

第5回バックエンド技術評価検討会における外部専門家及び専門技術者の評価意見及びその回答

| No. | 安全研究プロジェクト | 外部専門家・専門技術者 | 評価項目 | 評価意見 | 回答 |
|-----|---|-------------|-------------------------|---|--|
| 1 | 廃棄物埋設に影響する長期自然事象の調査方法及びバリア特性長期変遷の評価手法に関する研究 | 小崎 完 氏 | ①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか | 国内外の過去の研究を丁寧に調査し、最新知見を踏まえた研究が実施されていると評価できます。ただし、成果報告書 37 ページにおいて「(セメント中の)物質移行性能に関する研究は、水密コンクリート等の特殊構造物の設計において拡散性等を実験等で計測して品質確認する程度で、メカニズム解明等の研究は行われていないことが既往の研究調査から判明した」と述べているのに対し、38 ページの「①細孔構造の変遷と物質移行性」において移行メカニズムの概要が説明されています。評価対象核種ではありませんが、HTO の拡散メカニズムを考察した論文等が過去にあることなどから、37 ページでは「詳細なメカニズムの解明には至っていない」程度の記述が妥当ではないでしょうか。いずれにせよ、今後のご研究の成果に期待しております。 | ご指摘のとおり廃棄物分野で HTO による拡散試験等に関する論文等が存在することは認識しておりますが、材種や空隙構造等を考慮したメカニズム解明までは至っていないと考えていますので。「詳細なメカニズムの解明には至っていない」の表現に改めます。 |
| 2 | | | ②解析実施手法、実験方法が適切か。 | 解析実施手法、実験方法は適切であったと評価できます。 | |

③解析結果の評価手法、
実験結果の評価手法が
適切か。

概ね適切と評価できます。ただし、セメント試料に
対する水銀圧入法、ガス吸着は基礎的な実験であり、
この結果のみで、目標とした人工バリアの長期性能評
価（物質移行性との関連）を議論することにはやや無
理があると思います。今後、体系立てた物質移行デー
タの取得などで、セメント試料の内部微細構造と移行
性との関連を詳細に検討されることが望まれます。

セメント硬化体の物質移行は、
内部微細構造に大きく影響すると
考えており、また、どの空隙形態に
寄与するかも含めて移行性を評価
することを行います。内部微細構
造の把握に関しては主に水蒸気吸
着等を用いて、CSH等の層間空隙
から毛細管空隙、AE空隙等まで計
測して移行性を評価します。なお、
これらの空隙構造は、使用材料や
配合、更に練混ぜ締め固めに大き
く影響を受けるので、空隙形成の
メカニズムに立脚した検討を行っ
て、検証として実際に供試体を作
成して評価します。

また、300年を超える長期評
価が必要であることを踏まえ、
CSHゲル等の構造が時間経過や水
分の存在等により形態を変化させ
ますので、この変化により層間空
隙の変化との移行性も評価対象と
しております。

一方、セメント硬化体は、体積変
化により拡散場から移流場へ移行
することも踏まえ、体積変化と移

| | | | | | |
|---|--|--------|-------------------------|---|---|
| 4 | | | ④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。 | 重大な見落としは見当たりません。ただし、瑞浪深地層研究所にて結晶質岩を対象に実施された研究において今後の課題とされたものについては、瑞浪が埋め戻しとなり試験の実施が困難となったことから、代替試験法などの検討が必要と思われます。 | <p>行性についても評価します。</p> <p>このような背景から、拡散場、移流場及び吸着について移行性を体系的に評価することを考えています。</p> <p>埼玉大学、産総研と原子力規制庁の共同研究で、岩石試料に3軸で応力を掛けながら力学特性と水理学的特性を取得する室内試験を進めており、原位置での試験と合わせて検討を進めていく予定でございます。</p> <p>拝承いたします。</p> |
| 5 | | その他 | | 人工バリア(ベントナイト)中のカリウムの拡散係数はこれまでに報告例がない、新規の貴重なデータと思いますが、まだ委託先においても成果が発表されていないようですので、今後、積極的に公表されることを期待しています。 | |
| 6 | | 新堀 雄一氏 | ①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか | これまでの国内外の研究成果を踏まえた研究を展開している。なお、岩石中の微小な空隙での特異的な収着反応のメカニズムについては、得られたメソポーラスシリカの結果の知見に加え、さらなる検討が必要になる。また、地形変化を伴う地下水流動・核種移行評価について、規制の観点から今後の継続的な検討が望まれる。 | 核種の岩石への収着現象につきましては、多くの収着試験が行われている岩石試料を粉砕し大きな液固比で接液したときの特性値から、将来想定される水質、鉱物相等の環境条件の幅と、液固比が小さい岩盤中の条件における特性値に変換して評価する必要があります。このため、収着現象の化学的理解や、環境 |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | <p>条件の長期的な変化の予測が必要であり、これまで多くの検討がなされてきていると理解しております。今回着目しているのは、このうちの最初の収着特性の妥当性に関するものであると考えていますが、試験に用いている空隙が均質な人工材料ですので、これが重要な感度があるということになれば、更に天然の岩石の空隙構造の把握と、それを考慮した収着特性の理解を進める必要があると考えております。</p> <p>地形変化を伴う地下水流動・核種移行評価につきましては、特に深度が大きくなる処分概念において重要と考えておりますが、報告書で提示しました評価手法には、まだ、多くの仮定が含まれており、容易に解決しないものも多いと考えております。このため、現象の理解の一方で、現在の理解の範囲でどこまで使うことが可能であるか(地下水の移行経路は変わらなさそうである、侵食は廃棄物埋設地に至ることはな</p> |
|--|--|--|--|--|

