

補足説明資料

第五条

津波による損傷の防止

津波に対する安全機能維持に関する説明資料

目 次

| | |
|-------------|---|
| 1 要求事項 | 3 |
| 2 要求事項への適合性 | 6 |

1 要求事項

特定機器の設計の型式証明申請において、特定兼用キャスクの津波に対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 第五条第2項第一号

兼用キャスク及びその周辺施設は、次のいずれかの津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

一 兼用キャスクが津波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津波として原子力規制委員会が別に定めるもの

二 基準津波

b. 設置許可基準規則解釈 別記4 第五条第1項第1号

第五条第2項の津波の設定に当たっては、以下の方針によること。

一 第1号に規定する「兼用キャスクが津波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津波として原子力規制委員会が別に定めるもの」については、兼用キャスク告示第2条によるものとする。

c. 設置許可基準規則解釈 別記4 第五条第2項第1号

第五条第2項に規定する「安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない」を満たすために、兼用キャスクの設計に当たっては、以下の方針によること。

一 兼用キャスク告示第2条に定める津波に対する兼用キャスクの設計については、次のとおりとする。

- ・津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突に対して、その安全機能が損なわれるおそれがないものであること。
- ・上記の「漂流物の衝突」については、質量 100 トンの漂流物の衝突とすること。
- ・上記の波力及び衝突による荷重については、同時に作用させること。

d. 兼用キャスク告示第二条

設置許可基準規則第五条第2項第一号の原子力規制委員会が別に定める津波は、浸水深が十メートルで、流速が二十メートル毎秒である津波とする。

(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

「4. 自然現象に対する兼用キャスクの設計 4.2 考慮する自然現象等の設定方針、4.3 考慮する自然現象等に対する設計方針」には、以下の様に記載されている。

【審査における確認事項】

『

(考慮する自然現象等の設定方針)

(1) 設置許可基準規則第5条第2項に規定する津波による作用力を適用していること。

(基本方針)

(2) 兼用キャスクは、(1)に示す津波による作用力に対して安全機能が維持されること。

(設計・評価の方針)

(3) 兼用キャスクに対する津波の影響については、兼用キャスクの設置方法に応じて適切な評価を実施し、津波による作用力に対して兼用キャスクの安全機能が維持される設計であること。

』

【確認内容】

『

(考慮する自然現象等の設定方針)

(1) 設置許可基準規則の解釈別記4第5条第1項及び第2項に基づき、兼用キャスク告示で定める津波又は基準津波を定めていること。

(2) 設置許可基準規則第5条第2項に規定する津波として、以下のいずれかを適用していること。

① 兼用キャスク告示で定める津波による作用力

兼用キャスクの設置位置への津波の遡上を前提とし、兼用キャスクに作用する津波荷重として、波力及び漂流物衝突荷重を考慮する。これらを算出するために必要な浸水深、流速及び漂流物質量は以下のとおり。

・浸水深：10m

・流速：20m/s

・漂流物質量：100t

② 基準津波による作用力

(略)

(基本方針)

(3) 兼用キャスク告示で定める津波を適用する場合は、津波が兼用キャスクの設置位置へ遡上することを前提とした評価が行われていること。

(4) 津波に対する評価に際しては、必要に応じて「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」及び「耐津波設計に係る設工認審査ガイド」を参考にしていること。

(設計・評価の方針)

(5) 以下を踏まえたものであること。また、設計及び工事の計画の認可においては、津波荷重の設定、施設の寸法、構造及び強度が要求事項に適合するものであること。

・兼用キャスク告示で定める津波を適用する場合

- 1) 兼用キャスクの評価において保守的な荷重の作用及び組合せを設定すること
- 2) 1)において考慮する荷重としては、浸水深に基づく津波波力並びに流速及び漂流物質量に基づく衝突荷重を基本とし、それぞれの荷重については、兼用キャスクの評価上最も厳しくなる位置へ作用させること。

3) 津波波力及び漂流物荷重は、以下の指針等を参考に設定することができる。

①津波波力(津波波圧)

・東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針

②漂流物衝突荷重

・道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)

4) 津波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うこと。

・基準津波を適用する場合

(略)

』

2 要求事項への適合性

(1) 設置許可基準規則への適合性

CASTOR[®] geo26JP 型の津波による損傷防止に関する設計は、以下の通り設置許可基準規則に適合している。

a. 設置許可基準規則第五条第2項

兼用キャスク及びその周辺施設は、次のいずれかの津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

- 一 兼用キャスクが津波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津波として原子力規制委員会が別に定めるもの
- 二 基準津波

b. 設置許可基準規則解釈別記4第5条第1項第1号

第5条第2項の津波の設定に当たっては、以下の方針によること。

- 一 第1号に規定する「兼用キャスクが津波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津波として原子力規制委員会が別に定めるもの」については、兼用キャスク告示第2条によるものとする。

c. 設置許可基準規則解釈別記4第5条第2項第1号

第5条第2項に規定する「安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない」を満たすために、兼用キャスクの設計に当たっては、以下の方針によること。

