

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 バスケット用アルミニウム合金の概要

2022.08.25
日立造船株式会社

目次

1. バスケット用アルミニウム合金に係る提出資料の概要
2. 化学成分、物性および機械的性質
3. 材料試験の項目
4. 経年変化の考慮方法の概要
5. 設計基準
6. 今後の説明スケジュール

1. バスケット用アルミニウム合金に係る提出資料の概要

1. バスケット用アルミニウム合金に係る提出資料の概要

- 型式証明申請書 別添1-1

バスケット用材料 アルミニウム合金（HZ-A3004-H112）に関する説明書（提示済み）

- 本書は、特定兼用キャスクのバスケットに適用するアルミニウム合金（HZ-A3004-H112）の材料規定および製造管理規定を説明するものであり、特に材料規定では、化学成分、各温度における設計応力強さ、許容引張応力、設計降伏点、設計引張強さ等、材料の物性及び機械的性質を示しており、製造管理規定では、製造時の機械的性質および製造可能寸法等を示している。

- 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

- 本書は、「別添1-1 バスケット用材料 アルミニウム合金（HZ-A3004-H112）に関する説明書」の材料規定における根拠を説明するものであり、経年変化を考慮した材料試験の結果と材料試験から得られた物性および機械的性質を保守的に包括する設計用材料強度を示している。

(1) 別紙 1

バスケットに用いるアルミニウム合金(HZ-A3004-H112)の経年変化を考慮した強度特性について

- 本書は、補足説明資料1-1に付随し、バスケット用アルミニウム合金の経年変化の考慮について説明するもので、設計貯蔵期間中の熱ばく露において過時効に至ったバスケット用アルミニウム合金の強度特性を模擬する機械試験用供試材の製作方法および材料試験の結果を示している。

- 補足説明資料1-2 バスケット基準値について

- 本書は、特定兼用キャスクのバスケットについて、貯蔵時、取扱時、地震時および衝撃荷重作用時、さらに輸送法令に定める通常輸送時、BM型輸送物および核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下および特別の試験条件下を含めた評価基準の設定根拠を説明するものである。

2. 化学成分、物性および機械的性質

『型式証明申請書 別添1-1 バスケット用材料 アルミニウム合金（HZ-A3004-H112）に関する説明書』より

2. 化学成分、物性および機械的性質

● 化学成分

材料名称	化学成分 (質量%)								Al
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	その他		
							個々	合計	
HZ-A3004	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
(参考) JIS H 4000 A3004	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

● 材料の各温度における設計応力強さ S_m

材料名称	温度 (°C)											
	-40 ~40	50	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275
HZ-A3004	52	52	52	52	52	52	47	42	36	31	27	23

● 材料の各温度における許容引張応力 S

材料名称	温度 (°C)											
	-40 ~40	50	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275
HZ-A3004	47	46	46	46	45	38	27	20	15	10	8	5

2. 化学成分、物性および機械的性質

- 材料の各温度における設計降伏点 S_y (MPa)

材料名称	温度 (°C)											
	-40 ~40	50	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275
HZ-A3004	78	78	78	78	78	78	78	78	74	67	59	49

- 材料の各温度における設計引張強さ S_u (MPa)

材料名称	温度 (°C)											
	-40 ~40	50	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275
HZ-A3004	166	162	162	162	159	151	138	122	106	92	79	69

- 材料の各温度における縦弾性係数 ($\times 10^3$ MPa)

材料名称	温度 (°C)											
	20	50	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275
HZ-A3004	73.4	72.9	72.7	72.5	72.0	71.4	70.7	69.9	69.1	68.1	67.1	65.9

- 材料の各温度における線膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/mm°C)

材料名称	区分 (注)	温度 (°C)											
		20	50	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275
HZ-A3004	A	22.9	23.6	23.9	24.1	24.6	24.9	25.3	25.8	26.2	26.6	27.0	27.4
	B	22.9	23.4	23.5	23.6	23.8	24.0	24.2	24.5	24.7	24.9	25.1	25.3

