

# 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)

2023.11.22

日立造船株式会社

# 目次

1. バスケット材料（SG295）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. 今後の方針

# 1. バスケット材料（SG295）と設計方針の関係

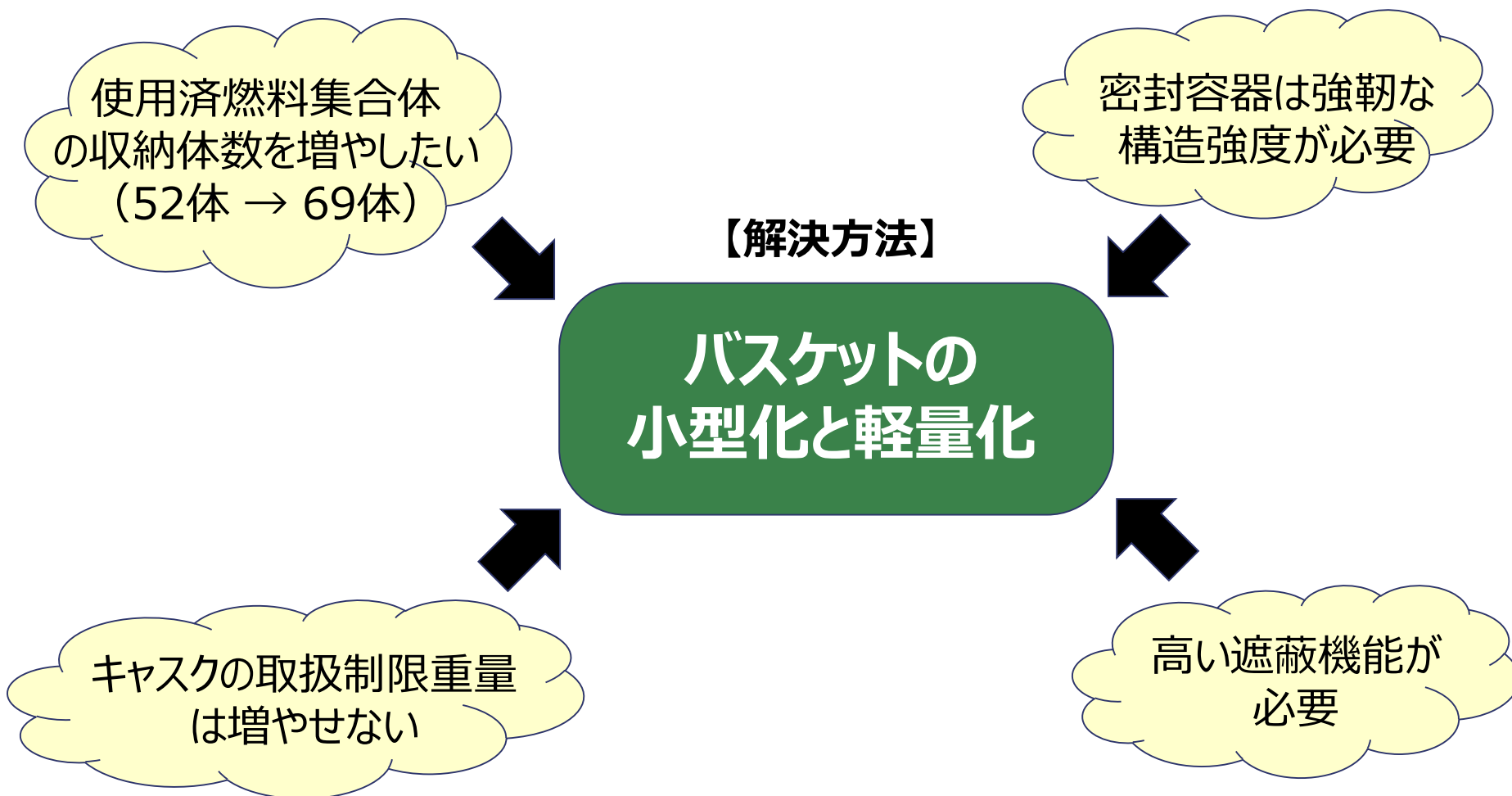
# 1. バスケット材料（SG295）と設計方針の関係

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 <b>臨界に達するおそれのない設計</b> であり、バスケットは臨界防止機能を維持するため、 <b>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</b> 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 <b>使用済燃料集合体の崩壊熱を適切に除去できる設計</b> であり、バスケットは <b>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</b> 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、 <b>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</b> 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、 <b>バスケットの設計が閉じ込め機能に対して有意な影響を及ぼすことはない。</b>
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 <b>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</b> であり、バスケットは本体胴及び蓋部の内側に位置することから、 <b>バスケットの設計が遮蔽機能に対して有意な影響を及ぼすことはない。</b> ただし、使用済燃料から放出される放射線を遮蔽する本体胴は、材料が厚いほど遮蔽性能が高く、 <b>遮蔽機能を満足する本体胴の厚さを得るためには、バスケット外径の小型化と軽量化が有効</b> と考えられることから、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であることを前提に、可能な限り <b>バスケットの外径を小型化し軽量化を図る設計</b> とする。

# 1. バスケット材料 (SG295) と設計方針の関係 (つづき)

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であることを前提に、可能な限りバスケットの外径を小型化し軽量化を図る設計であることが求められる。



# 1. バスケット材料（SG295）と設計方針の関係（つづき）

Hitz-B69型のバスケット材料は、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる伝熱性能及び臨界防止機能を担保できる強度があり、薄い厚さが設計可能な材料が望ましい。

しかし、JSME金属キャスク構造規格から選択できる材料（JIS G 3118のSGV410等）では、Hitz-B69型に求められる設計仕様を満足することができない。

したがって、JSME金属キャスク構造規格に規定されていないが、伝熱性能と強度が期待できる炭素鋼で、JSME金属キャスク構造規格に規定されているSGV410と化学成分が近く、薄い厚さが設計可能なJIS G 3116のSG295をHitz-B69型のバスケット材料に適用した。

## 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）
- 薄い厚さが設計可能（薄い厚さが製造できる材料）

**JIS G 3118 SGV410等**  
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（SG295）と設計方針の関係（つづき）

## 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年以下であること。
- 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。