- 一 兼用キャスク告示第2条に定める津波に対する兼用キャスクの設計については、次のとおりとする。
 - ・津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突に対して、その安全機能が損なわれるおそれがないものであること。
 - ・上記の「漂流物の衝突」については、質量 100 トンの漂流物の衝突とすること。
 - ・上記の波力及び衝突による荷重については、同時に作用させること。

d. 兼用キャスク告示第二条

設置許可基準規則第五条第2項第一号の原子力規制委員会が別に定める津波は、浸水深が十メートルで、流速が二十メートル毎秒である津波とする。

CASTOR[®] geo26JP 型は、設置許可基準規則第五条第2項の津波として兼用キャスク告示で定める合理的な津波（浸水深が十メートルで、流速が二十メートル毎秒）及び津波による遡上波の波力及び漂流物（質量 100 トン）の衝突による荷重が同時に作用する荷重が作用しても特定兼用キャスクの安全機能が損なわれない設計とする。

津波以外の荷重として、供用中に作用する荷重（圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重）の組合せを考慮する。

上記荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能のうち、閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保する部材は弾性状態に留まるよう設計する。また、除熱機能及び遮蔽機能を担保する部材は塑性ひずみが生じる場合であっても破断延性限界に十分な余裕を有するよう設計する。

なお、評価に用いる材料の設計値については、1024-TR-00005“特定兼用キャスクの構造及びその安全機能を担保する構成部材に関する説明資料”で説明する。

以上の設計方針に基づき、CASTOR® geo26JP 型が津波に対して特定兼用キャスクの安全機能を維持することを確認する。

(2) 審査ガイドへの適合性

審査ガイドでは、兼用キャスクの有する安全機能を維持するために自然現象等に対する基本方針の妥当性を確認することが定められており、特定兼用キャスクの津波による損傷防止に関する設計は、以下の通り審査ガイドの確認内容に適合している。

【確認内容】

- (1) 設置許可基準規則の解釈別記4第5条第1項及び第2項に基づき、兼用キャスク告示で定める津波又は基準津波を定めていること。
- (2) 設置許可基準規則第5条第2項に規定する津波として、以下のいずれかを適用していること。
 - ① 兼用キャスク告示で定める津波による作用力
兼用キャスクの設置位置への津波の遡上を前提とし、兼用キャスクに作用する津波荷重として、波力及び漂流物衝突荷重を考慮する。これらを算出するために必要な浸水深、流速及び漂流物質量は以下のとおり。
 - ・浸水深：10m
 - ・流速：20m/s
 - ・漂流物質量：100t
 - ② 基準津波による作用力
(略)

CASTOR[®] geo26JP 型に津波が作用した場合の評価に用いる津波荷重は、兼用キャスク告示で定める津波による作用力とし、波力及び漂流物荷重を考慮する。これらを算出するための条件は以下のとおりである。

- 浸水深 : 10 m
- 流速 : 20 m/s
- 漂流物質量 : 100 ton

【確認内容】

- (3) 兼用キャスク告示で定める津波を適用する場合は、津波が兼用キャスクの設置位置へ遡上することを前提とした評価が行われていること。
- (4) 津波に対する評価に際しては、必要に応じて「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」及び「耐津波設計に係る設工認審査ガイド」を参考にしていること。
- (5) 以下を踏まえたものであること。また、設計及び工事の計画の認可においては、津波荷重の設定、施設の寸法、構造及び強度が要求事項に適合するものであること。
 - ・兼用キャスク告示で定める津波を適用する場合
 - 1) 兼用キャスクの評価において保守的な荷重の作用及び組合せを設定すること
 - 2) 1)において考慮する荷重としては、浸水深に基づく津波波力並びに流速及び漂流物質量に基づく衝突荷重を基本とし、それぞれの荷重については、兼用キャスクの評価上最も厳しくなる位置へ作用させること。
 - 3) 津波波力及び漂流物荷重は、以下の指針等を参考に設定することができる。
 - ①津波波力(津波波圧)
 - ・東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針
 - ②漂流物衝突荷重
 - ・道路橋示方書・同解説(Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編)
 - 4) 津波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うこと。

