

6 条

外部からの衝撃による損傷の防止

(HDP-69BCH(B)型の竜巻による損傷の防止について)

目次

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項に対する適合性
 - (1) 位置、構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.2 設備等

2. HDP-69BCH(B)型の竜巻による損傷の防止について
 - 2.1 要求事項
 - 2.2 適合性について

3. 竜巻荷重が作用した時のHDP-69BCH(B)型に発生する慣性力（加速度）について

4. 基礎等に固定する設置方法（横置き）の場合

5. 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法（横置き）の場合

6. 参考文献

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

「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書」（添付書類を含む）から、第六条の適合性に関する箇所を抜粋し、本補足説明に関連する箇所に囲い線を表記する。

(1) 位置、構造及び設備

四 特定機器の構造及び設備

1. 構造

HDP-69BCH(B)型は、軽水減速、軽水冷却、沸騰水型原子炉(以下「BWR」という。)で発生した使用済燃料を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料の原子力発電所敷地外への運搬に使用する輸送容器の機能を併せ持ち、実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第二条第2項第四十一号に規定する金属製の特定兼用キャスク(以下「特定兼用キャスク」という。)である。HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料が臨界に達することを防止する機能(以下「臨界防止機能」という。)、特定兼用キャスクに収納された使用済燃料からの放射線を遮蔽する機能(以下「遮蔽機能」という。)、特定兼用キャスクに収納された使用済燃料の崩壊熱を除去する機能(以下「除熱機能」という。)、及び特定兼用キャスクに収納された使用済燃料を閉じ込める機能(以下「閉じ込め機能」という。)といった安全性を確保するために必要な機能(以下「安全機能」という。)を有する構造とする。

HDP-69BCH(B)型は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」(以下「原子炉等規制法」という。)等の関連法規の要求を満足するとともに、原則として、現行国内法規に基づく規格及び基準等によって設計する。

イ. 使用済燃料の臨界防止に関する構造

ロ. 放射線の遮蔽に関する構造

ハ. 使用済燃料の除熱に関する構造

ニ. 使用済燃料の閉じ込めに関する構造

ホ. 地震による損傷の防止に関する構造

ヘ. 津波による損傷の防止に関する構造

ト. 竜巻による損傷の防止に関する構造

HDP-69BCH(B)型は、竜巻による損傷の防止に関して、次の方針に基づき安全設計を行う。

(1) HDP-69BCH(B)型は、兼用キャスク告示に定める竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

(2) 兼用キャスク告示に定める竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

部位のうち、閉じ込め機能を担保する密封境界部は、おおむね弾性状態に留ま
るように設計し、臨界防止機能を担保するバスケットについては、臨界防止上
有意な変形が生じないように設計する。その他の部位については、塑性ひずみ
が生じる場合であっても、破断延性限界に対して十分な余裕を有する等、特定
兼用キャスクの安全機能を維持する設計とする。HDP-69BCH(B)型に衝突し得
る設計飛来物は、原子力発電所の竜巻影響評価ガイドを踏まえて、飛来物の種
類、寸法、質量及びその最大速度を設定する。

チ. その他の主要な構造

HDP-69BCH(B)型は、イからトに加え、次の方針に基づき安全設計を行う。

- (1) HDP-69BCH(B)型は、安全機能を維持する上で必要な構成部材には、設計貯蔵期
間中における温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力
腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要
とされる強度、性能を維持し、使用済燃料の健全性を確保する設計とする。
- (2) HDP-69BCH(B)型は、特定兼用キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料
集合体の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスであるヘ
リウムガスとともに封入し、特定兼用キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇
所には、塗装等による防錆措置を施す設計とする。
- (3) HDP-69BCH(B)型は、輸送用緩衝体及び三次蓋を取り付けて輸送できる構造を
有する設計とする。
- (4) HDP-69BCH(B)型は、自重、内圧、外圧、熱荷重等に加え、貯蔵施設内での取扱
時の荷重を考慮しても特定兼用キャスクの安全機能を維持できる設計とする。

2. 主要な設備及び機器の種類

特定兼用キャスク

種 類	鍛造キャスク(鋼-レジジン遮蔽体タイプ)
全 質 量(使用済燃料を含む。)	約 119 t
寸 法	
全 長	約 5.4 m
外 径	約 2.5 m

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

五 特定機器を使用することができる範囲を限定し、又は条件を付する場合にあっては、当該特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の範囲又は条件

1. 特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の範囲

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。

1.1 基礎等に固定する設置方法

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		たて置き又は横置き
貯蔵用緩衝体の有無		なし
特定兼用キャスクの設置方式		貯蔵架台上に設置
特定兼用キャスクの固定方式		トラニオン固定
特定兼用キャスクの全質量		約 119 t
(使用済燃料集合体を含む。)		
特定兼用キャスクの主要寸法		全長 約 5.4 m
		外径 約 2.5 m
特定兼用キャスク表面における線量当量率		2 mSv/h 以下
特定兼用キャスク表面から 1m 離れた位置		100 μ Sv/h 以下
における線量当量率		
貯蔵区域における特定兼用キャスク周囲温度		最低温度 -22.4 $^{\circ}$ C 最高温度 45 $^{\circ}$ C
貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度		最高温度 65 $^{\circ}$ C
地震力	加速度	水平 2300 Gal 及び 鉛直 1600 Gal ^{*1}
		又は
	速度	水平 2 m/s 及び 鉛直 1.4 m/s ^{*1}
津波の算出条件		浸水深 10 m ^{*1} 流速 20 m/s ^{*1} 漂流物質量 100 t
竜巻の算出条件		風速 100 m/s ^{*1}
		設計飛来物 第 1 表のとおり ^{*2}

注記*1：兼用キャスク告示に規定される値

*2：兼用キャスクが竜巻により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合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定める竜巻により、特定兼用キャスクに衝突し得る飛来物

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

1.2 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法

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	横置き
貯蔵用緩衝体の有無	あり
特定兼用キャスクの設置方式	貯蔵架台上に設置
特定兼用キャスクの固定方式	トラニオン固定
特定兼用キャスクの全質量	約 119 t
(使用済燃料集合体を含む。)	
特定兼用キャスクの主要寸法	全長 約 5.4 m
	外径 約 2.5 m
特定兼用キャスク表面における線量当量率	2 mSv/h 以下
特定兼用キャスク表面から 1m 離れた位置における線量当量率	100 μ Sv/h 以下
貯蔵区域における特定兼用キャスク周囲温度	最低温度 -22.4 $^{\circ}$ C 最高温度 45 $^{\circ}$ C
貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65 $^{\circ}$ C
地震力	<u>加速度</u> 水平 2300 Gal 及び 鉛直 1600 Gal ^{*1} 又は <u>速度</u> 水平 2 m/s 及び 鉛直 1.4 m/s ^{*1}
津波の算出条件	浸水深 10 m ^{*1} 流速 20 m/s ^{*1} 漂流物質量 100 t
竜巻の算出条件	風速 100 m/s ^{*1}
	設計飛来物 第 1 表のとおり ^{*2}

注記*1：兼用キャスク告示に規定される値

*2：兼用キャスクが竜巻により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にかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定める竜巻により、特定兼用キャスクに衝突し得る飛来物

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

2. 特定機器を使用することができる発電用原子炉施設の条件

発電用原子炉施設の設置(変更)許可申請時に別途確認しなければならない事項等の条件は以下のとおりである。

2.1 基礎等に固定する設置方法

- ・特定兼用キャスクの設置場所の地盤は十分に支持することができる地盤であること。
- ・HDP-69BCH(B)型に使用済燃料集合体を収納するに当たっては、特定兼用キャスクの臨界防止機能に関する評価で考慮した因子についての条件又は範囲を逸脱しないような措置、並びに、特定兼用キャスクの遮蔽機能及び除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた使用済燃料集合体の配置の条件又は範囲を逸脱しないような措置が講じられること。
- ・HDP-69BCH(B)型は、貯蔵建屋の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、工場等周辺の実効線量は周辺監視区域外における線量限度を超えないこと。
- ・HDP-69BCH(B)型を貯蔵する貯蔵建屋は、特定兼用キャスクの除熱機能を阻害しない設計であること。また、貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計であること。
- ・HDP-69BCH(B)型を含めた特定兼用キャスク周囲温度及び貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度が、1.1に示したそれぞれの最高温度以下であること。さらに、貯蔵建屋内の周囲温度が異常に上昇しないことを監視できること。
- ・HDP-69BCH(B)型の万一の閉じ込め機能の異常に対する修復性の考慮がなされていること。
- ・地震時の周辺施設からの波及的影響によって、HDP-69BCH(B)型の安全機能が損なわれないこと。
- ・設計竜巻により HDP-69BCH(B)型に衝突し得る飛来物(設計飛来物)の条件が 1.1 に示した設計飛来物の条件に包絡されていること。
- ・原子炉等規制法第四十三条の三の九第1項に基づく設計及び工事の計画の認可の申請までに核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則第二十一条第2項の規定に基づく輸送容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受けること。

2.2 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法

- ・貯蔵用緩衝体の装着により、特定兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法で設置することについて、(一社)日本機械学会「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格」に規定される供用状態 D に対して、貯蔵用緩衝体は、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部材が許容基準を満足するために必要な

