

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（2023年2月16日）

資料2-1

Doc. No. MA035B-SC-W06 Rev.0



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 (審査会合コメント回答)

2023.2.16
日立造船株式会社

目次

1. 指摘事項（コメント）リスト
2. 指摘事項（コメント）への回答
3. 補正申請における主な変更点について
4. 補正申請における記載の適正化について
5. 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
6. 今後の説明スケジュール

1. 指摘事項（コメント）リスト

1. 指摘事項（コメント）リスト

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
1	2021/11/11 審査会合	特定機器を使用することができる原子炉施設の条件の記載については、条件が明確に記載されていないものがあるので、今後審査の中で整理して説明すること。	全般	臨界防止機能、除熱機能に係る条件については、第14回審査会合資料1-1の中の「2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）」の説明で回答する。	臨界防止機能、除熱機能に対する条件については、第14回審査会合で回答。
				閉じ込め機能に係る条件については、第15回審査会合資料1-1の中の「2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）」の説明で回答する。	閉じ込め機能に対する条件については、第15回審査会合で回答。
				遮蔽機能に係る条件については、第16回審査会合資料1-1の中の「2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条、第四条）」の説明で回答する。	遮蔽機能に対する条件については、第16回審査会合で回答。
2	2021/11/11 審査会合	評価に用いた解析のコードについて、それぞれの適用性について、検証の方法や適用性を整理して説明すること。既許可で使用したコードであっても、バージョンや核定数の違いがある場合はそれを含めて適用性を説明すること。	4条,5条, 6条,16条	<p>臨界防止機能の評価にはSCALEコードシステム（SCAL6.2.1）（臨界計算はKENO-V.a、断面積ライブラリはENDF/B-VIIに基づく252群の多群断面積ライブラリ）を用いている。</p> <p>SCALEコードシステムについては、Hitz-P24型の評価条件に類似する複数の臨界実験ベンチマーク解析を実施して、適用性を確認している。</p> <p>除熱機能評価では、崩壊熱計算にORIGEN2（ORIGEN2.2UPJ）、温度計算にABAQUSを用いている。</p> <p>ORIGEN2については、ANS標準崩壊熱データにより検証され、Hitz-P24型に収納する使用済燃料と同等の冷却条件における適用性を確認している。</p> <p>ABAQUSについては、Hitz-P24型と同等の伝熱形態を有する兼用キャスクの伝熱試験により検証され適用性が確認されている。</p>	臨界防止機能、除熱機能の評価に用いた解析コードについては、第14回審査会合で回答。

1. 指摘事項（コメント）リスト

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
2	2021/11/11 審査会合	評価に用いた解析のコードについて、それぞれの適用性について、検証の方法や適用性を整理して説明すること。既許可で使用したコードであっても、バージョンや核定数の違いがある場合はそれを含めて適用性を説明すること。	4条,5条, 6条,16条	遮蔽防止機能の評価では線源強度評価にORIGEN2（ORIGEN2.2UPJ）、線量当量率計算にDOT3.5コードを用いている。 ORIGEN2については、ANS標準崩壊熱データにより検証され、Hitz-P24型に収納する使用済燃料と同等の冷却条件における適用性を確認している。 DOT3.5コードについては、使用済燃料輸送容器において、測定値と解析値の比較により妥当性の確認を行っている。 また、断面積ライブラリには、遮蔽性能に関するベンチマーク解析で信頼性が確認されているJENDL-3.3に基づくMATXSILIB-J33を用いる。	遮蔽機能に対する条件については、第16回審査会合で回答。

1. 指摘事項（コメント）リスト

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
3	2021/11/11 審査会合	バスケットは複雑な構造をしているので、バスケットプレート及びバスケットを支持する部分にどのように力が伝わっていくか説明すること。	4条,5条, 6条,16 条	バスケット構造の詳細については、第14回審査会合資料1-1の中の「参考1. Hitz-P24型の概要（構造・収納条件等）」に示す。（P.30～34参照） バスケットは内側部と外側部に分割されており、それぞれアルミニウム合金製のプレートを軸方向に重ねた構造である。プレートはタイロッドで軸方向に連結されており、径方向はリーマピンで位置決めされている。 内側部は外側部に囲まれた空間に挿入される（固定はされていない。）。内側部が径方向に移動する場合は、外側部に平面で支持される構造であり、内側部（燃料集合体含む）の荷重は外側部に伝達される。 外側部は本体胴に支持され、また固定金具により径方向には本体胴に固定されており、外側部（燃料集合体含む）の荷重は内側部から伝達されるものも含めて、本体胴に直接伝達するか、固定金具を介して本体胴に伝達する。	第14回審査会合で回答。
4	2021/11/11 審査会合	地震、津波、竜巻の評価では、一部の部材の応力評価結果のみが示されているが、基準要求事項としては、告示の条件に対してキャスクの安全機能が損なわれないことであるので、4つの安全機能を担保するキャスクの部材の応力評価結果を示し、安全機能の維持の成立性を定量的に説明すること。また、設計基準値の考え方も説明すること。 さらに、津波、竜巻については、外運搬規則の0.3m落下の衝突荷重と比較している考え方や適切性についても説明すること。	4条,5条, 6条	地震、津波、竜巻の評価については、第16回審査会合資料1-1の中の「2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条、第四条、第五条、第六条）」の説明で回答する。	第16回審査会合で回答。

1. 指摘事項（コメント）リスト

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
5	2021/11/11 審査会合	臨界評価における「技術的に想定されるいかなる場合」について、例えば燃料装荷時の満水状態や、排水時の水位変化などの状態をすべて考慮して臨界防止できることの説明をすること。	16条	Hitz-P24型への燃料装荷から貯蔵施設への搬入、搬出、燃料取出しまでのハンドリングフローを整理し、各取扱いモードにおけるHitz-P24型の条件を踏まえた臨界防止機能の成立性を確認しており、例えば燃料装荷時の満水状態や、排水時の水位変化などの状態等の使用済燃料を収納した条件下で、技術的に想定されるいかなる場合でも中性子実効増倍率が0.95以下となる設計となっていることを確認している。 詳細は、第14回審査会合資料1-1の中の「2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）」の説明の中で回答する。 ⇒P.9～12参照	第14回審査会合で回答。
6	2021/11/11 審査会合	金属ガasket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明確にした上で説明すること。	16条	電中研で実施された金属ガasket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（以下「LMP」という）の関係が整理されており、初期の閉じ込め機能を維持できる限界のLMPが確認されている。Hitz-P24型に対して評価したLMPが上記の限界のLMP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（第十六条）（長期健全性）」の箇所で説明する。 ⇒P.15参照	第20回審査会合で回答。

1. 指摘事項（コメント）リスト

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
7	2021/11/11 審査会合	<p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 	全般	<p>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LMP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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>破壊靱性については、-40°C～200°Cの範囲で破壊靱性試験を実施し、取得したJ_Q値及びJ_{IC}値から問題のないこと確認している。</p> <p>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にて説明する。</p>	第20回審査会合で回答。

1. 指摘事項（コメント）リスト

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
8	2022/2/8 審査会合	<p>臨界防止機能については、減速材（水）がキャスク内に偏在することなく均一に排出できる構造であるとしていることについて、バスケットプレートの構造面の特性等を踏まえて、詳細に説明すること。</p>	16条	<p>Hitz-P24型の取扱いにおいて、使用済燃料を収納した状態での容器内水の水位の変動が想定されるのは、以下の場合である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料装荷後の排水時 ・燃料取出し前の注水時 <p>Hitz-P24型のバスケットは、燃料格子は軸方向に貫通しており、最底部のバスケットプレートの下面側には、燃料格子間及び燃料格子からバスケット外周部につながる溝が設けてあり、ドレンパイプから容器外へ排水される流路となっている。また、水ギャップ部については、最上部及び最下部のバスケットプレートを除く、その間のプレートは軸方向に貫通しており、最上部のバスケットプレートの下面側及び最底部のバスケットプレートの上面側には、水ギャップから近傍の燃料格子につながる溝が設けてあり、燃料格子内の水と同じ流路で排水される設計となっている。</p> <p>そのため、注排水時にバスケット格子内部と水ギャップとの水位差はほとんど生じない。</p> <p>詳細は、第15回審査会合資料1-1（本資料）の中の「4. 指摘事項への回答」の説明で回答する。</p>	第15回審査会合で回答。