CASTOR[®] geo26JP 型に津波荷重が作用する場合の評価では、津波が特定兼用キャスクの設置位置へ遡上することを前提とした評価を行う。

津波波力は、「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」を、漂流物衝突荷重は、「道路橋示方書・同解説(Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編)」に基づきそれぞれ設定する。

CASTOR[®] geo26JP 型に作用する津波荷重の評価については、浸水深、流速及び漂流物質量を考慮し、また、津波荷重及び漂流物質量に基づく衝突荷重に加えて運転中に作用する荷重(圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重)を組み合わせ、CASTOR[®] geo26JP 型の評価上最も厳しくなる位置へ作用させる。

型式証明申請における設計方針の妥当性確認として、津波荷重が CASTOR[®] geo26JP 型に作用した場合の機能維持評価を実施し、その評価結果により特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計であることを確認する。機能維持評価の概要を以下に示す。

〈津波荷重による CASTOR[®] geo26JP 型の機能維持評価〉

CASTOR[®] geo26JP 型に津波荷重が作用した場合の機能維持評価のフローを図1に示す。上記の津波荷重に対し、特定兼用キャスクの安全機能のうち、閉じ込め機能を担保する部位(密封境界部)はおおむね弾性状態に留まること、臨界防止機能を担保する部位(バスケット)は弾性範囲に留まること、並びに除熱機能および遮蔽機能を担保する部材は塑性ひずみが生じる場合であっても破断延性限界に十分な余裕を有することを確認する。なお、除熱機能を担保するフィンが胴の一部であること、遮蔽機能を担保する中性子遮蔽材は胴内部のボアホール部に配置されていることから、これらの機能維持評価対象は胴とする。

上記で計算した津波荷重に加え、供用中に作用する荷重（圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重）を組み合わせた荷重に基づき、密封境界部（一次蓋、一次蓋ボルト、胴）及びバスケットに生じる応力について応力評価式を用いて算出し、これらの部材の構造健全性を評価する。また、閉じ込め機能の維持については、一次蓋の横ずれの有無も評価する。