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

緩衝性能を有すること。

- ・HDP-69BCH(B)型に使用済燃料集合体を収納するに当たっては、特定兼用キャスクの臨界防止機能に関する評価で考慮した因子についての条件又は範囲を逸脱しないような措置、並びに、特定兼用キャスクの遮蔽機能及び除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた使用済燃料集合体の配置の条件又は範囲を逸脱しないような措置が講じられること。
- ・HDP-69BCH(B)型は、貯蔵建屋の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、工場等周辺の実効線量は周辺監視区域外における線量限度を超えないこと。
- ・HDP-69BCH(B)型を貯蔵する貯蔵建屋は、特定兼用キャスクの除熱機能を阻害しない設計であること。また、貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計であること。
- ・HDP-69BCH(B)型を含めた特定兼用キャスク周囲温度及び貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度が、1.2に示したそれぞれの最高温度以下であること。さらに、貯蔵建屋内の周囲温度が異常に上昇しないことを監視できること。
- ・HDP-69BCH(B)型の万一の閉じ込め機能の異常に対する修復性の考慮がなされていること。
- ・地震時の周辺施設からの波及的影響によって、HDP-69BCH(B)型の安全機能が損なわれないこと。
- ・設計竜巻により HDP-69BCH(B)型に衝突し得る設計飛来物の条件が 1.2 に示した設計飛来物の条件に包絡されていること。
- ・原子炉等規制法第四十三条の三の九第1項に基づく設計及び工事の計画の認可の申請までに核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則第二十一条第2項の規定に基づく輸送容器の設計に関する原子力規制委員会の承認を受けること。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

(2) 安全設計方針

2. 設計方針及び設計条件

2.1 基本設計方針

HDP-69BCH(B)型は、設計貯蔵期間において、使用済燃料が臨界に達することを防止する機能(以下「臨界防止機能」という。)、特定兼用キャスクに収納された使用済燃料からの放射線を遮蔽する機能(以下「遮蔽機能」という。)、特定兼用キャスクに収納された使用済燃料等を閉じ込める機能(以下「閉じ込め機能」という。)、及び特定兼用キャスクに収納された使用済燃料の崩壊熱を除去する機能(以下「除熱機能」という。)といった安全性を確保するために必要な機能(以下「安全機能」という。)を有するように設計し、地震、津波、竜巻等の自然現象に対して安全機能が維持される設計とする。

HDP-69BCH(B)型は、地盤の十分な支持を想定して特定兼用キャスクを基礎等に固定し、かつ、その安全機能を損なわない方法(以下「基礎等に固定する設置方法」という。)として、貯蔵施設内の貯蔵架台等に固定された状態で、たて置き又は横置きに設置できる設計とする。

HDP-69BCH(B)型は、特定兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対してその安全機能を損なわない方法(以下「蓋部が金属部へ衝突しない設置方法」という。)として、貯蔵用緩衝体の装着により、「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にかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示(以下「兼用キャスク告示」という。)に定める地震力による特定兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない、蓋部が金属部へ衝突しない方法で、横置きに設置できる設計とする。

なお、周辺施設(貯蔵用緩衝体や貯蔵架台等の貯蔵用関連設備、計装設備、機器・配管系、貯蔵建屋等及び基礎)の基本設計方針は、本文五に示す特定兼用キャスクを使用することができる発電用原子炉施設の範囲又は条件に従うものとし、本申請の特定兼用キャスクの使用に係る発電用原子炉施設の設置(変更)許可申請時において示されるものとする。

HDP-69BCH(B)型は、原則として、現行国内法規に基づく以下の規格及び基準等によって設計する。ただし、外国の規格及び基準による場合又は規格及び基準で一般的でないものを適用する場合には、それらの規格及び基準の適用の根拠、国内法規に基づく規格及び基準との対比並びに適用の妥当性を明らかにする。

- ・ 日本産業規格(JIS)
- ・ 日本機械学会規格(JSME)
- ・ 日本原子力学会標準(AESJ)等

2.2 安全機能に係る設計方針

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

2.3 自然現象に対する特定兼用キャスクの安全機能維持に係る設計方針

2.3.1 地震に対する設計方針

2.3.2 津波に対する設計方針

2.3.3 竜巻に対する設計方針

HDP-69BCH(B)型は、兼用キャスク告示に定める竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重(以下「竜巻荷重」という。)に対して、特定兼用キャスクの安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。また、竜巻荷重の条件に対して、HDP-69BCH(B)型の安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する密封境界部は、おおむね弾性状態に留まるように設計し、臨界防止機能を担保するバケットについては、臨界防止上有意な変形が生じないように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に対して十分な余裕を有する等、特定兼用キャスクの安全機能を維持する設計とする。なお、竜巻荷重による加速度が HDP-69BCH(B)型に作用した時に各部に発生する応力は、より大きな設計加速度(0.3 m 落下等)が作用した時に各部に発生する応力以下となり、許容基準を満足する。

2.4 設計条件

(1) HDP-69BCH(B)型の設計条件

HDP-69BCH(B)型の設計条件は以下のとおりである。

- a. 設計貯蔵期間は 60 年とする。
- b. 特定兼用キャスクの貯蔵場所は貯蔵建屋内とする。
- c. 特定兼用キャスクの貯蔵姿勢は、基礎等に固定する設置方法(たて置き又は横置き)、又は蓋部が金属部へ衝突しない設置方法(横置き)とする。
- d. 特定兼用キャスクの固定は、床面に固定された貯蔵架台を介したトラニオンによる固定方式とする。
- e. 特定兼用キャスクの全質量(使用済燃料集合体を含む。)は約 119 t とする。
- f. 特定兼用キャスクの主要寸法は、全長約 5.4 m 及び外径約 2.5 m とする。
- g. 特定兼用キャスクの最大崩壊熱量は 13.8 kW/基とする。
- h. 特定兼用キャスクの表面放射率は 0.8 とする。
- i. 特定兼用キャスク表面及び表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率は、それぞれ 2 mSv/h 以下及び 100 μSv/h 以下とする。
- j. 貯蔵区域における特定兼用キャスク周囲の最低温度及び最高温度は、それぞれ -22.4 °C 及び 45 °C とする。
- k. 貯蔵区域における貯蔵建屋壁面最高温度は 65 °C とする。
- l. 貯蔵区域における貯蔵建屋壁面放射率は 0.8 (コンクリートモジュールの壁面

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

放射率は0.9)とする。

m. 貯蔵状態における水平方向及び鉛直方向の地震力(加速度)は、それぞれ2300 Gal 及び1600 Gal とする。また、貯蔵状態における水平方向及び鉛直方向の地震力(速度)は、それぞれ2 m/s 及び1.4 m/s とする。

n. 貯蔵状態における津波荷重の算出条件は、浸水深10 m、流速20 m/s 及び漂流物質量100 t とする。

o. 貯蔵状態における竜巻荷重の算出条件となる風速は、100 m/s とする。また、特定兼用キャスクに衝突し得る設計飛来物の条件は、表1-10-2のとおりとする。

2.5 貯蔵施設の前提条件

HDP-69BCH(B)型を使用することができる貯蔵施設概要図(例)を図1-3に示す。貯蔵施設は、発電用原子炉施設内に設置され、特定兼用キャスク、特定兼用キャスクを床面で固定するための貯蔵架台、特定兼用キャスクの受入れに使用する設備となり、各設備は貯蔵建屋に収容される。

(3) 適合性説明

(a) 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性

3. 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性

外部からの衝撃による損傷の防止

第六条

安全施設（兼用キャスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

3 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

一 兼用キャスクが竜巻により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合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 想定される森林火災

5 前項の規定は、兼用キャスクについて第一項の規定の例によることを妨げない。

6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

7 前項の規定は、兼用キャスクについて第三項の規定の例によることを妨げない。

適合のための設計方針

第1項について

型式証明申請の範囲外とする。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

第2項について

型式証明申請の範囲外とする。

第3項について

型式証明申請の範囲外とする。

第4項について

- 一 HDP-69BCH(B)型は、第一号に規定する竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。竜巻荷重の条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する密封境界部は、おおむね弾性状態に留まるように設計し、臨界防止機能を担保するバスケットについては、臨界防止上有意な変形が生じないように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に対して十分な余裕を有する等、特定兼用キャスクの安全機能を維持する設計とする。HDP-69BCH(B)型に衝突し得る設計飛来物は、原子力発電所の竜巻影響評価ガイドを踏まえて、飛来物の種類、寸法、質量及びその最大速度を設定する。

- 二 型式証明申請の範囲外とする。

第5項について

型式証明申請の範囲外とする。

第6項について

型式証明申請の範囲外とする。

第7項について

型式証明申請の範囲外とする。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

(b) 特定機器を使用することにより発電用原子炉施設に及ぼす影響

1.1 特定機器を使用することにより発電用原子炉施設に及ぼす影響

外部からの衝撃による損傷の防止

第六条

安全施設（兼用キャスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

3 安全施設（兼用キャスクを除く。）は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であつて人為によるもの（故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

一 兼用キャスクが竜巻により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合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 想定される森林火災

5 前項の規定は、兼用キャスクについて第一項の規定の例によることを妨げない。

6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

7 前項の規定は、兼用キャスクについて第三項の規定の例によることを妨げない。

特定兼用キャスクを使用することにより発電用原子炉施設に及ぼす影響の確認

第1項について

HDP-69BCH(B)型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

第2項について

HDP-69BCH(B)型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

第3項について

HDP-69BCH(B)型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

第4項について

- 一 HDP-69BCH(B)型は、第一号に規定する竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。竜巻荷重の条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する密封境界部は、おおむね弾性状態に留まるように設計し、臨界防止機能を担保するバスケットについては、臨界防止上有意な変形が生じないように設計する。その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に対して十分な余裕を有する等、特定兼用キャスクの安全機能を維持する設計とする。HDP-69BCH(B)型に衝突し得る設計飛来物は、原子力発電所の竜巻影響評価ガイドを踏まえて、飛来物の種類、寸法、質量及びその最大速度を設定する。以上より、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