1. 指摘事項（コメント）リスト

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
9	2022/2/8 審査会合	除熱機能については、伝熱解析コード（ABAQUS）の適用性について、本申請の特定兼用キャスクと ABAQUS コードの解析機能の検証に用いた定常伝熱試験用供試体との伝熱形態の比較等を踏まえて、詳細に説明すること。	16条	Hitz-P24型と定常伝熱試験用供試体は、主要な構造及び収納物仕様は同等であり、伝熱形態（伝導、放射、対流）は同様である。そのため、定常伝熱試験用供試体の伝熱試験により検証された伝熱解析コード（ABAQUS）の Hitz-P24型への適用性は確認されている。 詳細は、第15回審査会合資料1-1（本資料）の中の「4. 指摘事項への回答」の説明で回答する。	第15回審査会合で回答。
10	2022/2/8 審査会合	第14回審査会合資料1-4の別紙1に記載されている除熱解析の保守性について、保守的となる理由を、感度解析の結果等を踏まえ、より詳細に説明すること。	16条	詳細は、第15回審査会合資料1-1（本資料）の中の「4. 指摘事項への回答」の説明で回答する。	第15回審査会合で回答。
11	2022/11/28 審査会合	許容引張応力S値を設定する上で実施されているクリープ試験について、3000時間までの試験が完了し、10,000時間まで実施することのだが、終了する見通しは立っているのか。 一部の試験が継続中であると型式の承認に影響すると思われる。 クリープ特性の考慮に試験結果が影響する場合は、今後の会合で説明し、申請書のS値を変更する場合は補正すること。	全般	クリープ試験は一部の試験片が未破断であるが、残存する全ての試験片が10,000時間を越えていることから、試験結果を未破断として取扱い、現時点までのデータを用いて、許容引張応力（S値）を補正する。 本件については、「2.指摘事項への回答」で詳しく説明する。	第23回(今回)審査会合で回答。
12	2022/11/28 審査会合	60年の設計貯蔵期間を経てもHZ-A3004はMn系分散相による分散強化とMgによる固溶強化が期待できるとあるが、強度とは別に伝熱機能への影響はないか。	全般	HZ-A3004-H112の熱物性値は、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。 本件については、「2.指摘事項への回答」で詳しく説明する。	第23回(今回)審査会合で回答。

1. 指摘事項（コメント）リスト

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
13	2022/11/28 審査会合	材料の強度基準の妥当性に対して、Mg固容量の減少により固溶強化などの強化機構の低下が強度に影響すると考えられること、Mg固容量と不純物元素の関係が強度に対してどのように考慮されているかについて、文献、シミュレーションおよび機械試験の結果を用いた説明を整理すること。	全般	<p>バスケット用アルミニウム合金の設計用強度（強度基準）の妥当性の説明について、次のように分類して整理した。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 • 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 • 不純物元素の経年変化による材料強度への影響 • 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 • L M Pを用いた過時効熱処理条件の設定 <p>本件については、「2.指摘事項への回答」で詳しく説明する。</p>	第23回(今回)審査会合で回答。
14	2022/11/28 審査会合	バスケットの長期健全性について、熱的に温度に耐えるという記載があるが、強度においてMgの強化機構が長期的に低減すること及びMgの固溶強化の低減が設計強度に反映されているという記載がないので説明を追記すること。	全般	<p>バスケットの長期健全性については、バスケット用アルミニウム合金の設計用強度を規定する際に、経年変化でMgによる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、保守的に設定することとしている。</p> <p>本件については、「2.指摘事項への回答」で詳しく説明する。</p>	第23回(今回)審査会合で回答。

2. 指摘事項（コメント）への回答

指摘事項No.11

指摘事項No.12

指摘事項No.13

指摘事項No.14

指摘事項No.11

許容引張応力S値を設定する上で実施されているクリープ試験について、3000時間までの試験が完了し10,000時間まで実施するとのことだが、終了する見通しは立っているのか。
一部の試験が継続中であると型式の承認に影響すると思われる。クリープ特性の考慮に試験結果が影響する場合は、今後の会合で説明し、申請書のS値を変更する場合は補正すること。

（回答）

クリープ試験は一部の試験片が未破断であるが、残存する全ての試験片が**10,000時間を経過**しており、クリープ速度が定常クリープ域から加速クリープ域に遷移していることから、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**（定常クリープ速度）の**取得が完了**しているものと判断できるため、2023年1月17日（試験時間：12,648h）までのデータを用いて整理し、**許容引張応力（S値）を補正**する。（一部の試験片を未破断として試験を終了）

なお、仮にクリープ試験を試験片が破断するまで継続した場合、試験時間が想定した破断時間を既に超えていることから、このデータを用いて許容引張応力（S値）を評価すると評価値が上昇することとなる。

しかし、バスケットに生じる貯蔵時の発生応力は1MPa未満であり、HZ-A3004-H112は最高使用温度の200℃において15MPa以上の許容引張応力を有することから、**試験結果の一部を未破断として取り扱ったとしても特に設計上の問題とはならない。**

2. 指摘事項（コメント）への回答

（つづき）

クリープ試験結果（破断時間）

供試材 符号	試験温度 [°C]	応力 σ [MPa]	破断時間 [hr]	LMP/1000 (C=14.71)	供試材 符号	試験温度 [°C]	応力 σ [MPa]	破断時間 [hr]	LMP/1000 (C=14.71)	供試材 符号	試験温度 [°C]	応力 σ [MPa]	破断時間 [hr]	LMP/1000 (C=14.71)
D	150	85.5	108.2	7.09	E	150	85.5	133.4	7.12	F	150	85.5	114.6	7.10
	150	77.4	339.3	7.30		150	77.4	370.6	7.31		150	77.4	350.8	7.30
	150	69.3	1152.1	7.52		150	69.3	1000.4	7.49		150	69.3	1125.1	7.52
	200	56.5	91.3	7.89		200	56.5	87.0	7.88		200	56.5	88.8	7.88
	200	50.3	250.4	8.09		200	50.3	247.9	8.09		200	50.3	249.6	8.09
	200	44.3	731.1	8.32		200	44.3	881.7	8.35		200	44.3	686.9	8.30
	200	35.8	5300.2	8.72		200	35.8	6223.5	8.76		200	35.8	5240.7	8.72
	200	30.7	12648(未破断)	8.90		200	30.7	12648(未破断)	8.90		200	30.7	12648(未破断)	8.90
	250	36.7	51.9	8.59		250	36.7	56.8	8.61		250	36.7	51.4	8.59
	250	32.2	133.9	8.81		250	32.2	133.2	8.81		250	32.2	143.5	8.82
	250	27.7	440.5	9.08		250	27.7	448.3	9.08		250	27.7	419.9	9.07
	250	20.5	3962.1	9.58		250	20.5	4301.9	9.60		250	20.5	3585.4	9.56
	250	17.4	12648(未破断)	9.84		250	17.4	12648(未破断)	9.84		250	17.4	11785.6	9.83
	300	23.5	36.6	9.33		300	23.5	34.9	9.32		300	23.5	30.9	9.29
	300	20.1	91.1	9.55		300	20.1	90.2	9.55		300	20.1	88.4	9.55
	300	17.0	281.9	9.84		300	17.0	259.4	9.81		300	17.0	248.9	9.80
	300	11.8	3104.7	10.43		300	11.8	3197.7	10.44		300	11.8	2539.7	10.38
	300	9.8	8304.2	10.68		300	9.8	8116.9	10.67		300	9.8	6036.5	10.60
	300	14.0	843.3	10.11		300	14.0	927.6	10.13		300	14.0	814.9	10.10
	350	14.7	31.0	10.10		350	14.7	26.7	10.06		350	14.7	25.4	10.04
350	12.3	76.9	10.34	350	12.3	67.8	10.31	350	12.3	66.7	10.30			
350	10.2	178.9	10.57	350	10.2	194.2	10.59	350	10.2	176.2	10.57			
350	5.5	5256.3	11.49	350	8.1	744.3	10.96	350	8.1	639.3	10.91			
350	8.1	691.4	10.94	350	5.5	6741.6	11.55	350	6.8	1360.0	11.12			
350	6.8	1538.9	11.15	350	6.8	2021.8	11.23	350	5.5	4689.7	11.45			

