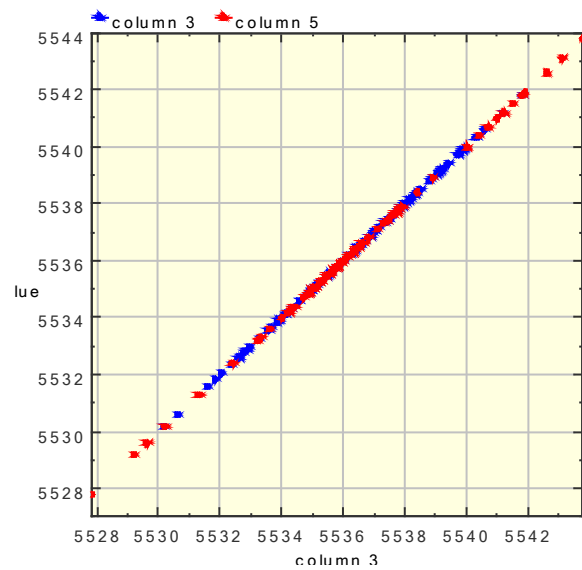
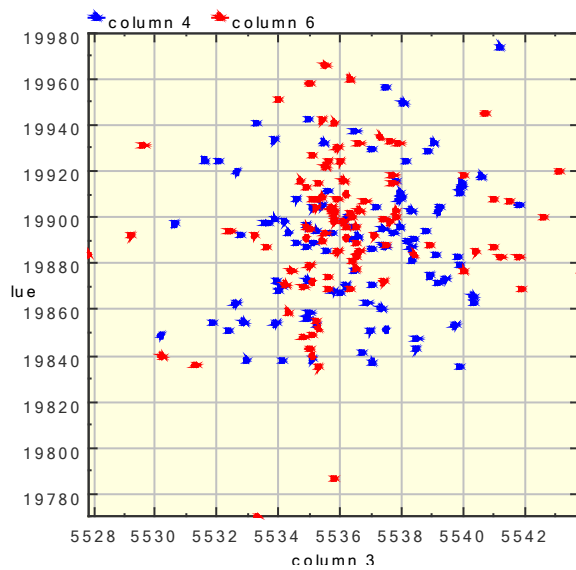


# FEMtools

## Probabilistic Analysis

### 解説 確率論的解析



## 目次

|  |    |
|--|----|
| 確率論的解析.....  | 1  |
| モンテカルロ・シミュレーションの実行.....                                  | 1  |
| ステップ 1：パラメータ定義.....                                      | 1  |
| ステップ 2：レスポンスとサンプリングのマトリックス生成.....                        | 3  |
| ステップ 3：サンプリング解析.....                                     | 3  |
| ステップ 4：ポスト処理.....  | 4  |
| Monte Carlo Simulation – Prepare Sampling ダイアログボックス..... | 5  |
| モンテカルロ・シミュレーション結果のインポートおよびエクスポート.....                    | 6  |
| 不確定テストデータとの確率論的相関性.....                                  | 6  |
| 散布図の作成.....  | 7  |
| コマンドリファレンス.....  | 8  |
| DEFINE PDF コマンド.....                                     | 8  |
| EXTRACT PDF コマンド.....                                    | 9  |
| CLEAR PDF コマンド.....                                      | 9  |
| Ft_DefPDF Function.....                                  | 10 |
| Ft_GetPDF Function.....                                  | 11 |
| MCS コマンド.....  | 12 |

## 確率論的解析

有限要素解析は、製品開発を支援するアプリケーション・ツールです。一般に、解析シミュレーションにおける多くの不確実性は、物理的な構造モデリングや製造過程および製品の使用方法に影響を及ぼします。

現在の FE モデルの検証やアップデートの実行は、入力パラメータと検証結果の評価に基づきます。確率論的解析 (Probabilistic Analysis) 機能を備えた拡張ツールは、モデル検証の不確実性を考慮し、その解決策とアップデート・プロセスを提供します。

確率論的解析のより詳細については、FEMtools Model Updating ユーザーガイドの「確率論的解析 (Probabilistic Analysis)」の章を参照してください。その主なトピックは次のとおりです。

