

特定兼用キャスクの設計の型式証明等に係る審査会合

第23回

令和5年2月16日（木）

原子力規制委員会

特定兼用キャスクの設計の型式証明等に係る審査会合

第23回 議事録

1. 日時

令和5年2月16日(木) 13:30～16:53

2. 場所

原子力規制委員会 13階 会議室A

3. 出席者

原子力規制庁

小野 祐二 審議官
渡邊 桂一 安全規制管理官(実用炉審査担当)
戸ヶ崎 康 安全規制調整官
松本 尚 企画調査官
後神 進史 主任技術研究調査官
甫出 秀 主任安全審査官
福田 拓司 技術研究調査官
山後 誠 安全審査官
櫻井 あずさ 安全審査官

三菱重工業株式会社

岸本 純一 原子力セグメント 機器設計部 主席プロジェクト統括
齋藤 雄一 原子力セグメント 機器設計部 プラント機器設計課 主席チーム統括
齋藤 慶行 原子力セグメント 機器設計部 プラント機器設計課 主席技師
尾方 智洋 原子力セグメント 炉心・安全技術部 炉心・放射線技術課 主席技師
豊田 康正 原子力セグメント 炉心・安全技術部 炉心・放射線技術課 主任
若松 輝之 原子力セグメント 品質保証部 原子力安全・品質保証課 主任

日本造船株式会社

森本 好信 脱炭素化事業本部 プロセス機器ビジネスユニット 原子力機器事業推進室長

大岩 章夫	脱炭素化事業本部	プロセス機器ビジネスユニット	原子力機器事業推進室	主席技師
岩佐 和生	脱炭素化事業本部	プロセス機器ビジネスユニット	原子力機器事業推進室	開発グループ長
茂手木 裕一	脱炭素化事業本部	プロセス機器ビジネスユニット	原子力機器事業推進室	開発グループ
樋口 晃	脱炭素化事業本部	プロセス機器ビジネスユニット	原子力機器事業推進室	開発グループ
吉田 篤	脱炭素化事業本部	プロセス機器ビジネスユニット	原子力機器事業推進室	開発グループ
竹内 輝	開発本部	技術研究所	基盤技術研究センター	材料グループ

4. 議題

- (1) 三菱重工業（株）特定兼用キャスクの設計の型式指定について（MSF-24P（S）型）
- (2) 日立造船（株）特定兼用キャスクの設計の型式証明について（HitZ-P24型）
- (3) その他

5. 配付資料

- | | | |
|-------|--|------------------------------------|
| 資料1-1 | 発電用原子炉施設に係る型式設計特定機器の型式指定申請 | 規制への適合性について |
| 資料1-2 | 補足説明資料 | 型式証明を受けた設計からの変更点及び安全評価への影響に関する説明資料 |
| 資料1-3 | 補足説明資料26-2 | 26条燃料取扱設備及び燃料貯蔵設備 遮蔽機能に関する説明資料 |
| 資料1-4 | 原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則、及び実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第百十一条への適合性に関する説明資料 | |
| 資料1-5 | 補足説明資料 | 核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する |

規則への適合性に関する説明資料

- 資料 1 - 6 補足説明資料 MCNP5コードによる輸送時遮蔽評価結果
- 資料 1 - 7 補足説明資料 型式指定申請書 添付書類 13 記載事項比較表
- 資料 1 - 8 補足説明資料 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法における安全機能維持に関する説明資料
- 資料 2 - 1 発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の型式証明申請（審査会合コメント）
- 資料 2 - 2 補足説明資料 1 - 1 バスケット用アルミニウム合金（HZ-A3004-H112）について
- 資料 2 - 3 補足説明資料 16 - 5 16条燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設 閉じ込め機能に関する説明資料

6. 議事録

○小野審議官 定刻になりましたので、第23回特定兼用キャスクの設計の型式証明等に係る審査会合を開催します。

本日の議題は議事次第のとおりで2件でございます。

本日の会合は、新型コロナウイルス感染症対策のため、テレビ会議システムを利用させていただきます。音声等が乱れた場合には、お互いにその旨を伝えるようにしてください。

議事に入ります。

最初の議題は、三菱重工業株式会社、特定兼用キャスクの設計の型式指定についてであります。

三菱重工は、資料についての説明を始めてください。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱重工の斎藤です。

では、これより型式設計特定機器の型式指定申請の適合性に関しまして、資料1-1を基に御説明をさせていただきます。

1ページをお願いします。目次です。

本日の御説明内容ですけれども、こちらに記載の順番で、まず、外運搬規則への適合性を御説明しまして、その後、これまでの審査会合での指摘事項への回答、最後に今後の説明スケジュールについて御説明をさせていただきます。

2ページをお願いします。

輸送状態における規則適合性説明として、外運搬規則への適合性説明についての概要は、2ページから7ページにかけまして御説明します。

MSF-24P(S)型は、BM型輸送物でありますので、外運搬規則の第6条と第11条に適合していることを御説明します。

上の表には、第6条、第11条の各要求と安全機能等の関係を示しております。

また、右下の図ですけれども、MSF-24P(S)型の輸送時の様態図でございます。MSF-24P(S)型は、輸送時において輸送用の三次蓋及び輸送用の緩衝体を装着して、輸送架台に設置した状態で輸送されます。

3ページをお願いします。

3ページには、特定兼用キャスク及び関連部品/設備の申請範囲について、表で整理をしております。表中に示します「○」は各審査での申請範囲を示しており、「△」で示しているものは申請範囲外の部品であります。注記に記載している理由により、審査に含まれる部品であることを示しております。

型式指定の輸送に関わる審査では、特定兼用キャスクのうちキャスク本体、バスケット、一次蓋、二次蓋に加えて、輸送時に用いられるモニタリングポートカバー及び、輸送用三次蓋が審査範囲となります。

輸送時に装着される輸送用緩衝体については、貯蔵時に装着される貯蔵用緩衝体と同様に、申請範囲外の部品となりますけれども、外運搬規則適合のために必要な部品でありますので、型式指定申請書、添付書類13に示す特定の仕様及び構造の輸送用緩衝体を装着して輸送することを条件として、輸送時の規則適合性を示します。

4ページをお願いします。

4ページには、外運搬規則への適合性を示す申請書、添付書類13の構成と審査範囲を示しております。本表に記載のとおり、添付書類13のうち、イ章、核燃料輸送物の説明、ロ章、核燃焼輸送物の安全解析、これを審査範囲としまして、原子力事業者等により定められます、ハ章、輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法、そのほか、ニ章、安全設計及び安全輸送に関する特記事項、参考の輸送容器の製作の方法の概要に関する説明については、参考扱いとしております。

5ページをお願いします。

核燃料輸送物の使用目的、使用条件等を5ページに示しております。本MSF-24P(S)型は、核燃料輸送物の設計としまして、外運搬規則改正後も核燃料輸送物の設計承認を受けた先

行設計でありますMSF-24P(S)型と同じ設計としておりますので、その先行設計承認との比較の形で記載をしております。

本輸送容器は、原子力発電所から再処理工場に輸送する目的として、表の中央からやや下側に記載しておりますとおり、使用予定年数は60年、使用予定回数は10回、使用予定期間のうち貯蔵予定期間は60年の条件としております。

先行設計承認に対する差異としましては、収納する核燃料物質に15×15燃料が追加されていることとなります。

6ページをお願いします。

輸送容器の構成部材の材質及び構造について、先行設計承認との比較で6ページに示しております。記載のとおり、輸送容器の材質及び構造は、先行設計承認と同一でございます。

7ページをお願いします。

7ページには、申請書添付書類13のうち、審査範囲とするイ章及びロ章の記載事項と、先行設計承認申請書との主な差異を示しております。記載のとおり、主な差異としましては、15×15燃料の収納に伴う15×15燃料収納時の安全機能及び構造強度に係る安全評価の追加であります。

8ページをお願いします。

8ページから、外運搬規則への適合性について御説明いたします。

まず、規則第6条への適合性についてです。

第6条には、こちらに示すBM型輸送物に係る技術上の基準が規定されておりました、このページに記載している輸送容器としての一般要件、四つの安全機能のうち、遮蔽、除熱、密封機能に関わる要件、安全機能を担保するための構造強度の要件がありまして、それらに対して満足をする設計であることを確認しております。

適合確認結果については、この後の9ページから16ページにかけて記載をしております。

9ページをお願いします。

表の形式で外運搬規則への適合性確認結果を示しております。表の左側の列には、外運搬規則の要求、中央の列には適合性評価結果を記載しております、表の右の列には添付書類13のうち関連する項目番号を示しております。

9ページから16ページにかけまして同じ表が並んでおりますけれども、各表の右上を見ていただきますと、黄色マーカーで注記を入れておりまして、ここで示す箇所というのが、

先行設計承認申請書との差異がある部分でございます。マーカーで示していない箇所というのは、先行設計承認と同じということになります。

差異がある部分が合計3か所ありますので、そちらを御説明します。

少し飛びまして13ページをお願いします。13ページです。

第5条第7号の通常の輸送状態の遮蔽に係る要求に対しまして、安全解析の結果を反映して、最大線量当量率の値が異なっております。これは、先行設計承認の17×17燃料収納時の結果に対しまして、僅かではあります但し15×15燃料収納時のほうが線量が高く、それを反映したことによる差異でございます。

次に、14ページをお願いします。

続いて第6条第2号の一般の試験条件における遮蔽に係る要求に対しまして、最大線量当量率の値が異なっております。

続いて15ページをお願いします。

15ページの第6条第3号の特別の試験条件における遮蔽に係る要求に対しまして、こちらも最大線量当量率の値が異なっております。

14ページ、15ページの最大線量当量率の差異についても、先ほどの13ページで御説明した理由ですね。15×15燃料収納による最大線量当量率の反映というものでございます。

第6条の適合性説明に関しては以上のとおりです。

続いて17ページをお願いいたします。

17ページから、外運搬規則第11条への適合性について示しております。

第11条では、こちらに示す核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準が規定されており、臨界防止機能に係る要件、構造強度に係る要件がございまして、それらに対して満足する設計であることを確認しているものです。

適合確認結果については、次の18ページから20ページにかけて示しております。

18ページをお願いします。

先ほどの第6条と同様な形で適合評価結果を示しております。同様に、右上に書いてある注記のとおり、黄色マーカーで示している部分が先行設計承認申請書との差異でございます。

11条については、差異がある部分が1か所ございまして、それが、これも飛んでいただいて20ページとなります。

20ページです。20ページですけれども、こちらは第11条で引用されます第3条第3項の要

求に対するものでして、輸送容器の構成部材及び収納物の経年変化に関する考慮に係る事項です。

ちょうど真ん中ぐらいに、中性子遮蔽材の経年変化として考慮する質量減損率の数値に差異がございます。質量減損というのは、貯蔵中の最大温度を用いて算定されますけれども、先行設計承認では、貯蔵時においては縦置き貯蔵、本型式指定では横置き貯蔵ということで、貯蔵の設計方法が異なりますので、それに起因して温度に違いが出て、その結果を受けて僅かにですが値が異なるということがございます。

第11条への適合性に関しては、以上のとおりです。

御説明したとおり、第6条、第11条の規則適合性確認結果について、15×15燃料収納による一部数値の差異はございますけれども、先行設計承認と、その確認結果というのは同じという形になります。

続いて21ページをお願いします。

次に、ロ章A～ロ章Fの中で示しております安全評価の概要について御説明します。

文章の矢羽根の一つ目になりますけれども、主要な安全評価における安全評価方法及び解析コードについては、下の表に示しますとおり先行設計承認と同じでございます。

二つ目の矢羽根になりますけれども、先行設計承認に対して、15×15燃料収納、15×15燃料を収納した状態での安全評価を追加しておりますけれども、その際の安全評価は17×17燃料収納時の安全評価に対して、燃料集合体のモデル化条件が異なるのみでございます。

それを踏まえまして三つ目の矢羽根になりますけれども、型式指定で追加する形で評価した15×15燃料収納時の安全評価について、22ページ以降にこれを示しておりますので、概略を御説明させていただきます。

22ページをお願いします。

22ページについては、15×15燃料収納時の構造解析についてです。

15×15燃料の質量は17×17燃料よりも軽く、輸送容器の構造解析としては、17×17収納時の輸送容器の構造解析に包絡されます。15×15燃料収納時の構造解析としては、一般の試験条件における0.3m落下時の燃料被覆管の構造健全性評価を構造公式により行い、17×17燃料と同様に燃料被覆管に発生する応力強さが評価基準である設計降伏点を満足することを確認しております。

23ページをお願いします。

次に、15×15燃料収納時の除熱解析についてです。23ページには除熱機能の安全評価と

して実施しました除熱解析の解析条件のうち、収納物の仕様を示しております。

使用済燃料の崩壊熱は、表の中に示す条件を基にしまして、ORIGEN2コードにより17×17燃料と同じように算出しています。

24ページをお願いします。

次に除熱解析条件のうち温度解析のモデル化についてです。温度解析は17×17燃料と同様にABAQUSコードにより実施しております。兼用キャスクの各部温度ですけれども、MSF-24P(S)型の実形状を三次元でモデル化しました左下の図に示す全体モデルにより求めまして、燃料被覆管の温度は燃料集合体の径方向の実形状を二次元でモデル化した、右下の図に示す燃料集合体モデルにより求めております。

主要な解析条件について表に示しておりますけれども、一般の試験条件及び特別な試験条件において、15×15燃料収納時は17×17燃料収納時に対して、燃料集合体のモデル化条件の差異を除きまして同じとしてございます。

続いて25ページをお願いします。

除熱解析の結果のうち、一般の試験条件における除熱解析結果を示しております。このページに示しておりますとおり、15×15燃料収納時においても一般の試験条件の基準を満足することを確認しております。

なお、二つ目の矢羽根のところですが、人が近づき得る表面の最高温度につきましては、17×17燃料収納時と同様に、このキャスクの外筒外面、それからトランニオンの温度が規準値である85℃を超えますけれども、この場合においては近接防止金網を取り付けて輸送することとして、その場合は金網の温度が66℃になりますので、85℃以下という形になります。

続いて、26ページをお願いします。

次に、除熱解析の特別な試験条件における結果でございます。

特別な試験条件では、外気が800℃の火災環境を30分経験するという過酷な条件ですが、各部材の温度については、17×17燃料収納時とほぼ同じ温度になってございます。ですので、その損傷状態というのは、17×17燃料収納時と同じということになります。

文章の矢羽根のところに記載しておりますとおり、中性子遮蔽材につきましては、底部の中性子遮蔽材は使用可能温度を超えてきます。ですので、中性子遮蔽材の欠損について遮蔽解析及び臨界解析で考慮することとしております。

