

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-67
提出年月日	2022年6月2日

ガスタービン発電機ガスタービン機関及び発電機の耐震性  
についての計算書に関する補足説明資料

2022年6月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 目 次

1. 概要 .....	1
2. ガスタービン発電機の固有値解析モデル .....	2
3. ガスタービン機関の機能維持評価モデル .....	6

## 1. 概要

本資料は、VI-2-10-1-2-3-1「ガスタービン発電機ガスタービン機関及び発電機の耐震性についての計算書」のうち解析コードを使用して評価を実施する、ガスタービン発電機の固有値解析モデル及びガスタービン機関の機能維持評価モデルの詳細な考え方を説明するものである。

## 2. ガスタービン発電機の固有値解析モデル

ガスタービン機関を含むガスタービン発電機は、三次元 FEM モデルにて固有値解析を実施する。解析モデルを図 2-1 に、解析モデルの詳細説明を以下に示す。

- (1) フレーム及びパッケージサポートははり要素、台板はシェル要素でモデル化する。
- (2) ガスタービン発電機の主要機器及び主要補機の質量は、それぞれの重心に集中するものとする。エンクロージャの扉は、質量のみ考慮することとし、扉取付部周辺フレームに付加する。エンクロージャの外板も質量のみ考慮することとし、フレームに分散して付加する。配管、ケーブル類は、等分布荷重として、当該質量のみをモデル全体に付加する。

### 【モデル化方針の詳細】

#### a. ガスタービン発電機の主要機器：図2-2参照

主要機器の例として、ガスタービン機関及び発電機について説明する。ガスタービン機関及び発電機は(2)項記載の通り、機器単体では剛構造として取り扱う。したがって、FEMモデルとしてはそれぞれの重心位置に質点でモデル化し、質点と台板の接続は剛なはり要素でモデル化する。また、はり要素の台板への接続箇所は取付ボルト位置とし、6成分接続（接続位置において、はり要素と台板節点の回転3方向及び並進3方向の挙動が同じとなる）とする。

#### b. ガスタービン発電機の主要補機：図2-3参照

主要補機の例として、潤滑油冷却器及び潤滑油冷却器ファンについて説明する。潤滑油冷却器及び潤滑油冷却器ファンは、支持構造物（強度部材）ではないため、重心位置に質点でモデル化する。また、機器の質量と発生するモーメントが伝達される要素により質点とエンクロージャフレームを接続する。接続は取付ボルト位置とする。

#### c. エンクロージャ扉：図2-4参照

上記の、主要補機のモデル化方針と同じである。

#### d. エンクロージャフレーム及び台板

エンクロージャフレーム及び台板は、ガスタービン発電機の支持構造物であり、ガスタービン発電機の応答を精緻に算定するために、はり要素及びシェル要素でモデル化する。ここで、エンクロージャフレームは、角形鋼管、山形鋼及びみぞ形鋼を主な構成部材としているため、はり要素でモデル化する。また、台板は、H形鋼及びリブ形状の圧延鋼材を主な構成部材としているため、シェル要素でモデル化する。

#### e. エンクロージャ外板、配管及びケーブル類

エンクロージャ外板、配管及びケーブル類は、支持構造物（強度部材）ではないこと、また、エンクロージャ外板はエンクロージャフレームに、配管及びケーブル類はエンクロージャ及び台板に対して取付されることから、それぞれの質量を取付位置となるエンクロージャフレーム及び台板に分散してモデル化する。

- (3) ガスタービン機関及び発電機は、1個の大きなブロック状をしており、重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり、かつ、下面が取付ボルトにて固定されている。したがって、全体的に一つの剛体と見なせるため、固有周期は十分に小さく、固有周期の計算は省略する。

**【モデル化方針の詳細】**

(1)項記載の通り、ガスタービン機関及び発電機は、それぞれの重心位置に質点でモデル化し、質点と台板の接続は剛なはり要素でモデル化する。また、はり要素の台板への接続箇所は取付ボルト位置とし、6成分接続とする。

