

資料 1-4

Doc No. GK04-SC-Z02 Rev.0

2023 年 10 月 20 日

日立造船株式会社

補足説明資料 1-1

申請時からの変更（補正）内容について

1. 概要

本書では、申請時から設計方針が変更になった点について説明する。

2. 申請全体の評価方針

型式証明申請時の申請全体の評価方針を以下に示す。この方針に従って評価した内容において、変更が必要な場合は申請書を変更（補正）する。

- (1) 申請書を作成時には先行して審査されたキャスクの申請書を考慮－(2A)
- (2) 申請後、先行して審査が進められている Hitz-P24 型の審査コメントを考慮－(2B)
- (3) Hitz-P24 型の審査コメントについて、社内で議論、反映必要と判断したものは補足説明資料に反映－(2C)
- (4) 申請書記載内容についても、審査内容をふまえて必要と判断したものを見直し－(2D)
- (5) それ以外（審査の過程での見直し）－(2E)

なお、3 項の見直し内容の詳細の説明において、変更（補正）する理由として上記との対応がわかるよう、(2A)～(2E)として示す。

3. 変更内容

変更の際し、審査の過程での見直し、もしくは入力値の誤りによる見直し以外の他の理由での変更について詳細を説明する。なお、見直しの理由については、2. 申請全体の説明方針で述べたもののうち、当てはまる変更理由を(2A)～(2E)で示している。

(「第 25 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 5 月 11 日)、資料 2-1、申請書添付書類 記載の変更点」に示した内容 (概要) を以下に示す。)

(1) 地震時の応力評価

- ・地(1)：トラニオン接続部－支圧応力評価の追加による評価結果及び設計基準値の見直し

見直しの理由：(2E) 審査の過程での見直し

トラニオン接続部において、トラニオンボルトのねじ山の支圧応力評価が必要と考え、その評価を追加した。項目の名称もトラニオン接続部に見直した。

トラニオン接続部の断面積の計算において、めねじ部のねじ山の数を設計計画値で評価していたが、審査と並行して社内で製造検討を行う中で、めねじ開口部の機械加工として一般的な加工方法を想定し、より保守的にめねじ開口部の不完全ねじ部を考慮した評価へ変更することとした。概要を図 3-1 に示す。

また、設計基準値の記載について下記のとおり誤記訂正を行った。

- ・トラニオン接続部(おねじ部)の支圧応力の評価基準値
797MPa(fp) → 1195MPa(1.5fp*)
- ・トラニオン接続部(めねじ部)のせん断応力の評価基準値
150MPa(Su) → 150MPa(0.4Su)

見直し前 (申請時)			見直し後 (補正)		
項目	計算値 (MPa)	設計基準値 (MPa)	項目	計算値 (MPa)	設計基準値 (MPa)
トラニオン 接続部	96	126	トラニオン 接続部	75	150