| | | | | | |
|---|--|--|---------------------------|--|-----------------------------------|
| 7 | | | ②解析実施手法、実験方法が適切か。 | <p>解析手法および実験方法は適切である。また、一連の研究では、解析および実験手法自体の整理も行い、何れも規制の観点から有用な成果を得ている。たとえば、中深度処分に関連して、隆起速度の評価手法の比較・検討では、既往の何れの手法でも概ね同程度の結果を得ることを確認している。また、地下水流動に関する評価手法の研究では、採取可能な間隙水の同位体比分析から地下水年代の推定手法について、実フィールド試験に基づいた検討を進め、有用な手法を提示している。加えて、細孔構造の変遷と物質移行性に関連した間隙の定量化に関して、マトリックスの強度が小さい試料の間隙径等の測定の適切な手法を確認している。</p> | <p>い等)のロジックの構築を検討したいと考えております。</p> |
| 8 | | | ③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。 | <p>評価手法は適切である。なお、地形変化を伴う地下水流動・核種移行評価については、地形の変化と地下水流動や核種移行の速度との違いを整理し、実効性のある評価手法を把握する必要がある、前述のように、今後も継続した検討が必要になる。</p> | <p>No. 6 参照</p> |
| 9 | | | ④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。 | <p>重大な見落としはない。但し、前述のように、岩石中の微小な空隙での特異的な収着反応のメカニズムについては、多角的な視点から、さらに丁寧な検討が必要と考えられる。</p> | <p>No. 7 参照</p> |

| | | | | | |
|----------------|--|---------|--|--|--|
| 10 | | | その他 | <p>国内外の研究機関の活用は有用である。重要なことは、それらの知見を規制の観点から自らの洞察力（技術力）として取り入れることにある。一連の研究はそのような観点からも着実に成果を挙げている。今後も技術力の更なる向上を目指すことを期待する。他方、本安全研究では、成果の公表も積極に行い、若手の育成にも大きく寄与している。</p> | <p>拝承いたします。</p> |
| 11 12 13 | | 山元 孝広 氏 | <p>①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか</p> <p>②解析実施手法、実験手法が適切か。</p> <p>③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。</p> | <p>長期間の侵食量評価に宇宙線生成核種を用いた測年技術、地下水流動評価に同位体水文学的手法を適用するなど、比較的新しい手法が取り入れられている。</p> <p>解析手法、実験手法の詳細は報告書に示されていないものの、適切な手法が採用されているものと考えられる。</p> <p>・「物理探査による断層長さの認定フロー」等が作成されているが、具体的な適用例も提示されないと、これが評価に適切なフローなのかどうか判断できない。</p> <p>・「不確かさを考慮した地形変化の評価モデル」は、特に中深度処分では必須の評価であろう。ただし、多様な現象の「不確かさ」を具体的にどのように取り扱っているのかの詳細記述がないため、評価手法が適切かどうか判断できない。特に「将来の海水準変動の不確かさ」の影響が大きいとの結論が示されているが、そもそも「海水準変動」自体がかなりの不確かさを内在した現象である。これをどのように数値化して評価したのか中身を示す必要がある。</p> | <p>具体的な適用については、今後の安全研究での課題とさせていただきます。</p> <p>地形変化を伴う地下水流動・核種移行評価につきましては、特に深度が大きくなる処分概念において重要と考えておりますが、報告書で提示しました評価手法には、まだ、多くの仮定が含まれており、容易に解決しないものも多いためと考えております。このため、現象の理解の一方</p> |

| | | | | |
|----|--|-----|--|--|
| 14 | | その他 | <ul style="list-style-type: none"> ・規制当局として「人工バリア劣化評価モデル」や「地形変化評価モデル」を整備することは良いと考えるが、そのモデル骨子やバックデータについては論文として積極的に公表し、科学的な正当性を担保していく努力が必要ではないか？そのような過程を経たモデルでないと、評価結果を正当に扱うことが出来ず、使えないものになってしまうことを危惧する。 ・安全研究成果をどのように中深度処分の審査ガイドに落とし込んでいくのか、展開が見えない。個々の研究項目はまだまだ道半ばの印象がある中で、担当からは早い時期でのガイドライン作成の目標が示され、若干、違和感がある。 | <p>で、現在の理解の範囲でどこまで使うことが可能であるか(地下水の移行経路は変わらなさそうである、侵食は廃棄物埋設地に至ることはない等)のロジックの構築を検討したいと考えております。</p> <p>従来、規制当局としての整理の発表が足りていないことは御指摘のとおりでございます。原子力規制庁の方針といたしまして、研究の技術的成果を規制へ反映する立場で再整理して公表していくこと、また、規制庁の職員自身が技術的検討を行い成果として取りまとめることを進めることとしておりますので、今後、公表を進めていきたいと考えております。</p> <p>規則、審査ガイドにどこまで記述し、それに対する適合性を判断する根拠をどこまで積み上げないといけないか、検討を行っております。科学的に全てが解明されないと審査できないわけではなく、実用的な理解の範囲もありますが、やはりそ</p> |
|----|--|-----|--|--|

| | | | | | |
|----|---------|-------------------------|--|--|-----------------------------|
| | | | | | の基礎となる科学的な理解が重要であると考えております。 |
| 15 | 井口 哲夫 氏 | ①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか | 引用されている参考文献等から、全般的に国内外の関連既往研究の成果を踏まえて研究計画・内容が設定されており、最新知見が反映されていると評価する | | |
| 16 | | ②解析実施手法、実験方法が適切か。 | <p>・中深度処分における隆起・浸食に関する評価手法の研究では、既往研究の調査レビューをもとに、隆起／浸食の評価手法の適用性が対象と時間スケールごとによく整理されている。また、断層等に関する評価手法の研究では、物理探査の手法が網羅的に調査され、段階ごとの適用性評価が適切になされている。</p> <p>・中深度処分における地下水流動に関する評価手法の研究では、同位体水文学的評価手法の有用性および妥当性が示されている。</p> <p>・中深度処分における岩盤の力学・水理特性に関する研究では、一般的な BPI 試験による EDZ 評価の妥当性が、透水試験と弾性波探査試験を併用することで多角的に検討されている。</p> <p>・人工バリアの長期性能評価手法の研究では、ベントナイト系人工バリアの劣化モデルと解析に資する見かけの拡散係数のデータベースの整備・拡充が適切になされている。また、セメント系人工バリアの長期性能評価に関して、細孔構造やセメント結晶変遷に伴う物質移行性を計測する有効な手法の検討がなされている。</p> | | |

