

添付資料－４ 美浜発電所 ３号機 設計の経年化評価（地震事象）

## 1. 設計の経年化評価ガイドラインに基づく評価（地震事象）

時間の経過にしたがって原子力発電所（以下「プラント」という。）の設計に関する知見が蓄積されることにより、プラント設計そのものが変遷し、新旧プラントの差異（設計経年化）が生じる。このため、新旧プラント設計の違いに着目して安全性を評価する仕組みを事業者自主の仕組みとして導入することとし、その具体的取組み方法について標準化・明確化するため、原子力エネルギー協会が2020年9月25日にガイド文書「ATENA 20-ME03 設計の経年化評価ガイドライン」（以下「ガイドライン」という。）を発行した。

本項では、ガイドライン（2023年6月6日改訂 ATENA 20-ME03（Rev.1））及び ATENA 実施計画に基づき、外的事象のうち、地震に係る評価を実施し、プラントの設計差異に関して安全上の得失を原子炉リスクの観点から分析して、プラントの安全性の特徴を理解するとともに、必要に応じてハード対策及びソフト対策を検討する。

なお、外的事象については、共通的に外力が働く事象であるため、個別の設備等の比較結果で設計経年化の着眼点を抽出することは困難である。そこで、プラントの地震ハザードに対する脆弱性を評価する地震 PRA を活用することが効果的と考えられる。

したがって、地震 PRA の結果を精査することで、美浜発電所3号機の地震に対する脆弱性を把握し、対策案を検討する。加えて、他プラントとの設計の違いから生ずる脆弱性にも着目し、地震に対する対策案を検討する。

## 2. 評価方法

ガイドラインに従い、2.1 項から 2.2 項に示す手順に基づき、設計基準内の領域（基準地震動以下）に加えて設計差異による影響が現れると考えられる設計基準超の領域も対象とし、原子炉リスクへの影響を評価して安全上の重要度を確認する対象となる設計経年化の着眼点を抽出する。具体的には、個別プラントのリスク評価結果への影響が有意となる設備損傷に関連する基事象を抽出し、当該の基事象による影響が大きくなった要因を分析する。加えて、カットセットの分析を行い、主要なシナリオの要因を分析する。また、リスク評価結果のプラント間比較を行い、特定のプラントで設計差異に起因

する特徴がないか確認する。

## 2.1 個別プラントの脆弱性把握

### (1) FV 重要度及びフラジリティに着目した抽出・分析

安全性向上評価で実施した地震 PRA 評価結果を用いて、美浜発電所 3 号機を対象に全炉心損傷頻度（以下「CDF」という。）及び全格納容器機能喪失頻度（以下「CFF」という。）への影響が有意である FV 重要度 0.01 以上となる設備損傷に関連する基事象を抽出する。当該の基事象については建屋応答等のサイト影響や設計差異の影響が考えられるため、FV 重要度が高い理由を確認する。確認の結果、設計差異による機器の耐震性※への影響が考えられる場合、その影響について基事象の設定条件等に立ち返り分析する。なお、基事象の抽出に当たっては、設計経年化を評価する観点から、設備損傷以外の基事象（人的過誤に関連する基事象など）は除外する。

※ここでは、地震 PRA において、各機器等の損傷確率を求めるうえで作成したフラジリティ曲線を基に、95%信頼度における 5%損傷確率（HCLPF：High Confidence of Low Probability of Failure（高信頼度低損傷確率の略称））を参照するものとする。

### (2) カットセットに着目した抽出・分析

炉心損傷や格納容器破損に至るシナリオを把握するため、安全性向上評価で実施した美浜発電所 3 号機の地震 PRA 評価結果を用いて、カットセットの分析を行う。

まず、CDF/CFF への寄与割合が目安として 0.5%以上となるカットセットを対象とする（同種のカットセットを合算すると CDF/CFF への寄与割合が 1%以上となり影響が有意となる可能性があるため）。これらのカットセットのうち、同一の基事象が複数回登場するものを、重要な基事象として抽出する。