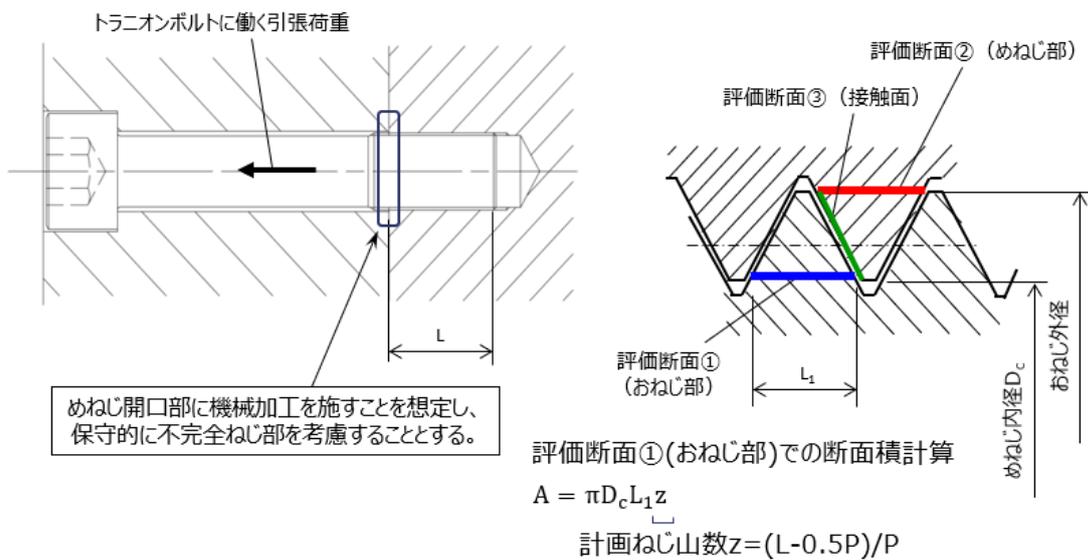


図 3-1 トランニオン接続部の評価モデル

- ・地(2)：密封シール部－評価基準値の設計温度見直しによる許容基準値の見直し

見直しの理由：(2C) Hitz-P24 の審査コメントを検討、反映

密封シール部は設計上の構成部位は胴となる。申請時は胴、底板が一体であることから、145℃を設計温度と設定した。補足説明資料では Hitz-P24 型の審査状況を考慮し、除熱の補足説明資料との整合を取り、また、設計温度 145℃は実際の解析値と 10℃の差異がありフランジ部に対して保守的であることから、胴（密封シール部）の設計温度を 135℃に見直した。

しかしながら、申請時の応力評価結果及び評価基準値を用いても基本的安全機能への影響は無く、申請書はそのままとし、補足説明資料を訂正することとした。

(津波評価 津(1)、竜巻評価 竜(1)も同様)

・地(3)：バスケットー評価結果の見直し

見直しの理由：(2E) 審査の過程での見直し

コンパートメントの評価において、水平軸方向加速度による圧縮荷重に加えて、鉛直下方向加速度によるせん断応力と曲げ応力を合わせた応力強さを加えた評価を行っていたが、せん断応力と曲げ応力の評価位置が異なることから、分けて評価するべきと判断し、評価の見直しを行った。

しかし、再確認の結果、設置許可基準規則解釈に基づき各地震力（水平及び鉛直地震力）を同時に不利な方向に組み合わせて作用させることを考慮するため、申請書に用いた評価方法と同じ水平地震力による圧縮と鉛直地震力による曲げおよびせん断を組み合わせた荷重により評価ことにする。ただし、審査の過程で津波の影響に対するコンパートメントの軸方向の圧縮評価において独立した中央部のコンパートメントの重量を保守的に考慮することとしたため、地震の評価において同様の考慮が必要と判断し、評価結果を見直すこととした。

見直し内容は以下のとおり。

- ・水平軸方向の地震加速度による評価としてコンパートメント 69 体を積載質量とし、サポートプレート及びアルミブロックの荷重を受ける外周部のコンパートメント 24 体を評価対象とした圧縮応力の評価を行う。詳細を図 3-2 に示す。
- ・各地震力（水平及び鉛直地震力）を同時に不利な方向に組み合わせて作用させることを考慮するため、申請書に用いた評価方法と同じ水平地震力による圧縮荷重と鉛直地震力による曲げおよびせん断を組み合わせた荷重により評価する。

見直し前（申請時）			見直し後（補正）	
応力の種類	計算値 (MPa)		応力の種類	計算値 (MPa)
鉛直方向応力強さ	4.9	➡	鉛直方向応力強さ	4.9
水平方向圧縮	2.4		水平方向圧縮	4.7
組合せ応力	7.3→8		組合せ応力	9.6→10

