

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20回

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20回 議事録

1. 日時

令和4年11月29日（火） 13:30～14:36

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
松野 元徳 上席安全審査官
櫻井 あずさ 安全審査官

日立造船株式会社

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
久保田 直人	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長 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) 日立造船（株）発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の型式証明（PWR）について
- (2) その他

5. 配付資料

- 資料 1-1 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 設置許可基準規則への適合性について（第十六条関連・バスケット用アルミ合金）
- 資料 1-2 補足説明資料 16-6 16条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設材料・構造健全性（長期健全性）に関する説明資料
- 資料 1-3 補足説明資料 1-1 バスケット用アルミニウム合金合金（HZ-A3004-H112）について
- 資料 1-4 補足説明資料 1-2 バスケット基準値について

6. 議事録

○小野審議官 定刻になりましたので、ただいまから第20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。

本日の議題は一つであります。議題は、日立造船株式会社発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の型式証明(PWR)についてであります。

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。

それでは、議事に入ります。

日立造船は資料について説明を始めてください。

○日立造船株式会社（樋口） 日立造船の樋口でございます。

それでは、設置許可基準規則への適合性について、本日は、第16条関連・バスケット用アルミニウム合金について御説明させていただきます。

ページをめくりまして、目次、本日は指摘事項（コメント）リスト、設置許可基準規則

への適合性（第十六条）（長期健全性）、バスケット用アルミニウム合金について、今後のスケジュールの順に御説明させていただきます。

ページをめくりまして、右下7ページになります。

指摘事項（コメント）リストのうち、No.6番、2021年11月11日審査会合で御指摘いただきました金属ガスケットの長期健全性について、公開知見などのような技術的根拠を使ったのかを確認した上で説明することということに関しまして、該当条文16条で、コメント回答といたしましては、電中研で実施された金属ガスケットの密封性能に関する試験結果において、漏えい率とラーソン・ミラー・パラメータの関係が整理されており、初期の閉じ込め機能を維持する限界のラーソン・ミラー・パラメータが確認されている。Hitz-P24型に対して評価したラーソン・ミラー・パラメータが上記の限界のラーソン・ミラー・パラメータを下回ることから、設計貯蔵期間を通じて初期の閉じ込め機能は維持される。評価の詳細及び使用した参考文献については、本資料の中の「2,設置許可基準規則への適合性（十六条）（長期健全性）」の箇所で説明する。

こちらに関しましては、11ページ以降で詳しくまた御説明させていただきたいと考えております。

次のコメントに参りまして、右下8ページ目になりますが、コメント番号7番、2021年11月11日審査会合でのコメントになります。

バスケット用アルミニウム合金の設計用強度を決めるまでの一連の流れについて、以下の点を明確にすること。

一つ目が、考え方、評価方法を含め国内でどのような許認可実績を持っているか。

評価方法、評価結果を使うにあたって具体的にどのような検証がなされてきているか。

今回の本申請にこの考え方を適用することについて、どのように適用性を整理し、どのような根拠があるかということに対しまして、当社のコメント回答といたしましては、バスケット用アルミニウム合金の設計用強度を決める上で、計算材料科学に基づくシミュレーションとラーソン・ミラー・パラメータを用いて経年変化を模擬した機械試験用供試材により強度評価を行っている。

この手法には許認可実績がないため、妥当性を確認するための試験を実施し、有効性を確認している。

評価方法、評価結果については、基本的にJSME新規材料採用ガイドラインに準じ、貯蔵施設の型式指定を受けた先行例を参考にしている。

破壊靱性については、 -41°C ～ 200°C の範囲で破壊靱性試験を実施し、取得した J_0 値及び J_{1c} 値から問題のないことを確認している。

今回の申請でこの考え方を適用することに係る適用性や根拠については、補足説明資料1-1別紙2で説明すると記載しております。

こちらに関しましては、後ほど後述のページでまた御説明させていただきたいと思いません。

では、右下11ページまでめくっていただきまして、2.設置許可基準規則への適合性（第十六条）（長期健全性）について御説明させていただきます。

ここからは説明者を交代いたします。

○日立造船株式会社（久保田） 日立造船の久保田です。

では、Hitz-P24型の長期健全性について、設置許可基準規則第（第十六条）への適合性の説明をさせていただきます。

12ページをお願いします。

本ページ及び次の13ページでは、設置許可基準規則に関する要求事項と、それに対応したHitz-P24型の長期健全性維持に関する方針をまとめております。

規則では、臨界、遮蔽、除熱、閉じ込めの各安全機能に対する要求事項が示されており、長期健全性としては、構成部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計とします。

より具体的には、次の13ページになりますが、Hitz-P24型としましては、設計貯蔵期間を60年とした上で、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープなどの経年変化に対し、信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を確保する設計とします。

