

BWR型原子炉建屋の機器系検討用FE解析モデル
の作成
仕 様 書

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
安全研究センター
耐震・構造健全性評価研究グループ

一般仕様

1.1 件名

「BWR 型原子炉建屋の機器系検討用 FE 解析モデルの作成」

1.2 目的及び概要

本仕様書は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という）、安全研究センター耐震・構造健全性評価研究グループの発注作業について記述するものである。

本発注は、柏崎刈羽原子力発電所原子炉設置変更許可申請書（6 号および7号原子炉施設の変更）及び工事計画認可申請書等の公開情報に基づき、機器の配置に必要な壁などの部材の BIM/CAD モデル及び有限要素モデル（以下 FE モデルという）を既存の耐震構造解析モデルに追加し、当該モデルを詳細化することを目的とする。

1.3 契約範囲

1.3.1 契約範囲内

- (1) 原子炉建屋の BIM/CAD モデルの作成
- (2) モデル化資料の作成
- (3) CAD モデルに基づく FE モデルの作成
- (4) 固有値解析による作成データの妥当性確認
- (5) 報告書の作成

なお、BIM モデルは、AutoDESK 社 Revit により作成し、CAD モデルは ACIS 書式とする。FE モデルは Hexagon 社の MSC Apex により作成し、固有値解析は Hexagon 社 MSC Nastran によるものとする。

また、作業途中において、適宜モデルデータを機構の要請に応じて提供すると共に、修正依頼を受けた場合は、随時それを反映する。

1.3.2 契約範囲外

無し

1.4 納期

2026 年 2 月 27 日（金）

1.5 納入場所及び納入条件

1.5.1 納入場所

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
安全研究センター 耐震・構造健全性評価研究グループ

(原子力科学研究所 安全研究棟西 203 号室)

1.5.2 納入条件

持込渡し、郵送等

1.6 検収条件

1.7 節に定める提出物が全て納入され、員数及び内容が本仕様書の記載事項に合致している事を原子力機構が確認した時をもって検収合格とする。

1.7 提出物

1.7.1 提出図書等

(1) 工程管理表 (予定記入版)	契約後速やかに	1 部
(2) 工程管理表 (実績記入版)	納入時	1 部
(3) BIM モデル等作成根拠図	納入時	1 部
(4) BIM モデルデータ	納入時	1 式
(5) CAD モデルデータ	納入時	1 式
(6) FE モデルデータ	納入時	1 式
(7) 妥当性検討結果データ	納入時	1 部
(8) 報告書 (MS Word 文書)	納入時	1 部
(9) 打ち合わせ議事録	打ち合わせ後速やかに	1 部
(10) (2~8)を格納した上記資料の電子媒体	納入時	1 式
(11) その他機構が必要とする書類	詳細は別途協議	

1.7.2 提出場所

1.5.1 と同じ

1.7.3 報告書

報告書はワードプロセッサ (MS Word) 形式、A4 サイズを原則とし、図表等は A3 サイズの折込も可とする。

1.7.4 提出物に関する特記事項

原子力機構は、1.6 節に定める検収前においても、必要がある場合は製作目的物の全部または一部を受注者と協議のうえ使用することができる。

1.8 検査員

一般検査 管財担当課長

1.9 貸与品

本作業の実施にあたり、原子力機構から受注者に対して以下のものを無償貸与する。

- ・ KARISMA プロジェクトに関する資料 1 式
- ・ その他本作業の実施にあたり必要なドキュメント類及びデータ類 1 式

1.8 機密保持

受注者及び作業担当者は、本作業に関する情報を第 3 者に漏らしてはならない。

1.9 グリーン購入法の推進

- (1) 本契約において、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に適用する環境物品（事務用品、OA 機器等）が発生する場合は、これを採用するものとする。
- (2) 本仕様書に定める提出図書（納入印刷物）については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

1.10 協議

本作業を円滑に遂行するため、必要に応じて協議・打合せするものとする。この協議・打合せの主要な内容は議事録として、打合せ後の 2 週間以内に提出すること。また、本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項について疑義が生じた場合は、原子力機構と協議の上、その決定に従うものとする。

1.11 特記事項

1.11.1 成果物の帰属等

この業務により作成された目的物に係わる著作権その他この目的物の使用、収益及び処分（複製、翻訳、翻案、変更、譲渡 貸与及び二次的著作物の利用を含む）に関する一切の権利は原子力機構に帰属するものとする。