- 二 HDP-69BCH(B)型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

第5項について

HDP-69BCH(B)型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

第6項について

HDP-69BCH(B)型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

第7項について

HDP-69BCH(B)型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

1.2 設備等

「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書」（添付書類を含む）から、特定兼用キャスクの構造及び第六条の評価に関する箇所を抜粋し、本補足説明の関連する箇所に囲い線を表記する。

4. 安全設計に関する構造及び評価

4.5 構造強度

(1) 構造

HDP-69BCH(B)型は、自重、内圧、熱荷重等を考慮して設計するとともに、貯蔵施設内での取扱い時に生じる荷重等を考慮しても構造健全性を維持する設計とする。

HDP-69BCH(B)型は、貯蔵建屋内においてトラニオンを天井クレーン等により吊り上げて取り扱う。また、貯蔵中は、貯蔵建屋内の支持構造物である貯蔵架台を介して床面に固定される。

4.7 自然現象等に対する安全機能維持評価

地震、津波及び竜巻に対する安全機能維持評価を以下に示す。

4.7.1 地震

4.7.2 津波

4.7.3 竜巻

竜巻荷重として、表 1-10-1 に示す評価条件に基づき、HDP-69BCH(B)型に発生する竜巻荷重を算定し、図 1-10 に示す構造強度解析フロー図で評価を行う。

安全機能維持評価では、表 1-10-1 に示す評価条件に基づき、HDP-69BCH(B)型に作用する竜巻荷重を算定し、特定兼用キャスクの安全機能を担保する構成部材が損なわれないことを確認する。

竜巻荷重として、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組み合わせた複合荷重を考慮し、HDP-69BCH(B)型に作用する竜巻荷重を算定する。なお、設計飛来物については、表 1-10-2 に示す竜巻影響評価ガイド解説表 4.1 表に示される 5 種類とする。設計飛来物による衝突荷重は、設計飛来物の圧壊挙動を無視した Riera の式を適用する。

また、安全機能維持評価では、貯蔵用緩衝体による竜巻荷重のエネルギー吸収を無視するとともに、貯蔵用緩衝体の構造体としての剛性を考慮しない条件とする。

上記条件に基づく評価の結果、表 1-12-1 に示すように、竜巻荷重は、外運搬規則の技術上の要件である一般の試験条件で HDP-69BCH(B)型に作用する設計荷重(0.3 m 落下時)より小さいため、特定兼用キャスクの安全機能は維持される。また、表 1-12-2 及び表 1-11-3 に示すように、竜巻荷重による加速度は、0.3 m 落下時の設計加速度よりも小さく、発生応力は、金属キャスク構造規格の供用状態 D に

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

対して、許容基準を満足する。

HDP-69BCH(B)型の設計飛来物が直接衝突する部位は、設計飛来物による衝突荷重により破断しない板厚であるため、特定兼用キャスクの安全機能は維持される。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

表 1-10-1 地震、津波及び竜巻の評価条件

事象	評価条件
地震	水平加速度 2300 Gal 及び 鉛直加速度 1600 Gal ^{*1}
津波	浸水深 10 m ^{*1} 、流速 20 m/s ^{*1} 、漂流物質量 100 t ^{*2}
竜巻	最大風速 100 m/s ^{*1} 、設計飛来物(表 1-10-2 参照)

注記*1：兼用キャスク告示に定められる評価条件

*2：実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈 別記 4 第 5 条の 2 の一に定められる評価条件

表 1-10-2 設計飛来物について^{*1}

飛来物の種類	棒状物		板状物	塊状物	
	鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート板	コンテナ	トラック
寸法 (m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3
質量 (kg)	8.4	135	540	2300	4750
最大水平 速度(m/s)	49	51	30	60	34
最大鉛直 速度(m/s)	33	34	20	40	23

注記*1：原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(原規技発第 13061911 号(平成 25 年 6 月 19 日)

原子力規制委員会決定、令和元年 9 月 6 日一部改正) 解説表 4.1

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

表 1-11-3 設計加速度が HDP-69BCH(B)型に作用した場合の評価結果

項目		評価結果*2	設計基準値*3
臨界防止	バスケットプレート	72 MPa	306 MPa
遮蔽・除熱	外筒*1	70 MPa	373 MPa
閉じ込め	一次蓋シール部	46 MPa	186 MPa
	一次蓋ボルト	492 MPa	848 MPa

注記*1：外筒は、レジンを保持し、かつ伝熱フィンが取り付けられる部材であり、外筒の健全性を確認することで、遮蔽機能及び除熱機能が維持される。

注記*2：各評価部位のうち、設計基準値に対する余裕が最も少ない結果を示す。

注記*3：金属キャスク構造規格の基準値

表 1-12-1 津波及び竜巻時の荷重評価結果

項目	作用荷重	設計基準値*1	備考
津波漂流物の衝突 (波力を含む。)	9.03 MN	頭部垂直落下 38.8 MN	表 1-10-1、表 1-10-2 に基づき、HDP-69BCH(B)型の表面に生じる作用荷重を評価。 作用荷重は 0.3 m 落下時の設計加速度によって発生する衝突荷重以下であり、特定兼用キャスクの安全機能は維持する。
設計飛来物の衝突 (竜巻による荷重を含む)	8.63 MN*2	水平落下 26.0 MN	

注記*1：0.3 m 落下時の衝撃荷重

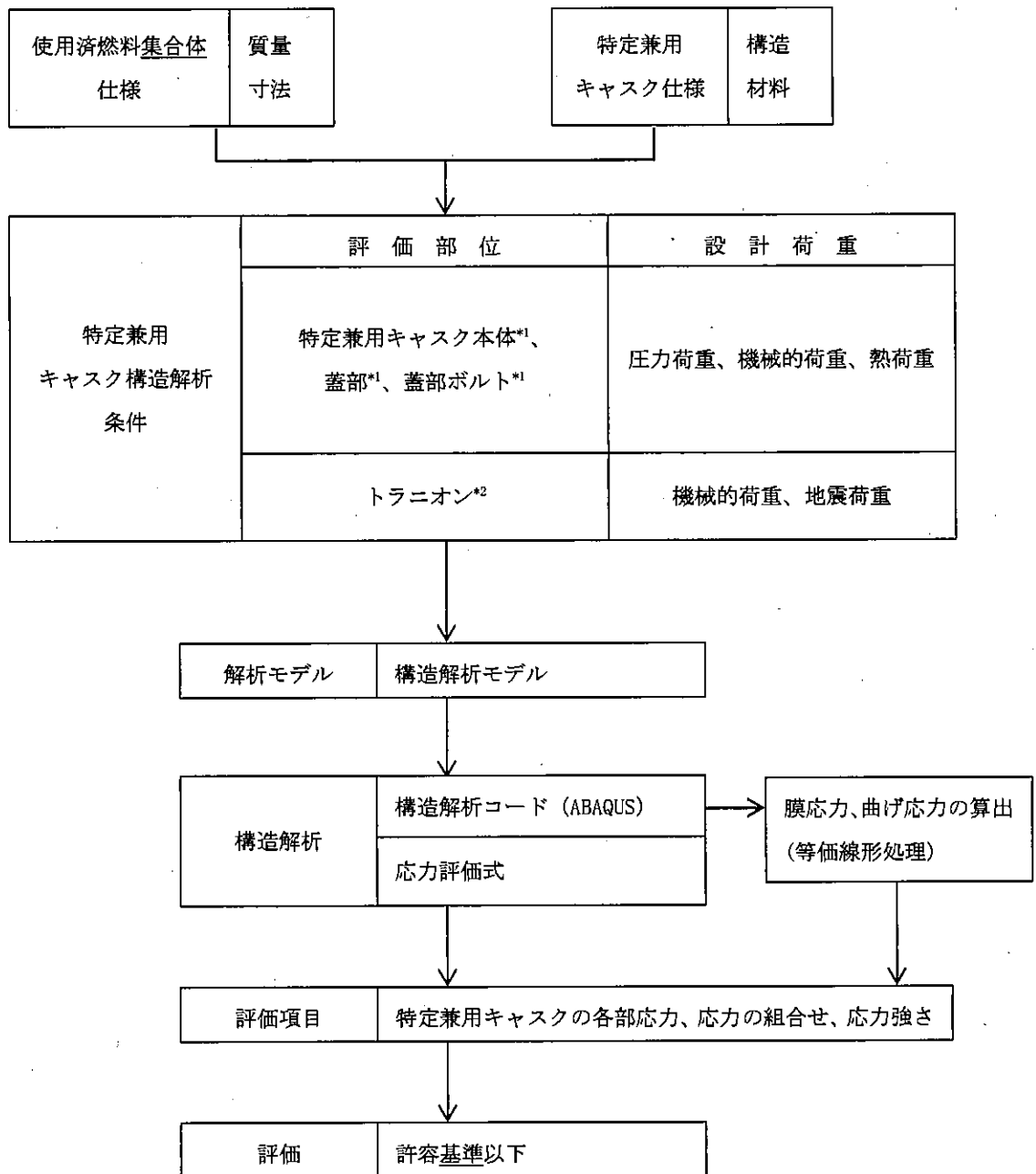
*2：設計飛来物であるトラックの衝突による荷重に竜巻による荷重を考慮した値。

表 1-12-2 津波荷重又は竜巻荷重が HDP-69BCH(B)型に作用した場合に生じる加速度

津波荷重による 加速度(m/s ²)	竜巻荷重による 加速度(m/s ²)	設計加速度(m/s ²)*1
69 m/s ²	72 m/s ²	196 又は 294 m/s ²