また、腐食等を防止するために、使用済燃料を不活性ガスであるヘリウムとともに封入し、さらに、表面の必要な箇所には塗装等による防錆措置を講じます。

次に、14ページをお願いします。

次に、ここでは審査ガイドに示されている確認内容に対してのHitz-P24型の長期健全性維持の方針を示しております。

長期健全性に関する確認内容としましては、最低使用温度における低温脆性の考慮、設計入力値又は設計基準値の算定に対しての経年変化の影響の考慮、防食措置等、収納する使用済燃料の経年変化の低減又は防止となっております。

これらの確認内容に対応するHitz-P24型の長期健全性維持の方針は、表に示すようなものとなっておりますが、具体的な内容は次ページ以降で説明させていただきます。

また、アルミニウム合金について、後ほど、バスケット用アルミニウム合金の説明の箇所で説明を示させていただきます。

なお、ここまでにお示しした長期健全性維持の方針につきましては、既に型式証明を受けている先行キャスクと同様であり、特段新規の内容を含むようなものとはなっていません。

15ページをお願いします。

ここではHitz-P24型及び収納する使用済燃料の健全性について具体的な評価結果をまとめております。

まず、(1)温度影響についてですが、Hitz-P24型の構成部材には、最低使用温度において低温脆化しない材料を用いるとともに、各部位の最高温度は健全性を維持できる温度基準値よりも低い値となることを確認しております。

ここで、中性子遮蔽材につきましては、(注1)に示しておりますが、設計貯蔵期間中の熱影響により生じる質量減損を遮蔽評価において考慮した上で、遮蔽機能が維持されることを確認しております。

また、先ほどコメント回答で説明させていただいた内容にはなりますが、金属バスケットについては、(注2)に詳細を記載させていただいております。

金属ガスケットの長期健全性については、電中研において密封性能に関する試験が実施されており、その結果から、ラーソン・ミラー・パラメータを求める際の定数Cが20の条件では、ラーソン・ミラー・パラメータが 11×10^3 以下であれば初期の閉じ込め機能が維持されることが文献に示されております。

Hitz-P24型の温度評価結果に基づき、60年間の設計貯蔵期間に相当する金属ガスケットのラーソン・ミラー・パラメータを同様に求めますと約 9.6×10^3 となり、文献に示されているラーソン・ミラー・パラメータを下回ることから、設計貯蔵期間を通じて初期の閉じ込め機能は維持されることを確認できております。

なお、電中研により別途実施されている長期密封性の試験においては、130～140℃で19年以上閉じ込め機能が維持されることが確認されており、これを踏まえまして、ラーソン・ミラー・パラメータによる基準に加え、温度の基準として130℃を設定しております。

続きまして、16ページをお願いします。

次に、(2)放射線の照射影響についてですが、表に示しますように、各材料に対する設計貯蔵期間中の照射量は基準値よりも小さく、機械的特性変化が見られない範囲であるため、照射による経年変化の影響はないものと判断しております。

最後に、(3)腐食による影響についてですが、Hitz-P24型の外面のうち、大気に触れる部分では腐食による影響がある範囲については、塗装等の防錆措置を施すことにより腐食を防止しております。また、キャスク内部及び一次蓋と二次蓋の間には不活性ガスであるヘリウムを封入する設計としているため、使用済燃料の腐食の影響はありません。

以上のとおり、Hitz-P24型は主要な構成部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計としているため、設計方針は妥当なものと判断しております。

なお、長期健全性に関しては、設置変更許可申請において別途確認を要する条件については特にないものと考えております。

○日立造船株式会社（樋口） 日立造船の樋口でございます。

ここからは、また説明者を交代させていただきます。

では、右下17ページ、3. バスケット用アルミニウム合金について御説明させていただきます。ここでは3.1から3.6の6項目に分けて御説明させていただきます。

ページをめくりまして、右下19ページになります。

3.1. バスケットアルミニウム合金の事例規格が廃止された理由という項目について御説明します。

日本機械学会は、バスケット用アルミニウム合金について、強度及び破壊靱性・耐衝撃性に係る性能が必ずしも十分な保守性を担保できないことから、アルミニウム合金バスケット用新規材料採用ガイドラインを含む添付3-3及び事例規格を2015年に廃止しています。

ページをめくりまして、右下20ページになります。

この廃止のうち、懸念事項が強度及び破壊靱性及び耐衝撃性についての理由がありまして、まず、そのうち強度について、特に3000系アルミニウム合金に関連する事例規格の廃止について、その理由が、強化機構はマグネシウム固溶強化とマンガン析出強化なので60年後でも効果は期待できるが、試験にCuなどが高い濃度の供試材が使用されており、Cu析出強化効果による嵩上げが含まれている可能性が高いと判断されております。

これに対する当社の考え方といたしまして、バスケット用材料、アルミニウム合金(HZ-A3004)は、設計貯蔵期間60年の熱暴露による経年変化を計算材料科学に基づくシミュレー