- バスケットの最高使用温度が300℃以下であること。
- 本材料は耐圧構造で使用しないこと。
- 本材料はボルト材として使用しないこと。

## 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拠して材料試験を実施し、機械的性質等の必要な材料特性を取得する。

## ③設計用強度の基本方針

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の設定方法により、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）を保守的に設定する。

# 1. バスケット材料（SG295）と設計方針の関係（つづき）

## ④製造管理の基本方針

SG295の規格であるJIS G 3116では、靱性や長期健全性に係る製造方法、熱処理及び結晶粒度などが規定されていないことから、特別に製造管理規定を定める。

なお、製造管理規定を定めるにあたってはJIS G 3116及びJIS G 3118に準拠する。

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を超える鋼板に対して規定あり
化学成分	※9ページ参照	※9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	※9ページ参照	※9ページ参照
オーステナイト結晶粒度	規定なし	5以上（アルミニウム分析値によって省略可）
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



# 1. バスケット材料 (SG295) 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
<b>JIS G 3116</b>	<b>SG295</b>	<b>≦0.20</b>	<b>≦0.35</b>	<b>≦1.00</b>	<b>≦0.020</b>	<b>≦0.020</b>
(参考) <b>JIS G 3118</b> (≦ 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 <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	曲げ性	
					曲げ角度	内側半径
<b>JIS G 3116</b>	<b>SG295</b>	<b>≧295</b>	<b>≧440</b>	<b>≧26</b>	<b>180°</b>	<b>厚さの1.5倍</b>
(参考) <b>JIS G 3118</b> (≦ 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

---

## 2. 材料試験の方針

## 2. 材料試験の方針

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拠した材料試験により取得し、材料試験項目は、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 に準拠	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)			-20°C~300°C
	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			連続鋳造 → スケール除去 → 粗圧延 → 熱間仕上圧延
	b. 熱処理			なし
	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 に準拠	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0.3%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の使用のため不要
(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基づいて設定
(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に準拠	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に準拠する項目を示す。
- 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

