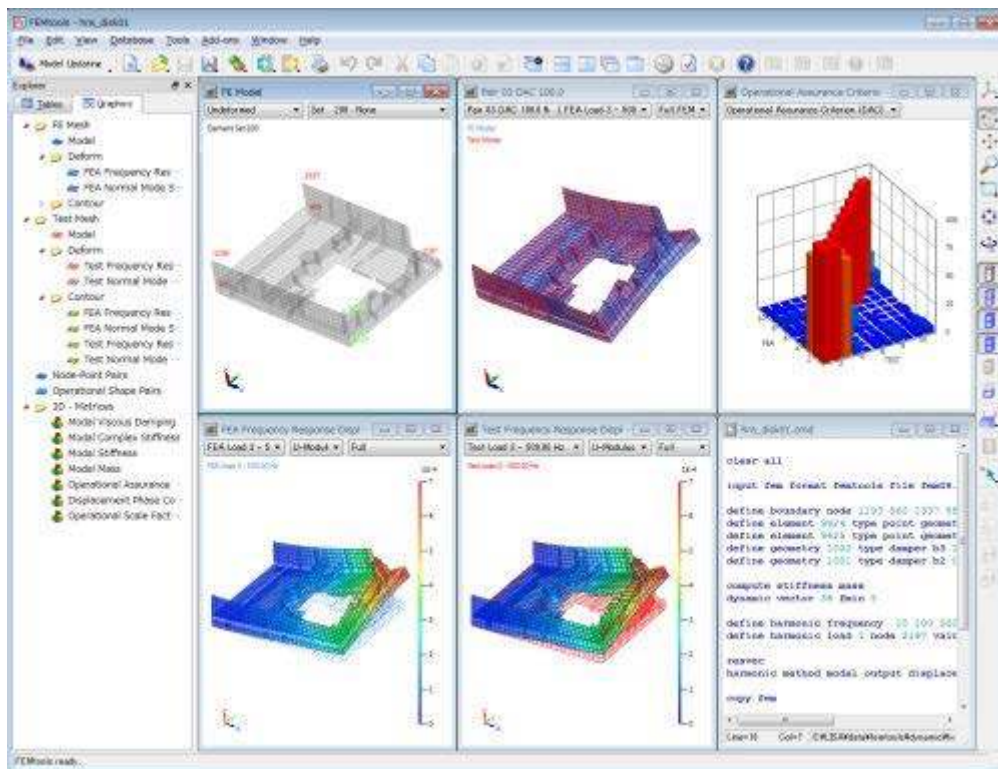


# FEMtools Dynamics ガイド

## Harmonic Response Analysis



## 目次

FEMtools Dynamics ガイド .....	1
FEMtools Dynamics 概要 .....	1
調和応答解析 .....	3
概説 .....	3
モード法または直接法を使った調和解析 .....	3
調和周波数の定義 .....	3
調和荷重の定義 .....	3
調和応答の定義 .....	4
調和解析の実行 .....	4
調和応答解析リファレンス .....	6
解析方法 .....	6
変形シェープの計算 .....	6
DEFINE EXCITATION コマンド .....	7
コマンド・スクリプト例 .....	8
調和応答解析コマンド・リファレンス .....	9
HARMONIC コマンド .....	9
CLEAR HARMONIC コマンド .....	10
EXTRACT HARMONIC コマンド .....	10
DEFINE HARMONIC コマンド .....	11
SET HARMONIC コマンド .....	12
TABLE コマンド .....	13
RESVEC コマンド .....	14
解析例 .....	15
解析モデル 1 .....	15
正規モード解析 .....	16
解析周波数応答関数 .....	16
モードシェープ .....	17
調和応答解析 .....	18
応答変位：外力 (308700 N)、周波数 (83.3Hz) .....	18
応答変位：外力 (308700 N)、周波数 (388.39 Hz) .....	19
解析モデル 2 .....	20
正規モード解析 .....	21

解析周波数応答関数 .....	21
モードシェープ .....	22
調和応答解析 .....	23
応答変位：外力（370440 N）、周波数（83.3Hz） .....	23
応答変位：外力（370440 N）、周波数（350.28 Hz） .....	24
考察 .....	25

# FEMtools Dynamics ガイド

本ドキュメントは、FEMtools 3.8 バージョンの FEMtools Dynamics に関する以下の補足ガイドとしてリリースされます。

- 調和応答解析 (Harmonic Response Analysis)

## FEMtools Dynamics 概要

FEMtools Dynamics は、FEMtools フレームワークの有限要素解析拡張モジュールです。

FEMtools Dynamics には、以下の機能が含まれます。

- 複素数モード解析
- 周波数応答関数解析
- 調和応答解析 (Harmonic Response Analysis)
- レジデュ・ベクトル演算
- スーパー要素解析
- モーダル・ベース・アセンブリ (Modal Based Assembly)
- FRF ベース・アセンブリ (FRF-Based Assembly)
- 時間領域シミュレーション (Time Domain Simulation)

**周波数応答関数解析 (FRF)** では、参照点の応答信号が周波数応答機能 (FRF) を得る加振力で割られます。その関数は力 (Force) 情報を含まないため構造の質量、剛性、減衰などのモーダル特性に依存します。したがって、それらは相関分析、感度解析、モデルアップデーティングのための応答として使用することができます。

**高調波応答解析 (HRA)** は、調和荷重 (Harmonic Loading) 下の構造応答を分析します。

**レジデュ・ベクトル (RESVEC)** は、モーダル周波数応答法に使用されるモーダル解析を拡張するために使用されます。それらは、モーダル解析結果の不連続性の影響を補い、適切なモードシェープの推定あるいは直接法を使用する必要のない動的応答を推定に有効です。

**スーパー要素 (SELEM)** は、多くの要素をグループ化し、構造ごとの解析を可能にします。スーパー要素は、時間領域解析、周波数領域応答解析、設計最適化、確率論的解析、ロバスト設計、マルチ構造シミュレーションなどの解析に応用され、解析時間の節約にも有効です。また、スーパー要素は、限られたコンピューター・リソース (メモリー容量、ディスク容量など) においての解析にも有効です。

**モーダル・ベース・アセンブリ (MBA)** は、実測 FRF や実稼働シェープのようなモーダル・パラメータ結果に対する構造変化の影響を評価が可能なモーダル・サブストラクチャリング (Substructuring) 法です。この技術はテスト・データとの相関性の比較し、それぞれのモデル化方法を検証するために使用することができます。また、トラブルシューティングあるいは、加振周波数における共振周波数をシフトするための効率的な構造の修正方法を見つけるために使用されます。

**FRF ベース・アセンブリ (FBA)** は、インターフェイスが分離された各サブシステムの周波数応答関数 (FRF) を使用した解析手法です。FBA プロセスでは、各コンポーネントの接続条件 (boundings) によって抑制されたアセンブリ FRF を計算する周波数領域法です。FBA はコンポーネント間のカップリングに注目し、複数コンポーネントを備えたより大きなアセンブリ構造や連結力の研究のための計算効率を改善する方法です。

**時間領域シミュレーション (TDS)** は、構造の過渡応答を計算するツールを提供します。モーダル・パラメータ・エクストラクター (MPE) と組み合わせることにより、プリテスト解析プロセスや実稼働モード解析に利用することができます。

FEMtools フレームワークは以下のような有限要素解析の機能を拡張します。

- 1D、2D、3D 要素の標準内部要素ライブラリ、等方性材料、直交性材料、異方性材料、積層材料
- 拘束条件 (SPC、MPC、RBE2、RBE3、RBAR、...)

- 質量解析
- 静的変形解析
- 正規／複素モード解析

FEMtools Dynamics のより詳細については、FEMtools フレームワーク・ユーザーガイドおよび FEMtools Dynamics User's Guide を参照してください。

# 調和応答解析

## 概説

調和応答解析 (Harmonic Response Analysis) は、調和荷重の下での構造物の応答を検討します。FEMtools はこれらの応答をモード法または直接法を使って計算します。定式化に基づいて、実稼動時の変位、速度、または加速度が得られます。一般にその結果は、実稼動形状 (Operational Shapes) または実稼動変位形状 (Operational Displacement Shapes; ODS) と呼ばれます。

静的形状やモードシェープのように、実験によるODSと解析による予測とを比較するために、ODSは相関分析で使用されます。したがって、実験によるODSデータのタイプは、解析でどんなタイプのODSを計算しなければならないかを決定します。

## モード法または直接法を使った調和解析

調和応答解析では、加振は周波数領域で定義されます。作用する外力はすべて、各々の外力周波数において既知です。得られる結果には、節点の変位、速度、および加速度が含まれます。FEMtools は全実稼動変位形状だけでなく、選択したDOFsにおける調和応答関数の計算にもモード法または直接法を使用します。調和解析には、次の4つのステップが必要です。

- 調和周波数を定義する。
- 調和荷重を定義する。
- 調和応答を定義する。
- 調和解析を起動する。

これらのステップは、さらに次のセクションで説明されます。

## 調和周波数の定義

調和周波数は、調和応答関数または実稼動変位形状を計算する外力周波数 (forcing frequencies) です。それらは周波数値のリストを与えるか、または周波数帯域を参照することによって、テーブルもしくはコマンド **DEFINE HARMONIC FREQUENCY** を用いて定義することができます。周波数帯域を定義するには、Frequency Ranges テーブルかコマンド **DEFINE RANGE** を使用します。

