

制定 平成26年9月17日 原規技発第1409178号 原子力規制委員会決定

実用発電用原子炉に係る航空機衝突影響評価に関する審査ガイドについて次のように定める。

平成26年9月17日

原子力規制委員会

実用発電用原子炉に係る航空機衝突影響評価に関する審査ガイドの制定  
について

原子力規制委員会は、実用発電用原子炉に係る航空機衝突影響評価に関する審査ガイドを別添のように定める。

附 則

この規程は、平成26年9月17日から施行する。

(別添)

# 実用発電用原子炉に係る航空機衝突影響評価に 関する審査ガイド

平成26年9月

## 目次

|       |                              |   |
|-------|------------------------------|---|
| 1     | 目的等.....                     | 1 |
| 2     | 定義.....                      | 2 |
| 3     | 航空機衝突影響評価の対象範囲及び航空機等の特性..... | 2 |
| 4     | 衝突箇所の設定と評価内容.....            | 2 |
| 4.1   | 山地形等を考慮した衝突箇所の設定.....        | 2 |
| 4.2   | 衝突箇所の評価内容.....               | 2 |
| 4.3   | 評価上の注意事項.....                | 3 |
| 4.3.1 | 一般的注意事項.....                 | 3 |
| 4.3.2 | 評価対象設備が地下に設置される場合の評価.....    | 3 |
| 5     | 航空機衝突時の構造評価.....             | 3 |
| 5.1   | 局部的損傷に対する検討.....             | 3 |
| 5.1.1 | 局部的損傷の荷重特性.....              | 4 |
| 5.1.2 | 局部的損傷の評価.....                | 4 |
| 5.2   | 全体的損傷に対する検討.....             | 4 |
| 5.2.1 | 航空機のモデル化.....                | 5 |
| 5.2.2 | 衝撃力-時間関数によるモデル化.....         | 5 |
| 5.2.3 | 鉄筋コンクリート壁のモデル化.....          | 5 |
| 5.2.4 | 衝撃応答解析.....                  | 5 |
| 5.3   | 材料特性及び破壊基準の概要.....           | 6 |
| 5.3.1 | 材料特性.....                    | 6 |
| 5.3.2 | 破壊ひずみ限度.....                 | 6 |
| 5.3.3 | 建屋等破壊基準.....                 | 6 |

|       |                            |   |
|-------|----------------------------|---|
| 6     | 航空機衝突時の評価対象設備の機能評価.....    | 6 |
| 6.1   | 衝突箇所で発生事象と評価対象設備の機能評価..... | 6 |
| 6.1.1 | 物理的損傷.....                 | 6 |
| 6.1.2 | 衝撃破損.....                  | 7 |
| 6.1.3 | 火災損傷.....                  | 7 |
| 7     | 判断基準.....                  | 8 |

## 1 目的等

実用発電用原子炉に係る航空機衝突影響評価に関する審査ガイド(以下「本審査ガイド」という。)は、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(原規技発第1306193号(平成25年6月19日原子力規制委員会決定))第42条の規定のうち、特定重大事故等対処施設について「故意による大型航空機の衝突に対して頑健な建屋」であることを確認する際、航空機衝突による影響の評価手法の妥当性を審査官が判断する上で参考とするものである。申請者の用いた手法が、本審査ガイドに沿った手法であれば、概ね妥当なものと判断される。申請者が異なる手法を用いた場合は、本審査ガイドを参考に個別に判断する必要がある。