- 数値シミュレーションの不確実性
- 不確実性に対処する方法
- モンテカルロ・シミュレーション：基本概念と技術
- 不確定テストデータとの確率論的相関性

それらの適用例は、FEMtools Model Updating ユーザーガイドに示されています。

- モンテカルロ・シミュレーションの実行
- モンテカルロ・シミュレーション結果のインポートとエクスポート
- 不確定テストデータとの確率論的相関性
- 散布図の作成

## モンテカルロ・シミュレーションの実行

FEMtools モデルアップデートは、モンテカルロ・シミュレーションに基づいた確率論的解析用ツール機能を含んでいます。

確率論的解析のより詳細については、FEMtools Model Updating ユーザーガイドの「確率論的解析 (Probabilistic Analysis)」の章を参照してください。

モンテカルロ・シミュレーションは以下のステップから構成されます。

### ステップ 1：パラメータ定義

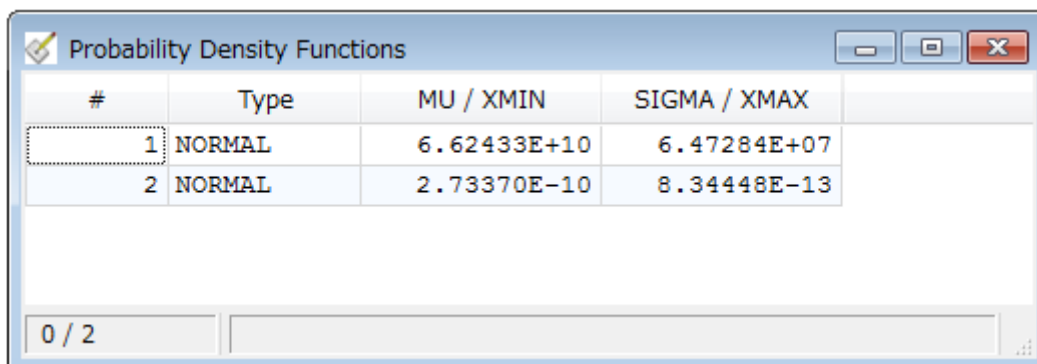
感度解析とモデルアップデートにおいて選択可能なすべてのパラメータを確率論的解析のために使用することができます。それらのパラメータについては、確率密度関数 (PDF) を定義する必要があります。PDF は個別のテーブルに定義されます。あらためて、アップデーティグ・パラメータを定義し、PDF テーブル中のデータを参照します。Monte Carlo Simulation setup ダイアログボックスを実行する前に、アップデーティグ・パラメータが PDF にリンクされていなければなりません。

パラメータ定義のより詳細については、Defining Parameters を参照してください。

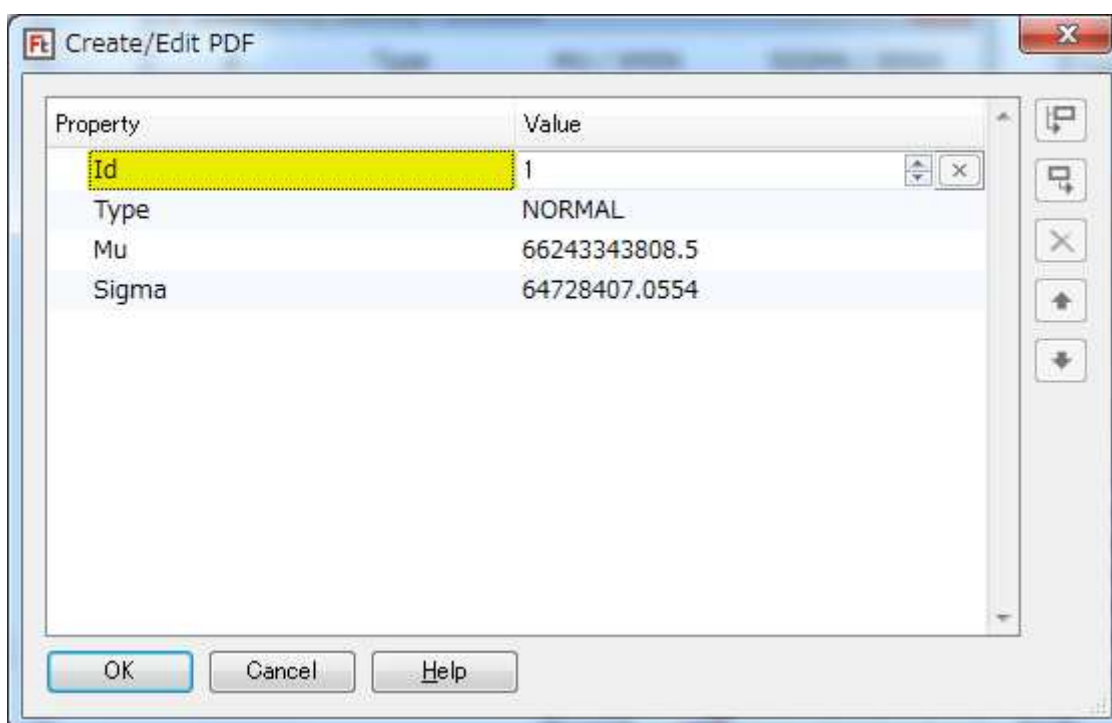
Parameter definition (パラメータ定義) ダイアログボックスには、PDF のインデックスを指定するためのフィールドがあります。PARAMETER コマンドには、PDF に参照を付けるための PDF 補語があります。