注：表中の で囲う試験データは未破断の試験片を示す

2. 指摘事項（コメント）への回答

(つづき)

クリープ試験結果（定常クリープ速度）

供試材 符号	試験温度 [°C]	応力 σ [MPa]	定常クリープ速度 [1/hr]	LMP/1000 (C = 15.31)	供試材 符号	試験温度 [°C]	応力 σ [MPa]	定常クリープ速度 [1/hr]	LMP/1000 (C = 15.31)	供試材 符号	試験温度 [°C]	応力 σ [MPa]	定常クリープ速度 [1/hr]	LMP/1000 (C = 15.31)
D	150	85.5	1.5.E-03	7.67	E	150	85.5	1.3.E-03	7.70	F	150	85.5	1.6.E-03	7.66
	150	77.4	4.1.E-04	7.91		150	77.4	3.9.E-04	7.92		150	77.4	4.0.E-04	7.92
	150	69.3	9.3.E-05	8.18		150	69.3	1.1.E-04	8.15		150	69.3	1.0.E-04	8.17
	200	56.5	1.1.E-03	8.64		200	56.5	1.1.E-03	8.64		200	56.5	1.1.E-03	8.64
	200	50.3	4.2.E-04	8.84		200	50.3	4.0.E-04	8.85		200	50.3	3.8.E-04	8.86
	200	44.3	1.3.E-04	9.08		200	44.3	1.1.E-04	9.12		200	44.3	1.4.E-04	9.07
	200	35.8	2.0.E-05	9.47		200	35.8	1.5.E-05	9.53		200	35.8	1.9.E-05	9.48
	200	30.7	4.8.E-06(未破断)	9.76		200	30.7	4.4.E-06(未破断)	9.78		200	30.7	5.0.E-06(未破断)	9.75
	250	36.7	2.2.E-03	9.40		250	36.7	1.9.E-03	9.43		250	36.7	2.0.E-03	9.42
	250	32.2	8.5.E-04	9.62		250	32.2	9.0.E-04	9.60		250	32.2	8.1.E-04	9.63
	250	27.7	2.8.E-04	9.87		250	27.7	2.8.E-04	9.87		250	27.7	3.1.E-04	9.84
	250	20.5	3.3.E-05	10.35		250	20.5	2.8.E-05	10.39		250	20.5	3.6.E-05	10.33
	250	17.4	9.0.E-06(未破断)	10.65		250	17.4	7.3.E-06(未破断)	10.70		250	17.4	8.60E-06	10.66
	300	23.5	4.0.E-03	10.15		300	23.5	4.6.E-03	10.11		300	23.5	4.5.E-03	10.12
	300	20.1	1.6.E-03	10.38		300	20.1	1.7.E-03	10.36		300	20.1	1.6.E-03	10.38
	300	17.0	5.6.E-04	10.64		300	17.0	5.7.E-04	10.63		300	17.0	6.3.E-04	10.61
	300	11.8	3.9.E-05	11.30		300	11.8	3.7.E-05	11.32		300	11.8	4.8.E-05	11.25
	300	9.8	1.3.E-05	11.58		300	9.8	1.30E-05	11.58		300	9.8	1.5.E-05	11.54
	300	14.0	1.6.E-04	10.95		300	14.0	1.4.E-04	10.98		300	14.0	1.6.E-04	10.95
	350	14.7	5.8.E-03	10.93		350	14.7	6.6.E-03	10.90		350	14.7	7.3.E-03	10.87
350	12.3	2.3.E-03	11.18	350	12.3	2.7.E-03	11.14	350	12.3	2.8.E-03	11.13			
350	10.2	8.3.E-04	11.46	350	10.2	8.8.E-04	11.44	350	10.2	9.6.E-04	11.42			
350	5.5	2.3.E-05	12.43	350	8.1	1.8.E-04	11.87	350	8.1	2.1.E-04	11.83			
350	8.1	1.9.E-04	11.86	350	5.5	1.70E-05	12.51	350	6.8	9.2.E-05	12.06			
350	6.8	7.0.E-05	12.13	350	6.8	6.4.E-05	12.15	350	5.5	2.7.E-05	12.39			

注：表中の で囲う試験データは未破断の試験片を示す

(つづき)

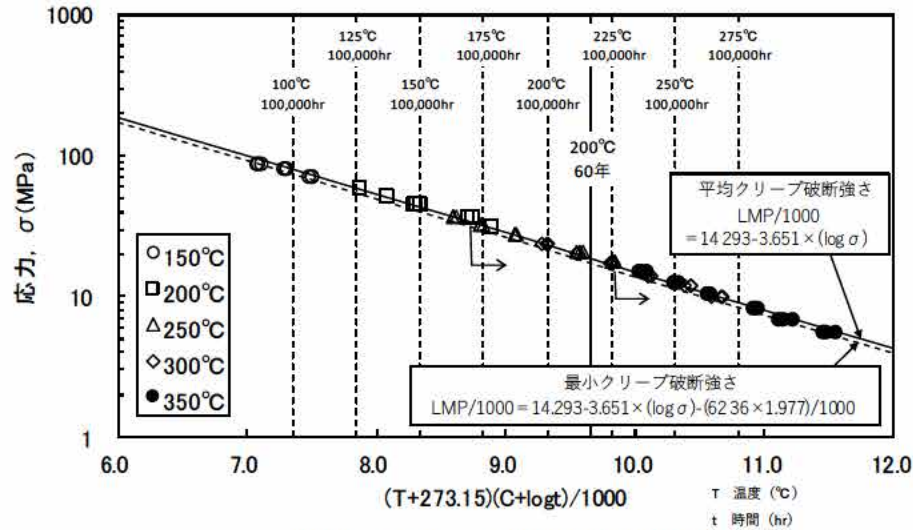


図1 応力-破断時間プロット

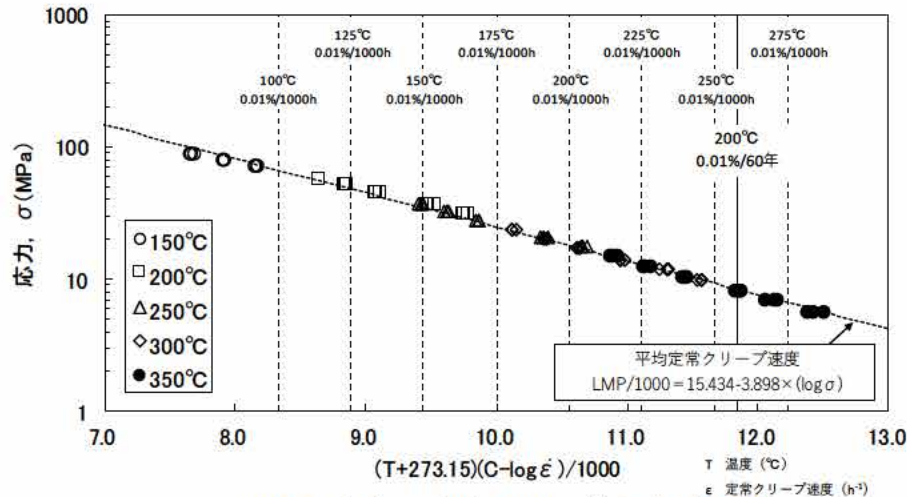


図2 応力-定常クリープ速度プロット

2. 指摘事項（コメント）への回答

（つづき）

材料の各温度における許容引張応力 S **（申請時）**

試験温度[°C] 材料名称	-40 ~ 40	50	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275
HZ-A3004	47	46	46	46	45	37	27	20	15	11	8	6



材料の各温度における許容引張応力 S **（補正值）**

試験温度[°C] 材料名称	-40 ~ 40	50	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275
HZ-A3004	47	46	46	46	45	38	28	20	15	11	8	6

指摘事項No.12

60年の設計貯蔵期間を経てもHZ-A3004はMn系分散相による分散強化とMgによる固溶強化が期待できるとあるが、強度とは別に伝熱機能への影響はないか。

（回答）

アルミニウムの導電率、熱伝導率などの物理的性質は、アルミニウムの純度の影響が大きく、純度が高くなるほど、導電率、熱伝導率は高くなる。[1]