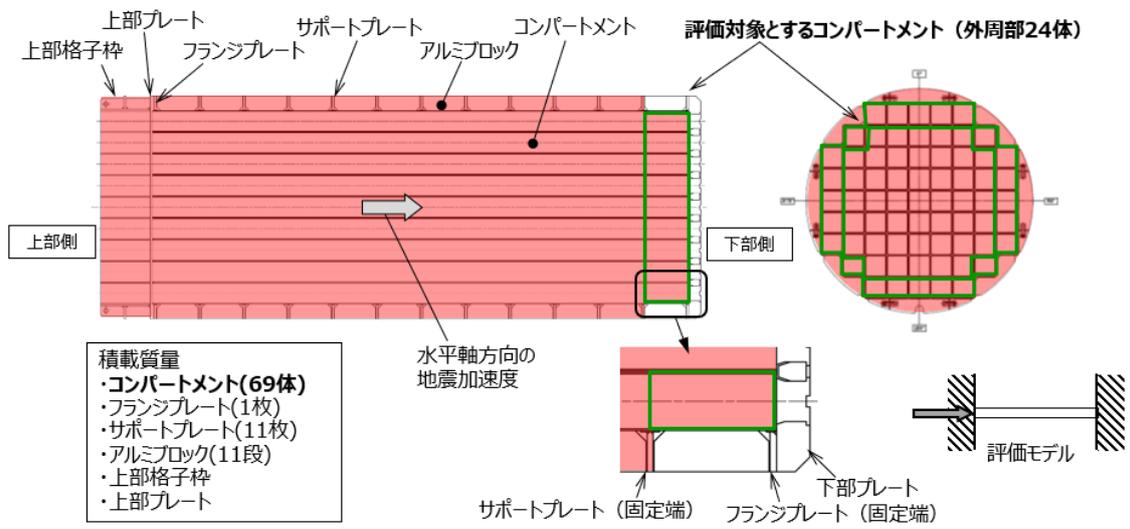


図 3-2 コンパートメントの評価モデル (水平軸方向からの地震加速度)

- ・地(4)：外筒－手計算評価から FEM 評価への見直し

見直しの理由：(2C) Hitz-P24 の審査コメントを検討、反映、
(2D) 審査内容をふまえて見直し

申請時には、外筒の評価は手計算での評価を実施した。キャスク側部からの荷重に対して、曲げ応力やせん断応力を評価するために手計算を実施しているが、津波及び竜巻評価と異なり、地震の荷重条件では、外筒には津波や竜巻のようなキャスク側部からの外部荷重は生じないため、密封境界部での解析モデルを用いた FEM の評価に見直すこととした。

見直し内容は以下のとおり。

- ・評価方法の変更

申請時には先行例として MSF-24P 型が手計算での評価を行っているのに対し、Hitz-P24 型は FEM での解析で評価を行っていた。Hitz-B69 型の外筒は MSF-24P 型と同様にストレートな形状となっているため、MSF-24P 型を参考にして手計算での評価を行うこととした。補足説明資料作成時に、先行して審査が進んでいた Hitz-P24 型の評価に合わせて、FEM での評価に見直すこととした。

- ・適用規格の変更

外筒は金属キャスク構造規格に記載がない部材であるため、型式証明申請時には遮蔽材である中性子遮蔽材及び伝熱部材である伝熱フィンを支える構造物であるとの観点から設計建設規格のクラス 1 支持構造物に準じる構造材として評価を行っていたが、Hitz-P24 型の評価に合わせて金属キャスク構造規格の中間胴に変更した。

見直し前（申請時）		➡	見直し後（補正）	
計算値(MPa)	評価基準値(MPa)		計算値(MPa)	評価基準値(MPa)
103	279		88	282
(手計算での評価)			(FEM での評価)	

- ・地(5)：設計基準値の見直し、溶接継手効率を考慮 ($S \rightarrow 0.45S_u$)

見直しの理由：(2C) Hitz-P24 の審査コメントを検討、反映、
(2D) 審査内容をふまえて見直し

伝熱フィンの評価においては、伝熱部材であり密封容器の構造強度を担保するものではないものの、必要な除熱機能が維持されることを考慮し、設計基準値を許容引張応力 S 値としていたが、先行している Hitz-P24 型の審査内容を鑑みて社内で検討した結果、破断しなければ除熱機能が維持されることから、Hitz-P24 型の評価方法にあわせて設計基準値を設計引張強さ S_u 値とし、値は ASME Boiler & Pressure Vessel Code から引用することとした。伝熱フィンは溶接により取り付けられることから、溶接継手効率 0.4 を考慮することとした。

また、伝熱フィンと胴部の接続部は溶接箇所であるため、評価基準に対して継手効率を考慮することとし、評価面積も見直すこととした。それまでは安全側に胴部側の溶接部のみを考慮していたが、実際の構造に近くなるよう外筒との溶接部も評価対象とした。(