中性子遮蔽材以外の材料については、輸送物の健全性に悪影響を及ぼすほどには到達し

ません。

27ページをお願いします。

次に、15×15燃料収納時の遮蔽解析についてです。27ページには、遮蔽機能の安全評価として実施した遮蔽解析の解析条件のうち、収納物仕様を示しております。

使用済燃料の放射線源強度は、この表に示します初期濃縮度、燃焼度、冷却期間に基づいて、17×17燃料と同様にORIGEN2コードにより算出しています。

次、28ページをお願いいたします。

遮蔽解析条件のうち、線量当量率を計算する遮蔽解析のモデル化についてです。遮蔽解析は、17×17燃料と同様に配置、形状等を適切に考慮して、濃い四角の枠で囲っているように保守的な条件を設定しまして、DOT3.5コードにより実施しております。

特別の試験条件における線量評価では、先ほど御説明しました除熱解析結果を踏まえまして、中性子遮蔽材の密度を半分に減少させております。

遮蔽解析モデル形状は29ページ、30ページに示しております。

遮蔽解析の評価結果については、このページの下を表に示すとおりでございます。15×15燃料収納時においても、MSF-24P(S)型の表面及び、表面から1m離れた位置における線量当量率は、規則の評価基準値を満足しております。

続いて31ページをお願いします。

15×15燃料収納時の臨界解析についてです。こちらには解析条件のうち、収納物仕様を示しております。解析に用いる15×15燃料については、17×17燃料と同様に表に記載しているような保守的な条件としております。

続いて32ページをお願いします、

次に、臨界解析の解析モデルについてです。解析モデルですけれども、主に四角の枠の中の文章にありますとおり、配置や形状等を適切に考慮して保守的な条件として、17×17燃料収納時と同様に、SCALEコードシステムに含まれますKENO-VIコードを用いて評価を行っております。

下の左側にはモデルの縦断面図、右側には横断面図を示しております。

33ページをお願いします。

臨界解析における燃料棒のモデル化につきましては、17×17燃料収納時と同様に、特別の試験条件のうち、最も影響の大きい9m落下時における燃料棒の変形を考慮しまして支持格子1スパン間の燃料棒ピッチの変化を考慮しまして、上の図に示す3パターンの状態と

して評価を行っております。

(3)に臨界解析結果を示しておりますけれども、通常輸送時並びに核分裂性輸送物に係る一般の試験条件、特別の試験条件下におかれた輸送物の孤立系、及び配列系との各条件と比較しまして、安全側の条件の下、計算しました中性子実効増倍率は、15×15年収納時においても0.95以下であることを確認しております。

34ページをお願いします。

34ページ、続きまして経年変化の考慮に関する事項でございます。15×15燃料収納時の経年変化における考慮の評価におきましては、15×15燃料収納時の最高温度、それから照射量及び燃料被覆管の周方向応力を反映しております。

これらの設計値については、17×17燃料収納時と同様に基準値を満足していることを確認しております。

34ページには、15×15燃料収納時の構成部材、及び使用済燃料の最高温度、次の35ページには照射量、それから燃料被覆管の周方向応力について記載しておりますので、御参照いただければと思います。

15×15燃料収納時の安全評価については以上でございます。

続いて、36ページをお願いいたします。

ここまで外運搬規則への適合性に関する御説明をさせていただきました。型式指定から、後段の設計承認申請への引継事項について、36ページにまとめております。

このページの表に示します六つの事項となります。

①番についてですが、これは外運搬規則適合のために装着が必要となる輸送用の緩衝体を限定するための記載。それから、輸送時の使用条件についてです。

②番につきましては、輸送用緩衝体の経年変化がないことを確認するための使用条件についてです。

また、③番～⑥番につきましては、核燃料輸送物を運用する原子力事業者等の保守によって、外運搬規則に適合することを確認するための事項となります。

これらの引継事項については、型式指定申請書本文に明記をいたす予定です。

外運搬規則への適合性説明は以上でございます。

続いて37ページをお願いいたします。

続いて、審査会合での指摘事項への回答をさせていただきます。

本日、No.3～No.6、残りの指摘事項の全てについて御回答いたします。

39ページをお願いいたします。

指摘事項(No.3)から回答させていただきます。No.3の指摘事項は、申請書添付書類13に示す輸送用緩衝体を装着して輸送することが申請書本文に明記されていないため、記載を検討のこと。また、貯蔵用緩衝体の性能に係る説明に際しては、詳細設計ベースでの具体的な緩衝性能について説明することでございます。

まず、1点目の輸送用緩衝体に関する回答ですが、36ページで御説明したとおり、申請書本文に記載をいたします。

次に2点目の詳細設計ベースでの具体的な貯蔵用緩衝体に関する件ですが、型式証明のほうの申請書に記載しております貯蔵用緩衝体の必要性能を踏まえまして、MSF-24P(S)型の詳細設計に対する貯蔵用緩衝体の具体的な緩衝性能として、特定兼用キャスク貯蔵施設における想定事象に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が、日本機械学会の金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための具体的な荷重条件を定めます。

後段の設工認申請での想定事象において、特定兼用キャスクに作用する荷重条件が本型式指定で定める荷重条件を満足する場合、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が許容基準を満足するための緩衝性能を有するものとさせていただきます。

このことにつきまして、ちょっと詳細を御説明いたします。

次の40ページをお願いします。

このページに、貯蔵緩衝体を装着したMSF-24P(S)型の想定事象における安全評価の全体像につきまして、想定事象として水平落下の場合を例に用いて御説明をさせていただきます。

この図の一番左側ですけれども、こちらには事業所外運搬規則への適合性説明のうち、最も特定兼用キャスクに係る荷重が大きくなります9m水平落下の流れを示しております。

ここでは輸送・・・において9m水平落下に蓋部、または底部に生じる荷重 F_t 、 F_b を算出するとともに、その荷重を入力条件としまして、特定兼用キャスクに生じる応力が供用状態Dを満足することを説明します。

この適合性説明については、本型式申請申請書の添付書類13に示しているものです。

次に、その右側、真ん中の列ですけれども、型式指定の貯蔵用緩衝体に係る安全評価フローを示しております。型式指定では、評価上の設定としまして想定事象を仮設定しまして、その際に上部側に生じる荷重 F_{t1} 、下部側に生じる荷重 F_{b1} を設定します。

この F_{t1} と F_{t2} は、一番左のラインで示した事業所外運搬規則適合性評価で生じております F_t 、 F_b よりも小さくなるようにします。そして、この F_{t1} と F_{t2} を特定兼用キャスクの上部及び下部に作用させて、算出されます特定兼用キャスクの応力が供用状態Dを満足して、 F_{t1} と F_{t2} が作用しても安全機能が維持されることを確認するということを御説明します。

一番右側のフローですけれども、こちらが設工認、または設置許可での安全評価フローを示しております。設工認では、型式指定では申請範囲外になっております貯蔵用緩衝体の詳細設計、それから貯蔵施設での想定事象が確定され、設工認において貯蔵用緩衝体を装着したMSF-24P(S)型に貯蔵施設への具体的な想定事象が発生した場合における上部、下部側の荷重 F_{t2} 及び F_{b2} が算出されるということになります。

この荷重 F_{t2} と F_{b2} は、型式指定で設定した荷重 F_{t1} と F_{b1} を下回る場合においては、MSF-24P(S)型の安全機能が維持されるということになり、設工認での安全機能維持評価の一部省略化に寄与するものとなります。

もし、そうでない場合は、別途、設工認を見て、キャスクの応力が供用状態Dを満足する確認がなされるということになります。

これが本件に係る全体像でございます。この図の一番右側の設工認でのフローの上側に青色の破線を入れておりますけれども、設工認において、この F_{t2} 、 F_{b2} を算出流れにする流れにつきまして、簡単に概要を御説明させていただきます。

次に、41ページをお願いします。

41ページですけれども、設工認にて審査を受けます貯蔵用緩衝体の詳細設計の例、及び性能評価フローを示しております。

貯蔵用緩衝体は、左側のフローの(1)番、質量や形状制限、想定される落下高さや制限解除等の要求性能を受けまして、(2)で示すところで設計がなされます。

貯蔵用緩衝体を装着したMSF-24P(S)型が、想定事象において受ける荷重というのは、(4)の落下解析で算出されまして、この荷重を基に型式指定の荷重条件と比較して安全機能が維持されるかの判断をすることになりますけれども、その落下解析により特定兼用キャスクに生じる荷重というのは十分に検証されている必要がございます。

緩衝体というのは、円柱状の形状でございまして、特に水平落下、水平姿勢で落下する場合には、この辺、この部分の形状が変形して、その変形によるエネルギー吸収が行われますので、弊社では、この(3)で示します緩衝体形状での圧縮試験により、想定どおりの荷重特性が得られることの確認及び、落下解析モデルの構築を行っております。

また、(4)番で示しておる落下解析モデルというのが、動的な事象に対しても妥当かどうかの確認というところを、(5)に示すような落下試験により検証するというところを行っておりまして、これらが設工認での御説明事項ということになります。

続いて42ページをお願いします。

先ほど御説明した全体像を踏まえまして、本型式指定で設定する安全機能を担保する共同部材が、健全性を維持可能な荷重について御説明します。

型式指定で設定します想定事象は、貯蔵施設内での貯蔵状態において想定された事象としまして、この42ページに示す事象とします。それは、このページの1)で示すMSF-24P(S)型自身の水平落下、それから2)、3)で示しますMSF-24P(S)型と周辺施設等との衝突事象でございます。

この2)、3)の貯蔵事象については、キャスクが移動して衝突する場合と、周辺施設側が移動して衝突する場合を含んでおります。

43ページをお願いします。

次に、先ほどの想定事象のうち荷重作用位置を考慮しまして、貯蔵用緩衝体の性能、MSF-24P(S)型の構造強度評価の対象とする代表事象というのを選定しております。

先ほど御説明した2)番の径方向の衝突につきましては、水平落下と荷重作用位置が同一であり、水平落下と同等の事象として水平落下で代表します。

設定した各代表事象に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が金属キャスク構造規格に規定される供用状態Dの許容基準を満足するための荷重条件、これを表の中央の図に示しております。

この荷重条件は、表の一番右の列に示します事業所外運搬規則適合評価における、9m落下時の荷重以下としております。

また、各代表事象におけますこれら荷重条件の作用値については、次の44ページに図を入れておりますので御参照いただければと思います。

次いで、45ページをお願いします。

45ページです。先ほど御説明した代表事象、それからそれらの荷重条件に対して構造強度評価を行いまして、特定兼用キャスクの安全機能を担保する強度部材、これが金属キャスク構造規格の供用状態Dの評価基準を満足するというところを、これより御説明します。

45ページには、代表事象であります水平落下、それから軸方向で衝突する場合に軸方向衝突において生じる荷重に対する安全評価方法について示しております。

構造強度評価におきましては、落下及び衝突時の衝撃荷重として、表に記載している条件を用いて設定しまして、また、衝撃荷重以外の荷重としては、貯蔵施設での貯蔵状態に作用する荷重を考慮しております。

応力評価は、金属キャスク構造規格の供用状態Dに基づきます。

許容限界につきましては、表に記載の許容限界を用いております。この適用規格であったり評価方法というところは、技術基準規則26条の適合評価を用いました構造強度評価と同じ方法を用いております。

次の46ページをお願いします。

次に応力解析に用いますコードについてですが、(2)に記載の部位の応力解析には、これまで実績のあるABAQUSコードを使用しております。

(3)に各部位の強度評価結果のまとめとして、水平落下の結果を46ページ、下の表に。軸方向の衝突時については47ページのほうに示しております。

水平落下、軸方向衝突時に生じる各部位の応力というのは、いずれも許容基準を満足していることを確認しております。

また、本評価におきまして水平落下についてですけれども、傾斜して落下するという場合が考えられますが、その場合においてもMSF-24P(S)型の健全性が損なわれることがないということについては、48～51ページに示すとおり確認をしております。

47ページをお願いします。

47ページの下側に記載しております、後段審査（設工認）で別途確認される事項ですが、設工認において本回答で示した想定事象が存在する場合、貯蔵用緩衝体を装着したMSF-24P(S)型が落下・衝突をする際に、特定兼用キャスクに作用する荷重が、前の39ページに示した条件を満足するかどうかの確認を行い、その結果、本条件を満足する場合、貯蔵用緩衝体の性能が、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が許容基準を満足するための緩衝性能を有するということとなりますので、その場合においては、当該想定事象に対するMSF-24P(S)型の安全機能は維持されるものとします。

この引継事項につきましては、型式指定の申請書本文に明記することといたします。

No.3への回答は以上でございます。

続いて52ページをお願いします。

続いて指摘事項（No.4）への回答です。

No.4の指摘事項は、品質基準適用規則への基準適合性について、実用炉規則111条の要

求事項への適合について説明することです。

このページの表の一番左の列に、実用炉規則111条の要求を示しておりまして、特定機器が均一性を有するように行う検査の結果、その他、品質管理の実施の記録を5年間保存しなければならないとされております。

これに対しまして、このページの中央と、あと、一番右側の列に記載しておりますとおり、型式指定申請書の本文と添付書類において、記録の管理要領を規定しておりまして、検査の結果、その他品質管理の実施の記録を5年間保存するための要領を定めております。

具体的には、設計、アウトプットを含む設計図書等、右側の列に記載しているような図書について、品質記録として永久保管することを定めておりまして、実用規則111条の要求に適合しているということが判明しております。

No.4の回答については、以上でございます。

続いて53ページをお願いします。

53ページ、指摘事項のNo.5への回答でございます。

指摘事項としては貯蔵三次蓋の材質及び形状の変更による質量の変化について説明をするとともに、貯蔵時や輸送時の取扱いに影響がないか説明することです。

回答ですけれども、型式証明から貯蔵用三次蓋の材質及び形状の変更による形状及び質量の差異というのは、表の、一番上の表に示すとおりでございまして、僅かなものでございます。

また、貯蔵用三次蓋の胴への取付け及び取り外しというのは、クレーン等の揚重設備により行われますけれども、その際の取扱方法も同じでございます。さらに、貯蔵用三次蓋を装着した状態でのMSF-24P(S)型の取扱中の質量を下の表に示しておりますけれども、原子炉建屋内での取扱い、貯蔵施設への搬送時、貯蔵施設内での取扱い時における取扱制限の中にありまして、取扱性に問題ないと判断をしております。