注記*1：0.3 m 落下時に HDP-69BCH(B)型に作用する加速度。表 1-11-3 と同じ値であり、評価結果は表 1-11-3 も同じ値となる。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋



注記*1：構造解析コード又は応力評価式による評価

*2：応力評価式による評価

図 1-10 構造強度解析フロー図

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

2. HDP-69BCH(B)型の竜巻による損傷の防止について

2.1 要求事項

HDP-69BCH(B)型の竜巻による損傷の防止に関する要求事項は以下のとおりである。

(1) 設置許可基準規則要求事項

a. 設置許可基準規則第6条1項

- ・安全施設（兼用キャスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項においても同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

b. 設置許可基準規則第6条3項

- ・安全施設（兼用キャスクを除く。）は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

c. 設置許可基準規則第6条4項

- ・兼用キャスクは、次に掲げる自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

一 兼用キャスクが竜巻により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られる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 想定される森林火災

d. 設置許可基準規則第6条5項

- ・前項の規定は、兼用キャスクについて第一項の規定の例によることを妨げない。

e. 設置許可基準規則第6条6項

- ・兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

f. 設置許可基準規則第6条7項

- ・前項の規定は、兼用キャスクについて第三項の規定の例によることを妨げない。

g. 設置許可基準規則解釈第6条2項

- ・第1項に規定する「想定される自然現象」とは、敷地の自然環境を基に、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象又は森林火災等から適用されるものをいう。

h. 設置許可基準規則解釈第6条8項

- ・第3項に規定する「発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）」とは、敷地及び敷地周辺の状況をもとに選択されるものであり、飛来物（航空機落下等）、ダム崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突又は電磁的障害等をいう。なお、上記の航空機落下については、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成14・07・29 原院第4号（平成14年7月30日原子力安全・保安院制定））等に基づき、防護設計の要否について確認する。

i. 設置許可基準規則解釈別記4第6条2項

- ・第6条第4項に規定する「自然現象」については、以下のとおりとする。
 - 一 第1号に規定する「兼用キャスクが竜巻により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合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの」については、次のとおりとする。
 - ・兼用キャスク告示第3条によるものとする。
 - ・竜巻による飛来物の衝突に対して、その安全機能が損なわれないものであること。
 - 二 第2号に規定する「森林火災」については、本規程第6条第2項及び第3項のとおりとする。

j. 設置許可基準規則解釈別記4第6条3項

- ・第6条第6項に規定する「人為による事象」については、本規程第6条第8項のとおりとする。

(2) 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確認事項

a. 4. 自然現象等に対する兼用キャスクの設計 4.1 設計方針

【審査における確認事項】

『

兼用キャスクは、「4.2 考慮する自然現象等の設定方針」に示す自然現象等に対して、「4.3 考慮する自然現象等に対する設計方針」に示す方針により安全機能を維持していること。

』

【確認内容】

『

兼用キャスクは、その堅牢性を踏まえ、「4.2 考慮する自然現象等の設定方針」に示す各事象に対して、「4.3 考慮する自然現象等に対する設計方針」に示す方針に

より安全機能を維持する設計が行われていること。

』

b. 4.2 考慮する自然現象等の設定方針 4.2.3 竜巻

【審査における確認事項】

『

設置許可基準規則第6条第4項に規定する竜巻による作用力を適用していること。

』

【確認内容】

『

(1) 設置許可基準規則第6条第4項に規定する兼用キャスク告示で定める竜巻として、設置許可基準規則の解釈別記4第6条第2項第1号に基づき、設計竜巻（原子力発電所の竜巻影響評価ガイド「1.4 用語の定義」に規定する「設計竜巻」をいう。以下同じ。）の最大風速を以下のとおり定め、設計荷重を設定していること。

・最大風速 : 100m/s

(2) 設計荷重の設定に用いる設計飛来物は、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していること。

』

c. 4.3.3 竜巻に対する設計方針

【審査における確認事項】

『

兼用キャスクは、「4.2.3 竜巻」に示す竜巻による作用力に対して安全機能が維持されること。

』

【確認内容】

『

(1) 竜巻による飛来物の衝突荷重及び衝突による評価は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考にしていること。

(2) 設計竜巻に対する飛来物及び最大速度は、原子力発電所の竜巻影響評価ガイド解説表4.1に記載の値を参考に設定し、飛来物の衝突荷重を算定（例えば、建築物の耐衝撃設計の考え方（（一社）日本建築学会 2015.1）を参考に飛来物の圧潰挙動を無視してRieraの式等で算定）していること。

(3) 竜巻荷重に対する兼用キャスクの評価は、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行われていること。

』

d. 4.2.4 その他の外部事象

【審査における確認事項】

『

設置許可基準規則第6条第4項及び第6項に規定する外部事象を適用していること。

』

【確認内容】

『

- (1) 設置許可基準規則の解釈別記4第6条第2項第2号及び同条第3項に基づき、森林火災、爆発及び人為による火災（隣接する工場等の火災をいう。以下同じ。）を選定していること。
- (2) その他の外部事象のうち、(1)で選定した事象以外の事象については、以下のとおりとする。

① 火山立地評価

新規制基準（平成25年7月及び同年12月の改正原子炉等規制法の施行に伴い改正された規則等をいう。以下同じ。）への適合性審査を経ていない発電用原子炉施設において、新規制基準の施行時に既に存在していた使用済燃料を使用済燃料貯蔵槽から兼用キャスクに移し替えることは、施設の維持・管理上の安全性を高めるものであり、当該移替えのための兼用キャスク設置に係る設置変更許可に当たっては、火山の立地評価は不要とする。

② ①以外の外部事象（火山灰層厚、積雪、落雷等）

兼用キャスク告示で定める地震力等に対する安全機能の維持を求めることを踏まえると、①以外の外部事象は兼用キャスクの安全機能を損なわせるものではないと考えられるため、個別の確認は不要とする。

』

2.2 適合性について

HDP-69BCH(B)型の竜巻による損傷の防止については、審査ガイドの確認内容を考慮した上で、以下のとおり設置許可基準規則に適合している。

[設置許可基準規則]

c. 設置許可基準規則第6条4項

・兼用キャスクは、次に掲げる自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

一 兼用キャスクが竜巻により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にかわらず判断するために用いられる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの

i. 設置許可基準規則解釈別記4第6条2項

・第6条第4項に規定する「自然現象」については、以下のとおりとする。

一 第1号に規定する「兼用キャスクが竜巻により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にかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの」については、次のとおりとする。

・兼用キャスク告示第3条によるものとする。

・竜巻による飛来物の衝突に対して、その安全機能が損なわれないものであること。

[確認内容]

a. 4. 自然現象等に対する兼用キャスクの設計 4.1 設計方針

兼用キャスクは、その堅牢性を踏まえ、「4.2 考慮する自然現象等の設定方針」に示す各事象に対して、「4.3 考慮する自然現象等に対する設計方針」に示す方針により安全機能を維持する設計が行われていること。

b. 4.2 考慮する自然現象等の設定方針 4.2.3 竜巻

(1) 設置許可基準規則第6条第4項に規定する兼用キャスク告示で定める竜巻として、設置許可基準規則の解釈別記4第6条第2項第1号に基づき、設計竜巻（原子力発電所の竜巻影響評価ガイド「1.4 用語の定義」に規定する「設計竜巻」をいう。以下同じ。）の最大風速を以下のとおり定め、設計荷重を設定していること。

・最大風速 : 100 m/s

(2) 設計荷重の設定に用いる設計飛来物は、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していること。

c. 4.3.3 竜巻に対する設計方針 4.3.2.1 基本方針

(1) 竜巻による飛来物の衝突荷重及び衝突による評価は、「原子力発電所の竜巻影響

評価ガイド」を参考にしていること。

- (2) 設計竜巻に対する飛来物及び最大速度は、原子力発電所の竜巻影響評価ガイド解説表 4.1 に記載の値を参考に設定し、飛来物の衝突荷重を算定（例えば、建築物の耐衝撃設計の考え方（（一社）日本建築学会 2015.1）を参考に飛来物の圧潰挙動を無視して Riera の式等で算定）していること。
- (3) 竜巻荷重に対する兼用キャスクの評価は、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行われていること。

HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料を原子力発電所敷地内に貯蔵し、かつ使用済燃料の原子力発電所敷地外への運搬に使用する容器に兼用することができる特定兼用キャスクとして、十分な堅牢性を有する構造とする。

2.1 の要求事項を踏まえ、HDP-69BCH(B)型は、特定兼用キャスクが竜巻により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にかわらず判断するために用いられる合理的な竜巻（以下「兼用キャスク告示竜巻」という。）に対し、安全機能を損なわない設計とする。