津波評価 津(4)、竜巻評価 竜(3)も同様)

見直し内容は以下のとおり。

- ・評価基準値の変更

【見直し前(申請書)】 評価基準値： $S = 34^{(*)1}$ MPa

【見直し後(補正)】 評価基準値： $0.45S_u = 0.45 \times 192^{(**)2} = 86$ MPa

※1 発電用原子炉規格 材料規格に記載されている S 値

※2 ASME Boiler & Pressure Vessel Code に記載されている SB-152 :
UNS No. C10200 の S_u 値

見直し前 (申請時)		見直し後 (補正)	
計算値(MPa)	評価基準値(MPa)	計算値(MPa)	評価基準値(MPa)
1	34	1	86

- ・地(6)：二次蓋ボルト－遮蔽体の支持する機能を考慮して評価を追加

見直しの理由：(2E) 審査の過程での見直し

二次蓋は遮蔽体の一部であることから、その二次蓋が支持されていることを確認するため、二次蓋ボルトの評価を追加した。(津波評価 津(5)、竜巻評価 竜(4)も同様、ただし評価結果は各評価で異なる)

	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
見直し前：なし	(評価なし)	(評価なし)
見直し後：二次蓋ボルトの評価追加	303	848

(2) 津波時の応力評価

- ・津(1)：密封シール部－評価基準値の設計温度見直しによる許容基準値の見直し
地震評価の地(2)と同様。

・津(2)：バスケット－評価する加速度の訂正

表計算ソフトを使用してバスケット各部の応力計算を行っていたが、計算途中で水平（径方向）加速度 69m/s^2 と水平（軸方向）加速度 44m/s^2 を読み込む際に、それぞれの参照セルを取り違えた状態で計算を行っていたため、正しいセルを参照するよう修正を行った。

	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
見直し前：径方向 44m/s^2 、長手方向 69m/s^2 圧縮（サポートプレート）	7	157
見直し後：径方向 69m/s^2 、長手方向 44m/s^2 圧縮（サポートプレート）	10	157

→4 項(1)で詳細を説明する。

- ・津(3)：津波波力を受ける面積の見直し、評価モデルの見直し（両側固定梁→片側ピン支持他固定梁）

見直しの理由：(2E) 審査の過程での見直し

申請時、外筒の評価モデルは先行例(MSF-24P型、Hitz-P24型)と同様に両端固定梁としてモデル化していたが、津波波力を受けたときに下部レジンカバーが変形する可能性を考慮して、下部レジンカバーとの接続部をピン支持とするモデルに変更した。胴フランジ部との接続部については、胴フランジ部が大きく変形する可能性が低いことから固定端のままとした。下部レジンカバーとの接続部は溶接箇所であるため、評価基準に対して継手効率を考慮することとした。

外筒評価モデルの投影面積は先行他社に準じ、保守性を考慮して[Hitz-B69型の最大外径×全長（緩衝体含む。最確寸法は外筒の外径×長さ）]として投影面積に加わる津波波力による荷重を設定していたが、外筒の評価モデルを、応力評価を保守側に評価するモデルへ変更を行ったことに合わせ、発生応力の増加や、継手効率を考慮することによる許容応力の低減に対し、過大に保守側に設定していた投影面積を[外筒の外径×長さ]に修正することで、実際の現象に即した条件となるよう見直しを行った。

見直し内容	評価結果(MPa)	設計基準値(MPa)
見直し前：投影面積大	84	160
見直し1：投影面積見直し（モデルは両端固定梁）	53	163
見直し2：評価モデル見直し（片側ピン支持他端固定梁、溶接効率考慮）	64	170

- ・ 津(4) : 伝熱フィンー設計基準値の見直し、溶接継手効率を考慮 ($S \rightarrow 0.45Su$)
地震評価の地(5)と同様。

- ・津(5)：二次蓋ボルト―遮蔽体の支持する機能を考慮して評価を追加
地震評価の地(6)と同様。

	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
見直し前：なし	(評価なし)	(評価なし)
見直し後：二次蓋ボルトの評価追加	340	848