指摘事項(No.5)への回答は以上でございます。

54ページをお願いします。

続いて、指摘事項(No.6)への回答でございます。No.6の指摘事項は、遮蔽解析に使用したMCNP5コードの適用妥当性について、学会標準のガイドラインを参考とした検証作業の方針を明確にして、結論に至るまでの論理展開が適切となるように見直すことです。

前回審査会合での御指摘ですけれども、この御指摘を踏まえまして、回答の冒頭に記載

しておりますとおり、MCNP5コードの適用性については、MCNP5コードによる線量当量率分布の評価値が、測定値の分布の傾向に対してよい一致を示すこと。加えまして、許認可で認められたDOT3.5コードを用いた保守的な手法に基づく線量当量率評価値と同等の結果となるということを示すという論旨に見直しをいたしました。

改めて適用性の説明について、させていただきたいと思います。

妥当性確認ですけれども、このページの左下のフローに沿って確認を行って、確認結果を右の表に示してございます。

このフローのうち(1)の遮蔽解析での確認事項の整理、(2)の数値的解法の確認、(3)評価結果の傾向確認につきましては、前回御説明の内容とほぼ同じでございますけれども、最後の(4)の適用性に問題がないことの確認、この内容が以前より見直しの点となります。

まず、(1)～(3)の確認について説明いたします。

(1)番の確認ですけれども、MCNP5コードを遮蔽解析に適用する場合に、妥当性を確認する範囲について整理するものでございまして、(1)の整理結果については、55ページから57ページに示しておりますので、そちらを御参照いただければと思います。

次にフローの(2)数値的解法の確認についてです。この確認につきましては、(1)番で整理した概念モデルを計算機で解く数値モデルに関して、数値的解法に問題ないことが検証されているということを確認するものです。

確認結果については58ページに示しております。一度、58ページをお願いいたします。

58ページ、数値的解法の確認結果でございます。

MCNP5コードは、開発機関でありますLANLのソフトウェア品質保証計画に従って開発されておまして、三つ目の矢羽根に示すように、LANLの検証では①～③に示すリグレッションテスト、遮蔽実験値との比較、ベンチマーク問題により、計算コードの検証妥当性確認がなされたものであるということを確認しております。

以上より、数値的解法に問題がないと判断をしております。

もう一度、54ページに戻っていただきたいと思います。

次に、先ほど左下のフローの(3)番、評価結果の傾向確認についてです。この確認では、(1)で整理した概念モデルの要素が類似した内容で構成されるベンチマーク解析に基づいて、使用済燃料輸送・貯蔵容器体系での評価制度を確認するものでして、こちらの表に示しておりますベンチマーク解析により、評価結果がよく一致するということを確認しております。

確認結果については59ページから61ページに示しておりますので、紹介します。

60ページ、お願いいたします。60ページになります。

評価結果の傾向確認に用いましたベンチマーク解析結果について御説明いたします。ベンチマーク解析ですけれども、二つの体系で実施しております。

一つ目は、このページに示します使用済燃料輸送容器体系でございます。使用済燃料の14体収納した輸送容器の中性子、ガンマ線の線量当量率測定値を基にベンチマーク解析を実施しております。

ベンチマーク解析条件の条件につきましては、その前の59ページに示しておりますけれども、緩衝体を含む輸送容器を実寸形状に合わせた三次元モデルで、MCNP5構造により遮蔽解析を実施しているものでございます。

線量当量率の評価位置ですが、左の図に示す丸印のとおりでして、輸送容器の表面及び1m離れた位置の中性子及びガンマ線の試験での測定値とベンチマーク解析の計算値の比較について、右の図に示しております。

解析値は、遮蔽体の密度を最小密度としておりまして、基本的に測定値を上回るという形になっておりますが、分布としては同様の傾向を示しているということが確認されています。

次に、61ページをお願いします。

もう一つのベンチマーク解析であります乾式貯蔵容器体系における評価結果の傾向確認結果です。

使用済PWR燃料が1体収納した貯蔵容器の中性子及びガンマ線の線量当量率測定値を基に、ベンチマーク解析が実施されたものです。

このベンチマーク解析の条件につきましても59ページに示しております。

貯蔵容器の実形状に基づきまして、これを三次元モデルでモデル化して、MCNP5コードにより遮蔽解析を行っております。容器の表面におけます中性子及びガンマ線の試験測定値とベンチマーク解析の計算結果の比較が右の表でございまして、計算値が測定値に対してよい一致をしていると、よく一致しているということが確認できます。

すみません、もう一度、54ページをお願いいたします。

最後に、左下のフローの(4)適用性に問題ないことの確認についてでございます。以前の御説明では、ここの確認につきまして、(2)(3)の確認結果から、シミュレーションモデルの予測性能を評価するという流れでございましたが、前回の議論にあったように、(2)

とか(3)について不確かさを十分に評価するためのデータがないということを踏まえまして、今回の見直しでは許認可実績が豊富なDOT3.5コードを用いた保守的な評価方法、これに基づく線量当量率の評価結果との比較を行いまして、MCNP5コードでも保守的な評価が可能であるということの確認といたしております。

この確認結果については、62ページから63ページに示しております。

62ページをお願いします。

62ページですけれども、二次元輸送計算コードDOT3.5による既認可評価値との同等性を確認した結果について御説明します。

このページの二つ目の矢羽根です。比較する対象ですけれども、MSF-24P(S)型の輸送様態と同じ仕様・構造で、設計承認を受けているMSF-24P(S)型でございます。

DOT3.5コードを用いた評価手法は、既認可を受けた申請において保守性があるものとして妥当と判断をされております。

下の表に計算方法、条件の比較を示しておりますけれども、MCNP5コードでは三次元でモデル化をしますが、DOT3.5コードは二次元の円筒体系でモデル化を行います。三次元と二次元の差異に基づくモデル化に違いはありますけれども、線源強度等の入力条件は同じ条件としております。

上の文の五つ目の矢羽根ですが、両コードによるMSF-24P(S)型表面から1m離れた位置での線量当量率の比較の結果を、次の63ページに示しております。

DOT3.5コードの特性上の要因によりまして、頭部側と底部側の径方向の一部において線量当量値評価値に差異が生じているところはございますが、DOT3.5コードによる計算値と同等の線量当量率値であったり、同等の分布傾向を確認しておりまして、MCNP5コードによりDOT3.5コードと同様に妥当な解が得られるということを確認いたしました。

最後にもう一度、54ページに戻っていただきたいと思っておりますけれども、もう一度、54ページですね。

ここまで妥当性確認フローの(1)～(4)まで御説明いたしました、この最後に回答のまとめとしまして、54ページの回答の文章の上から6行目になります。

(1)から(3)の確認結果に加えて、型式指定での遮蔽解析条件は(4)で確認したMCNP5コードの保守的な条件設定を踏襲しておりまして、保守性を有する解を得ることができるものでございます。

以上より、本申請の遮蔽解析にMCNP5コードを適用することは妥当であると判断をいた

しました。

No.6の御質問への回答は以上でございます。

最後に、64ページをお願いいたします。

最後に御説明スケジュールについて御説明します。黒く塗っている線が、本日までに御説明を一旦させていただいた事項でございます。規則適合性説明、それから、これまでいただいた指摘事項への回答を説明させていただいたという状況でございます。

以上で資料の説明を終了いたします。

○小野審議官 どうもありがとうございました。

それでは質疑に入りたいと思います。質問、コメント等、ございますでしょうか。

○松本企画調査官 規制庁核燃料審査部門の松本です。

私からは外運搬規則の基準適合性の観点で発言させていただきます。

今回、審査を行いました特定兼用キャスクに、輸送用緩衝体等を条件としている輸送物でございますけれども、別事業者のMSF-24Pですかね。これを収納物の種類に15×15燃料を追加したものというふうに理解してございます。

今回の申請のありましたMSF-24P(S)型を輸送物とした場合ですけれども、MSF-24P型と材質、それから構造が同一であるということと、それから安全性評価の考え方も同一ということで、これらについては既に確認済でございます。

15×15燃料を追加した安全性評価結果の数値は異なりますけれども、外運搬規則へ適合していることにつきましては、これまでの審査の中で確認しております。

今回、申請のありましたこの兼用キャスクの輸送に係る技術基準、これは容器に係る規準に限るものですが、これにつきましては、特に論点とするものはないと考えております。

続いて、質問や指摘事項ではございませんけれども1点申し上げます。今回申請がありました、この発電用原子炉施設に係る型式設計特定機器、特定兼用キャスクでございますけれども、こちらの型式指定におきましては、貯蔵に係る技術基準の適合性ととも、輸送に係る技術基準、これは容器に係るものですが、への適合性についても併せて確認を行っております。

先ほどの説明の中で、36ページですかね。設計承認申請の引継事項という説明があったんですけれども、今後、この兼用キャスクを用います原子力事業者と、これは運搬を委託されたものを含みますけれども、そちらから、いわゆる核燃料輸送物設計承認の申請があ

った場合につきましては、当該設計承認の審査項目としまして、核燃料輸送物の仕様、安全解析、それから輸送容器の報酬、核燃料輸送物の取扱い方法、それから品質管理の方法が挙げられます。

これは型式指定を受けた特定兼用キャスクであれば、核燃料輸送物の安全解析に係る事項の記載を省略可能となっております。しかしながら、輸送物設計承認の申請主体が、必ずしも今回の申請者、MHIですけれども、と、同じとは限りませんので、個別の輸送の仕様とか、それから使用予定期間ですけれども、こういった各種の条件と照らして、省略可能の可否を検討する必要がありますので、当該兼用キャスクを原子力事業者等に供給するに当たりましては、丁寧な説明を求めたいと思います。

以上でございます。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱重工の斎藤です。

コメント、ありがとうございます。御指摘のとおり、供給する際には事業者のほうに丁寧な説明をするとともに、事業者のほうからも申請の際は御説明をさせていただくように働きかけたいと思います。

以上です。

○小野審議官 ほか、いかがですか。

○櫻井審査官 規制庁、櫻井ですけれども、私のほうからは、指摘事項(No. 3)の貯蔵用緩衝体の性能についてのところに、ちょっと確認をしたいと思います。

まず1点目なんですけれども、こちらの理解としては、今回の貯蔵用緩衝体の設計に関わる型式指定の、この今回の申請の中で、今後、電気事業者が行う設工認申請の引継事項というのは、キャスクの蓋部と底部と貯蔵用緩衝体のその接続部に作用する荷重のみであって、これらの荷重状件を満たす貯蔵用緩衝体の具体的な設計というのは、設工認申請を行う電気事業者に委ねるという考えであることと理解しているのですが、この理解は合ってますでしょうか。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱重工、斎藤です。

はい、その御理解のとおりです。

以上です。

○櫻井審査官 ありがとうございます。

じゃあ、この考えの下で、今回このキャスクの蓋部と底部と、その貯蔵用緩衝体との接続部に、概要パワポの39ページと40ページの図を見ると、均一に荷重がかかるというふう

に見えるので、そういう前提になっているのかなと思うんですけども、このキャスクの構造上、突起物というか、とがったものとかによって、局所的に荷重がかかる部分というのは想定していないというふうに考えてよろしいですか。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱重工、斎藤です。

キャスクが落下する場合と、あと衝突する場合、あるいはキャスク周辺施設側がキャスク側に衝突する場合ということが考えられます。

キャスクが落下する場合については、斜めに傾いて落下するということも含めてですけども、今まで輸送側のほうで受けているものと同じように、緩衝体からはキャスクに対して一様に荷重が入ることが確認されておりますので、それはそれのとおりかと思っております。

あと、突起物のようなものが当たるということですけども、それも落下と同じように、緩衝体に変形をするという形で、その緩衝体に変形することによって荷重が発生して、それが緩衝体の中を伝わってキャスクに伝わるということになりますので、緩衝体の中を伝わってくるという考え方は、水平落下と、落下時と同じと考えておりますので、その辺の違いというのはないというふうに考えております。

以上です。

○櫻井審査官 御説明ありがとうございます。今の御説明ですと、今回提示している、この荷重条件というのは、最初に質問した突起物とか、とがったものとかにぶつかったときも含めて、緩衝体にかかる荷重というのは考えられているというふうに理解しましたが、この理解で合っていますか。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱重工、斎藤です。

その辺も考慮した設定としてございます。

その部分の詳細な確認につきましては設工認の範疇になると思いますけども、設工認のほうで貯蔵用緩衝体の仕様構造を示して、41ページで示したような落下解析を行って、その結果、キャスクに荷重が加わるというところの説明の中で、一様になるところの御確認とかというのがなされるものと思っております。

以上でございます。

○櫻井審査官 規制庁、櫻井ですけども、概要パワポでいう、例えば41ページの設工認での審査事項の、例えば要求、(1)の要求性能の整理とかですね、そこら辺にかかってくるということですかね。

電気事業者が設工認申請をするときに、そういう、例えば突起物がないような貯蔵施設にするだとか、そこら辺も含めての申請になる。運用とかも含めてとなるということですかね。

具体的な、その条件付けというのは、今ここで、具体的な個別的なそういう施設というのは、メーカー側では、そこまで考えられないのかもしれないんですけど。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱の斎藤です。

はい。まず、電気事業者さんが、貯蔵用緩衝体を設計される際に当たっては、それぞれ貯蔵施設に応じた条件設定というのがなされていることになりますわけで、概要パワポの、この41ページの(1)番の要求性能の整理というところで整理がなされると。

審査を受ける際に当たっては、その仕様、構造というのを示すとともに、想定される想定事象というところを示されると思います。それは、キャスクがどのぐらいの高さから落下し得るのか。どのようなもの、どのような形状のものがキャスクに衝突するのかというところが、条件として定義がされると思いますので、そこを受けて、その結果、キャスクにかかる荷重というのが、我々が示しておる型式指定の条件と比べてどうなのかということを見ていただくということになりますので、その辺は、設工認の中で明確にされると思っております。

以上です。

○櫻井審査官 御説明ありがとうございます。

今の御説明の中で、私は、この提示された荷重以下であれば、変な言い方ですけども、どのような形でとか、スペックでも、今回の三菱が出している型式指定の中での貯蔵用緩衝体の性能の条件というのは、その荷重以下であればよいというふうに理解しました。

私からは、これに関しては以上です。

○小野審議官 ほか、いかがですか。

○戸ヶ崎調整官 原子力規制庁の戸ヶ崎です。

突起物の点についてなんですけど、44ページを御覧いただきたいんですけど、こちら、枠の中に書いてある情報ではあるんですけど、その、我々の理解は、このキャスク側の緩衝体等の接続部のところへの荷重を引継条件にするというふうに理解してるんですけど、ここの接触部ですね。キャスク側の接触部に均一に荷重がかかるという条件だと思うんですけど、こういう場所に、もう、その突起物とか、場所によって荷重のかかり具合が変わるとか、そういうところはない構造になっているというふうに理解してよろしいでしょう

