

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 (バスケット材料について)

2024.2.8
日立造船株式会社

目次

1. バスケット材料（HZ-SG295HAR）と設計方針の関係
2. 材料試験の方針
3. 材料試験の結果
4. 材料規定及び製造管理規定の方針
5. 長期健全性の考え方
6. 伝熱性能に対する考え方
7. 設計評価基準
8. 型式指定への引継ぎ事項

1. バスケット材料（HZ-SG295HAR）と設計方針の関係

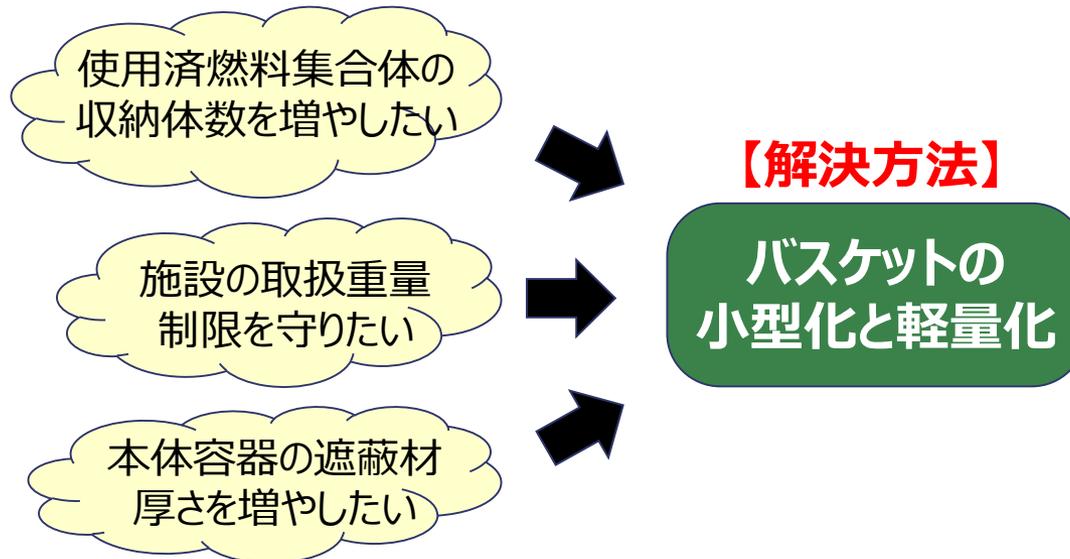
1. バスケット材料（HZ-SG295HAR）と設計方針の関係

特定兼用キャスクは、安全機能を満足するとともに安全機能を担保するための構造強度と長期健全性を有し、貯蔵時及び輸送時の各試験条件に耐え得る設計が求められることから、Hitz-B69型のバスケットは、以下の安全機能に対する安全設計の基本方針に従って設計している。

安全機能	安全設計の基本方針
臨界防止機能	Hitz-B69型は、技術的に想定されるいかなる場合においても、核燃料物質が 臨界に達するおそれのない設計 であり、バスケットは臨界防止機能を維持するため、 使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するとともに適切な中性子吸収材の配置を維持する機械的強度と長期健全性を有する設計 とする。
除熱機能	Hitz-B69型は、使用済燃料集合体の崩壊熱を特定兼用キャスク表面に伝え周囲空気等に伝達することにより、動力を用いることなく 使用済燃料集合体の崩壊熱を適切に除去できる設計 であり、バスケットは 適切に使用済燃料集合体の崩壊熱を容器本体に伝える伝熱性能を有する設計 とする。
閉じ込め機能	Hitz-B69型は、使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持することにより、 使用済燃料集合体を内封する空間を特定兼用キャスク外部から隔離する設計 であり、バスケットは使用済燃料集合体を内封する空間と同一の空間にあるため、 閉じ込め機能に対してバスケットの設計は有意な影響を及ぼさないと考えられることから、Hitz-B69型はバスケットの設計に係わらず閉じ込め機能を有する設計 とする。
遮蔽機能	Hitz-B69型は、設置される工場等の周辺及び管理区域その他工場等内の人が立ち入る場所の放射線量を低減できるように使用済燃料から放出される 放射線を特定兼用キャスクの本体胴及び蓋部により遮蔽する設計 であり、バスケットは本体胴及び蓋部の内側に位置するため、 遮蔽機能に対してバスケットの設計は有意な影響を及ぼさないと考えられることから、Hitz-B69型はバスケットの設計に係わらず遮蔽機能を有する設計 とする。

Hitz-B69型のバスケットは、臨界防止機能と除熱機能の各安全機能及び各安全機能を担保する構造強度と長期健全性を有する設計とする必要がある。

また、必要な**本体容器の遮蔽材厚さを確保**すると共に**施設の取扱重量制限を両立**させるため、可能な限り**外径を小型化し軽量化を図る設計が求められる。**



1. バスケット材料 (HZ-SG295HAR) と設計方針の関係 (つづき)

Hitz-B69型のバスケットは、安全機能及び安全機能担保する構造強度と長期健全性を有する設計が必要であり、また、外径を小型化し軽量化を図る設計が求められる。

その要求を実現するためには、伝熱性能と強度が期待できる厚さの薄い炭素鋼鋼板が望ましい。しかし、JSME金属キャスク構造規格でバスケットに使用できる炭素鋼鋼板はJIS G 3118のSGV410、SGV450及びSGV480しかなく、この材料では外径の小型化と軽量化が難しいと考えられる。

**安全機能の確保
長期健全性の維持**

**バスケットの
小型化と軽量化**

- 伝熱性能と強度が期待できる炭素鋼 (熱伝導率の高い材料)
- 厚さの薄い炭素鋼鋼板のJIS規格を準用 (製造可能)



JIS G 3118 SGV410
炭素鋼、規格厚さ6~200mm

化学成分
≡

JIS G 3116 SG295
炭素鋼、規格厚さ1.6~6mm

1. バスケット材料（HZ-SG295HAR）と設計方針の関係（つづき）

【バスケット材料（HZ-SG295HAR）の基本方針】

JIS G 3116には、1.6 ～ 6.0 mmの厚さのSG255、SG295、SG325及びSG365という4つの炭素鋼が規定されている。

先行例（Hitz-B52型）のバスケット材料として使用しているJIS G 3118に規定されたSGV410は、バスケットに使用できる材料として金属キャスク構造規格に規定されている。