#### ➤ 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	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	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	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	347	454	39
SG295 規格値		≤0.20	≤0.35	≤1.00	≤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。

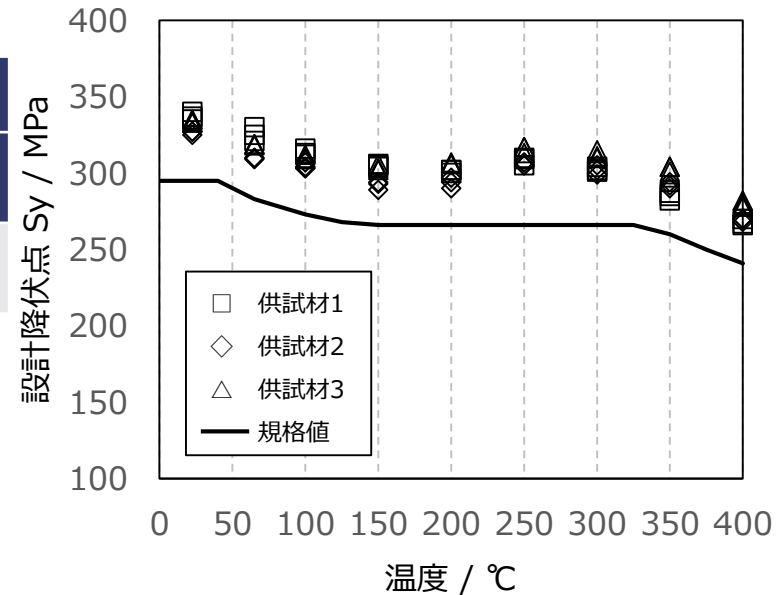
※2：A欄は、長手方向に採った5号試験片（JIS Z 2241）による。

※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

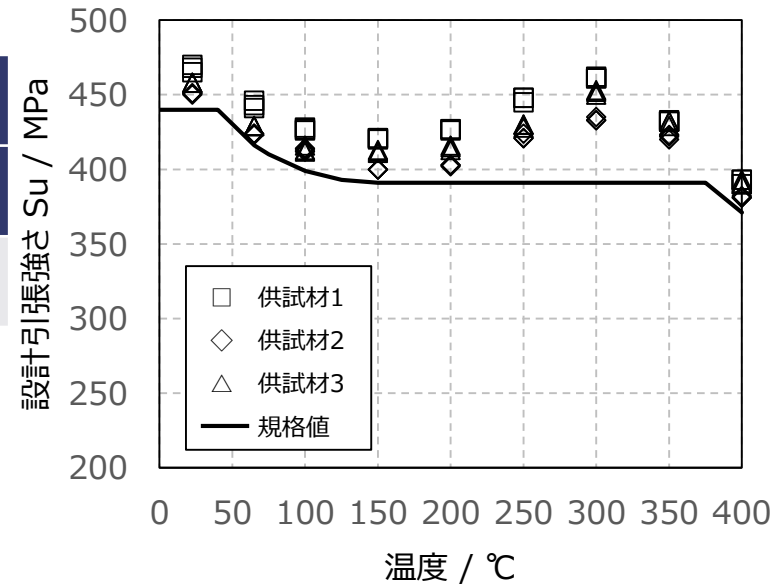
注記：設計降伏点 (Sy値) は新規材料採用ガイドラインに基づいて設定している。(補足説明資料1-1別紙3別添2参照)



### 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 <sub>T</sub>	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 <sub>T</sub> × 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 <sup>2</sup> /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

## 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（SG295）の材料規定は、JIS G 3116に準拠するとともに、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従った設定方法により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（準拠する材料規格）
- 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（SG295）の製造管理規定は、JIS G 3116及びJIS G 3118に準拠し、以下の項目を定める。