図3にAl-Mg合金の熱伝導率と温度の関係に及ぼすMg添加量の影響を示す。

経年変化によりアルミニウム合金の純度が変化することはなく、熱伝導率などの物理的性質に有意な変化は生じない。

また、熱物性に対する60年の設計貯蔵期間における熱ばく露に伴う過時効の影響については、補足説明資料1-1 9.1項においてHZ-A3004-H112の初期材と過時効熱処理材の熱物性値が試験で確認されており、試験結果から**初期材と過時効熱処理材の熱物性値に有意な差のないことを確認している。**

図4にHZ-A3004-H112の初期材と過時効熱処理材の熱伝導率と温度の関係を示す。

したがって、熱物性に対する60年の設計貯蔵期間における熱ばく露に伴う過時効の影響は、無視し得るほどに小さいと推察されることから**伝熱機能への影響はない。**

(つづき)

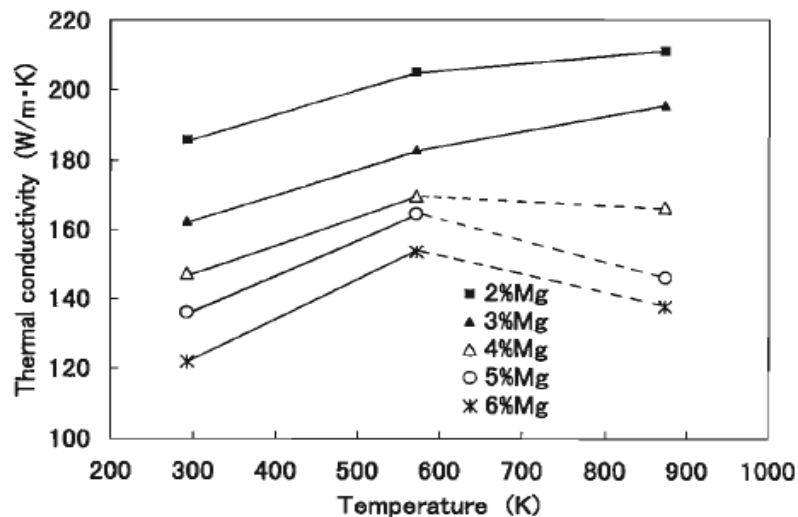


図3 Al-Mg合金の熱伝導率と温度の関係に及ぼすMg添加量の影響 [2]

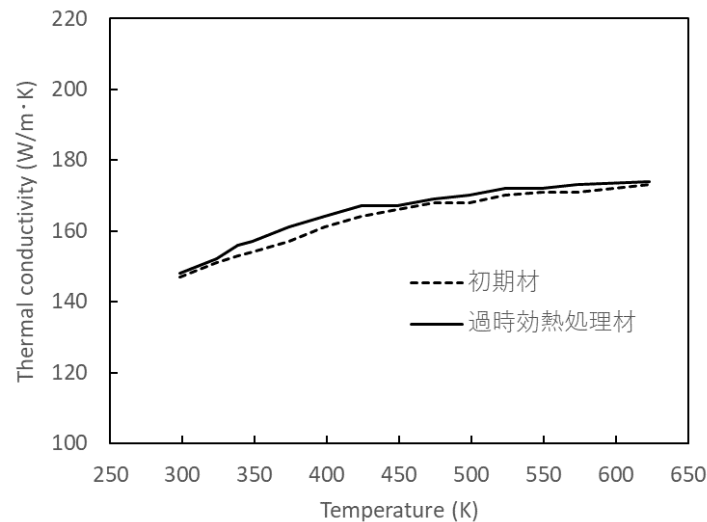


図4 HZ-A3004-H112の初期材と過時効熱処理材の熱伝導率と温度の関係

指摘事項No.13

材料の強度基準の妥当性に対して、Mg固容量の減少により固溶強化などの強化機構の低下が強度に影響すると考えられること、Mg固容量と不純物元素の関係が強度に対してどのように考慮されているかについて、文献、計算材料科学および機械試験の結果を用いた説明を整理すること。

（回答）

バスケット用アルミニウム合金の設計用強度（強度基準）は、設計貯蔵期間経過後を模擬した供試材の機械試験により保守的に規定した。この供試材の材料強度の保守性については、以下の項目に分類し妥当性を説明する。

- ① **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**
- ② **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**
- ③ **不純物元素の経年変化による材料強度への影響**
- ④ **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**
- ⑤ **LMPを用いた過時効熱処理条件の設定**

2. 指摘事項（コメント）への回答

（つづき）

バスケット用アルミニウム合金の課題

【バスケット用アルミニウム合金の長期健全性の課題】

- ・使用温度環境：200℃→100℃
- ・設計貯蔵期間：60年
- ・アルミニウム合金の経年変化による強度低下（過時効、析出等）

【JSME 金属カスクバスケット用アルミニウム合金事例規格の廃止】

- ・破壊靱性及び耐衝撃特性に関する懸念
- ・強度設定に関する懸念
- ・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および事例規格廃止

【3000系アルミニウム合金の経年変化の課題】

- ・200℃→100℃×60年の条件は過時効を考慮する必要がある
- ・平衡固溶度を越えたMgの析出によりMg固溶量が減少する(①)
- ・母相中のMg固溶量が減少するとMgによる固溶強化が低下する(①)
- ・Mgの平衡固溶度は温度に依存し、固相では温度の上昇に伴って増加する(①) → 高温では平衡固溶度が増加するため加速試験が困難
- ・Mn系析出物のAl₆(Mn,Fe)は、過時効熱処理で模擬することが可能だが、析出物が粗大化すると分散強化が期待できない(②)
→ 組織観察でMn系析出物の粗大化を確認する必要がある
- ・析出物が粗大化すると靱性や強度が劣化する恐れがある(②)
- ・Si,Cu,Zn等の不純物元素はMg固溶量を減少させる要因になる(③)
→ 不純物元素の添加許容値を低く設定する必要がある

バスケット用アルミニウム合金の設計用強度

【HZ-A3004（規格材）】

- ・過時効後もMgによる固溶強化とMn系析出物による分散強化が期待できる
- ・JIS H 4000規格の範囲内の化学成分を設定
→ 製造性の合理性確保
- ・Mgの固溶量を減少させる恐れがあることから、Si、Cu、Zn等の不純物元素の添加許容値を低く設定

【機械試験用供試材】

- ・設計貯蔵期間経過後のMg固溶量を推定し、設計貯蔵期間経過後に固溶強化として寄与すると推定されるMgが最小値となるMg添加量に調整
- ・設計貯蔵期間の熱ばく露に伴う過時効条件（200℃→100℃×60年）を過時効熱処理 [] により模擬

【材料試験】

- ・設計用強度の指標となる常温および高温引張試験の試験片に機械試験用供試材を用いて保守的な試験データを取得
- ・その他の物性試験やJ_{1C}破壊靱性試験等では規格材の初期材および規格材に過時効熱処理を施したものを使用
- ・J_{1C}破壊靱性試験で靱性を有することを確認