## PDF 定義テーブルのアクセス

- Tables > Probability Density Functions を使用します。少なくとも 1 つのパラメータが定義されている場合、そのアイテムは有効であることに注意してください。



| # | Type   | MU / XMIN   | SIGMA / XMAX |
|---|--------|-------------|--------------|
| 1 | NORMAL | 6.62433E+10 | 6.47284E+07  |
| 2 | NORMAL | 2.73370E-10 | 8.34448E-13  |



| Property | Value         |
|----------|---------------|
| Id       | 1             |
| Type     | NORMAL        |
| Mu       | 66243343808.5 |
| Sigma    | 64728407.0554 |

あるいは

- コンソールから次のマンドを使用します。  
DEFINE PDF  
EXTRACT PDF  
CLEAR PDF

## DEFINE PDF 例

```
define pdf 1 normal mu 6.62433E+10 sigma 6.47284E+07
```

```
define pdf 2 normal mu 2.7337E-10 sigma 8.34448E-13
```

### EXTRACT PDF 例

#### PROBABILITY DENSITY FUNCTIONS

```
PDF      1, TYPE = NORMAL
```

```
MU =    6.6243E+10, SIGMA =    6.4728E+07
```

```
PDF      2, TYPE = NORMAL
```

```
MU =    2.7337E-10, SIGMA =    8.3445E-13
```

FEMtools スクリプト・プログラマは以下の関数を使用することができます。

- Ft\_DefPDF
- Ft\_GetPDF
- Ft\_GetCount ("pdf")
- Ft\_Clear ("pdf")

## ステップ 2 : レスポンスとサンプリングのマトリックス生成

このステップは、保持レスポンス（モンテカルロ・シミュレーションに利用可能なレスポンスのみ）を含むレスポンス・マトリックスおよびすべてのパラメータに対するランダム値のサンプルを含むサンプリング・マトリックスを生成します。そのサンプリング・マトリックスは、パラメータに割り当てられた PDF に基づいて生成されます。

レスポンスの選択は共振周波数、モードシェープおよび MAC が対象となります。

モンテカルロ・シミュレーション・レスポンスおよびサンプリング・マトリックスを生成するには、

- Tools > Probabilistic Analysis > Compute

あるいは

- コンソールから、MCS SETUP を実行します。

## ステップ 3 : サンプリング解析

このステップでは、レスポンスはサンプリング・マトリックス中のすべてのサンプルについて計算され、結果のマトリックスに格納されます。

レスポンス計算に必要な時間は、サンプリング数と FE モデル・サイズに大きく依存します。SDM モード解析ソルバーを使用することができる場合、その解析速度の向上が期待できます。解析過程において、すべての解析ソルバーとサーバーのセッティングが使用されます。