兼用キャスク告示竜巻による最大風速及び設計飛来物から設計荷重を設定する。最大風速は兼用キャスク告示の値を用いる。設計飛来物は、竜巻影響評価ガイド解説表 4.1⁽¹⁾の飛来物の値を用いる。竜巻影響評価ガイド解説表 4.1 を表 2.2-1 に示す。表 2.2-1 は、竜巻の最大風速 100 m/s の場合の設定例を示している。表 2.2-1 に示す飛来物による設計荷重が貯蔵状態の HDP-69BCH(B)型の表面に作用するものとする。

表 2.2-1 竜巻影響評価ガイド解説表 4.1⁽¹⁾の飛来物について

ケース No.	飛来物の種類	質量 (kg)	サイズ (m)	最大速度 (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
1	鋼製パイプ	8.4	長さ×直径 2×0.05	49	33
2	鋼製材	135	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	51	34
3	コンクリート板	540	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	30	20
4	コンテナ	2300	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6	60	40
5	トラック	4750	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3	34	23

a. 衝突荷重の評価方法

構造強度解析フロー図を図 2.2-1 に示す。竜巻による設計飛来物の衝突荷重の計算には、建築物の耐衝撃設計の考え方⁽²⁾に記載の方法を参考に、以下の Riera の式⁽³⁾を使用する。

$$P(t) = P_b[x(t)] + \mu[x(t)]v^2(t) \quad (1)$$

ここで、

$P(t)$: 衝突荷重 (N)

$P_b(x)$: 先端から距離 x における圧潰力 (N)

$\mu(x)$: 先端から距離 x における単位長さ当たりの質量 (kg/m)

$v(t)$: 時刻 t における衝突速度 (m/s)

である。

航空機の衝撃試験に関する報告書によれば、機体の破壊強度が衝撃荷重に与える影響は比較的小さく、質量の慣性力が支配的となり、衝突荷重の時刻歴の形状は、機体の質量分布に依存するという知見が得られている⁽²⁾。竜巻による飛来物についても同様に考え、式(1)の第1項を無視できるとすると、式(1)は次のように求められる。

$$P(t) = \mu[x(t)]v^2(t) \quad (2)$$

ここで、表 2.2-1 に示す飛来物の種類から、設計飛来物の質量分布が長さ L にわたって一定とし、さらに衝突速度が一定（衝突荷重の時刻歴を矩形波として近似）と仮定すると、式(2)は次のように求められる。

$$P = \frac{m}{L}v^2 \quad (3)$$

ここで、

m : 設計飛来物の質量 (kg)

L : 設計飛来物の衝突方向長さ (m)

である。

一方、設計飛来物の質量分布を考慮して、質量分布の形状に三角形を仮定した場合、式(2)は次のように求められる。

$$P = \frac{2m}{L}v^2 \quad (4)$$

表 2.2-1 に示す 5 種類の設計飛来物の条件で、衝突荷重を求める。本評価では、設計飛来物の質量が大きく、設計飛来物の構造上、質量分布を無視できない（形状による質量分布の影響があることや、質量の大きなエンジンを有すること等）コンテナ及びトラックについては、式(4)を用いて衝突荷重を評価し、質量分布が比較的一様と想定されるそれ以外の飛来物については、式(3)を用いて衝突荷重を評価する。

b. 許容基準

本評価では、竜巻による荷重及び設計飛来物による衝突荷重（以下「竜巻荷重」という。）が HDP-69BCH(B)型に作用した場合でも、HDP-69BCH(B)型の安全機能が損なわれないことを確認する。評価部位を表 2.2-2 に示す。

(1) フランジ部

フランジ部は、HDP-69BCH(B)型の遮蔽機能及び閉じ込め機能に必要な部位であるため、フランジ部がおおむね弾性状態に留まる範囲で耐えることを確認する。許容基準には、別途特定兼用キャスクの安全機能が損なわれないことを確認している設計用の加速度及び荷重（以下「設計加速度」及び「設計荷重」という。）を適用する。この設計加速度及び設計荷重は、HDP-69BCH(B)型の核燃料輸送物設計承認申請において外運搬規則の技術上の要件である 0.3 m 落下時の評価において輸送用緩衝体の設計条件として用いる設計加速度及び設計荷重と同じ値であり、特定兼用キャスクの安全機能が損なわれない許容基準として本評価でも引用する。

荷重の作用範囲を図 2.2-1 に示す。フランジ部の許容基準は、0.3 m 落下時の評価で用いる設計荷重（輸送用緩衝体からの反力）及びフランジ部に設計荷重が作用した時の応力とする。荷重については、式(3)を用いて算出した設計飛来物による衝突荷重と設計荷重を比較する。また、応力については、第五条の適合性説明で示した許容基準と同様に、設計荷重（輸送用緩衝体からの反力）とその作用範囲から算出した応力と設計飛来物による衝突荷重と衝突を想定したフランジ部の寸法を考慮した上で、設計飛来物の衝突面積から算出した応力を比較する。さらに、設計飛来物のうち、最も衝突荷重の大きいトラックの値に、竜巻による荷重を考慮しても許容基準を満足することを確認する。

(2) 二次蓋

二次蓋は、HDP-69BCH(B)型の遮蔽機能及び閉じ込め機能に必要な部位であり、破断した場合、遮蔽機能に影響を及ぼすため、設計飛来物の衝突によって二次蓋が破断しないことを評価する。評価にあたっては、鋼板の貫通限界厚さの評価式である BRL(Ballistic Research Laboratory)式⁽⁴⁾を使用し、貫通限界厚さが二次蓋の厚さよりも小さいことを確認する。

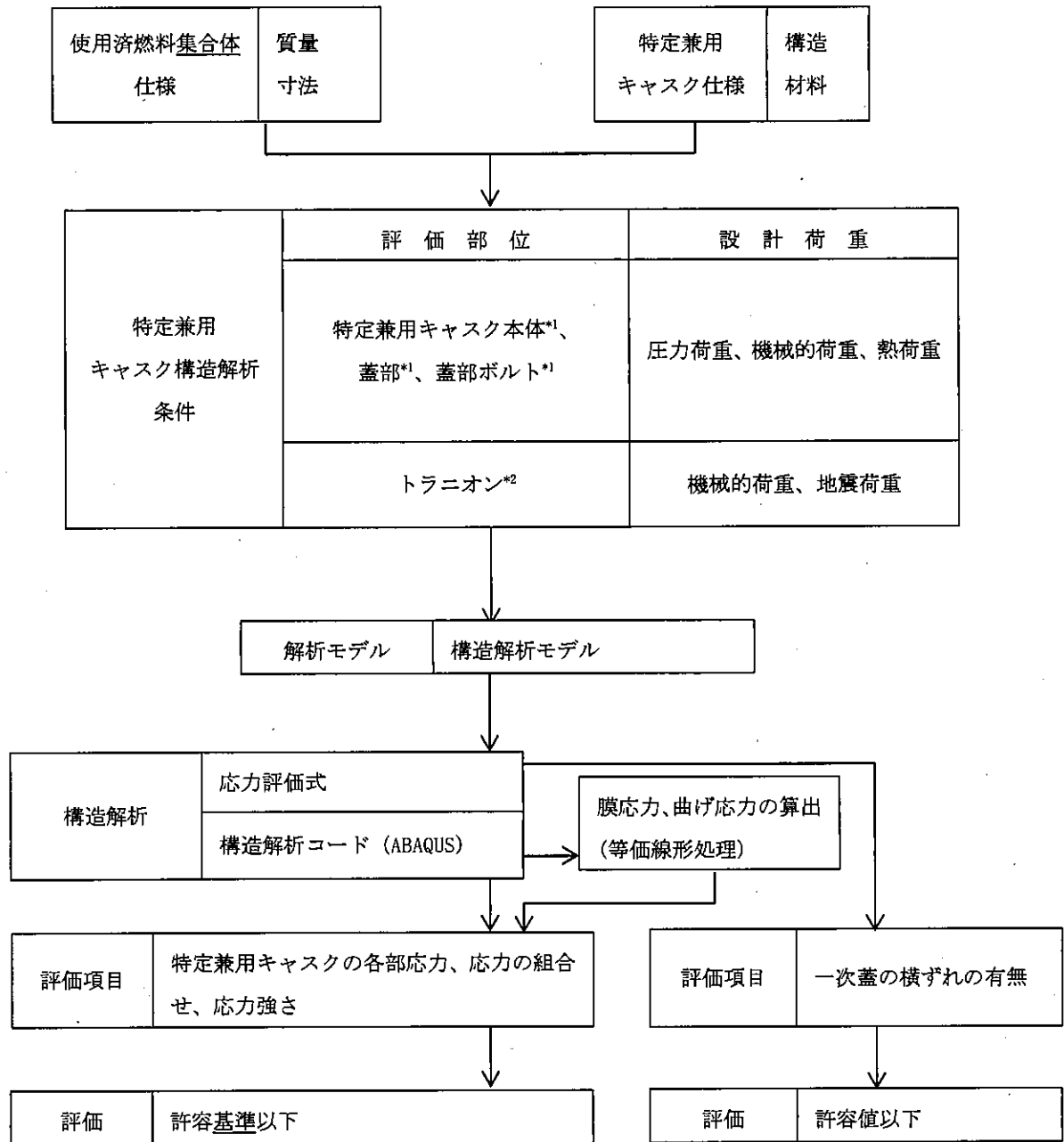
(3) 外筒

外筒は、閉じ込め機能を構成する部材ではないが、その内側に中性子吸収材及び伝熱フィンを支持する構造であることから、HDP-69BCH(B)型の遮蔽機能と除熱機能を維持するために重要な部位である。外筒は、破断した場合遮蔽機能と除熱機能に影響を及ぼすため、設計飛来物の衝突によって外筒が破損しないことを(2)と同様に確認する。

d. 評価結果

フランジ部の評価結果を表 2.2-3 に示す。表 2.2-3 に示すように、設計飛来物による衝突荷重及び応力は、竜巻による荷重を考慮しても、許容基準を下回り、フランジ部はおおむね弾性状態に留まる。したがって、竜巻荷重が作用した場合でも、HDP-69BCH(B)型の遮蔽機能及び閉じ込め機能が損なわれることはない。また、二次蓋、外筒の限界貫通厚さは、最大 9 mm 程度であり、破断することはない。したがって、HDP-69BCH(B)型の遮蔽機能及び除熱機能が損なわれることはない。