次に、重要な基事象が含まれるカットセットについて、基事象の組み合わせであるカットセットからのみでは、どのような想定で炉心損傷や格納容器破損に至るかが読み取り難いため、基事象と機能喪失の関連性

を、プラントの系統構成等を踏まえ、基事象の設定条件に立ち返り分析する。

## 2.2 他プラントとの設計差異からの改善点の把握

### (1) FV 重要度及びフラジリティのプラント間比較による抽出・分析

安全性向上評価実施済の以下のプラント※について、地震 PRA の評価結果を用いて、CDF/CFF への影響が有意である FV 重要度 0.01 以上となる設備損傷に関連する基事象を抽出する。

※プラント間比較の前提条件を揃える観点から、特定重大事故等対処施設（以下「特重施設」という。）設置前の状態について、地震 PRA を実施したプラントを対象とした。

#### 【対象プラント】

- |           |                                    |
|-----------|------------------------------------|
| ・九州電力株式会社 | 川内発電所 1 及び 2 号機<br>玄海発電所 3 及び 4 号機 |
| ・四国電力株式会社 | 伊方発電所 3 号機                         |
| ・関西電力株式会社 | 高浜発電所 3 及び 4 号機<br>大飯発電所 3 及び 4 号機 |

次に、プラントと FV 重要度 0.01 以上の基事象の星取表を整理する。そして、FV 重要度 0.01 以上となるプラント数が全体の 3 割程度以上となる基事象は、各プラントに共通して CDF/CFF への影響が大きい傾向であると考えられることから、重点的にプラント間比較を行う。比較の結果、特定のプラントで FV 重要度が大きくなっている場合、その理由が設備の差異や運用の差異に起因しないか、基事象の設定条件等に立ち返り分析する。

## 3. 評価結果

### 3.1. 個別プラントの脆弱性把握

#### 3.1.1. FV 重要度及びフラジリティに着目した抽出・分析

## (1) 基事象の抽出・分析

第1回安全性向上評価で実施した美浜発電所3号機の地震 PRA での CDF/CFF 算出において、FV 重要度 0.01 以上となる設備損傷に関連する基事象を抽出した。抽出に当たっては、設備の設計経年の影響検討という観点から、人的過誤やランダム故障といった、地震損傷以外の基事象については除外した。また、建屋や代表評価を行っているもの（弁・ケーブルトレイ・配管）についても同じく除外した。第 3-1 表に CDF 算出に係る設備の抽出結果を、第 3-2 表に CFF 算出に係る設備の抽出結果を示す。第 3-1 表及び第 3-2 表に抽出された各機器に対して、FV 重要度上位となった、すなわち HCLPF が小さめの値となった理由として考えられるものを、フラジリティ評価において考慮される機器の応答、機器の耐力及び建屋応答の観点から、それぞれ以下のとおり抽出した。なお、第 3-1 表及び第 3-2 表については参考資料に示す。

### ・ 機器の応答：

HCLPF が小さくなる要因として、機器の応答加速度や発生応力が大ききことを抽出した。ここで、応答加速度については、設置 EL が高い、固有値が柔（30Hz より小）等の場合に大きくなるためそのような事項を要因とした。

### ・ 機器の耐力：

評価対象部位の材質の強度や機能限界加速度が十分に大きくない場合に HCLPF が小さくなるため、これらの事項を要因とした。

### ・ 建屋応答：

建屋応答については、建屋応答係数の大小が直接 HCLPF の大小に関与するため、評価対象機器に使用される建屋応答係数を同プラントの他の建屋と比べたときの大小を要因とした。

第 3-1 表及び第 3-2 表の各項目について、特段 HCLPF が小さい要因となっていないと考えられるものについては「特記無し」としている。ここで、CDF/CFF 算出における FV 重要度 0.01 以上の設備の抽出にあたっては、特重施設が反映された地震 PRA の評価結果を活用することとしたが、当該設備の損傷に関連する基事象の FV 重要度は 0.01 未満であることから、分析対象として抽出されなかった。