また、JIS G 3116に規定されたSG295は、JIS G 3118に規定されたSGV410と類似の化学成分及び製造方法の熱間圧延鋼であり、概ね同等の機械的性質を有している。

しかし、JIS G 3116には、靱性や長期健全性に係る製造方法、熱処理、オーステナイト結晶粒度及び品質管理の規定がないため、バスケット材料として使用するためには、これらの要件を追加する必要がある。したがって、Hitz-B69型のバスケットに使用する材料は、JIS G 3116に定められた炭素鋼に靱性や長期健全性に係る追加の要件を課すこととし、HZ-SG295HARと称することとする。

規格	適用範囲
JIS G 3116	この規格は、 <u>LPガス、アセチレンなどの各種高圧ガスを充填する内容積500 L以下の溶接容器に用いる熱間圧延鋼板及び鋼帯（以下、それぞれ鋼板、鋼帯という。）</u> について規定する。
(参考) JIS G 3118	この規格は、 <u>主に中温から常温で使用される圧力容器に用いる熱間圧延炭素鋼鋼板（以下、鋼板という。）</u> について規定する。

1. バスケット材料（HZ-SG295HAR）と設計方針の関係（つづき）

規格	種類の記号	化学成分 (%)				
		C	Si	Mn	P	S
JIS G 3116	SG295	≦0.20	≦0.35	≦1.00	≦0.020	≦0.020
(参考) JIS G 3118 (≦ 12.5mm)	SGV410	≦0.21	0.15~0.40	0.85~1.20	≦0.020	≦0.020
	SGV450	≦0.24	0.15~0.40	0.85~1.20	≦0.020	≦0.020
	SGV480	≦0.27	0.15~0.40	0.85~1.20	≦0.020	≦0.020

規格	種類の記号	機械的性質				
		降伏点 又は耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	曲げ性	
					曲げ角度	内側半径
JIS G 3116	SG295	≧295	≧440	≧26	180°	厚さの1.5倍
(参考) JIS G 3118 (≦ 25mm)	SGV410	≧225	410~490	≧19	180°	厚さの0.5倍
	SGV450	≧245	450~540	≧17	180°	厚さの0.75倍
	SGV480	≧265	480~590	≧15	180°	厚さの1.0倍

①適用範囲の基本方針

Hitz-B69型のバスケット材料及び本材料を使用するバスケットは、以下の事項に適合しなければならないものとする。

- 設計貯蔵期間（供用期間）は60年以下とする。
- バスケットが収納される特定兼用キャスク本体内部はヘリウムガスを封入し、設計貯蔵期間中の全期間を通じて、不活性ガス雰囲気維持されることとする。
- バスケットの最高使用温度が300℃以下とする。
- 供用状態によらずバスケットは、設計貯蔵期間中の全期間を通じて、熱応力を生じない構造とする。
- 本材料は耐圧構造で使用してはならないこととする。
- 本材料はボルト材として使用してはならないこととする。

②材料試験の基本方針

JSME材料規格（2012年版／2013年追補）（JSME S NJ-2012／JSME S NJ-2013）の新規材料採用ガイドラインに準じた材料試験で機械的性質等の必要な材料特性を取得する。

③材料規定の基本方針（設計用強度）

新規材料採用ガイドラインの設定方法に基づいて、設計降伏点（ S_y 値）、設計引張強さ（ S_u 値）、設計応力強さ（ S_m 値）及び許容引張応力（ S 値）を材料試験で取得した材料特性を包絡するように保守的に設定する。

④製造管理規定の基本方針

JIS G 3116には、バスケット材料として必要と考えられる靱性や長期健全性に係る製造方法、熱処理、オーステナイト結晶粒度及び品質管理の規定がない。

このため、これらの要件については、バスケットに使用できる材料として金属キャスク構造規格に規定されたSGV410等のJIS規格であるJIS G 3118を準用し、製造管理規定を定める。

項 目	JIS G 3116	JIS G 3118
適用範囲	この規格は、LPガス、アセチレンなどの各種高圧ガスを充填する内容積500 L以下の溶接容器に用いる熱間圧延鋼板及び鋼帯（以下、それぞれ鋼板、鋼帯という。）について規定する。	この規格は、主に中温から常温で使用される圧力容器に用いる熱間圧延炭素鋼鋼板（以下、鋼板という。）について規定する。
引用規格	JIS G 0320、JIS G 0404、JIS G 0415、JIS G 3193、JIS Z 2241、JIS G 2248	JIS G 0320、JIS G 0321、JIS G 0404、JIS G 0415、JIS G 0551、JIS G 3193、JIS Z 2241、JIS G 2248
種類の記号及び厚さ	鋼板及び鋼帯で4種、厚さ1.6 mm ~ 6.0mm	鋼板で3種、厚さ6 mm ~ 200 mm
製造方法	規定なし	鋼板は、細粒キルド鋼から製造する
熱処理	規定なし	38mmを超える鋼板は規定あり、他は圧延のまま
化学成分	※8ページ参照	※8ページ参照
炭素当量及び溶接割れ感受性塑性	規定なし	熱加工制御（TMCP）を行うSGV450及びSGV480について規定あり
機械的性質	※8ページ参照	※8ページ参照
オーステナイト結晶粒度	規定なし	5以上（注）
形状、寸法、質量及びその許容差	JIS G 3193による	JIS G 3193による
試験	溶鋼分析、機械試験	溶鋼分析、製品分析、機械試験
検査	JIS G 0404による	JIS G 0404に加えて炭素当量及び溶接割れ感受性組成、オーステナイト結晶粒度を検査
再検査	JIS G 0404の9.8（再検査）による	JIS G 0404の9.8（再検査）による
表示	規定あり（JIS G 3118とほぼ同じ）	規定あり
報告	規定あり（JIS G 3118とほぼ同じ）	規定あり