モンテカルロ・シミュレーション結果マトリックスを計算するには、

- Tools > Probabilistic Analysis > Compute

あるいは

- コンソールから、MCS COMPUTE を実行します。

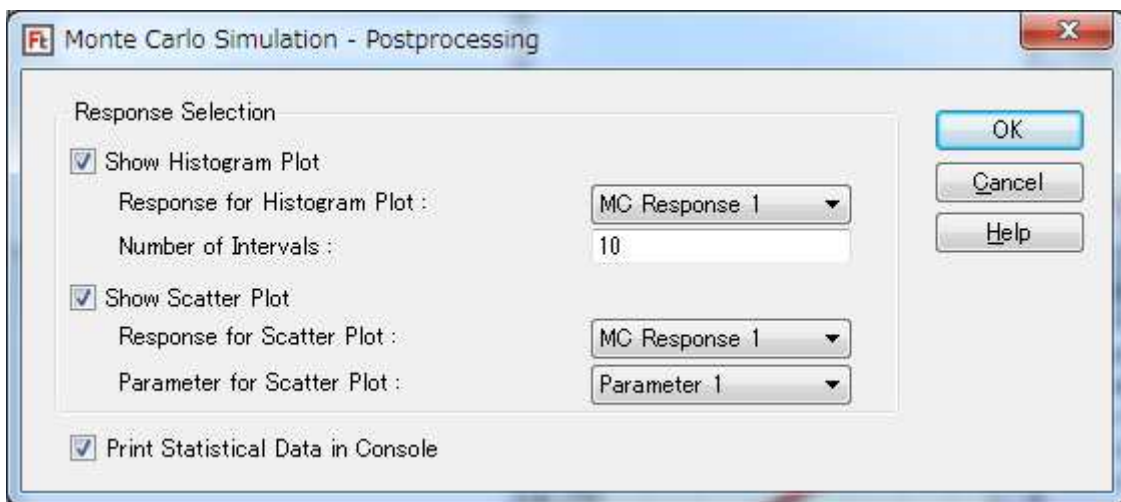
#### ステップ 4 : ポスト処理

このステップでは、結果のマトリックスがレスポンスの統計プロパティを計算するためのポスト処理が使用されます。中間値、最大値、最小値、標準偏差、すべてのレスポンスに分散が計算され、レスポンス統計マトリックスに格納されます。

ヒストグラム・プロットのような結果のいくつかのグラフ表示や散布図のプロットが可能です。さらに、統計プロパティはコンソール・ウィンドウ中に出力されます。

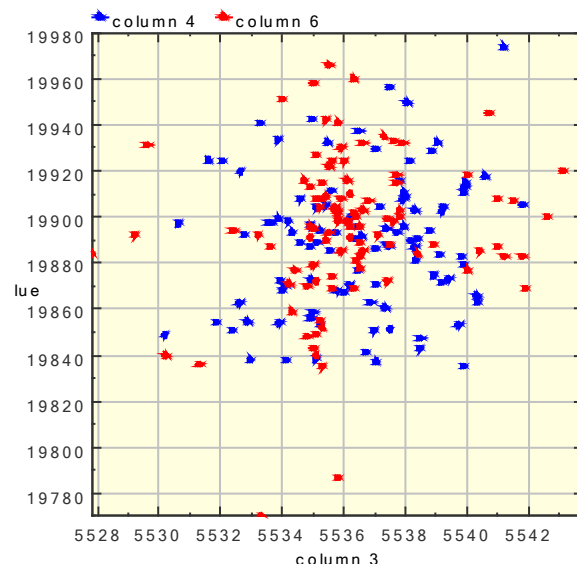
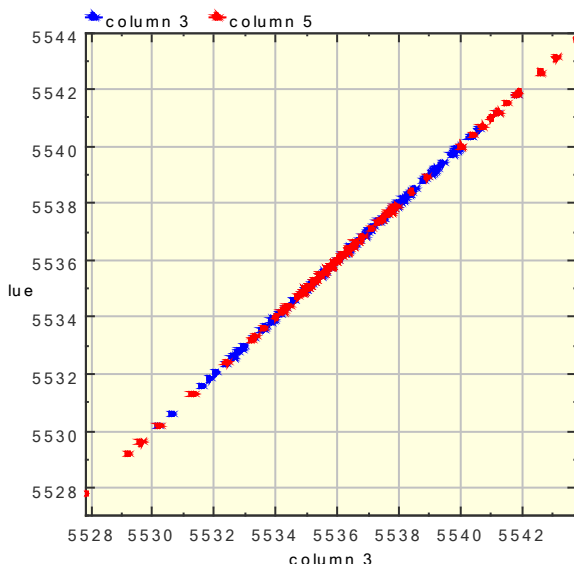
モンテカルロ・シミュレーション結果のポスト・プロセス