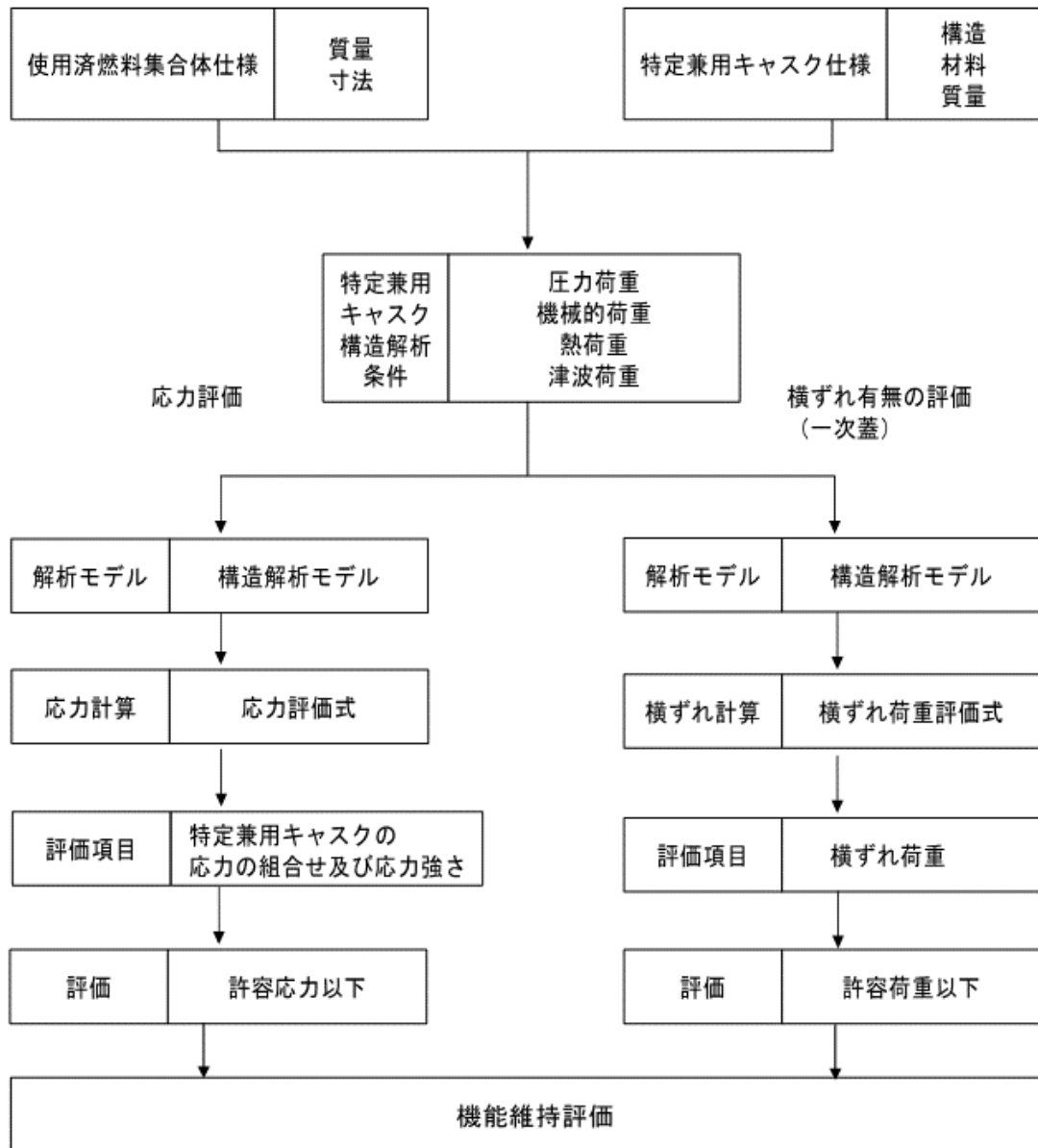


図 1 津波荷重作用時の機能維持評価フロー

1) 津波荷重設定

機能維持評価に用いる荷重及び荷重の組み合わせを以下のように設定する。

① 津波波力(Q₁)

津波波力は、「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」に示される評価式により算出する。

津波波力 Q₁ 及び漂流物の衝突による荷重 Q₂ は、基本的な水圧の考慮から導かれ、これらは、CASTOR® geo26JP 型に同時に作用するものとする。

キャスク表面の波圧は、キャスクの投影面積に作用し、水面からの深さに比例して大きくなる。

津波波力 Q₁ は、「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」に示す算式により算出する。津波の浸水深は 10m であり、CASTOR® geo26JP 型を越流するため、キャスク高さに沿った台形分布とした。キャスクの上方では、波圧 p(z) は三角形の形状を有する。圧形と津波荷重 Q₁ を図 2 に示す。

条件及び計算結果を表 1 に示す。

$$p(z) = \rho \cdot g \cdot (a \cdot h - z)$$
$$Q_1 = \int_{z_1}^{z_2} p(z) \cdot dz = b_c \cdot \rho \cdot g [a \cdot h(z_2 - z_1) - 1/2 \cdot (z_2^2 - z_1^2)]$$
$$Q_1 = b_c \cdot \rho \cdot g [a \cdot h(z_2 - z_1) - 1/2 \cdot (z_2^2 - z_1^2)]$$

p(z) : 波圧

ρ : 海水の密度 (1030kg/m³)

g : 重力加速度 (9.81m/s²)

a : 水深係数 (3)

h : 設計浸水深 (m)

b_c : 受圧面の幅 (m)

h_c : 受圧面の高さ (m)

z₁ : 受圧面の最小高さ (m)

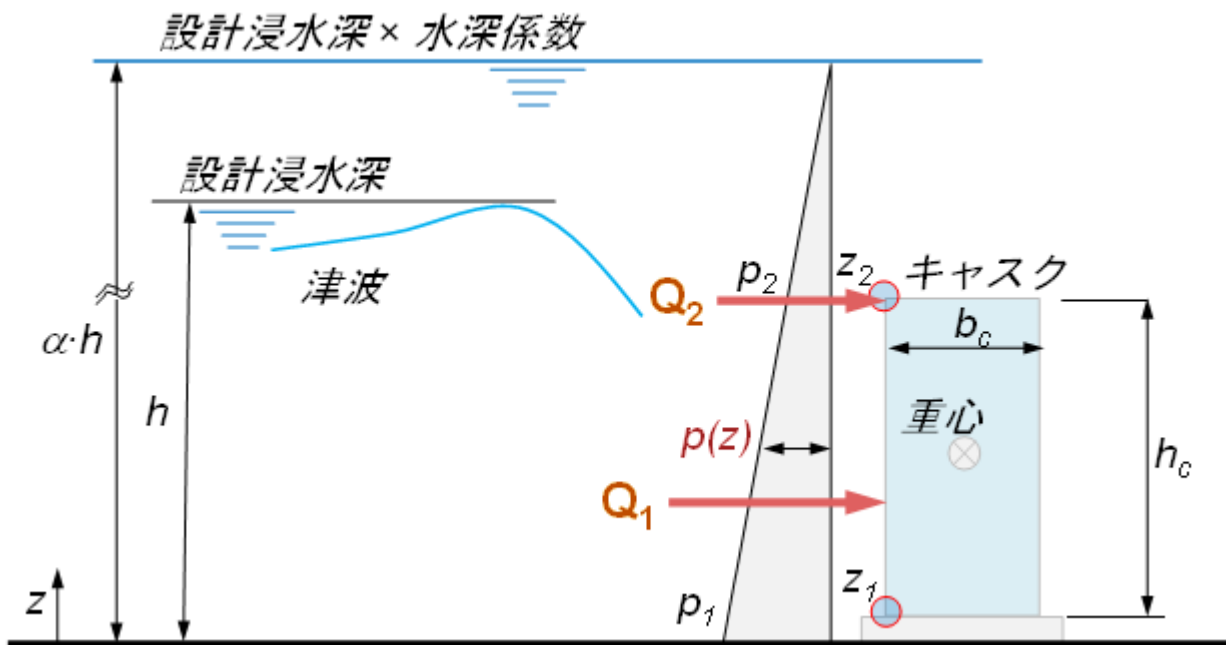
z₂ : 受圧面の最大高さ (m)