➤ 化学成分

JIS G 3116に準拠

➤ 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に準拠）

➤ 熱処理

圧延のままとする。（JIS G 3118に準拠）

※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に準拠

➤ オーステナイト結晶粒度

オーステナイト結晶粒度を5以上または酸可溶性アルミニウムの分析値を0.015%以上（JIS G 3118に準拠）

➤ 形状、寸法、質量及びその許容差

JIS G 3116に準拠

➤ 品質管理

JIS G 3118に準拠



## 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
バスケット用材料 炭素鋼	高圧ガス容器用鋼板及び鋼帯 JIS G 3116:2020	SG295

記号	化学成分（質量%）				
	C	Si	Mn	P	S
SG295	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
<b>SG295</b>	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
<b>SG295</b>	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
<b>SG295</b>	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
<b>SG295</b>	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)

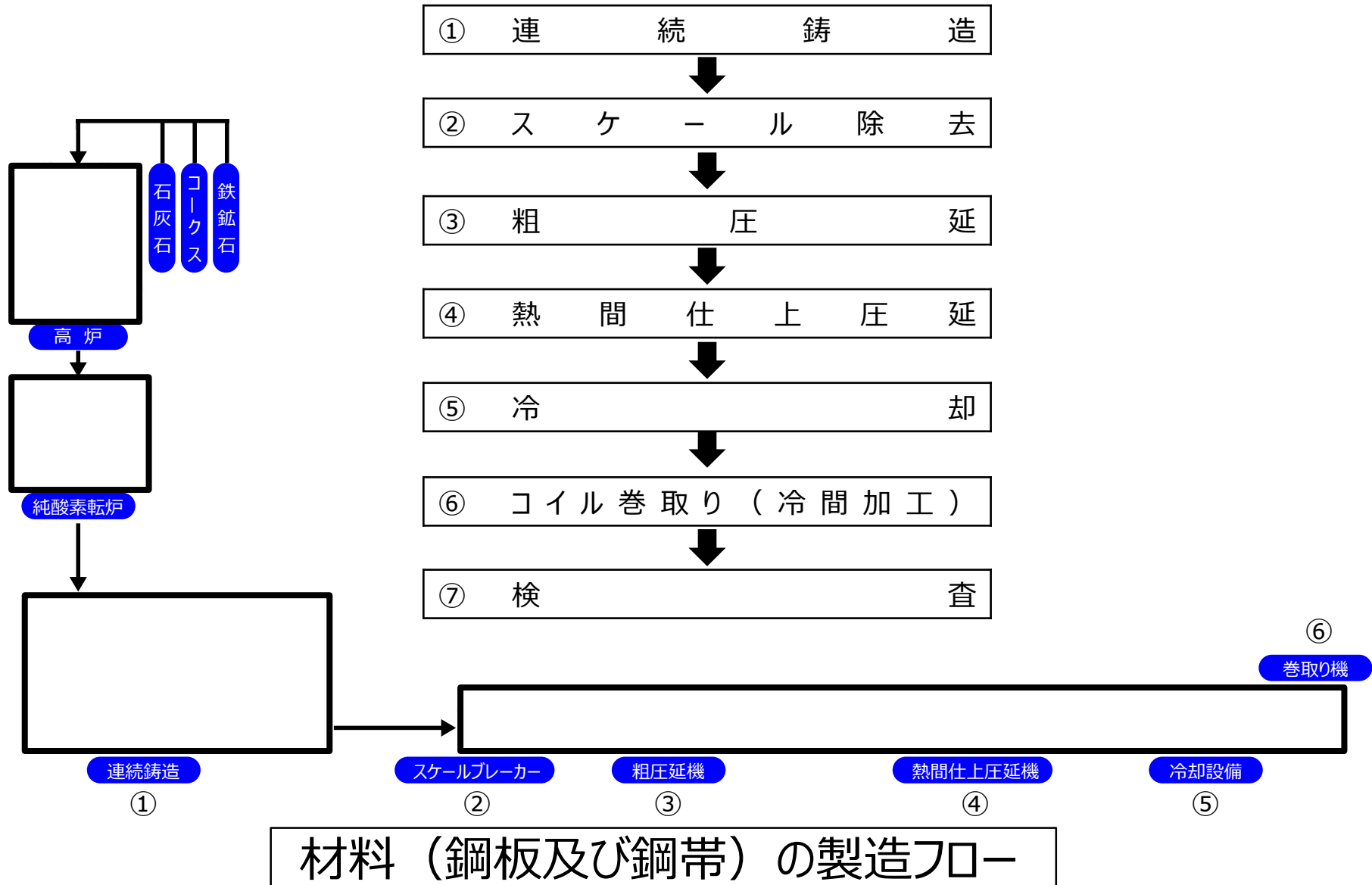
記号	温度 (°C)									
	-75	25	100	150	200	250	300	350	400	450
<b>E1-1</b>	209	202	198	195	192	189	185	179	171	162