か。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱重工、斎藤です。

緩衝体の構造についてですけれども、基本的に緩衝体のフレーム部分と緩衝材の部分で構成がされます。

キャスクとの取り合いの部分でいきますと、緩衝材を収納するためのフレーム部分というのがキャスク側に、はまるような形で構成されておりまして、その外側に緩衝材が設置されているという形になります。

変形する、緩衝材が変形する場合というのは、緩衝材が変形していくということで、荷重の分布がつきながら広がっていくんですけれども、その荷重がさらに、そのキャスク側にかぶせるためのフレーム部分を通じて分布するような形でキャスクには伝わっていきますので、この44ページに示しているような形で基本的には伝わっていくというふうに考えております。

以上です。

○戸ヶ崎調整官 規制庁の戸ヶ崎です。

ですから、その発電用原子炉設置者に引き継ぐ条件としましては、こちらのキャスクの緩衝体との接触部分の面積とか、それとか、それにかかる荷重というのを引き継ぐという理解なんですけど、そこの接触部分というのは、場所によって凸凹があったりすると、その局所的に荷重がかかる可能性もあるんですけど、このキャスク側のその接触部分については、そういう不均一な接触面にはなっていないというふうに理解してよろしいでしょうか。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱重工の斎藤です。

貯蔵用の緩衝体に、そのような突起物が生じたとしても、基本的にはこのように分布するような形になると考えておりますので、その構造というのは、ちょっと今、緩衝体が具体的にあるわけではないので、お示しをすることができないんですけれども、こういう状態があって、それが、その結果、こういう形で分布をしているということの確認については、後段で御確認いただくことになるのかなと思ってますが、そもそも、結果、引き継ぐ事項としては、このような形で分布させているというのを引き継ぐのかなと思っております。

このような形で分布しているというのは、申請書のほうに計算書の荷重条件として含めるということを考えてございます。

以上です。

○戸ヶ崎調整官 原子力規制庁の戸ヶ崎です。

いずれにしても、こういう接触部分の図と、そこにかかる荷重というのを引継ぎ条件にして、そういう荷重になる緩衝体を原子炉設置者のほうで造る。そういうふうに理解したんですけど、そういう理解でよろしいでしょうか。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱重工の斎藤です。

はい、具体的にちょっと、どういった形で引き継ぐかといったところは、これから検討させていただきたいと思っておりますけれども、この荷重の分布の形が分かるようなことですね。今、それについては、この、今日の補足説明資料1-8にも含めておりますけれども、計算条件としてこういう条件がかかっているというものを申請書のほうに記載して、確認が取れるようにしたいと思います。

以上です。

○小野審議官 ほか、いかがですか。

○櫻井審査官 規制庁、櫻井ですけれども、すみません。今回の貯蔵用緩衝体に関連して、概要パワポの42ページなんですけれども、まず、今回のキャスクというのは横置き状態で、貯蔵架台にトラニオンで固定される状態で置くという形なんですけど、今回、貯蔵用緩衝体が装着している状態で、その電気事業者は貯蔵架台に置くというときに、トラニオン部と貯蔵架台に作用する荷重というのは、そういう荷重を考慮するという旨を設工認申請のときに引き継ぐ必要はないのかという点については、いかがですか。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱重工の斎藤です。

横置き姿勢でトラニオンを介して貯蔵架台に設置されているということ、どう考慮するのかということかと思っております。

実際、キャスクに物が落ちるとか、キャスクが落下する際というのは、貯蔵架台に乗っている可能性がありますので、貯蔵架台の影響というのを確認するという形になるかとは思いますが、今回、型式指定の中で御説明するに当たっては、貯蔵架台というのは申請範囲外ということになっているということと、あと、耐震等の、耐震性を有さない設備というふうに考えておりますので、実際には、その貯蔵架台が衝撃を受けて変形してキャスクに与える荷重というのは緩和されるという効果があると思うんですけども、そこを無視した形で評価のほうはしているということでございます。

以上です。

○櫻井審査官 規制庁、櫻井ですけれども、今の御説明ですと、貯蔵架台への耐震性等を、

今回は範囲外なので見ないけれども、そういう点も含めて、見ないんだけど、設工認申請の引継ぎ事項にはならないというふうに考えているということによろしいんですか。

○三菱重工業株式会社（サトウ） 三菱重工のサトウです。

落下する場合というのは、例えば水平落下する場合というのは、もう完全に貯蔵架台を無視したほうが、緩衝体で全てエネルギーを吸収するというので、蓋部及び、上部及び下部に発生する荷重というのは、それが最大になるというふうに考えてますので、引継ぎは不要かなと思っております。

あと、キャスクが軸方向に衝突したりという場合においては、実際、そのような状態で荷重を受けますので、拘束条件として実際評価している解析条件の中に、この部分を拘束をかけてというのは入れてはいるんですけども、実際に貯蔵架台の剛性というのを考慮して評価はしておりませんので、その剛性を考慮していない以上、引き継ぐ必要はないかなというふうに考えております。

以上です。

○櫻井審査官 御説明ありがとうございます。すみません。落下状態と、あと軸方向の、ちょっと、ずれ等に関しては、例えば落下のときには架台は無視して、直接緩衝体が、直接落ちるということで、そっちのほうが厳しくなるという考えの下、評価している等の考えによって、今回は設工認申請の引継ぎ事項には含まれないというふうに、はい、理解しました。

○小野審議官 ほか、いかがですか。

○後神主任技術研究調査官 規制庁の後神です。

私からは、指摘事項のNo. 6と遮蔽解析に使用したMCNP5コードの適用妥当性についての回答について、ちょっと確認したいことがあります。

この指摘なんですけども、前回の会合で示された資料と説明では、資料でいうと54ページ目に(1)～(4)まで、こういった確認を進めながら適用妥当性を示しますよという説明が、前回もなされたんですけども、その際は、確認の内容は定性的なのか、定量的なのか、それらの評価が混在していて、ちょっと説明方針として一本筋が通ってないんじゃないですかという指摘をしたわけなんですけども、それに対する回答として今回は、特に(2)(3)の確認項目については定性的に行いますと。(4)のDOT3.5コードとの比較においては、保守的な解析ができることの確認なので、完全に定量的とまでは言わないんですけど、数値の比較などもしながら示すという方針にされたところで、検証作業の方針が、かなり明確に

なって矛盾のない論理展開になったということは、こちらでも確認が取れました。

その上で2点ほど確認したい点があるんですけども、まず一つ目は、同じページの(2)番のところ、数値的解法の確認と呼んでいるところなんですけども、ここで行っているのは、コードの開発元であるロスアラモス研究所が、このコードを開発するに当たっては品質保証計画をしっかりと立てて、それに従って開発されたものであること、そういったことを確認しましたと。

それから、ほかにもリグレッションテストであるとか実験値との確認、それから解析解や参照解との比較、こういったところで精度がよかったですと。そういうところが確認できましたということが書かれてあるんですけども、これらは全てロスアラモス研究所が行ったことがレポートに、そう書かれてあったと。

三菱重工としては、それを文献として確認したという話なんですけども、これらの確認結果を受けて三菱重工としては、MCNP5コードの数値的解法について、どう評価して、結論としてどうだったのか。

今回の申請の解析について、全く問題がないと判断したというのか。どこかしらに、何か課題があるけども、今回の内容としては抵触しないであるとか、こういう解決策を取りますとか、そういったところの結論が書かれていないので、先ほどの御説明の中では口頭で、妥当であるという説明も出てきたんですけども、その辺り、もう一度、明確に説明いただけますか。

○三菱重工業株式会社（尾方） 三菱重工の尾方です。御指摘の点につきまして尾方から回答させていただきます。

パワーポイントの58ページを御覧いただきたいと思います。

こちらにつきましては、先ほど御指摘のありました数値的解法の確認といたしまして、今回確認した内容を記載しております。

ここでは、ちょっと繰り返しになりますけど、ロスアラモスの計画、品質保証計画に従って開発されておりますということ。MCNP5コードに対しては、先ほどありましたリグレッションテスト等の検証が実施されてますと。その内容につきましては、リグレッションテスト、すみません。矢羽根の三つ目ですけれども、リグレッションテスト、中性子及びガンマ線遮蔽に関する遮蔽実験値との比較ということと、三次元輸送計算コードの精度確認のために設定されてるようなベンチマーク問題での比較ということで、その精度を確認して妥当だというふうに考えております。

まず、リグレッションテストにつきましては、バージョンの変更で予期しない変更がないか、影響がないかというのを確認することを目的とされておりますけれども、こちらについては、今回の用いましたVer. 1.60での変更以外に影響はないということを確認されている、ロスアラモスによって確認されているということを確認してます。

ここで、リグレッションテストで用いられている計算というのは、計算問題というのは、ガンマ線や中性子のベンチマーク問題として整理されたものでありまして、キャスクの評価に必要なガンマ線や中性子の輸送計算に必要な散乱・吸収といった現象が取り入れられてる、考慮された実験や解析値に対して、このMCNP5コードを用いて精度よく予測できるということは確認されているので、この点からも、今回のキャスクの仕様に対して問題ないかなというふうに考えております。

同様に、その②、この遮蔽実験値との比較というのは、このリグレッションテストで比較されたものも含まれているんですけども、こちらにつきまして同様に、中性子スペクトルの測定、中性子ガンマ線遮蔽、ガンマ線スカイシャイン線、ちょっとガンマ線スカイシャイン線は、今回のキャスクの体系では違いますけれども、これらの実験値とMCNP5コードの解析値で、比較的よい一致を得ているということも含めまして、結論としては、まず、数値的解法については、精度よくできているだろうと。そのMCNP5コードのキャスク体系の適用については、問題となるようなことはないかなというふうには考えております。

以上でございます。

○後神主任技術研究調査官 規制庁の後神です。

今の御説明で、各確認項目について、こうであったということは説明いただいたのと、資料にも書かれているので、その最後に総合的な結論として、三菱重工としてMCNP5コードの数値的解法を確認した結果、こうであったというのを、はっきりと書いてほしいので、その辺り、記述の内容を検討していただきたいのと。

ちょっと54ページ目に戻っていただいて、先ほども言いました(2)の文章のところ、ページの真ん中辺りにありますけども、ここの文章「数値的解法の確認は」から始まって最後、「精度よく実施できることを確認。」という文章、これが、どこからどこまでが主語で、それを受けて述語がどれなのかというのが、よく読むと分からない文章になっているので、ここに書くべきこともやっぱり同じで、最終的にどうであったかという結論が書かれていないと分かりませんので、こういう確認をしましたよと書くのはいいんですけども、その結果、MCNP5コードの数値的解法については問題がないのか、どうなのかというところ

ろで締めるように。それが分かるような記述になるようにというのを検討いただきたいんですが、いかがでしょうか。

○三菱重工業株式会社（尾方） すみません。三菱重工、尾方です。

今の御指摘の点、承知いたしました。

この(2)につきましては、この確認された内容に加えまして、その結果、どうだったのか。弊社として、どのような判断をしたのかということを追記するようにいたします。

○小野審議官 ほか、いかがですか。

○後神主任技術研究調査官 ありがとうございます。以上が1点目で、もう一点、確認したい点があるんですけども。

同じ資料の63ページ目、こちらは(4)のDOT3.5による既認可評価値との同等性の確認ということで、具体的な評価結果の比較と、それに対する考察が載っているところなんですけども、その下の、図の下の結果差異の要因のところの①番のところ、ここはトラニオン部の評価点について、MCNP5コードとDOT3.5コードで少し違いが出ていて、MCNP5コードの評価結果のほうが低く出ていると。

ただし、これはDOT3.5コードが非常に保守的なモデルで評価しているのが原因であって、MCNP5コードが過小評価しているわけではないということが書かれていると思うんですけども、これはDOT3.5コードの評価条件を考えると、確かに自明だという判断はできますので、安全性に対して、この結果が信用できないとか、そういう話ではないんですけども、その辺りを補足するために、その同じところの2行目に「ベンチマーク解析での中性子遮蔽材のない領域」、これは恐らくトラニオン領域のことを言っていると思うんですけども、その「測定値と傾向がよい一致であることを確認。」というのが出てくるんですが、これは、この資料の中の具体的に、どのデータの、どの部分を、どうやって比較して、この結論が得られたのかというのを具体的に説明いただけますか。

○三菱重工業株式会社（尾方） 三菱重工、尾方です。

今の御指摘の点につきましては、パワーポイントの60ページ、61ページの試験結果と実験結果の比較にて確認をしております。

まず、60ページ目ですけれども、上部トラニオン、下部トラニオンと、左の解析モデルのところにあります。そこでの測定点というのがUT-00-Cであったりとか、BT-00-Cであったりと、そういった測定点になります。

それに対する測定値と解析値の比較結果というのが、右の図の、例えば中性子線量当量

率ですと左上の図の、UT-00-Cという一番左のポツで、底部のほうはBT-00-Cという、一番右の点になります。

測定値が黒点に対しまして、計算値が白い点になります。こちらを見ますと、トランニオン付近の線量と計算値と測定結果を比較すると、計算値のほうが若干高めで、その傾向としては大体一致しているという結果を得られております。

同様に、その下の1m、表面から1m離れた位置におきましても、計算値のほうが高い傾向であると。

ただしガンマ線につきましては、一番左のUT-00……、すみません、ちょっと見えませんが、一番左のところにつきましては計算値のほうが低めの傾向にはなるんですけども、そちらにつきましてはガンマ線が、なぜ低いかということにつきましては、その上の文章の3行目「また、ガンマ線についてはベンチマーク解析において端部線源強度の高い構造材放射化ガンマ線源を考慮していない」といったことで低めの傾向が出ておりますが、傾向としましては計算値のほうが、MCNP5コードによる計算値のほうが高めの傾向が出ているというところで、今回、63ページのほうで比較しました結果につきまして、DOT3.5コードのほうが高い結果とはなっておりますが、MCNP5コードによる計算値のほうが現実的な評価結果であるという、保守的過ぎない結果であるということをお断りしております。

同様なことも、もう一個のベンチマークとの比較でもありまして、それが61ページ目の解析モデルのポイント1とポイント2の評価点になります。

こちらにつきましても、ポイント1、ポイント2とともに、MCNP5コードでの結果は測定値と比較しまして、よい傾向を示しておりますので、この点につきましても、DOT3.5コードが保守的過ぎる、非常に保守的な評価結果を与えているということをお断りしております。

