追記すること。また、腐食速度に対する可溶性塩影響がわかる文献を引用し、根拠を示すこと。

(回答箇所)

- ・【3号及び2号廃棄物埋設施設】

まとめ資料本文 P. 51～P. 52 「4. (2) (i) c. (d) (一) 金属腐食による体積膨張及」

- ・【1号廃棄物埋設施設】

まとめ資料本文 P. 51～P. 53 「4. (2) (i) c. (d) (一) 金属腐食による体積膨張及び塩影響」

- ・補足説明資料 4 P. 補 4-12 「4. (1) (i) 埋設設備中の環境条件の設定」

- ・補足説明資料 4 P. 補 4-33 「4. (1) (vii) c. 腐食速度の設定」

【3号及び2号廃棄物埋設施設 P.51～P.52】

第17表 埋設設備中の環境条件、金属種類並びに腐食生成物の設定及び設定の考え方

条件		設定	設定の考え方
ORP*1		【確からしい設定】 嫌気的条件	【確からしい設定】 埋設設備の設置深度近傍にて取得された溶存酸素濃度(0.2ppm未満)及びORP*1(-100mV以下)を参考に設定する。
		【厳しい設定】 嫌気的条件～好気的条件	【厳しい設定】 埋設設備中の溶存酸素の移行経路によっては、廃棄体容器及び金属廃棄物に供給されることが考えられる。また、廃棄物埋設地周辺の地下水に含まれる溶存酸素の供給量の変動した場合を考慮し、嫌気的条件～好気的条件を考慮する。
pH		【確からしい設定】 セメント系材料に生じる一般的な現象を考慮し、高いpHを設定	【確からしい設定】 状態変化の評価期間において、セメント系材料のカルシウムシリケート水和物が溶解することにより高いpHの状態(pH11以上)となることが考えられるため、これを考慮する。
		【厳しい設定】 上記に加え、セメント系材料からNa及びK成分が溶出した場合を考慮し、更に高いpHを設定	【厳しい設定】 セメント系材料のカルシウムシリケート水和物が溶解することに加え、Na及びK成分が溶出した場合、pHが更に高い状態に推移する。金属腐食では、pHが変化した場合、腐食膨張倍率の異なる腐食生成物が生成され、金属の膨張量が増加する可能性があることから、これを考慮する。
水温		【共通】 廃棄物埋設地周辺の水温を参考に設定	【共通】 埋設設備の設置深度近傍にて取得された水温(10℃～15℃程度)を参考に設定する。
代表とする 金属種類	鉄	【確からしい設定】 Fe ₃ O ₄	【確からしい設定】 安定な結晶性の腐食生成物であることからFe ₃ O ₄ を設定する。
		【厳しい設定】 Fe(OH) ₂	【厳しい設定】 金属腐食に伴う膨張に大きく寄与するFe(OH) ₂ を設定する。
その他 考慮する 金属種類	アルミニウム ニッケル 銅 亜鉛	【確からしい設定】 ・Al(OH) ₃ ・Ni(OH) ₂ ・Cu ・Zn(OH) ₂	【確からしい設定】 金属腐食に伴う膨張に大きく寄与する水酸化物を設定する。 ただし、銅に関しては、確からしい設定の環境条件下では腐食しないことから銅のままとして設定する。
		【厳しい設定】 ・Al(OH) ₃ ・Ni(OH) ₂ ・Cu(OH) ₂ ・Zn(OH) ₂	【厳しい設定】 金属腐食に伴う膨張に大きく寄与する水酸化物を一律設定する。