(3) 竜巻時の応力評価

- ・ 竜(1)：密封シール部 － 評価基準値の設計温度見直しによる許容基準値の見直し
地震評価の地(2)と同様。

- ・竜(2)：外筒－風圧力を受ける面積の見直し、評価モデルの見直し（両側固定梁→片側ピン支持他固定梁）

津波評価の津(3)と同様。

	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
見直し前：投影面積大	81	160
見直し1：投影面積見直し (モデルは両端固定梁)	80	160
見直し2：評価モデル見直し（片側ピン支持 他端固定梁、溶接継手効率考慮）	122	170

- ・ 竜(3) : 伝熱フィン – 設計基準値の見直し、溶接継手効率を考慮 ($S \rightarrow 0.45Su$)
地震評価の地(5)と同様。

- ・ 竜(4) : 二次蓋ボルト - 遮蔽体の支持する機能を考慮して評価を追加
地震評価の地(6)と同様。

	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
見直し前：なし	(評価なし)	(評価なし)
見直し後：二次蓋ボルトの評価追加	577	848

4. その他の変更内容

4.1 入力値の誤りについて

前項に説明した評価方針の変更のほかに、申請書に反映すべき見直し内容として入力値の誤りがあったため、その適正化に伴い変更を行った。以下詳細を説明する。

(1) バスケットに対する津波の影響評価 [津(2)]

(a) 対象

Hitz-B69 型 型式証明申請書

(b) 事象

バスケットに対する津波の影響評価

(c) 発見経緯

型式証明申請後、補足説明資料の作成時に発見。

(d) 事例概要

Hitz-B69 型のバスケットの構造強度は、Excel に入力した応力評価式で確認しており、波に伴って作用する加速度は個別のセルに入力している。Hitz-B69 型は横置き姿勢で貯蔵するキャスクであり、申請時において横置き貯蔵に対する津波に伴って作用する加速度の整理が十分にできていなかった。津波に伴って作用する加速度として、キャスク軸方向に 4.5G、径方向に 7.1G を想定しているが、縦置き貯蔵の評価方法とは考え方が異なる（縦置き貯蔵ではキャスク方向に対する加速度の違いは生じない）ため、作用する加速度を取り違えて評価していた。

(e) 原因

社内チェックでは、キャスクに作用する加速度を評価モデルで確認しているが、簡易的な評価モデルであったためキャスク方向ごとの加速度が明記されておらず、取り違いを発見できなかった。

(f) 処置

同様の不適合の有無を確認するため、バスケットの強度計算書の再チェックを実施した。再チェックでは評価モデルにキャスク方向ごとの加速度を明記するよう是正するとともに、同様の誤りが再発しないよう原因と是正措置等を報告書にまとめ、社内で水平展開し、型式証明申請を行っている他キャスク設計（Hitz-P24 型、Hitz-B52 型）も確認を行った。

(2) 外筒に対する竜巻飛来物の影響評価

(a) 対象

Hitz-B69 型 補足説明資料

(b) 事象

外筒に対する竜巻飛来物の影響評価

(c) 発見経緯

型式証明申請後、竜巻飛来物の耐震計算書を再チェック時に発見

(d) 事例概要

Hitz-B69 型の津波時及び竜巻時における外筒の構造強度は、Excel に入力した応力評価式で確認しており、津波に伴って作用する「漂流物衝突荷重」と、竜巻に伴って作用する「飛来物衝突荷重」を計算条件として個別のセルに入力している。竜巻評価のなかで外筒中央部の曲げ応力を評価する際に漂流物衝突荷重と飛来物衝突荷重を混同し、津波に伴って作用する漂流物衝突荷重を竜巻に伴って作用する飛来物衝突荷重として誤って使用した。

(e) 原因

キャスクに作用する各荷重は計算条件として社内チェック時に確認しているが、津波作用時と竜巻作用時の計算をひとつのワークシート上で計算していたため、漂流物衝突荷重と飛来物衝突荷重の混同に気が付かなかった。

(f) 処置

津波時の計算書と竜巻時の計算書を別々のワークシートに分割し、ワークシート毎に計算条件を設定・確認することで、計算条件を混同しないよう是正するとともに、同様の誤りが再発しないよう原因と是正措置等を報告書にまとめ、社内で水平展開し、型式証明申請を行っている他キャスク設計（Hitz-P24 型、Hitz-B52 型）も確認を行った。