- (4) ガスタービン発電機の主要機器及び主要補機の重心位置については、公称値による重心位置を設定するものとする。

**【モデル化方針の詳細】**

詳細設計図面記載の重心位置を、FEMモデルに反映する。

- (5) 拘束条件は、基礎ボルトにて完全拘束とする。なお、基礎ボルトは剛体として評価する。パッケージサポートと壁面の拘束条件についても同様に完全拘束とする。

**【モデル化方針の詳細】**

台板は十分な板厚(18mm)を有しており剛性が高いこと及び台板の外縁部を適切にトルク管理された基礎ボルト(40本)で締結していることから、ボルト中心位置に設定したモデル節点を完全拘束とする。

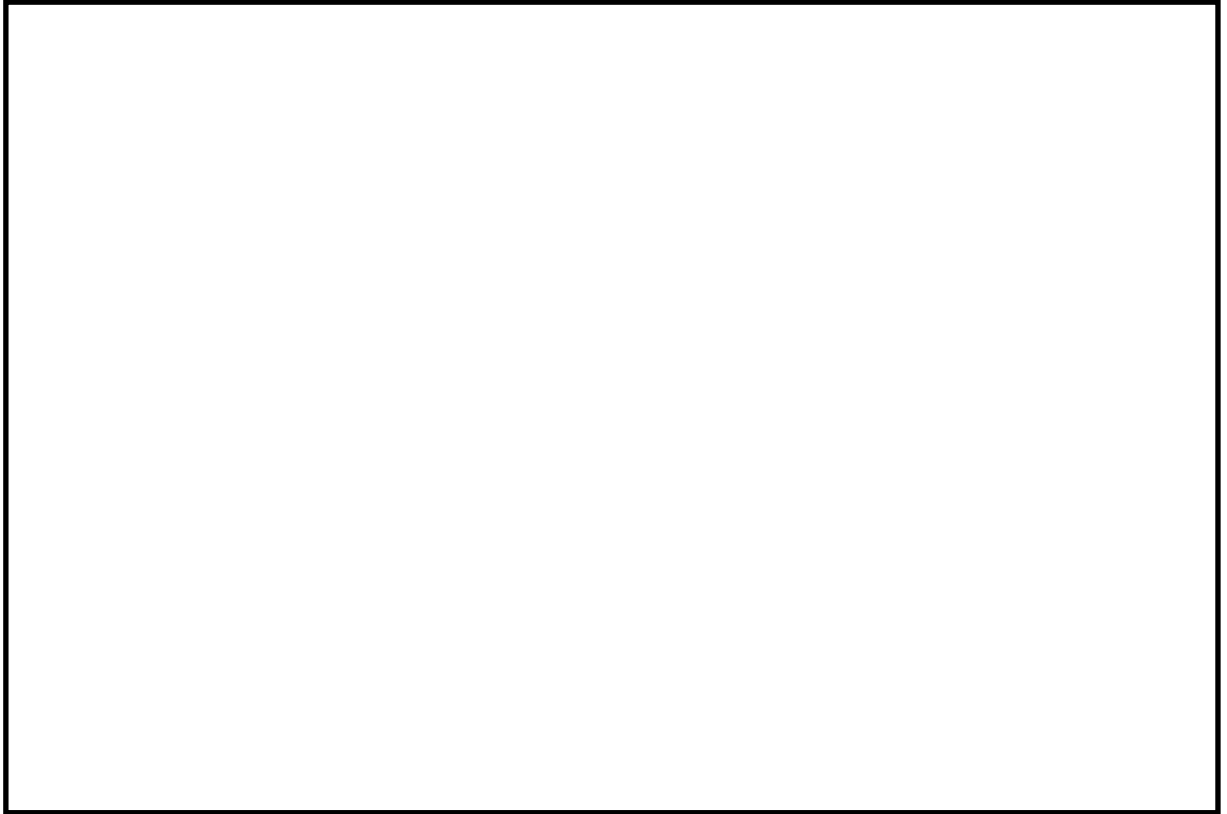
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