- Tools > Probabilistic Analysis > Postprocess

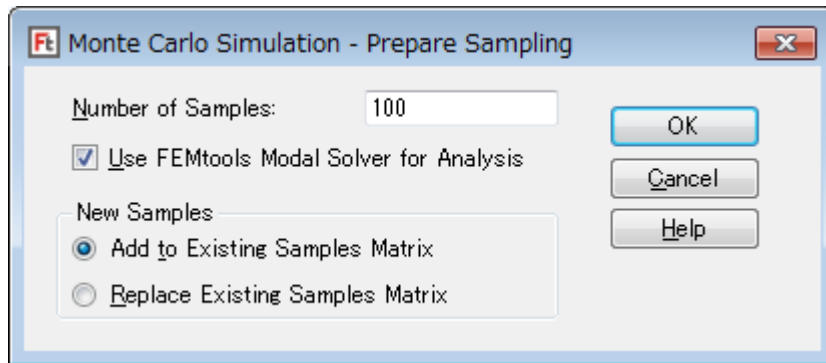


あるいは

- コンソールから、MCS POSTPROCESS を実行します。



## Monte Carlo Simulation – Prepare Sampling ダイアログボックス



### 機能

Monte Carlo Simulation – Prepare Sampling (モンテカルロ・シミュレーション・サンプリング) ダイアログボックスは、モンテカルロ・シミュレーションのセットアップを行うために使用されます。このセットアップはモンテカルロ・サンプリングのみで使用され、すべてのパラメータの分布が割り当てられていることを暗示します。

### 解説

- |  |   |
|--|---|
| Number of Samples                      | シミュレーションのサンプル数を指定します。                                       |
| Use FEMtools Modal Solver for Analysis | FEMtools あるいは個別のサンプリング解析用のモード解析ソルバーで構築されたものが使用されるかどうか明示します。 |
| Add to Existing Samples Matrix         | 現在のデータベースのサンプリング・マトリックスに新しいサンプルを追加することを明示します。               |
| Replace Existing Samples Matrix        | 新しく定義されたサンプルを既存のサンプリング・マトリックスに交換することを明示します。                 |

### 関連項目

MCS

## モンテカルロ・シミュレーション結果のインポートおよびエクスポート

モンテカルロ・シミュレーションの各ステップについて生成されたマトリックス（サンプリング・マトリックス、レスポンス・マトリックス、結果マトリックス、統計データ・マトリックス）をエクスポートするか、以前にエクスポートされたマトリックスをインポートすることが可能です。

対象のインポートファイルが現在のパラメータやレスポンスに相当するかどうかのチェックは行なわれないので、インポートマトリックスを使用する場合は、注意しなければなりません。

### モンテカルロ・シミュレーション・テーブルのインポート

- Tools > Probabilistic Analysis > Import

あるいは

- コンソールから、MCS IMPORT を実行します。

### モンテカルロ・シミュレーション・テーブルのエクスポート

- Tools > Probabilistic Analysis > export

あるいは

- コンソールから、MCS EXPORT を実行します。

## 不確定テストデータとの確率論的相関性

多数のテストデータ・セットが利用可能な場合、テストデータのポイント群と FE データのポイント群の相関性を評価することが可能です。FE データのポイント群は、不確定モデル・パラメータの分布特性セットを使用し、モンテカルロ・シミュレーションによって得られます。2つのポイント群間の相関性は、モデル・パラメータに関して評価された不確実性がどれくらい適切かどうかの基準になります。

不確定モデル・パラメータの統計プロパティは、テストデータの統計プロパティに由来します。FEMtools は、この目的のために中間値 (MV:Mean Value) 法を使用します。中間値法は不確定モデル・パラメータを正規分布と仮定します。そのパラメータの中間値は、パラメータ分布の標準偏差がテストデータ分布から評価され、アップデート後に得られる値です。