表 1 津波波力の計算条件及び計算結果

| 項目 | 記号 | 単位 | 値 |
|----------|-------|----|------------------------------------|
| 浸水深 | h | m | 10 |
| 受圧面の最小高さ | z_1 | m | 0 |
| 受圧面の最大高さ | z_2 | m | <input type="text"/> ¹⁾ |
| 受圧面の幅 | b_c | m | <input type="text"/> ²⁾ |
| 津波波力 | Q_1 | MN | 3.55 |

(注 1) 貯蔵架台に設置されたキャスク高さ(図 2 参照)

(注 2) 津波波力が最大となるように、受圧面の幅は CASTOR® geo26JP 型の外径とした。(図 2 参照)



(注) $z_1=0$

図 2 津波波力の作用形態

② 漂流物衝突荷重 (Q_2)

漂流物衝突荷重 Q_2 は、「道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編)」に示す次の衝突荷重の評価式により算出する。

$$Q_2 = 0.1 \cdot W \cdot v$$

$$W = m_d \cdot g$$

- W : 漂流物の重量 (MN)
 v : 表面流速(m/s)
 m_d : 漂流物重質量(Mg)
 g : 重力加速度 (9.81m/s²)

漂流物の衝突力 Q₂を表 2 に示す。

表 2 津波漂流物の計算条件及び計算結果

| 説明 | 記号 | 単位 | 計算条件又は計算結果 |
|---------|----------------|-----|------------|
| 漂流物質量 | m _d | Mg | 100 |
| 漂流物の重さ | W | MN | 0.981 |
| 表面流速 | v | m/s | 20 |
| 漂流物衝突荷重 | Q ₂ | MN | 1.96 |

③ 荷重の組合せ

津波荷重(Q)は、津波波力(Q₁)及び漂流物衝突荷重(Q₂)の組合せとする。

機能維持評価結果を表 3 に示す。

表 3 津波荷重

| 説明 | 記号 | 単位 | 値 |
|---------|----------------|----|------|
| 津波波力 | Q ₁ | MN | 3.55 |
| 漂流物衝突荷重 | Q ₂ | MN | 1.96 |
| 津波荷重 | Q | MN | 5.51 |

④ 津波荷重と組み合わせる荷重について

CASTOR® geo26JP 型は、供用中に常時作用する荷重として、圧力荷重(内圧、蓋間圧力)、熱荷重及び機械的荷重(蓋ボルト締付力)を考慮する。

2) 機能維持評価

津波荷重約 Q=5.51 MN は、1024-TR-00004“竜巻に対する安全機能維持に関する説明資料”に示す竜巻荷重 F_{T2h} =8.54 MN より小さいため、津波に対する機能維持評価は竜巻荷重に対する機能維持評価に包絡される。

竜巻荷重に対する機能維持評価では、CASTOR[®] geo26JP 型では竜巻荷重が作用しても密封境界部に生じる応力は弾性範囲に留まり、一次蓋の横ずれは発生しないことから、閉じ込め機能は維持される。バスケットに生じる応力は、使用済燃料を支持し、かつ燃料間距離を保つために変形を許容しない部材について弾性範囲に留まることから、臨界防止機能は維持される。胴(フィン部及びボアホール部)に生じる応力は弾性範囲に留まることから、除熱機能及び遮蔽機能は維持される。

したがって、CASTOR[®] geo 26JP 型に津波荷重が作用しても、特定兼用キャスクの安全機能は維持される。