**【モデル化方針の詳細】**

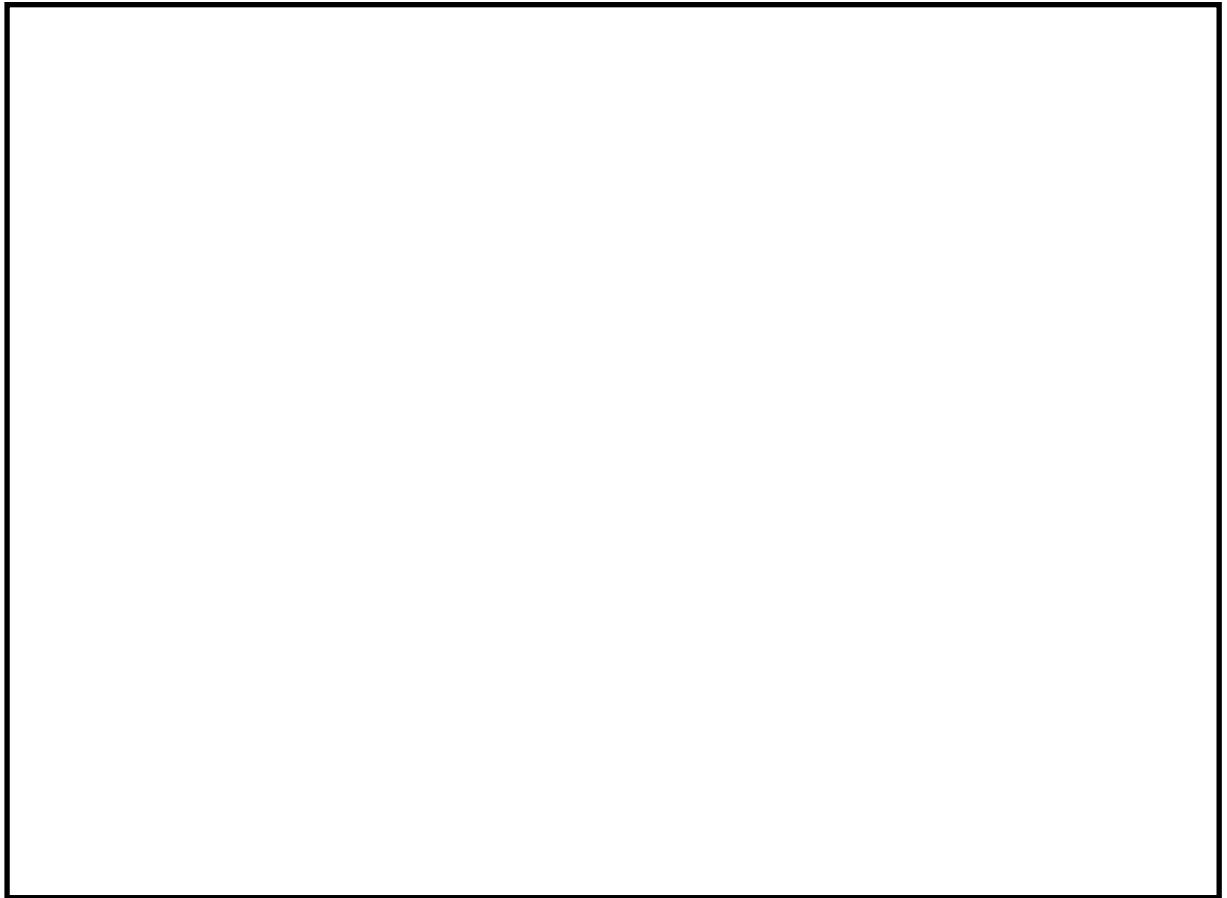
詳細設計図面記載の寸法を、FEMモデルに反映する。

- (7) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値を求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。



(解析モデル)



(実機構造)

図 2-1 ガスタービン発電機の解析モデル (詳細)