設計経年による影響検討の結果、第 3-1 表及び第 3-2 表に抽出された機器については、一般的に機能維持に関する耐力が低い非常用ディーゼル発電機を除いて、全体的に設置場所や機器固有周期の影響により応答が大きめとなっていることが FV 重要度 0.01 以上となった要因と考えられる。

### 3.1.2. カットセットに着目した抽出・分析

#### (1) カットセット上位に複数回登場する基事象の抽出

美浜発電所 3 号機の安全性向上評価にて実施済の地震 PRA での CDF/CFF 算出におけるカットセットのうち、寄与割合が 0.5%以上となるカットセットを対象とし、複数回登場する基事象を重要な基事象として抽出した。なお、加速度区分ごとに複数回登場する同一の基事象については 1 つの基事象として纏めることとした。抽出した重要な基事象について、機能喪失との関連性（事故シナリオ）をプラントの系統構成等を踏まえて分析を行った。第 3-3 表に CDF 算出におけるカットセットの抽出・分析結果を、第 3-4 表に CFF 算出におけるカットセットの抽出・分析結果をそれぞれ示す。抽出・分析の結果、アプリケーションソフト CCF 発生後の緩和手段の喪失に備えた手順の確認が重要であることが分かった。なお、第 3-3 表及び第 3-4 表については参考資料に示す。

### 3.2. 他プラントとの設計差異からの改善点の把握

#### 3.2.1. FV 重要度及びフラジリティのプラント間比較による抽出・分析

## (1) プラント間比較による基事象の抽出・分析

2.2.(1)に示す安全性向上評価実施済のプラントを対象として、地震 PRA の結果を分析し、各プラントで FV 重要度の高い設備を抽出し整理した。ここで、高浜発電所 4 号機及び大飯発電所 4 号機については、地震 PRA の評価結果が高浜発電所 3 号機及び大飯発電所 3 号機と同等であることから、プラント間比較においては、高浜発電所 3 及び 4 号機、大飯発電所 3 及び 4 号機をそれぞれ共通のものとして扱った。また、地震 PRA における CFF の算出は、炉心損傷が発生した前提で行うものであることから、設計経年が地震によるリスクに与える影響があるとするれば炉心損傷を対象とする CDF 算出の範囲が主となると考えられるため、本検討では CDF 算出に当たっての FV 重要度をプラント間比較の対象とした。さらに、2.2.(1)に示す安全性向上評価実施済のプラントのうち、川内発電所 1 及び 2 号機、高浜発電所 3 及び 4 号機、大飯発電所 3 及び 4 号機は、第 1 回安全性向上評価にて地震 PRA を実施した後、特重施設を反映した地震 PRA を最新の安全性向上評価にて実施しているが、プラント間比較の前提条件を揃える観点から、特重施設設置前の状態について、地震 PRA を実施した第 1 回安全性向上評価での地震 PRA の評価結果を活用することとした。第 3-5 表に FV 重要度上位の機器を整理した結果を示す。なお、第 3-5 表については参考資料に示す。

第 3-5 表に抽出された各機器について、機器の応答、機器の耐力及び建屋応答の各観点から HCLPF が小さめとなっている要因を抽出した。抽出された機器のうち、3 プラント以上に共通する機器について、プラント間での比較のため機器ごとに整理し直し、プラント間の相違が設計経年によるものかどうか、設計経年による場合はその要因について、検討を行った。第 3-6 表に検討結果を示す。検討に当たっては、3.1.1.(1)と同じく、機器の応答、機器の耐力及び建屋応答の各観点から、HCLPF が小さくなる要因を抽出した。なお、第 3-6 表については参考資料に示す。

第 3-6 表の各項目について、特段 HCLPF が小さい要因となってい

ないと考えられるものについては「特記無し」としている。また、第 3-6 表では他プラントとの比較のために FV 重要度が「-」（FV 重要度 0.01 未満）のものも記載しているが、これらについては、比較のための耐力・応答の内容のみを記載した。