③解析結果の評価手法、
実験結果の評価手法が
適切か

・天然バリアの自然現象を考慮した水理特性の評価研究では、不確かさを考慮した時系列的地形変化評価モデルと手法が提示され、ケーススタディながら、過去から将来にわたる地形変化と地下水流動／核種移行の大変興味深い評価結果例が提示されている。

・地質環境及び水理環境モニタリングに関する研究では、国内外の事例調査により課題が明確化されており、長期に渡る適切な地下水モニタリング法やモニタリング孔の扱いが検討されている。

・中深度処分における隆起及び浸食に関する評価手法の研究において、各評価手法の留意事項が適切に指摘されているものの、適否の判断根拠がやや漠然としている感がある。

・中深度処分における断層等に関する評価手法の研究で、反射法地震探査法の有効性を示し、断層長さの認定フローが示されたことは大きな成果と評価するが、探査領域の設定法や探査精度（観測地点からの位置依存性など）の評価法についても、高度な専門的知識が必要と逃げを打つのではなくて、一般論でもよいから具体的な言及が欲しいところ。

・中深度処分における地下水流動に関する評価手法の研究において、地域依存ではあるものの、天水線から深度 13m以深で 10 万年間地下水流動が見られないと

御指摘ありがとうございます。隆起及び侵食の研究は、地質学の分野で主に行われており、放射性廃棄物処分想定した研究は少ないのが現状です。地質学分野の研究者の力をかりて得られた成果を処分に適用する際どのような判断が必要となるかについては、別途、規制庁の研究としてもまとめます。

御指摘ありがとうございます。可能な範囲で、評価手法についても、具体的に示すべきと考えます。今後の断層研究を進める中でご期待に沿えるように対応いたします。

いう知見は重要な成果と評価する。今後、亀裂性媒体／多孔質媒体の地下水流動モデルへの反映を期待する。

・中深度処分の岩盤坑道の EDZ 評価に関して、透水試験と弾性波探査試験との比較から、BPI 試験の開口割れ目観測による水みち評価の問題点が指摘されているが、各試験法で見ている領域の違いなど、結果の差異についてもう少し説明が欲しいところ。

・セメント系人工バリアの細孔構造やセメント結晶変遷に伴う物質移行性の計測手法は予備的な研究ながら有効な手法の提示がなされているが、まずは手法の適否を判断するための要求事項等（例えば、層間空隙やゲル空隙の何をどの程度の精度で測る必要があるのかなど）を明確に示していただきたい。

・天然バリアに関して過去の地形変化の再現性を基にした地下水流動／核種移行の将来予測のケーススタディで定性的な説明と妥当性判断の留意点は納得のいくものであるが、もう少し定量的に入力パラメータの依存性（何が最終結果に効いてくるのか）の感度解析的な検討があるとよい。

拝承いたします。

ご指摘ありがとうございます。
EDZ の研究に関しましては、詳細な説明を、論文発表の形で行いたいと考えております。令和 3 年度中の公表を目標として執筆中ですので、もう少しお時間をいただければと思います。

細孔構造の評価では、水和反応の進展等により変遷する CSH ゲルの層間空隙及びゲル空隙について、使用材料や配合等によりどのように形成され、それがどのような外部環境によりどのように変遷するかを

・地下水モニタリングに関する研究で、廃棄物埋設施設のサイト周辺の3D地下水流動シミュレーションが例示されているが、この結果をもとに、モニタリング孔の設置場所や数を決めることになるので、その精度をどの程度担保する必要があるのかの評価・検証が気になるところ。

整理することにしております。したがって、これらの空隙を間接手法として主に水蒸気吸着装置、直接手法として中性子小角散乱を用いることとしております。また、セメント結晶の変遷は、CSHゲルの構造安定性を評価するために、TMS法とNMRを用いて評価することとしております。

地形変化を伴う地下水流動・核種移行評価につきましては、特に深度が大きくなる処分概念において重要と考えておりますが、報告書で提示しました評価手法には、まだ、多くの仮定が含まれており、容易に解決しないものも多いと考えております。このため、現象の理解の一方で、現在の理解の範囲でどこまで使うことが可能であるか(地下水の移行経路は変わらなさそうである、侵食は廃棄物埋設地に至ることはない等)のロジックの構築を検討したいと考えております。

拝承いたします。

| | | | | | |
|----|--|--------|-------------------|---|---|
| 18 | | | その他 | <p>成果公表として、規制庁職員の方が全くなしというのはいかなるものか？規制業務が多忙と思うが、委託研究先を含め、公的に研究投資された成果は、途中段階であっても、世の中に成果発表や情報発信する積極的な姿勢が必要ではないか？</p> | <p>モニタリング孔の設置場所や数は、予測全体の検証、変動の検知、処分システムが特に避けるべき流動方向の状態の確認など、幾つかの観点があり、それに応じた精度も決めていく必要があると考えております。</p> <p>従来、規制当局としての整理の発表が足りていないことは御指摘のとおりでございます。原子力規制庁の方針といたしまして、研究の技術的成果を規制へ反映する立場で再整理して公表していくこと、また、規制庁の職員自身が技術的検討を行い成果として取りまとめることを進めることとしておりますので、今後、公表を進めていきたいと考えております。</p> |
| 19 | | 中居 邦浩氏 | ②解析実施手法、実験手法が適切か。 | <p>2.1 廃棄物埋設に係る自然事象の長期評価に関する研究</p> <p>中深度処分で考慮すべき深度、断層、地下水、力学・水理について、幅広く評価手法が調査されていると思います。</p> <p>2.2 廃棄物埋設における性能評価手法に関する研究</p> | <p>拝承いたします。</p> |