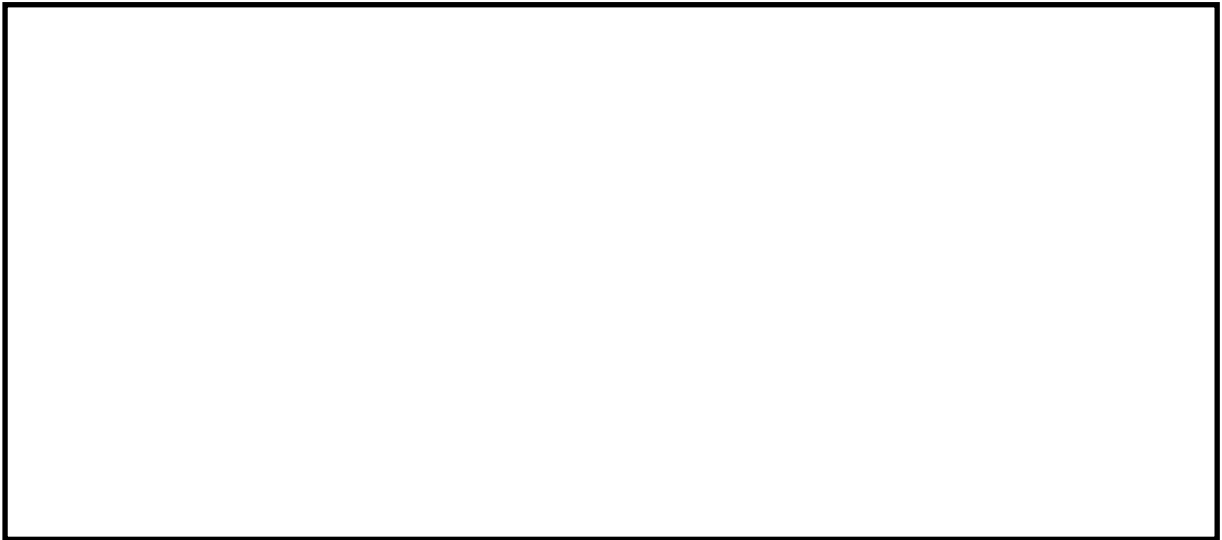


図 2-2 ガスタービン発電機の主要機器の例 (ガスタービン機関及び発電機)

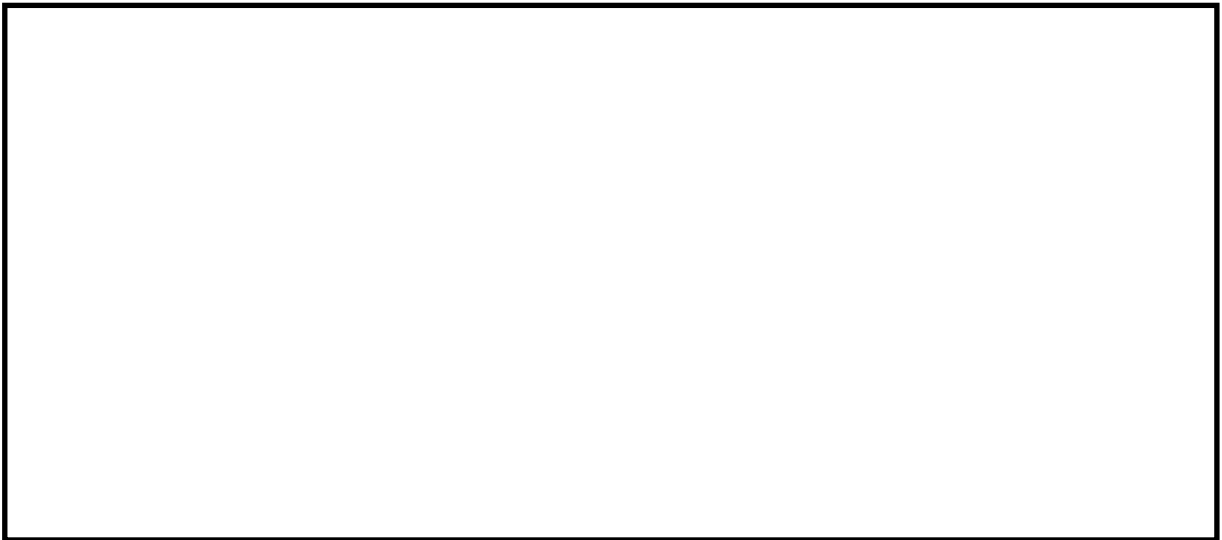


図 2-3 ガスタービン発電機の主要補機の例 (潤滑油冷却器及び潤滑油冷却器ファン)