以上です。

○後神主任技術研究調査官 ありがとうございます。

今の御説明を聞いた上での、こちらの受け止めなんですけども、実際、ベンチマーク実験と解析の比較結果、ここはあくまで定性的な比較ということで、傾向的なものを見るところなんですけども、トランニオン部だからといって特別に何か振る舞いが変わるわけでもなくて、ほかの評価点と同じような、計算値が上回るんだったら、この部分を計算値が多少上回っていると、そういう傾向が見えるので、63ページ目の評価結果でも同じような傾

向を示すはずで、トラニオン部以外のところのMCNP5コードとDOTコードがどれぐらい合うかという傾向に対して、トラニオン部でも大体同じぐらいになるはずであると。

そういうことでよろしいですね。

○三菱重工業株式会社（尾方） 三菱重工、尾方です。

今のコメントのとおりのお考えでございます。

○後神主任技術研究調査官 もう一つ、念のためなんですけども、①のDOT3.5コードの評価結果は、MCNP5コードに比べて保守的な条件を含めているので非常に高い結果になっていると。

仮にMCNP5コードでこのDOT3.5コードと同じような評価条件を入力して計算したら、全く同じになる必要はないですけども、同じように、こういった高い評価結果が得られて、その上で今回はMCNP5コードには現実的な評価条件を設定しているので低く出ていると、そういう理解で大丈夫ですか。

○三菱重工業株式会社（尾方） 三菱重工、尾方です。

そうですね。例えばですけど、ちょっと資料が変わりまして恐縮ですけども、資料1-3の別紙5-12ページに添付2としまして、DOT3.5コード解析におけるトラニオン部評価という評価の内容を記載しております。

仮に……、ごめんなさい。通し109ページです。

そこに添付2としましてDOT3.5コード解析におけるトラニオン部評価とありまして、仮にこれはトラニオン部の評価をDOT3.5コードでやるときの評価の内容になっております。

今、御指摘の受けたところにつきまして、このやり方と同じことをMCNP5コードでやれば、どのようになるかというコメントとの理解なんですけども、基本的に同じような条件設定で、かつモデルにすれば、DOT3.5コードと同じような結果が出るのではないかというふうには考えております。

以上です。

○後神主任技術研究調査官 規制庁の後神です。

回答ありがとうございました。そういうことであれば、ここでの評価結果が著しくおかしいことではないという確認は取れていると理解できましたので、ここも、先ほどの数値的解法のところと同じなんですけども、ここは逆に、結論のところがかかれていたんですけども、この結論に至っている過程が、まだ抜けていますので、今説明いただいたところ、ベンチマーク実験との比較のデータのどこを見て、どういう判断をして、こういう結論に

至ったかというのが分かるようなところを、もう少し補足の記述を入れていただきたいんですけども、いかがでしょうか。

○三菱重工業株式会社（尾方） 三菱重工、尾方です。

承知いたしました。ちょっと結論まで至るところの、ちょっとその間をうめるようにいたします。

○後神主任技術研究調査官 規制庁の後神です。

よろしく申し上げます。

○小野審議官 ほかは、いかがですか。

○渡邊管理官 原子力規制庁の渡邊です。

先ほど、櫻井、戸ヶ崎から確認した事項について、ちょっと改めて確認をしたいんですけども、パワーポイントの39ページ、40ページ辺りなんですけれども、先ほどの御説明だと、39ページにある表のように、蓋とか底の部分に対する荷重条件を設定しておけば、仮に貯蔵用の緩衝体がどういうふうなものになったとしても、少なくとも荷重の条件を設定しておけば、引き継いでおけば、それに応じて電気事業者が設計をするので問題はないというふうな説明だったと思うんですけども、落下のモードが、例えば斜めになったりとか、そういうようなことを考えたとしても大丈夫だという説明だったと思いますが、そこはそういう理解でいいですよ。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱重工、斎藤です。

はい、御理解のとおりでございます。

○渡邊管理官 はい、ありがとうございます。

それから、ちょっと一瞬分からなかったのが、トラニオンのところにかかる荷重についてなんですけれども、トラニオンを介してと貯蔵架台を介して、最後、床に置くというふうな形になると思うんですけども、例えば床と貯蔵架台が固定されていて、貯蔵架台とトラニオンと、もちろん固定されているので、地震力なんかは作用したときには、トラニオン部のところに当然荷重が作用すると思うんですけども、そこについて、そのトラニオン部分のところについて何か条件を、強度なりに関する条件を設定する必要がないのかということについては、ちょっともう一回、考えをお聞かせください。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱重工の斎藤です。

今、御指摘いただいているのは、地震力に対する評価ということなのか、落下とか衝突に対することなのか、どちらでございますか。

○渡邊管理官 一応、両方ではあるんですけども、今、私が申し上げたのは地震時に作用する荷重の考え方ですし、落下に関しても、ちょっと併せて説明、お願いします。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱重工、斎藤です。

地震に対する評価については、前回の審査会合で御説明をさせていただきましたけれども、まず、今回、この横置きで設置する方法というのは、基礎等に設置しない固定方法でございます。貯蔵架台というのは、地盤のほうに、基礎に固定をしない形で置くという形になっております。

キャスクの安全機能というのは、緩衝体で落下なり衝突なりというところは守るんですけども、地震力に対してはキャスク本体の安全機能を維持するために、構造健全性を見る必要があると。その構造健全性については御説明をさせていただいています。

その中で、トラニオンというのは必ずしも必須ではないんですが、弊社の場合は貯蔵架台とトラニオンというのは固定をしますので、その固縛後にかかる荷重というものを考慮して、トラニオンの健全性に問題がないということを地震評価の中で併せて御説明のほうはさせていただきました。

落下に関して、落下衝突に関しましては、蓋部に入ってくる荷重というところに対して問題がないということの評価、説明をさせていただいておりまして、実際に・・・が架台に設置されている状態で落下する、あるいは衝突するということに関しては、トラニオンの説明、トラニオンがどうなるかというところの御説明はしていない状態ですけども、実際トラニオンが、トラニオンというのは、それほど鋼なものではございませんので、実際に落下した場合というのは、貯蔵架台が変形しつつ、トラニオンのほうも変形あるいは破断という形になる可能性があるんですけども、兼用キャスクの本体にかかるダメージとしては、それらが変形なりすることによって緩衝体に入る荷重というのは、から、受ける荷重というのは小さくなってきますので、キャスク側にとってみれば、それらを考慮しないほうが、より厳しい側の評価になるということで、今回こういった形で説明をさせていただいているということになっております。

以上です。

○渡邊管理官 原子力規制庁の渡邊です。

地震側の話については分かりました。ちょっと落下とか、その衝突荷重のところについてなんですけど、遮蔽体、ごめんなさい。貯蔵用緩衝体にかかる荷重が少なくなるので、そっちのほうが、より安全側だというふうなお話だったんですけども、それはそれで理

解ができるんですけど、トラニオン自体って、これ、例えば分かりやすいのは多分63ページだと思うんですけど、63ページ、ちょっと別のやつの図ですけど、これ、トラニオン部とかにも中性子遮蔽材とかが入ったりしてますよね。

要は、ここが変形とかすることによって、安全機能、遮蔽の機能とかも含めてなんですけど、そういったところとかに影響はない。そこにも影響はないというふうなことなんですしょうか。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱重工の斎藤です。

トラニオンに関しましては、構成の部材と、あと、その中に中性子遮蔽材と・・・が充填されております。

その本体胴に埋めてある部分というのは、非常に剛な部分になっておりますので、そこは全く問題がないと。逆に、その先端に入れている部分というのは、少し弱になっておりますので、変形なりというところが考えられます。

遮蔽体として考えていく上では、変形というのは遮蔽体がなくなるものではありませんので、変形というところに関しては全く問題がないと、遮蔽機能に対する影響はないというふうに考えております。

以上です。

○渡邊管理官 原子力規制庁の渡邊です。

要は、突起として出るところが、多少変形とかなりしたとしても、その本体としてのキャスクの安全機能には影響がないというふうなことだというふうに理解をしました。

ありがとうございます。

○小野審議官 ほか、いかがですか。よろしいですか。

三菱重工のほうから、確認しておきたい事項とかございますでしょうか。

○三菱重工業株式会社（斎藤） 三菱重工、斎藤です。

特にございません。

○小野審議官 それでは、以上で議題(1)を終了いたします。

ここで一旦休憩に入ります。一度中断しまして、15時20分に再開したいと思います。

どうもありがとうございました。

(休憩 三菱重工業(株)退室 日立造船(株)入室)

○小野審議官 再開します。

二つ目の議題は、日立造船株式会社特定兼用キャスクの設計の型式証明についてであり

ます。

それでは、日立造船は資料についての説明を始めてください。

○日立造船株式会社（大岩） 日立造船の大岩でございます。

本日は、我々のHitz-P24型に関しまして、今まで審査会合でいただきましたコメントへの回答、アルミに関する長期健全性に対する回答の御説明。それから、申請書記載事項の補正を予定しておりまして、その補正事項についての御説明と、この2点を御説明いたしたいと考えております。

では、まず最初の指摘事項に対するコメントに対する説明から始めます。

○日立造船株式会社（樋口） 説明者を交代いたします。日立造船の樋口と申します。よろしく願いいたします。

それでは、早速ではございますが、資料2-1につきまして、右下10ページから御説明させていただきますと思います。

いただいております指摘事項、コメントのリストになりまして、こちらの項目、11月28日、昨年11月28日の審査会合でいただいたコメントについての回答をさせていただきます。

まず、当社のほうで許容引張応力を設定するために実施しておりますクリープ試験についてですが、こちらについて終了する見通しが立っているのかということで、もし、申請書の許容引張応力のほう、こちらを変更するのであれば補正を検討することという御指摘をいただいております。

こちらに関しまして、コメント回答といたしましては、クリープ試験は一部の試験片が未破断ではございますが、残存する全ての試験片が10,000時間を超えておりまして、現時点の許容引張応力を、現時点までのデータを用いて許容引張応力を補正するように考えております。

こちらに関しましては、後ほど指摘事項への回答を、2. 指摘事項への回答のほうで詳しく説明させていただきますと思います。

続きまして、コメントNo. 12番になります。質問の概要といたしましては、60年の設計貯蔵期間を経ても、いろいろなMgの分散相による分散強化とか、Mgによる固溶強化とかの、これらの関係はあるんですけれども、まず、伝熱機能への影響はないのかということをお質問いただいております。

こちらに関しまして、当社のアルミニウム合金におきましては、熱物性は経年変化で有

意な影響が生じないため伝熱機能への影響はないということで、こちらに関しましても後ほど、2. 指摘事項への回答のほうで詳しく御説明させていただきたいと考えております。

めくっていただきまして、右下11ページになります。

コメントNo. 13番になりますが、こちらに関しましては、かいつまんで御説明させていただきますと、Mgの固容量の減少により、固溶強化などの強化機構の低下、それと、あとMgの固容量と不純物元素の関係、これらを整理して説明することというコメントをいただいております。

当社といたしましては、設計用強度の妥当性の説明について、次の5ポイントに分類して整理しております。

Mg固容量の減少とMg固溶強化の低下。それからMg固溶強化以外の強化機構の経年変化。それと不純物元素の影響ですね。それから、計算材料科学によるMg固容量の推定。さらにLMPを用いた過時効熱処理の条件設定ですね。

これら5項目について、後ほど、2. 指摘事項への回答で詳しく御説明させていただきます。

最後にコメントNo. 14番、Mgの固溶強化が今、長期的に低減すること及び、Mgの固溶強化の提言が設計強度に反映されているという記載がないということで、これらの説明を追記してほしい、追記することという御指摘をいただいております。こちらにつきましては、Mgの固溶強化が低下した状態を模擬している機械試験用供試材を材料試験に用いることにより、保守的に設計用強度のほうを設定しております。

こちらにつきましても、2. 指摘事項への回答で詳しく御説明させていただきたいと考えております。

では、早速ですが、右下13ページから詳しく御説明させていただきたいと思います。

こちらは、クリープ試験に関する御質問、コメントへの回答になります。

当社のほうで実施しているクリープ試験ですが、残存する全ての試験片が10,000時間を経過しております。クリープ速度が定常クリープ域から加速クリープ域に、もう遷移しております。許容引張応力の評価に必要な定常クリープ域のクリープ速度、こちらの取得が完了しております。完了していると判断しております。

このため、2023年1月17日までのデータを用いまして、これを整理し、許容引張応力、いわゆるS値のほうを補正させていただきたいというふうに考えております。

なお、仮にクリープ試験のほうを破断まで継続した場合なんですけど、この場合も、定常

クリープ域を超えておりますので、許容引張応力(S値)のほうが値が上がっていくというようにことになりますので、現時点のデータを用いて整理するほうが保守的であるというふうに、当社では考えております。

バスケットに生じる貯蔵時の発生応力につきましては、設計評価の中では1MPa未満であるというふうに評価しておりまして、現時点で200°Cにおける許容引張応力は15MPa以上ございますので、一部の試験結果を未破断として取り扱ったとしても、設計上問題がないというふうに、当社のほうでは考えております。

14ページ、15ページに関しましては、実際に実施しているクリープ試験の試験結果を載せてございます。赤枠でくくっている部分に関しましては、未破断として取り扱っております。

15ページに関しましては、それらのクリープ試験のデータを整理して表にしてプロットしてあるもの、グラフにしてプロットしてあるものを示しております。御覧いただきますとおり、定常クリープ速度、それと破断時間のプロット全てが、想定線の上に、ほぼ乗っている状態ということが確認できるかと思えます。

これを踏まえまして、右下17ページになります。

現在、申請書のほうに記載しております許容引張応力Sの値なんですけれども、こちらの125°Cと150°Cの値に関しましては、125°Cが37Mpaから38Mpaへ。150°Cにつきましては27Mpaから28Mpaに変更させていただきたいというふうに考えております。

続きまして、コメントNo. 12番になります。こちらは、伝熱機能への影響についての御説明になります。

かいつまんで御説明させていただきますと、熱伝導率に関しましては、純度の影響が大きく、純度が高くなるほど熱伝導率が高くなるというふうに考えられます。

経年変化によってアルミニウム合金の純度が変化することは、基本的にはございません。ですので、熱伝導率などの物理的性質に有意な変化は生じないというふうに、当社では考えております。

また、過時効の影響ですね。こちらについては、初期材と過時効熱処理材の熱物性値について試験で確認しておりまして、熱物性値について過時効の影響はないと。有意な差が生じないということを確認しております。