| | | | | |
|----|--|---------------------------|---|--|
| 20 | | ③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。 | <p>ベントナイトの変質、拡散係数、細孔構造、塩分濃度等、性能評価に必要な項目に対してモデル化、データ整理、解析が行われていると思います。</p> <p>2.1 廃棄物埋設に係る自然事象の長期評価に関する研究 中深度処分で考慮すべき深度、断層、地下水、力学・水理について、適切な評価手法が抽出されていると思います。</p> <p>2.3 地質環境及び水理環境モニタリングに関する研究 2.3.2 地下水モニタリングに関する研究 (2) 掘削制限区域設定に関する地下水モニタリング(p.48)に関して、「幾分低め (-1 m から-2 m まで) の値で落ち着くこと」について、解析時の収束条件が影響している可能性があると思います。</p> | <p>拝承いたします。</p> <p>拝承いたします。</p> <p>解析の収束条件、解析メッシュの適切性等は重要ですので、注意いたします。また、処分場の性能との関係で、どの程度までの影響を見る必要があるかも考慮して検討したいと考えております。</p> |
| 21 | | その他 | <p>廃棄物処分の性能評価手法の発展につながるこれらの各研究成果と評価手法の詳細について、広く公開されることを期待します。</p> | <p>原子力規制庁の方針といたしまして、研究の技術的成果を規制へ反映する立場で再整理して公表していくこと、また、規制庁の職員自身が技術的検討を行い成果として取りまとめることを進めることとしておりますので、今後、公表を進めていきたいと考えております。</p> |

| | | | | | |
|----|--|--------|-------------------------|--|---|
| 22 | | 井口 幸弘氏 | ①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか | 本研究分野については、当方に十分な知見がないため判断できないが、国外の中深度処分の知見について、規制についての言及はあるが、研究に関する国外の事例の言及が少ないように見受けられる。それだけ、国内の地質は特殊なものということなのか。 | 個々の技術に関しては、関連するものが多くあります。具体的に中深度処分に相当する処分場は、スウェーデン及びフィンランドで操業しています。これらは、いずれも花崗岩地域です。また、日本の花崗岩地域と異なり地下水の湧出量が少ない特性があります。 |
| 23 | | | ②解析実施手法、実験方法が適切か。 | 本研究分野については、当方に十分な知見がないため判断できないが、地下水流動履歴の指標となる地球化学的評価手法の整備で、瀬戸内海沿岸地域が選定されている理由がよくわからない。花崗岩主体の地域として代表的なものとして選定されているのか。 | 花崗岩主体の地域であることも選定理由の一つです。加えて、瀬戸内海は氷期には陸化して海岸線が大幅に後退します。このように、海水準変動の大きい地域においては地下水流動場の変化がおおきいと考えました。また、調査のしやすさという観点から、既存坑井が多く、地下水の採取がやりやすいというのも選定理由です。 |
| 24 | | 佐々木 泰氏 | ②解析実施手法、実験方法が適切か。 | ◆38 ページ 細孔構造の変遷と物質移行性 水蒸気吸着法では試料の前処理により結果が異なるため、前処理の状況についての記載があると良いと思います。 | 御指摘のとおり、従来の前処理法では、細孔構造が変化することは十分に認識しております。そこで、空隙構造の計測手法の選定も重要ですが、前処理方法の選定がより高い重要性を持っておりますので、前処理による影響も踏まえて適切な手 |

◆39 ページ セメント結晶（非晶質含む）の変遷による物質移行性

NMR と TMS を組み合わせて解析されているようですが、具体的にどのように組み合わせたのかの記載があると良いと思います。

◆39 ページ 31 行目、41 ページ 27 行目 地下水流動・核種移行評価

法の評価を行います。また、MIP のように破壊サンプルでは、空隙の方向性が特定できませんので、そうした空隙の向き等も踏まえて評価することを考えております。

セメント結晶の変遷は、主に NMR での評価が主流かと思いますが、NMR は、マクロ的結合状態（単量体から○量体の平均値）の評価しかできませんので、実際の結合状態をミクロ的に評価することはできません。そこで単量体から 6 量体までの個々の結合を明確に示せる TMS 手法を用いて NMR との関係性を含めて評価することを考えております。

また、Ca の溶脱について、TMS 手法はその原因の特定に寄与すると考えており、こうした理由から TMS 手法の採用を行っております。

現在までの研究成果では、NMR と TSM の関係性が明瞭に出せるどころまで研究が進んでいます。

地形変化評価は、過去におけるその変動を外挿することで、将来の推論が可能であるとしています。同様に、地下水流動においても、将来の推定をする前に、過去の海水準変動等を考慮して現在の塩分濃度分布や地下水年代の説明が可能かを検討し、その上で将来の推定をしていただく方が良いと思います。

また、結晶構造の分析では、中性子小角散乱等の手法も取り入れて自由水や結晶水及びそれらの動き等を分析して総合的に評価することを考えております。

地形変化を伴う地下水流動・核種移行評価につきましては、特に深度が大きくなる処分概念において重要と考えておりますが、報告書で提示しました評価手法には、まだ、多くの仮定が含まれており、容易に解決しないものも多いと考えております。このため、現象の理解の一方で、現在の理解の範囲でどこまで使うことが可能であるか(地下水の移行経路は変わらなさそうである、侵食は廃棄物埋設地に至ることはない等)のロジックの構築を検討したいと考えております。

地下水流動につきましては、御指摘のような、過去の履歴の情報を用いて、現在の観測を説明することによって、場の理解をすることが主であるとと考えております。

③解析結果の評価手法、
実験結果の評価手法が
適切か。

◆18 ページ、6 行目 地球化学的評価

Cl 濃度の高い深層地下水が縄文海進時のものとされていますが、図 2.1.8 では、最終氷期以前の Cl 濃度の高い深層地下水があるように見えます。同じ試料によるものであるなら、18 ページの縄文海進時という説明は適切ではないように思います。

◆28 ページ、4-6 行目 岩盤の力学的状態と水理的特性

No.1 孔は、浅部では透水係数が低かったが、弾性波速度は遅かったと解釈しました。そうであれば、No.1 と No.2 の透水係数の違いの考察が必要と思います。また、浅部で弾性波速度がどの程度低下したかの記載もあると良いと思います。

◆52 ページ 6 行目 ボーリング孔閉塞

ボーリング孔周辺のゆるみ域が影響したとありますが、そのゆるみは、ボーリング孔の掘削に伴うものと確認出来ているのであれば、その根拠の記載があると良いと思います。

P18 ページ 6 行目は縄文海進時の海水もあるという意味でありませぬ。図 2.1.8 は全てのデータをプロットしているわけではないので、齟齬はないのですが、誤解を招きかねないので、記載を修正します。