図 2-4 エンクロージャ扉

### 3. ガスタービン機関の機能維持評価モデル

ガスタービン機関における動的機能維持評価として、はりモデルにて軸とケーシングのクリアランスを評価する。解析モデルを図3-1に、解析モデルの詳細説明を以下に示す。

- (1) クリアランスの評価にあたっては、ガスタービン機関回転軸とケーシングとの相対変位が評価対象となるが、ケーシングは運転時の高圧に耐えかつ高速回転する回転軸を支える厚肉構造であることから変形しない剛体として扱い、回転軸のみモデル化して地震時の応答加速度に対するたわみ量（変位量）を評価する。

**【モデル化方針の詳細】**

モデル化範囲は回転体である、メインシャフト及び外周部となるロータ部（第1段インペラ、第2段インペラ、カップリングロータ、第1段タービンディスク、第2段タービンディスク、第3段タービンディスク及びNO.2ベアリングシャフト）とする。回転体（ガスタービン機関回転軸）のたわみ量が、静止体（ケーシング）とのクリアランス以下であり、接触しないことを確認する。

- (2) ガスタービン機関回転軸は、メインシャフト及びロータ部からなる2重構造である。この内外2つの構造を各々はり要素でモデル化する。特に、インペラ、タービンディスク等の複雑な翼形状を持つロータ部品は、全体を一様なはり要素でモデル化できないため、実機構造と等価な剛性、質量を持つ円筒形状に諸元を置き換えてモデル化する。

**【モデル化方針の詳細】** : 図3-2参照

メインシャフト及びロータ部をそれぞれ、はり要素でモデル化する。

- a. 中実なメインシャフトを模擬するはり要素、中空なロータ部を模擬するはり要素でモデル化する。
- b. メインシャフト及びロータ部の軸中心は、同じ位置である。
- c. はり要素の諸元設定にあたり、製作設計図面を基に等価な剛性となるように寸法を設定する。また、実機での打撃振動計測結果（固有振動数）とはりモデルの固有値解析結果を比較検証することで、諸元設定の妥当性を確認する。
- d. はり要素の諸元設定にあたり、製作設計図面を基に、はり要素の分割領域の長さに対応する質量を算出する。

- (3) 内側の中実形状のメインシャフトと外周の円筒形状に置き換えたロータを各々はり要素でモデル化し、2つのモデルを実機構造と同様に両端の第1段インペラ部及びNO.2ベアリングシャフト部と中央のカップリングロータ部の3箇所て結合する。

**【モデル化方針の詳細】**

実機構造における結合部は、はりモデルにおいても結合する。実機構造において、第1段インペラ、カップリングロータ及びNO.2ベアリングシャフトの3箇所は、メインシャフト及びロータ部が構造的に接触する結合部であるため、それぞれのはり要素の対応する分割領域も結合する。



- (4) 軸受は、軸受自体の変位は地震時に  程度と許容クリアランスに比べると十分小さいため剛体とし、拘束条件としては、軸受部A（玉軸受）を並進3方向固定、軸受部B（ころ軸受）を並進2方向（軸直方向）固定として設定する。

**【モデル化方針の詳細】**

軸受部Aは、実機ではガスタービン機関運転時の軸方向への熱膨張の起点とするために固定されていることから、はり要素（回転体）は静止体に対して並進3方向固定とする。また、軸受部Bは、実機ではガスタービン機関運転時の軸方向への熱膨張を吸収するために固定されていないことから、はり要素は静止体に対して並進2方向（軸直方向）固定とする（並進軸方向は固定しない）。