航空機衝突影響評価の基本フローを図1に示す。

なお、本審査ガイドは、技術的知見、審査経験等に応じて、適宜見直すこととする。

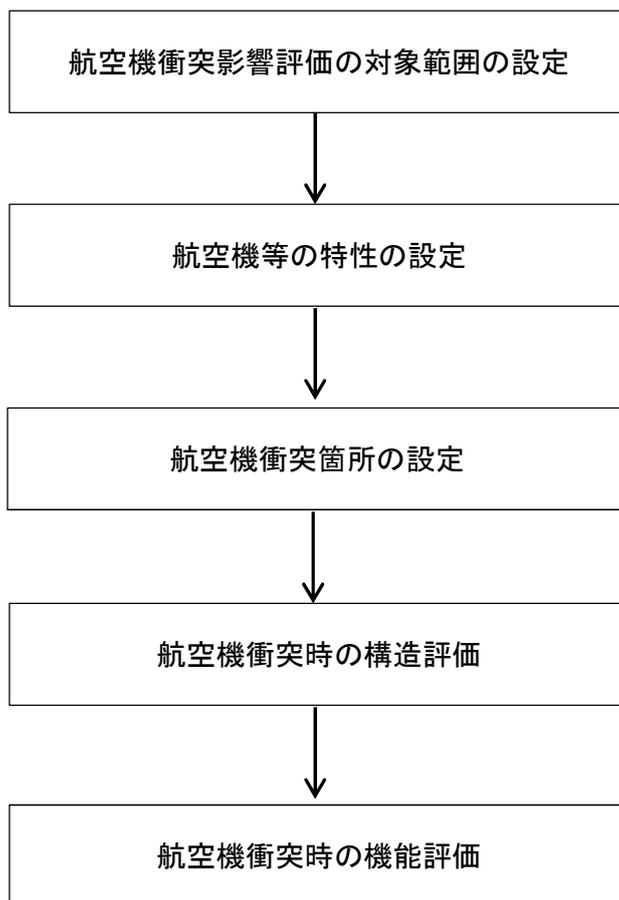


図1. 航空機衝突影響評価の基本フロー

## 2 定義

本審査ガイドにおける用語の定義は、以下の通りである。

- (1) 「必要な機能」とは、原子炉建屋への故意による大型航空機(以下「航空機」という。)の衝突に対して重大事故等に対処するために必要な機能をいう。
- (2) 「航空機衝突影響評価」とは、故意による航空機の衝突による必要な機能への影響の評価をいう。
- (3) 「航空機等の特性」とは、衝突を想定する航空機の機種、進入経路、進入速度及び燃料積載量をいう。
- (4) 「山地形等」とは、航空機の進入を妨げることができる山等の地形、構造物等をいう。
- (5) 「評価対象建屋等」とは、航空機衝突影響評価の対象となる建屋又は施設をいう。
- (6) 「衝突箇所」とは、評価対象建屋等のうち航空機の衝突の可能性のある壁その他の構造物をいう。
- (7) 「評価対象設備」とは、必要な機能を有する設備をいう。

## 3 航空機衝突影響評価の対象範囲及び航空機等の特性

航空機衝突影響評価を行う対象範囲及び航空機等の特性は、評価の目的に応じて別に定めるところによる。

## 4 衝突箇所の設定と評価内容

### 4.1 山地形等を考慮した衝突箇所の設定

山地形等により、評価対象建屋等の全て又は一部が航空機の衝突を免れる可能性がある。その場合には、衝突を免れる根拠を示すこと。

評価対象建屋等の一部が航空機の衝突を免れない場合には、評価対象建屋等のうち、衝突を免れる部分と衝突を受ける可能性がある部分に分割すること。その上で適切な衝突箇所を設定すること。

### 4.2 衝突箇所の評価内容

設定された衝突箇所に対しては、貫通、裏面剥離等の局部的損傷評価を行う。衝突箇所を含む評価対象建屋等の全体に対しては、全体的損傷評価を行う。

評価対象建屋等内にある評価対象設備に対しては、評価対象建屋等の損傷による波及的な物理的損傷、航空機衝突による衝撃破損及び航空機搭載燃料等による火災損傷を評価する。

### 4.3 評価上の注意事項

#### 4.3.1 一般的注意事項

- ・故意による大型航空機衝突の影響は、不確かさ評価を伴う最適評価が望まれる。ただし、保守的な評価を妨げるものではない。
- ・解析コードに十分な使用実績がない場合は、実験等の再現解析等を行って、その妥当性を確認する必要がある。
- ・経験式の多くは衝撃実験データ等から導出されており、必ずしも破壊メカニズムに基づき提案されたものではない。評価に用いる際には、その妥当性を確認して使用する必要がある。

#### 4.3.2 評価対象設備が地下に設置される場合の評価

評価対象設備が地下に設置される場合(地下埋設、地下階設置)は、地上の建屋等の損傷による波及的な物理的損傷、航空機衝突による衝撃破損及び航空機搭載燃料等による火災損傷を評価する。また、これらの損傷等に起因する地下水等による溢水を評価する。

## 5 航空機衝突時の構造評価

航空機が衝突した時の評価対象建屋等の構造評価を行う。

航空機の評価対象建屋等への衝突角度は、航空機等の特性、周囲の山地形等を考慮して定めること。ただし、評価対象建屋等の外壁面に垂直に衝突すると仮定しても良い。

航空機のうち、エンジン等の比較的剛な物体の衝突による評価対象建屋等の局部的損傷と、航空機全体の衝突による評価対象建屋等の全体的損傷の二つの異なる損傷モードを考慮する。

### 5.1 局部的損傷に対する検討

鉄筋コンクリート壁の局部的損傷(パンチング破壊:図2参照)には、衝突物の壁への「貫入」、壁の「裏面剥離」及び衝突物の「貫通」がある(図3参照)。壁の内側に評価対象設備が存在する場合には、衝突物が貫通するかどうかを評価する。また、裏面剥離が生じる場合は、評価対象設備が裏面剥離物に対して防護されるかどうかを評価する。