- 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)

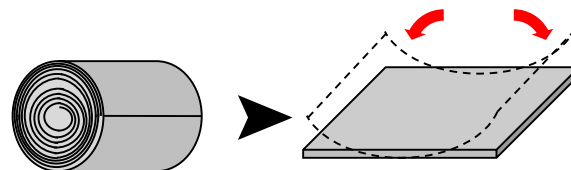
記号	区分 (注)	温度 (°C)																
		20	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425
<b>TE1</b>	A	11.5	12.0	12.3	12.7	12.9	13.2	13.5	13.8	14.0	14.3	14.6	14.9	15.1	15.4	15.7	15.9	16.1
	B	11.5	11.8	11.9	12.1	12.3	12.4	12.6	12.7	12.9	13.0	13.2	13.3	13.4	13.6	13.7	13.8	14.0

(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。

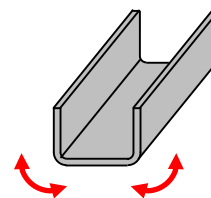
## 4. 材料規定及び製造管理規定の方針（つづき）



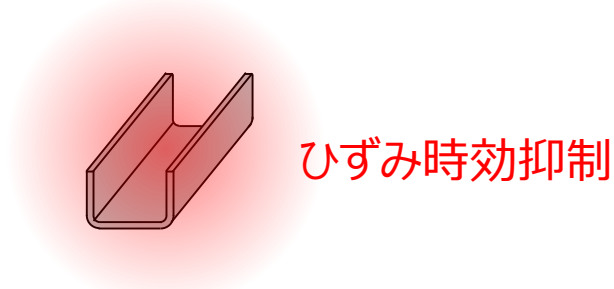
① 整直（冷間加工）



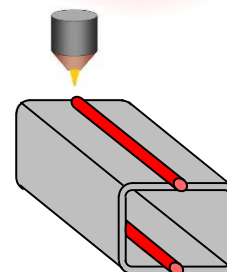
② 曲げ加工（冷間加工）



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

## 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り、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。

したがって、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、使用温度条件が300℃以下であれば機械的強度に対するクリープの影響はない。
	セメンタイトの黒鉛化	セメンタイトの黒鉛化は長期的な加熱環境下において、480℃程度から始まり、使用温度条件が480℃以下であれば、機械的強度に対するセメンタイトの黒鉛化に伴う劣化を考慮する必要はない。
	ひずみ時効	ひずみ時効が生じた局部は、硬化によって脆性破壊のリスクが高まる可能性があることから、バスケット材料は冷間加工で生じた残留応力を応力除去焼鈍で除去するため、冷間加工後に適切な条件で応力除去焼鈍し、材料の延性及び靱性を回復させる。なお、適切な条件の応力除去焼鈍により、応力除去焼鈍に伴う機械的強度の劣化は問題にならない。