(注) 区分Aは瞬時線膨張係数、区分Bは常温から各温度までの平均線膨張係数を示す。

3. 材料試験の項目

『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』より

3. 材料試験の項目

● 物性試験

- ミクロ組織観察 (規格材／機械試験用供試材)
- 縦弾性係数 (規格材、25°C～350°C)
- せん断弾性係数 (規格材、25°C～350°C)
- ポアソン比 (規格材、25°C～350°C)
- 線膨張係数 (規格材、20°C～300°C)

● 機械試験

- 常温引張試験 (規格材／機械試験用供試材)
- 高温引張試験 (機械試験用供試材、常温～300°C)
- ビッカース硬さ試験 (規格材／機械試験用供試材)
- シャルピー衝撃試験 (規格材、常温／250°C)
- クリープ試験 (機械試験用供試材、150°C～350°C)

10,000時間のクリープ試験実施中
(3000時間まで試験完了)

● その他物性試験

- 熱拡散率 (規格材、25°C～350°C)
- 比熱 (規格材、25°C～350°C)
- 密度 (規格材、25°C～350°C)
- 熱伝導率 (規格材、25°C～350°C)

4. 経年変化の考慮方法の概要

『別紙 1 バスケットに用いるアルミニウム合金(HZ-A3004-H112)の経年変化を考慮した強度特性について』より