（注）結晶粒度試験は、全アルミニウム分析値が、0.020 %以上又は酸可溶性アルミニウムの分析値が0.015%以上の場合には、省略しても良い。

2. 材料試験の方針

2. 材料試験の方針

HZ-SG295HARの設計用強度の設定に用いる材料特性は、新規材料採用ガイドラインに準じた材料試験によって、機械的性質等を取得する。また、材料試験の項目は、新規材料採用ガイドラインの要求項目に沿って必要と考えられるものを実施する。

新規材料採用ガイドラインの要求項目		材料試験 の項目	JIS G 3116 を適用	備 考
(1) 材料の基本化学成分及び用途				用途: 金属キャスク
(2) 材料の仕様	a. 適合規格			JIS G 3116: 2020
	b. 化学成分制限		○	
	c. 機械的性質(常温の規格値)		○	
	d. 寸法制限(径、厚さ)		○	
	e. 形状寸法(寸法公差)		○	
(3) 使用条件	a. 適用範囲			バスケット材料
	b. 温度範囲(最高温度、最低使用温度)			-22.4℃~300℃
	c. 外圧設計が必要な機器等への適用の有無			なし
(4) 特徴及び使用上の留意事項	a. 特徴			熱間圧延による6mm以下の炭素鋼鋼板及び鋼帯
	b. 新規材料に関する特許及びライセンスの有無			なし
(5) 製造工程及び製造条件	a. 製造方法			鋼板及び鋼帯は、細粒キルド鋼から製造
	b. 熱処理			圧延のまま
	c. 検査		○	

2. 材料試験の方針（つづき）

新規材料採用ガイドラインの要求項目		材料試験 の項目	JIS G 3116 を適用	備 考
(6) 化学成分(溶鋼分析又は溶湯分析、製品分析)		○	/	
(7) マクロ及びミクロ組織		—	/	特殊な添加元素による強化機構がない普通鋼のため不要
(8) 実用試験(へん平試験、押し広げ試験)		—	/	普通鋼に分類される炭素量0.2%以下の軟鋼であるため不要
(9) 加工性、加工条件			○	
(10) 機械的性質	a.引張特性	○	/	
	b.靱性	—	/	炭素量が0.2%以下の軟鋼であり、かつ、脆性破壊が生じにくい16mm以下の薄い鋼板であるため不要
	c.硬さ	—	/	炭素量が0.2%以下の軟鋼であり、厚さ6mm以下の薄い鋼板で、かつ、使用条件に硬さが求められないため不要
(11) 応力-ひずみ特性		○	/	
(12) 高温及び低温引張		○	/	室温／65℃／100℃／150℃／200℃／250℃／300℃／350℃／400℃の各温度で実施
(13) クリープ及びクリープ破断特性		—	/	使用温度がクリープ温度域を下回るため不要
(14) 時効後靱性		—	/	時効性材料ではないため不要
(15) 溶接性(溶接性、溶接区分)		—	/	炭素量が0.22%以下の炭素鋼であるため不要
(16) 耐食性		—	/	不活性ガス環境下で使用するため不要
(17) 設計降伏点		○	/	材料試験の結果から、新規材料採用ガイドラインに従った設定方法に基づいて設計用強度を保守的に設定
(18) 設計引張強さ		○	/	
(19) 設計応力強さ		○	/	
(20) 許容引張応力		○	/	

2. 材料試験の方針（つづき）

新規材料採用ガイドラインの要求項目		材料試験の項目	JIS G 3116を適用	備考
(21) 疲労		—	/	材料規格 設計疲労線図(炭素鋼)を適用
(22) その他特性	a.線膨張係数	○	/	20℃/100℃/150℃/200℃/250℃/300℃/350℃/400℃の各温度で実施(設計に用いる線膨張係数の規格値はJSME材料規格[TE1]を適用)
	b.熱伝導率	○	/	
	c.温度伝導率	○	/	
	d.縦弾性係数	○	/	-75℃/20℃/100℃/150℃/200℃/250℃/300℃/350℃/400℃の各温度で実施(設計に用いる縦弾性係数値の規格値はJSME材料規格[E1-1]を適用)
	e.ポアソン比	○	/	

【注記】

- 表中の「材料試験の項目」の斜線部は非該当部を示し、“○”は材料試験によりデータの取得を必要とする項目を示し、“—”は備考に記載した理由から特に材料試験のデータが必要ないと判断する項目を示す。
- 表中の「JIS G 3116に準拠」の斜線部は非該当部を示し、“○”はJIS G 3116に適用する項目を示す。
- 線膨張係数、熱伝導率、温度伝導率、縦弾性係数及びポアソン比については、材料規格と取得データを比較し、JSME材料規格が適用できることを確認する。

3. 材料試験の結果

3. 材料試験の結果

試験に使用する供試材は、JIS G 3116に従って製造したSG295であり、細粒キルド鋼から製造し、かつ、圧延のままの材料である。また、以下に示すとおり、全アルミニウムの分析値が0.020%以上であるため、靱性に係るオーステナイト結晶粒度は5以上と考えられる（補足説明資料1-2 別紙4参照）ことから、HZ-SG295HARとして取り扱うこととする。

➤ 供試材の化学成分

供試材		化学成分 (%) ※1						機械的性質※2		
		C	Si	Mn	P	S	Al	耐力※3 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
1	A	0.08	0.01	0.82	0.019	0.002	—	337	467	39
	B	0.08	0.01	0.84	0.019	0.002	0.026	362	461	37
2	A	0.08	0.02	0.83	0.016	0.002	—	330	453	38
	B	0.08	0.02	0.85	0.016	0.002	0.030	339	443	37
3	A	0.08	0.01	0.83	0.018	0.002	—	338	458	39
	B	0.08	0.01	0.84	0.018	0.002	0.024	347	454	39
SG295 規格値		≤0.20	≤0.35	≤1.00	≤0.020	≤0.020	≥0.020	≥295	≥440	≥26