2 技術仕様

柏崎刈羽原子力発電所原子炉設置変更許可申請書（6号および7号原子炉施設の変更）及び工事計画認可申請書等の公開情報に基づき、機器の配置に必要な壁などの部材の BIM/CAD モデル及び有限要素モデル（以下 FE モデルという）を既存の耐震構造解析モデルに追加し、当該モデルを詳細化する。得られたモデルについては、固有値解析によりその妥当性を確認する。

本作業の実施項目は以下の通りである。

(1) 原子炉建屋の BIM/CAD モデルの作成

- ・機器系配置図に記載されている壁のモデル作成
- ・その他部材モデル作成（形状・位置・寸法の推測が必要な部材）

(2) モデル化資料の作成

- ・図面に寸法の無い部材など根拠資料の作成
- ・せん断断面積表（平面図上の柱、壁の面積）の作成
- ・各階重量表（構造部材のみ、荷重は除く）の作成

(3) CAD モデルに基づく FE モデルの作成

- ・FE モデル作成のための CAD モデルの補正
- ・機器系配置図に記載されている壁の FE モデル作成
（部材は6面体ソリッド要素でモデル化し、部材間は Nastran の接着機能を用いて接合する）
- ・鉄骨梁のシェル要素によるモデル化
- ・積載荷重の FE モデル作成（面の質量モデル）
- ・排気筒の FE モデル作成（梁要素モデル）

(4) 固有値解析による作成データの妥当性確認

(5) 報告書の作成

なお、BIM モデルは、AutoDESK 社 Revit により作成し、CAD モデルは ACIS 書式とする。FE モデルは Hexagon 社の MSC Apex により作成し、固有値解析は Hexagon 社 MSC Nastran によるものとする。

また、作業途中において、適宜モデルデータを機構の要請に応じて提供すると共に、修正依頼を受けた場合は、随時それを反映する。

2.1 モデル化対象

モデル化対象は下記の原子炉建屋における機器及び計器など設備の取付箇所に関する壁とする。

・原子炉建屋

本作業で対象とする原子炉建屋の概要を下図に示す。

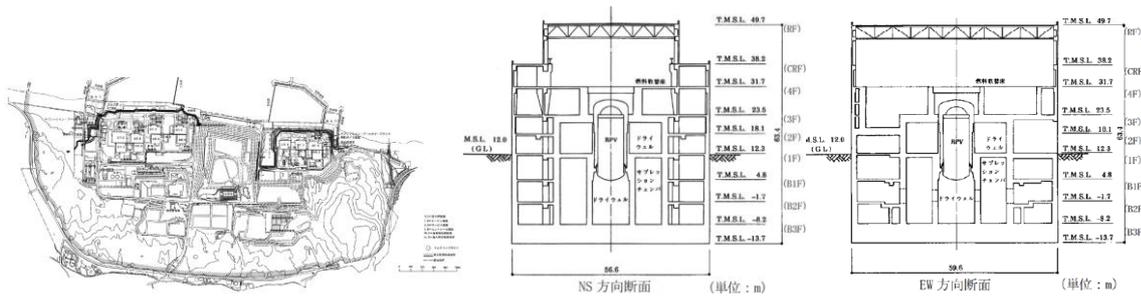


図 1 原子炉建屋概要 (工事計画認可申請書より)

原子炉建屋は、地下3階、地上3階、全高さ約63m、幅約57m(NS)、60m(EW)の主体構造が鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造)の建物である。基礎はべた基礎である。原子炉建屋の平面図等は、原子力規制委員会および国会図書館より受注者が取得するものとする。

原子炉建屋は、建屋本体と屋根トラスおよび格納容器で構成されている。本作業では、建屋の耐震解析用の構造部材に加えて機器などの取付箇所の壁を対象にBIMソフトによりBIMモデルを作成し、その後CADモデル(ACIS書式)として出力し、そのデータを基に、FEモデルを作成するものとする。作成するFEモデルは3次元梁要素、ソリッド要素(6面体要素)で構成するものとする。

2.2 作業内容

2.2.1 原子炉建屋のBIM/CADモデルの作成

柏崎刈羽原子力発電所第7号機工事認可申請書および原子力機構より貸与する資料*1)等に基づいて、REVIT(AUTO DESK製)により、各種機器配置図および複数の機器等の取付位置図に基づき、関連の壁のBIM/CADモデルを作成する。また、開口部のモデル化も行う。:

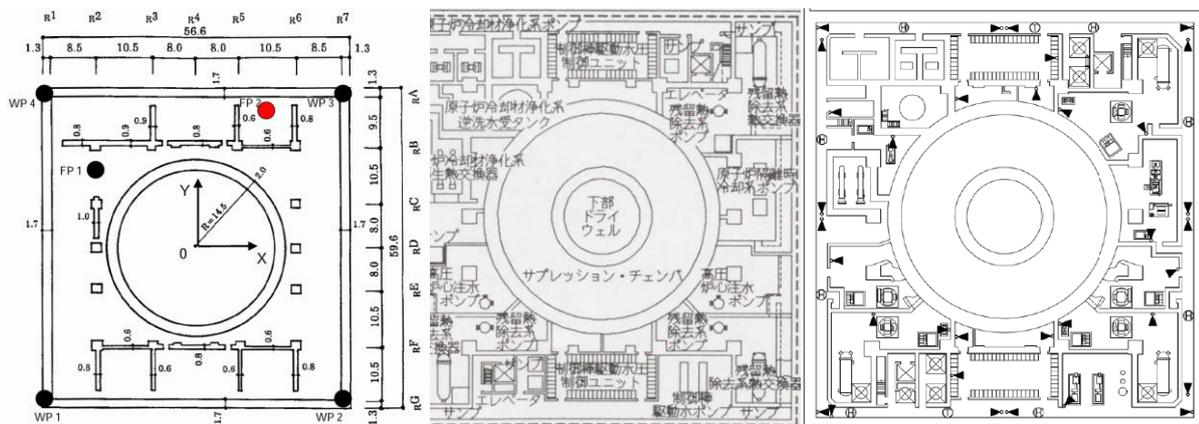


図2 耐震検討用図, 機器配置図および取付位置図の例

*1) IAEA-EBP-SS-WA2- KARISMA-SP-002, Guidance document; part1: K-K Unit 7 R/B Structure Phase I, II & Revised III, 2012

BIMモデルの作成手順を以下に示す。

- ① 工事認可申請書にある複数の機器取り付け図（平面図）および関連断面図を整理し、構造図に含まれない壁を既存BIM/CADモデルに追加し、モデルの詳細化を行う。なお、断面図、平面図は標準的な設計図ではなく、概略図で詳細な寸法が記載されていないため、構造設計経験者の判断を要する。また、BIMモデルの作成にはAUTODESK社製Revitを用いる。
- ② 追加された部材を含むBIMモデルのせん断断面積表（平面図上の柱、壁の面積）および各階重量表を作成する。
- ③ CADモデルのデータを出力する。

2.2.2 モデル化資料の作成

機構より貸与する資料の図面等は、十分に寸法が表記されていない概略図であるため、寸法・座標を推測しBIMモデルを作成する必要がある。この推測にあたっては、その根拠の記録資料を作成する。

2.2.3 CADモデルに基づくFEモデルの作成

2.2.1で作成したCADモデルを元にMSC APEXを用いて、FEメッシュ（FEモデル）を作成する。その作成においては、柱・梁・床・壁などの部材ごとの形状データをもとに、FEモデルを作成する。これらを各階ごとのグループに分け、そのグループを合成して、建物全体モデルを作成する。全体モデルは接着機能により接合し、固有値解析によりFEモデルに不備が無い事を確認する。:

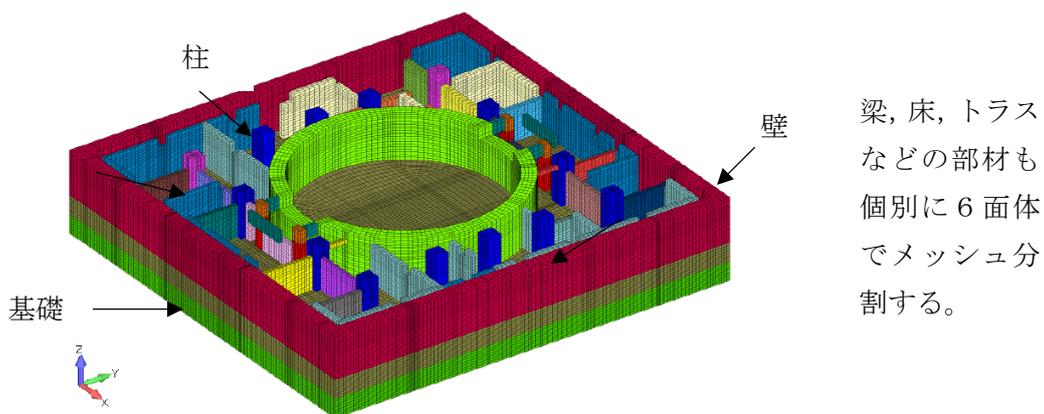


図3 部材ごとのFEモデルのイメージ

FEモデル作成の作業手順を以下に示す。

- ① 各階ごとに作成された CAD モデル(ACIS)を APEX に取り込む¹。
- ② FE 解析に影響が無いと考えられる微小部分の補正を行う。
- ③ ソリッドモデルを階、部材、建築区分になど、メッシュ作成の必要に応じて、セルまたは別パーツに切り分ける。
- ④ 可能な限り 6 面体メッシュが作成できるように、セル区分を設ける。
- ⑤ FE モデルを作成する。
- ⑥ 上記で作成された FE モデルを接着機能で接合する。
- ⑦ RC 部分に一律な材料特性（ヤング率、質量密度等）を割り当てる。
- ⑧ 上記の調整を終えたモデルの固有値解析を行い、固有振動数や固有モードの妥当性を値や形状目視などにより確認する。

作成時の留意点を以下に示す。

- ・ 鉄筋コンクリート（RC）部の FE モデルは原則 6 面体 1 次要素とする。
- ・ SRC 部材は、等価なソリッドモデルとする。
- ・ トラスは梁要素でモデル化し、ソリッドとの接合部はプレートなどの受材を検討する。
- ・ 部材は別パーツとし、それぞれを接着条件で接続する。
- ・ メッシュ数は 50-100 万要素程度を想定している。
必要に応じて解析精度を確認しながら、FE モデルを作成する。
- ・ 階、材料が異なる場合は別々のパーツとする。
- ・ 要素品質は、MSC APEX の標準の 3D 要素品質を保つこととする。

また、メッシュの粗密については、原子力機構と協議の上決定するものとする。

なお、屋根スラブなど薄い面材については、層厚方向のメッシュ数について妥当な数を事前に検討し、これによりメッシュ数が非常に多くなる場合はシェル要素で作成することも検討する。

作成した FE モデルの直観的理解および確認のために、本作業で作成する FE モデルや解析結果を階の部材ごとに可視化し、画像データ jpeg 等で保存する。可視化の範囲、視点位置、画角などに関しては、原子力機構と事前に協議の上設定する。可視化結果は、BMP または JPG 形式とし、それぞれ電子データと印刷物を作成するものとする。可視化には APEX や Patran 等の可視化ソフトウェアを用いるものとし、可視化ソフトウェアのデータも納品するものとする。

2.2.4 固有値解析による作成データの妥当性確認

上記のように作成された FE モデルに材料条件および境界条件を設定して固有値解析を行い、その固有振動数および固有モードの妥当性の確認を行う。建屋全体の主要振動の振動数と振動モード形状を確認するとともに、各階固有の振動モードの妥当性（振動数、振動モード）を確認す

¹ すべての要素がソリッドモデルとして取り込まれる。

る。

1) 定数の設定

- ・ 弾性定数：原子力機構が提示する値とする。
- ・ 質量密度：原子力機構が提示する質点系モデルの各階の質量と一致するように、各階床の質量密度を調整する。この時、床に特異な固有振動モードが生じないことを確認する。

2) 境界条件の設定

- ・ 建物基礎底面を固定とする。

3) 固有振動モードの確認振動数範囲

- ・ 0.1Hz～20Hz とする

2.2.5 報告書の作成

本発注で行った作業内容および結果について、次の要件に基づき、報告書を作成すること。

- (1) 報告書の内容については、指示された作業の途中経過がわかるようにグラフや図表を用いてわかりやすくまとめるものとし、データの羅列にならないように留意すること。
- (2) 可視化データについては、加工可能な電子データとしても作成すること。
- (3) 作成した報告書のドキュメント類に、背表紙、および表示を付けてファイリングすること。
- (4) DVD-R 等にはラベルを付けて、ファイリングに格納すること。
- (5) 貸与された図面や資料についても、報告書に含め、納品時に報告書のみで作業内容を全て確認できるようにすること。

以上