御指摘ありがとうございます。透水性の記述は特に No.1 孔について不十分だったので報告書において追記しました。また、弾性波速度についても定量的な詳細を述べるべきだとは思いますが、報告書完成後に、別に投稿論文として発表することを予定しているため、この程度の記載にとどめました。

「ボーリング孔周辺のゆるみ域が影響した」につきまして、不正確な表現でございました。申し訳ございません。以下のように、修正させていただきます。「測定精度の範囲で、周囲の岩盤と同程度以下の透水係数であると評価されたが、要求性能

| | | | | |
|----|--|----------------------|--|--|
| 26 | | ④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。 | <p>◆46 ページ 19 行目 掘削制限区域設定 掘削制限区域の妥当性の評価において、埋設地周辺に掘削された井戸等の影響範囲を考慮し評価方法を検討することは理解できますが、その前に、掘削制限区域外での人為事象に対して、どの程度の事象に対して、どのような評価基準を適用するかの検討を先に頂いた方が良く考えます。この評価基準とサイトの状況に応じ掘削制限区域の範囲や、必要な調査方法等が決まるものと考えます。</p> | <p>に対して測定精度が十分であるか、ボーリング孔周辺の緩み域の影響を把握できているか等について更に検討が必要である。」</p> <p>閉塞部の奥側を加圧して圧力降下を測定することができないことから(測定後に、加圧及び測定ラインを撤去する必要があるため)、閉塞部の手前側の情報しか得ることができません。非定常の圧力応答など、どのような観測とデータの整理をすればよいか、検討しております。</p> <p>人の生活環境の状態設定は、当該地域において、現在、一般的に行われている生活習慣に基づくことが基本でございます。その上で、掘削制限区域においては、深いボーリングなどの、必ずしも一般的ではない生活習慣によって、廃棄物埋設地が直接又は間接的に擾乱される行為までを含めて制限がされます。</p> |
| 27 | | その他 | <p>◆31 ページ、7-10 行目 人工バリアの長期性能評価 ベントナイトの変質に伴い生成する二次的鉱物の物</p> | <p>ナチュラルアナログ研究や室内実験により、二次鉱物の沈殿により</p> |

質移行特性への影響に関しては、一次鉱物の溶解と二次的鉱物の沈殿の影響度合いにもよりますが、多くの場合、拡散性や透水性を低下させるので、それを明らかにして頂けることは、出来るだけ確からしい状態設定につながることから、引き続き検討を進めて頂けることを要望いたします。

◆36 ページ、図 2.2-1 人工バリアの長期性能評価
De をベースとしたベントナイト系人工バリア中の拡散モデルの出力は、確率論的安全評価の入力情報として使用されるようにも読めますが、確率論的検討についての考え方がるのであれば、記載いただきたいと思えます。

◆誤字等

拡散性、透水性が低下する場合がありますことは報告されております。一方、どのような条件であれば、拡散性、透水性の低下が引き起こるのかという点については、まだまだ不明な点があるため、検討を進めていきたいと思えます。

人工バリア中のイオン等の拡散は、空隙水中の拡散と固相への収着が合わさった現象です。それぞれの現象を実効拡散係数と収着特性に分解して把握しこれを統合する考え方がありますが、その統合の仕方についてまだ議論があります。そこで、両者の特性を合わせたものとして測定された Da (見掛けの拡散係数) で整理できれば、拡散現象の評価の扱いを簡易化かつ適切化することができるのではないかという問題意識で整理を行ってきたものです。御指摘のような「確率論的安全評価」を意図したものではありません。

御指摘いただきましてありがとうございます。修正いたします。

| | | | | | |
|----|-------------------------|--------|--------------------------|---|---|
| | | | | 1 ページ 審査ガイド等 (→審査ガイド等、12 ページ 場所であることとされている→場所であることとされている、21 ページ 小河原湖→小川原湖、23 ページ ボーリング坑→ボーリング孔、29 ページ 建設しときに→建設したときに、46 ページ 掘削せいては→掘削しては、49 ページ 水経→水径 | |
| 28 | 放射性廃棄物等の放射能濃度評価技術に関する研究 | 小崎 完 氏 | ①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。 | いずれのテーマにおいても、国内外の過去の研究事例を調査し、成果報告書において参考資料として明示しており、最新知見を踏まえた内容になっていると評価できます。 | 樹皮に付着した放射性セシウムマイクロ粒子は、いくつかある分析対象の一つであり、同一箇所において採取した土壌についても分析するための前処理を実施しているところ。汚染コンクリートについては、環境試料として扱える試料を採取できないため、実験室で調製した模擬汚染コンクリート試料を用いて検討する計画としていましたが、今後、当該試料の採取等についても検討したいと思います。 |
| 29 | | | ②解析実施手法、実験方法が適切か。 | 解析実施手法、実験方法は適切になされていると評価できます。ただし、「2.4 長半減期放射性核種の分析における信頼性確保」において、樹皮に付着した放射性セシウムマイクロ粒子のみを対象とした理由が報告書からは読み取れませんでした。福島第一原子力発電所の事故由来の放射性セシウムのうち Cs-135 を分析対象とするのであれば、樹皮に付着したマイクロ粒子よりは、汚染土壌や汚染コンクリートの方がより多くの放射性物質を入手できると思いますし、分析のニーズとしても多いのではと思いました。今後、分析対象を広げられることを期待しています。 | |