ションとラーソン・ミラー・パラメータにより模擬した機械試験用供試材の機械試験データを用いることにより、長期健全性を有する設計強度を設定することとしております。

右下21ページになります。

破壊靱性及び耐衝撃性特性に関して、当社の考え方いたしましては、シャルピー衝撃試験及び J_{1c} 破壊靱性試験を実施し、HZ-A3004については、使用温度域で靱性を有し、靱性不足による破壊に対して特別な配慮は不要であることを確認することにより材料強度を確認しております。

この件については、右下33ページから詳しく、また御説明させていただきたいと思いません。

次に、右下22ページ、23ページになります。バスケット用アルミニウム合金の考え方と評価方法について御説明します。

まず、確認すべき課題としまして、真ん中上方辺りの赤枠に示すとおり、熱暴露による強度低下、これが重要な評価項目になります。

これに対しまして、弊社の考え方いたしましては、経年変化の評価として、HZ-A3004の供用終期シミュレーション、マグネシウム固容量の評価、析出物の評価を行った機械試験用供試材、こちらを用います。

さらに、規格材及び経年変化を保守的に考慮した機械試験用供試材を用い、これにラーソン・ミラー・パラメータに基づく過時効熱処理を加えることで、設計強度、破壊靱性、許容引張応力、腐食・長期劣化に関する評価を行っております。

次に、右下24ページになります。

確認すべき課題としまして、使用済燃料の崩壊熱の熱ばく露による強度低下、こちらに関しまして、マグネシウムの析出物が生じ、固容量が低下——すみません、アルミニウム合金の特性といたしまして、アルミニウム合金は幾つかの強化機構を有しておりますが、その中でHZ-A3004は、マグネシウムによる固溶強化、加工硬化、マンガンの分散強化などが考えられます。

そのうち、加工硬化に関しましては、60年後は効果が期待できない。マグネシウム固溶強化に関しましては、右の図に示すとおり、時間とともにその効果は低下していくことが考えられます。

つまり、マグネシウム析出物が生じ固容量が低下、塗装中のマグネシウム固容量が減少し、強度が低下する。こちらに関しましては、60年後の金属組織変化を推定し、適切な強

度評価を行う必要があると考えております。

次に、右下25ページになります。

HZ-A3004の主な化学成分は、記載している表のとおりになります。

HZ-A3004は、JIS H 4000に規定されているA3004の化学成分の範囲内で合金元素の添加量を制限した3000系アルミニウム合金となります。

HZ-A3004の主な強化機構になります。

こちらは、60年経過後に強化機構として期待できるものは、過時効後の固溶量まで減少したマグネシウムによる固溶強化と析出した Al_6Mn の分散強化になります。加工硬化は回復により、その効果を失います。結晶粒微細化による強化機構は結晶組織の回復により低減するものの、圧延組織が一部残存するものと考えられますが、定量評価は困難になると考えております。

したがって、期待できる主な強化機構としては、マグネシウムの固溶強化と Al_6Mn の分散強化というふうに考えております。

次のページに参りまして、右下26ページです。経年変化の評価になります。

経年変化の評価では、マグネシウムの平衡固溶度は温度に比例します。母相中への過飽和に固溶したマグネシウムは、平衡固溶度まで減少します。これに伴って固溶強化も低下すると予想されます。

HZ-A3004の設計強度の評価は、マグネシウム固溶量の減少を適切に評価する必要があります。

しかし、加速試験ではマグネシウム固溶量の減少を適切に評価できないため、当社では、シミュレーションにより供用終期の析出相と母相中のマグネシウム固溶量を推定することといたしております。その推定方法の計算体系を下の図に示しております。

めぐりまして、右下27ページ。

経年変化の評価の続きになりますが、HZ-A3004の供用終期のシミュレーションの概要です。

アルミニウム合金は時効に伴って母相中の固溶元素が析出し、金属組織が変化します。HZ-A3004では、主にSi、Fe、Mn、Mgが析出し、 Al_6Mn や Mg_2Si などの生成が予想されます。

60年の熱ばく露条件におきまして、シミュレーションの結果ですが、それに関しましては(2)に記載のとおりになります。ここで特に製造時に添加している添加下限値のマグネシウム1.0mass%のマグネシウムは母相中へ過飽和に固溶しますが、60年後減少すること

が確認されております。そのシミュレーションの結果を示すのが図3、図4になります。

ページをめくりまして、右下28ページ。

今、述べました計算材料科学に基づくシミュレーションの妥当性については、次の二つの方法、既知試験文献による方法とHZ-A3004の過時効熱処理実験によって確認しております。