注記：A欄は製品分析値。B欄はミルシート記載値。

※1：A欄は、燃焼－赤外線吸収法（C、S）及びスパーク放電発光分光分析法（Si、Mn、P）による。

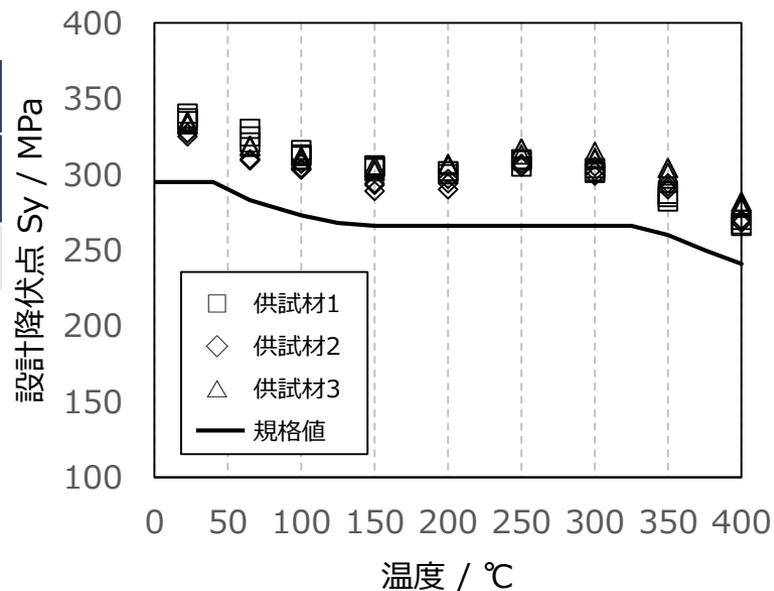
※2：A欄は、長手方向に採った5号試験片（JIS Z 2241）による。

※3：A欄は、ひずみゲージを用いて得た弾性範囲内の応力－ひずみ線図から測定した0.2%耐力。

3. 材料試験の結果 (つづき)

➤ 高温引張試験結果：0.2%耐力（単位：MPa）

	温度 (°C)								
	室温	65	100	150	200	250	300	350	400
全試験片平均	333	318	310	300	300	310	305	293	272



➤ 設計降伏点の設定 (Sy値)

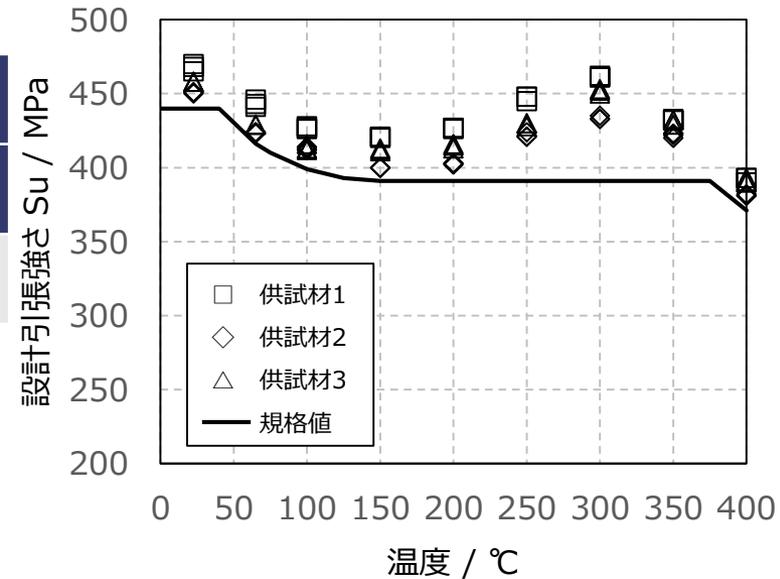
	温度 (°C)														
	-30~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350	375	400
①：常温の規格値 (MPa)	295														
Ry	1	0.9597	0.9493	0.9260	0.9099	0.9024	0.9093	0.9179	0.9252	0.9273	0.9215	0.9061	0.8815	0.8505	0.8190
②：Ry × ① (MPa)		283	280	273	268	266	268	270	272	273	271	267	260	250	241
設計降伏点 (Sy値) (MPa)	295	283	280	273	268	266	266	266	266	266	266	266	260	250	241

注記：設計降伏点 (Sy値) は新規材料採用ガイドラインに基づいて設定している。(補足説明資料1-1別紙3別添2参照)

3. 材料試験の結果 (つづき)

➤ 高温引張試験結果：引張強さ (単位：MPa)

	温度 (°C)								
	室温	65	100	150	200	250	300	350	400
全試験片平均	459	432	418	411	415	433	449	428	388



➤ 設計引張強さの設定 (Su値)

	温度 (°C)														
	-30~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350	375	400
①：常温の規格値 (MPa)	440														
R _T	1	0.9456	0.9338	0.9090	0.8939	0.8896	0.9098	0.9284	0.9474	0.9622	0.9683	0.9620	0.9401	0.9012	0.8453
②：R _T × ① (MPa)		416	410	399	393	391	400	408	416	423	426	423	413	396	371
設計引張強さ (Su値) (MPa)	440	416	410	399	393	391	391	391	391	391	391	391	391	391	371

注記：設計引張強さ (Su値) は新規材料採用ガイドラインに基づいて設定している。(補足説明資料1-1別紙3別添2参照)

3. 材料試験の結果（つづき）

➤ 設計応力強さの設定（Sm値）

	温度（℃）														
	-30~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350	375	400
常温の規格値 S_y (MPa)	295														
$2/3 \times S_y$ (MPa)	196														
R_y	1	0.9597	0.9493	0.9260	0.9099	0.9024	0.9093	0.9179	0.9252	0.9273	0.9215	0.9061	0.8815	0.8505	0.8190
$2/3 \times S_y \times R_y$ (MPa)		188	186	182	178	177	178	180	181	182	181	178	173	167	161
常温の規格値 S_T (MPa)	440														
$1/3 \times S_T$ (MPa)	146														
R_T	1	0.9456	0.9338	0.9090	0.8939	0.8896	0.9098	0.9284	0.9474	0.9622	0.9683	0.9620	0.9401	0.9012	0.8453
$(1.1)/3 \times S_T \times R_T$ (MPa)		152	150	146	144	143	146	149	152	155	156	155	151	145	136
設計応力強さ（Sm値） (MPa)	146	146	146	146	144	143	143	143	143	143	143	143	143	143	136