【設計用強度の規定】

- ・JSME新規材料採用ガイドラインに準拠

【設計貯蔵期間経過後のMg固溶量の推定】

- ・計算材料科学 [] によりMg固溶量を推定(④)
→ 既知試験文献および過時効熱処理実験により妥当性を確認

【過時効熱処理条件の設定】

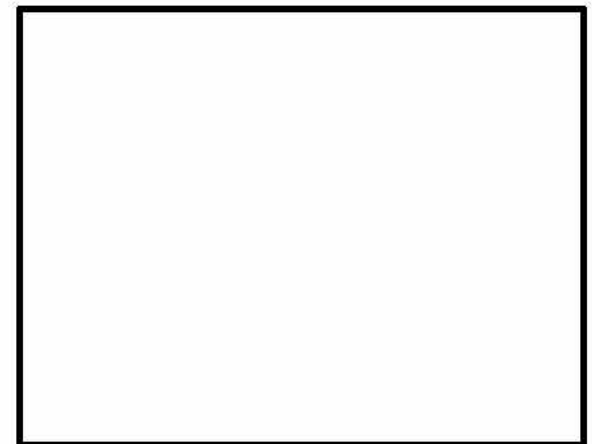
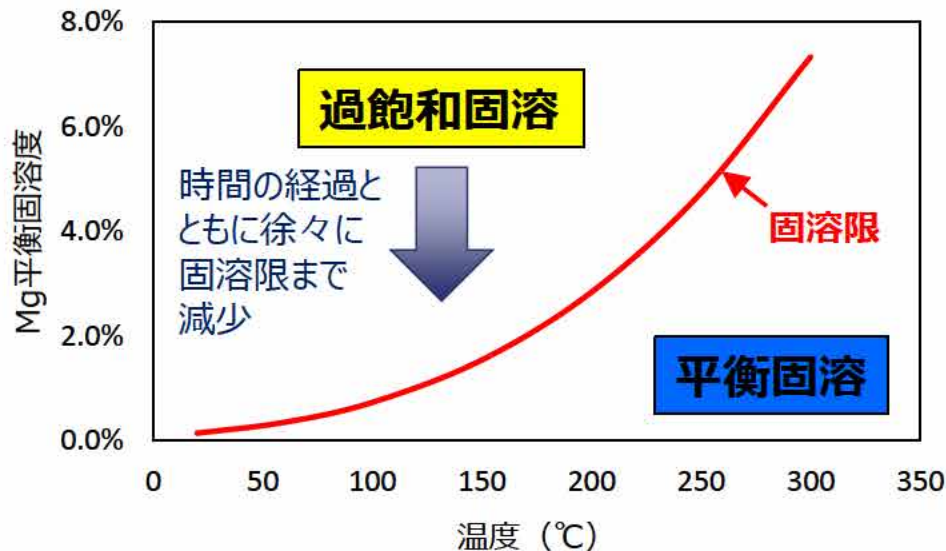
- ・LMPにより過時効熱処理の加熱温度、加熱時間を設定(⑤)
- ・Mnの再固溶を懸念し加熱温度を300℃未満に設定

(つづき)

【① 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】

アルミニウム合金の母相中に過飽和に固溶されたMgは、時間の経過とともに固溶限まで減少する。Mg固容量の減少に伴いMg固溶強化が低下し、材料強度が低下する恐れがある。また、固溶限を越えるMgは、 Mg_2Si などの金属間化合物を形成して析出する。

考え方



3004合金のマイクロ組織
(参考文献 [3])

Mg固容量の減少によるMg固溶強化の低下を考慮する必要がある

参考文献

文献 [3] では、3003合金に1%程度Mgを固溶強化させたものが3004合金であり、3004合金の鋳塊の組織から Mg_2Si と $Al_6(Mn,Fe)$ 相が観察されている。
 文献 [4] では、長時間の熱処理によりMgの固容量が減少すること、及び平衡固溶度の温度依存性が説明されている。
 文献 [5] では、固溶強化元素が長時間の熱処理により析出し、平衡固溶容量程度まで減少することが説明されている。

2. 指摘事項（コメント）への回答

（つづき）

【② 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】

<p>考え方</p>	<p>アルミニウム合金に添加されたMnとFeから生成する$Al_6(Mn,Fe)$は、製造過程で析出し、粗大化しなければ、設計貯蔵期間経過後も分散強化として材料強度に寄与することが期待できる。</p> <p>$Al_6(Mn,Fe)$は、過時効熱処理（300℃未満）による模擬が可能であり、粗大化しないことをHZ-A3004-H112の熱処理有無の組織観察で確認している。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="309 571 927 971"> <p>Al-Mn平衡状態図 (参考文献 [3])</p> </div> <div data-bbox="985 556 1429 871"> <p>色の濃い部分が$Al_6(Mn,Fe)$などのMn系析出物</p> <p>100μm</p> <p>HZ-A3004マイクロ組織 (熱処理なし)</p> </div> <div data-bbox="1468 571 1758 642"> <p>粗大化しない</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="869 999 1294 1113"> <p>$Al_6(Mn,Fe)$の分散強化が期待できる</p> </div> <div data-bbox="1371 671 1816 999"> <p>100μm</p> <p>HZ-A3004マイクロ組織 (熱処理あり)</p> </div> </div>
<p>参考文献</p>	<p>文献 [3] では、3003合金において製造時の熱処理終了段階までに固溶Mnの大半がMn系金属間化合物として析出することが説明されている。また、Al-Mn二元系平衡状態図からMnは300℃以下でほとんど固溶しないため、Mn系析出物が平衡相となることが読み取れる。</p> <p>文献 [5] では、析出物の粗大化により強化機構が失われること、及びMn系金属間化合物の分散析出による強化が、長時間熱時効後も有効であることが説明されている。</p>

2. 指摘事項（コメント）への回答

（つづき）

【③ 不純物元素の経年変化による材料強度への影響】

HZ-A3004-H112は、不純物元素（Si、Fe、Cu、Zn）による強化に期待しておらず、**Si、Cu、Znなどの不純物元素がMgと金属間化合物を形成**する場合、不用意に母相中の**Mg固容量が減少し、材料強度が低下**する恐れがある。

したがって、**不純物元素の添加許容値は、製造可能な範囲で低く設定**している。

微量の不純物元素からなる金属間化合物の体積率は、Si、Cu、Znの添加量に律速されることから微小であり、**強度特性に与える影響は無視し得るほどに小さい**と考えられる。

考え方

JIS H 4000 A3004 化学成分（質量%）

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	その他		Al
						個々	合計	
0.30 以下	0.7 以下	0.25 以下	1.0 ~1.5	0.8 ~1.3	0.25 以下	0.05 以下	0.15 以下	残部



不純物元素の
添加許容値を
低く設定

HZ-A3004-H112 化学成分（質量%）

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	その他		Al
						個々	合計	
0.15 以下	0.7 以下	0.05 以下	1.1 ~1.5	1.0 ~1.3	0.05 以下	0.05 以下	0.15 以下	残部



HZ-A3004-H112の析出物の体積変化
(200°C×60年)

不純物元素の体積率は微小で影響は小さい

参考文献

文献 [3] では、3004合金の鋳塊の組織からMgとSiで形成される金属間化合物のMg₂Siが観察されている。
文献 [6] では、Al-Zn-Mg-Cu系合金における、Mg₃Zn₃Al₂やAl₂CuMg等のMgを含む金属間化合物の生成が説明されている。

2. 指摘事項（コメント）への回答

(つづき)

【④ 計算材料科学による、経年変化に伴って減少するMg固溶量の推定方法】

<p>考え方</p>	<p>計算材料科学における [] 実験データに基づく熱力学データベースと平衡論に基づいた理論計算を組み合わせ、実験値を模擬した多元系の計算状態図を計算することが可能である。 []</p> <p>[] 析出物の核生成、成長及び粗大化を予測する手法であり、 [] 計算状態図に基づいて、合金成分、保持温度及び時間などから元素の固溶量や析出物の体積率の時間変化を計算することが可能である。</p> <p>したがって、 [] HZ-A3004-H112の設計貯蔵期間経過後のMg固溶量を推定することが可能であると考えられる。</p> <div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div> <p>HZ-A3004-H112の200℃過時効熱処理に伴うMg固溶量の変化（実験結果と計算結果の比較）</p> <p>HZ-A3004-H112及び機械試験用供試材の熱処理に伴うMg固溶量変化に関する計算結果</p>
<p>参考文献</p>	<p>文献 [7] では、 [] により実験データに基づいた様々な材料定数から、実験値を模擬した状態図を計算することが可能であることが記載されている。</p> <p>文献 [8] では、Al-Mg二元系状態図について、 [] で得られた計算状態図と実験結果がよく一致することを確認している。</p> <p>文献 [9] では、 [] により金属中の析出物の成長の時間依存性を計算し、実験と比較した結果が説明されており、 [] 長時間の熱処理に伴う析出物の成長予測が実験値をよく模擬できていることを確認している。</p>