| | | | | |
|----|--|----------------------------------|---|---|
| 30 | | <p>③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。</p> | <p>解析結果の評価手法、実験結果の評価手法は適切に なされていると評価できます。ただし、成果報告書 14 ページにおいて、「塩素の回収率は安定した結果が得 られないものの、60%程度は確保されていることか ら、動燃報告書を基に作成した分析方法および分析操 作は妥当であると考えられる。」と結論した根拠が報 告書からは読み取れませんでした。ここでは、どの程 度の安定性および回収率が妥当なのでしょうか。難し い極微量分析であることはわかりますが、今後、回収 率の安定化および回収率の向上の余地がないのか、な ど今後の研究の方向性についても言及頂けば、今回 のご研究の成果がより明確になると思います。</p> | <p>CI-36に係る「日本原燃（株）六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおける低レベル放射性廃棄物の線量評価と今後の対応の報告について」に対する評価と事業者 に求める対応(平成24年3月30日 原子力安全・保安院 放射性廃棄物規制課)において、回収率が50%未満となる分析方法は妥当ではないとの議論がなされており、これを踏まえております。ただ、御指摘のとおり回収率の向上等の余地があり、今後の研究の中で引き続き検討を進めていく予定でおりますので、ここでは、検討した方法で検出下限値の分析に移ったという事実の記載として「動燃報告書を基に作成した分析方法及び分析操作による検討を進めた。」と修正いたしました。</p> |
| 31 | | <p>その他</p> | <p>目的が明確に定められ、適切な手法によって、着実に成果をあげられていることは高く評価できると感じました。</p> | |

| | | | | | |
|----|--|------------|---------------------------|---|---|
| 32 | | 新堀 雄一 氏 | ①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。 | これまで研究による最新知見を踏まえ、研究が展開されている。特に、トレンチ処分対象廃棄体について、廃棄体内容物を個別要素法によりモデル化し、非破壊測定による放射能濃度評価について留意すべき点を現実的な観点から整理しており、今後の更なる研究の進展が期待できる。なお、クリアランス対象物の制限が撤廃されたことに、適切に対応して研究を進めていることも高く評価できる。 | |
| 33 | | | ②解析実施手法、実験方法が適切か。 | 解析および実験手法は、これまでの関連研究を踏まえ適切に設定されている。たとえば、廃止措置終了確認に関連した公衆被ばくの線量評価では、既存のコードを活用し、室内実験等に基づくモデルを加えるなど、適切な手法がとられている。今後さらに進めるグレーデッドアプローチの考え方の導入やいくつかの廃止措置の形態に対応した検討にもこれらの成果が適用できると考える。また、クリアランス評価のモデル化についても高い成果を挙げており、これらを基盤として、今後も、不確かさの考慮について、国際的な議論および国による運用の違いの背景を踏まえ、想定されるいくつかの対象物について規制の観点からの留意事項等が更に整理されることが期待される。 | 頂いたコメントを基に、後継の安全研究において検討を進めてまいります。 |
| 34 | | | ③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。 | 研究を通じた結果についての評価手法は適切と言える。なお、長半減期放射性核種等の分析における信頼性確保に係る研究では、今後展開を考えている核燃料物質等によって汚染された試料の分析において | 核燃料物質等によって汚染された試料の分析に知見を活用するために、分析対象核種や試料に含まれる元素等の化学形態、吸脱着機構、 |

価法について、具体的な手順とともに留意事項が適切に示されている。また、中深度処分対象廃棄物の放射能濃度については、海外での実績調査をもとに、**Cl-36**、**Zr-93**、**Sn-126** など長半減期の難分析核種の測定法に関する有用な知見が適切にまとめられている。

・クリアランス確認について、マイナーな物量ながら、一般廃棄物としても取り扱いの厄介なアスベストや**PCB** 使用物品および形状の複雑なケーブル／配電盤等の新規クリアランス対象物の濃度上限や測定評価手法が適切に提示されている。また、クリアランス検認における放射線測定の不確かさの考慮については、クリアランスレベル自体が被ばく安全に関して十分な保守性を有している観点からやや異論のあるところながら、**ISO** 等の規定や（一部の）諸外国の実例に則った妥当な手法の提示がなされている。

・廃止措置終了確認の研究では、サイト開放のための一連の実施及び確認の手順案が、具体的な計算コード群の統合システムの形で、適切に整備されている。

・長半減期放射性核種等の分析における信頼性確保の研究について、規制の観点から、主に環境試料中の微量長半減期核種の分析に用いることが可能な要素技術を概ね包括的に調査及び共同研究を実施しており、分析精度や適用限界などの知見と課題が適切に抽出されている。

③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。

・廃棄物確認の研究において、トレンチ処分対象廃棄物の放射能濃度の非破壊測定で導入される粒状体挙動解析コード PFC3D を用いる場合、廃棄物封入状態の近似度が向上することは理解できるが、粒状モデルの設定によって後段の QUAD 計算に大きく影響するように思われ、実廃棄物に応じたモデル設定の仕方やロバスト的な検出器配置の指針について、もう少し丁寧な（幅広の）検討が必要ではないか？また、中深度処分対象廃棄物における Cl-36, Zr-93, Sn-126 など長半減期の難分析核種の放射能濃度評価は、長期的な安全評価（長半減期核種の濃度上限を満たしていることの確認）において特に重要であるので、合理的な分析プロセスにおける回収率や検出限界の改善に繋がるさらなる知見の探索と集約に期待したい。

・クリアランス確認の研究において、新規対象物の測定評価手法の整備は、規制側の確認ためだけではなく、事業者側にとっても有益な成果と評価する。ただ、クリアランス検認における不確定性の考慮に関しては、当面現行の考え方を踏襲するにしても、IAEA の DS500 が発刊された暁には、必要に応じて、国際的な考え方との整合性の観点から見直しを期待したい。

・廃止措置終了確認の研究において整備された終了確認フローの統合システムは素晴らしい成果であるが、数学的に高度な内容を含んでおり、固有のサイト現場への適用において使いこなすには、未だこなれていな

ご指摘のとおり、廃棄物封入状態をはじめとする設定条件については様々な条件での検討が必要と考え、引き続き検討を実施しております。得られた成果については適切なタイミングで公開いたします。同じく、微量元素の分析につきましても、回収率及びそれに伴う検出限界値の向上に係る検討、その他の分析方法による検討を引き続き行って参ります。