**DEFINE HARMONIC FREQUENCY** は、Nastran **FREQ\***カードと同等であることを注意してください。

## 調和荷重の定義

調和荷重は選択した自由度で定義されます。それらは力でも、強制変位、強制速度、あるいは強制加速度でも構いません。荷重ごとに、基本振幅のほかに、周波数の関数として増倍率を与えるオプションのダイアグラムを指定しなければなりません。位相も、ダイアグラムを使って周波数の関数として定義できます。さらに、全体の時間遅れや位相角を定義することができます。

ダイアグラムは、周波数の関数を定義するために使用されるテーブルです。テーブルの値の中間にある調和周波数については、補間を使います。

調和荷重はコマンド **DEFINE HARMONIC LOAD** かテーブルを使って定義されます。

ダイアグラムは、テーブルか、または関数 **Ft\_DefDiagram** を用いた FEMtools Script プログラムを使って定義されます。

**DEFINE HARMONIC LOAD** は Nastran カード **DLOAD**, **RLOAD2**, **SPCD**, **DAREA** と同等であることを注意してください。

## 調和応答の定義

調和応答は、節点または要素に必要な解析結果を指定します。

節点は**REACTION**、**DISPLACEMENT**、**VELOCITY**、**ACCELERATION**のような結果と関連する可能性があります。要素は結果タイプ**FORCE**にのみ関連します。参照できる要素は、1-節点要素（たとえば、**MASS**）か2節点**SPRING/DAMPER**要素に限られます。

調和応答は、コマンド**DEFINE HARMONIC RESPONSE**かテーブルを使って定義されます。

**DEFINE HARMONIC RESPONSE**は、Nastranカード**DISPL=**および**FORCE=**と同等であることに注意してください。たとえば**DISPL= 10**の場合、10は節点のセットであり、**FORCE=20**の場合、20は要素のセットです。

## 調和解析の実行

直接法またはモード法を使って調和応答関数や実稼動変位形状を計算するには、

- Tools > Frequency Response Analysis > Harmonic Response Analysis...を使用します。

または

- コンソールからコマンド**HARMONIC**を使用します。

実稼動変位形状は、静的変位形状またはモードシェープと同様の方法で表示できます。

**HARMONIC**を使って直接法またはモード法を使用することができ、かつ選択したDOFsでの実稼動変位形状または調和応答関数を計算することができます。直接法は直接FEデータや要素マトリックスを使用しますが、モードシェープは必要ありません。識別番号を使ってユーザー指定の方法を選択することもできます。詳細はFEMtools Supportにお問合せください。

オプション**OUTPUT RESPONSE**は、**DEFINE HARMONIC RESPONSE**によって定義された調和応答関数を計算します。その他の**OUTPUT** の場合は、実稼動変位形状が計算されます。

- 解析の方法と出力は、**SET HARMONIC**コマンドを用いて指定することもできます。

調和荷重は、**DEFINE EXCITATION**または**DEFINE HARMONIC LOAD**を使って定義することができます。**DEFINE EXCITATION**はすべての自由度での加振ベクトルを定義する、より一般的なコマンドです。したがって、それは圧力荷重や任意のユーザー定義ベクトルを定義するのに適しています。**DEFINE HARMONIC LOAD**は選択したDOFs での調和荷重を定義します。詳細は、これらのコマンドのドキュメンテーションを参照してください。

**DEFINE EXCITATION**と組み合わせられたコマンド **MODIFY**および**CONVERT**は、その他のタイプのデータから調和荷重を生成するために使用できることに注意してください。これは例題のforce\_pressureの中で説明されていて（FEMtools例題マニュアル参照）、そこから次のようなコマンドラインが抽出できます。

```
modify test mode normal
modify test mode force
convert test mode to fem vector
define excitation complex
define excitation 1 frequency 400
define excitation 1 combine vector 2 re 0.5 vector 3 re 0.5
```

**MODIFY** コマンドは、空洞の音響モード（圧力）を一般的な力のベクトルに変換するために使用されます。続いて、**CONVERT**コマンドがこれらの実験データを解析データに変換します。最後に**DEFINE EXCITATION**コマンドが、2つのベクトル場の線形結合として調和荷重を定義します。この種のデータ処理はFEMtoolsコマンドを使うか、プログラムスクリプトを使ってしか行うことができません。

次のコマンドは、モード法を使って実稼動変位形状を計算します。

```
dynamic vector 36 fmin 5
define excitation co compute stiffness mass
```



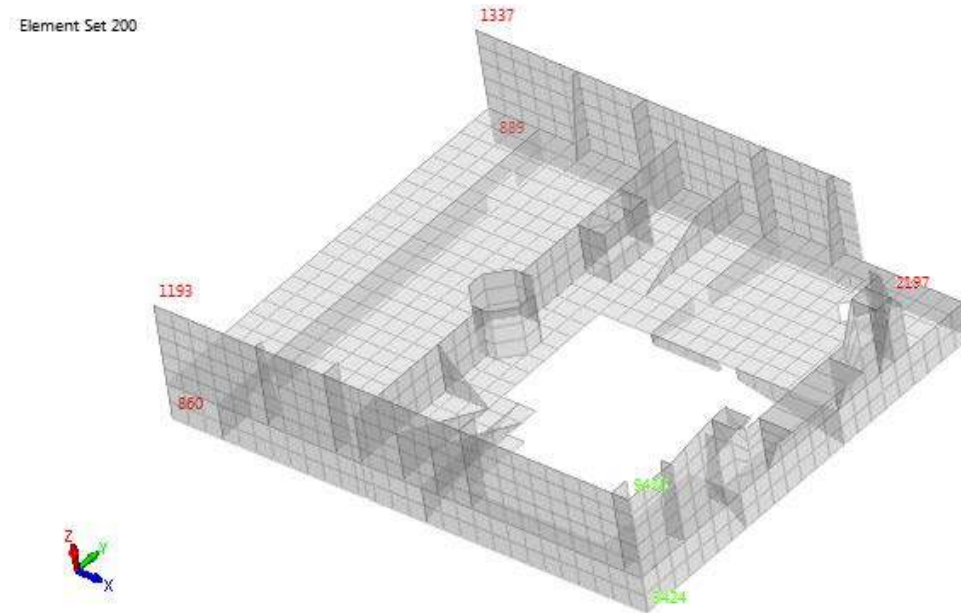
mplex

```
define excitation 1 frequency 10
```

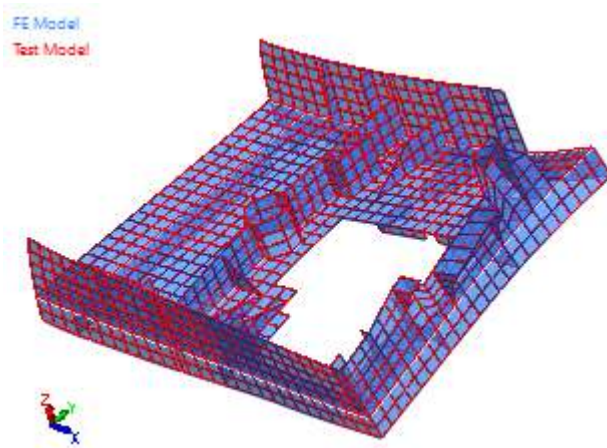
```
define excitation 1 node 2197 real uz 1.0 imag uz 0.5
```

```
harmonic method modal output displacement
```

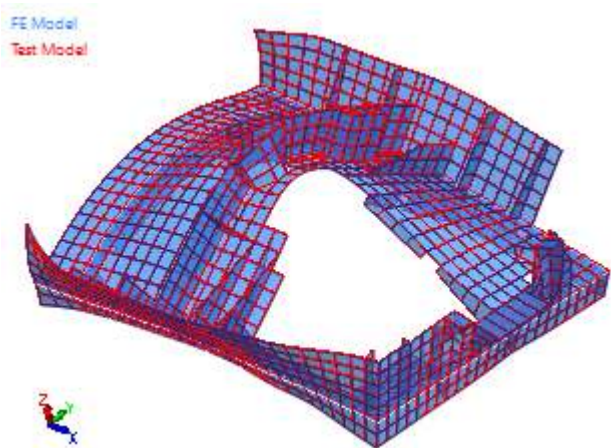
この例題 (hra\_disk01.cmd) はexamples¥dynamic¥harmonicの中にあります。



解析モデル：ディスクシャーシ



周波数 500Hz



周波数 1300Hz

調和荷重応答相関 (モード法：シェーディング、直接法：赤色ワイヤーメッシュ)



## 調和応答解析リファレンス

調和応答解析によりハーモニック荷重下の構造応答を推定することが可能です。FEMtoolsはそれらの応答を計算するためにモード解析法を利用します。この解析はその解析手法および駆動変位、速度、加速に依存します。一般に、その結果は駆動シェープあるいは実験動変形シェープ（ODS）と呼ばれます。FEMtoolsの調和応答解析は次の2つの目的のために使用されます。

- 相関分析（Correlation analysis）
- 外力同定（Force identification）

解析による動的（振動モードシェープ）あるいは静的なODSは実験のODS解析と比較するために相関解析として使用することができます。その場合、実験のODSデータのタイプに従って、解析のODSタイプも計算されなければなりません。

調和応答は構造物のモードパラメータおよび与えられた調和荷重の関数です。構造物のモード特性が識別され、適切な結果が得られたならば調和応答（実験参照値）は構造に作用する未知のハーモニック加振力を推定するために使用することもできます。

調和応答解析には、予めFEMtoolsデータベースに次のデータ定義されていなければなりません。

- An FE model
- Normal modes
- Harmonic load definition
- Damping

### 解析方法

使用するコマンドは、**DEFINE LOAD**、調和荷重を定義するための**DEFINE EXCITATION**および調和応答を計算するための**ACCELERATION**、**DISPLACEMENT**、**VELOCITY**などです。