*1：酸化還元環境のうち、酸化還元電位を指す。

第17表 埋設設備中の環境条件、金属種類並びに腐食生成物の設定及び設定の考え方

条件	設定	設定の考え方	
ORP*1	【確からしい設定】 嫌气的条件	【確からしい設定】 埋設設備の設置深度近傍にて取得された溶存酸素濃度(0.2ppm未満)及びORP*1(-100mV以下)を参考に設定する。	
	【厳しい設定】 嫌气的条件～好气的条件	【厳しい設定】 埋設設備中の溶存酸素の移行経路によっては、廃棄体容器及び金属廃棄物に供給されることが考えられる。また、廃棄物埋設地周辺の地下水に含まれる溶存酸素の供給量が変動した場合を考慮し、嫌气的条件～好气的条件を考慮する。	
pH	【確からしい設定】 セメント系材料に生じる一般的な現象を考慮し、高いpHを設定	【確からしい設定】 状態変化の評価期間において、セメント系材料のカルシウムシリケート水和物が溶解することにより高いpHの状態(pH11以上)となることが考えられるため、これを考慮する。	
	【厳しい設定】 上記に加え、セメント系材料からNa及びK成分が溶出した場合を考慮し、更に高いpHを設定	【厳しい設定】 セメント系材料のカルシウムシリケート水和物が溶解することに加え、Na及びK成分が溶出した場合、pHが更に高い状態に推移する。金属腐食では、pHが変化した場合、腐食膨張倍率の異なる腐食生成物が生成され、金属の膨張量が増加する可能性があることから、これを考慮する。	
水温	【共通】 廃棄物埋設地周辺の水温を参考に設定	【共通】 埋設設備の設置深度近傍にて取得された水温(10℃～15℃程度)を参考に設定する。	
代表とする 金属種類*2	鉄	【確からしい設定】 Fe ₃ O ₄	【確からしい設定】 安定な結晶性の腐食生成物であることからFe ₃ O ₄ を設定する。
		【厳しい設定】 Fe(OH) ₂	【厳しい設定】 金属腐食に伴う膨張に大きく寄与するFe(OH) ₂ を設定する。
その他 考慮する 金属種類*2	アルミニウム ニッケル 銅 亜鉛	【確からしい設定】 ・Al(OH) ₃ ・Ni(OH) ₂ ・Cu ・Zn(OH) ₂	【確からしい設定】 金属腐食に伴う膨張に大きく寄与する水酸化物を設定する。 ただし、銅に関しては、確からしい設定の環境条件下では腐食しないことから銅のままとして設定する。
		【厳しい設定】 ・Al(OH) ₃ ・Ni(OH) ₂ ・Cu(OH) ₂ ・Zn(OH) ₂	【厳しい設定】 金属腐食に伴う膨張に大きく寄与する水酸化物を一律設定する。

*1：酸化還元環境のうち、酸化還元電位を指す。

*2：均質・均一固化体中に含まれる可溶性塩による影響を考慮している。

第 1 表 埋設設備中の環境条件の設定の考え方と設定

条件	設定	設定の考え方
ORP	【確からしい設定】 嫌氣的条件	【確からしい設定】 埋設設備の設置深度近傍にて取得された溶存酸素濃度(0.2ppm 未満)及び ORP(-100mV 以下)を参考に設定する。
	【厳しい設定】 嫌氣的条件～好氣的条件	【厳しい設定】 埋設設備中の溶存酸素の移行経路によっては、廃棄体容器及び金属廃棄物に供給されることが考えられる。また、廃棄物埋設地周辺の地下水に含まれる溶存酸素の供給量の変動した場合を考慮し、嫌氣的条件～好氣的条件を考慮する。
pH	【確からしい設定】 セメント系材料に生じる一般的な現象を考慮し、高い pH を設定	【確からしい設定】 <u>状態変化の評価期間において、セメント系材料のカルシウムシリケート水和物が溶解することにより高い pH の状態(pH11 以上)となる</u> ことが考えられるため、これを考慮する。
	【厳しい設定】 上記に加え、セメント系材料から Na 及び K 成分が溶出した場合を考慮し、更に高い pH を設定	【厳しい設定】 セメント系材料のカルシウムシリケート水和物が溶解することに加え、Na 及び K 成分が溶出した場合、pH が更に高い状態に推移する。金属腐食では、pH が変化した場合、腐食膨張倍率の異なる腐食生成物が生成され、金属の膨張量が増加する可能性があることから、これを考慮する。
水温	【共通】 廃棄物埋設地周辺の水温を参考に設定	【共通】 埋設設備の設置深度近傍にて取得された水温(10℃～15℃程度)を参考に設定する。

【補足説明資料 4 P. 補 4-33】

c. 腐食速度の設定

【確からしい設定】

腐食速度の設定は、第 25 表に整理したとおり、測定手法に内在する測定誤差があることが判明している。そのため、第 26 表から適切であると判断した腐食速度 ($0.002 \mu\text{m/y} \sim 0.01 \mu\text{m/y}$) に対して、最大の腐食速度である $0.01 \mu\text{m/y}$ の小数第 2 位を切り上げた値である $0.1 \mu\text{m/y}$ を設定する。

【厳しい設定】

「4. (1) (vii) a. 腐食速度の測定手法の選定」のとおり、試験的に求める腐食速度を均一腐食として評価することが困難であることから、腐食速度を設定せず金属の全量が瞬時に腐食すると設定する。