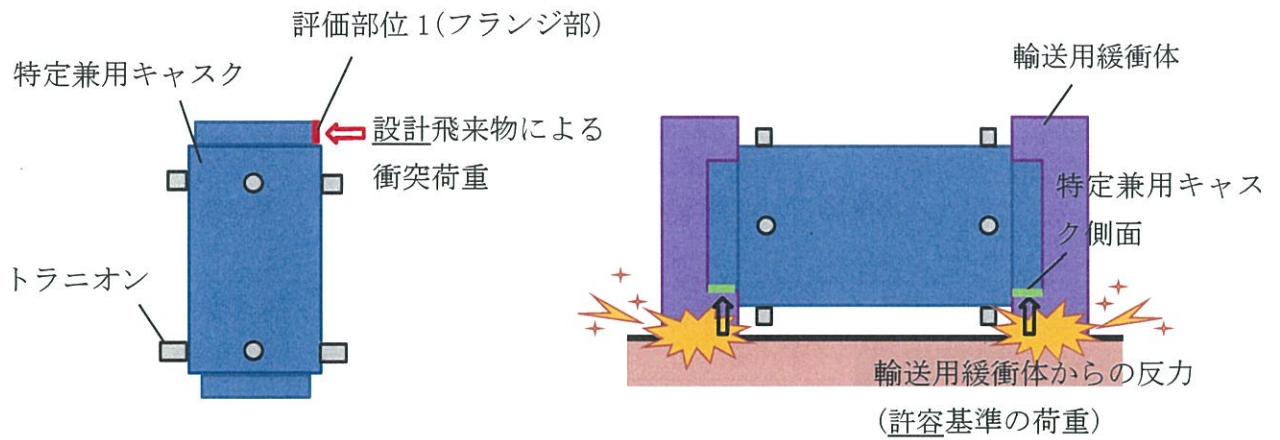
なお、バスケットについては塑性変形を考慮しても臨界とならないことを、補足説明資料「16 条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設 (HDP-69BCH(B)型の臨界防止機能について)」の参考 1 で確認しており、臨界防止機能が損なわれることはない。



注記*1：構造解析コード又は応力評価式による評価

*2：応力評価式による評価

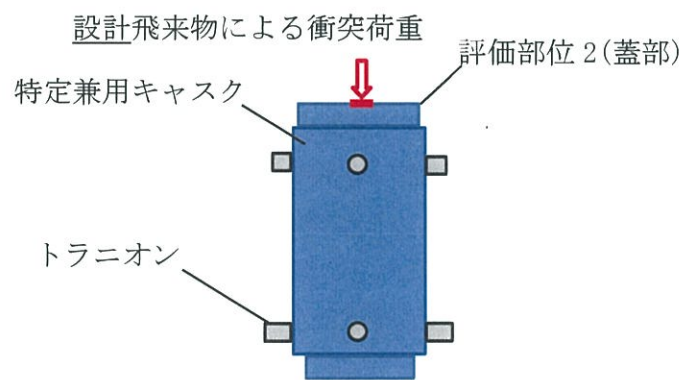
図 2.2-1 構造強度解析フロー図



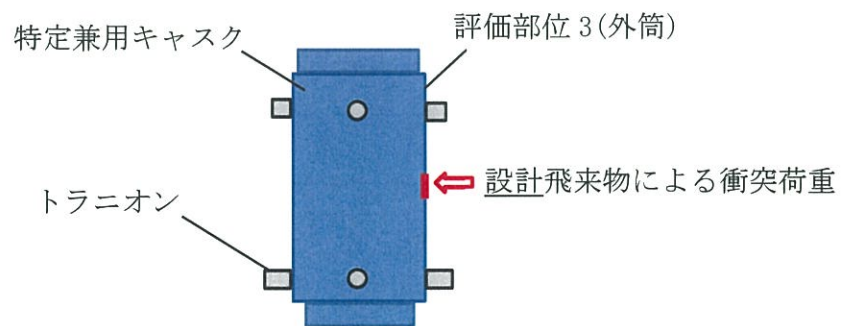
荷重の作用範囲

許容基準に用いた荷重の作用範囲

(a) フランジ部の場合



(b) 二次蓋の場合



(c) 外筒の場合

図 2.2-2 荷重の作用範囲と評価部位について

表 2.2-2 評価部位について

評価部位*1	主要な安全機能	安全機能の内容	許容基準
フランジ部	遮蔽機能 閉じ込め機能	・密封境界を構成する部位である。 ・主要なガンマ線遮蔽体の一つである。	フランジ部がおおむね弾性範囲に留まること*2。
二次蓋	遮蔽機能	・主要なガンマ線遮蔽体の一つである。	破断しないこと*3。
外筒	遮蔽機能 除熱機能	・中性子遮蔽材であるレジンを保持する部位であり、かつ、伝熱部材である伝熱フィンが取り付けられる部位である。	同上*3。

注記*1：一次蓋、一次蓋ボルト及びバスケットについては、竜巻荷重が直接作用することはないため、安全機能が損なわれることはない。

注記*2：外運搬規則の技術上の要件である 0.3 m 落下時に特定兼用キャスクに生じる荷重及び応力以下であれば、密封境界を構成する部位はおおむね弾性範囲に留まり、特定兼用キャスクの閉じ込め機能、遮蔽機能が損なわれることはない。

注記*3：竜巻影響評価ガイドの解説表 4.1 で想定される設計飛来物が二次蓋と外筒に衝突しても、二次蓋と外筒が十分な厚さを有していれば、二次蓋と外筒が破断することではなく、特定兼用キャスクの遮蔽機能、除熱機能が損なわれることはない。

表 2.2-3 設計竜巻の最大風速 100 m/s の飛来物の衝突荷重の計算条件及び計算結果
(a) 計算条件

飛来物の種類	質量 m (kg)	長さ*1 L (m)	速度*2 v (m/s)	飛来物の 衝突面積*1 S (m ²)
鋼製パイプ	8.4	2	49	0.002
鋼製材	135	0.2	51	0.78
コンクリート板	540	0.15	30	0.23
コンテナ	2300	2.4	60	0.78
トラック	4750	1.3	34	0.78

注記*1：飛来物の衝突面積は、飛来物を表 2.2-1 の「サイズ」の寸法を有する直方体又は円柱とした場合に、想定される 3 つの衝突の方向のうち、最も衝突荷重が大きくなる方向での飛来物側の衝突面の寸法と、フランジ側の衝突面の寸法を考慮して

算出した。

注記*2：表 2.2-1 は、竜巻の最大風速 100 m/s の場合の設定例を示している。設置許可基準規則解釈別記 4 第 6 条 4 項で要求される竜巻は、兼用キャスク告示で最大風速が 100 m/s であることが示されており、竜巻影響評価ガイド解説表 4.1 と整合することから、速度は、表 2.2-1 の「最大水平速度」「最大鉛直速度」のうち、より大きい値を選択した。

(b) フランジ部の計算結果

飛来物の種類	評価結果		許容基準		備考
	衝突荷重 P (MN)	応力*2 (MPa)	作用する 荷重(MN)	応力 (MPa)	
鋼製パイプ	0.01	6	26.0*3	19*4	おおむね弾性範囲に留まる荷重と応力以下であることを確認
鋼製材	1.76	3			
コンクリート板	3.24	15			
コンテナ	6.90*1	9			
トラック	8.45*1	11			
トラック (竜巻による荷重を考慮)	8.53*5	12			

注記*1：式(4)を用いて衝突荷重を算出。なお、式(3)を用いた時の衝突荷重は、コンテナの場合は 3.45 MN、トラックの場合は 4.23 MN となる。

注記*2：評価部位に設計飛来物の衝突荷重が作用した時の応力

注記*3：0.3 m 落下時の HDP-69BCH(B)型に作用する荷重

注記*4：0.3 m 水平落下時に輸送用緩衝体からの反力によって HDP-69BCH(B)型の側面に発生する応力

注記*5：竜巻による荷重のうち、風圧力による荷重は、以下の式を用いて求め、トラックの衝突荷重に考慮した。なお、補足説明資料「HDP-69BCH(B)型が特定兼用キャスクであることの説明資料」(以下「特定兼用キャスクであることの補足説明資料」という。)の 3.1 節に示すように、特定兼用キャスクの構造強度評価は、HDP-69BCH(B)型の外部と特定兼用キャスク本体内部の気圧差を包絡できる胴内圧条件で評価を行うことから、気圧差による荷重は考慮しない。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ただし、