FEMtoolsエクスプローラ・ウィンドウにおいて、ハーモニック荷重を定義するために、Tables > Model: FE > Operational Loadsを使用し、調和応答を計算するために、Tools > Harmonic Response Analysisを使用します。

**DEFINE EXCITATION**とともに**MODIFY**、**CONVERT**コマンド使用し、他のタイプのデータからハーモニック荷重を生成することも可能です。これは以下のコマンドラインに示すように例題のforce\_pressureで例証されます。（FEMtools Examplesマニュアル参照）

```
modify test mode normal
modify test mode force
convert test mode to fem vector
define excitation complex
define excitation 1 frequency 400
define excitation 1 combine vector 2 re 0.5 vector 3 re 0.5
```

**MODIFY**コマンドはタンク（空洞筒）の音響シェープ（圧力）を外力ベクトルに変換するために使用し、**CONVERT**コマンドはその実験的データを解析的データに変換します。そして、**DEFINE EXCITATION**コマンドは2つのベクトルを線形結合し、ハーモニック荷重として定義します。FEMtoolsのコマンドを使用し、一連のデータ処理を行うこともできますが、その他のプログラムスクリプトを作成し、利用することも可能です。その駆動変位シェープは静的シェープあるいは正規モードシェープとして表示することができます。

### 変形シェープの計算

- 駆動変位シェープを計算するには、Tools > Harmonic Response Analysis > Displacement を使用します。
- 駆動速度シェープを計算するには、Tools > Harmonic Response Analysis > Velocity を使用します。
- 駆動速度シェープを計算するには、Tools > Harmonic Response Analysis > Acceleration を使用します。

あるいは、

コンソールからコマンド**DISPLACEMENT**、**VELOCITY**、**ACCELERATION**を使用します。

## 加振力および駆動シェープの表示

- エクスプローラ・ウィンドウの**Graphics**タブを選び、そのツリーリストから選択します。
- それぞれの荷重ケースを選択するには、グラフィックス・ウィンドウ・ツールバー中のドロップ・ダウンリストボックスの荷重ケースのリストをスクロールし選択することができます。

あるいは

- コンソールからラベル**EXCITATION**および**DISPLACEMENTS**を指定し、**MESH**コマンドを使用します。

## DEFINE EXCITATION コマンド

### 構文

```
DEFINE EXCITATION {COMBINE <VECTOR int_val {RE | IM} real_val> | COMPLEX | int_val {FREQUENCY  
real_val | LOAD int_val | NODE int_val {RE | IM} {FX | FY | FZ | CX | CY | CZ} real_val}}
```

コマンド**DEFINE EXCITATION**は動的な加振力を定義するために使用されます。

### 補語

COMBINE	ベクトル・コンビネーションとして分布荷重を指定します。
COMPLEX	データが複素データとして格納されることを明示するオプション・ラベル。デフォルトではデータは実数と仮定されます。
FREQUENCY	加振動周波数 (Hz)
LOAD	このシェープが参照する荷重ケース識別番号を指定します。
NODE	加振節点を指定します。1つのコマンドラインで1つの値を指定することができます。各コマンドラインはノード識別番号、データ型 (RE:実数データ、IM:虚数データ)、DOFラベルおよび加振力値を指定します。

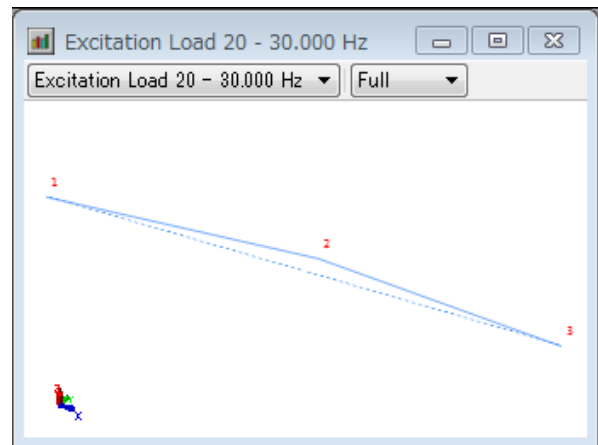
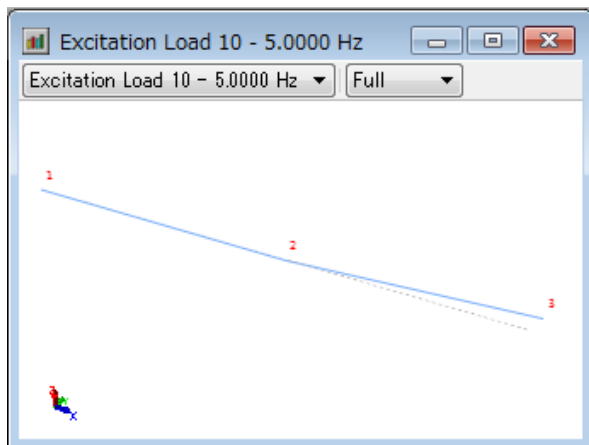
### 備考

- ベクトルはコマンド**CONVERT**で得られます。

## コマンド・スクリプト例

- 節点ハーモニック加振の定義

```
DEFINE DIMENSION 2
DEFINE DOF UX UY RZ
DEFINE NODE 1 0
DEFINE NODE 2 2.5
DEFINE NODE 3 5
DEFINE ELEMENT 1 T LINE2 M 1 G 1 O Y 1 C 1 2
DEFINE ELEMENT 2 T LINE2 M 1 G 1 O Y 1 C 2 3
DEFINE LOAD 10 "First Operation Deflection Shape"
DEFINE LOAD 20 "Second Operation Deflection Shape"
DEFINE EXCITATION 1 LOAD 10
DEFINE EXCITATION 1 FREQUENCY 5
DEFINE EXCITATION 1 NODE 3 FY 1
DEFINE EXCITATION 2 LOAD 20
DEFINE EXCITATION 2 FREQUENCY 30
DEFINE EXCITATION 2 NODE 2 FY 1
```



- 2つの線形結合ベクトルとして分布ハーモニック加振を定義

```
CONVERT TEST MODE TO FEM VECTOR
DEFINE EXCITATION COMPLEX
DEFINE EXCITATION 1 FREQUENCY 400
DEFINE EXCITATION 1 COMBINE VECTOR 2 RE 0.5 VECTOR 3 RE 0.5
```

- メニュー操作

FEMtoolsエクスプローラ・ウィンドウにおいて、Tables > Model: FE > Operational Excitation を選択します。

## 調和応答解析コマンド・リファレンス

### HARMONIC コマンド

**HARMONIC** コマンドはダイナミック荷重下の外力応答を直接法またはモーダル重ね合せ法を使用して解析します。

#### シンタックス

HARMONIC METHOD [DIRECT, MODAL, int\_val] OUTPUT {DISPLACEMENT, VELOCITY, ACCELERATION, RESPONSE}

#### 補語

METHOD            計算方法を指定します。  
OUTPUT              結果の出力タイプを明示します。

#### 備考

- このコマンドはコマンド **ACCELERATION**、**DISPLACEMENT**、**VELOCITY** に置き換えられます。
- 補語 **OUTPUT RESPONSE** は、**DEFINE HARMONIC RESPONSE** で定義された調和応答関数を計算します。その他の **OUTPUT** の場合では、実稼働シェープが計算されます。
- 解析方法および出力タイプは、**SET HARMONIC** コマンドで指定することができます。
- 調和荷重は、**DEFINE EXCITATION** または **DEFINE HARMONIC LOAD** を使用して定義することができます。
- **DEFINE EXCITATION** は、すべての自由度で加振ベクトルを定義するより一般的なコマンドです。圧力荷重などのユーザー定義ベクトルも定義することに有効です。**DEFINE HARMONIC LOAD** は選択 **DOF** での調和荷重を定義します。より詳細については、それらのコマンドに関するドキュメンテーションを参照してください。
- 非減衰系においても、このコマンドを使用することが可能です。共振周波数での振幅は大きな値が設定されます。
- ユーザー指定方法は識別番号を使用して選択することができます。

#### 例

下記コマンドはモーダル法を使用して実稼働シェープを計算します。

```
compute stiffness mass
dynamic vector 36 fmin 5
define harmonic frequency 10 100 500 1300 1600 1900 3000 5000
define harmonic load 1 node 2197 value 1.0 dof uz phase 30
harmonic method modal output displacement
```

#### メニュー・パス

Tools > Frequency Response Analysis > Harmonic Response Analysis...