3. 材料試験の結果 (つづき)

➤ 許容引張応力の設定 (S値)

	温度 (°C)														
	-30~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350	375	400
常温の規格値 S_y (MPa)	295														
$2/3 \times S_y$ (MPa)	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196
R_y	1	0.9597	0.9493	0.9260	0.9099	0.9024	0.9093	0.9179	0.9252	0.9273	0.9215	0.9061	0.8815	0.8505	0.8190
$2/3 \times S_y \times R_y$ (MPa)		188	186	182	178	177	178	180	181	182	181	178	173	167	161
常温の規格値 S_T (MPa)	440														
$1/3.5 \times S_T$ (MPa)	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
R_T	1	0.9456	0.9338	0.9090	0.8939	0.8896	0.9098	0.9284	0.9474	0.9622	0.9683	0.9620	0.9401	0.9012	0.8453
$(1.1)/3.5 \times S_T \times R_T$ (MPa)		130	129	125	123	123	125	128	131	133	133	133	130	124	116
許容引張応力 (S値) (MPa)	125	125	125	125	123	123	123	123	123	123	123	(123)	(123)	(123)	(116)

3. 材料試験の結果（つづき）

➤ 高温引張試験結果：伸び（単位：％）

供試材	試験片	温度（℃）								
		室温	65	100	150	200	250	300	350	400
全試験片平均		38	38	36	33	32	30	33	38	37

➤ 縦弾性係数及びポアソン比測定結果

測定項目	供試材	測定温度（℃）								
		-75	20	100	150	200	250	300	350	400
縦弾性係数 ($\times 10^3$ MPa)	平均	215	211	208	205	203	200	197	194	191
ポアソン比	平均	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.30	0.30	0.30	0.30

3. 材料試験の結果（つづき）

➤ 比熱容量、温度伝導率及び熱伝導率測定結果

測定項目	供試材	測定温度(°C)							
		20	100	150	200	250	300	350	400
比熱容量 (J/(kg·K))	平均	466	503	518	534	551	568	588	610
温度伝導率 ($\times 10^{-6}$ m ² /s)	平均	15.84	14.44	13.41	12.55	11.68	10.76	9.98	9.23
熱伝導率 (W/(m·K))	平均	58.0	57.1	54.6	52.7	50.5	48.0	46.2	44.3

➤ 線膨張係数測定結果

測定項目	供試材	測定温度(°C)							
		20	100	150	200	250	300	350	400
瞬時線膨張係数 ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	平均	12.0	13.1	13.5	14.1	14.6	15.1	15.5	15.8
平均線膨張係数 ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	平均	12.0	12.7	13.0	13.2	13.5	13.7	14.0	14.2

注記：平均線膨張係数は、室温（20 °C）を基準温度とした値。

4. 材料規定及び製造管理規定の方針

【材料規定の方針】

Hitz-B69型のバスケット材料（HZ-SG295HAR）の材料規定は、JIS G 3116に定められたSG295の規定を満たすとともに材料試験で取得した材料特性から新規材料採用ガイドラインに準じた設定方法に基づいて設定した設計用強度から以下の項目を定める。

- 材料名称
- 材料規格（適用する材料規格）
- 設計応力強さ（ S_m 値）
- 許容引張応力（ S 値）
- 設計降伏点（ S_y 値）
- 設計引張強さ（ S_u 値）
- 縦弾性係数（JSME材料規格 [E1-1] より）
- 線膨張係数（JSME材料規格 [TE1] より）

【製造管理規定の方針】

Hitz-B69型のバスケット材料に使用するHZ-SG295HARの製造管理規定は、JIS G 3116に定められたSG295の規定を満たしたものとし、バスケット材料として必要と考えられる一部の製造管理規定（製造方法、熱処理、オーステナイト結晶粒度及び品質管理）は、JIS G 3118を準用し、以下のように定める。

➤ 化学成分

JIS G 3116の規定による

➤ 製造方法

鋼板及び鋼帯は、細粒キルド鋼から製造する。（JIS G 3118を準用）

➤ 熱処理

圧延のままとする。（JIS G 3118を準用）

※ただし、ひずみ時効対策として冷間加工後に応力除去焼鈍を施す。

➤ 機械的性質

JIS G 3116の規定による（常温を超える設計用強度は、材料試験で取得したトレンドカーブを適用）

➤ オーステナイト結晶粒度

オーステナイト結晶粒度は5以上とする。

なお、結晶粒度試験は、全アルミニウム分析値が、0.020 %以上又は酸可溶性アルミニウムの分析値が0.015%以上の場合は、省略しても良い。（JIS G 3118を準用）

➤ 形状、寸法、質量及びその許容差

JIS G 3116の規定による

➤ 品質管理

JIS G 3118を準用

ただし、試験片についてはJIS G 3116の規定による

4. 材料規定及び製造管理規定の方針（つづき）

材料名称	材料規格	記号
バスケット材料 炭素鋼	高圧ガス容器用鋼板及び鋼帯 JIS G 3116:2020	HZ-SG295HAR

記号	化学成分（質量%）				
	C	Si	Mn	P	S
HZ-SG295HAR	0.20 以下	0.35 以下	1.00 以下	0.020 以下	0.020 以下

4. 材料規定及び製造管理規定の方針 (つづき)

- 材料の各温度における設計降伏点 S_y (MPa)

記号	温度 (°C)												
	-30 ~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350
HZ-SG295 HAR	295	283	280	273	268	266	266	266	266	266	266	266	260

- 材料の各温度における設計引張強さ S_u (MPa)

記号	温度 (°C)												
	-30 ~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350
HZ-SG295 HAR	440	416	410	399	393	391	391	391	391	391	391	391	391

- 材料の各温度における設計応力強さ S_m (MPa)

記号	温度 (°C)												
	-30 ~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350
HZ-SG295 HAR	146	146	146	146	144	143	143	143	143	143	143	143	143