4. 経年変化の考慮方法の概要

概要

- キャスク用バスケットは200～100℃の温度環境で使用される。
- アルミニウム合金は過時効を迎えると機械的特性が低下する。

➡ Al合金製バスケットは過時効を適切に評価する必要がある。

使用済燃料

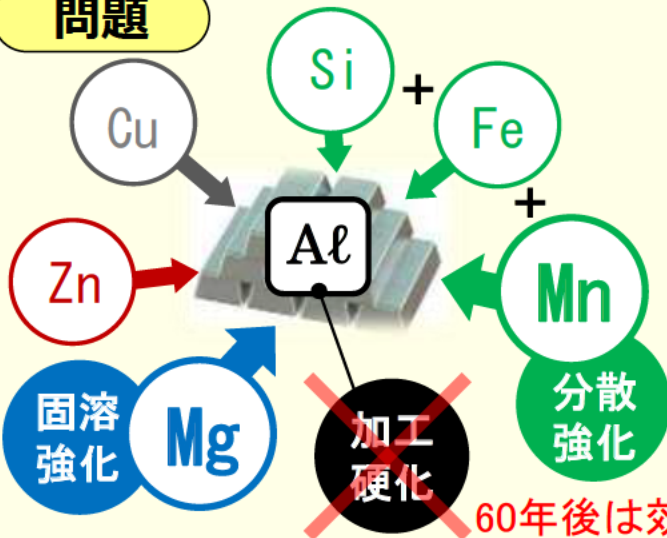
バスケット

装荷

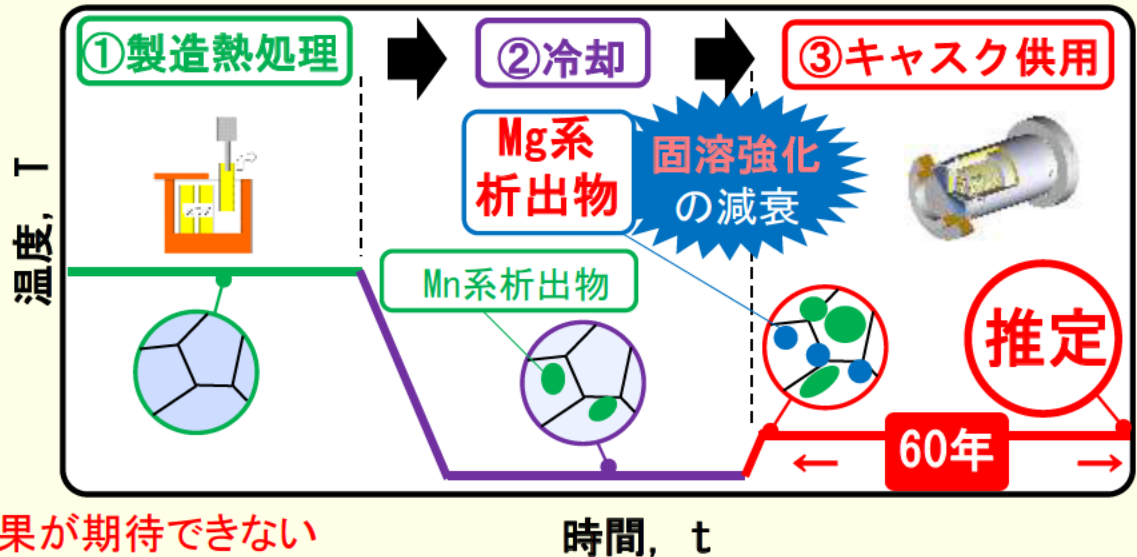
200℃～
100℃

最長60年
の貯蔵

問題



バスケット用Al合金の添加元素と強化機構



バスケット用Al合金の金属組織変化

Mg系析出物が生じ、固容量が低下 → 母材中のMgの割合が減少し、強度が低下 → 60年供用したAl合金の強度を評価したい

目的 60年間のAl合金の金属組織変化を推定し、適切な強度評価を行う

A_l合金製バスケットにおける金属組織変化の推定に適用

試験手法

試験

60年間の金属組織の
変化を考慮した機械試験

4. 経年変化の考慮方法の概要

4. 経年変化の考慮方法の概要

4. 経年変化の考慮方法の概要

4. 経年変化の考慮方法の概要

A3004 規格材（バスケット用Al合金）の強化機構

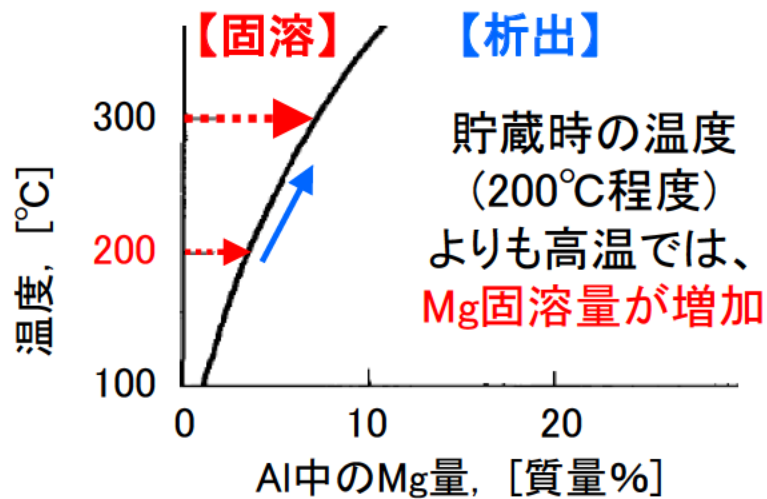
転位強化
(加工硬化)