- (5) アンバランス荷重による変位は、運転中に生じる主軸振動の管理値以下になるよう調整されているため、保守的に主軸振動に対するメーカ管理値をアンバランス荷重による変位として用いる。この変位を解析モデルから算出したたわみ量（変位量）に重畳（絶対和）する。

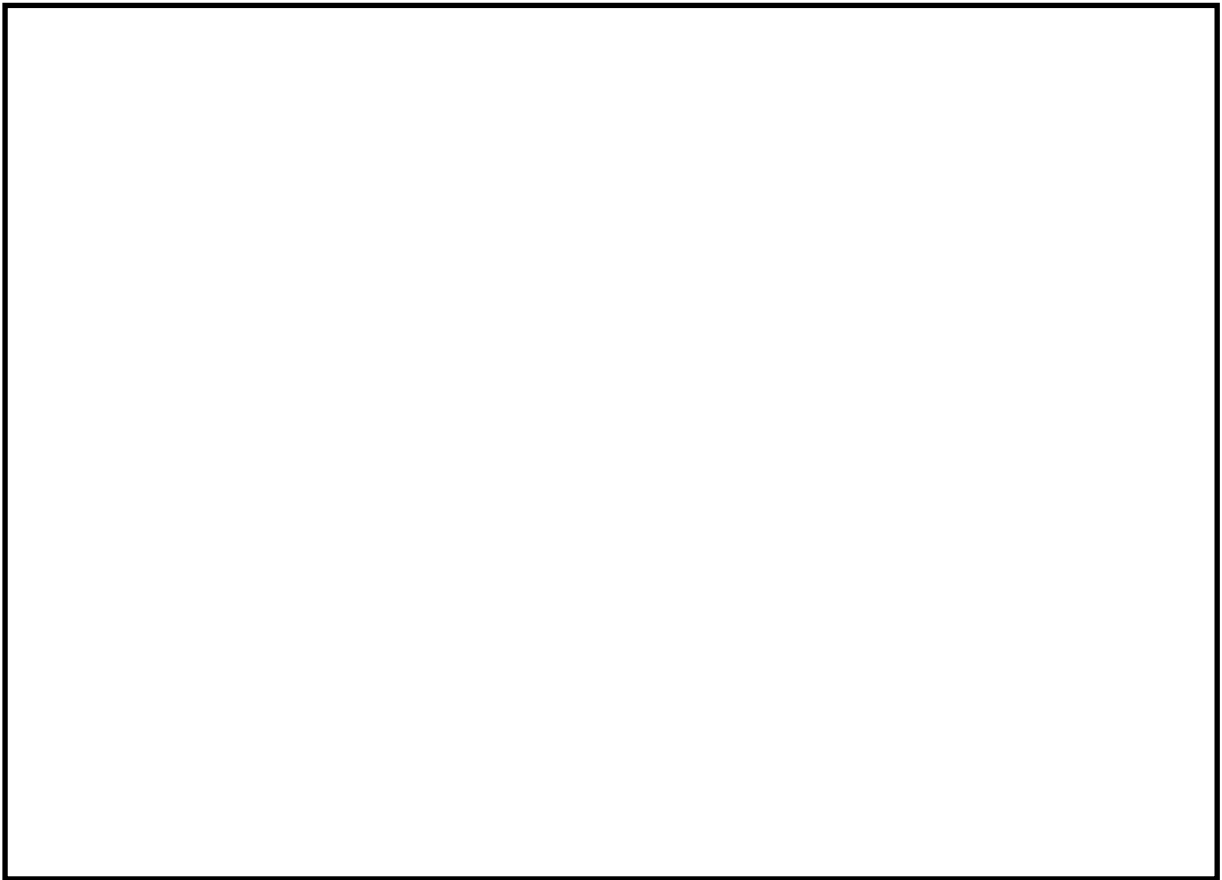
**【モデル化方針の詳細】**

アンバランス荷重による変位の最大値として、主軸振動に対するメーカ管理値の上限を設定する。

- (6) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用する。なお、評価に用いる解析コード「MSC NASTRAN」の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