W_w : 風圧力による荷重(N)

q : 設計用速度圧(kg/(m・s²))

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2$$

G : ガスト影響係数 (= 1.0^{*6})

C : 風力係数 (= 1.0^{*7})

A : 受圧面積(= 13.20^{*8} m²)

ρ : 空気の密度(= 1.22^{*9} kg/m³)

V : 設計竜巻の最大風速(= 100 m/s)

注記*6 : 竜巻の最大風速は最大瞬間風速であり、1.0 とする。

注記*7 : 建築物荷重指針・同解説(2015)⁽⁵⁾に示される円形平面への風力係数である。

注記*8 : HDP-69BCH(B)型の水平方向に垂直な平面への投影面積である。

注記*9 : 建築物荷重指針・同解説(2015)⁽⁵⁾に示される空気の密度である。

(c) 二次蓋、外筒の限界貫通厚さの計算条件及び計算結果

飛来物の種類	計算条件				限界貫通厚さ*3 (mm)	二次蓋の厚さ (mm)	外筒の厚さ (mm)
	質量*1 m (kg)	速度*1 v (m/s)	投影面積*2 (m ²)	直径 d (m)			
鋼製パイプ	8.4	49	0.002	0.050	7.4	□	20
鋼製材	135	51	0.06	0.276	8.9		
コンクリート板	540	30	0.15	0.437	7.0		
コンテナ	2300	60	6.24	2.819	7.2		
トラック	4750	34	2.47	1.773	8.7		

注記*1：表 2.2-3(a)と同じ値。

注記*2：表 2.2-1 の「サイズ」に記載の寸法から投影面積が最小となるよう算出。

注記*3：鋼板の限界貫通厚さに関する評価式である BRL 式として、以下の式を用いて、限界貫通厚さを求め、二次蓋と外筒の厚さと比較した。

$$t^{3/2} = \frac{0.5mv^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 d^{3/2}}$$

ただし、

t：鋼板の限界貫通厚さ(m)

m：設計飛来物の重量(kg)

v：設計飛来物の速度(m/s)

d：設計飛来物が衝突する衝突断面の等価直径(m)

(飛来物の投影面積が S(mm²)の時、S=π×d²/4)

K：鋼板の等級に関わる係数(= 1.0)

□ 内は商業機密のため、非公開とします。

なお、以下の内容は、本型式証明の申請範囲外とする。

〔設置許可基準規則〕

a. 設置許可基準規則第6条1項

- ・安全施設（兼用キャスクを除く。）は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項においても同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

b. 設置許可基準規則第6条3項

- ・安全施設（兼用キャスクを除く。）は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。以下「人為による事象」という。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

c. 設置許可基準規則第6条4項

- ・兼用キャスクは、次に掲げる自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

二 想定される森林火災

d. 設置許可基準規則第6条5項

- ・前項の規定は、兼用キャスクについて第一項の規定の例によることを妨げない。

e. 設置許可基準規則第6条6項

- ・兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発

二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災

f. 設置許可基準規則第6条7項

- ・前項の規定は、兼用キャスクについて第三項の規定の例によることを妨げない。

g. 設置許可基準規則解釈第6条2項

- ・第1項に規定する「想定される自然現象」とは、敷地の自然環境を基に、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象又は森林火災等から適用されるものをいう。

h. 設置許可基準規則解釈第6条8項

- ・第3項に規定する「発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）」とは、敷地及び敷地周辺の状況をもとに選択されるものであり、飛来物（航空機落下等）、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突又は電磁的障害等をいう。なお、上記の航空機落下については、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準に

ついて」(平成14・07・29 原院第4号(平成14年7月30日原子力安全・保安院制定))等に基づき、防護設計の要否について確認する。

i. 設置許可基準規則解釈別記4第6条2項

二 第2号に規定する「森林火災」については、本規程第6条第2項及び第3項のとおりとする。

j. 設置許可基準規則解釈別記4第6条3項

・第6条第6項に規定する「人為による事象」については、本規程第6条第8項のとおりとする。

[確認内容]

d. 4.2.4 その他の外部事象

(1) 設置許可基準規則の解釈別記4第6条第2項第2号及び同条第3項に基づき、森林火災、爆発及び人為による火災(隣接する工場等の火災をいう。以下同じ。)を選定していること。

(2) その他の外部事象のうち、(1)で選定した事象以外の事象については、以下のとおりとする。

① 火山立地評価

新規制基準(平成25年7月及び同年12月の改正原子炉等規制法の施行に伴い改正された規則等をいう。以下同じ。)への適合性審査を経ていない発電用原子炉施設において、新規制基準の施行時に既に存在していた使用済燃料を使用済燃料貯蔵槽から兼用キャスクに移し替えることは、施設の維持・管理上の安全性を高めるものであり、当該移替えのための兼用キャスク設置に係る設置変更許可に当たっては、火山の立地評価は不要とする。

② ①以外の外部事象(火山灰層厚、積雪、落雷等)

兼用キャスク告示で定める地震力等に対する安全機能の維持を求めることを踏まえ、①以外の外部事象は兼用キャスクの安全機能を損なわせるものではないと考えられるため、個別の確認は不要とする。

3. 竜巻荷重が作用した時の HDP-69BCH(B)型に発生する慣性力(加速度)について

竜巻荷重が HDP-69BCH(B)型に作用して加速度が生じた場合、HDP-69BCH(B)型の安全機能を構成する部位には加速度による慣性力が作用する。この時の慣性力は、加速度の大きさに依存するため、HDP-69BCH(B)型に作用する加速度が、外運搬規則の技術上の要件である 0.3 m 落下時の評価の設計条件として用いる設計加速度よりも小さく、HDP-69BCH(B)型に設計加速度が作用しても HDP-69BCH(B)型の安全機能を構成する評価部位が損なわれないことを確認する。また、閉じ込め機能の維持の観点から、竜巻荷重による慣性力によって一次蓋の横ずれが生じないことを確認する。

a. 評価方法

加速度の算出には、特定兼用キャスクの質量及び竜巻荷重から、以下のように求める。

竜巻荷重については、表 2.2-3(b)の中で、最も衝突荷重の大きいトラックの値を用いる。

$$G = \frac{Q}{m} \quad (5)$$

ここで、

G : HDP-69BCH(B)型に作用する加速度 (m/s²)

Q : 竜巻荷重 (N)

(= 8.53 × 10⁶ (N) : 竜巻による荷重を考慮したトラックの衝突荷重)

m : HDP-69BCH(B)型の質量 (kg)

(= 1.186 × 10⁵ (kg) : 設計値)

式(5)によって算出した加速度による慣性力が一次蓋に作用し、一次蓋とフランジとの接触面には、一次蓋のフランジへの押し付け力によって慣性力と反対方向に摩擦力が作用する(荷重状態の概要は、補足説明資料「4条 地震による損傷の防止」の図 2.2.1-5 参照)。一次蓋に作用する慣性力は、一次蓋の質量及び加速度から、以下のように求める。

$$F = MG \quad (6)$$

ここで、

F : 一次蓋に作用する慣性力 (N)

M : 一次蓋の質量 (kg)

また、一次蓋とフランジの間に作用する摩擦力の算出には、以下の式を用いる。

$$f = F_L \mu \quad (7)$$

ここで、

f : 一次蓋とフランジの間に作用する摩擦力 (N)

F_L : 一次蓋のフランジ部への押し付け力 (N)

$$F_L = F_B n$$

F_B : 一次蓋ボルトの初期締め付け力 (N)

n : ボルト本数 (-)

μ : 一次蓋とフランジの間の摩擦係数 (-)

b. 許容基準

HDP-69BCH(B)型に加速度が作用した場合に、安全機能に影響する部位を表 3-1 に示す。

竜巻荷重により発生する加速度が、外運搬規則の技術上の要件に示される一般の試験条件の加速度よりも小さいことを確認することで、安全機能が損なわれるおそれがないことを確認し、一般の試験条件の加速度が HDP-69BCH(B)型に作用しても、表 3-1 に示す評価部位の安全機能が損なわれないことを確認する。なお、伝熱フィンについては、特定兼用キャスクであることの補足説明資料の 3.4 節に示すとおり、水平落下において外筒の構造健全性が維持されれば、伝熱フィンへの影響はないことから、外筒の評価で代表する。

また、バスケットについては、塑性変形が生じる場合は変形状態を臨界解析で考慮することとしている。

また、一次蓋の横ずれについては、慣性力に対して摩擦力が大きいことで、横ずれが発生しないことを確認する。

c. 評価結果

竜巻荷重により発生する加速度を表 3-2 に示す。竜巻荷重により HDP-69BCH(B)型に発生する加速度は、一般の試験条件の加速度よりも小さい。

一般の試験条件の加速度が HDP-69BCH(B)型に作用した時の応力評価結果を表 3-3 に示す(評価方法と評価結果の詳細は、特定兼用キャスクであることの補足説明資料を参照)。表 3-3 の許容基準は、金属キャスク構造規格に規定される供用状態 D の許容応力を適用している。なお、バスケットについては、供用状態 D の許容基準を S_D とし、塑性変形が生じる場合は変形状態を臨界解析に考慮することとしている。バスケットの応力が設計降伏点 S_y を上回った場合は塑性変形が生じるため、全断面降伏が生じる $1.5 S_y$ 以下であることを確認した上で、バスケットの変形量を算出し、変形量を考慮した臨界解析を実施する方針としている。表 3-3 の応力評価結果より、バスケット以外の評価部位は、供用状態 D の許容基準を満足することで、おおむね弾性範囲に留まることを確認できる。また、バス