結晶粒微細化

Mn系分散相
による分散強化

Mgの固溶強化

●実機供用後の材料のMg固溶量について



Al-Mg 平衡状態図

貯蔵時より高温になるとMgの固溶量が増加するため、単純な加速試験では、実機供用後のMg固溶量が適切に模擬できない。

□を用いて、実機供用後の材料のMg固溶量の模擬方法を検討。

【HZ-A3004 規格材】

【機械試験用供試材】

熱処理後のMg固溶量は、
設計貯蔵期間よりも高い。



熱処理後のMg固溶量は、
設計貯蔵期間よりも低い。

※ 規格材 : 供用前の実機製品に相当する材料
機械試験用供試材 : 60年供用後の機械的性質を保守的に評価するため、 過時効熱処理を施した材料

【HZ-A3004 規格材】

200°C×60年

【機械試験用供試材】

過時効熱処理

引張試験結果

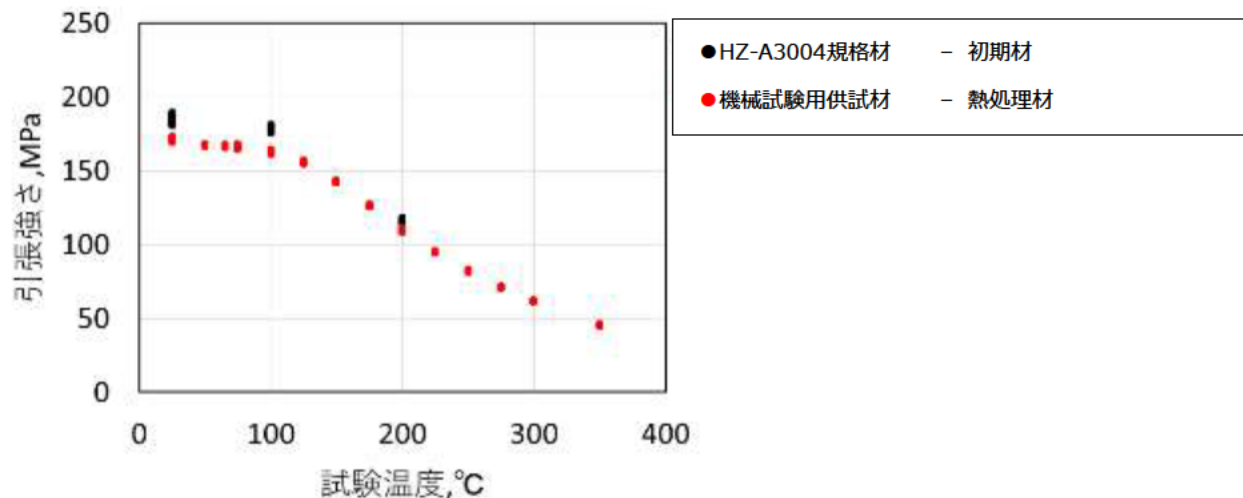


表 引張試験結果の比較

材料	材料	引張強さ[MPa]		
		20°C	100°C	200°C
[Redacted]	HZ-A3004規格材 - 初期材	184.3	177.9	115.8
	機械試験用供試材 - 熱処理材	170.1	163.1	109.2

- 設計貯蔵期間の金属組織を模擬した材料に対する試験結果を用いて、当社のバスケット設計強度を確認している。

[Redacted]