なお、第 3-5 表において、特定プラントのみで FV 重要度上位（FV 重要度 0.01 以上）として抽出された機器については、以下の理由により、設計経年が耐震性に影響したことが原因ではないと判断した。

- ・ FV 重要度として突出したものが少ないため FV 重要度が低いものが多数現れること
- ・ FV 重要度上位に人的過誤の要因が多いことから他プラントでは登場しない機器が FV 重要度上位にあがっていること
- ・ いずれも HCLPF が極端に小さいものではないこと

設計経年による影響検討の結果、FV 重要度が高い機器のうち、静的機器については応答の影響により発生値が大きくなっているものであり、必ずしも設計経年によるものとは言えないが、メタクラッドスイッチギアについては保護リレーに機械式リレーが存在することにより、保護リレーがデジタル化されているものに比べて耐力が低めになっているものがあり、これは設計経年による影響と判断した。

第 3・1 表 美浜発電所 3 号機 CDF 算出における FV 重要度に着目した着眼点の抽出・分析の検討結果

参考資料に記載する。

第 3・2 表 美浜発電所 3 号機 CFF 算出における FV 重要度に着目した着眼点の抽出・分析の検討結果

参考資料に記載する。

第 3・3 表 美浜発電所 3 号機 CDF 算出におけるカットセットに着目した着眼点の抽出・分析の検討結果

参考資料に記載する。

第 3・4 表 美浜発電所 3 号機 CFF 算出におけるカットセットに着目した着眼点の抽出・分析の検討結果

|            |
|------------|
| 参考資料に記載する。 |
|------------|

第 3・5 表 プラント間比較による FV 重要度上位機器の抽出結果

参考資料に記載する。

第 3-6 表 炉心損傷に影響の大きい機器のプラント間比較(1/3)

|            |
|------------|
| 参考資料に記載する。 |
|------------|

第 3-6 表 炉心損傷に影響の大きい機器のプラント間比較(2/3)

|            |
|------------|
| 参考資料に記載する。 |
|------------|

第 3-6 表 炉心損傷に影響の大きい機器のプラント間比較(3/3)

|            |
|------------|
| 参考資料に記載する。 |
|------------|

#### 4. まとめ

今回は、「設計の経年化評価ガイドライン（2023年6月6日改訂 ATENA 20-ME03（Rev.1）」及び ATENA 実施計画に基づき、美浜発電所3号機の炉心損傷や格納容器破損に至るシナリオの把握を目的に、安全性向上評価で実施した地震 PRA の評価結果を用いて、FV 重要度 0.01 以上となる基事象についても、FV 重要度が高い理由を確認のうえ、これらに対しても FV 重要度が大きくなっている理由を分析した。

また、CDF/CFF への寄与割合が 0.5%以上となるカットセットのうち、同一の基事象が複数回登場するものを重要な基事象として抽出し、基事象と機能喪失の関連性を、プラントの系統構成等を踏まえ、基事象の設定条件に立ち返って分析した。

以上の分析の結果、アプリケーションソフトウェア CCF に対する備えが重要であることが分かった。これを踏まえて、効果的に意識を高め事故対応能力を向上させることが重要と考え、若年層への知識付与及び反復的な注意喚起を目的に、設計経年化評価から得られた知見の技術資料（教育資料等）への反映を対策として抽出した。

加えて、安全性向上評価実施済プラントの地震出力時 PRA のリスク評価結果から、FV 重要度のプラント間比較により、CDF/CFF への影響が大きい傾向であると考えられる FV 重要度 0.01 以上となる基事象を着眼点として抽出し、FV 重要度が大きくなっている理由について、設備の差異や運用の差異に起因しないか、基事象の設定条件等に立ち返り分析した。

FV 重要度のプラント間比較の結果、メタクラッドスイッチギアについて保護リレーに機械式リレーを採用しているプラントについては、保護リレーを機械式からデジタル式に変更する対策案が考えられる。美浜発電所3号機については、既にデジタル式保護リレーを採用しており、設備対策が不要であることを確認した。