#### 関連項目

CLEAR HARMONIC | DEFINE EXCITATION | DEFINE HARMONIC | EXTRACT HARMONIC | SET

## CLEAR HARMONIC コマンド

**CLEAR HARMONIC** コマンドはデータベースから調和解析と関係するテーブルを削除するために使用されます。

### シンタックス

CLEAR HARMONIC FREQUENCY

CLEAR HARMONIC LOAD [int\_sel]

CLEAR HARMONIC RESPONSE [int\_sel]

### 補語

Int\_sel                      調和荷重 (HARMONIC LOAD) や応答識別番号の選択を指定します。デフォルトはALLです。

### 備考

- 調和周波数 (HARMONIC FREQUENCY) の削除は調和応答 (HARMONIC RESPONSE) を削除します。

### 例

- 調和荷重5、6、8を削除します。

```
CLEAR HARMONIC LOAD 5 6 8
```

### メニュー・パス

Tables > Model: FE > Harmonic Analysis > Frequencies

Tables > Model: FE > Harmonic Analysis > Loads

Tables > Model: FE > Harmonic Analysis > Responses

すべてのFEデータを削除するには、Database > Delete > FE Modelを使用します。

### 関連項目

int\_sel

DEFINE HARMONIC | EXTRACT HARMONIC | HARMONIC | SET HARMONIC | TABLE HARMONIC

## EXTRACT HARMONIC コマンド

**EXTRACT HARMONIC** コマンドは動的荷重と応答をリストするために使用されます。

### シンタックス

EXTRACT HARMONIC FREQUENCY

EXTRACT HARMONIC LOAD [int\_sel]

EXTRACT HARMONIC RESPONSE [int\_sel]

EXTRACT HARMONIC RESPONSE [int\_sel] RESULT

## 補語

Int\_sel                    調和荷重または応答識別番号の選択を指定します。デフォルトはALLです。  
RESULT                    周波数関数として調和応答値を抽出します。

## メニュー・パス

Tables > Model: FE > Harmonic Analysis > Frequencies

Tables > Model: FE > Harmonic Analysis > Loads

Tables > Model: FE > Harmonic Analysis > Responses

## 関連項目

int\_sel

CLEAR HARMONIC | DEFINE HARMONIC | HARMONIC | SET HARMONIC | TABLE HARMONIC

## DEFINE HARMONIC コマンド

**DEFINE HARMONIC** コマンドは調和解析 (loads, responses, frequencies) 用テーブルを定義するために使用されます。

## シンタックス

```
DEFINE HARMONIC FREQUENCY real_val TO real_val STEP real_val }
```

```
DEFINE HARMONIC LOAD int_val <VALUE real_val, DELAY real_val, PHASE real_val, NODE int_val, DOF  
DOF_label, ATABLE int_val, PTABLE int_val, TYPE {FORCE, DISPLACEMENT, VELOCITY,  
ACCELERATION}>
```

```
DEFINE HARMONIC RESPONSE int_val <{NODE int_val, ELEMENT int_val}, DOF DOF_label, TYPE  
{REACTION, DISPLACEMENT, VELOCITY, ACCELERATION, FORCE}>
```

## 補語

ATABLE                    振幅を周波数関数として定義するIDを指定します。(オプション)  
DELAY                    時間遅れ(周波数依存位相)を指定します。デフォルトは、0です。  
DOF\_label                自由度ラベル(UX、UY、UZ、RX、RY、RZ)を指定します。  
ELEMENT                 要素は応答タイプFORCEに関係付けられ、参照される要素は、1ノード要素(例えばMASS)あるいは2ノードSPRING/DAMPER要素に限定されます。  
FREQUENCY                調和応答が計算される周波数リストを指定します。  
LOAD                     荷重識別番号を指定します。  
NODE                     荷重や応答が定義されるノード番号を指定します。応答については、NODEは、REACTION、DISPLACEMENT、VELOCITY、ACCELERATIONに関係付けられます。  
PHASE                    荷重の位相角を度(周波數位相)で指定します。デフォルトは0です。  
PTABLE                   周波数関数として定義する位相IDを指定します。(オプション)  
RESPONSE                調和応答識別番号を指定します。  
TYPE                     Typeには調和荷重または応答タイプを指定します。  
VALUE                    オプションとしての基礎振幅係数(掛け値)を指定します。デフォルト=1.0.

## 備考

- 調荷重和を定義する際に、ノードIDとDOFが必要です。その他のすべての補語はオプションです。
- ATABLEまたはPTABLEの参照がない場合、荷重振幅と位相は与えられた周波数レンジに関して一定であると考えられます。
- ダイアグラムはコマンド**DEFINE DIAGRAM**で定義されるか、あるいは関数**Ft\_DefDiagram**を備えたFEMtoolsスクリプト・プログラムを使用して定義されます。
- **DEFINE HARMONIC FREQUENCY**は、Nastran **FREQ\***カードと等価です。
- コマンド**DEFINE HARMONIC LOAD**は、Nastranカード**DLOAD**、**RLOAD2**、**SPCD**、**DAREA**と等価です。
- コマンド**DEFINE HARMONIC RESPONSE**は、Nastranカード**DISPL=**および**FORCE=**と等価です。例えば、**DISPL=10**はノード・セットに10が指定され、**FORCE=20**は、要素セットに20が指定されます。

## メニュー・パス

Tables > Model: FE > Harmonic Analysis > Frequencies

Tables > Model: FE > Harmonic Analysis > Loads

Tables > Model: FE > Harmonic Analysis > Responses

Tables > Model: FE > Diagrams

## 関連項目

CLEAR HARMONIC | EXTRACT HARMONIC | HARMONIC | SET HARMONIC | TABLE HARMONIC  
DEFINE DIAGRAM

## SET HARMONIC コマンド

**SET HARMONIC** コマンドは調和解析と関係するデフォルト・セッティングを指定するために使用されます。

## シンタックス

**SET HARMONIC METHOD** {DIRECT, MODAL, int\_val}

**SET HARMONIC OUTPUT** {DISPLACEMENT, VELOCITY, ACCELERATION, RESPONSE}

## 補語

**METHOD**            計算方法を指定します。  
**OUTPUT**            調和結果の出力タイプを明示します。

## 備考

- ユーザー指定方法は識別番号を使用して選択することができます。
- オプションの**OUTPUT RESPONSE**は、**DEFINE HARMONIC RESPONSE**で定義された調和応答関数を計算します。他の**OUTPUT**の場合は、実稼働シェープが計算されます。

## メニュー・パス

利用できません。

## 関連項目



CLEAR HARMONIC  
DEFINE HARMONIC  
EXTRACT HARMONIC  
HARMONIC  
SHOW HARMONIC  
TABLE HARMONIC

## TABLE コマンド

TABLE コマンドは、FEMtoolsデータテーブルを開くために使用されます。

### シンタックス

TABLE [MATRIX | SHAPE] TableName

TABLE [Set\_Type] SET int\_val

### 補語

**TableName** FEMtoolsデータテーブルの名前を指定します。ラベル**MATRIX**指定はユーザー定義マトリックスを指定するか、あるいはマトリックスのグラフ表示が可能なテーブルのために必要になります。ユーザー定義マトリックス行列のヘッダーは、**Ft\_NewMat**関数で定義することができます。利用可能なマトリックスのリストを表示するには、**EXTRACT MREC**を使用します。利用可能なシェープのリストを表示するには、**EXTRACT SHAPE**を使用します。

**SET** 識別番号int\_valを備えたセットを開くために指定します。オプションの**Set\_Type**は、**NODE**、**ELEMENT**、**POINT**、**CONNECTIVITY**、**FRF FEM (FRF TEST)** などです。**Set\_Type**が指定されない場合はエラーになります。

### メニュー・パス

エクスプローラ・ウィンドウから、**Tables**タブを選択します。

### 例

有限要素定義テーブルを表示する。

```
TABLE ELEMENT
```

MACマトリックス・テーブルを表示する。

```
TABLE MATRIX MAC
```

FEモードシェープ・テーブルを表示する。

```
TABLE SHAPE fea.mode 1
```

調和解析に関するFEテーブルを表示する。

```
TABLE HARMONIC LOAD
```

```
TABLE HARMONIC FREQUENCY
```

```
TABLE HARMONIC RESPONSE
```

```
TABLE HARMONIC RESPONSE 1
```

ダイアグラム1を表示する。

```
TABLE DIAGRAM 1
```

## 関連項目

int\_val

## RESVEC コマンド

**RESVEC**コマンドは、モーダル・ベースの周波数応答解析（FRFまたは調和解析）のためのレジデュ・ベクトルを計算します。

## シンタックス

RESVEC[INERTIA{ON|OFF}][APPLIED{ON|OFF}][DAMPING{ON|OFF}][RATIO real\_val]

## 補語

APPLIED	荷重レジデュ・ベクトルの計算を明示します。
DAMPING	粘性（viscous）減衰レジデュ・ベクトルの計算を明示します。
INERTIA	慣性軽減レジデュ・ベクトルの計算を明示します。
RATIO	直交性しきい値を指定します。

## 備考

- レジデュ・ベクトルは、FEモードを使用します。

## メニュー・パス

Tools > Frequency Response Analysis > Add Residual Vectors...