以上の腐食速度の設定値及びその考え方を第 27 表に示す。

なお、1 号廃棄物埋設地では、均質・均一固化体に含まれる可溶性塩による腐食速度への影響を考慮する。可溶性塩(硫酸塩及びほう酸塩)による腐食速度への影響は、文献⁽²¹⁾⁽²²⁾より埋設設備中の環境条件下において、腐食速度の低下、又は鉄が不動態化することから影響はない。そのため、腐食速度は、~~可溶性塩による不確実性を包含するため、文献⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾に示された様々な環境条件下(腐食環境として可溶性塩影響^{*1}より金属の腐食環境として厳しい人工海水(NaCl)影響^{*2}を含む)~~にて取得された腐食速度に対し、最大の腐食速度を選定している。

*1:均質・均一固化体を埋設する埋設設備内の間隙水における可溶性塩の濃度は、塩による収着影響との設定(硫酸塩 3%、ほう酸塩 0.1%)と同じ値である。

*2: 文献⁽¹⁶⁾に示される人工海水(NaCl)の濃度は、約 3%である。

9. 参考文献

- (1) 牧野 隆吾(2010)：石炭採掘後の陥没現象の解明およびその調査・対策に関する研究、応用地質 第51巻 第2号 p73-84

(中 略)

- (20) 朝倉 祝治ほか(1981)：電気化学的方法による腐食状態の実時間計測技術、金属表面技術 32巻 6号、p280-290
- (21) 大塚 俊明ほか(1982)：液抵抗補正短形波電流分極法による鉄腐食速度の測定、防食技術 31巻 5号、p336-342
- (22) 小澤 正義ほか(2018)：炭素鋼の自己不働態化に及ぼす淡水中へのホウ酸塩添加の影響、材料と環境 67巻 10号、p426-434
- (2324) 国立天文台(2005)：理科年表 平成18年(机上版)、p367

(以下、省略)

【第十条 廃棄物埋設地のうち第一号及び第三号】

(コメント)

- ・ 平常時の被ばく評価について、今回の変更申請で、既許可にあった沢への立入りシナリオを除いた理由を明確化し、申請書・添付書類に記載すること。被ばく線量値はまとめ資料に記載すること。

(回答箇所)

- ・ 第十条 廃棄物埋設地のうち第一号及び第三号(3号廃棄物埋設施設) 第11表

第 11 表 埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの
期間において最大となる公衆の受ける被ばく線量の評価結果

事象 ^{*1}	3号評価結果 (μ Sv/y)		1号評価結果 (μ Sv/y)		2号評価結果 (μ Sv/y)		評価結果の重量 (μ Sv/y)	
	覆土前	覆土 完了後	覆土前	覆土 完了後	覆土前	覆土 完了後	覆土前	覆土 完了後
気体廃棄物が大気への管理放出され、放射性物質が大気へ放出されることによる内部被ばく	約 3.5×10^{-6} 、支配核種：H-3 (管理放出のため、線量の最も大きくなる1号廃棄物埋設施設にて線量を代表)						約 3.5×10^{-6}	
液体廃棄物が尾駱沼又は河川へ管理放出され、その水産物を摂取することによる内部被ばく	約 1.7×10^{-2} 、支配核種：Co-60 (管理放出のため、線量の最も大きくなる1号廃棄物埋設施設にて線量を代表)						約 1.7×10^{-2}	
廃棄物埋設地から放射性物質が地下水によって尾駱沼又は河川へ漏出し、その水産物を摂取することによる内部被ばく	—	約 0.59	—	約 1.9	—	約 1.3	—	約 3.8
管理建屋内の一時貯蔵の廃棄体および定置済み廃棄体からのスカイシャイン線による外部被ばく	—	—	—	—	—	—	約 26 ^{*12}	—
合計 ^{*23}	約 1.7×10^{-2}	約 0.60	約 1.7×10^{-2}	約 1.9	約 1.7×10^{-2}	約 1.4	約 26	約 3.8

*1：平成10年10月8日付け10安(廃規)第49号をもって事業変更の許可を受けた廃棄物埋設事業変更許可申請書(以下「既申請」という。)において評価対象としている「沢への放射性物質の移行による外部被ばく及び内部被ばく」は、1号及び2号廃棄物埋設施設については、他の被ばく経路と比べて線量が無視できる程小さい。また、3号廃棄物埋設施設における線量も同じく低く(約 9.3×10^{-6} [μ Sv/y])、廃棄物埋設地から放射性物質の移行に伴う公衆の受ける線量は、「廃棄物埋設地から放射性物質が地下水によって尾駱沼へ漏出し、その水産物を摂取することによる内部被ばく」にて代表できる。

*12：各廃棄物埋設施設からの方位及び距離を考慮し、重畳させたもの。

*23：線量合計値に関しては、最大線量時期を考慮せず、単純に合計したもの。