(解析モデル)



(実機イメージ)

図 3-1 軸とケーシングのクリアランス評価の解析モデル

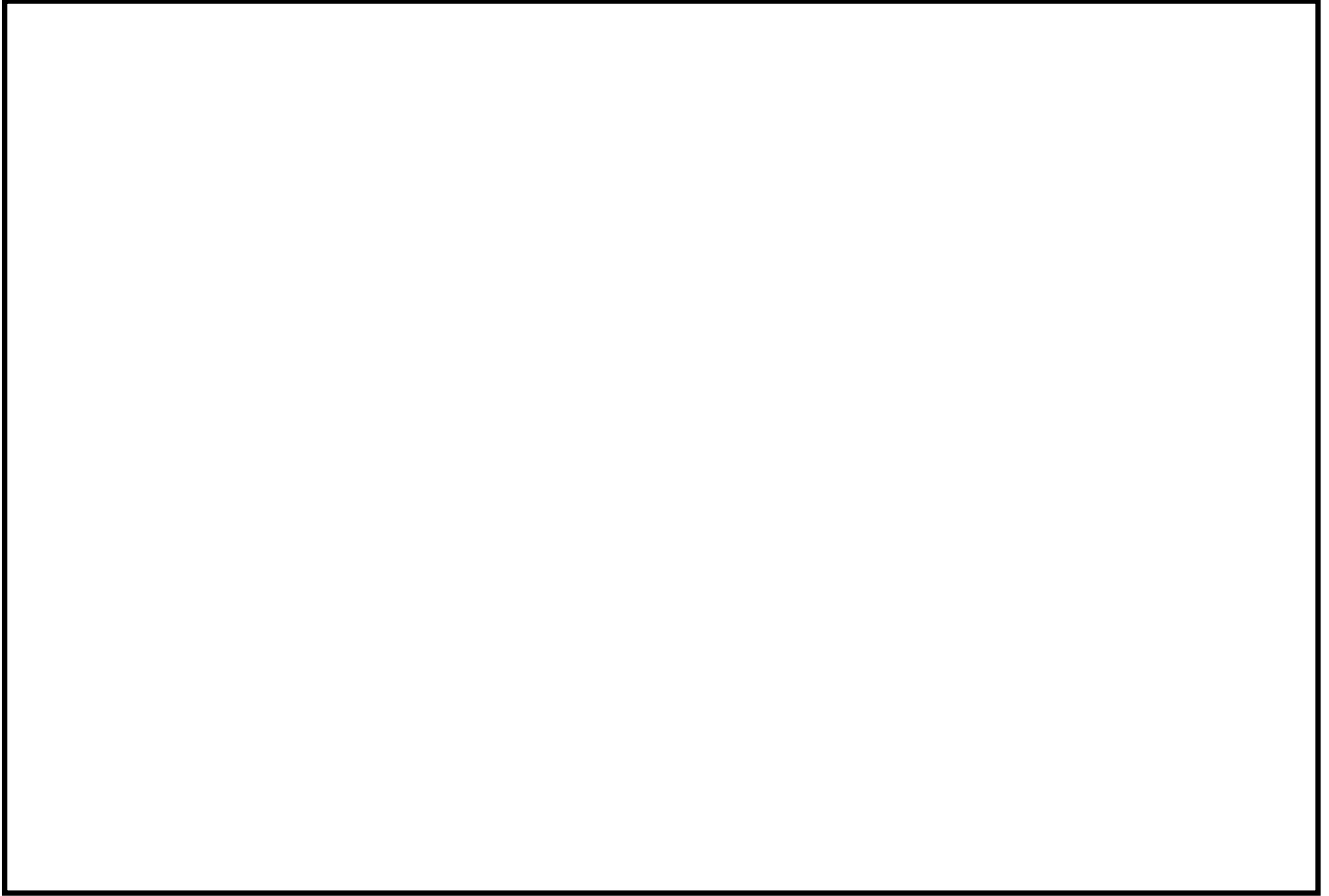


図 3-2 メインシャフト及びロータ部のはりモデル