熱物性に対する過時効の影響は、全くゼロとは言えないですけれども、無視し得るほど小さいというふうに考えられまして、伝熱機能への影響はないというふうに考えておりま

す。

めくっていただきまして、右下19ページになります。

左の図3のほうに示しておりますのは、Mgの添加量ごとの熱伝導率の温度ごとの違いを示している図でございまして、図4のほうは、当社で実施しております規格材の初期材と過時効熱処理材のほうの熱伝導率の温度の関係、こちらを示しております。

Mgの添加量が変わると、当然ながら熱伝導率のほうが変わっていくということが、この表で示すとおり、このグラフで示すとおり確認できますが、図4のほうでは初期材と過時効熱処理材、ほとんど差がないということで、有意な差はないというふうに判断しております。

続きまして、右下20ページになります。

御質問といたしまして、いただいたコメントといたしましては、Mgの固溶量の減少による固溶強化などの強化機構の低下。これと、あと、Mgの固溶量と不純物元素の関係、これらが強度にどのように考慮されているかと。これらを整理して説明することというコメントをいただいております、回答といたしましては、設計用強度に用いております設計貯蔵期間経過後を模擬した供試材、機械試験用供試材ですが、こちらを機械試験に用いることによって、保守的に規定しております。

これらの供試材の保守性については、以下の五つの項目に整理して御説明したいと思っております。

では、早速ですが、まず、Mg固溶量の減少、これとMg固溶強化の低下に関わる材料強度への影響ということで、右下、まず21ページのほうを御確認いただきたいと思います。

この21ページのスライドに関しましては、バスケット用アルミニウム合金の課題。長期健全性の課題や、あと、日本機械学会の事例規格の廃止につながった課題、これらを踏まえまして、当社が採用しております3000系アルミニウム合金の経年変化の課題を、それぞれ検討しております。

その検討項目に記載しております番号、①、②、③までの番号は、先ほど20ページのスライドで御説明した①～⑤までとの番号と符合しております。

それ以外に、計算材科学に関するところ、それに関しましては左下の黄色い部分の④過時効熱処理の条件設定、こちらに関しましては、右下の黄色い部分の⑤のところに関連しております。つまり、バスケット用アルミニウム合金の課題を抽出して、我々が使用する3000系アルミニウム合金の経年変化の課題を、それぞれ抽出して、それに対して我々は、

バスケット用アルミニウム合金の設計用強度を規格材の成分や、それぞれの特性を検討して、さらに、その機械試験用、設計用強度を規定するための機械試験用供試材の規定を、検討を行って、さらに材料試験、さらに設計用強度の規定というふうな流れで、バスケット用アルミニウム合金の開発を進めております。

では、それぞれの項目について御説明します。

①といたしまして、Mg固容量の減少に伴うMg固溶強化の低下による材料強度への影響です。こちらに関しましては、過飽和に固溶されたMgなのですが、こちらは時間の経過とともに固溶限まで減少いたします。この減少に伴って、Mgの固溶強化は低下いたしまして、材料強度が低下するおそれがございます。

また、固溶限を超えるMgについてですが、こちらに関しましては、 Mg_2Si などの金属間化合物を形成するということが考えられます。

左下の図は、赤い線で固溶限を記載しておりまして、左上の状態が過飽和固溶状態で、右下が平衡固溶状態になります。温度の上昇に伴って固溶限は上昇していきますので、逆に言いますと、温度が低下していくと固溶限は下がっていくということで、Mgの固容量の減少によるMgの固溶強化の低下を考慮するに当たっては、この固溶限を踏まえた上で検討、考慮していく必要があるというふうに考えられます。

次に、右側の写真のミクロ組織の写真ですが、これ、3004合金の写真になっておりまして、析出物の $Al_6(Mn, Fe)$ 、それから Mg_2Si の析出等が確認されております。

参考文献に記載してある内容については、下の項目に記載してあるとおりでございます。続きまして、右下23ページになります。

②といたしまして、Mg固溶強化以外の強化機構の経年変化による材料強度への影響と。こちらに関しましては、添加されているMnとFeですね。こちらから生成する $Al_6(Mn, Fe)$ というものが析出することが考えられます。こちらは製造過程で全て析出するという、大半が析出するというふうに考えられておりまして、粗大化しなければ分散強化として材料強度に寄与することが期待できるというふうに考えております。

$Al_6(Mn, Fe)$ に関しましては、過時効熱処理による模擬が可能でありまして、可能と考えておりまして、粗大化しないことを組織観察で確認しております。

左下の図なんですけれども、こちらはMnの固溶とMn系析出物、状態図ですね。Mn系析出物の化合物の析出に関する状態図を示しておりまして、Mn系析出物に関しましては300℃以下であれば、ほとんど固溶することがないということが考えられます。

したがって、300℃以下であれば十分模擬可能であると、・・・熱処理であれば、十分模擬は可能であるというふうに考えております。

右側の写真、こちらの比較なんですけど、左上の写真が熱処理なしの状態、右下の写真のほうが熱処理後の状態になりまして、これは過時効熱処理になります。熱処理する前と、した後、こちらの写真を比べて、色の濃い部分が $Al_6(Mn, Fe)$ のMn系析出物を示しております。こちらのばらつき、それから既処理の大きさ、こちらに大きな差がないと、・・・がないというふうに判断しております。粗大化しないということをお断りしております。

したがって、 $Al_6(Mn, Fe)$ の分散強化は、この合金系にあっては期待できるというふうに考えております。

続きまして、右下24ページになります。

③不純物元素の経年変化による材料強度への影響です。こちらに関しましては、不純物元素としておりますSi、Fe、Cu、Zn、亜鉛ですね。亜鉛のほうによる強化には期待しておりません。

特にSi、Cu、Znなども不純物元素が、Mgと金属間化合物を形成することによって、Mg固容量が減少する可能性がございます。したがって、その減少に伴って材料強度が低下するおそれがあるというふうに考えております。

したがって、当社といたしましては、不純物元素の添加許容値を、可能な限り低く設定しております。微量の、低く設定して微量の不純物元素ではございますが、これらから形成される金属間化合物なんですけど、こちらは体積率が非常に小さくなると。これは、Si、Cu、Zn添加量に律速されることから微小になるということで、強度特性に与える影響は無視し得るほど小さいというふうに考えております。

左下の図なんですけど、こちらは、上のほうの表がJISで規定されておりますA3004の化学成分。下が、当社がバスケット用アルミニウム合金として規格しておりますHZ-A3004-H112の化学成分になります。

比較いたしますと、Si、Cu、それと亜鉛ですね。こちらの添加許容値、こちらをJISよりも厳しくというか低く設定しております。

右側のグラフになりますけど、右下のグラフに関しましては、これは計算材料科学で計算された析出物の堆積変化を示しております。青い矢印で示しておりますが、この下の部分が、青い線が Mg_2Si を示しております。緑の線のほうが、それ以外のCu、Zn、それからMgで形成される金属間化合物を示しております。こちらで、これらでほかの、赤い線な

どで示されているAl₆(Mn, Fe)などと比べても、Mgを含む金属間化合物の体積率というのは非常に微小でございまして、強度に対する影響は小さいものというふうに考えております。

文献の説明については、その下のほうに記載しておりますので、御参照いただければと思います。

続きまして、右下25ページになります。

計算材料科学による経年変化に伴って減少するMg固容量の推定方法になります。計算材料科学におけるこの記載の方法におきましては、多元系の計算状態図を計算することは可能でございます。

さらに、もう一つの手法のほうで、析出物の核生成の成長及び粗大化を予測することが可能でございまして、先の方法で計算された計算状態図に基づいて、合金成分、保持温度及び時間から、元素の固容量や析出物の堆積物の時間変化を計算することが可能と考えております。

したがいまして、さらにその記載のとおり的手法を使いますと、設計貯蔵期間経過後のマグネシウム固容量を推定することは可能であるというふうに当社では考えております。

マグネシウム固容量を推定することに対しまして、保守的なマグネシウムの添加量を設定しております。それが右下の緑の枠内に記載しております値でございます。

この計算材料化学に基づいて、3,000時間の当社の材料のほうの過時効熱処理実験を行っております、それと、その計算結果と実験で得られましたマグネシウム固容量の値ですね、こちらが概ね一致することを確認しているのが左のグラフになります。

これに基づきまして、計算材料化学の予測で60年後と、あと過時効熱処理後ですね、過時効処理後のものの計算をしているのが右側のグラフになりまして、ちょっと重なっておりますが、青と赤の線が60年を模擬した計算結果になっております。

下の紫の線が過時効熱処理条件に基づいた結果になります。これらを保守的なマグネシウム固容量を得るために、最初のマグネシウムの添加量をそのグラフに記載してある数値の分だけ減らすことによって、保守的なマグネシウムの固溶強化というものが評価できるものというふうに考えております。

参考文献のほうには、これらの方法を用いた手法について、参考文献に記載されている内容、こちらを参考として記載させていただいております。

続きまして、右下26ページになります。

⑤といたしまして、ラーソン・ミラーパラメータを用いた過時効熱処理条件の設定、こ

ちらに関しましては、アレニウスの式なんですけれども、アレニウスの式自体は、ある温度での化学反応の予測する式でございます。

この式に基づくラーソン・ミラーパラメータなんですけど、こちらは金属材料のクリープ試験の評価などで広く用いられているものです。

当社の過時効熱処理条件につきましては、このラーソン・ミラーパラメータの評価に基づいて設定しております。

材料定数のCにつきましては14を用いております、200℃、60年のラーソン・ミラーパラメータは9,331、200℃から100℃までに低下する60年のラーソン・ミラーパラメータは8,899ということになりまして、過時効熱処理条件としましては、300℃以上になるとマンガが母相中に再固溶する恐れがございますので、300℃以下の温度で設定いたしまして、保守的にラーソン・ミラーパラメータが9,331になる200℃60年の条件をターゲットにいたしまして、実際の過時効熱処理条件は設定しております。

この過時効熱処理によりT相と言われるAlCuMgZnからなる金属間化合物がございますが、これを除いたMg₂SiやAl₆Mn、鉄などの・・・状態が模擬できるというふうに考えております。

当社といたしまして設定した過時効熱処理条件は、その緑の枠内に記載しているとおりでございます。

同じく参考文献に関して記載されている内容については、その下の欄に記載してあるとおりでございます。

続きまして、ラーソン・ミラーパラメータの説明における補足でございますが、ラーソン・ミラーパラメータの材料定数Cについてですが、この過時効熱処理の条件設定をする上では、このCに14という数値を使っております

この材料定数Gは鉄鋼材料などでは一般的に20という数値が使われておりまして、ただ、アルミニウム合金に関しまして、当社のアルミニウム合金はクリープ試験の結果から考えられる材料定数Cに関しましては、14.71から15.31程度というふうに考えております。

ただし、過時効熱処理条件に関しましては保守的に考えておりまして、強度の低い工業用アルミニウム合金のA1100-O材のクリープデータから導出されております材料定数C14を採用して、保守的に過時効熱処理条件を設定しているということになります。

次、続きまして、右下28ページになります。コメント番号14番でいただいておりますMgの固溶強化の低減やマグネシウムの強化機構が長期的に低減すること、これらの記載がな

いということで、こちらに関しましては、Mg固溶量が減少すること、それから、Mgの固溶強化が低下し、材料強度が低下する恐れがあること、これらを踏まえて、さらに機械試験用供試材に過時効熱処理を施した材料試験のを用いまして、設計用強度を設定しております。過時効熱処理条件を模擬した機械試験用材料を使うことによって、マグネシウムの固溶強化が低下した過時効後のHZ-A3004の強度を包絡することは可能であるというふうに考えています。

したがいまして、当社といたしましては、説明にHZ-A3004の設計用強度は設計期間中の熱暴露に伴う過時効による強度低下を考慮し、設計貯蔵期間中の熱暴露に伴う過時効条件（200℃～100℃×60年）を模擬した機械試験用供試材の材料試験により得られた機械的性質を保守的に包絡するよう設定するというふうな記載を追加させていただきたいというふうに考えております。

ここまでで御説明した資料の中の参考文献に関しましては、右下29ページところで整理させていただいております。

○日立造船株式会社（茂手木） ここで説明者を交代させていただきます。日立造船の茂手木です。

30ページから、補正申請における主な変更点について御説明させていただきます。

31ページを御覧ください。

補正申請における主な変更点としましては、以下の表に示します4点がございます。一つずつ御説明させていただきたいと思っております。

まず一つ目としまして、申請書の内容としましては、貯蔵施設における特定兼用キャスクの周囲温度、最低温度を-11℃としておりました。

こちらを補正では、次の補正での変更内容のところに記載があるように、貯蔵施設における特定兼用キャスク周囲温度、最低温度を-20℃というふうに考えております。

こちらについては、変更理由のところにございますように、もともとの申請の内容の最低周囲温度につきましては、Hitz-P24型を設置することを想定する場所をある程度想定しておりまして、それに対しまして最低温度というものを設定しておりました。

一方、型式証明というところがございますので、特定の施設やあまりそういうところを前提としない条件というところで、ある程度、保守的に丸めた値で最低温度を設定することが望ましいというふうに考えましたので、-20℃というふうに変更させていただきたいというふうに考えております。

こちらについては、32ページを御覧ください。

申請書のほうの温度等も変更させていただくのですが、審査会合におきましては、第13回審査会合の資料1-1で下の四角囲みのように、Hitz-P24型を使用することができる範囲または条件というものを御説明させていただいております。その中の貯蔵施設における特定兼用キャスク周囲温度、最低温度と、ここの赤字に下線を引いてあるところですが、ここを-20℃というふうに変更させていただきたいというふうを考えております。

31ページに戻ってください。

続きまして、二つ目ですが、こちらは今の一つ目の最低周囲温度を変更したことによる閉じ込め機能の評価の変更になります。

こちらにつきましては、評価条件として最低温度を使用しておりますので、こちらを変更したことによる評価値が変わっております。

33ページを御覧ください。

こちらが第15回の審査会合において、閉じ込め機能の評価を御説明したときの資料になります。

こちらの基準漏えい率と書いてある表の赤字の 2.31×10^{-6} というところで、この基準漏えい率を評価するというのが閉じ込め機能の評価になりますが、この値が最低温度が変更になることによって変更になっております。

また、それに伴って、下の図の変更になっております。

続きまして、また31ページに戻ってください。

三つ目になりますが、こちらが閉じ込め機能の評価の考え方を見直したところになります。なお、こちらは一番右の対応状況に書いておりますが、申請時の考え方から変更した内容で、第15回審査会合で既に御説明しておる内容になります。

ですので、今から御説明する変更内容で審査会合等は御説明させていただいております。ただ、申請書の時点でちょっと違うところがありましたので、そちらについて御説明させていただきます。