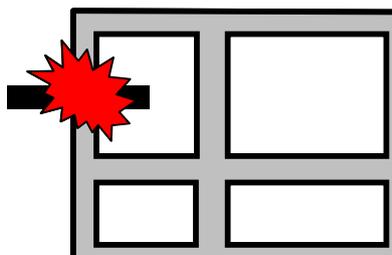


図2. エンジン等の衝突による局部的損傷のイメージ



図3. 貫入、裏面剥離、貫通のイメージ

#### 5.1.1 局部的損傷の荷重特性

最も影響が大きいと考えられるのはエンジンであるが、車輪(着陸装置)等による局部的損傷についてもその剛性、質量が大きい場合は検討する必要がある。局部的損傷を引き起こすエンジン等の荷重特性は、その質量、剛性、衝突速度、衝突面積等で定めること。

#### 5.1.2 局部的損傷の評価

局部的損傷の評価には、既往の実験等に基づく経験式を用いた評価又は壁の非線形応答解析コードを用いた評価がある。

経験式を用いた評価においては、裏面剥離及び貫通について評価する。なお、裏面剥離への対策として壁裏面に鉄板等のライナープレートを取り付ける場合には、実験・解析等によりその有効性が確認されている必要がある。

一方、壁の非線形応答解析コードを用いた評価においては、衝撃応答解析を行い、貫入、裏面剥離、貫通について評価する。この場合には、衝突物であるエンジン等や衝突を受けるコンクリート壁の鉄筋の配置等を詳細にモデル化する必要がある。

#### 5.2 全体的損傷に対する検討

全体的損傷とは、航空機全体の衝突により鉄筋コンクリート壁が、主に壁の面外曲げ変形及びせん断変形により損傷することである。評価対象建屋等の全体的な構造物の健全性を維持しなければならない。これらを検討するには、航空機全体及びコンクリート壁の鉄筋の配置等を詳細にモデル化した上で、非線形衝撃応答解析を行って全体的な構造物の健全性を評価する。なお、航空機の衝撃荷重を簡易的に評価する場合には、衝撃力-時間関数を与える方法も認められる。

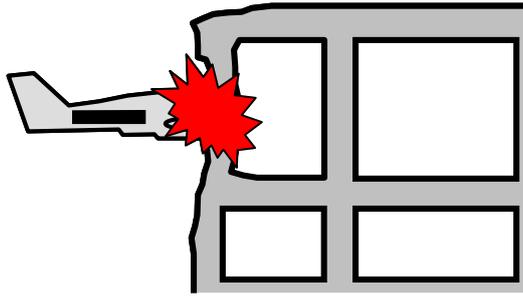


図4. 航空機全体衝突による全体的損傷のイメージ

#### 5.2.1 航空機のモデル化

航空機の形状、質量分布、剛性分布、材料強度を忠実にモデル化する。航空機は衝突した時にその先端から順次壊れていき、これが衝撃荷重となるので、特に質量分布、材料強度の設定は重要である。

#### 5.2.2 衝撃カー時間関数によるモデル化

航空機の衝撃荷重を簡易的に評価する方法として、5.2.1 で示した航空機をモデル化して解析する代わりに、衝撃力-時間関数を衝撃荷重として用いる方法もある。この場合には、採用する衝撃力-時間関数が、対象とする航空機の衝撃荷重特性を十分表現できていることを確認する必要がある。

#### 5.2.3 鉄筋コンクリート壁のモデル化

評価対象建屋等の鉄筋コンクリート壁について、その形状、支持条件、コンクリート、鉄筋等を詳細にモデル化する必要がある。また、コンクリートや鉄筋等の応力-ひずみ関係等も詳細にモデル化する必要がある。コンクリートについては引張り特性、圧縮特性及びせん断特性を、鉄筋については引張り特性を、それぞれの破壊点までモデル化する必要がある。さらに、材料特性には、高速ひずみ条件下における補正係数も考慮する必要がある。

ただし、応力-ひずみ関係等は一般的には解析コードに組み込まれていることが多いので、その使用実績等で、その妥当性を確認する必要がある。

#### 5.2.4 衝撃応答解析

5.2.1 の航空機モデル又は 5.2.2 の衝撃力-時間関数、及び 5.2.3 の鉄筋コンクリート壁モデルを用いて、コンクリートや鉄筋等の材料の非線形を考慮した衝撃応答解析を行い、評価対象建屋等の全体的な構造物の健全性を評価する。

### 5.3 材料特性及び破壊基準の概要

局部的損傷及び全体的損傷を解析により評価する場合の、材料特性及び破壊基準等の考え方を以下に示す。

#### 5.3.1 材料特性

コンクリート、鋼材等の材料強度を、適切に定める必要がある。コンクリート、鋼材等は、一般的に、ひずみ速度依存性を持ち、高速ひずみ条件下では静的強度に対して強度が増加する傾向を示すと言われている。コンクリート、鋼材等の材料強度の設定にあたっては、このような動的効果による増加率を考慮してよいものとするが、その係数等は既往の研究や試験等で確認されている必要がある。