クリアランス確認については、DS500 の審議内容を踏まえ、必要な検討を適宜後継の安全研究にて実施していきます。

・ご指摘のとおり、委託事業の成果としては研究開発的要素が強いものとなっています。本成果の規制へ

い感が強い。今後、実際の運用を念頭において、保守性を担保できるシステム入力パラメータの合理化や評価結果の信頼性の検証などのさらなる研究展開を期待する。

・長半減期放射性核種等の分析における信頼性確保の研究において、取り扱われている長半減期核種や共研に基づく分析手法の選定は妥当と思うが、その成果（科学的・技術的知見）が規制研究として、具体的にどのように活かされるのか補足説明が欲しいところ。

の適用に当たり、ご指摘の点も踏まえて取りまとめる予定です。

長半減期放射性核種等の分析における信頼性確保の研究では、特定の規制活動に直接的に活かすのではなく、「3. 4 成果の活用等」において記載した（下記参照）ように、規制に資するために必要な技術基盤の構築及び維持に活用することとしています。

「3. 4 成果の活用等（抜粋）
今後、特に、燃料破損が生じた又は1F事故のような事象を経験した原子力施設等における廃棄物確認、クリアランスの確認及び廃止措置終了確認における規制に資するために必要な技術基盤の構築及び維持に活用する」

なお、この取組は、原子力規制に必要な知見の整備及び研究職員の人材育成により研究体制の充実化を図るため、令和元年度より研究の在

| | | | | | |
|----|-------------------------|---------|---------------------------|---|---|
| 41 | | | ④重大な見落とし(観点の欠落)がないか。 | <p>本研究の実施内容において、重大な見落としは特に見当たらないと判断する。</p> <p>ただ、あえて言うと、長半減期放射性核種等の分析核種として、I-129 や U 同位体も対象とするなら、AMS や RIMS の調査も含めるべきではないか？</p> | <p>り方を見直して取り組んでいる事業の一環です。</p> <p>今後、AMS 及び RIMS に係る既往研究の調査等を踏まえて研究を進めてまいります。</p> |
| 42 | | | その他 | <p>成果公表として、査読付き論文 3 報ということは、規制業務の中でまずまずの実績と思うが、国内外の学会発表等でも成果の発表を積極的に行い、専門家との議論等により、研究内容のより深化や洗練化を図っていただきたい。</p> | <p>今後、国内外の学会発表等を通じた専門家との議論を進めてまいります。</p> |
| 43 | 放射性廃棄物等の放射能濃度評価技術に関する研究 | 中居 邦浩 氏 | ②解析実施手法、実験手法が適切か。 | <p>2.1 廃棄物確認</p> <p>2.1.2 トレンチ処分対象廃棄物の放射能濃度評価に係る検討 (2) 放射能濃度評価に影響を与える要因の検討 ①計算条件 b 容器高さ方向に設置する検出器位置 で容器高さ方向に 1 段から 5 段の評価点を評価し、段数に応じた変化がないのにもかかわらず、検討した最大の段数とした理由は何でしょうか。</p> | <p>別の検討(コリメーション等)につなげることを念頭に、便宜的に検出器段数を多くして検討を進めていました。そのため本文中で「大きな変化は見られなかったが、本検討では検出器段数を 5 段とした。」と限定して記載いたします。</p> |
| 44 | | | ③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。 | <p>2.1 廃棄物確認</p> <p>2.1.3 (2) ジルカロイ-4 に含まれる微量元素に係る分析試験 ①塩素分析 b 分析結果 (b) 検出限界値 (p.14) において、試験の検出限界値と目標値が 2 桁程度異なることに対して、塩素の回収率</p> | <p>測定溶液の最終液量の設定などの測定条件も工夫しなければ目標値に到達しませんが、分析手法で改善すべきものとして回収率が挙げ</p> |

だけではギャップを埋められそうにないので、それ以外の改善案も記載されればいいと思います。

2.2 クリアランスの確認

2.2.4 放射線測定の不確かさの考慮 において、ISO11929 の考え方が欧州のクリアランス制度で運用されていると記載されていますが、測定の不確かさ以外の核種組成比のばらつきなどの扱いについても、国ごとに考慮している不確かさの項目と考慮の方法について具体的な記述があればわかりやすいと思います。

られるので、代表して記載していません。

御指摘のとおり、回収率だけではないので「回収率を向上させる”等”」としております。

本項で「測定値」としているものは項目のはじめの部分に記載したように、「測定を通じて得られた評価値」の意味で使用しており、測定の不確かさについても単なる測定行為から直接的に得られる値の不確かさのみを考慮するものではありません。

また、今回確認したクリアランスに係る測定の不確かさの考慮はその測定結果を用いて行った各核種の放射能濃度の評価値に対するものであり、御指摘のような狭義な「測定の不確かさ」のみを示すものではありません。

| | | | | |
|----|--------|--------------------------|---|---|
| 45 | | その他 | <p>2.1 廃棄物確認</p> <p>2.1.2 の最後の a 小領域数 b 対象物のかさ密度で、影響の検討を継続するとまとめられていますので、今後、定量的な数値も含めてまとめられることを期待します。</p> <p>2.3 廃止措置終了確認</p> <p>整備した廃止措置被ばくコードシステム CDecom 等が公開コードとして登録されることを期待します。</p> | <p>こうした意味をより明確にするため、本項で「測定値」としていたものを、「測定を通じて得られた評価値」と変更いたします。</p> <p>引き続き検討を進めて成果を公表いたします。</p> <p>委託先とのバイドール契約、また、その適用性の検証の必要性から直ちに公開コードとして登録することは難しいと考えておりますが、将来の公開の可能性について委託先と検討したいと思います。</p> |
| 46 | 井口 幸弘氏 | ①国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。 | クリアランスの確認における不確かさの検討においては、国際基準の動向や各国の状況を詳細に調査し、現行の判断基準が妥当であることを確認しており、評価できる。 | |
| 47 | | ②解析実施手法、実験方法が適切か。 | クリアランスにおいて、新規クリアランス対象物について、シミュレーション及び模型とチェックソース | |

③解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。

を組み合わせた方法で評価、測定試験を行っており、その実施方法は妥当であると考えられる。

廃止措置終了確認の検討において、BG 参照エリアとして、1 km以内の地点から選定するとあるが、この妥当性についての根拠が明確に示されていない。近傍であればむしろ当該施設の直接の影響が考えられる。適切な離隔距離があり得るのではないか。過年度の報告で示されていればよいが。