## 関連項目

FRF | HARMONIC

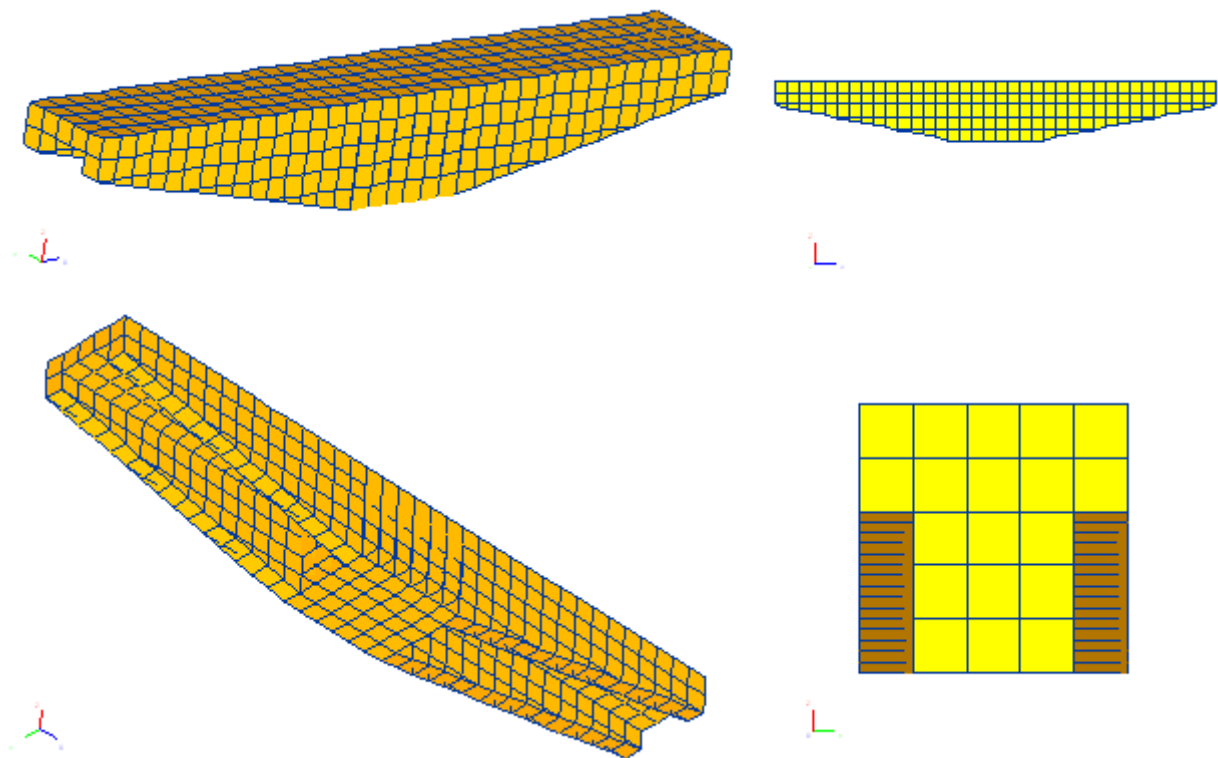
## 解析例

この問題では、FEMtools によるモード解析（固有値解析）およびその周波数応答解析への応用例を示します。さらに、自由振動する構造物に対する既知のハーモニック荷重（調和加振）による応答を計算します。

- 固有値解析（正規モード解析）
- 調和応答（調和応答）解析

### 解析モデル 1

FE Model



総節点数 : 948 (総自由度 : 5688)  
総要素数 : 480  
総体積 : 7.875E+007 mm<sup>3</sup>  
総重量 : 0.1575 t (157.5 kg)  
重心座標 : X = 900 Y = 125 Z = -90

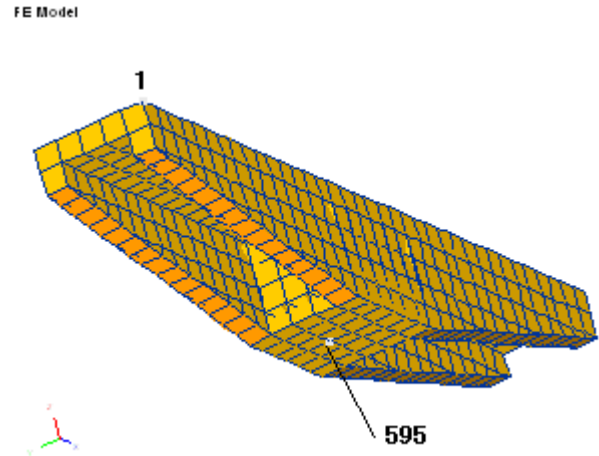
アルミ製テーブル（構造物）は、ソリッド要素モデルとしてモデル化されます。その材料特性として、次のような質量密度  $RHO$ 、ヤング率  $E$ 、ポアソン比  $Nu$  が指定されます。

- 質量密度  $Rho$  2.8 e-9 t/mm<sup>3</sup> (2.8 e-6 (kg/mm<sup>3</sup>))
- ヤング率  $E$  7.15 e4 N/mm<sup>2</sup> (7.3 e3 kgf/mm<sup>2</sup>)
- ポアソン比  $Nu$  0.3

## 正規モード解析

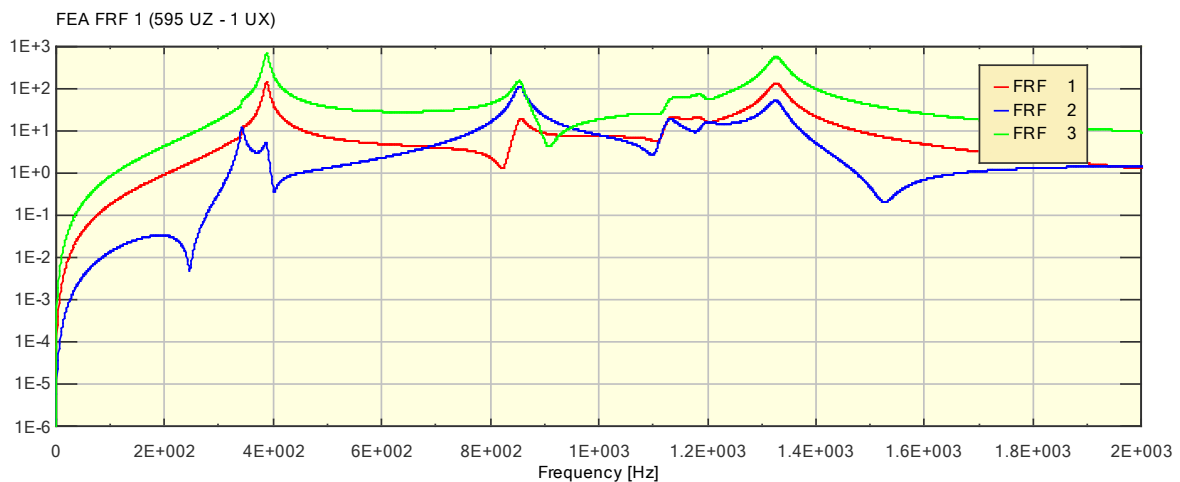
次に、最初の 10 の正規モード解析結果の共振周波数を示します。ここで、解析的周波数応答関数を推定するため、すべてのダンピング（モード減衰比）を 1% と仮定します。

モード	周波数 (Hz)	減衰 (%)
1	343.275	+1.0000E+000
2	388.389	+1.0000E+000
3	480.237	+1.0000E+000
4	808.158	+1.0000E+000
5	854.239	+1.0000E+000
6	940.315	+1.0000E+000
7	1127.509	+1.0000E+000
8	1191.306	+1.0000E+000
9	1192.931	+1.0000E+000
10	1326.117	+1.0000E+000



## 解析周波数応答関数

加振点 : 595z      応答点 : 1x、1y、1z

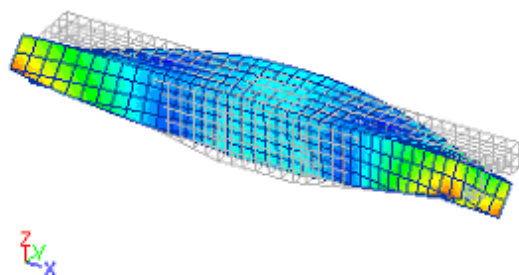


## コマンド・スクリプト

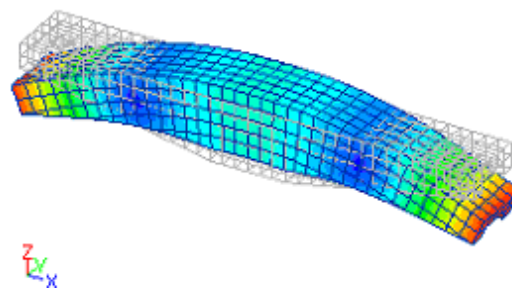
```
define damping modal 0.01
define range 1 0 to 2000 step 5
define frfs excitation node 595 dof uz response node 1 dof ux range 1 type acceleration
define frfs excitation node 595 dof uz response node 1 dof uy range 1 type acceleration
define frfs excitation node 595 dof uz response node 1 dof uz range 1 type acceleration
modalfrf refresh on scale 1
```

# モードシエーブ

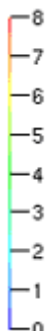
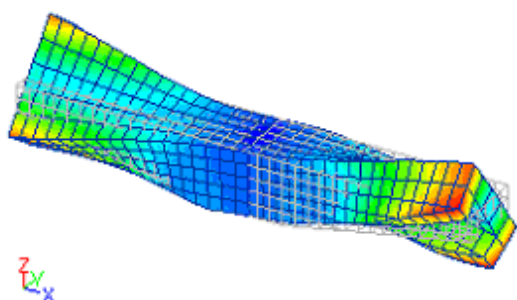
FEA 1 - 343.27 Hz