2. 指摘事項（コメント）への回答

（つづき）

【⑤ LMPを用いた過時効熱処理条件の設定（1 / 2）】

<p>考え方</p>	<p>アレニウスの式は、ある温度での化学反応の速度を予測する式であり、この式に基づく Larson-Miller パラメータ（以下「LMP」という。）は、金属材料のクリープ試験の評価などに用いられている。</p> <p>過時効熱処理条件は、60年の設計貯蔵期間に相当するLMPを求め、このLMPから供用温度より高い温度の加熱時間を求める。LMPは以下により与えられる。</p> $\text{LMP} = T [\text{温度}] \times (\log t [\text{時間}] + C [\text{材料定数}])$ <p>材料定数Cに14を用いた計算の結果から、200℃×60年のLMPは9331であり、200→100℃×60年のLMPは8899となった。</p> <p>過時効熱処理温度は、300℃以上になるとMnが母相中に再固溶する可能性があるため、加熱温度を300℃未満の <input type="text"/> とし、保守的に200℃×60年のLMP = 9331に基づいて計算した結果、<input type="text"/> で等価となる加熱時間は<input type="text"/> だったことから、保持時間を保守的に<input type="text"/> とした。この過時効熱処理により、T相（Al-Cu-Mg-Zn）を除く、Mg₂SiやAl₆(Mn,Fe)などの析出状態が模擬可能であると考えられる。</p> <p style="text-align: center;">過時効熱処理条件 <input type="text"/> を設定</p>
<p>参考文献</p>	<p>文献 [10] では、アレニウスの式は温度の上昇とともに増大する化学反応や拡散などの輸送現象の速度、及び活性化エネルギーの関係から、ある化学反応の速度を予測する式であり、LMPは反応速度論の観点から温度と時間を一つのパラメータで整理する方法であることが説明されている。</p> <p>文献 [3] では、3003合金において製造時の熱処理終了段階までに固溶Mnの大半がMn系金属間化合物として析出することが説明されている。また、Al-Mn二元系平衡状態図からMnは300℃以下でほとんど固溶しないため、Mn系析出物が平衡相となることが読み取れる。</p>

2. 指摘事項（コメント）への回答

(つづき)

【⑤ LMPを用いた過時効熱処理条件の設定（2 / 2）】

<p>考え方</p>	<p>【LMPの材料定数Cについて】</p> <p>（独）原子力安全基盤機構は、A1100-O材のクリープデータからLMPの材料定数C = 14を導出している。^[9] 材料定数Cは鉄鋼材料などでは一般的に20が用いられ、材料強度が高くなるほど大きくなる傾向がある。</p> <p>HZ-A3004-H112の材料定数Cは、クリープ試験の結果、14.71～15.31程度と考えられるが、過時効熱処理の条件設定においては、反応速度論を保守的に考慮し、強度の低い工業用純アルミニウムであるA1100-O材のクリープデータから導出された材料定数C = 14を採用することとしている。</p> <div data-bbox="629 676 1340 1153" style="border: 1px solid black; width: 368px; height: 334px; margin: 20px auto;"></div> <p style="text-align: center;">アルミ材のクリープデータに基づく LMP定数の同定^[11]</p>
<p>参考文献</p>	<p>文献 [11] では、A1100-OのクリープデータからLMPの材料定数Cの値に14を導出したことが説明されている。</p>

2. 指摘事項（コメント）への回答

指摘事項No.14

バスケットの長期健全性について、熱的に温度に耐えるという記載があるが、強度においてMgの強化機構が長期的に低減すること及びMgの固溶強化の低減が設計強度に反映されているという記載がないので説明を追記すること。

（回答）

アルミニウム合金に添加されたMgは母相中に固溶され、過飽和に固溶されたMgは時間の経過とともに平衡固溶度まで徐々に減少し、固溶限を超えるMgはMg₂Si等の金属間化合物を形成して析出する。これに伴い、過飽和から平衡固溶度まで**Mg固溶量が減少**することにより、**Mgによる固溶強化が低下**し、材料強度が低下する恐れがある。[3] [4]（時間の経過に伴って強度が低下する現象を過時効という）

HZ-A3004について、設計貯蔵期間中の熱ばく露に伴う過時効条件（200℃→100℃×60年）に伴って、Mgによる固溶強化の低下を模擬したものが、機械試験用供試材に過時効熱処理 を施したものであり、**設計用強度の設定**については、**過時効条件を模擬した機械試験用供試材を材料試験**に用いることにより、**Mgによる固溶強化が低下した（過時効）HZ-A3004-H112の強度を包絡**できるものと考えられる。

したがって、HZ-A3004-H112の長期健全性に係る説明では、「**HZ-A3004の設計用強度は、設計貯蔵期間中の熱ばく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ばく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に設定する。**」との記載を追記する。

2. 指摘事項（コメント）への回答

(つづき)

No.	参考文献
[1]	遠藤昌也, 渡辺英雄, 高純度アルミニウム, 軽金属, 第61巻 第5号, (2011), p226-p236
[2]	長海博文, Al-Mg合金の高温物性値に及ぼすMg添加量の影響, 軽金属, 第50巻 第2号, (2000), p49-p53
[3]	鈴木寛, Al-Mn系合金, 軽金属, アルミニウムの組織と性質, (1991), 付録p119-p130
[4]	天野英隆, 小松伸也, 池田勝彦, 河本知広, アルミニウム中のMgの523K以下での平衡固溶度, 軽金属, 第52巻 第5号, (2002), p210-p215
[5]	茂山治久, 高橋由紀夫, 三浦直樹, 巨真澄, 金属キャスクバスケット用アルミニウム合金の強度特性と熱時効の影響に関する基礎的検討, (一財) 電力中央研究所, Q17007, (2018.4)
[6]	小椋智, 里達雄, Al-Zn-Mg系合金, 軽金属, アルミニウムの組織と性質, (1991), 付録p196-p207
[7]	
[8]	
[9]	
[10]	(社) 日本熱処理技術協会, 熱処理用語辞典, 日刊工業新聞社, (2002), p10-p11 p453
[11]	金属キャスク貯蔵技術確証試験報告書 (1 / 3), (独) 原子力安全基盤機構, (2004), p269 p292

3. 補正申請における主な変更点について

3. 補正申請における主な変更点について

補正申請における主な変更点を以下に示す。

No.	申請書の内容	補正での変更内容	変更理由	対応状況
1	貯蔵施設における特定兼用キャスク 周囲温度 最低温度 -11℃	貯蔵施設における特定兼用キャスク 周囲温度 最低温度：-20℃	特定の施設を前提としない条件とするため	2/16審査会合で説明 (P. 32参照)
2	—	No. 1 の最低温度の変更を反映した 閉じ込め機能の評価	最低温度を変更したため	2/16審査会合で説明 (P.33参照)
3	設計貯蔵期間中に本体内部が負 圧維持されることを評価	設計貯蔵期間中に本体内部を負 圧維持できる漏えい率（基準漏え い率）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	基準適合性説明の適正化 （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ため）	第15回審査会合で説明済み (P.33参照)
4	—	設計飛来物の追記	評価条件の明確化のため	第16回審査会合で説明済み (P.34参照)

3. 補正申請における主な変更点について

第13回審査会合 資料 1 – 1 「貯蔵施設における特定兼用キャスク周囲温度 最低温度」の 変更箇所

- Hitz-P24型を使用することができる範囲又は条件
以下に示す条件により設計された特定兼用キャスクを使用することができる貯蔵施設であること。

項目	範囲又は条件
特定兼用キャスクの設計貯蔵期間	60年以下
特定兼用キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内
特定兼用キャスクの貯蔵姿勢	基礎等に固定する設置方法（縦置き）
特定兼用キャスクの固定方法	下部トラニオン固定
貯蔵施設における特定兼用キャスク 周囲温度	最低温度 <u>-20°C</u> 最高温度 50°C
貯蔵施設における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65°C
地震力	加速度 水平2300Gal及び鉛直1600Gal 又は 速度 水平2m/s及び鉛直1.4m/s
津波荷重の算出条件	浸水深 10m 流速 20m/s 漂流物質量 100t
竜巻荷重の算出条件	風速 100m/s