FEMtools は、中間値法を適用するために次の2つのコマンドを提供します。

**MCS SET REFERENCE**      メニューの Tools > Probabilistic Analysis > Set Reference からアクセスされ、不確定テストデータの分布を計算します。

**MCS ESTIMATE**            メニューの Tools > Probabilistic Analysis > Estimate からアクセスされ、モデル・パラメータの標準偏差を評価します。

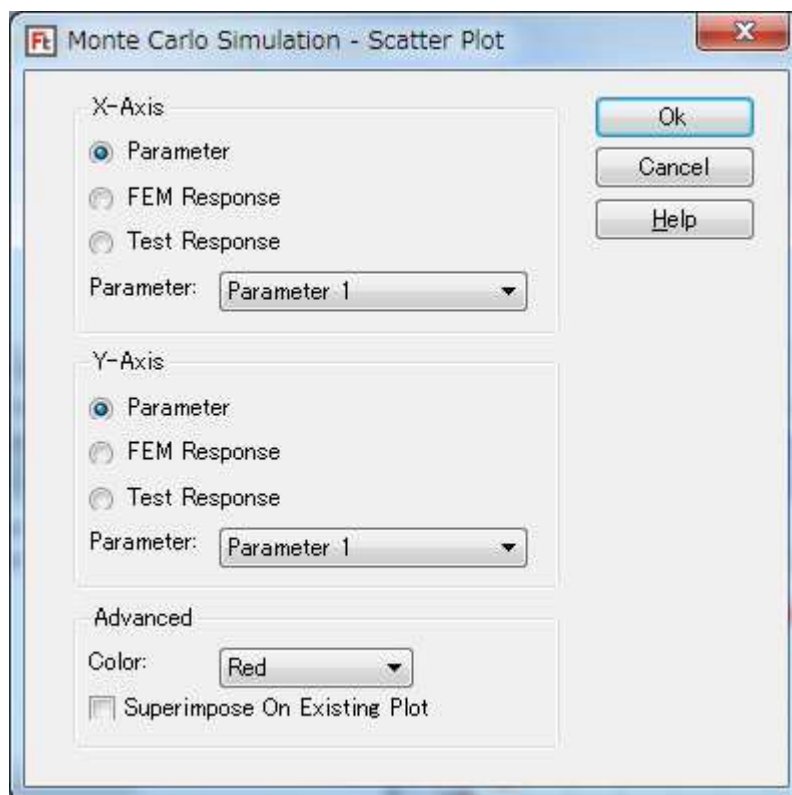
不確定テストデータを使用し、相関性を行なう方法例は、FEMtools Model Updating ユーザーガイドで記述されています。



## 散布図の作成

実験の周波数、解析の周波数およびモデル・パラメータの任意の組み合わせによって、散布図（Scatter Plots）を作成することができます。

散布図を作成するには、メニューの Tools > Probabilistic Analysis > Plot Scatter からアクセス可能な MCS SCATTER コマンドを使用します。



2つの量を指定し、散布図を作成する場合、第1の量はX軸座標に対応し、第2の量はY軸座標に対応します。

散布図を重ね書きするには、SUPERIMPOSE コマンドを使用するか、Scatter plot ダイアログボックスの Superimpose On Existing Plot チェックボックスをチェックします。

## コマンドリファレンス

### DEFINE PDF コマンド

DEFINE PDF コマンドは確率密度関数(PDF)を定義するために使用されます。確率論的解析で使用されるパラメータに PDF が参照付けられます。

### シンタックス

```
DEFINE PDF int_val [UNIFORM] <XMIN real_val , XMAX real_val >
```

```
DEFINE PDF int_val [NORMAL] <MU real_val, SIGMA real_val >
```

### 補語

UNIFORM 一様分布を指定します。これはデフォルト分布タイプです。

NORMAL NORMAL(ガウス)分布を指定します。

XMIN 最小パラメータ値を指定します。

XMAX 最大パラメータ値を指定します。

MU 統計中間値を指定します。

SIGMA 統計標準偏差値を指定します。

### メニュー・パス

エクスプローラ・ウィンドウから、Tables > Probability Density Functions を選択します。

PDF を参照するパラメータが定義される場合、このテーブルを定義します。

### 関連項目

int\_val

CLEAR PDF

EXTRACT PDF

PARAMETER

## EXTRACT PDF コマンド

EXTRACT PDF コマンドは確率密度関数 (PDF) をリストするために使用されます。

### シンタックス

```
EXTRACT PDF [int_sel]
```

### 補語

Int\_sel                PDF の選択を指定します。デフォルトは ALL です。

### メニュー・パス

エクスプローラ・ウィンドウから、Tables > Probability Density Functions を選択します。

PDF を参照するパラメータが定義される場合、このテーブルを定義します。

### 関連項目

DEFINE PDF

## CLEAR PDF コマンド

CLEAR PDF コマンドは確率密度関数 (PDF) 定義を削除するために使用されます。

### シンタックス

```
CLEAR PDF [int_sel]
```

### 補足

Int\_sel                PDF の選択を指定します。デフォルトは ALL です。

### メニュー・パス

エクスプローラ・ウィンドウから、Tables > Probability Density Functions を選択します。

PDF を参照するパラメータが定義される場合、このテーブルを定義します。

### 関連項目

DEFINE PDF

EXTRACT PDF

## Ft\_DefPDF Function

### 機能

確率密度関数 (PDF) を定義します。

### シンタックス

Ft\_DefPDF iNumber, iType, dVal1, dVal2

### 引き数

iNumber            PDF の識別番号です。

iType              PDF タイプを指定します。(以下の表参照)