既知文献では、実験で報告されたマグネシウム固容量と比較することにより、そのシミュレーションを行って確認しております。

HZ-A3004の過時効熱処理実験については、HZ-A3004を用いた過時効熱処理実験を行いまして、その実験で得られたマグネシウム固容量の変化と、シミュレーションによるマグネシウム固容量の変化が概ね一致することを確認しております。こちらについては、補足説明資料1-1別紙1-12で詳しく御説明しております。

次に、右下29ページになります。

規格材及び機械試験用供試材の考え方ですが、実機供用のシミュレーションの結果、母中のマグネシウム固容量は60年経過後に検証することを推定しております。

右の図6の平衡状態図に示すとおり、マンガン系析出物に対し、マグネシウム系析出物は析出温度が低いことから、加熱上限が異なると模擬が困難となります。

したがって、機械試験用供試材は保守的な裕度を考慮して製作しております。

ページをめくっていただきまして、右下30ページになります。

加熱条件の考え方です。

60年の設計貯蔵期間に相当するラーソン・ミラー・パラメータを求めております。また、過時効熱処理温度は300℃未満としております。この60年の設計貯蔵期間に相当するラーソン・ミラー・パラメータから、加熱温度、それから過時効熱処理時間を、安全率を見込んで設定しております。ラーソン・ミラー・パラメータから求められた過時効熱処理条件は記載のとおりです。

ページをめくっていただきまして、右下31ページになります。

設計強度 S_y 値、 S_u 値、 S_m 値の考え方になります。

設計強度の規定については、0材処理及び過時効熱処理を施した機械試験用供試材の常温及び高温引張試験の結果を用いております。

HZ-A3004と機械試験用供試材の強度特性を比較して、設計強度の規定に機械試験用供試材の機械試験結果を用いることが保守的であることを確認しております。

下の表に示しますとおり、引張強さを比較したところ、HZ-A3004と機械試験用供試材では、機械試験用供試材のほうが、いずれの温度においても強度が低くなっていることを確認しております。

ページをめくっていただきまして、右下32ページになります。

この機械試験用供試材につきましては、機械試験用供試材の化学成分のミルシートを用いまして、0材処理及び過時効熱処理によるシミュレーションを実施しておりまして、マグネシウム固容量の変化を確認し、実機供用のシミュレーションとの差を確認しております。

また、機械試験用供試材を用いて強度設定をするときにおいて、JSME新規材料採用ガイドラインに準じた各設計強度を規定しております。

ページをめくっていただきまして、右下33ページになります。

破壊靱性についてです。

当社の考え方といたしましては、HZ-A3004の結晶構造は、単位胞が面心立方格子であり、バスケットの使用条件において延性を失わず脆性破壊を生じないこと。それから、使用温度域において靱性を有すること。この二つをもってHZ-A3004は靱性不足による破壊に対して特別な配慮が不要になるというふうに考えております。

シャルピー衝撃試験の結果は、初期材と過時効熱処理材の衝撃吸収特性に有意な差がないことを試験で確認しております。試験結果の詳細は、下の表に記載のとおりです。

ページをめくっていただきまして、右下34ページになります。

破壊靱性試験になります。

HZ-A3004の初期材と過時効熱処理の J_{1c} 破壊靱性試験を実施しております。ただし、一部の試験では供試材の延性が高く、 J_{1c} 値を得られないケースがございました。なお、得られた J_{1c} 値の中で最小値は 29.3kJ/m^2 になります。

初期材と過時効熱処理材の J_q 値には有意な差がないことを試験で確認しておりまして、この差がないことから、靱性の低下が生じないというふうに考えております。

この破壊靱性試験の結果については、補足説明資料1-1別紙3の13ページ～14ページ、表9及び表10を御参照ください。

下の表は、 J_q 値についての比較を記載しております。 J_q 値は温度が高くなればなるほど数値が高くなる傾向が確認されております。

次に、ページをめくっていただいて、右下35ページになります。

許容欠陥寸法の評価になります。

HZ-A3004はマグネシウムの添加量が低いため、許容欠陥寸法を超える欠陥は製造工程では生じないと考えられます。また、欠陥が生じたとしても、外観検査で十分検出が可能であり、製品に欠陥が含まれることはないと考えております。

下の表は、想定欠陥寸法と J_{1c} 値の関係を示しております。製品に使用する材料の最小厚さは50mmを想定しております。この欠陥寸法の評価でいきますと、0.33、33%を加味すると、50mmの想定欠陥寸法は16.5mm程度となりまして、十分目視で検出可能と考えております。

ページをめくりまして、36ページになります。

HZ-A3004は、破壊靱性試験後の破面の全面に延性破壊の特徴的な破面模様であるディンプルが観察され、バスケットの使用条件において延性を失わず延性破壊を生じないと考えております。

また、シャルピー衝撃試験と J_{1c} 破壊靱性試験の結果から、HZ-A3004は-40℃、常温、200℃で靱性を有し、靱性不足による破壊に対して特別な配慮は不要であると考えております。