#### 5.3.2 破壊ひずみ限度

コンクリート、鋼材等の破壊ひずみ限度を適切に定める必要がある。コンクリート及び鋼材のひずみ限度は、その使用材料に則して、既往の研究や実材料の材料試験等に基づき設定していることを確認する。なお、5.2の全体的損傷に対する検討では、設定されたひずみ限度を超えた場合は、その部分は破壊と判定する。

#### 5.3.3 建屋等破壊基準

評価対象建屋等は、全体的な構造物の健全性を維持しなければならないものとし、局部的な塑性変形や損傷は許容できるものとする。ただし、それらにより内包する評価対象設備が機能を喪失する可能性がある場合はその検討を必要とする。

## 6 航空機衝突時の評価対象設備の機能評価

評価対象設備の必要な機能に対する航空機衝突及びその後の火災の影響を評価する。

### 6.1 衝突箇所での発生事象と評価対象設備の機能評価

設定された衝突箇所の損傷による波及的な物理的損傷、航空機衝突による衝撃破損及び航空機搭載燃料等による火災損傷を評価した上で、評価対象設備の機能評価を行う。

#### 6.1.1 物理的損傷

評価対象設備は、5に示したように評価対象建屋等の局部的損傷及び全体的損傷により機能喪失しないかどうかを評価する。評価対象建屋等の局部的損傷により裏面剥離が生ずる場合は、これにより評価対象設備が必要な機能を喪失しないかどうかを評価する必要がある。また、全体的損傷では全体変形に対して評価対象設備の機能が喪失しないかどうかを評価する。

### 6.1.2 衝撃破損

評価対象設備は、衝撃荷重による振動により必要な機能を喪失しないかどうかを評価する。この場合、構造物全体をモデル化して衝撃応答解析を行う必要があり、5.2.1～5.2.3の衝撃応答解析モデル(構造物全体をモデル化している場合)をそのまま用いるか、又は設備検討用応答解析モデルを別途作成し、衝撃応答解析を行って、その応答結果を用いて評価対象設備の衝撃破損により必要な機能を喪失しないかどうかを評価する。

### 6.1.3 火災損傷

航空機衝突による評価対象建屋等の屋外における火災(以下「屋外火災」という。)及び開口部等から流入した航空機搭載燃料等による屋内における火災(以下「屋内火災」という。)による評価対象設備の機能への影響を評価すること。

屋外火災の影響評価では、航空機搭載燃料等による屋外火災の熱影響を評価し、評価対象建屋等の全体的な構造物の健全性に与える影響を評価すること(図5参照)。なお、火災発生位置は衝突の状況を踏まえて設定すること\*<sup>1</sup>。

屋内火災の影響評価では、換気設備、ブローアウトパネル等の開口部、物理的損傷及び火災損傷により生じた開口部\*<sup>2</sup>から流入した燃料による以下の火災を想定して評価対象設備が必要な機能を喪失しないかどうかを評価すること。

#### (1) 航空機燃料及び二次的可燃物の着火による火災

燃料の大半は衝突時の爆発的な燃焼に消費されと考えられるが、シミュレーションあるいは工学的判断等により衝突時に消費されない燃料の量を仮定して、開口部から流入する燃料の量を評価する。燃料及び二次的可燃物の燃焼も考慮して、評価対象建屋等内の雰囲気温度から評価対象設備が必要な機能を喪失しないかどうかを評価する。

#### (2) 火柱の過圧効果及び評価対象建屋等内の開放経路を通った燃料の拡がり

衝突時の爆発的な燃焼により形成される火柱では、過圧により評価対象建屋等内の大きな開口部(ドア、ハッチ等)が壊れ、階段吹き抜け等を通して評価対象建屋等中に火災が伝播する可能性がある。評価対象設備の設置位置を考慮して火災損傷の伝播を評価すること。

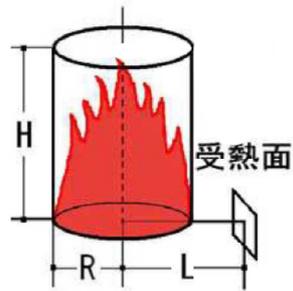


図5. 航空機の燃料タンクの投影面積を半径(R)の円筒の底面積と仮定した場合のモデル化例

- \*1 建屋等に衝突した場合は、外壁に衝突しない場合の落下位置において、最も外壁に近くなる航空機の燃料タンクの位置(円筒中心から受熱面までの距離 L が半径 R に等しい位置)。
- \*2 例えば熱影響による破損部、フィルタ・ベント設備の排気配管の損傷等

## 7 判断基準

航空機衝突により、評価対象設備の必要な機能が喪失しないこと。

以上