申請書の内容としましては、設計貯蔵期間中に本体内部に負圧維持されることを評価するという方法で示しておりました。

こちらを補正での変更内容としましては、設計貯蔵期間中に本体内部を負圧維持できる漏えい図、こちらは基準漏えい率、先ほど出てきました基準漏えい率が、これに対して金属ガスケットの漏えい率が小さいことを評価するというふうな評価の考え方の見直しを

行っております。

この変更理由ですが、基準適合性説明の適正化のためございまして、貯蔵前の漏えい検査の判定基準として確認可能な漏えい率であることを確認するというようにするために、このように変更をさせていただいております。

具体的な内容については、33ページを御覧ください。

先ほどの評価値が変わったところと同じなのですが、こちらの第15階の審査会合のときに、既に変更後の考え方で御説明をさせていただいております。

一番上の赤囲みのところですが、閉じ込め評価結果が書いていますが、Hitz-P24型に用いる金属ガスケットの漏えい率は基準漏えい率に対して小さいことを確認したというように評価を変更しております。

また、31ページにお戻りください。

四つ目ですが、こちらは変更ではなくて追加になります。

申請書には竜巻の評価のところでは設計飛来物の条件というものが記載しておりませんでした。補正での変更内容としましては、設計飛来物について追記したいというふうに考えております。

変更理由としましては、竜巻評価において設計飛来物は評価の条件になりますので、こちらを明確化するためというふうに考えております。

こちら第16回の審査会合で竜巻の評価を御説明した際に、既に反映している内容になります。

34ページを御覧ください。

こちらが第16回審査会合での御説明内容でありまして、竜巻による作用力のところで、兼用キャスク告示で定められております最低風速100m/sの竜巻と、さらに、下に設計飛来物が原子力発電所の竜巻影響評価ガイドにあります解説表4.1に基づき、兼用キャスクに与える影響が最大となるものを選定しているというふうにして評価を実施しております。

補正申請における主な変更内容については以上になります。

○日立造船（株）（樋口）では、ここで説明者を交代させていただきます。

続きまして、右下35ページ、4ポツ、補正申請における記載の適正化について御説明させていただきます。

続きまして、めくっていただきまして、右下36ページになります。

補正申請におけるバスケットに適用するアルミニウム合金の製造管理規定に定める機械

的性質の記載の適正化になります。

こちらに関しましては、申請書の別添1において、バスケットに適用するアルミニウム合金の製造管理規定に定める機械的性質についてなのですが、こちらについて機械試験用供試材の試験結果の99%信頼下限値を誤って記載しておりました。

下の表にございますとおり、機械試験用供試材の過時効熱処理材、こちらの最小値を謝って99%信頼下限値の最も小さい値0.2%耐力…引張強さの最も小さい値を謝って適用しておりました。正しくは、規格材、つまり、HZ-A3004-H112材の初期材のほうの引張強さ、しかも、L方向にJIS H 4000に記載がございますL方向という試験方向に限定して、99%信頼下限値を適正するほうが正しい適用と考えられまして、右下37ページめくっていただきまして、これに基づいて別添1のほうの表4.1の機械的性質の記載を改めさせていただきたいというふうに考えております。

現状といたしましては、引張強さの166Mp以上と記載をしていたものを180Mp以上、耐力につきましては78Mp以上と記載していたものを84Mp以上、伸びに関しては変更はございません。

続きまして、右下38ページになります。

審査会合資料2022年11月29日における記載の適正化について御説明させていただきます。第20回の審査会合につきまして、こちらで提出した資料に不整合がございました。該当する資料といたしましては、資料1-1と資料1-3になります。

こちらに関しまして、HZ-A3004規格材と、60年後の設計機用強度を模擬した機械試験用供試材、こちらの過時効熱処理材の強度がどれだけ違いが出ているかということの比較を参考的に示すために比較表をつけておりました。

その比較表におきまして、資料1-1のほうでは、こちらに関しましては、試験方向をT方向に限定した試験結果の平均値を記載しておりまして、下の資料1-3のほうでは、試験方向を限定せずにT方向、L方向全てを入れて平均値を出したものを記載しておりました。こちらに関しましては、この統一が取れておらず、不整合が生じておりましたので、不整合を是正するために試験方向をT方向に限定した試験結果の平均値に統一いたしまして、資料1-3として提出しておりました補足説明資料1-1、別紙1の記載を40ページの記載のとおり、変更させていただきたいというふうに考えております。

具体的な数値の説明は、ここでは割愛させていただきます。

41ページに関しましては、実際の試験結果のHZ-A3004規格材と機械試験用供試材の試験

結果の全ての値を記載しております。

では、6. 今後の説明スケジュールでございます。

右下43ページを御覧いただきまして、本日、2月16日の審査会合を受けまして、1月～3月の間に補正をさせていただきたいというふうに考えております。

44ページからは参考資料として、計算材料化学で使用しております手法の2種類について、詳しい説明と、その参考文献の記載を47ページに記載させていただいております。

説明としては以上になります。

○小野審議官 どうもありがとうございました。

それでは、質疑に入りたいと思います。質問、コメントはございますでしょうか。

○櫻井審査官 規制庁、櫻井です。御説明をありがとうございました。

私のほうからは、指摘事項の3番目というか、アルミについて幾つか確認をしたいと思うのですが、最初に概要パワポの13ページ、最初にクリープ試験と伝熱機能の影響についての前回の会合の指摘に関しては、今回の概要パワポの説明にもあります内容で理解いたしました。

次に、概要パワポの22ページ辺りから具体的な内容が始まっていく、アルミニウム合金の妥当性への説明の内容に関してなんですけれども、ちょっと今回の説明において、①としているマグネシウム固容量の減少に伴うマグネシウム固溶強化の低下による材料強度への影響というところについてなんですけれども、今回、この文献等と照らし合わせて御説明いただいているんですけれども、今回、設計貯蔵期間中、60年とはしているんですけれども、ちょっと御説明がない事項ではあるんですが、このバスケットの使用温度条件というのは、大体200℃ぐらいから60年かけて100℃ぐらいまで低下するというふうにしていただいているんですけれども、そういう期間の中におけるその冷却速度ということに関して、その影響の有無については考慮されているのでしょうか。そこら辺の御説明をお願いします。

○日立造船（株）（樋口） 日立造船の樋口でございます。

冷却速度に関しましては、一定で落ちていくような冷却速度で検討をしております、200℃から100℃まで今はリアに下がっているというふうなことを評価で考えております。

冷却速度が速ければ、Mg固容量の過飽和固容量なんです、22ページで御説明させていただいている図なんですけれども、早いとMgの過飽和固溶するというふうに考えられておまして、リアに非常に遅い状態で冷却速度を考慮しますと、非常にマグネシウム固容量としましては、少ない、保守的な値で評価できるものと考えています。

ただ実際のところで申し上げますと、計算材料化学による推定におきましては、200℃、100℃で検証した計算結果よりも、200℃を一定期間で60年かけて検証したもの、こちらの値を比較しております、両方とも大きな差がないということ、補足説明資料1のほうで御説明させていただいております……。

○櫻井審査官 すみません、どこのページですか。

○日立造船（株）（樋口） ちょっとお待ちください。

○櫻井審査官 すみません。一応、質問した意図というのは、この概要パワポだとか、補足説明資料だとかに、今、樋口さんが御説明いただいた、もし速かったらマグネシウム固容量がリニアに遅いというちょっと意味が私はよく分からなかったんですけれども、そういうような説明自体がなかったの、そこら辺の説明も補足なりに入れていただきたいなという意図もありまして、質問をしています。

ここでページを見つけていただいたから、教えていただきたいんですけど。

○日立造船（株）（樋口） はい。申し上げます。別紙1の29ページを御覧いただきたいと思っております。

別紙1の29ページで、200℃から100℃にかけまして60年間を想定した場合と、200℃を60年かけて計算した場合、こちらのマグネシウム固容量の変化につきまして、別紙1の12表のほうに記載しております。

こちらに御覧いただきますとおり、温度を低下させない場合も温度をリニアというか、200℃から100℃、60年かけて低下、一定速度で低下させた場合においても、基本的には数値はほとんど変わらないということが確認できておりますので、こちらに関しては、速度の低下の影響というのは、60年の熱暴露に関しましては、特に大きな影響はないというふうに考えております。

○櫻井審査官 今の御説明内容だと、水色の線が200℃から100℃の60年と、この赤い線と合っていますか。マスキングがかかっているの、ここが……。

○日立造船（株）（樋口） 御理解のとおりでございます。

○櫻井審査官 ほとんど変わらないから、冷却速度200℃のままと、100℃に落としたときの、60年かけて落としたときは変わらないから、冷却速度に関しては影響はほとんどないよねという御説明になると理解したんですけど。

○日立造船（株）（樋口） 御理解のとおりです。

○櫻井審査官 そうであれば、そこら辺の説明を補足でいいので追加していただきたいの

と、今回のその冷却速度を踏まえても、今回の設計許容度との決定方法を、今回は・・・ロジック立てて説明いただいていますけれども、この決定方法というのは妥当ですよというのは、今の樋口さんの説明が主になるかとは思いますが、追加していただきたく思います。

○日立造船（株）（樋口） こちらの今回、概要パワポのほうで御説明させていただいている内容につきましては、補足説明資料のほうに記載しております、こちらに関しましては、再度確認いたしまして、もし反映できていない部分があれば反映するようにいたします。

○櫻井審査官 すみません。多分、冷却速度という言葉自体がそのままじゃないかもしれないですけど、見当たらなかったと思うので、そこら辺、言葉を違うようにしているのかもしれないですけど、修正というか、検討をお願いします。

○日立造船（株）（樋口） 日立造船の樋口でございます。
承知いたしました。

○小野審議官 ほかはいかがですか。

○甫出主任安全審査官 規制庁の甫出でございます。
今の御説明いただいた内容で定性的には理解しております。
聞こえますでしょうか。

○日立造船（株）（樋口） 日立造船の樋口でございます。
聞こえてございます。

○甫出主任安全審査官 関連するところなんですけれども、先ほどの別紙1の28とか、この図は今回のパワーポイント資料の25ページですかね、ということを出ているんですけれども、ここでちょっと話が違うんですけれども、以前もちょっと事実確認をさせていただいたところで、この貯蔵末期でLMPを使ったときに、なかなか難しいという最後のT相の話なんですけれども、T相はできるけれども量は少ないという御説明をかつていただいたと思うんですが、量的に見ますと、どうですかね、最初製造したときにいわゆる過固溶になって、ある程度、その貯蔵期間中に落ちて最後に落ちるというふうなところで、そのマグネの析出量というか、析出ですよ、固溶、出るところというのは、最初の貯蔵が開始されて、しばらくたって、多分落ち着いた値になって、ですから、もともと製造時にたくさん溶けていたやつが、どんと落ちて、最後にまたその半分ぐらい落ちているということで、これに対してその量は少ないですよというふうな御説明が、今回の資料でも24ページ蔵に

書かれていたと思うんですけども、これ定性的には何となく分かるんですけども、この最後のドンと落ちたところが、本当に影響がないというところを、何がし定量的な説明をしていただきたいと考えておりますけども、いかがでしょうか。

どの程度、じゃあ、これが効くのですかという話をちょっと教えていただければと思います。

○日立造船（株）（樋口） 日立造船の樋口でございます。

御質問の意図といたしましては、2種類あるかと思えます。

一つとしては、Mg固容量に対して不純物がどれだけ影響するのかという観点と、もう一つは析出した不純物自体がどういう影響を与えるのかという観点の二つになるかと思えます。

○甫出主任安全審査官 はい、そうです。

○日立造船（株）（樋口） 右下の24ページで示しておりますのは、不純物による析出物の影響について御説明しております、こちらは添加しているSi、Cu、Zuなどの添加量が、そもそも非常に少ないということで、Mgとともに析出する金属間化合物、これ自体の量が僅かになりますので、非常に小さいものになりますので、これに関して機械的特性に与える影響というものは無視し得るほど小さいというふうな記載をさせていただいております。

一方、Mg固容量に関する御説明になりますが、Mgの固溶強化に対しては影響は大きいと考えております。したがって、先ほど御説明したときに、Mn系析出物とMg₂Siの析出に関しましては、過時効熱処理で模擬は可能というふうに御説明をさせていただきました。

このMg₂Siに関しましては、過時効熱処理によって模擬は可能でして、もう一方、T相に関しては模擬は難しいというふうに当社のほうでは考えております。

したがって、この分のマグネシウム固溶強化を模擬するために、マグネシウムの添加量を意図的に下げております。これが当社の考え方になります。

以上になります。

○甫出主任安全審査官 御説明ありがとうございます。引き続き甫出ですけども、であれば、後の説明になるかもしれないんですけども、要は、この出てきたものが僅かということで無視し得るといふところなんですけども、なかなかその辺が分かりにくいと。実際に意図的に下げて、固容量を下げた試験用供試材で試験をされたということは、こちらも理解しておるんですけども、結局、そういうものって、ちょっと出たやつがないということなので、その辺の影響というか、それがあつた程度はつきりさせておく必要があるのでは

ないかと考えております。

○小野審議官 甫出さん、今のは質問ですか。

○甫出主任安全審査官 すみません。考えているので、日立造船としてどうお考えなのかをお聞きしたいと思います。やはり、ある程度、定量的に、こいつは実際この程度入っていても、レベルとしては何Mpも行かないよというふうなものが、文献なりなんなりで示された上で御説明されるのが筋ではないかなと考えております。

○日立造船（株）（樋口） 日立造船の樋口でございます。

少々お時間いただけますでしょうか。

○小野審議官 どうぞ。

規制庁の小野です。

日立造船のほうで検討に時間を要するようであれば、別途、また会合の場において回答をいただくということでも結構ですので、まだ引き続きコメントがありますので、そっこのほうに先に進めさせていただきたいと思うのですが、いかがでしょうか。

○日立造船（株）（樋口） 分かりました。

1点だけ、御確認させていただいてもよろしいでしょうか。

○小野審議官 どうぞ。

○日立造船（株）（樋口） 先ほどいただいたコメントに関しましては、添加されている不純物元素の固溶強化が、どのぐらい影響するのかという観点で御説明するということがよろしいでしょうか。

○甫出主任安全審査官 要は、最後の60年の最期の末期の頃に出てきて、それが析出してT相としてなるという説明、それは非常に少ない量ですよというのが日立造船の説明と認識しています。あわせて、それに伴う強度への影響はないということが、これも日立造船の説明と認識しています。