下の図11に、-40℃、常温、200℃のそれぞれの破壊靱性試験の破面のSEM像を示しております。ここでは、各破面においてそれぞれディンプルが確認されております。

ページをめくりまして、右下37ページになります。

アルミニウム合金のHZ-A3004の許容引張応力になります。

このS値はクリープ試験の値を用いて求められます。0材処理及び過時効熱処理を施した機械試験用供試材のクリープ試験を実施いたしまして、クリープ試験の結果を用いて評価したS値は、200℃において15MPaを有しまして、貯蔵中のバスケットの発生応力が1MPa未満であるのに対して十分な安全裕度を有していると考えております。

ページをめくりまして、右下38ページになります。

腐食・長期結果につきましては、バスケットは、不活性雰囲気維持される限り、バスケットは腐食しないと考えております。

また、残存する酸素を考慮しても、腐食による構造強度への影響はないというふうに考えております。

次に、ページをめくりまして、右下40ページを御覧ください。

材料試験の項目になります。

試験に適用する供試材の考え方ですが、機械試験用供試材はHZ-A3004の設計貯蔵期間の熱ばく露による経年変化を模擬した材料であり、規格材は供用前の経年変化していない材料であります。

詳しくは、特に規格材の考え方ですが、規格材は、基本物性の指標を示す供試材であり、各物性試験、その他物性試験に適用しております。

機械試験において、機械試験用供試材のほうが強度が低いことを確認し、硬さ試験は、規格材のほうが機械試験用供試材より硬いことを確認し、より硬い規格材の靱性をシャルピー衝撃試験で確認しております。

機械試験用供試材の考え方についてですが、機械試験用供試材は熱ばく露を模擬した材料であり、経年変化により加工硬化やマグネシウムによる固溶強化などの強化機構が消失または減少し、強度が低下したHZ-A3004の強度指標を示す供試材です。

マイクロ組織観察では、規格材と結晶粒や晶出物の大きさに違いがないことを確認いたしまして、常温引張試験及び高温引張試験の評価結果は、経年変化したHZ-A3004の設計強度を規定するために機械試験用供試材を使用しております。

ページをめくっていただきまして、右下41ページになります。

材料試験の項目といたしましては、物性試験として5項目、機械試験として5項目、その他物性試験として4項目、さらに、参考試験として J_{1c} 破壊靱性試験を実施しております。

試験内容の詳細については記載のとおりとなります。

次に、ページをめくっていただきまして、右下42ページ以降になります。

右下43ページでは、材料の各温度における S_y 値、 S_u 値、 S_m 値を記載しております。

さらに、44ページでは、 S 値、縦弾性係数、線膨張係数をそれぞれ記載しております。

次の、3.5.設計基準、右下45ページになりますが、ここからは説明者を交代させていただきます。

○日立造船株式会社（茂手木） 日立造船の茂手木です。

それでは、45ページから、3.5.設計基準について御説明させていただきます。

46ページを御覧ください。

こちらではHitz-P24型のバスケット用アルミニウム合金に適用する評価基準について説明させていただきます。

まず、評価基準の考え方についてですが、日本機械学会の使用済燃料貯蔵施設規格、金属キャスク構造規格で定められる供用状態A、B、C及びDに対して、バスケットが維持する

べき安全機能、ここでは主に臨界防止機能になります。その観点からバスケット用アルミニウム合金の評価基準を設定しております。

その考え方を46ページの下表にまとめております。

例として御説明いたしますと、供用状態Aに当たります具体的な設計事象としましては、通常の貯蔵時が該当します。こちらにつきましては、貯蔵時の自重が長期荷重として設計貯蔵期間60年間バスケットに作用する事象になります。こちらにつきましては、クリープの影響を防止するような設計基準を設定しております。

また、供用状態Bにつきましては、貯蔵時にSS相当地震力が作用する場合というような具体的な設計事象が該当します。こちらにつきましては、バスケットの破断を防止するような設計基準を設定しております。

47ページを御覧ください。

このような設計基準の考え方に従いまして設定した評価基準を、こちらのページの下表に示しております。

バスケット用アルミニウム合金は長時間高温で使用されますので、過時効特性、今まで御説明させていただきました熱劣化に伴う強度低下の考慮が必要であります。それにつきましては、本資料3.2～3.4で御説明させていただきましたように、材料の規定の設定において過時効特性を十分に考慮しているため、こちらの評価基準での考慮は不要となっております。

こちらの具体的な設計基準につきましては、こちらの表にあります S_y 、 S_m 、 S_u 等につきましては、先ほど本資料の43ページ、44ページに示した値となります。