4. 材料規定及び製造管理規定の方針（つづき）

- 材料の各温度における許容引張応力 S (MPa)

記号	温度 (°C)												
	-30 ~40	65	75	100	125	150	200	225	250	275	300	325	350
HZ-SG295 HAR	125	125	125	125	123	123	123	123	123	123	123	—	—

- 材料の各温度における縦弾性係数（JSME材料規格） ($\times 10^3$ MPa)

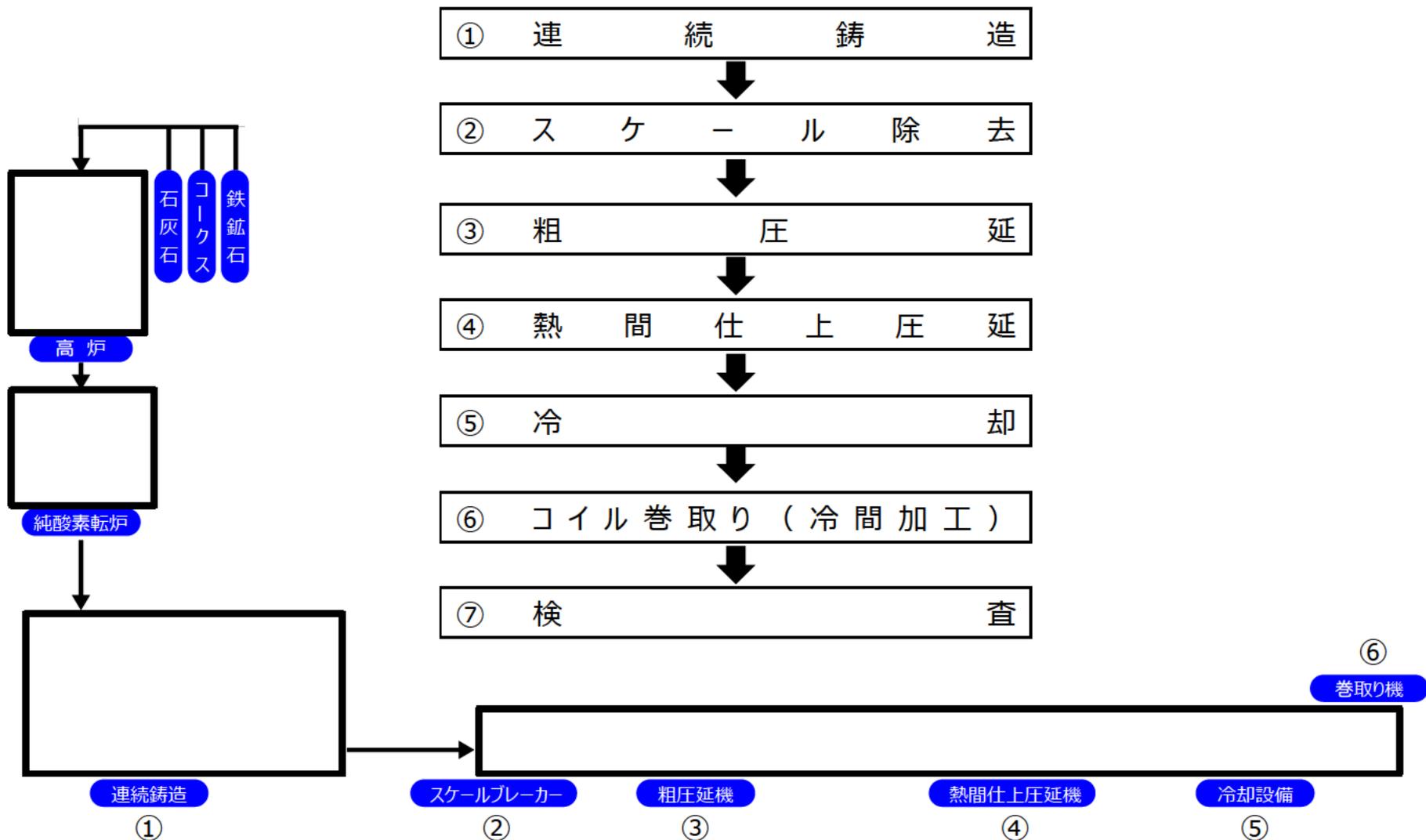
記号	温度 (°C)									
	-75	25	100	150	200	250	300	350	400	450
E1-1	209	202	198	195	192	189	185	179	171	162

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

記号	区分 (注)	温度 (°C)																
		20	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425
TE1	A	11.5	12.0	12.3	12.7	12.9	13.2	13.5	13.8	14.0	14.3	14.6	14.9	15.1	15.4	15.7	15.9	16.1
	B	11.5	11.8	11.9	12.1	12.3	12.4	12.6	12.7	12.9	13.0	13.2	13.3	13.4	13.6	13.7	13.8	14.0

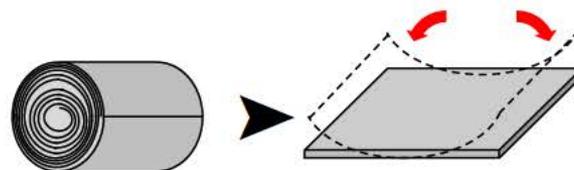
(注) 区分Aは瞬時線膨張係数、区分Bは常温から各温度までの平均線膨張係数を示す。