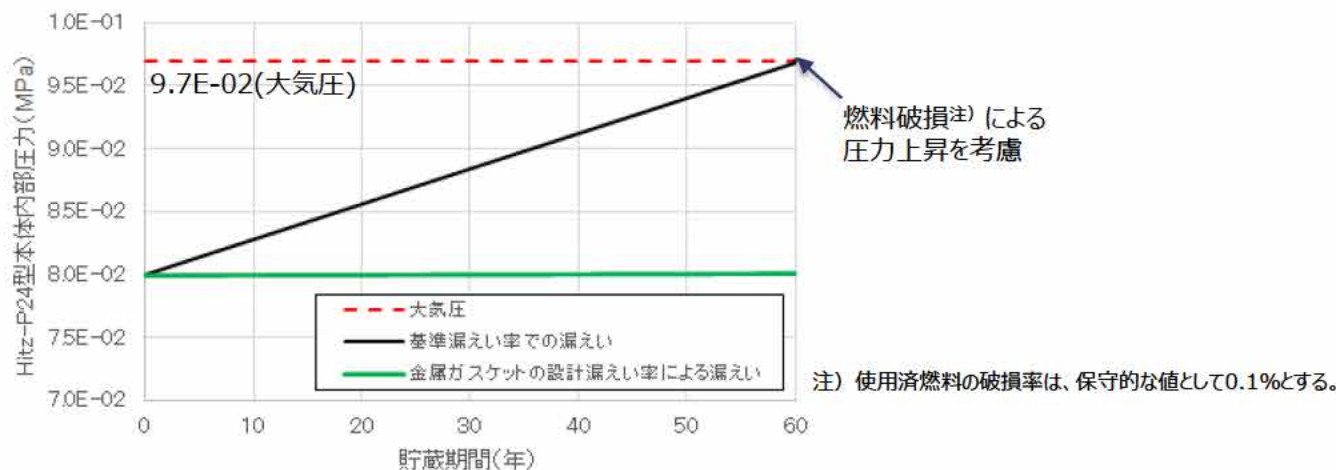
3. 補正申請における主な変更点について

第15回審査会合 資料 1 – 1 「最低温度の変更に伴う閉じ込め機能の評価」の変更箇所
「設計貯蔵期間中に本体内部が負圧維持されることを評価」の変更箇所

● 閉じ込め評価結果

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、小さいことを確認した。

基準漏えい率 (Pa・m ³ /s)	金属ガスケットの性能 (Pa・m ³ /s)
2.31×10^{-6}	1.0×10^{-8} 以下



Hitz-P24型本体内部圧力の経時変化

以上のとおり、設計貯蔵期間中に特定兼用キャスク本体内部を負圧に維持できる設計としている。また、一次蓋と二次蓋の間の圧力を監視できる構造としている。したがって、Hitz-P24型の閉じ込め機能に係る設計方針は妥当である。

3. 補正申請における主な変更点について

第16回審査会合 資料1-1 「設計飛来物の評価条件」の追記箇所

● 審査ガイドの確認内容

審査ガイド(注1)の確認内容に対するHitz-P24型の外部からの衝撃による損傷の防止に対する設計方針を下表に示す。

確認内容		外部からの衝撃による損傷の防止に対する設計方針	先行型式との比較(注3)
竜巻による作用力		兼用キャスク告示(注2)で定める竜巻を考慮。 ・最大風速100m/sとして設計荷重を設定 ・設計飛来物は「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」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	承認を受けたMSF-24P(S)型・HDP-69BCH(B)型と同じ 承認を受けたMSF-24P(S)型・HDP-69BCH(B)型と同じ
基本方針	安全機能維持	竜巻による作用力に対してその安全機能が維持されるよう設計する。	承認を受けたMSF-24P(S)型・HDP-69BCH(B)型と同じ
設計方針	飛来物の衝突荷重	飛来物の圧潰挙動を無視し、Rieraの式を用いて算出	承認を受けたMSF-24P(S)型・HDP-69BCH(B)型と同じ
	評価方法	既往の研究事例や機能確認試験等の結果との対比、FEM解析に基づく応力評価等により実施。	承認を受けたMSF-24P(S)型・HDP-69BCH(B)型と同じ考え方

(注1) 「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

(注2) 「兼用キャスクが安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示」

(注3) 詳細は、「参考2. 承認を受けたキャスクとの違い (Hitz-B52型・MSF-24P(S)型・HDP-69BCH(B)型)」参照。

(補足) 「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」解説表4.1に示される飛来物は、第16回審査会合 資料1-5の表1のとおりである。

4. 補正申請における記載の適正化について

4. 補正申請における記載の適正化について

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（HZ-A3004-H112）の製造管理規定に定める機械的性質の記載の適正化

申請書 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、**機械試験用供試材（過時効熱処理材）**の試験結果99%信頼下限値を誤って記載していたことから訂正する。

材料名称	項目	試験方向	n数	試験結果 平均値	標準偏差	99%信頼 下限値
HZ-A3004-H112 (初期材)	引張強さ(MPa)	L	18	188	2.7	180
		T	18	184	2.8	176
	0.2%耐力(MPa)	L	18	89	1.5	84
		T	18	92	1.6	87
	伸び(%)	L	18	22	0.5	20
		T	18	20	0.4	18
機械試験用供試材 (過時効熱処理材)	引張強さ(MPa)	L	18	175	1.2	172
		T	18	170	1.0	166
	0.2%耐力(MPa)	L	18	81	0.8	78
		T	18	82	0.6	81
	伸び(%)	L	18	24	0.4	22
		T	18	22	0.5	20

正しい適用

誤って適用

4. 補正申請における記載の適正化について

正しくは、**HZ-A3004-H112（初期材）**の試験結果99%信頼下限値のうち、JIS H 4000に定められた試験方向（L方向）の値が製造管理上の取扱いとして適切であり、別添1（別添1-1-8ページ 表4.1）の記載を以下のように適正化する。

表4.1 機械的性質

引張強さ MPa	耐力 MPa	伸び %
166 以上	78 以上	15以上



表4.1 機械的性質

引張強さ MPa	耐力 MPa	伸び %
180 以上	84 以上	15以上

5. 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

5. 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

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（2022年11月29日）で提出した資料に不整合があったため、訂正し記載を適正化する。

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で提出した「資料1-1」と「資料1-3 補足説明資料1-1 別紙1」において、バスケット用アルミニウム合金のHZ-A3004-H112（以下、HZ-A3004という。）規格材と機械試験用供試材の各温度の引張強さの比較の記載に以下の不整合があった。

資料1-1

材 料	引張強さ[MPa]		
	20℃	100℃	200℃
HZ-A3004 – 初期材	184.3	177.9	115.8
機械試験用供試材 – 過時効熱処理材	170.1	163.1	109.2



不整合

資料1-3

別紙1-17表 HZ-A3004（初期材）及び機械試験用供試材（過時効熱処理材）の試験温度と引張強さの関係 [MPa]

材料	試験温度		
	常温	100℃	200℃
①HZ-A3004 (初期材)	186.3	177.9	115.8
②機械試験用供試材 (過時効熱処理材)	172.9	166.1	111.0
①と②の差分	13.4	11.8	4.8

5. 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

HZ-A3004規格材と機械試験用供試材の各温度の引張強さの比較における「資料1-1」の記載値は、試験方向（T方向）を限定した試験結果の平均値であり、「資料1-3 補足説明資料1-1 別紙1」における記載値は、試験方向を限定せず、全ての試験結果の平均値を記載していたため不整合が生じていた。

不整合を是正するため、記載値は試験方向（T方向）を限定した試験結果の平均値に統一し、「資料1-3 補足説明資料1-1 別紙1」の記載を以下の通り適正化する。

資料1-3

別紙1-16表 HZ-A3004（初期材）及び機械試験用供試材（過時効熱処理材）の試験温度と0.2%耐力の関係 [MPa]

材料		試験温度		
		常温	100℃	200℃
①HZ-A3004	(初期材)	90.8 92.3	95.1 95.1	86.0 86.0
②機械試験用供試材	(過時効熱処理材)	82.2 82.9	86.0 86.8	78.1 78.6
①と②の差分		8.6 9.4	9.1 8.3	7.9 7.4

別紙1-17表 HZ-A3004（初期材）及び機械試験用供試材（過時効熱処理材）の試験温度と引張強さの関係 [MPa]

材料		試験温度		
		常温	100℃	200℃
①HZ-A3004	(初期材)	186.3 184.3	177.9 177.9	115.8 115.8
②機械試験用供試材	(過時効熱処理材)	172.9 170.1	166.1 163.1	111.0 109.2
①と②の差分		13.4 14.2	11.8 14.8	4.8 6.6