設計基準の御説明については以上になります。

○日立造船株式会社（樋口）では、右下48ページをめくっていただきまして、3.6から、また説明者を交代させていただきます。

日立造船の樋口でございます。

3.6. バスケット用アルミニウム合金に係る提出資料の概要について御説明いたします。

めくっていただきまして、右下49ページになります。

バスケット用アルミニウム合金については、型式証明申請書に添付しております別添1-1、こちらはアルミニウム合金の説明書、それから、補足説明資料といたしましては1-1、それから1-2について提出してございまして、特に補足説明資料1-1では別紙1～別紙3までを提出しております。

詳しい記載内容は、参考としてこのページに記載している内容を御確認ください。

最後に、4. 今後の説明スケジュールについてですが、右下51ページになります。

現在、当社が計画している説明スケジュールといたしましては、この表に示すとおりで計画しております。

説明は以上となります。

○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、コメント等があればお願いします。

○松野上席安全審査官 規制庁の松野です。

私からは、2点確認があります。

まず、1点目ですけれども、資料1-1のパワポ資料30ページ目に、加熱条件の考え方が記載されております。

その中段を見ていただきますと、アルミニウム合金は300℃以上になるとマンガンが母相中に再固溶する可能性があるため、過時効熱処理温度が300℃未満とすると。

マンガンの再固溶を防止する観点で、温度を設定している理由について具体的に説明をお願いいたします。

○日立造船株式会社（竹内） 日立造船の竹内です。

こちらは、マンガンの再固溶に対して、マンガンがアルミニウム母相中に再固溶をする、つまり、マンガン系析出物による析出強化が失われるという観点から、過時効熱処理温度は、マンガンの析出物、こちらによる強化機構を実機、つまり、200℃60年ですとか、200℃から100℃まで60年かけて温度が低下する条件とそろえるために300℃未満として設定しております。

○松野上席安全審査官 規制庁、松野です。

今の点につきましては、補足説明資料で言いますと何ページ目になりますか。

○日立造船株式会社（樋口） 日立造船の樋口でございます。

補足説明資料1-1別紙2-15ページとなります。

○松野上席安全審査官 規制庁、松野です。

別紙2-15の、なお書きの部分でよろしいですか。

○日立造船株式会社（樋口） 失礼いたしました。おっしゃるとおりでございます。

○松野上席安全審査官 理解いたしました。

あと、2点目なんですけれども、同じくパワポ資料の30ページ目になるんですけれども、こ

この中段で記載されておりますラーソン・ミラー・パラメータの材料定数の設定についてですけれども、材料定数Cについては、原子力安全基盤機構が実施した試験の値を参考に14.0を用いています。

一方で、パワポ資料の15ページ目に、こちらはガスケットになるんですけれども、注意書きの2で見ますと、電中研で実施された金属ガスケットの密封性能に関する試験結果では、定数20を用いて計算しています。

材料としては、金属ガスケット、バスケットとも、アルミニウムを使っていますので、材料定数が異なる理由について説明をお願いいたします。

○日立造船株式会社（樋口） 日立造船の樋口でございます。

こちらの電中研の材料定数20、こちらに関しましては――その前に金属ガスケットは、インコネルとアルミニウム被覆によって形成されております。電中研では、その両方の作用を評価する上で定数20を採用しておりますして、アルミニウムのみの定数としましては、こちらの記載のとおり、原子力安全基盤機構で実施された試験の値は、アルミニウム合金のみを捉えた試験の結果に基づくものでございまして、そちらは定数14を採用しているというふうなことで、定数の違いがございまして。

以上になります。

○松野上席安全審査官 規制庁、松野です。

アルミニウム合金で、14.0と20を使っているそれぞれの理由について、もう一度説明をお願いいたします。

○日立造船株式会社（樋口） 大変失礼いたしました。日立造船の樋口でございます。

定数20については、ガスケットに使用されているインコネル及びアルミニウム双方の作用を考慮しております。

一方、定数14に関しましては、アルミニウムのみを評価対象として定数Cを評価しております。

○日立造船株式会社（樋口） すみません。補足させていただきます。

つまり、電中研の試験では、ガスケット全てを構成する材料全てを考慮して定数Cを定めておりまして、それが定数20、原子力安全基盤機構ではアルミニウムのみの物性を考慮して定数14を設定しております。

○松野上席安全審査官 規制庁、松野です。

その辺りの定数の設定の根拠、考え方が今の補足説明資料には明確に書かれていません

ので、補足説明資料に記載をお願いいたします。

○日立造船株式会社（樋口） 日立造船の樋口でございます。

承知いたしました。

○松野上席安全審査官 私からは以上です。

○小野審議官 そのほかはいかがですか。

○櫻井安全審査官 規制庁、櫻井です。

私のほうからも2点、確認させていただきます。

資料1-1の概要パワポの、まず37ページ。

あと41ページとか44ページにも記載があるんですけども、許容引張応力のS値について、41ページの真ん中の記載では3,000時間まで試験完了としてあって、一応、1万時間まで実施するとあるのですが、これは、この試験がいつ頃終了するとか、見通しは立っていますか。