ケットについては、金属キャスク構造規格に規定される供用状態 D の許容基準 S_0 としているが、応力強さが設計降伏点よりも小さく、塑性変形は生じないことが確認できる。

以上から、表 3-3 に示すとおり、安全機能に影響する部位は、許容基準を満足しており、安全機能が損なわれるおそれはない。

一次蓋に作用する慣性力を表 3-4 に、摩擦力を表 3-5 に示す。一次蓋とフランジとの間に作用する摩擦力 2.35×10^6 N は、一次蓋に作用する慣性力 2.67×10^5 N より大きく、一次蓋の横ずれは発生しない。

表 3-1 HDP-69BCH(B)型に加速度が作用した場合に安全機能に影響する部位

評価部位	主要な安全機能	安全機能の内容	許容基準
一次蓋	閉じ込め機能 遮蔽機能	・ 密封境界を構成する部位である ・ 主要なガンマ線遮蔽体及び中性子遮蔽体の保持機能を有する	おおむね弾性範囲に留まること
一次蓋シール部	閉じ込め機能	・ 密封境界を構成する部位である	同上
一次蓋ボルト	閉じ込め機能	・ 密封境界を構成する部位である	同上
二次蓋	遮蔽機能	・ 主要なガンマ線遮蔽体の一つである	同上
外筒	遮蔽機能 除熱機能	・ 中性子遮蔽材であるレジンを保持する部位であり、かつ、伝熱部材である伝熱フィンが取り付けられる部位である	同上
バスケット	臨界防止機能	・ 使用済燃料の幾何学的配置を維持し、臨界を防止する部位である	臨界防止機能に影響する変形が生じないこと

表 3-2 竜巻荷重の加速度の評価結果
(基礎等に固定する設置方法の場合)

評価条件		評価結果	許容基準
<u>竜巻荷重</u> (MN)	貯蔵時の質量 (t)	加速度 (m/s ²)	設計加速度*1 (m/s ²)
8.53	118.6	72	196

注記*1：一般の試験条件の 0.3 m 水平落下と垂直落下時の加速度のうち、小さい値を選択

表 3-3 応力評価結果 (各部位において最も厳しい評価位置)

部位	応力分類 又は応力の 種類*1	応力 (MPa)	許容基準*2	許容基準値 (MPa)
一次蓋	(一次+二次応力)	100	$3S_m$	372
一次蓋シール部	(一次+二次応力)	46	S_y	186
一次蓋ボルト	$\sigma_m + \sigma_b$	492	S_y	848
二次蓋	$P_L + P_b$	35	S_u	429
外筒	f_b	70	$1.5f_b(S_u)$	373
バスケット	S	72*3	S_u	438

注記*1: P_L :一次局部膜応力強さ、 P_b :一次曲げ応力強さ、 σ_m :ボルトの軸方向に垂直な断面の平均引張応力、 f_b :許容曲げ応力、 σ_b :曲げ応力、S:応力強さ

注記*2: 金属キャスク構造規格の供用状態Dに規定される許容応力(外筒は中間胴の規定を準用)。 S_m :設計応力強さ、 S_y :設計降伏点、 S_u :設計引張強さ

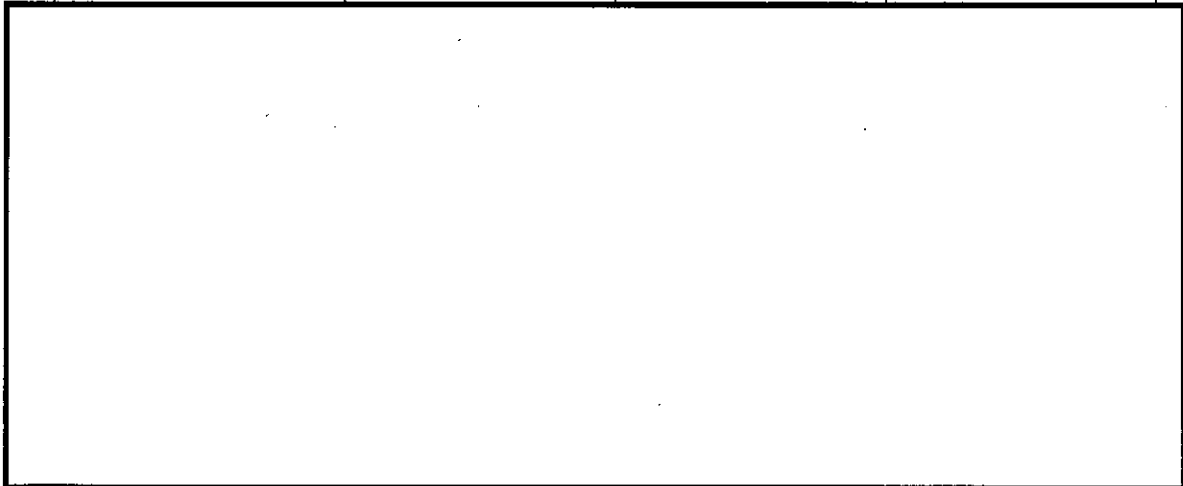
注記*3: 応力強さSは、設計降伏点(204 MPa)よりも小さく、塑性変形は発生しない。したがって、臨界防止機能に影響する変形は生じない。

表 3-4 一次蓋に作用する慣性力

評価条件		評価結果
一次蓋の質量 (kg)	加速度 (m/s ²)	慣性力 (N)
3700	72	2.67×10 ⁵

表 3-5 摩擦力

評価条件			評価結果
一次蓋ボルトの 初期締め付け力 (N)	ボルト本数 (-)	摩擦係数 (-)	摩擦力 (N)
			2.35×10 ⁶



内は商業機密のため、非公開とします。

4. 基礎等に固定する設置方法（横置き）の場合

横置きの場合、HDP-69BCH(B)型の全長及び外径は変化せず、竜巻荷重も変化しないため、表 2.2-3 と同じ結果であり、横置きの評価は、たて置きで代表可能である。

5. 蓋部が金属部へ衝突しない設置方法（横置き）の場合

竜巻荷重により発生する加速度を表 4-1 に示す。基礎等に固定する設置方法と同様に、竜巻荷重により HDP-69BCH(B)型に発生する加速度は、一般の試験条件の加速度よりも小さい。

表 2.2-3 の評価は、保守的に緩衝体等を装着しない（緩衝体等による飛来物に対する防護を無視する）場合で評価したものであり、この場合でも特定兼用キャスクの健全性は維持される。したがって、蓋部が金属部へ衝突しない設置方法（横置き）の場合は、基礎等に固定する設置方法（たて置き）で代表可能である。また、衝突荷重による慣性力（加速度）の影響についても、緩衝体等を装着した状態の方が HDP-69BCH(B)型の質量が大きくなり、基礎等に固定する設置方法（たて置き）の評価結果よりも加速度は小さいため、HDP-69BCH(B)型の安全機能が損なわれることはなく、一次蓋の横ずれが生じることもない。

表 4-1 竜巻荷重の加速度の評価結果
(蓋部が金属部へ衝突しない設置方法の場合)

評価条件		評価結果	許容基準
竜巻荷重 (MN)	貯蔵時の質量 (t)	加速度 (m/s ²)	設計加速度 (m/s ²)
8.63*1	132.2*2	66	196

注記*1：竜巻による荷重のうち、風圧力による荷重は、以下の式を用いて求め、トラックの衝突荷重に考慮した。なお、特定兼用キャスクであることの補足説明資料の 3.1 節に示すように、特定兼用キャスクの構造強度評価は、HDP-69BCH(B)型の外部と特定兼用キャスク本体内部の気圧差を包絡できる胴内圧条件で評価を行うことから、気圧差による荷重は考慮しない。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ただし、

W_w ：風圧力による荷重(N)

q ：設計用速度圧(kg/(m・s²))

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2$$

G ：ガスト影響係数 (= 1.0*3)

C ：風力係数 (= 1.2*4)

A : 受圧面積 (= 24.10^{*6} m²)

ρ : 空気の密度 (= 1.22^{*6} kg/m³)

V : 設計竜巻の最大風速 (= 100 m/s)

注記*2 : 輸送用緩衝体を装着した状態の HDP-69BCH(B)型の質量

注記*3 : 竜巻の最大風速は最大瞬間風速であり、1.0 とする。

注記*4 : 建築物荷重指針・同解説(2015)⁽⁵⁾に示される円形平面への風力係数である。

注記*5 : HDP-69BCH(B)型の水平方向に垂直な平面への投影面積である。

注記*6 : 建築物荷重指針・同解説(2015)⁽⁵⁾に示される空気の密度である。

6. 参考文献

- (1) 原子力規制委員会、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」、平成30年11月28日
原規技発第1812177号.
- (2) 日本建築学会、「建築物の耐衝撃設計の考え方」(2015年1月).
- (3) Jorge D. Riera, “On the Stress Analysis of Structures Subjected to Aircraft
Impact Forces”, Nuclear Engineering and Design 8, 415-426(1968).
- (4) (一財)電力中央研究所、「竜巻飛来物を模擬した重錘の鋼板上への自由落下衝突試験に
よる鋼板貫通評価手法の提案」平成27年10月
- (5) 日本建築学会、「建築物荷重指針・同解説(2015)」(2019年10月)