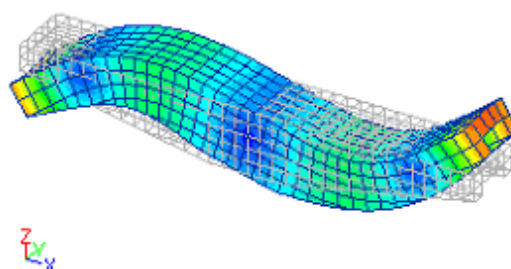
FEA 2 - 388.39 Hz



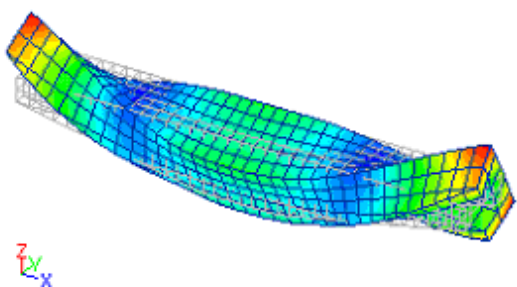
FEA 3 - 480.24 Hz



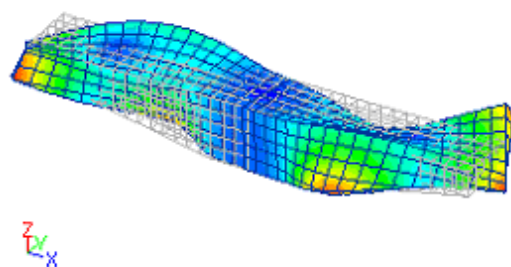
FEA 4 - 808.16 Hz



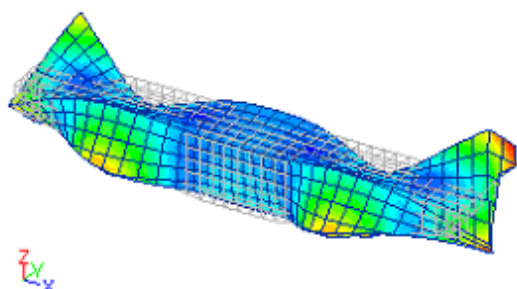
FEA 5 - 854.24 Hz



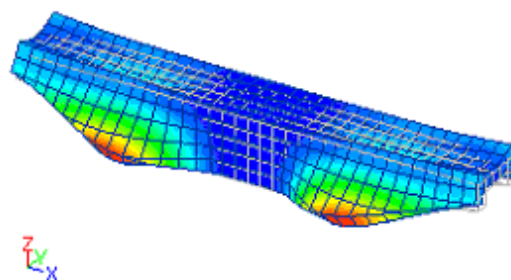
FEA 6 - 940.31 Hz



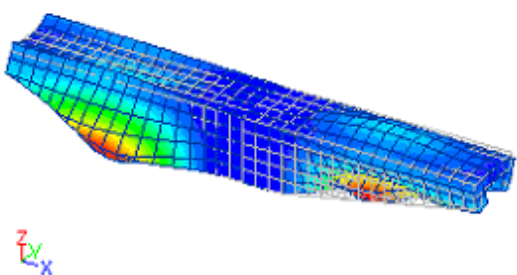
FEA 7 - 1127.5 Hz



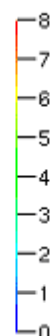
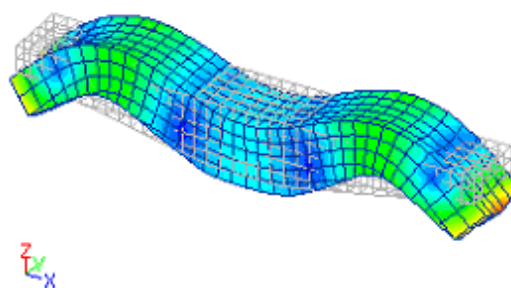
FEA 8 - 1191.3 Hz



FEA 9 - 1192.9 Hz



FEA 10 - 1326.1 Hz



## 調和応答解析

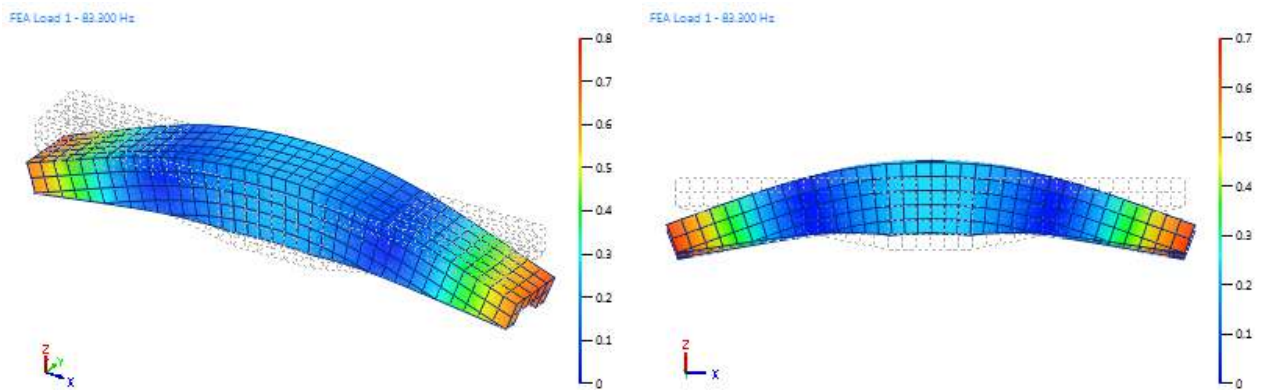
構造物のモード特性が識別され、適切な結果が得られたならば、調和応答解析によりハーモニック荷重下の構造応答を推定することが可能です。この問題では調和外力として、外力、加振周波数を指定し、応答変位を推定します。

- 外力：308700 N (31500 kgf)
- 加振周波数：83.3 Hz (半周期：6 msec) および、388.39 Hz (1次曲げ固有モード周波数)

### コマンド・スクリプト

```
define harmonic frequency 83.3 388.39
define harmonic load 1 node 595 value 308700 dof uz
define harmonic response 1 type displacement node 1 dof uz
harmonic method modal output displacement
extract shape fea.displ 1 2 node 1
```

### 応答変位：外力 (308700 N)、周波数 (83.3Hz)



応答変位：マグニチュード振幅 (左) と Z 成分振幅 (右)

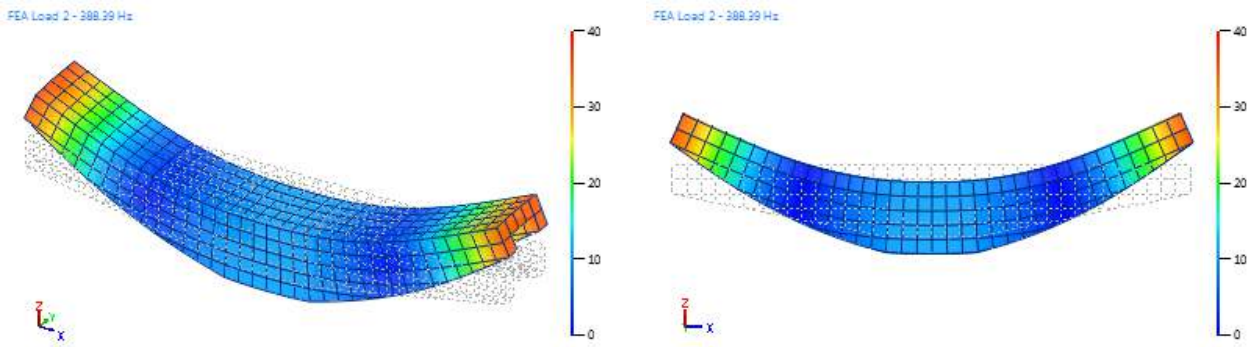
#### FEA Frequency Response Displacements

FEA Load 1 - 83.300 Hz

NODE	1	UX	UY	UZ
Real		-1.3560E-01	+1.0831E-02	-6.2737E-01
Imag.		+6.3078E-04	+1.6556E-05	+3.0439E-03

節点 1 の変位振幅 (Z 成分)： 0.627 mm

応答変位：外力（308700 N）、周波数（388.39 Hz）



応答変位：マグニチュード振幅（左）と Z 成分振幅（右）

FEA Frequency Response Displacements

FEA Load 2 - 388.39 Hz

NODE	1	UX	UY	UZ
Real		-9.8782E-03	+8.3247E-02	+4.7701E-02
Imag.		+7.0416E+00	-2.4127E-01	+3.4385E+01