5. 設計基準

『補足説明資料1-2 バスケット基準値について』より

表1 Hitz-P24型のバスケット（アルミニウム合金）に適用する評価基準

供用状態		A		B	C		D	
評価事象	貯蔵施設内	貯蔵時	吊上げ時	衝撃荷重作用時	貯蔵時 (Sd*相当地震力が作用する場合)		貯蔵時 (Se相当地震力が作用する場合) 及び衝撃荷重作用時	
	輸送時	—	通常輸送時	0.3m落下等	—		9m落下等	
評価基準の設定方針	・クリープによる破断及び変形の進展を防止		・短期荷重による表面の塑性変形を防止 (変形を防止)		・短期荷重による全断面降伏を防止 (形状を維持)		・短期荷重による破断を防止	
	<説明> 本事象は、長期荷重がバスケットプレートに作用する事象である。 Hitz-P24型のバスケットは、クリープ特性を無視できない温度領域で使用することから、クリープ破断及びクリープ変形を防止するよう評価基準を設定する。		<説明> 本事象は、通常使用状態及び繰り返し作業による荷重（短期荷重）がバスケットプレートに作用する事象である。 本事象では、臨界防止機能維持のため、バスケットプレートの変形を防止するよう評価基準を設定する。		<説明> 本事象は、設計貯蔵期間中、まれにしか生じる可能性がない事象である。 本事象では、臨界防止機能維持のため、バスケットプレートの形状が維持されるよう評価基準を設定する。		<説明> 本事象は、設計貯蔵期間中に発生することは予想されないが、技術的に見れば発生が想定され得る事象である。 本事象では、一般公衆の放射線被ばく防止の観点から、安全機能を著しく損なうことがないよう、バスケットプレートの破断を防止するよう評価基準を設定する。	
評価基準	$P_m \leq S$	4.1(1)	$P_m \leq S_m$	4.1(3)	$P_m \leq 1.2S_m$	4.3(1)	$P_m \leq 2/3S_u$	4.4(1)
	$P_m + P_b \leq K_0 S$	4.1(1)	$P_m + P_b \leq 1.5S_m$	4.1(3)	$P_m + P_b \leq 1.8S_m$	4.3(1)	$P_m + P_b \leq S_u$	4.4(1)
	$\tau \leq 0.6S$	4.1(1)	$P_m + P_b + Q \leq 1.5S_m$ (注1)	4.1(4)	$P_m + P_b + Q \leq 1.5S_m$ (注1)	4.3(2)	$P_m + P_b + Q \leq 3S_m$	4.4(2)
	$\sigma_p \leq S$	4.1(1)	$\tau \leq 0.6S_m$	4.1(3)	$\tau \leq 0.9S_m$	4.3(3)	$\tau \leq 1.2S_m$	4.4(3)
	σ_c (一次) $\leq f_c$	4.1(1)	$\sigma_p \leq S_y$ (1.5Sy) (注2)	4.1(3)	$\sigma_p \leq 1.5S_y$ (2.25Sy) (注2)	4.3(4)	$\sigma_p \leq 2S_y$ (3Sy) (注2)	4.4(4)
	σ_c (一次+二次) $\leq 1.5f_c$	4.1(1)	σ_c (一次) $\leq f_c$	4.1(5)	σ_c (一次) $\leq 1.5f_c$	4.3(5)	σ_c (一次) $\leq 1.5f_c$ (注3)	4.4(5)
	$\epsilon_{mec} \leq 0.002$	4.1(2)	σ_c (一次+二次) $\leq 1.5f_c$	4.1(5)	σ_c (一次+二次) $\leq 1.5f_c$	4.3(5)	σ_c (一次+二次) $\leq 1.5f_c$	4.4(5)
	$\epsilon_{mec} + \epsilon_{bec} \leq 0.004$	4.1(2)						

S_m: 設計応力強さ、S_u: 設計引張強さ、S_y: 設計降伏点、S: 許容引張応力、P_m: 一次一般膜応力、P_b: 一次曲げ応力、Q: 二次応力、τ: 平均せん断応力、σ_p: 平均支圧応力、σ_c: 圧縮応力、f_c及びf_c*: 許容圧縮応力 (S_y又はS_uの関数)、ε_{mec}: 長期荷重によるクリープ横ひずみ、ε_{bec}: 長期荷重によるクリープ曲げひずみ

K₀: K₀=1+0.25·(1-P_m/S)

α: 純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれかの小さい方の値

(注1) 1.5S_mを超える場合は、短期荷重のみによる一次+二次応力強さに対して P_m+P_b+Q ≤ 3S_mを制限とし、短期荷重作用後の部材内応力再配分により生じる促進クリープを含む累積クリープひずみに対して ε_{mec} ≤ 0.002、ε_{mec}+ε_{bec} ≤ 0.004を制限とする。

ε_{mec}: 短期荷重作用後の部材内応力再配分により生じる促進クリープを含む累積クリープ横ひずみ

ε_{bec}: 短期荷重作用後の部材内応力再配分により生じる促進クリープを含む累積クリープ曲げひずみ







(注2) ()内は支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

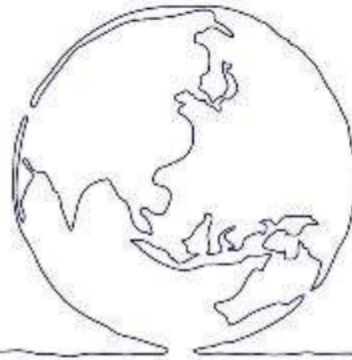
(注3) f_c*の値は、f_cの値を算出する際のS_yを1.2S_yと読み替えて算出した値。

4. 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
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					
4条 地震による損傷の防止			 ▽5/30 審査会合		
5条 津波による損傷の防止			 ▽5/30 審査会合		
6条 外部からの衝撃による 損傷の防止			 ▽5/30 審査会合		
16条 燃料体等の取扱施設 及び貯蔵施設		 ▼2/8 審査会合	▼3/29 審査会合	▽5/30 審査会合	



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/>