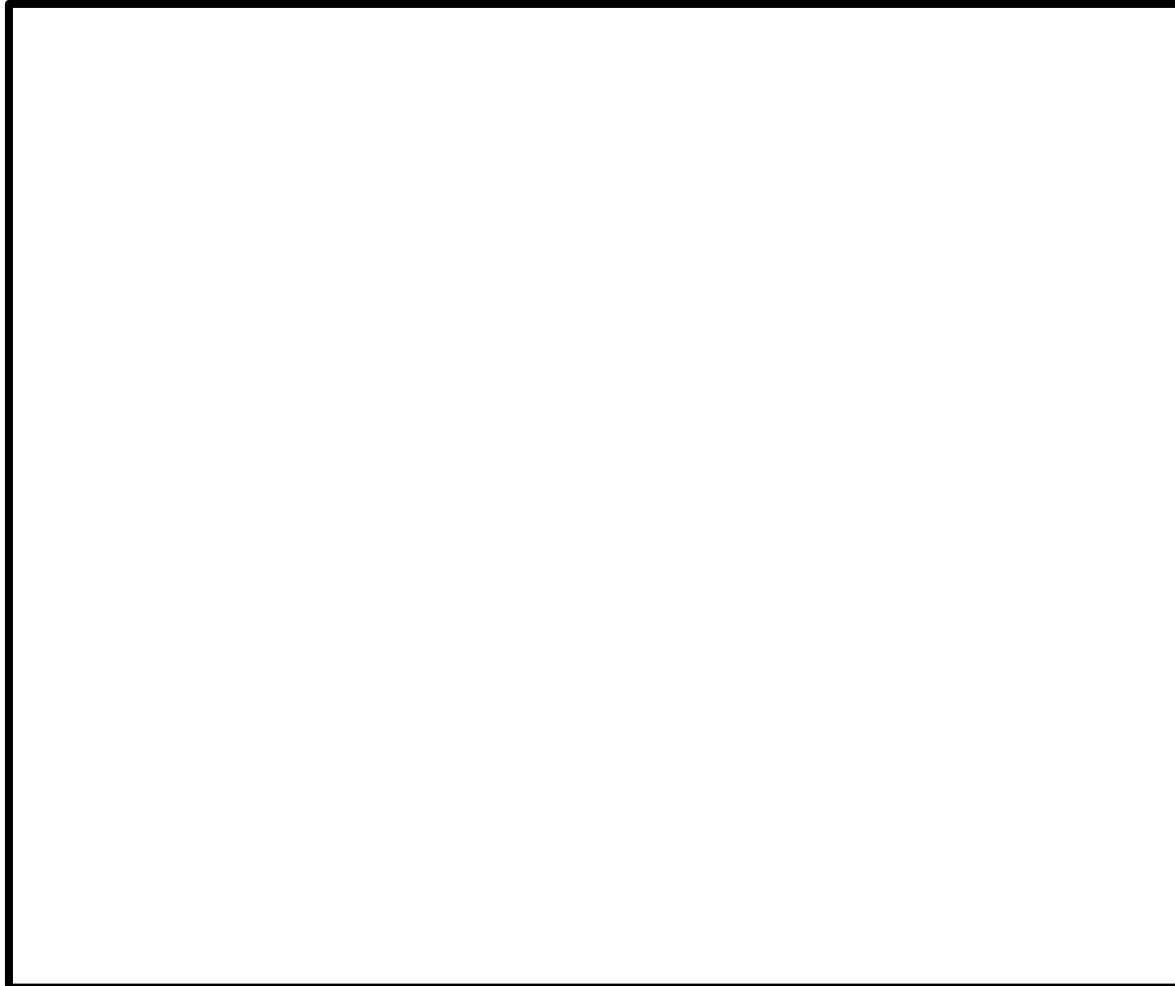
## 5. 長期健全性の考え方（つづき）

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 $2.2 \times 10^{15}$ n/cm <sup>2</sup> 以下であり、炭素鋼と低合金鋼は鋼種によらず $1 \times 10^{16}$ n/cm <sup>2</sup> 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 $1 \times 10^{16}$ n/cm <sup>2</sup> 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 <sup>3</sup> 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、SG295の熱伝導率の試験結果は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、SG295は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)	貯蔵時 ( $S_s$ 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	—	9m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。 Hit-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に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

## 8. 今後の方針

### ①補正申請について（予定）

申請書本文について、「へ. その他の主要な構造」にバスケット材料として使用するSG295の概要説明を追加し、「4.7 長期健全性」にバスケット材料として考慮される長期健全性について説明を追加する補正を行う。

また、「申請書 別添1-1 バスケット用材料（SG295）に関する説明書」については、補足説明資料1-2の方針に従って記載内容を補正することとする。

### ②応力除去焼鈍の適切な条件の策定について

Hitz-B69型のバスケット材料として使用するSG295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、SG295に対する応力除去焼鈍の知見が十分とはいえないため、追加材料試験を後段審査までに実施し、適切な応力除去焼鈍の条件を確認することとする。



# 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/>