4.2 社内の申請の確認体制

Hitz 社内の申請書の確認体制について、以下のとおり説明する。

(1) 確認体制（以下の手順にて確認）

- (ア) 社内の設計管理規程に従って業務を実施。
- (イ) 先行他社の申請書の内容を確認、当社申請内容を社内で協議し方針を決定。
- (ウ) 評価内容、工学式の根拠を確認
- (エ) (Hitz-B52 型の評価方法を踏襲、その上で、先行で申請された内容で反映すべきものを検討、反映)
- (オ) 工学式による計算書の作成、評価を実施
- (カ) 計算の入力、計算結果はダブルチェックを行う。
- (キ) 作成した計算書は、原設計者以外による検証を行う。
- (ク) 妥当性の確認として、Hitz-B52 型の評価内容と比較し、結果の傾向を確認する。
- (ケ) 申請前に、関係者で申請書の読み合わせを実施、申請書を確認する。

上記の手順に従って申請書を作成しているが、今回の入力値の誤りについては、(オ)のダブルチェックで発見すべきであった。

(2) 入力値の誤りについての対応

- 応力評価式で確認している計算書（バスケット、トラニオン、外筒、伝熱フィン、一次蓋の横ずれ）の再チェックを実施し、他に誤りがないことを確認した。
- バスケットの強度計算書の再チェック時に、評価モデルにキャスク方向ごとの加速度を明記した。
- 外筒の強度計算書の再チェック時に、計算条件を混同しないよう別々のワークシートに分割し、ワークシート毎に計算条件を設定・確認することとした。
- ダブルチェック時に同種の誤りをおこさないよう原因と是正措置等を報告書にまとめ、社内で水平展開し、型式証明申請を行っている他キャスク設計（Hitz-P24 型、Hitz-B52 型）に対し、同様の誤り（キャスク方向毎の加速度の取り間違い、ワークシート毎に異なる事象の混同による間違い）がないことを確認した。

5. 申請書の補正内容

本資料で説明した内容をふまえて、次のとおり申請書の補正を行う。(補正箇所のみ朱色で示す。)

(1) 耐震評価

<耐震評価、申請時>

項目		評価結果	設計規準値
トラニオン接続部		96 MPa	126 MPa
臨界防止	バスケット	8 MPa	265 MPa
遮蔽・除熱	外筒	103 MPa	279 MPa
	二次蓋ボルト	—	—
除熱	伝熱フィン	1 MPa	34 MPa



<耐震評価、補正>

項目		評価結果	設計規準値
トラニオン接続部		121 MPa	377 MPa
臨界防止	バスケット	5 MPa	157 MPa
遮蔽・除熱	外筒	88 MPa	282 MPa
	二次蓋ボルト	303 MPa	848 MPa
除熱	伝熱フィン	1 MPa	86 MPa

(2) 津波評価

<耐震評価、申請時>

項目		評価結果	設計規準値
臨界防止	バスケット	7 MPa	157 MPa
遮蔽・除熱	外筒	84 MPa	160 MPa
	二次蓋ボルト	—	—
除熱	伝熱フィン	1 MPa	34 MPa



<耐震評価、補正>

項目		評価結果	設計規準値
臨界防止	バスケット	10 MPa	157 MPa
遮蔽・除熱	外筒	64 MPa	170 MPa
	二次蓋ボルト	340 MPa	848 MPa
除熱	伝熱フィン	1 MPa	86 MPa

(3) 竜巻評価

<竜巻評価、申請時>

項目		評価結果	設計規準値
臨界防止	バスケット	10 MPa	265 MPa
遮蔽・除熱	外筒	81 MPa	160 MPa
	二次蓋ボルト	—	—
除熱	伝熱フィン	1 MPa	34 MPa



<竜巻評価、補正>

項目		評価結果	設計規準値
臨界防止	バスケット	10 MPa	157 MPa
遮蔽・除熱	外筒	122 MPa	170 MPa
	二次蓋ボルト	577 MPa	848 MPa
除熱	伝熱フィン	1 MPa	86 MPa