4. 材料規定及び製造管理規定の方針（つづき）

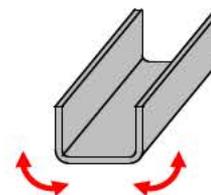


材料（鋼板及び鋼帯）の製造フロー

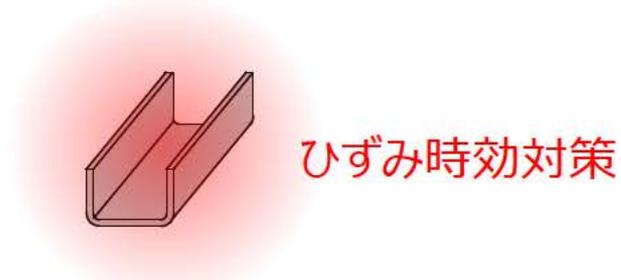
① 整直（冷間加工）



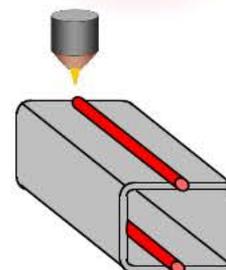
② 曲げ加工（冷間加工）



③ 応力除去焼鈍



④ レーザ溶接



コンパートメントの製造フロー

4. 材料規定及び製造管理規定の方針（つづき）

安全機能の確保
長期健全性の維持

バスケットの
小型化と軽量化

- 伝熱性能と強度が期待できる炭素鋼（熱伝導率の高い材料）
- 厚さの薄い炭素鋼鋼板のJIS規格を準用（製造可能）

SGV410と概ね同等の炭素鋼であるJIS G 3116のSG295に準じた材料

【HZ-SG295HARとしての要件】

適用範囲	材料試験	材料規定 (設計用強度)	製造管理規定
<ul style="list-style-type: none"> ① 設計貯蔵期間は60年以下 ② ヘリウムガスを封入し、不活性ガス雰囲気を維持 ③ 最高使用温度は300℃以下 ④ 供用状態によらずバスケットは、設計貯蔵期間中の全期間を通じて、熱応力を生じない構造 ⑤ 本材料は耐圧構造で使用しない ⑥ 本材料はボルト材として使用しない 	<ul style="list-style-type: none"> ① JSME新規材料採用ガイドラインに準じた材料試験で機械的性質等の必要な材料特性を取得 	<ul style="list-style-type: none"> ① JIS G 3116を適用 ② JIS G 3116のSG295を基準にして、材料試験で取得した材料特性から、新規材料採用ガイドラインに基づいて設計用強度を保守的に設定 ③ その他の材料特性はJSME材料規格を適用 	<ul style="list-style-type: none"> ① JIS G 3116を適用 ② 靱性や長期完全性に係る追加の要件（製造方法、熱処理、オーステナイト結晶粒度及び品質管理）はJIS G 3118を準用

【バスケットとして使用するための要件】

応力除去焼鈍

冷間加工に伴うひずみ時効への対策として、冷間加工後に応力除去焼鈍を施し、加工部の延性及び靱性を母材（未加工部）程度まで回復させる。

5. 長期健全性の考え方

5. 長期健全性の考え方

Hitz-B69型の設計貯蔵期間は60年間であり、貯蔵時並びに貯蔵後の輸送時に必要とされる機能の健全性を、設計貯蔵期間を通じて維持することが求められることから、Hitz-B69型の構成部材は設計貯蔵期間の経年変化の要因を考慮し、必要とされる強度、性能を維持する必要がある。バスケット材料として期待する機能は、臨界防止機能を維持するための機械的強度であるため、経年変化による機械的強度の劣化を考慮する必要がある。

設計貯蔵期間において経年変化の要因と考えられる熱的影響、放射線照射による影響及び腐食の影響による機械的強度に対する長期健全性の考え方は次のとおり。

なお、詳細については、補足説明資料1-2（16ページ）を参照のこと。

5. 長期健全性の考え方（つづき）

経年変化の要因		考え方
熱的影響	高温強度	短期的な影響は400℃までの高温引張試験の結果から、400℃までの範囲では機械的強度が著しく劣化しないことを確認している。
	クリープ	クリープによる変形を考慮すべき温度は、融点（絶対温度）の約1/3であり、炭素量が0.2%以下の炭素鋼の融点は1490℃（1763 K）であり、314℃（587 K）まではクリープによる破断及び変形を考慮する必要はなく、HZ-SG295HARの適用範囲は300℃以下であるため、クリープを考慮する必要はない。
	セメンタイトの黒鉛化	炭素鋼のセメンタイト（Fe ₃ C）の黒鉛化は長期的に480℃以上の温度環境下に置かれる場合に生じるものであり[8]、HZ-SG295HARの適用範囲は300℃以下であるため、炭素鋼のセメンタイト（Fe ₃ C）の黒鉛化による強度への影響はない。
	ひずみ時効	冷間加工に伴うひずみ時効による脆化については、応力除去焼鈍を施すことにより、材料の延性及び靱性を回復させる処置を講ずる。