dVal1, dVal2      PDF を定義するプロパティです。それらの意味は、iType の値に依存します。(以下の表参照)

| iType | 記述          | dVal1、dVal2 |
|-------|-------------|-------------|
| 1     | 一様分布        | 最小、最大       |
| 2     | 正規 (ガウス) 分布 | 中間標準偏差      |

### 例

Sub Main

```
Ft_DefPdf 10, 1, -10, 10    ' type 1 = uniform
```

```
Ft_DefPdf 20, 2, 5.0, 0.5   ' type 2 = normal
```

```
npdf = Ft_GetCount("pdf")
```

```
for i=1 to npdf
```

```
    Ft_GetPDF i, id, pdftype, d1, d2
```

```
    print "PDF ",id
```

```
    print "TYPE=",IIf(pdftype=1,"UNIFORM","NORMAL")
```

```
    print "params = ",d1,d2
```

```
next i
```

End Sub

### 関連項目

Ft\_GetPDF

## Ft\_GetPDF Function

### 機能

確率密度関数 (PDF) 情報を返します。

### シンタックス

Ft\_GetPDF iNumber, ext\_id, [iType], [dVal1], [dVal2]

### 引き数

iNumber            PDF の識別番号です。

### 返り値

ext\_id            有限要素ノード(整数)の外部識別番号です。

iType            PDF タイプを指定します以下の表参照)

dVal1, dVal2    PDF を定義するプロパティです。それらの意味は、iType の値に依存します。(以下の表参照)

| iType | 仕様 | dVal1、dVal2 |
|-------|----|-------------|
|-------|----|-------------|

|   |      |       |
|---|------|-------|
| 1 | 一様分布 | 最小、最大 |
|---|------|-------|

|   |             |        |
|---|-------------|--------|
| 2 | 正規 (ガウス) 分布 | 中間標準偏差 |
|---|-------------|--------|

### 例

Sub Main

```
Ft_DefPdf 10, 1, -10, 10    ' type 1 = uniform
Ft_DefPdf 20, 2, 5.0, 0.5   ' type 2 = normal
npdf = Ft_GetCount("pdf")
for i=1 to npdf
  Ft_GetPDF i, id, pdftype, d1, d2
  print "PDF ",id
  print "TYPE=",IIf(pdftype=1,"UNIFORM","NORMAL")
  print "params = ",d1,d2
next i
```

End Sub

### 関連項目

Ft\_DefPDF

## MCS コマンド

MCS コマンドはサンプリングの準備、計算、モンテカルロ・シミュレーション用ポスト処理に使用されます。このコマンドは、モンテカルロ・シミュレーション中で生成されたマトリックスのインポートやエクスポートのためにも使用されます。

### シンタックス

MCS

```
{  
COMPUTE  
ESTIMATE  
EXPORT {SAMPLES char_val | RESPONSE char_val | RESULT char_val | STATISTICS char_val }  
HISTOGRAM [FEM | TEST] id INTERVAL int_val  
IMPORT {SAMPLES char_val | RESPONSE char_val | RESULT char_val | STATISTICS char_val }  
POSTPROCESS {HISTOGRAM RESPONSE int_val INTERVAL int_val | SCATTER RESPONSE int_val  
PARAMETER int_val | PRINT}  
READ TEST {FILE char_val [KEEP] | FOLDER char_val}  
SCATTER {PARAMETER | RESPONSE {FEM | TEST}} int_val {PARAMETER | RESPONSE {FEM | TEST}}  
int_val [COLOR {WHITE | BLACK | BLUE | CYAN | LIGHTGREEN | GREEN | YELLOW | MAGENTA | BROWN |  
RED}] [SUPERIMPOSE]  
SET REFERENCE  
SETUP SAMPLES int_val [ADD | REPLACE]  
}
```