○日立造船株式会社（樋口） 日立造船の樋口でございます。

クリープ試験につきましては、1万時間の一部のクリープ試験が継続中でありまして、これまで、300℃、350℃の1万時間のクリープ試験については完了しておりますが、200℃、250℃のクリープ試験については現在継続中でございます。こちらの試験に関しましては、計画といたしましては、11月末頃に終了する予定として考えております。

ただし、クリープ試験は誤差が生じますので、場合によっては12月までかかる可能性があるかなというふうに考えております。

以上です。

○櫻井安全審査官 ありがとうございます。規制庁、櫻井です。

今日は11月29日、11月のほぼほぼ末なので、12月にかかると思ってよいですかね。

200℃と250℃の試験結果が出るのは年末なのか、ここを順調に審査が進んでいったときに、一部の試験が終わっていないんですよねとなると、型式の承認とかにも関わってくると思うので、お聞きしています。

○日立造船株式会社（樋口） 日立造船の樋口でございます。

ありがとうございます。

確かに1万時間のクリープ試験については一部が継続中ですが、図12のグラフを見ていただきますと、この試験では、クリープ試験の破断時間プロットが予測線にほぼ乗っている状態でありまして、恐らく、300℃、350℃の試験結果を反映しても、200℃

におけるS値については15MPa前後であることが予想されます。

したがって、貯蔵中のバスケットで発生する応力は1MPa未満でありますから、バスケットの設計に対する有意な影響はないものと認識しております。

○櫻井安全審査官 規制庁、櫻井です。

御説明、ありがとうございます。

私も、次に37ページのことについても質問しようと思っていたんですけども、今の御説明だと、今後、200℃、250℃の試験についても、これのプロットから大きく離れないだろうという御説明の下に成り立っているんですが、万が一というのもしもあらずなので、もし、今後、試験結果によってクリープ特性の考慮に影響する結果となった場合には、今後の会合で再度御説明いただくという理解でよろしいですか。

○日立造船株式会社（樋口） 日立造船の樋口でございます。

承知いたしました。

○櫻井安全審査官 この試験結果については、申請書にも記載があると思うんですけど、この試験結果が異なってきた場合には、S値とかも変更すると思うので、その際は補正等もあり得るということですよ。

○日立造船株式会社（樋口） 御理解のとおりでございます。

○櫻井安全審査官 規制庁、櫻井です。

ありがとうございます。

もう一点なんですけれども、概要パワポの25ページをお願いします。

HZ-A3004の強化機構についてなんですけれども、アルミ合金の化学成分について、強化機構としては、マンガン系の分散相による分散強化とマグネシウムによる固溶強化が期待できるとして、JISに規定されている化学成分の範囲内で合金元素の添加量を制限したアルミニウム合金としているという御説明があるんですけども、これによって設計強度が貯蔵期間60年としていることについて60年中の効果が期待できますよという御説明なんですけれども、強度とは別にバスケットの伝熱機能への影響の御説明をお願いします。

この質問に関しては、ほかの資料の補足説明には載っていないかなと思うので、もし資料等が別途必要ならば、今後の会合での説明でも構いません。

○日立造船株式会社（樋口） 日立造船の樋口でございます。

今、御質問いただいた件に関しましては、別途補足説明させていただきたいと考えております。

ただし、アルミニウム合金の定性的なお話をさせていただきますと、アルミニウム合金自体は、母相に固溶される不純物、こちらが少なくなればなるほど熱伝導率は上がっていく方向になります。

以上でございます。

○櫻井安全審査官 定性的な御説明を、ありがとうございます。

じゃあ、今、御説明いただいた内容を含めて次回の会合で再度説明をお願いします。

私からは以上です。

○小野審議官 ほかは、いかがですか。

○松野上席安全審査官 規制庁の松野です。

私からももう一点あるんですけども、パワポ資料の28ページ目にシミュレーションの適用の妥当性について説明がありますけども、その妥当性の方法で(1)の既知の試験文献による確認が行われておりまして、この文献で実施された試験内容、あとこの試験とシミュレーションとの具体的な確認内容、妥当性確認の位置づけについて具体的に説明をお願いします。

○日立造船株式会社（樋口） 日立造船の樋口でございます。

既知文献で実施しております5000系アルミニウム合金のマグネシウム固容量の減少を、この文献では実験的に評価されておりまして、それに対する同じ条件でシミュレーションをした場合にマグネシウム固容量の変化をシミュレーションで追えるかを確認しております。

この試験を実施した理由といたしましては、まず、このシミュレーション自体がアルミニウム合金、特にマグネシウムを含有するマグネシウム固容量の高いもの、5000系アルミニウム合金は3000系に対してマグネシウム固容量が倍近く高くなりますので、これで評価することによって、まず、その評価が可能であるかというところ、妥当性があるかというところについて確認しております。