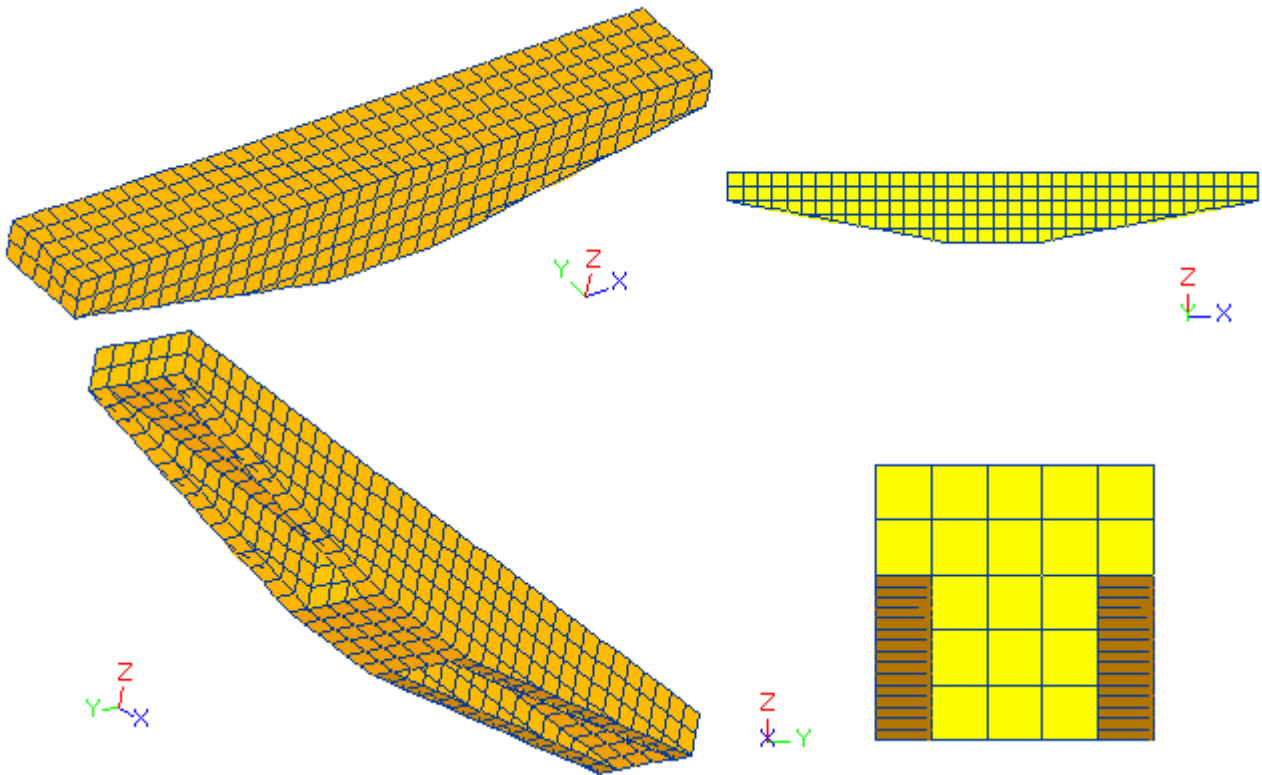
節点 1 の変位振幅（Z 成分）： 34.385 mm



## 解析モデル 2

テーブル上部の厚さを 2 倍（100mm）に変更した場合のモデル。

FE Model



総節点数： 1008（総自由度：6048）

総要素数： 570

総体積： 6.57E+007 mm<sup>3</sup>

総重量： 0.189 t（189 kg）

重心座標： X = 900 Y = 125 Z = -87.5

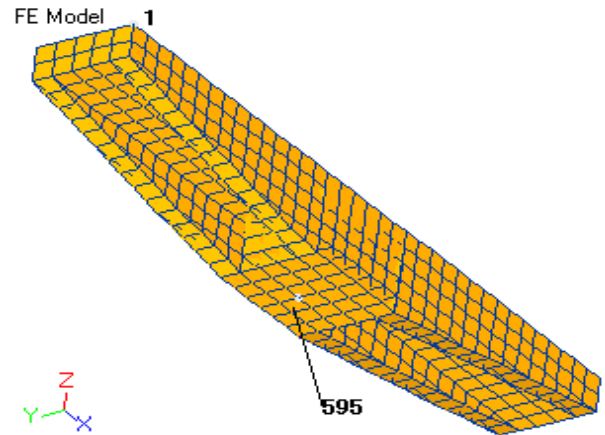
アルミ製テーブル（構造物）は、ソリッド要素モデルとしてモデル化されます。その材料特性として、次のような質量密度  $RHO$ 、ヤング率  $E$ 、ポアソン比  $\nu$  が指定されます。

- 質量密度  $Rho$  2.8 e-9 t/mm<sup>3</sup> (2.8 e-6 (kg/mm<sup>3</sup>))
- ヤング率  $E$  7.15 e4 N/mm<sup>2</sup> (7.3 e3 kgf/mm<sup>2</sup>)
- ポアソン比  $\nu$  0.3

## 正規モード解析

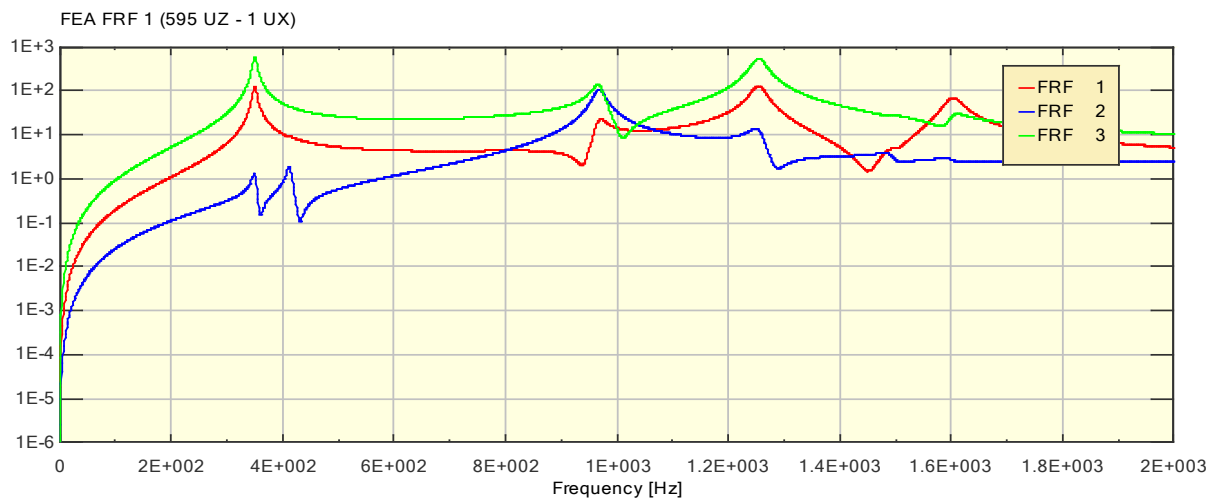
次に、最初の 10 の正規モード解析結果の共振周波数を示します。ここで、解析的周波数応答関数を推定するため、すべてのダンピング（モード減衰比）を 1% と仮定します。

モード	周波数 (Hz)	減衰 (%)
1	350.278	+1.0000E-002
2	413.043	+1.0000E-002
3	654.266	+1.0000E-002
4	732.902	+1.0000E-002
5	968.007	+1.0000E-002
6	1021.589	+1.0000E-002
7	1254.263	+1.0000E-002
8	1492.295	+1.0000E-002
9	1602.010	+1.0000E-002
10	1794.455	+1.0000E-002



## 解析周波数応答関数

加振点 : 595z      応答点 : 1x、1y、1z

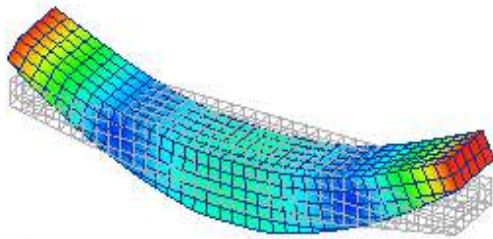


## コマンド・スクリプト

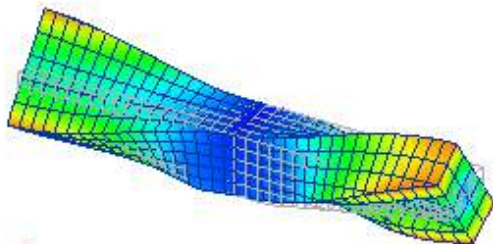
```
define damping modal 0.01
define range 1 0 to 2000 step 5
define frfs excitation node 595 dof uz response node 1 dof ux range 1 type accelerance
define frfs excitation node 595 dof uz response node 1 dof uy range 1 type accelerance
define frfs excitation node 595 dof uz response node 1 dof uz range 1 type accelerance
modalfrf refresh on scale 1
```