終了確認の核種移行評価手法の検討について、現状はシミュレーションコードによる評価、および室内試験によるモデルの検証に止まっている。福島第一の事故における環境での放射性核種の移行における多様なデータとの比較検証などは行うことはできないのか。これは既往研究を踏まえたものということで、妥当なのか。

終了確認の検討で、カナダの処分場の事例解析が挙げられているが、米国などの実際の原子力サイトでの

廃止措置終了確認に関する記載ぶりは将来の論文化、技術文書公表等において二重投稿とならないよう、概要のみにとどめております。御指摘頂いた1 kmの根拠は技術文書として公表する際に明確化する予定です。

御指摘の点については、本研究を立ち上げた時点で、福島第一の事故後の放射性物質の環境動態の研究状況を踏まえた上で、従来の放射性廃棄物処分の核種移行評価では考慮してこなかった地表面流による土砂移行の影響を廃止措置の評価にも取り込むべく研究を行ったものです。検討会の委員には、福島第一の事故後の放射性物質の環境動態の研究に尽力されている恩田先生に委員として御参画頂いており、御助言を受けております。

汚染事例との比較については、データの利用可能性の観点からカナ

| | | | | |
|----|--|--------------------------|--|--|
| 49 | | ④重大な見落とし（観 点の欠落）がないか。 | <p>汚染例、評価例とも直接比較検討することはできないのか。本報告書では、具体的に触れられていないので、判断できない。</p> <p>新規クリアランス対象物として、配電盤や安定器を用いたシミュレーションや測定試験を実施している。個別のニーズに基づいた設定については理解できるが、実機の対象はより複雑かつ多様であることが考えられる。この点については、次年度以降の課題として、取り上げるべきものと考えられる。</p> <p>実際の機器のクリアランスを行う際には、対象物の汚染の調査と汚染部分の分離作業が行われる場合が多いと考えられる。この検討は汚染の分離が不可能な場合を想定していると考えられるが、今後はより現実的なシナリオも考慮した、クリアランス及びNRの手順も含めた考察が必要ではないか。</p> | <p>ダの処分場の事例を選定したものです。選定理由については、委託の報告書では正確に述べられておりますが、先述のとおり、二重投稿を避ける観点で本安全研究成果報告書は概要にとどめております。</p> <p>後継のプロジェクトで検討を行っていく計画となっています。</p> |
| 50 | | その他 | <p>今後の課題として、廃止措置工程のリスク評価手法が挙げられている。規制リソースの適切な配分を考えれば、時宜にかなった適切な設定と考えられる。また、記載されている廃止措置工程そのものだけでなく、クリアランスの検認手法についてもリスクレベルを考慮した規制関与の最適化が必要と考えられる。</p> | <p>クリアランスにおけるリスクレベルに応じた合理的な取扱いについては、共通的な条件下で線量基準を満たすものとして規定された放射能濃度の基準値に対する放射能濃度評価値の適合性評価という、計測・計量分野で取られている標準的</p> |

| | | | | | |
|----|--|--------|-------------------|---|---|
| | | | | | <p>な手段から外れることを許容するというようなことではなく、個別のケースにおいてその条件下での線量基準を満たすことを確認した上でのケースバイケースのクリアランスとして共通的な条件とは異なる放射能濃度の基準値を個別に設定することを考えることが妥当であろうということが現在の国際的な場で議論されています。こうした国際的な議論も参考としつつ今後必要な検討を進めてまいります。</p> |
| 51 | | 佐々木 泰氏 | ②解析実施手法、実験方法が適切か。 | <p>②◆49 ページ 被ばく評価コード</p> <p>「各コードの入出力情報を ArcGIS 上で統合し、被ばく線量評価コードシステム CDecom として整備(右下図)」とありますが、独自に種々の解析を一体化するシステム化によって、他との比較などが難しくなり、そのシステムの中の解析の妥当性の評価が難しくなるという懸念があります。また、使用している計算コードは、公開コードであれば、多くのユーザーに使用され信頼性が高まるとともに、第三者による検証が可能になると思います。</p> | <p>CDecom で使用するコードは市販のコード又は過去に JAEA が開発したコードを使用しています。</p> <p>一連のシステム化をすることで妥当性の評価が難しくなるという御懸念はごもっともであり、個々の入出力情報の受け渡し時のマスバランスの維持が適切に扱っているか等の観点で、検討会等を通じて確認しております。</p> |
| 52 | | | その他 | <p>◆18 ページ、22 行目 クリアランス</p> <p>「濃度上限値を試算し、クリアランスレベルと比較し</p> | <p>御意見を取り入れ、以下の対応を取らせて頂きます。</p> |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | <p>た」の“クリアランスレベル”は、現行のクリアランスレベルを意味することを、自明であるとしても明記いただきたい。3 ページ 9-11 行目「新規クリアランス対象物のクリアランスの線量基準である 10 マイクロシーベルト／年に相当する放射能濃度（以下「濃度上限値」という。）」との用語の対応が明確ではないとの懸念であります。</p> <p>また、「濃度上限値」の用語について、低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能“濃度上限値”との混同による誤解を避けるため、見直しを検討いただきたいと思います。</p> <p>◆34 ページ、18-20 行目 クリアランス</p> <p>「クリアランス制度が実際に運用され資材の再利用が進められているヨーロッパにおいて、不確かさを用いた適合性評価の考え方の下でクリアランス制度が運用されている事例があることを確認した。」について、具体的に、どの国の、どのような運用事例だったのか、事業者の自主的な運用なのか、規制者による制度としての運用なのか、等の情報を明記いただきたいと思います。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・「クリアランスレベル」は「現行のクリアランスレベル」と追記します。 ・「濃度上限値」は「クリアランス相当濃度」に改めます。 <p>直前の個所に書かれているとおり国名はスウェーデン、イギリス、ドイツで、対応する事例を表す文書も明示してありますので、この部分はこの記載のままとさせていただきます。</p> |
|--|--|--|--|--|