### 補語

|           |   |
|-----------|---|
| COMPUTE   | すべてのモンテカルロ・サンプリング用レスポンスを計算します。  |
| ESTIMATE  | テストデータの分布からのパラメータ分布プロパティを評価します。   |
| EXPORT    | MCS データ・マトリックスをエクスポートします。<br>SAMPLES は、MCS サンプリング・マトリックスがエクスポートされることを明示します。<br>RESPONSE は、MCS レスポンス・マトリックスがエクスポートされることを明示します。<br>RESULT は、MCS 結果マトリックスがエクスポートされることを明示します。<br>STATISTICS は、MCS 統計マトリックスがエクスポートされることを明示します。 |
| HISTOGRAM | ヒストグラム・プロットを生成します。<br>FEM は、FEM の周波数データがヒストグラム・プロットのために使用されることを明示します。<br>TEST はテストの周波数データがヒストグラム・プロットのために使用されること  |

を明示します。

INTERVAL はヒストグラム・プロット間隔の数を定義します。

#### IMPORT

MCS データ・マトリックスをインポートします。

SAMPLES は、MCS サンプリング・マトリックスがインポートされることを明示します。

RESPONSE は、MCS レスポンス・マトリックスがインポートされることを明示します。RESULT は、MCS 結果マトリックスがインポートされることを明示します。

STATISTICS は、MCS 統計マトリックスがインポートされることを明示します。

#### POSTPROCESS

モンテカルロ・シミュレーション・データのポスト処理を行います。

HISTOGRAM はヒストグラム分析のためのセッティングを指定します。

SCATTER は分散解析のセッティングを指定します。

RESPONSE は出力グラフ（ヒストグラム、あるいは分散）のためのレスポンスの id を定義します。

INTERVAL はヒストグラム・プロット用の間隔数を定義します。

PARAMETER は散布図プロット用のパラメータ id を定義します。

PRINT は統計資料がコマンドモード中で出力されることを明示します。

#### READ TEST

多数のテストデータ・ファイルをインポートし、試験周波数マトリックスに試験周波数をすべて格納してください。

FILE はインポートするファイルを指定し、ファイルの指定が繰り返されることを明示します。

KEEP は既にデータベース中のテスト・モデルが保持されることを明示します。

FOLDER はテスト・ファイルをすべて読むフォルダーを指定します。

#### SCATTER

散布図プロットを生成します。

COLOR はマーカー色を指定します。

FEM は解析レスポンスが FE レスポンスであることを明示します。

PARAMETER はパラメータの識別番号を指定します。

RESPONSE はレスポンスの識別番号を指定します。

SUPERIMPOSE は既存のプロットに現在のプロットを重ね合わせます。

TEST は解析レスポンスがテスト・レスポンスであることを明示します。

#### SETUP SAMPLES

テストデータの分布プロパティを評価し、不確定パラメータの分布プロパティの評価に対する参照値としてこれらのプロパティをセットします。

#### SETUP SAMPLES

モンテカルロ・サンプルを生成します。

SAMPLES は使用するサンプル数を指定します。

ADD は既存のサンプル・マトリックスに生成されたサンプルを加えることを明示します。

REPLACE は生成されたサンプルが既存のサンプル・マトリックスと交換されることを明示します。

## 例

- MCS サンプル・マトリックスに 50 の新しいサンプルを加えます。

MCS SETUP SAMPLES 50 ADD

- 生成されたモンテカルロ・サンプルを計算します。

MCS COMPUTE

- レスポンス 3 のパラメータ 1 の散布図プロット上にレスポンス 5 の 120 間隔を備えたヒストグラム・プロットも生成します。

MCS POSTPROCESS HISTOGRAM RESPONSE 5 INTERVAL 120 SCATTER RESPONSE 3 PARAMETER 1

- ファイル statmat.txt に統計マトリックスをエクスポートします。

MCS EXPORT STATISTICS statmat.txt

- 現在のテスト・モデルを維持し、複数のテスト・ファイルをインポートします。

MCS READ TEST FILE file1.unv FILE file2.unv FILE、file3.unv KEEP

- 100 の間隔を使用し、第 3 のテスト・モード周波数のヒストグラム・プロットを示します。

MCS HISTOGRAM TEST 3 INTERVAL 100

- 第 3 の FE モードの散布図プロット上に第 5 のテスト・モードを示します。

MCS SCATTER FEM 3 TEST 5

## メニュー・パス

Tools > Probabilistic Analysis

## 関連項目

int\_val

CLEAR\_MCS

DEFINE PDF