# モードシェープ

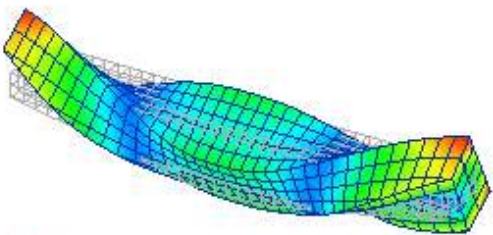
FEA 1 - 350.28 Hz



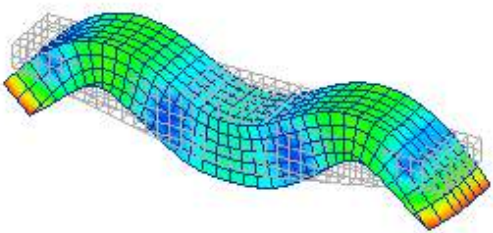
FEA 3 - 654.27 Hz



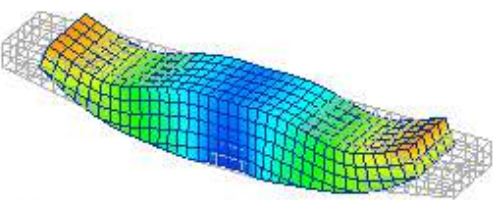
FEA 5 - 968.01 Hz



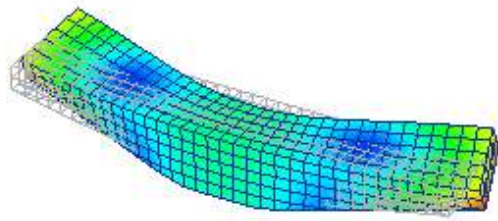
FEA 7 - 1254.3 Hz



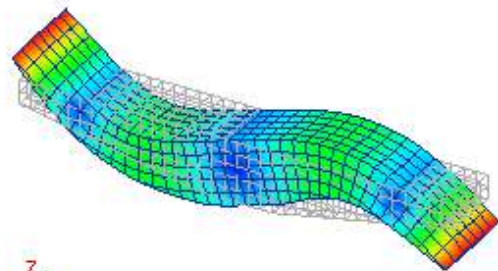
FEA 9 - 1602 Hz



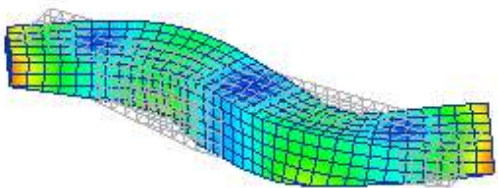
FEA 2 - 413.04 Hz



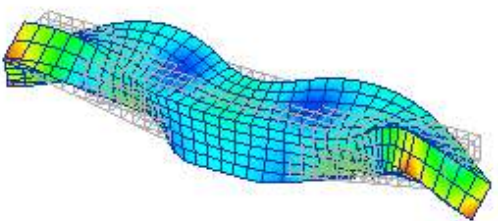
FEA 4 - 732.9 Hz



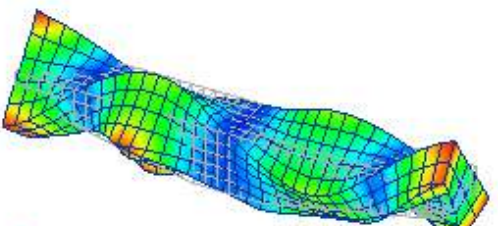
FEA 6 - 1021.6 Hz



FEA 8 - 1492.3 Hz



FEA 10 - 1794.5 Hz



## 調和応答解析

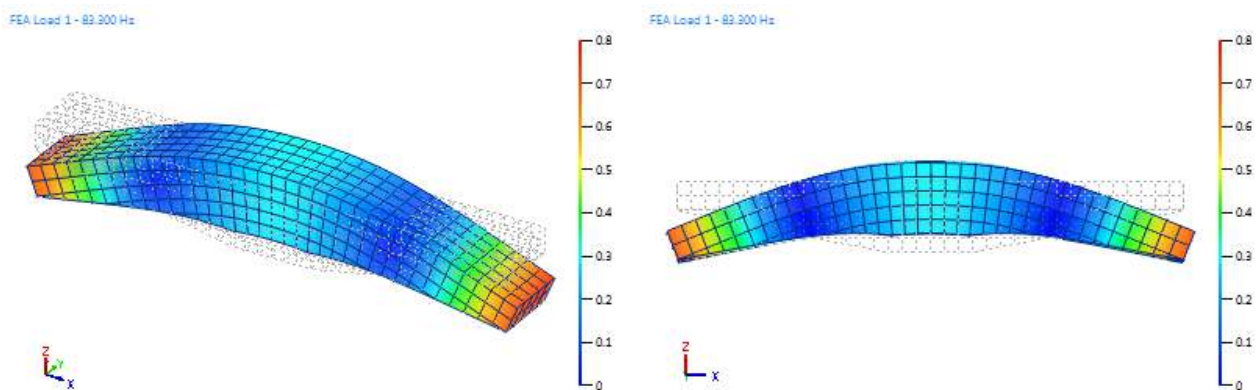
構造物のモード特性が識別され、適切な結果が得られたならば、調和応答解析によりハーモニック荷重下の構造応答を推定することが可能です。この問題では、調和外力として、外力、加振周波数を指定し、応答変位を推定します。

- 外力：370440 N (37800 kgf)
- 加振周波数：83.3 Hz (半周期：6 msec) および、350.28 Hz (1次曲げ固有モード周波数)

## コマンド・スクリプト

```
define harmonic frequency 83.3 350.28
define harmonic load 1 node 595 value 370440 dof uz
define harmonic response 1 type displacement node 1 dof uz
harmonic method modal output displacement
extract shape fea.displ 1 2 node 1
```

## 応答変位：外力 (370440 N)、周波数 (83.3Hz)



応答変位：マグニチュード振幅 (左) と Z 成分振幅 (右)

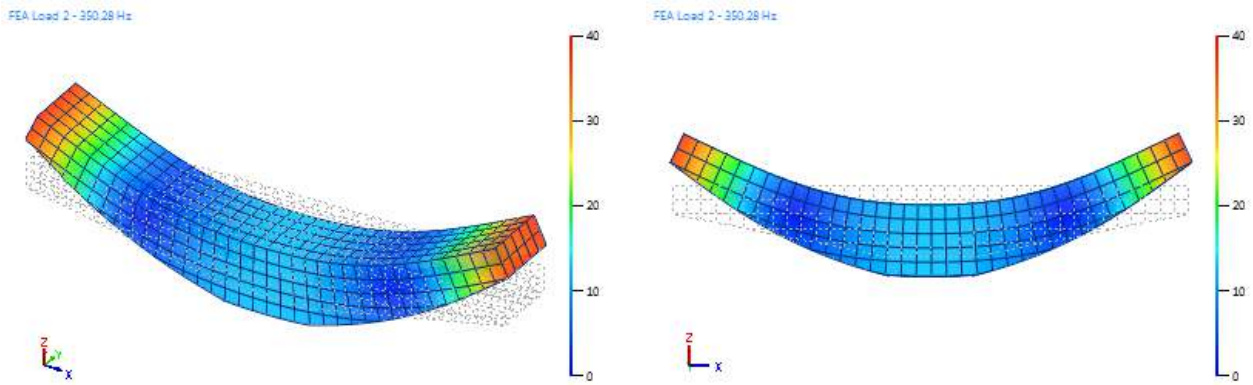
## FEA Frequency Response Displacements

FEA Load 1 - 83.300 Hz

NODE	1	UX	UY	UZ
Real		-1.4847E-01	+1.9769E-02	-6.9147E-01
Imag.		+8.0131E-04	-4.4041E-05	+3.7562E-03

節点 1 の変位振幅 (Z 成分)： 0.691 mm

応答変位：外力（370440 N）、周波数（350.28 Hz）



応答変位：マグニチュード振幅（左）と Z 成分振幅（右）

FEA Frequency Response Displacements

FEA Load 2 – 350.28 Hz

NODE	1	UX	UY	UZ
Real		+1.6661E-02	+2.4598E-02	+9.9652E-02
Imag.		+7.6238E+00	-7.3579E-02	+3.6140E+01

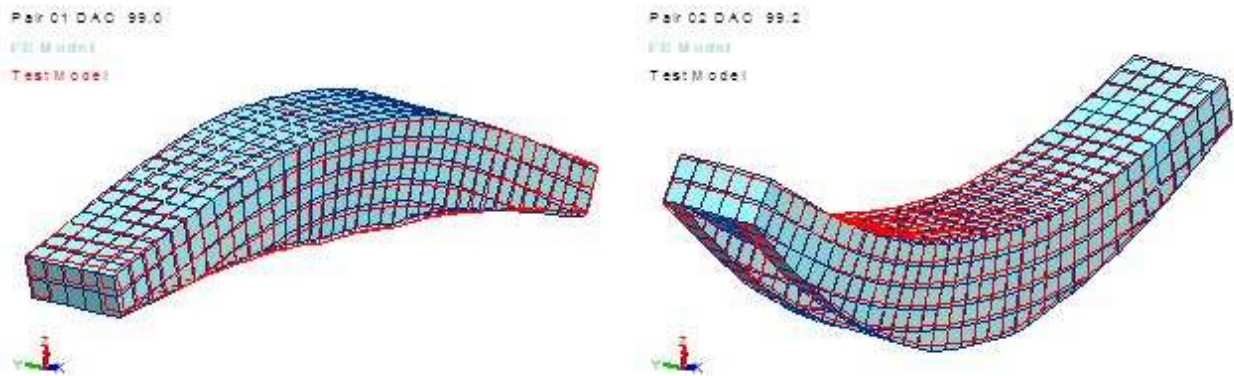
節点 1 の変位振幅（Z 成分）： 36.14 mm



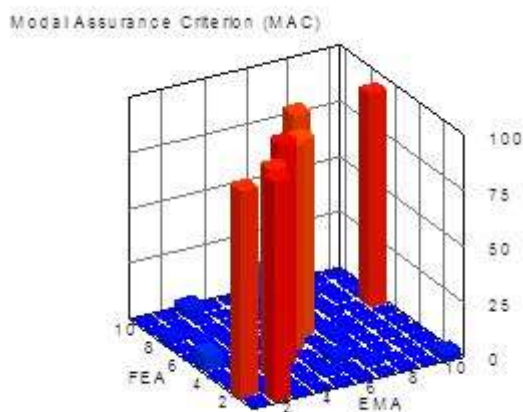
## 考察

この問題ではテーブル上部の厚さの異なるそれぞれのモデルについて、調和応答解析（モーダル法）を使用し、モデル間の変位応答を比較しました。固有周波数はシフト（モードの1と2が逆転）が観察できますが、それらの1次曲げ固有モードに関して、変位応答に大きな差のないことが確認できます。以下に、加振周波数と1次曲げ固有モード周波数における応答変位、シェーブ相関およびMACマトリックス、DACマトリックスを示します。

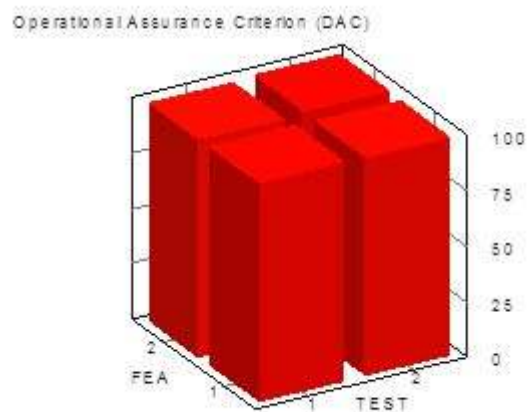
- モデル1（テーブル上部の厚さ：50 mm）  
加振周波数（83.3Hz）、節点1の変位振幅（Z成分）：0.627 mm  
1次曲げ固有モード周波数（388.39Hz）：節点1の変位振幅（Z成分）：34.385 mm
- モデル2（テーブル上部の厚さ：100 mm）  
加振周波数（83.3Hz）、節点1の変位振幅（Z成分）：0.691 mm  
1次曲げ固有モード周波数（350.28 Hz）、節点1の変位振幅（Z成分）：36.14 mm



シェーブ相関：加振周波数（左）と1次曲げ（右）  
モデル1：赤色ワイヤメッシュ（TEST）、モデル2：シェーディング（FEA）



MACマトリックス



DACマトリックス