既知文献の試験に対する確認については、以上になります。

○松野上席安全審査官 規制庁、松野です。

ここのパワポに書かれてあるマグネシウム固容量と比較してシミュレーションが適用可能なことを確認したと。適用可能なことを確認した具体的な内容としては、今、説明がありましたとおり、マグネシウムが析出によって母相から失われて、それによって強度が低下していくと。それが定性的な傾向として、このシミュレーションと文献が概ね一致して

いるという理解でよろしいですか。

○日立造船株式会社（樋口） 日立造船の樋口でございます。

このシミュレーションで評価しているものは、固溶強化ではなくて、マグネシウム固溶量について評価しております。マグネシウム固溶量によって固溶強化がなされることから、これに関連するものというふうな位置づけとなっております。

ここに関しましては、本資料の24ページにその内容を書いておりまして、マグネシウムによる固溶強化を評価するために、マグネシウム固溶量の60年後の減少を適切に評価する必要があるというふうな位置づけで――右下26ページですね。マグネシウム固溶量の減少を適切に評価する必要があるというふうな位置づけで実施しております。

したがいまして、重要でありますのは、マグネシウムの固溶量の変化する時期が概ね一致すること、それから、固溶量の変化が概ね収束すること、それから、マグネシウム固溶量の、ここが一番重要ですけれども、変化量が一致することが重要かと考えております。

以上になります。

○松野上席安全審査官 規制庁、松野です。

概ね、このシミュレーションの妥当性確認の趣旨、位置づけ、考え方については理解いたしました。

○小野審議官 ほかはいかがですか。

○戸ヶ崎安全規制調整官 原子力規制庁の戸ヶ崎です。

本日のコメント回答をもう一度確認したいんですけど、8ページを御覧いただきたいと思うんですけど、No.7のコメントで、バスケット用アルミニウム合金の設計用強度を決めるまでの一連の流れについて説明していただきたいということで、今日、詳細に説明があったと思います。

それで、最終的には、バスケットの強度の条件を決めるために、いろいろな文献の確認とか、それとかシミュレーションとか、あと機械的な試験とか、そういうことをやられていると思うんですけど、その関係が、網羅的な説明がされていると思うんですけど、実際に、文献が主なのか、シミュレーションが主なのか、それと機械設計の試験の結果が主なのか、そこら辺の関係が必ずしも明確になっていませんので、ロジックを改めて整理していただきたいと思います。

特に、申請書を見ますと、申請書の長期健全性とかのバスケットのところが、熱的などころは温度に耐えられますということは書いてあるんですけど、マグネシウムの強化機構

が、長期的にはそれが低減する、あと、固溶の低減効果が機械設計のほうにちゃんと反映されているという説明が申請書上は読めていませんので、機械設計の基準とかは書かれているんですけど、それにどういうふうに反映させているかということ、ちゃんと申請書上説明していただきたいと思います。

それで、再確認ですけど、我々の理解としましては、今日の御説明で、まず24ページを見ていただきたいと思います。

24ページを見ますと、マグネシウムの固溶強化については、時間とともに強化機構が低下するということですね。それにつきましては、それを模擬する材料として、もともとマグネシウムの濃度を低下させた材料を用いるということですね。それについては、そういう考え方というのは妥当なのではないかというふうに思っております。

それと、今度、25ページの上のほうの表になりますけど、こちらは、マグネシウムとマンガンはこれはJISの規格に対して増やす方向になると思いますけど、ほかのもの、ケイ素とか銅とか亜鉛とかは、これは不純物として下げるということですね。それで強度低下を防ぐということ、調整されるという考え方も、これも妥当なのではないかと思います。

それと、31ページのところで、高温保持後に強度低下というのは見られますけど、常温の強度低下に対して、下のほうの表にありますけど、大体10%程度の低下でありますので、あと、破壊靱性試験については、33、34ページにありますけど、こちらについては過時効熱処理後も十分な延性を有して臨界を防ぐ設計上求められる機械的強度は満たしているということは確認できると思います。

いずれにしても、申請書には、材料の強度についての基準、それが、今、添付されていますけど、その妥当性を説明するためにマグネシウムの量によっては、それが固溶の強化とか、固溶の強化機構の低下とか、強度につながってくると思いますし、あと、先ほどの不純物の関係とか、そういうものも強度に関係してくると思いますので、それがどういうふうに考慮されているのかということ、文献とかシミュレーションとか、あと機械試験の結果とかを使って説明されていると思いますので、そこがちゃんと分かるように説明を整理していただきたいというふうに思っております。

以上です。

○日立造船株式会社（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。

日立造船から質問、確認したい事項とかはございますでしょうか。

○日立造船株式会社（樋口） 日立造船の樋口でございます。

特にございません。

○小野審議官 ありがとうございます。

それでは、本日予定していた議題は以上でございます。

第20回審査会合を閉会します。どうもありがとうございました。