したがって、ここでじゃあ無視し得るとか、影響がないというのは、どの程度なのかということをお示しいただきたいというのがコメントです。

○日立造船（株）（樋口） 日立造船の樋口でございます。

承知いたしました。では、すみません、引き続き、コメントのほうをよろしくお願いたします。

○甫出主任安全審査官 申し訳ございません。引き続き、甫出でございますけれども、次は析出物の粗大化について御質問いたします。

析出物を分散強化ということで、特にMnについては製造から300℃ぐらいまでの多分、製造後の冷却のときだと思えますけれども、ここまでに全て析出をするということで、例えば、Al₆Mnとか鉄の析出物として、その金属の中に存在するという御説明と認識しています。

また、文献によると、析出物はこれはMnが微細化していれば分散強化の効果があるということも認識しておりますけれども、粗大化すると、その強化機構が失われるということも先ほどの資料で御説明いただいています。

また、この分散析出が長時間、時効後も有効であるという御説明もされています。

今回の説明において、そこが有効であるという根拠として、その粒子ですかね、その析出物の体積率がほとんど変化しないという御説明なんですけれども、その堆積率をもって粗大化しないと、先ほど、ちょっと23ページのところで御説明があったと思えますけれども、粗大化が判断できるかどうかということについて、その辺の御説明をお願いしたいと思えます。

もともとを言いますと、補足説明資料、別紙1-8のところに、別のアルミニウム合金の析出物の粒形の時間変化というのが例として示されています。このような形で示していただいて、このグラフが例えばフラットだというふうな御説明であれば、我々は理解ができると思うんですけども、堆積率だけで本当に粗大化までの御説明ができるのかというところが質問です。

先ほど申し上げましたのは、補足説明資料の別紙1の16ページです。

○日立造船（株）（樋口） 日立造船の樋口でございます。

右下23ページで御説明させていただいておりますAl₆（Mn、Fe）の粗大化というか、分散強化に関する御説明ですが、こちらの御説明は堆積率で御説明しているわけではなく、組織観察による粒形の大きさを比較して粗大化していないということを確認していると。つまり、過時効熱処理前と後で実際の材料をマイクロ組織を観察して粗大化しないことを確認しているので、分散強化が期待できるという御説明をさせていただいています。したがって、体積率という観点では御説明しておりません。

弊社といたしましては以上でございます。

○甫出主任安全審査官 規制庁の甫出でございます。

であれば、補足説明資料等で体積率、堆積率という言葉は結構出ているような感じがするんですけども、それはどのような意味合いで、例えば、今の粗大化の説明とかというこ

とは、このマイクロ写真をもつてのみで日立造船は説明されているというふうに理解してよろしいわけですか。

○日立造船（株）（樋口） 日立造船の樋口でございます。

不純物元素に関しましては、堆積率が僅かであるということで御説明させていただいておりますが、Mn系析出物に関しましては、組織観察で御説明させていただいております。したがって、Mn系析出物に関しては御理解のとおりと思います。

○甫出主任安全審査官 規制庁の甫出でございます。

であれば、先ほど例として日立造船のほうから挙げていただいている別紙1-16の図のような表し方という、こちらのほうが非常に分かりやすく、例えば、この時間変化で例えば60年で200℃、100℃なり、200℃連続という値で、この例えば粒形の成長はありませんよというような説明のほうが、説得力があるのではと思います。

なお言えば、今、後の質問にもなりますけれども、ラーソン・ミラーでパラメータで定められた条件なり、3,000時間という先ほど何かおっしゃっていたようなところもあるんですけれども、その条件が60年を模擬しているということが大前提となると思いますので、その辺の説明が、要はこれが60年と10日ですよという説明も必要ではないかと考えますけれども、いかがですか。

○日立造船（株）（樋口） 日立造船の樋口でございます。

当社といたしましては、ラーソン・ミラーパラメータに基づいて設定した過時効熱処理条件による組織観察、Al₆(Mn、Fe)の組織観察、こちらを実際に比較したほうが妥当性のある評価であるというふうに認識しております。

さらに、もう一つよろしいでしょうか。

ラーソン・ミラーパラメータ自体は、先ほど右下26ページで御説明させていただいておりますとおり、これまで多くの試験等で使われておりますアレニウスの式に基づくものでございます。アレニウスの式は、ある温度の化学反応の速度を予測する式でございます。材料定数の設定によって妥当性のある評価が得られるものということで、クリープ試験等にも用いられておりますので、こちらについては、この説明で十分ではないかと当社のほうで考えております。

○甫出主任安全審査官 規制庁の甫出でございます。

今おっしゃった妥当であるとお考えというところを、まさに聞きたかったんですけれども、そもそも今回の評価において、ラーソン・ミラーパラメータで等価な条件を見つけて

やるというところ、この適用できるというふうと考えられた根拠について御説明いただきたいと思います。

○日立造船（株）（竹内） 日立造船の竹内でございます。

当社がラーソン・ミラーパラメータを用いて過時効熱処理条件を設定することに対する妥当性について説明させていただきます。

ラーソン・ミラーパラメータは、アレニウスの式と呼ばれる反応速度論に基づいております。日本機械学会、機械工学時点では、アレニウスの式は材料の化学反応、拡散などの予想反応、各種機械的特性の温度依存性を表すために適用されると記載されております。

Mn系析出物の粗大化については、拡散による反応であるため、この過時効熱処理条件で十分に模擬ができると考えております。

以上です。

○甫出主任安全審査官 規制庁の甫出でございますけれども、やはり、その60年と、これが同等だ、このラーソン・ミラーパラメータで定めた条件が等価だという説明、これはそもそもそのところで、例えば、今回のもので60年のある温度履歴をラーソン・ミラーパラメータで等価にしてやっているというところがあるんですけども、そもそもここからラーソン・ミラーパラメータを使うことが適切であるという説明が、まずあってしかるべきではないかと思えます。

どんな評価にあっても加速試験をやるものについては、まずラーソン・ミラーパラメータを使うとするならば、ラーソン・ミラーパラメータが使えますよという説明から入るのではないかと考えます。

したがって、今回はラーソン・ミラーありきでスタートしているような感じがいたします。

やはり、こういうふうな幾つかの実験、文献、同等なこのような事象に対して、ラーソン・ミラーパラメータを使ってこうやりましたということがあって、このように妥当な成果が出ていますよというような説明があった上で、ラーソン・ミラーパラメータを使ってこうしましたというのが本来の説明の仕方ではないかと思えますけれども、いかがですか。

○小野審議官 規制庁の小野ですけれども、今の趣旨というのは、ラーソン・ミラーパラメータを使うということで、先ほど御説明があったようなことをまず前段に入れていただくということが趣旨かというふうに理解していますので、そういった説明を入れていただければと思います。

以上です。

○日立造船（株）（樋口） 日立造船の樋口でございます。

承知いたしました。

○福田技術研究調査官 規制庁、福田です。

同じく概要パワポのほうで写真がございます、金属マイクロ組織の熱処理なしと熱処理ありの試験結果でございますが、この中では特に今回の説明の中ではアルミ、マンガン、鉄系制出物についての説明として引用されているわけなんですけれども、これは前の22ページのほうですね、これは実な黒囲いになっているのですけれども、こちらのほうは完全に焼きなましされた材料で、マトリックスのほうには全然のっぺりした面が見えるのですが、今回の熱処理なし、熱処理ありの23ページの材料に関しまして、析出物の流動分布も変化がないというのに加えて、マトリックス側のほうの圧延組織というか、先ほどの説明の中では母相の粒形の変化がないというふうな説明だったんですけども、これ加工組織もそのまま維持されているという、そういうふうな認識でよろしいのでしょうか。

というのは、これエッチングの条件が違うので、そうですというのはなかなか答えにくいかもしれませんが、日立造船さんの認識をちょっと確認したいというふうに考えております。

○日立造船（株）（竹内） 日立造船の竹内でございます。

当社における材料の金属組織については、福田様がおっしゃっていただきましたように、一部加工組織の部分再結晶組織であるというふうな認識をしております。

○福田技術研究調査官 規制庁、福田です。

今おっしゃったのは、部分的に再結晶が進んでいるという、そういう説明なのですか、それとも全然変わってないという、そういう説明なのでしょうか。

○日立造船（株）（竹内） すみません、説明が不足しておりました。

圧延時時点、要は初期材の状態から加工部の部分再結晶組織を呈しております。こちらが60年後も変化がないというような認識です。

○福田技術研究調査官 ありがとうございます。60年後というか、加速試験後も変化がないという、そういう認識ですね。ありがとうございます。

○日立造船（株）（竹内） はい、御理解のとおりでございます。

○小野審議官 ほかはいかがですか。

○福田技術研究調査官 規制庁、福田でございます。

供試材が試験片の採取方法に基づく考え方をちょっと伺いたいと思います。

補足説明資料の6ページと7ページのところに、材料試験片を採取したときの寸法という記載があるんですけども、こちらに関しまして、この後、試験片を採取したときの後工程というのな、切削等の機械加工のみというふうに考えられるんですが、強度に影響を与える塑性加工とか、溶接とか、そういったものはないというふうに考えてよろしいでしょうか。こちらの試験で使った材料というのは、製品そのものを反映していると、そのような考え方でよろしいでしょうか。確認です。

以上です。

○日立造船（株）（竹内） 日立造船の竹内でございます。

福田様のおっしゃっていただいた内容のとおりでございます。

○福田技術研究調査官 もう一つ確認がございまして、その回答を得たところで、強度に影響を与えるという加工は行わないということを、申請書、補足説明資料の中に明記してくださいというのが要求になります。よろしく申し上げます。

○日立造船（株）（樋口） 日立造船の樋口でございます。

承知いたしました。

○福田技術研究調査官 以上です。

○小野審議官 そのほかはいかがですか。

○甫出主任安全審査官 規制庁の甫出でございます。

先ほどのラーソン・ミラーパラメータの件なんですけれども、一つの考え方としまして、まず、これでいいのだということの主張をしていただきたいというところがあるので、一つの考え方を申し上げますと、例えば、供試材でどんなやり方であれ、60年実際に置いたものと、今回のラーソン・ミラーパラメータの条件をやった最後の値のときの、その過時効で処理が終了した時点の例えば固容量を比較して、実機よりも少ないから固容量が少ないから、こちら側が保守ですよとかということで妥当性を御説明いただくのも、一つの手かと考えます。

したがって、そのようなことが一つでもあれば、ああ、ラーソン・ミラーパラメータを使っているということの安心感があるのではないかと考えます。

したがって、そういうことが可能であれば、計算なりなんなりで、その辺を表していただくということは可能でしょうか。

○日立造船（株）（竹内） 日立造船の竹内でございます。

ラーソン・ミラーパラメータを用いて設計貯蔵期間を保守的に模擬する過時効熱処理条件を設計することに対する妥当性については、補足説明資料に記載をさせていただきます。

日立造船としては、ラーソン・ミラーパラメータに対する今後の補正については、その妥当性を示すところのみを行うということを考えております。

以上です。

○戸ヶ崎調整官 原子力規制庁の戸ヶ崎です。

ちょっと今まで申請者から説明をしていただいている情報を、まず確認をしたいと思えます。

補足説明資料の別紙の2-13ページと14ページを御覧いただきたいと思えます。

ここではまず2-13ページのほうは、過時効熱処理条件の設定にラーソン・ミラーパラメータを設定した考え方というのが書いてありまして、その次の別紙2-14に、機械試験用供試材のマグネシウム添加量を低減した考え方ということが書かれています。

それで、まず、ラーソン・ミラーパラメータの適用の考え方につきましては、こちらは先ほどのアレニウスの式を使った説明はあったんですけど、先ほどのマンガンの効果については、その拡散でちゃんと考慮できるとか、そういう説明がここにありますので、そこら辺の説明を追加していただくというふうに我々は認識しております。

それに加えて、もう一つ、別紙2-14のほうなんですけど、こちらのほうでは下のほうに、このラーソン・ミラーパラメータも含めてなんですけど、そのT相のところはちゃんと模擬できていないやり方ということがありますので、その最後に、なお書きで、その短期間で模擬することができないT相は微小であり、強度特性に及ぼす影響は無視し得るほど小さいと考えるということで終わっています。これを定量的に説明できないかというのを、先ほどから質問をさせていただいています。

それで、やり方としては、これは資料2-1のパワーポイントの25ページにあるんですけど、25ページの右の図を御覧いただきたいんですけど、こちら今解析で計算でやられているのは、これは実際に使う製品での計算になると思うんですけど、それに対して下のほうは、これは試験用に造られたものでラーソン・ミラーパラメータで評価したものが合わせて載っていると思えます。

例えば、この機械試験用供試材の条件を使って、この60年間の計算をして、その比較をして、やっぱりそのT相のところの影響ですね、そこがどういうふうに出てくるのか、そういうのは確認することはできませんかというのが最後のほうの質問になります。

いずれにしても、今まで説明していただいている情報で足りないところがあると思いますので、その補足をまずしていただいて、その説明で足りるのか、その説明だけでは足りない場合は、計算で補強をする必要があるのであれば、そういうことも含めて考えていただきたいということです。

以上になります。

○日立造船（株）（樋口） 日立造船の樋口でございます。

不純物の影響に関しましては、文献で各元素の固溶強化による影響の度合いというのが、そういう記載がございまして、それをを用いることによって、定量的な影響評価は可能、固溶に関しては評価は可能と考えております。

不純物の析出物の粒形に関しては、ちょっと検討をさせていただくのですが、かなり、もう微視的な析出物になりますので、それがどれぐらいの大台になるかという観点で御説明させていただければと考えております。

以上でございます。

○甫出主任安全審査官 はい、よろしく申し上げます。それで結構です。

規制庁の甫出でございます。

○小野審議官 ほかはいかがですか。

○戸ヶ崎調整官 原子力規制庁の戸ヶ崎です。

私からはパワポの資料の35ページからになります。こちらは申請書の記載が誤っていたということで、大きく分けて2点の誤りがあったと思います。

こちらはそれぞれ原因は違うと思うんですけど、その原因も踏まえてなんですけど、ほかにこういう誤りがないかということ一度確認させていただきたいと思います。

以上です。

○日立造船（株）（樋口） 日立造船の樋口でございます。

この件に関連しまして、ほかの部分も一応確認はしております、ほかにこういった記載ミスというものはないことを確認しております。

○戸ヶ崎調整官 はい、分かりました。

以上です。

○小野審議官 ほかはいかがですか。よろしいですか。

日立造船のほうから確認しておきたい事項とはございますでしょうか。

○日立造船（株）（樋口） 日立造船の樋口でございます。

当社から質問事項は特にございません。

○小野審議官 はい、分かりました。

それでは、以上で議題2を終了します。

本日本日予定していた議題は以上でございます。

それでは、第23回審査会合を閉会します。ありがとうございました。