5. 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

HZ-A3004（初期材）の常温および高温引張試験結果

材料	熱処理	供試材	方向	0.2%耐力(MPa)			引張強さ(MPa)		
				RT	100°C	200°C	RT	100°C	200°C
HZ-A3004	初期材 (H112)	A	L	88	/	/	187	/	/
				88			186		
				88			188		
				87			186		
				86			185		
				87			186		
				87			186		
			T	90	93	84	181	175	114
				90	93	84	182	176	115
				90	93	84	180	176	114
				90	/	/	181	/	/
				90	/	/	181	/	/
				90	/	/	181	/	/
				90	/	/	188	/	/
		B	L	90	/	/	188	/	/
				91	/	/	187	/	/
				90	/	/	186	/	/
				90	/	/	187	/	/
				90	/	/	186	/	/
				91	/	/	186	/	/
			T	94	96	87	184	178	115
				94	96	87	184	177	116
				94	97	87	186	177	116
				94	/	/	183	/	/
		C	L	94	/	/	185	/	/
				94	/	/	184	/	/
				91	/	/	193	/	/
				90	/	/	190	/	/
				90	/	/	192	/	/
				91	/	/	192	/	/
90	/			/	191	/	/		
90	/			/	193	/	/		
T	93		96	87	188	181	117		
	93		96	87	189	181	117		
	93		96	87	186	180	118		
	93		/	/	188	/	/		
	93		/	/	188	/	/		
	93		/	/	187	/	/		








機械試験用供試材（過時効熱処理材）の常温および高温引張試験結果

材料	熱処理	供試材	方向	0.2%耐力(MPa)			引張強さ(MPa)		
				RT	100°C	200°C	RT	100°C	200°C
機械 試験用 供試材	過時効 熱処理材	D	L	83	86	77	175	168	112
				83	86	78	175	167	112
				83	86	78	175	167	112
				81	85	77	174	168	111
				82	85	78	173	167	112
				82	85	78	174	167	112
				82	85	78	174	167	112
			T	84	88	79	169	164	108
				84	87	79	169	162	108
				84	88	79	169	162	109
				83	87	79	169	162	108
				83	87	78	169	162	108
				83	87	79	170	161	108
				83	87	79	170	161	108
		E	L	82	85	78	178	171	114
				81	85	78	176	172	114
				82	85	78	176	171	114
				81	85	77	176	170	114
				80	84	77	176	170	113
				80	84	78	176	169	114
			T	83	86	79	171	164	111
				82	87	79	171	164	111
				83	86	78	169	164	110
				82	86	78	173	163	110
		F	L	82	86	78	171	164	110
				82	86	78	171	164	110
				81	85	78	176	170	113
				81	85	77	177	169	113
				81	85	77	176	170	113
				81	85	77	177	170	113
81	85			77	177	169	113		
81	85			77	176	170	113		
T	83		87	79	170	163	110		
	83		87	79	170	164	109		
	83		87	79	170	164	109		
	83		87	78	170	163	109		
	83		87	78	171	163	109		
	83		86	78	170	163	109		

6. 今後の説明スケジュール

6. 今後の説明スケジュール

- 審査での説明スケジュールを以下に示す。

条項	2021年度		2022年度			
	9月～12月	1月～3月	4月～6月	7月～9月	10月～12月	1月～3月
全般	▼9/16申請					▽補正
型式証明申請の概要	 ▼11/11 審査会合					
バスケット用材料 アルミニウム合金の説明						▼11/29 審査会合
4条 地震による損傷の防止						▼6/30 審査会合
5条 津波による損傷の防止						▼6/30 審査会合
6条 外部からの衝撃による 損傷の防止						▼6/30 審査会合
16条 燃料体等の取扱施設 及び貯蔵施設						▼11/29 審査会合
		▼2/8 審査会合	▼3/29 審査会合	▼6/30 審査会合		

【参考資料】

計算材料科学における に基づいて、
 状態図を予測する手法である。

実験値を模擬した状態図を計算することが可能である。[1]

以下の例は、Al-Mg二元系平衡状態図について、 による計算結果と実験結果の比較を示しており [2]、計算状態図が実験値とよく一致していることから、 による平衡状態図の計算は妥当と考えられる。

HZ-A3004-H112は、 により析出物の種類や生成温度を推定している。



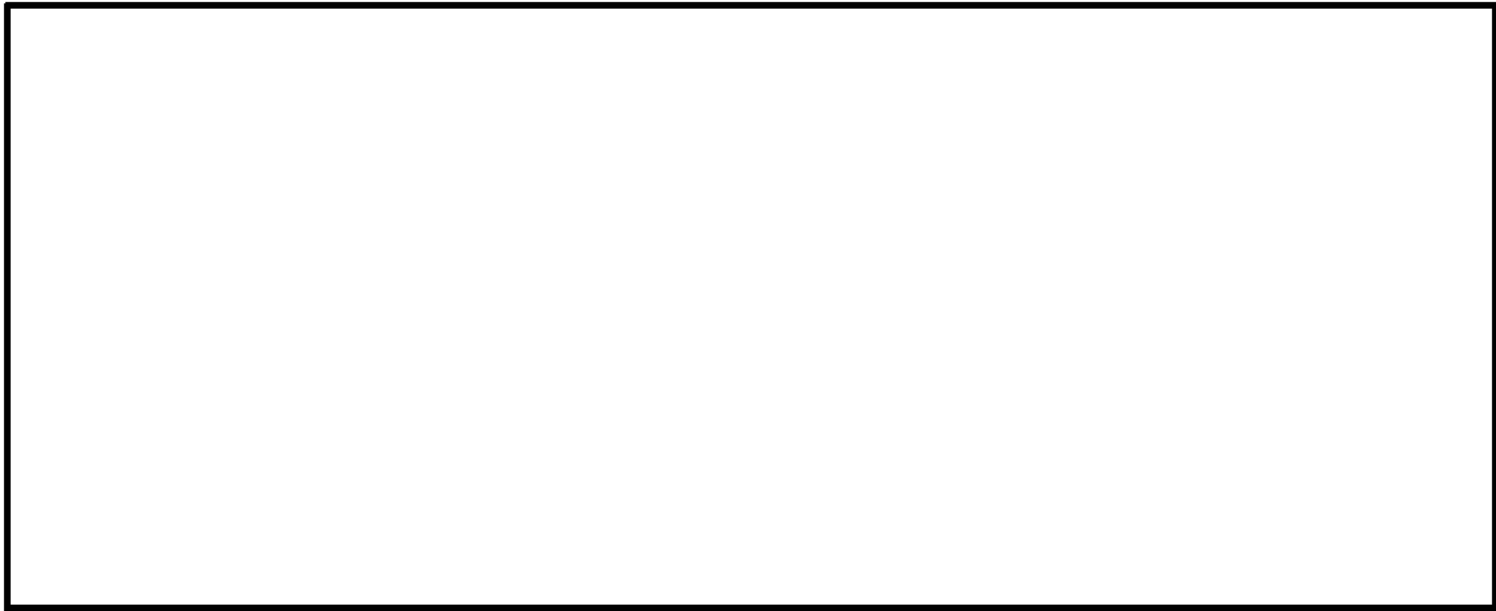
図5 Al-Mg二元系平衡状態図における計算状態図と実験結果の比較 [2]

計算材料科学における [] [3] [4]

[] 析出物の核生成、成長および粗大化を予測する手法であり [5]、 []
[] 状態図に基づいて、合金成分、保持温度及び時間などから、析出物の核生成、成長、粗大化を計算することにより、母相における元素の固容量や析出物の体積率などの時間変化が得られる。 [7]

以下の例は、10.5mass%Cr耐熱鋼における炭化物 ($M_{23}C_6$) について、 []
[] と実験結果の比較を示している。 [6]

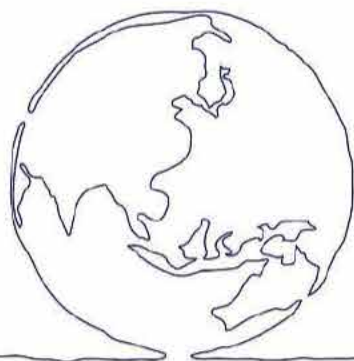
[] 長時間の熱処理に伴う析出物の成長予測は
実験値をよく模擬できており、 [] 析出物の成長予測は妥当と考えられる。



2. 指摘事項（コメント）への回答

(つづき)

No.	参考文献
[1]	
[2]	
[3]	
[4]	
[5]	
[6]	



地球と人のための技術をこれからも

日立造船はつないでいきます。かけがえのない自然と私たちの未来を。

Hitz
Hitachi Zosen

日立造船株式会社 <https://www.hitachizosen.co.jp/>

無断複製・転載禁止 日立造船株式会社