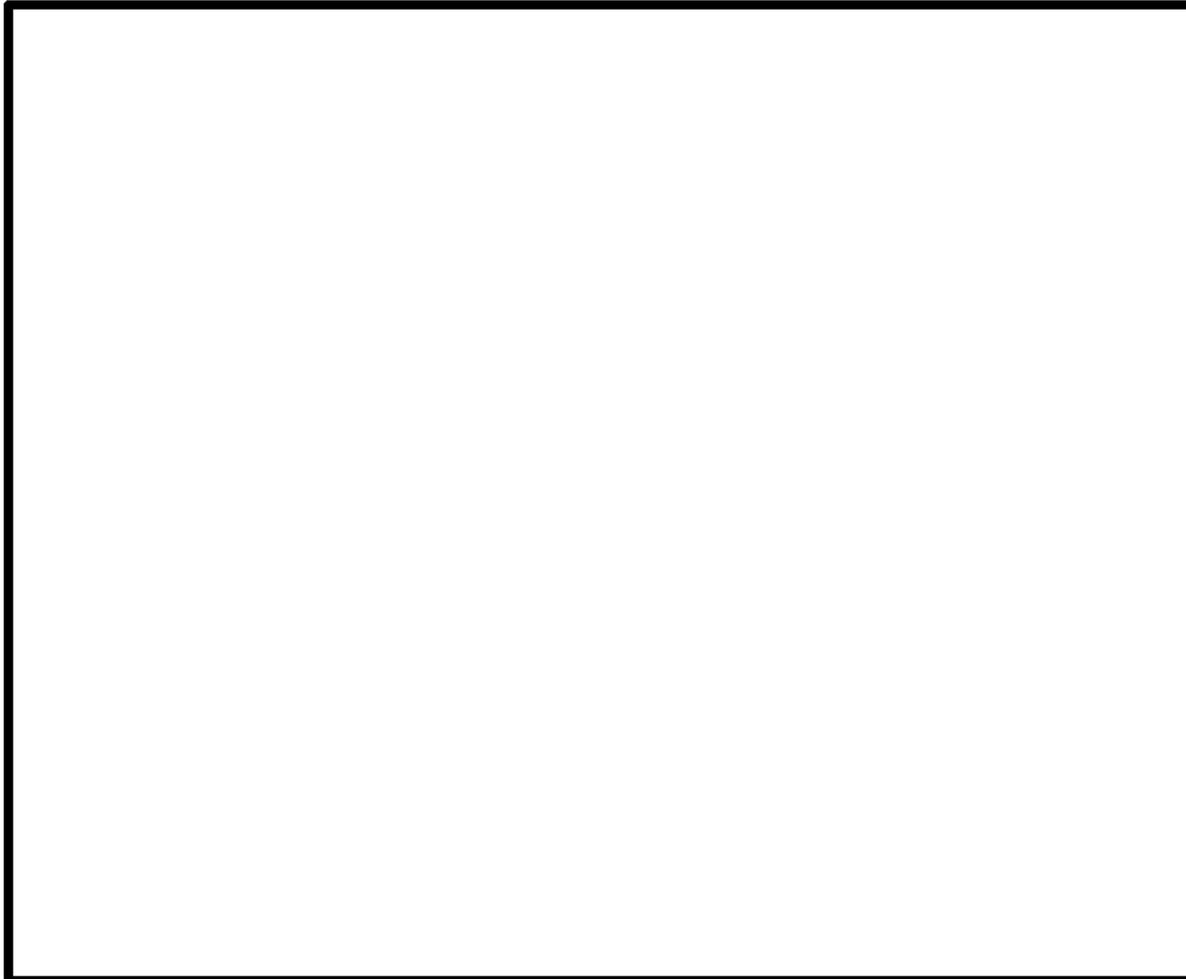
5. 長期健全性の考え方（つづき）

経年変化の要因	考え方
放射線照射による影響	バスケット材料の劣化機構として中性子照射による脆化が考えられ、Hitz-B69型のコンパートメントの累積中性子照射量は 2.2×10^{15} n/cm ² 以下であり、炭素鋼と低合金鋼は鋼種によらず 1×10^{16} n/cm ² 以下であれば顕著な脆化がないことから、使用環境の累積中性子照射量が 1×10^{16} n/cm ² 以下であれば、機械的強度に対する中性子照射の影響はない。
腐食による影響	使用済燃料及びバスケットが収納されるHitz-B69型の密封境界内部は、使用済燃料装荷時に真空乾燥を行い、不活性ガスであるヘリウムが封入されることで残留水分が10%以下（質量）の不活性ガス雰囲気となるように管理されるため、この不活性ガス環境が維持されていれば、腐食による劣化を考慮する必要はない。 また、貯蔵期間中の燃料被覆管の破損を考慮する場合において、20 g/m ³ 程度のヨウ素ガス濃度となる燃料破損率（1%燃料破損相当）以下であれば鉄系材料の最大腐食速度は60年間の腐食量を保守的に推定しても0.5 mm程度であり、仮に1%燃料破損相当の燃料棒内ガス中のヨウ素ガスの存在を考慮してもバスケット材料の腐食による構造強度への影響はない。

6. 伝熱性能に対する考え方

6. 伝熱性能に対する考え方

除熱機能の評価で期待される伝熱性能として、一般的な炭素鋼の常温の熱伝導率は43.0 W/(m·K)以上であり、材料試験の熱伝導率の結果は21ページに示すとおり、常温で平均58.0 W/(m·K)、300℃でも平均48.0 W/(m·K)であることから、HZ-SG295HARは除熱機能として期待される伝熱性能を有する。



伝熱工学資料
改訂第4版より抜粋

7. 設計基準

【バスケットに適用する評価基準】

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べき安全機能の観点からバスケットの設計評価基準の考え方を以下に示す。

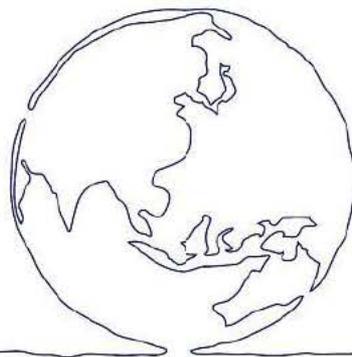
なお、設計に用いる供用状態A、B、C及びDのそれぞれの評価基準については、金属キャスク構造規格の「バスケット」に従うものとする。

供用状態	A	B	C	D
具体的な設計事象	貯蔵時	通常取扱時 (吊上げ時等)	衝撃荷重作用時 (異常着床等)	貯蔵時 (S_d *相当地震力が作用する場合) 及び衝撃荷重作用時 (津波荷重作用時等)
	—	通常輸送時	0.3m落下等	—
設計評価基準の考え方	本事象は、長期荷重がバスケットに作用する事象である。 Hitz-B69型のバスケットは、クリープ特性を考慮する必要のない温度領域で使用するため、設計基準の設定にクリープ破断及びクリープ変形を考慮しない。	本事象は、通常使用状態又は繰り返しによる荷重（短期荷重）がバスケッ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、バスケットの変形を防止するよう設計基準を設定する。	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、バスケットの形状が維持されるよう設計基準を設定する。	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に、バスケットの破断を防止するよう設計基準を設定する。 ただし、塑性変形が生じる場合はバスケットの変形量を考慮した臨界解析により臨界防止上有意な変形が生じないことを確認する。

8. 今後の方針

Hitz-B69型のバスケット材料として使用するHZ-SG295HARは、ひずみ時効対策として冷間加工後に応力除去焼鈍を施すこととしているが、HZ-SG295HARに対する応力除去焼鈍の知見が十分ではないため、型式指定申請前までに別紙5に示す追加の材料試験を実施し、ひずみ時効に対する焼鈍の有効性及び設計用強度の設定の妥当性を検証する。

なお、実施する試験内容については、補足説明資料1-2 別紙5を参照のこと。



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/>